

JULIANA MACHADO CASALI

**ESTUDO COMPARATIVO DO COMPORTAMENTO DE
DIFERENTES TIPOS DE ARGAMASSAS DE
ASSENTAMENTO PARA ALVENARIA ESTRUTURAL
DE BLOCOS DE CONCRETO**

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

Florianópolis

2003

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ESTUDO COMPARATIVO DO COMPORTAMENTO DE DIFERENTES TIPOS DE
ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO PARA ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS
DE CONCRETO

JULIANA MACHADO CASALI

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA COMO
PARTE DOS REQUISITOS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM
ENGENHARIA CIVIL

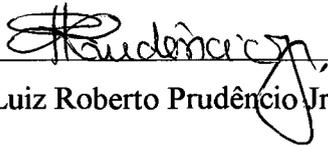
Área de Concentração: Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Luiz Roberto Prudêncio Júnior

Florianópolis
2003

FOLHA DE APROVAÇÃO

Esta dissertação foi julgada para obtenção do título de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL e aprovada em sua forma final em 21/02/2003 pelo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

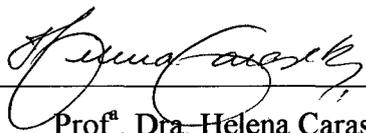


Prof. Dr. Luiz Roberto Prudêncio Jr. – Orientador



Prof. Dr. Jucilei Cordini – Coordenador do PPGEC

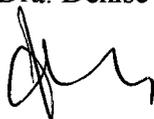
COMISSÃO EXAMINADORA:



Prof.ª Dra. Helena Carasek



Prof.ª Dra. Denise Antunes da Silva



Prof. Dr. Philippe Jean Paul Gleize

CASALI, Juliana Machado. **Estudo comparativo do comportamento de diferentes tipos de argamassas de assentamento para alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Florianópolis, 2003. 184 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Roberto Prudêncio Jr.

Defesa: 21/02/2003.

Resumo: O uso da alvenaria estrutural de blocos de concreto tem sido crescente no Brasil nos últimos anos, principalmente por aumentar a produtividade nas construções, ao permitir sua racionalização e proporcionar uma maior rapidez de execução. Nesta busca por racionalização dos processos, a utilização de novos materiais tais como argamassas industrializadas, tem também aumentando significativamente. No entanto, a influência das argamassas de assentamento no desempenho das alvenarias estruturais não tem sido corretamente compreendida e o conhecimento de suas propriedades negligenciado, levando à ocorrência de problemas em obra devido ao uso incorreto desse material. Neste contexto, o trabalho aqui proposto tem por objetivo avaliar o desempenho, as características e as propriedades, no estado fresco e endurecido, de argamassas mistas e industrializadas para assentamento de blocos de concreto utilizadas em alvenaria estrutural. As propriedades no estado fresco foram avaliadas através dos ensaios preconizados pelas normas. Porém por esses não produzirem subsídios suficientes para a avaliação da trabalhabilidade das argamassas de assentamento foram propostos os ensaios de Vicat Adaptado e GTec Teste, sendo a eficiência desses testada em laboratório e, do último, também em obra. Já as propriedades no estado endurecido foram analisadas em corpos-de-prova e prismas de blocos de concreto visando distinguir o desempenho dos tipos de argamassa de assentamento. A avaliação da trabalhabilidade a partir do GTec Teste mostrou eficiência e confiabilidade. Além disso, os resultados obtidos das propriedades no estado fresco puderam ser relacionados com as do estado endurecido, mostrando-se claramente a sua influência no desempenho das argamassas de assentamento como junta de alvenaria. Observou-se uma diferença significativa dos tipos de argamassa, principalmente no fator de eficiência e na resistência à compressão das juntas de alvenaria. Os valores encontrados de resistência à compressão de argamassa em corpos-de-prova cilíndricos 5x10cm superestimam o valor da resistência na junta para a argamassa industrializada e subestimam para as argamassas mistas. As argamassas mistas apresentaram desempenho superiores à argamassa industrializada empregada.

Palavras chave: argamassa de assentamento; alvenaria estrutural; bloco de concreto;

Key Words: bedding mortar, structural masonry, concrete block

*Dedico este trabalho
a Deus e aos meus pais,
Adriano e Valda.*

AGRADECIMENTOS

Ao professor, Luiz Roberto Prudêncio Jr., pela sua orientação, amizade e companheirismo. Principalmente por acreditar em mim durante os 4 anos de sua orientação (2 de iniciação científica e 2 de mestrado) mostrando sempre seriedade e amor pelo que faz. Um especial reconhecimento por criar e fundar o GTec – Grupo de Tecnologia em Materiais e Componentes a base de Cimento Portland – o qual tive a grande oportunidade de participar desde a sua fundação. No grupo somos uma grande família e discutimos sobre todos os assuntos. Além de muito trabalho, temos muita festa.

Ao meu pai, Adriano, pelo apoio, compreensão, paciência, companhia, sugestões e contribuições feitas durante toda a pesquisa. Sempre disposto a me ajudar, principalmente na etapa experimental.

A minha mãe, Valda, pelo apoio e carinho.

A minha irmã Adriana que, mesmo de longe, sempre esteve perto do meu coração, me apoiando, fazendo correções, sendo amiga, indo para laboratório e sempre acreditando que eu conseguiria.

Aos meus irmãos, Rafael e Guilherme, pelo companheirismo e amizade, sempre dispostos a ajudar.

Aos amigos e integrantes do grupo GTec: Alexandre (Leco), sempre ajudando com idéias, mão-de-obra (pedreiro experiente) ao longo desta pesquisa; Luciana (Luca), obrigado pelas correções, pelas discussões sobre esta dissertação e pela amizade; aos meus meninos: Arley e Denis (Carnavalesco) pela grande dedicação e apoio no laboratório e curiosidade no trabalho; Giovanna (Gi), por ter me iniciado na pesquisa, ensinando muito no início da minha caminhada como pesquisadora e pelas correções; Silvia, obrigada pelas correções; Marcos, Thiago, Wellington e a mulher do chefe, Regina, pela amizade. Aos antigos integrantes Rafael, Artêmio, Fábio e Paulo que de alguma forma ajudaram na realização desta pesquisa.

A minha amiga, Vicky, obrigada por tudo. Ao meu amigo, Valdir, pela amizade e companheirismo até mesmo no laboratório. A Greice, agora da família, por agüentar os momentos ruins e bons e pela grande amizade.

Aos companheiros do mestrado: Andrea, Georg's, Fernando (gaúcho), Juliana (Jog) e Avancini

pelas discussões dentro e fora da sala de aula.

A Toniolo Pré-Moldados que, nas pessoas do Eng. Jaderson Luiz Barbieri e Eng. Carlos Augusto Bedin, sempre esteve disposta a ajudar e apoiar as pesquisas do grupo.

Aos técnicos do Laboratório de Materiais de Construção Civil da UFSC, Luis e Renato, pela ajuda, paciência e amizade. E ao grande companheiro e amigo de laboratório “Roque Júnior”, pelas gargalhadas e ajuda.

Ao CNPq pelo indispensável suporte financeiro.

Aos meus amigos do xadrez, Cláudio e Juliano, em especial ao Gilberto, pela amizade e momentos de lazer.

Foram muitas pessoas e instituições que, de forma direta ou indireta, contribuíram para que eu atingisse este ideal, ficando aqui impossível nomeá-las uma a uma. Por isso, desculpo-me com aquelas pessoas cujos nomes não se encontram aqui citados, mas registro o meu sincero agradecimento.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABELAS	xvii
RESUMO	xx
ABSTRACT	xxi
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2 OBJETIVO GERAL	4
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	5
2 ALVENARIA ESTRUTURAL	6
2.1 DEFINIÇÕES BÁSICAS	6
2.2 MECANISMO DE RUPTURA DA ALVENARIA NÃO-GRAUTEADA	7
2.3 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DA ALVENARIA	10
2.3.1 O Ensaio de Prismas	11
2.3.1.1 Influência do bloco	13
2.3.1.2 Influência da argamassa	14
2.3.1.3 Módulo de elasticidade do prisma e dos seus materiais constituintes	16
2.3.1.4 Espessura da junta	18
2.3.1.5 Tipo de assentamento	19
2.3.1.6 Relação altura/espessura	19
2.4 MATERIAIS EMPREGADOS	20
3 ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO	22
3.1 DEFINIÇÕES	22
3.2 FUNÇÕES E PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO	24
3.3 PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO	26

3.3.1	Trabalhabilidade	26
3.3.1.1	Consistência	29
3.3.1.2	Plasticidade	40
3.3.1.3	Coesão	42
3.3.1.4	Retenção de água	42
3.3.1.5	Teor de Ar Aprisionado	48
3.3.1.6	Deformabilidade da Junta Fresca	49
3.4	PROPRIEDADES DO ESTADO ENDURECIDO	50
3.4.1	Resistência à Compressão	50
3.4.2	Aderência	51
3.4.3	Resiliência e Módulo de Deformação	53
3.4.4	Durabilidade	54
3.5	MATERIAIS CONSTITUINTES DAS ARGAMASSAS	55
3.5.1	Considerações Iniciais	55
3.5.2	Cimento	55
3.5.3	Cal	56
3.5.4	Agregado Miúdo	57
3.5.5	Aditivos	60
3.5.6	Água	60
3.6	INFLUÊNCIA DOS MATERIAIS CONSTITUINTES NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS	62
3.7	TIPOS DE ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO	62
3.7.1	Argamassa de Cal	63
3.7.2	Argamassa de Cimento	64
3.7.3	Argamassa Mista de Cal e Cimento	64
3.7.4	Argamassa de Cimento com Aditivos	66
3.7.5	Argamassa de Cimento de Alvenaria	68
3.8	COMPOSIÇÕES RECOMENDADAS PELAS ESPECIFICAÇÕES NACIONAIS E INTERNACIONAIS	69

4 PROGRAMA EXPERIMENTAL 72

4.1	DEFINIÇÃO DO PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	72
4.2	DESENVOLVIMENTO DO EQUIPAMENTO PARA A AVALIAÇÃO DA TRABALHABILIDADE	73
4.2.1	Considerações Iniciais.....	73
4.2.2	Vicat Adaptado.....	74
4.2.3	GTec Teste	77
4.3	AVALIAÇÃO EM CAMPO.....	85
4.4	AVALIAÇÃO EM LABORATÓRIO.....	86
4.4.1	Considerações Iniciais.....	86
4.4.2	Definição das Argamassas Estudadas	87
4.4.3	Produção das Argamassas Estudadas e Características dos Materiais Empregados	91
4.4.4	Ensaio no Estado Fresco e Estado Endurecido	93
4.4.5	CONFECÇÃO E ENSAIO À COMPRESSÃO DOS PRISMAS	98
4.4.6	DETERMINAÇÃO DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADE DOS PRISMAS, DA JUNTA DE ASSENTAMENTO E DA ARGAMASSA	100
5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....		105
5.1	DESENVOLVIMENTO DO EQUIPAMENTO PARA A AVALIAÇÃO DA TRABALHABILIDADE	105
5.1.1	Vicat Adaptado.....	105
5.1.2	GTec Teste	110
5.2	AVALIAÇÃO EM CAMPO.....	119
5.3	AVALIAÇÃO EM LABORATÓRIO.....	123
5.3.1	Estudo Preliminar do Tempo de Mistura	123
5.3.2	Propriedades do Estado Fresco.....	128
5.3.3	Propriedades do Estado Endurecido	135
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....		150
6.1	CONCLUSÕES.....	150
6.2	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	155
7 REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA.....		156

ANEXO 1 – CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS DA AVALIAÇÃO DO VICAT ADAPTADO	164
ANEXO 2 - CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS DA AVALIAÇÃO DO GTEC TESTE	167
ANEXO 3 - CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS DA AVALIAÇÃO EM LABORATÓRIO	170
ANEXO 4 - CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS DO ESTUDO DO TEMPO DE MISTURA.....	173
ANEXO 5 – RESULTADOS DO ESTADO ENDURECIDO DA AVALIAÇÃO EM LABORATÓRIO.....	175

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - Esquema de distribuição de tensões na alvenaria.....	8
FIGURA 2.2 – Esquema dos equipamentos para medição de deformações do prisma e do bloco (CALÇADA, 1998; STEIL, 2003).....	17
FIGURA 3.1 – <i>Dropping ball</i> : (a) equipamento para o ensaio e (b) medida da profundidade....	32
FIGURA 3.2 – Tentativa de estabelecimento de correlação entre os resultados dos ensaios <i>dropping ball</i> modificado e índice de consistência (<i>flow table</i>) (CARASEK e DJANIKIAN, 1993).....	33
FIGURA 3.3 – Penetração do cone: (a) recipiente sendo preparado para o ensaio, (b) equipamento e o posicionamento do recipiente embaixo do cone e (c) o final do ensaio com a medida (BEALL, 1989).....	34
FIGURA 3.4 – Tentativa de estabelecimento de correlação entre os resultados dos ensaios penetração do cone e índice de consistência (<i>flow table</i>) (CARASEK e DJANIKIAN, 1993).....	36
FIGURA 3.5 – <i>Mo Meter</i> : (a) Esquema e (b) foto do equipamento (BOWLER, JACKSON e MONK, 1996).....	37
FIGURA 3.6 – <i>Conway test</i> : (a) recipiente preenchido com argamassa, (b) retirando o anel e (c) penetração do penetrômetro manual (BEALL, 1989).....	38
FIGURA 3.7 – O equipamento para medir trabalhabilidade AFNOR P18-452 (BOWLER, JACKSON e MONK, 1996).....	38
FIGURA 3.8 – Avaliação de consistência pelo <i>Consistor Baronnie</i> (LNEC Pa 10/1980): (a) consistências de 1 a 10 e (b) Consistência de 11 a 20.....	39
FIGURA 3.9 - Equipamento para ensaio de plasticidade de argamassa, também denominado Wuerpel modificado (MR – 13 da RILEM, 1982).....	41
FIGURA 3.10 – Equipamento utilizado para a retenção de água.....	47
FIGURA 3.11 – Resultados de medição em obra da espessura média da argamassa no assentamento de blocos vazados de concreto (ARAÚJO, 2001).....	49

- FIGURA 4.1** – Esquema do aparelho de Vicat Adaptado.....75
- FIGURA 4.2** - Simulação do assentamento do bloco de concreto: filete de argamassa (a), posicionamento do bloco superior (b) e determinação da junta resultante (c)..77
- FIGURA 4.3** - Esquema do equipamento utilizado no *GTec Teste*.....78
- FIGURA 4.4** – Seqüência da execução do *GTec Teste*: (a) aparelho *GTec* e assessorio; (b) zeragem da sonda; (c) detalhe da forma; (d) preenchimento da forma; (e) retirada das laterais da forma; (f) determinação da consistência *Lo*; (g) aplicação dos impactos da massa deslizante para a determinação da plasticidade e coesão; (h) leitura final do ensaio a 1cm com argamassa com coesão e (i) argamassa sem coesão quando atingida a leitura de 1cm.....81
- FIGURA 4.5** - Simulação do Assentamento: (a) colocação do filete de argamassa com o auxílio de uma colher canaleta, (b) filete de argamassa sobre o bloco de concreto, (c) posicionamento e assentamento do bloco de concreto e (d) medida da espessura da junta de argamassa submetida somente ao peso próprio do bloco.....82
- FIGURA 4.6** – Colher canaleta utilizada para a simulação do assentamento83
- FIGURA 4.7** – Pequeno estrangulamento do vazado do bloco quando do uso de filete de 2cm de argamassa83
- FIGURA 4.8** – Determinação da altura do filete de argamassa em campo: (a) assentador colocando o filete de argamassa, (b) retirada do material para um recipiente de volume conhecido, (c) medida do comprimento de argamassa e (d) medida da largura do filete.....86
- FIGURA 4.9** – Ensaio de deformabilidade da junta fresca: (a) medida da deformação da junta fresca da argamassa de assentamento; (b) colocação do filete de argamassa e (c) confecção dos prismas de 6 blocos.....94
- FIGURA 4.10** – Ensaio de resistência à tração na flexão96
- FIGURA 4.11** – Ensaio de resistência à compressão nos corpos-de-prova prismáticos de argamassa: (a) preparação do corpo-de-prova e (b) após o ensaio de resistência à compressão.....96

- FIGURA 4.12** – Ensaio de resistência a penetração de pino: (a) em argamassa e (b) detalhe da vista superior do corpo-de-prova prismático após o ensaio de penetração de pino.....97
- FIGURA 4.13** –Ensaio de resistência à compressão de pino (a) na junta de argamassa e (b) detalhe do ensaio na junta de argamassa.....97
- FIGURA 4.14** – Moldagem dos prismas destinados a resistência à compressão e a deformação99
- FIGURA 4.15** – Ensaio de resistência à compressão em prisma.....100
- FIGURA 4.16** – Anéis utilizados para a fixação dos relógios comparadores: (a) nos corpos-de-prova de argamassa e (b) nos prismas.....101
- FIGURA 4.17** – Equipamento de medição das deformações num corpo-de-prova de argamassa101
- FIGURA 4.18** – Equipamento de medição das deformações no prisma do conjunto bloco-argamassa e da deformação da junta de assentamento101
- FIGURA 4.19** – (a) Chapas coladas para a medida da deformação da junta do bloco de topo dos prismas que foram confeccionados e (b) esquema da posição escolhida para a fixação das chapas.....102
- FIGURA 4.20** – (a) Prisma posicionado para o ensaio preliminar da posição das chapas para medir a deformação das juntas de argamassa e (b) detalhe das chapas e do relógio comparador usado para medir a deformação lateral do bloco103
- FIGURA 4.21** – Equipamento de medida de deformação da junta utilizando dois relógios comparadores em prismas: (a) chapas pronta para ensaio e (b) chapas junto com os relógios para medida da deformação já instalados no prisma103
- FIGURA 5.1** - Índice de consistência *flow table* e leitura de Vicat adaptado para as argamassas empregadas.....107
- FIGURA 5.2** - Índice de consistência *flow table* x espessura da junta para as argamassas empregadas.....108
- FIGURA 5.3** - Espessuras das juntas obtidas para as argamassas industrializadas 1 e 2 com índices de consistência obtidos através do ensaio de *flow table*: (a) espessura da junta = 0,5cm com *flow table* de 226,9mm e (b) espessura da junta = 1,3cm com *flow table* de 225,0 mm108

FIGURA 5.4 - Vicat adaptado x espessura da junta para as argamassas empregadas.....	109
FIGURA 5.5 – Teor de ar incorporado (%) x Índice de Consistência <i>flow table</i> (mm)	111
FIGURA 5.6 – Exemplo da obtenção/cálculo do índice de plasticidade	113
FIGURA 5.7 – Espessura da junta (cm) x Índice de consistência <i>flow table</i> (mm)	114
FIGURA 5.8 – Espessura da junta (cm) x Leitura inicial do GTec Teste (cm)	115
FIGURA 5.9 – Número de golpes x Leitura inicial do GTec Teste (cm)	116
FIGURA 5.10 – Energia (J) x Água/Materiais Secos –H (%).....	117
FIGURA 5.11 – Espessura do filete (cm) x Energia (J).....	118
FIGURA 5.12 – Espessura do filete versus Energia das argamassas utilizadas em obra	122
FIGURA 5.13 - Resistência à compressão (colunas) e teor de ar incorporado (linhas) x tempo de mistura (misturador mecânico 1).....	125
FIGURA 5.14 – Resistência à compressão (colunas) e teor de ar incorporado (linhas) x tempo de mistura (argamassa industrializada 1- misturador mecânico 2).....	127
FIGURA 5.15 – Espessura do filete (cm) x Energia (J) das argamassas estudadas: (a) geral, (b) traço magro, (c) traço médio, (d) traço gordo e (e) argamassa industrializada	131
FIGURA 5.16 – Deformabilidade da junta fresca	133
FIGURA 5.17 – Deformabilidade da junta fresca: (a) argamassas com areia fina, (b) argamassas com areia média, (c) argamassas mistas com areia grossa e (d) argamassas industrializadas	134
FIGURA 5.18 – Resistência à compressão (em colunas) das argamassas, blocos e prismas e o fator de eficiência (em linhas)	136
FIGURA 5.19 – Diagrama tensão x deformação específica das argamassas mistas	138
FIGURA 5.20 – Diagrama tensão x deformação das argamassas industrializadas	139
FIGURA 5.21 – Diagrama tensão x deformação específica dos prismas com argamassas mistas com traço 1:0,7:5 (em volume).....	139
FIGURA 5.22 – Diagrama tensão x deformação específica dos prismas com argamassas mistas com traço 1:1:5 (em volume).....	140

FIGURA 5.23 – Diagrama tensão x deformação específica dos prismas com argamassas mistas com traço 1:1,3:5 (em volume).....	140
FIGURA 5.24 – Diagrama tensão x deformação específica dos prismas com argamassas industrializadas	141
FIGURA 5.25 – Diagrama tensão x deformação para juntas de argamassas mistas com traço 1:0,7:5 (em volume).....	142
FIGURA 5.26 – Diagrama tensão x deformação para juntas de argamassas mistas com traço 1:1:5 (em volume).....	142
FIGURA 5.27 – Diagrama tensão deformação para juntas de argamassas mistas com traço 1:1,3:5 (em volume).....	143
FIGURA 5.28 – Diagrama tensão x deformação para juntas de argamassas industrializadas ...	143
FIGURA 5.29 – Penetração de pino na junta de argamassa e em corpos-de-prova prismáticos (em coluna) juntamente com a resistência à compressão das argamassas (em linha)	147
FIGURA 5.30 – Correlação entre o inverso da penetração de pino e o inverso da resistência à compressão da argamassa.....	148
FIGURA 5.31 – Correlação entre a penetração de pino (cm) e a resistência à compressão (MPa)	149
FIGURA A3.1 – Curvas granulométricas das areias utilizadas	171

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 - Comparação dos fatores de eficiência de dois tipos distintos de argamassa que possuem resistência à compressão similar (STEIL e PRUDÊNCIO JR., 2002) ..16	16
TABELA 3.1 - Traço, índice de consistência e tipo de argamassa utilizados nos laboratórios ...31	31
TABELA 3.2 – Propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido (CUNHA, GUIMARÃES e CARASEK, 2001).....35	35
TABELA 3.3 - Conteúdo de finos da mistura seca (<0,075 mm) (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995).....41	41
TABELA 3.4 - Classificação das cales (GUIMARÃES, 1997)56	56
TABELA 3.5 – Variação nas propriedades de uma argamassa com a alteração da composição relativa de cimento e cal (SABBATINI, 1986)57	57
TABELA 3.6 – Limites granulométricos do agregado, NBR 7211 (1987).....58	58
TABELA 3.7 – Faixas granulométricas das areias para argamassas empregadas em alvenaria estrutural, segundo BS – 1200 e ASTM C - 14459	59
TABELA 3.8 – Influência das características granulométricas da areia nas propriedades das argamassas (SABBATINI, 1986)59	59
TABELA 3.9 – Limites máximos da qualidade da água a ser utilizada em argamassas segundo a NBR 8798 (1985).....61	61
TABELA 3.10 - Influência dos materiais nas propriedades da argamassa (Sabbatini, 1984).....62	62
TABELA 3.11 – Condições mínimas para dosagem não experimental da argamassa segundo a NBR 8798 (1985).....69	69
TABELA 3.12 – Exigências mínimas para argamassas NBR 8978 (1995)70	70
TABELA 3.13 – Traços para argamassa de assentamento de alvenaria estrutural proposto pela ASTM C 91 – em volume70	70
TABELA 3.14 – Especificação das propriedades das argamassas de cimento e cal, ASTM C 270-86b (1987)70	70

TABELA 3.15 – Traço da argamassa para assentamento de alvenaria estrutural proposta pela BS 5682 (1992) – em volume	71
TABELA 4.1 – Argamassas empregadas para a avaliação do método proposto – Vicat Adaptado	76
TABELA 4.2 – Quantidade de material utilizado para a produção das argamassas.....	84
TABELA 4.3 – Resumo das argamassas mistas com sua respectiva denominação	88
TABELA 4.4 – Argamassas produzidas.....	89
TABELA 4.5 – Tempos de mistura – misturador 1	89
TABELA 4.6 – Tempos de mistura no misturador mecânico 2	90
TABELA 4.7 – Denominação e teor de ar incorporado para a argamassa industrializada	91
TABELA 4.8 – Resumo das argamassas de assentamento estudadas.....	91
TABELA 4.9 – Quantidade de material utilizado para a produção das argamassas e tempo de mistura utilizado	92
TABELA 5.1 - Avaliação da trabalhabilidade da argamassa industrializada 1.....	106
TABELA 5.2 - Avaliação da trabalhabilidade da argamassa industrializada 2.....	106
TABELA 5.3 - Avaliação da trabalhabilidade da argamassa mista.....	107
TABELA 5.4 – Propriedades no estado fresco das argamassas estudadas	110
TABELA 5.5 – Avaliação da trabalhabilidade das argamassas de assentamento	112
TABELA 5.6 – Propriedades medidas em obra.....	120
TABELA 5.7 – Tipo de ferramenta para o assentamento, altura do filete, trabalhabilidade (GTec Teste) e opinião do assentador sobre a argamassa utilizada nas 3 obras estudadas	121
TABELA 5.8 - <i>Flow table</i> , massa específica, teor de ar incorporado e resistência à compressão - misturador mecânico 1	124
TABELA 5.9 - Propriedades da argamassa industrializada 1 quando produzida como o misturador mecânico 2.....	126
TABELA 5.10 – Propriedades do estado fresco das argamassas analisadas em laboratório	129

TABELA 5.11 – Porcentagem da espessura da junta em relação à espessura inicial para as argamassas estudadas, determinadas à medida que se assentavam novas fiadas	133
TABELA 5.12 – Propriedades do estado endurecido	135
TABELA 5.13 – Penetração média dos pinos e resistência à compressão das argamassas estudadas	145
TABELA A1.1 - Características das argamassas industrializadas e do agregado miúdo	165
TABELA A1.2 - Características do cimento CP II-Z 32	165
TABELA A1.3 - Características da cal hidratada	166
TABELA A1.4 - Características do bloco de concreto empregado na avaliação da qualidade das argamassas para assentamento.....	166
TABELA A2.1 – Características dos agregados miúdos das diferentes argamassas	168
TABELA A2.2 - Características do cimento CP II-Z 32	168
TABELA A2.3 – Propriedades da cal	169
TABELA A2.4 – Características dos blocos de concreto	169
TABELA A3.1 - Características dos agregados miúdos	171
TABELA A3.2 - Características do cimento CP II-F 32.....	172
TABELA A3.3 - Características da cal hidratada CH III.....	172
TABELA A4.1 - Características das argamassas industrializadas e do agregado miúdo	174
TABELA A4.2 - Características do cimento CP II-Z 32	174
TABELA A4.3 - Características da cal hidratada.....	174

RESUMO

O uso da alvenaria estrutural de blocos de concreto tem sido crescente no Brasil nos últimos anos, principalmente por aumentar a produtividade nas construções, ao permitir sua racionalização e proporcionar uma maior rapidez de execução. Nesta busca por racionalização dos processos, a utilização de novos materiais tais como argamassas industrializadas, tem também aumentando significativamente. No entanto, a influência das argamassas de assentamento no desempenho das alvenarias estruturais não tem sido corretamente compreendida e o conhecimento de suas propriedades negligenciado, levando à ocorrência de problemas em obra devido ao uso incorreto desse material. Neste contexto, o trabalho aqui proposto tem por objetivo avaliar o desempenho, as características e as propriedades, no estado fresco e endurecido, de argamassas mistas e industrializadas para assentamento de blocos de concreto utilizadas em alvenaria estrutural. As propriedades no estado fresco foram avaliadas através dos ensaios preconizados pelas normas. Porém por esses não produzirem subsídios suficientes para a avaliação da trabalhabilidade das argamassas de assentamento foram propostos os ensaios de Vicat Adaptado e GTec Teste, sendo a eficiência desses testada em laboratório e, do último, também em obra. Já as propriedades no estado endurecido foram analisadas em corpos-de-prova e prismas de blocos de concreto visando distinguir o desempenho dos tipos de argamassa de assentamento. A avaliação da trabalhabilidade a partir do GTec Teste mostrou eficiência e confiabilidade. Além disso, os resultados obtidos das propriedades no estado fresco puderam ser relacionados com as do estado endurecido, mostrando-se claramente a sua influência no desempenho das argamassas de assentamento como junta de alvenaria. Observou-se uma diferença significativa dos tipos de argamassa, principalmente no fator de eficiência e na resistência à compressão das juntas de alvenaria. Os valores encontrados de resistência à compressão de argamassa em corpos-de-prova cilíndricos 5x10cm superestimam o valor da resistência na junta para a argamassa industrializada e subestimam para as argamassas mistas. As argamassas mistas apresentaram desempenho superiores à argamassa industrializada empregada.

ABSTRACT

The use of the structural masonry of concrete blocks has been increasing in Brazil in recent years, mainly for increasing the productivity of the constructions, by allowing its rationalization. In the search for rationalization of the processes, the use of new industrialized materials such as prepackaged mortar, also has increasing significantly. The influence of bedding mortars on the performance of the structural masonry is not correctly understood and the knowledge on the properties neglected, leading to the occurrence of problems in buildings due to the incorrect use of this material. In this context, this work evaluates the performance, the characteristics and the properties, in plastic and hardened state, of different types of mortar used in structural masonry of concrete blocks. The properties of mortar in plastic state were evaluated through the standard test. However for these not to produce enough subsidies for the evaluation of the workability of masonry bedding mortar new test methods were proposed (Modified Vicat Test and GTec Test) the efficiency of such tests were evaluated in laboratory and, for the last one, also in construction site. The properties of mortars in hardened state were analyzed in both mortar specimens and prisms of concrete blocks aiming at distinguishing the performance of the different types of mortar. The results obtained using GTec Test had shown its efficiency and reliability for the evaluation of the workability. Moreover, the obtained results of the properties of mortars in the plastic state were correlated with the ones in hardened state, showing clearly its influence on the performance of masonry bedding mortars. A significant difference of the types of mortar was observed, mainly in the efficiency factor and the compressive strength of the bedding mortar. The compressive strength of mortar obtained in standard specimens overestimates the strength in bedding joints for the prepackaged mortar and underestimates it for cement-lime based mortars. In this study, the best performance was verified in cement-lime based mortar.

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A alvenaria estrutural é o sistema construtivo mais antigo encontrado na história das civilizações. Existem obras em alvenaria que ainda hoje permanecem íntegras, como as pirâmides do Egito, a muralha da China e as grandes catedrais.

Segundo Childe (apud GALLEGOS, 1989), é possível que a alvenaria tenha sido inventada quando nômades, há 15.000 anos, precisaram de refúgios naturais para se proteger do frio, de animais e, ao mesmo tempo, ter um lugar onde estocar seus alimentos. Estes refúgios eram formados mediante o empilhamento de pedras simplesmente por justaposição, técnica que permaneceu durante muitos anos devido à lentidão na transmissão das idéias ou ressurgimento de novas técnicas.

O passo seguinte nesta evolução, seguramente, foi a utilização de argamassas de barro. Desta forma conseguia-se uma melhor acomodação das pedras e permitia-se substituir o empilhamento de pedras simples por um assentamento mais fácil e de maior altura, trazendo implícitas outras vantagens como melhor proteção dos ventos e chuvas, além do ganho na resistência e estabilidade da moradia (SOLÓRZANO, 1994).

O primeiro uso de argamassas de assentamento em alvenarias, como elemento de ligações, melhorando a estanqueidade da estrutura, é da época do Império Romano. Com o uso de pequenos tijolos mais fáceis de manusear, possibilitou-se a construção de arcos e abóbadas. Inicialmente, este povo utilizou o barro como material ligante entre as unidades de pedra ou tijolos, sendo introduzida posteriormente a cal. A utilização do cimento Portland se deu no início século XX, por volta de 1920, e trouxe uma série de melhorias nas propriedades das argamassas,

tais como aderência, a resistência e a durabilidade. A trabalhabilidade, no entanto, foi mantida com o uso em conjunto da cal com o cimento (LA ROVERE, 1997).

Num primeiro momento, a argamassa para assentamento era utilizada com a função de preenchimento das irregularidades das superfícies dos blocos. Posteriormente, além da vedação da junta contra a penetração de ar e água, admitiu-se a importância da argamassa na ligação entre os elementos de alvenaria, tornando o conjunto monolítico. Atualmente, várias são as funções atribuídas à argamassa de assentamento (SOLÓRZANO, 1994).

Segundo Solórzano (1994), existe muita polêmica sobre o mecanismo e o nível de influência que a argamassa tem no desempenho da parede. Nesta polêmica, alguns autores atribuem uma dependência majoritária do desempenho da alvenaria ao bloco, especialmente na resistência à compressão, relegando o papel da junta de argamassa. Outros dão ênfase à influência da aderência bloco-argamassa ou mesmo a características intrínsecas da argamassa. Porém, muitos fatores interferem e só poderão ser equacionados através de inúmeras pesquisas nesta área.

A avaliação do conjunto dos componentes básicos da parede de alvenaria, o bloco e a junta de argamassa, desde sua fabricação até o momento em que faz parte da parede estrutural, leva a resultados mais confiáveis e permite entender melhor o comportamento do edifício de alvenaria como um todo. A tendência de grande parte das pesquisas no campo da alvenaria estrutural, está direcionada à obtenção do melhor desempenho da parede, tanto no aspecto estrutural como no funcional. Entretanto, este desempenho potencial não tem sido utilizado em toda a sua extensão em prédios de alvenaria estrutural pelo ainda incompleto conhecimento das propriedades das unidades e argamassas (MOHAMAD, 1998).

Segundo Camacho (1986), um dos principais motivos desse desconhecimento generalizado do meio técnico deve-se ao fato de que, no Brasil, a construção dessas obras antecedeu às pesquisas na área, invertendo completamente o processo desejável.

A utilização de todo o potencial da alvenaria só será possível através do maior conhecimento das características dos componentes e, principalmente, da maneira correta de sua aplicação. Acredita-se que a necessidade de realização de estudos sobre os materiais e o comportamento estrutural do elemento parede de alvenaria é essencial e urgente para o desenvolvimento de normalização nacional específica e coerente com o contexto nacional (SABBATINI, 1984).

Dentre os fatores que afetam a resistência a esforços mecânicos da parede, alguns correspondem

às características e propriedades da argamassa utilizada, como por exemplo, a sua capacidade de aderência, sua capacidade de absorver deformações e a retenção de água, entre as mais importantes. Alguns destes fatores, às vezes, dependem do processo de produção da argamassa e outros, encontram-se condicionados à variação das características dos materiais, proporções, mistura e precisão dos serviços (SOLÓRZANO, 1994).

Embora as argamassas representem apenas 7% do total do volume da alvenaria, sua influência no desempenho é muito mais acentuada do que essa porcentagem possa indicar (BEALL, 1987; SCHUMACHER, 1997; HENDRY, 1981 e TALY, 2001). A argamassa de assentamento tem influência no desempenho estrutural e no desempenho funcional da parede.

Atualmente, no Brasil, observa-se nas construções de alvenaria estrutural a existência de uma série de problemas relacionados às argamassas de assentamento como, por exemplo, de concepção, de racionalização, de normalização, de controle e patológicos. Uma das origens dos problemas patológicos é o emprego inadequado dessas argamassas.

Segundo Solórzano (1994), o estudo das argamassas de assentamento para alvenaria estrutural deve ser feito considerando-se não o material argamassa mas sim o componente junta de argamassa. Esta forma de estudo permite analisar as argamassas inseridas no processo construtivo e considerar fatores muitas vezes não relacionados com as características dos materiais que estas argamassas empregam, como por exemplo, a influência da mão-de-obra. Para determinação da adequabilidade da argamassa, deve-se avaliá-la em ensaios conjuntamente com os blocos (MEDEIROS, 1993).

O surgimento de novos materiais com o objetivo de aumentar a produtividade e diminuir a responsabilidade na dosagem de uma argamassa de qualidade no canteiro têm levado grandes construtoras a optarem pela utilização de argamassas industrializadas no assentamento de blocos de concreto (ARAÚJO, 2001). No entanto, poucos trabalhos têm sido realizados para sanar as dúvidas sobre o comportamento dessas argamassas.

Neste contexto, o estudo proposto preocupou-se em avaliar o comportamento dos diferentes tipos de argamassas de assentamento (industrializadas e mistas de cimento e cal) para alvenaria estrutural de blocos de concreto, verificando o desempenho das propriedades no estado fresco e no estado endurecido, assim como o desempenho do conjunto bloco e junta de argamassa, através da confecção de prismas de blocos de concreto submetido à compressão simples.

A opção por trabalhar-se exclusivamente com alvenarias de blocos de concreto deve-se ao fato de que o desempenho das argamassas de assentamento é afetado pelo tipo de unidade de alvenaria empregado. Como, no Brasil, é nítida a preferência pelo uso de blocos de concreto para a construção de edifícios em alvenaria estrutural, por motivos técnicos e econômicos, decidiu-se concentrar a pesquisa realizada com este tipo de unidade de alvenaria.

1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal deste trabalho é avaliar o comportamento das argamassas de cimento com aditivos (industrializadas) e mistas (cimento e cal) para assentamento de blocos de concreto para alvenaria estrutural e o comportamento mecânico de prismas de blocos de concreto confeccionados com estas argamassas.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos são:

1. Desenvolver um equipamento para avaliar a trabalhabilidade de argamassas em obra e em laboratório, tentando reproduzir no ensaio, ao máximo, o processo de assentamento de blocos de concreto;
2. Avaliar e comparar os resultados dos ensaios realizados com o equipamento proposto e aqueles obtidos com o método de índice de consistência (*flow table test*) comumente utilizado;
3. Correlacionar o método proposto com o assentamento de bloco de concreto;
4. Verificar o efeito do tempo de mistura nas argamassas industrializadas para assentamento, contendo aditivos incorporadores de ar, na consistência (*flow table*), na resistência à compressão e no processo de assentamento;
5. Comparar o desempenho dos diferentes tipos de argamassa estudadas;

6. Avaliar as propriedades no estado fresco das argamassas estudadas relacionadas com sua trabalhabilidade: consistência, retenção de água, teor de ar incorporado, massa específica e deformabilidade da junta fresca;
7. Verificar, no estado endurecido, a resistência à compressão, módulo de deformação e resistência à penetração de um pino na junta de argamassa e em corpos-de-prova para os diferentes tipos de argamassas de assentamento em estudo; e
8. Comparar o comportamento mecânico de prismas de bloco de concreto submetidos à compressão axial para os diferentes tipos de argamassas, avaliando o fator de eficiência e módulo de deformação da junta de argamassa e do prisma.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está dividida em seis capítulos. O primeiro, introdução, traz um breve histórico referente à argamassa de assentamento no Brasil e no mundo, assim como justificativa para o desenvolvimento deste trabalho, objetivos e sua estruturação. O segundo capítulo traz o comportamento da alvenaria estrutural enfatizando o papel representado pela argamassa de assentamento. No capítulo 3 tem-se a conceituação das argamassas de assentamento, suas funções, propriedades, os materiais constituintes e os tipos mais comumente empregados. O capítulo 4 descreve todos os procedimentos utilizados no programa experimental desenvolvido, abordando os materiais utilizados, suas características, moldagem dos corpos-de-prova e os ensaios realizados. No capítulo seguinte são apresentados e discutidos os resultados do programa experimental apresentado. Finalmente, no capítulo 6, conclusões são apresentadas a respeito do que foi desenvolvido no penúltimo capítulo e são também apresentadas sugestões de trabalhos para dar continuidade ao estudo realizado.

2 ALVENARIA ESTRUTURAL

2.1 DEFINIÇÕES BÁSICAS

A alvenaria é definida com um conjunto de unidades de alvenaria (no caso os blocos ou tijolos) dispostas em camadas e unidas entre si por juntas de argamassas, formando um conjunto rígido. Esta alvenaria pode ser de vedação e/ou possuir funções estruturais.

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo onde a parede atua como elemento resistente da estrutura e, ao mesmo tempo, como vedação. Essas paredes são elementos portantes compostas por unidades de alvenaria, unidas por juntas de argamassas capazes de resistirem a outras cargas além de seu peso próprio sendo dimensionadas por meio de cálculos racionais, diferindo-se, assim, da alvenaria resistente que é calculada empiricamente (PRUDÊNCIO JR., OLIVEIRA e BEDIN, 2002).

Além das funções estruturais, a alvenaria estrutural tem a propriedade de resistir a impactos, garantir a vedação, estanqueidade e conforto térmico e acústico da obra (ARAÚJO, 2001).

A alvenaria estrutural não armada de blocos vazados de concreto, abordada neste estudo, é aquela constituída de blocos assentados com argamassas podendo conter armaduras com finalidade construtiva ou de amarração, não consideradas na absorção dos esforços calculados, segundo a NB 1228 (1989). Esse tipo de alvenaria é composto de elementos estruturais que possuem funções distintas, mas juntos proporcionam estabilidade à estrutura.

Em um edifício, as paredes de alvenaria devem ser dimensionadas para resistirem basicamente a quatro tipos de esforços: compressão, cisalhamento, flexão no plano e flexão fora do plano da alvenaria. Sem dúvida, o tipo de solicitação mais importante é a compressão, pois este é o tipo de

esforço ao qual a alvenaria estrutural não-armada apresenta melhor resistência (PRUDÊNCIO JR., OLIVEIRA e BEDIN, 2002). Por este motivo a resistência à compressão é tão estudada. Os principais parâmetros de projeto levam em conta tal propriedade, o que faz com que receba especial atenção. Além disso, La Rovere (1997) lembra que a alvenaria é material frágil, com resistência à compressão muito maior que a resistência à tração e deve-se tirar proveito dessa resistência.

Hendry (1981) enumera uma série de fatores que exercem comprovadamente influência na resistência à compressão da alvenaria: resistência da unidade (blocos e tijolos), geometria da unidade, resistência da argamassa, deformação característica da unidade, deformação característica da argamassa, espessura da junta, sucção das unidades e retenção de água das argamassas.

Alguns destes fatores como as características dos blocos ou tijolos, são fixados no projeto e determinados no processo de manufatura, enquanto outros, como as propriedades da junta de argamassa, são susceptíveis às variações dos materiais constituintes, precisão de produção e execução (MEDEIROS, 1993).

Segundo o mesmo autor, nem todos os fatores possuem mesma importância. Sendo assim, a avaliação dos efeitos de cada um na resistência final da alvenaria deve ser considerada sob o espectro do mecanismo de ruptura da alvenaria submetida à compressão.

Para um melhor entendimento do comportamento estrutural da alvenaria sujeita a esforços de compressão, é necessário compreender dois pontos fundamentais. Primeiramente deve-se analisar o mecanismo de ruptura da alvenaria quando submetido a este tipo de esforço. Em segundo lugar, deve-se estudar como a resistência à compressão de uma alvenaria pode ser determinada. Estes dois aspectos serão abordados nos próximos itens.

2.2 MECANISMO DE RUPTURA DA ALVENARIA NÃO-GRAUTEADA

Segundo La Rovere (1997), a diferença básica entre a alvenaria estrutural não-grauteada e outros materiais quando submetidos à compressão axial deve-se à presença de camadas horizontais de

diferentes materiais. A diferença nas propriedades de deformabilidade entre o bloco e a argamassa induz o aparecimento de tensões laterais que provocam a ruptura do material.

Priestley e Yuk (1984) descrevem o mecanismo de ruptura da alvenaria não-grauteada da seguinte forma: quando a alvenaria é submetida à compressão, a argamassa, por ser mais flexível que o bloco, tende a se expandir lateralmente, mas o atrito na interface bloco/argamassa restringe esta deformação. Devido a isto surgem tensões de compressão lateral na argamassa e, para que seja mantido equilíbrio de tensões, o bloco fica sujeito a tensões de tração. Como a resistência à tração dos blocos é pequena, a ruptura da alvenaria ocorre sob um estado biaxial de tração e uniaxial de compressão que é caracterizado pela fissuração vertical perpendicular às tensões de tração nos blocos.

Segundo Prudêncio Jr., Oliveira e Bedin (2002), quando se aplica a compressão na alvenaria, a junta de argamassa (que é normalmente mais deformável do que a unidade) por efeito de Poisson, tende a se deformar transversalmente mais do que a unidade. Como os dois materiais estão aderidos, são forçados a se deformarem igualmente em suas interfaces. Com isto, aparece um esforço de compressão transversal no topo e na base das juntas e um esforço de tração também transversal, de igual magnitude, nas faces superiores e inferiores das unidades (Figura 2.1).

Na Figura 2.1 pode-se observar um esquema desta distribuição de tensões.

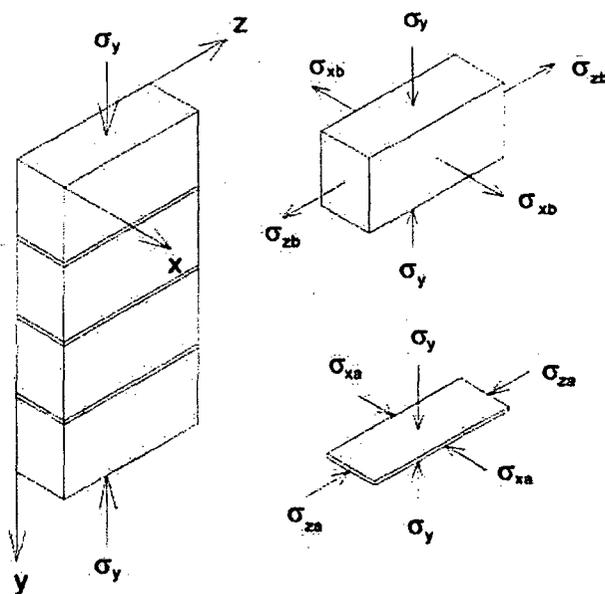


FIGURA 2.1 - Esquema de distribuição de tensões na alvenaria

Este comportamento explica uma série de fenômenos conhecidos da alvenaria estrutural (PRUDÊNCIO JR., OLIVEIRA e BEDIN, 2002):

- a) quanto maior a espessura de junta, menor é a resistência da alvenaria: isto ocorre porque aumenta o esforço de tração transversal na unidade, fazendo-a romper com cargas de compressão mais baixas;
- b) quanto menor a altura da unidade, menor é a resistência da alvenaria: tijolos que possuam altura pequena, proporcionam alvenarias com menor resistência do que a daquelas confeccionadas com unidades de maior altura (blocos). Isto se deve à menor seção transversal da unidade que resiste ao esforço de tração e ao fato de que, quanto maior a altura, mais o bloco se deforma transversalmente e menor será a tensão transversal gerada na interface bloco/argamassa;
- c) quanto maior o módulo de deformação das unidades, menor é a resistência da alvenaria: como o módulo de deformação da junta de argamassa é geralmente baixo, unidades muito rígidas fazem com que a tensão de tração na interface bloco/junta aumente;
- d) a resistência da alvenaria pode ser maior do que a da argamassa da junta: na realidade, quando um corpo-de-prova de argamassa é ensaiado isoladamente, ele está sob um estado uniaxial de compressão e é necessário um menor carregamento para romper do que quando está confinado lateralmente (argamassa na junta) (DRYSDALE et al., 1993);
- e) a resistência da alvenaria dificilmente ultrapassa a resistência da unidade: isto acontece devido à tensão de tração transversal que ocorre nas extremidades das unidades quando a alvenaria está sujeita à compressão, reduzindo-se a carga necessária para rompê-las, se comparada com a carga de um ensaio de resistência da unidade isolada, que está submetida a um confinamento em suas extremidades devido ao atrito dos pratos da prensa;
- f) um incremento da resistência à compressão da argamassa normalmente não implica em um aumento significativo da resistência da alvenaria: isto ocorre porque o módulo de deformação da argamassa não aumenta na mesma proporção que a sua resistência à compressão, fazendo com que o estado de tensões na unidade, que geralmente causa o colapso da alvenaria sob compressão, mantenha-

se quase inalterado; e

- g) para um mesmo material constituinte e uma mesma geometria, quanto maior a resistência à compressão da unidade, maior é a resistência à compressão da alvenaria: um aumento da resistência à compressão da unidade faz com que sua resistência à tração transversal cresça, aumentando diretamente a resistência da alvenaria.

Sabbatini (1984), analisando o mecanismo de ruptura da alvenaria na compressão, identifica os seguintes fatores influentes:

- resistência da junta de argamassa;
- resistência de aderência do conjunto (argamassa-bloco). Por conseguinte: sucção inicial dos elementos, retenção de água da argamassa, qualidade da mão-de-obra, condições de cura;
- características da unidade e da junta de argamassa;
- espessura e disposição das juntas (padrão de assentamento das unidades); e
- formato, dimensões, existência de vazios e tolerâncias dimensionais das unidades de alvenaria.

2.3 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DA ALVENARIA

A resistência à compressão da alvenaria pode ser determinada por quatro maneiras: através de ensaio de paredes, de ensaio de prismas e paredinhas, de equações empíricas e de equações analíticas. Nos ensaios de paredes e prismas existe a vantagem de serem realizados com os mesmos materiais da obra, o que não ocorre no caso das equações empíricas, que normalmente não levam em conta todas as variações possíveis dos materiais; além disso, envolvem propriedades dos materiais difíceis de serem determinadas.

Vários autores tentaram deduzir expressões que relacionassem a resistência da alvenaria com a resistência de blocos e argamassas. Estas fórmulas tiveram origem em dados experimentais

particularizados e por isso geralmente não apresentam coerência entre si (MEDEIROS, 1993). Segundo Sabbatini (1984), a utilização de equações empíricas seria uma excelente opção se os ensaios através das quais fossem geradas envolvessem todas as variáveis possíveis das propriedades dos materiais. Prudêncio Jr. (1994) reitera a afirmação de que as equações empíricas propostas não devem ser generalizadas.

O ensaio de parede é a maneira mais segura de se obter a resistência da alvenaria sob a ação de qualquer tipo de carregamento, não sendo muito utilizado, pois necessita de vários equipamentos de grande porte para a realização dos ensaios à compressão. Já ensaios de prismas e paredinhas são os mais utilizados pelo meio técnico pois podem ser facilmente ensaiados à compressão em qualquer laboratório que tenha uma prensa de porte médio além de, como comentado anteriormente, serem realizados com os mesmos materiais que serão utilizados em obra.

Sabbatini (1984) considera o ensaio de prisma uma opção mais econômica que o ensaio de parede, mas ressalta que sua utilização exige o conhecimento perfeito da correlação entre a resistência de prisma e de parede.

2.3.1 O Ensaio de Prismas

Prismas são corpos-de-prova constituídos de dois ou mais blocos unidos entre si por juntas de argamassa, tendo seus vazios preenchidos ou não por graute. Usualmente os prismas se caracterizam geometricamente por uma unidade de comprimento, uma unidade de largura e altura entre 1,5 e 5 vezes a largura.

Segundo Ramamurthy e Ganesan (1992), os ensaios de prismas são os preferidos pelas normalizações para inferir a resistência da alvenaria, pois consideram o efeito da presença da junta de argamassa, do prumo e da qualidade da mão-de-obra, são viáveis de serem realizados em quase todas as prensas próprias para ensaio de cilindros de concreto e têm custo bastante inferior ao ensaio de paredes.

A norma brasileira NBR 8215 descreve o equipamento e os procedimentos que devem ser seguidos na realização do ensaio. São propostos dois métodos para moldagem: A e B. O primeiro é dirigido à realização de estudos comparativos laboratoriais e o método B é destinado ao

controle de obras. Em ambos os casos, os prismas devem ter duas unidades de altura e ser confeccionados com junta a prumo contendo argamassa em toda a seção transversal do bloco. A resistência à compressão da alvenaria é expressa em relação à área bruta e é resultado da média do ensaio de três prismas.

É importante observar que a norma brasileira recomenda prismas com duas unidades de altura, o que levaria a resistência superior a uniaxial de compressão devido ao confinamento dos pratos da prensa, ou seja, contra a segurança. Então, para garantir que a ruptura aconteça por compressão axial, recomenda-se confeccionar prismas com três unidades de altura (LA ROVERE, 1997).

Segundo Oliveira (2000), uma analogia pode ser feita entre o corpo-de-prova cilíndrico de concreto sujeito à compressão simples e os prismas de alvenaria estrutural, sendo que o primeiro não simula um pilar, uma viga ou uma laje e o segundo não simula uma parede de alvenaria estrutural. Os seus resultados representam o índice de qualidade da peça estrutural em questão, pois normalmente tais corpos-de-prova rompem com tensões maiores do que as tensões reais de ruptura das peças estruturais em ensaios à compressão.

Segundo Cheema e Klingner (1986), os modos de ruptura dos prismas não grauteados são:

- Tração no bloco, onde a tensão de tração principal no bloco é maior que a resistência à tração do bloco;
- Esmagamento do bloco, onde a tensão principal de compressão no bloco é maior que a resistência à compressão do bloco; e
- Esmagamento da argamassa, onde a tensão de compressão axial na argamassa é maior que a resistência da argamassa confinada.

Muitos são os fatores que influenciam na resistência à compressão dos prismas, já que estes apresentam um comportamento de material compósito. A maioria deles apresenta na parede a mesma interferência observada em prismas (KHALIFA e MAGZOUB, 1994).

Pode-se dividir estes fatores em dois grupos: aqueles que têm relação com as características dos materiais empregados e os que são decorrentes da construção (PRUDÊNCIO JR., 1994). A seguir será apresentada e explicada a influência dos fatores mais importantes.

2.3.1.1 Influência do bloco

A resistência à compressão dos blocos é a principal determinante na resistência final dos prismas. Entretanto, como o mecanismo de ruptura do prisma é diferente do mecanismo de ruptura da unidade, pois outros fatores como a geometria, absorção e resistência à tração das unidades também influenciam na sua resistência.

Basicamente, se todas as outras variáveis permanecessem constantes, um aumento na resistência do bloco resultaria em aumento na resistência do prisma. Mas esta relação não é linear e, para blocos com elevada resistência, a variação de ganho da resistência no prisma se torna menor. Drysdale et al. (1993) e Oliveira (2000) reiteram que o aumento da resistência dos prismas está ligado diretamente ao ganho de resistência à tração do bloco decorrente do aumento de sua resistência à compressão. Camacho (1986) cita que a resistência à compressão da alvenaria varia aproximadamente com a raiz quadrada da resistência da unidade.

Através de análise de prismas pelo método dos elementos finitos, pesquisadores concluíram que a geometria do bloco é um outro fator que também tem grande influência na resistência dos prismas (GANESAN e RAMAMURTHY, 1992; STEIL e PRUDÊNCIO JR., 2002). Steil e Prudêncio Jr. (2002) verificaram ainda uma correlação entre os resultados experimentais e os obtidos na modelagem. Neste trabalho, geometrias que apresentaram os menores fatores de eficiência foram aquelas que apresentaram as maiores tensões de tração na face do prisma.

A resistência do prisma é geralmente inferior à do bloco, não só pela presença da junta de argamassa, mas também pela esbelteza dos elementos ensaiados que altera a forma de ruptura. O bloco, quando ensaiado sozinho, não está sob estado de compressão-tração como no prisma e sim sob estado triaxial de compressão, ou seja, confinado pelo efeito dos pratos da prensa (CALÇADA, 1998).

A altura do bloco tem influência na resistência da alvenaria pois, para blocos de mesmo módulo de elasticidade, quanto mais altos os blocos maiores serão as suas deformações e, como consequência, menores serão as tensões de tração lateral neles geradas (PRUDÊNCIO JR., 1994).

2.3.1.2 Influência da argamassa

A resistência da argamassa não é tão significativa para a resistência da alvenaria quanto a resistência do bloco. Segundo a maioria dos autores, variações expressivas na resistência da argamassa alteram muito pouco a resistência de prismas e paredes.

É importante notar que uma grande resistência à compressão da argamassa não é necessariamente sinônimo de uma melhor solução estrutural. A argamassa deve ser resistente o suficiente para suportar os esforços a que a parede será submetida. No entanto, não deve exceder a resistência do bloco da parede, de maneira que as fissuras que venham a ocorrer devido às movimentações térmicas ou outros movimentos da parede ocorram na junta (MOHAMAD, 1998).

Dessa forma, Mohamad (1998) concluiu que deve haver uma compatibilidade entre a argamassa e o tipo de bloco, recomendando que a resistência à compressão da argamassa fique entre 0,7 e 1 vez a resistência do bloco na área bruta. Esta recomendação também é ratificada por Prudêncio Jr. (1994), ao afirmar que uma das principais funções das junta de argamassa é compensar o efeito de pequenas deformações do conjunto, sendo então necessário que seja menos rígida que os blocos e, como consequência, menos resistentes.

No entanto, argamassas muito fracas podem provocar a ruptura da alvenaria por seu esmagamento. Também a resistência da junta de argamassa é sempre superior àquela obtida por ensaios de cilindros, já que a alvenaria sofre a ação de tensões de confinamento (LA ROVERE, 1997; SABBATINI, 1984; MOHAMAD, 1998). Por este motivo, Sabbatini (1984) considera a resistência à compressão da argamassa, avaliada individualmente para medir o comportamento da junta, como apenas um indicativo.

Sabbatini (1984) explica que o aumento observado na resistência da alvenaria com a utilização de argamassas mais resistentes é consequência da menor deformabilidade destas últimas.

Considerando-se um mesmo tipo de argamassa, um aumento de resistência à compressão não implica em um aumento substancial na resistência da alvenaria. Steil e Prudêncio Jr. (2002) quando utilizaram uma argamassa de 1:0,5:3,75 (cimento:cal:areia), em volume e areia seca, com resistência média à compressão de 9,47 MPa, a resistência da alvenaria aumentou apenas

8,8% em relação a obtida com a argamassa de 1:1:5, em volume e areia seca, com resistência média de 5,32 MPa. Deve ser observado que, no exemplo citado, a resistência da argamassa aumentou 78%.

Este fato também foi observado por vários outros autores entre eles Cunha, Guimarães e Carasek (2001) onde independentemente da argamassa utilizada, a variação do fator de eficiência (relação entre a resistência da alvenaria e das suas unidades constituintes) é pequena comparada com a variação da resistência da argamassa. Nesse estudo um aumento de mais de 400% na resistência da argamassa provocou aumentos de menos de 20% no fator de eficiência do prisma.

Embora a resistência à compressão da alvenaria possa ser incrementada pelo o uso de uma argamassa mais resistente, esse incremento não é linear. Testes indicaram que paredes resistiram apenas 10% a mais quando a argamassa aumentou 130% da sua resistência. Esse incremento na resistência à compressão da argamassa não é econômico. Por isso, é recomendado o uso de argamassa com apenas o mínimo requerido em projeto para a resistência à compressão (BEALL, 1987).

Apesar disto, a NBR 8798 (1985) estabelece que a resistência à compressão da argamassa para alvenaria estrutural de blocos de concreto deve ser superior a 9 MPa, ou ao valor definido no projeto pelo calculista. Contudo, considera-se inadequado o estabelecimento de uma resistência à compressão mínima como parâmetro de projeto que não leve em conta o tipo de argamassas utilizado. Para ilustrar esta afirmação, na Tabela 2.1 são apresentados os resultados de um estudo realizado por Steil e Prudêncio Jr. (2002) onde são comparados os fatores de eficiência obtidos com diferentes tipos de blocos e dois tipos de argamassas.

Os resultados encontrados por estes autores mostram que, apesar da resistência à compressão dos dois tipos de argamassas serem muito próximas, os fatores de eficiência obtidos diferem significativamente entre si. Os prismas produzidos com a argamassa industrializada apresentaram resistência em média 18,4% inferior à daqueles produzidos com a argamassa mista de cal e areia. Cabe aqui ressaltar que este comportamento inferior ao das argamassas com cal foi obtido para um tipo específico de argamassa industrializada, não podendo, portanto, ser generalizado.

TABELA 2.1 - Comparação dos fatores de eficiência de dois tipos distintos de argamassa que possuem resistência à compressão similar (STEIL e PRUDÊNCIO JR., 2002)

Tipo	Bloco		Argamassa 1:1:5 (cim:cal:areia)		Argamassa Industrializada		
	F _{b28} (MPa)	F _{a28} (MPa)	F _{prisma28} (MPa)	Fator de Eficiência	F _{a28} (MPa)	F _{prisma28} (MPa)	Fator de Eficiência
1	6,86	5,07	6,28	0,92	4,66	5,27	0,77
2	9,31	5,60	7,60	0,82	4,99	6,64	0,71
3	8,07	5,60	6,12	0,76	4,99	4,83	0,60
4	10,14	4,9	7,8	0,75	5,80	5,77	0,57
5	6,99	5,44	5,33	0,76	6,41	4,36	0,62
Média	-	5,32	-	-	5,37	-	-

No estudo realizado por Steil e Prudêncio (2002) não foi encontrada diferença significativa entre as resistências à compressão das argamassas, pois esta geralmente é determinada pelo ensaio de corpos-de-prova cilíndricos 5x10cm e dependem fundamentalmente da relação água/cimento. Entretanto, deve ser enfatizado que o valor obtido não representa a resistência do material aplicado, uma vez que a quantidade de água que permanece no material após o assentamento varia em função da sua capacidade de retenção de água e da absorção inicial dos blocos. Além disso, o ensaio realizado em corpos-de-prova não reproduz o real estado de tensões a que o material está sujeito quando compondo uma junta de alvenaria (PRUDÊNCIO JR., OLIVEIRA e BEDIN, 2002).

2.3.1.3 Módulo de elasticidade do prisma e dos seus materiais constituintes

A importância da relação entre o módulo de elasticidade dos materiais bem como do coeficiente de Poisson fica clara analisando o mecanismo de ruptura apresentado no item 2.1.

A deformabilidade elástica é importante e deve ser considerada para assegurar o desempenho das propriedades de uma parede de alvenaria (PANARESE, KOSMATKA e RANDALL, 1991), e o módulo de deformação da alvenaria (E_m) depende das características dos blocos e da argamassa (PARSEKIAN, 2002).

Segundo Mohamad (1998), em prismas ocos, a proporção da rigidez entre a argamassa e a unidade é um fator muito importante na determinação da resistência final dos prismas e também do tipo de ruptura que irá ocorrer devido ao surgimento de tensões de confinamento na argamassa e tração na unidade. Estas tensões estão relacionadas à capacidade da argamassa de se

deformar e à aderência na interface bloco/argamassa.

Quanto mais deformável for a argamassa (menor o módulo de elasticidade e maior o coeficiente de Poisson) em relação ao bloco, maiores serão as tensões de tração neste geradas e, como consequência, haverá queda na resistência à compressão do prisma (LA ROVERE, 1997). Entretanto, a argamassa deve apresentar uma deformabilidade tal que permita a acomodação de pequenas deformações da alvenaria evitando sua fissuração.

O uso de argamassas muito rígidas, portanto, pode implicar no comprometimento da parede de alvenaria com relação à estanqueidade, durabilidade e aos aspectos relativos à segurança (FRANCO, 1988). Por isso, Sabbatini (2002) recomenda que a argamassa não tenha um módulo de elasticidade superior a 3GPa para garantir que o módulo de deformação da alvenaria não seja superior a 1000 vezes a resistência do prisma (f_p). Entretanto, o referido autor não especifica a metodologia para determinação deste módulo e não existe na normalização brasileira pertinente um ensaio padronizado para tal.

Também vale a pena ressaltar que não existem métodos consagrados para a determinação do módulo de elasticidade, tanto do bloco quanto da argamassa na junta da alvenaria e tão pouco do prisma. Em estudos laboratoriais, normalmente utiliza-se, para argamassa, um procedimento adaptado do método utilizado para concreto (NBR 8522, 1984). Já para blocos e prismas, o procedimento mais comum é realizar-se uma instrumentação em prismas de 3 fiadas, fixando-se bases de medida no bloco central para a determinação do módulo de elasticidade do bloco e no centro dos blocos de extremidade para os prismas (Figura 2.2).

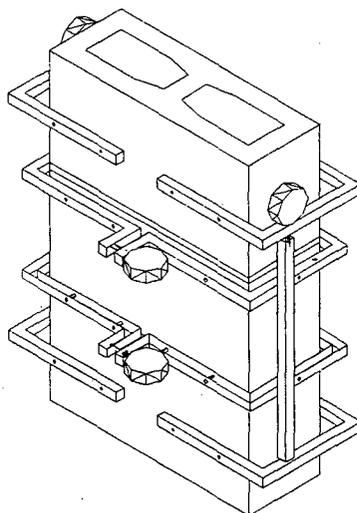


FIGURA 2.2 – Esquema dos equipamentos para medição de deformações do prisma e do bloco (CALÇADA, 1998; STEIL, 2003)

Neste caso, a deformabilidade das juntas (duas juntas) é obtida pela diferença entre a deformação do prisma e do bloco (dois blocos). Porém, em estudos anteriores realizados no GTec relativos ao programa experimental das dissertações de Calçada (1998) e Steil (2003), observou-se que, em alguns casos, a deformação da junta, calculada por este procedimento, levava a valores negativos. Somente por meio dos estudos realizados por elementos finitos (STEIL e PRUDÊNCIO JR., 2002), pôde-se observar que a deformação dos blocos central e de extremidades eram distintas devido à diferente distribuição de tensões. Desta forma, concluiu-se que a determinação da deformação das juntas por este critério é incorreta.

2.3.1.4 Espessura da junta

Uma vez que a deformação lateral dos materiais solicitados axialmente é função de sua deformação no sentido de aplicação da carga e esta, função do comprimento do elemento solicitado, fica fácil entender as variações de resistência nos prismas causadas por variações na espessura da junta (CALÇADA, 1998). Assim, como regra geral, o aumento da espessura da junta provoca redução na resistência do prisma.

Mohamad (1998) realizou testes em prismas de blocos de concreto, com juntas de 7 e 10 mm. O autor concluiu que, com a diminuição da espessura da junta, houve um aumento na eficiência da alvenaria (resistência do prisma/resistência do bloco) de 34% e um aumento na resistência à compressão da alvenaria de 32,2%. Solórzano (1995) observou reduções de 54% na resistência quando da utilização de juntas de 15 mm em relação às usuais de 10mm. Drysdale et al. (1997) dizem que se juntas de 16 a 19mm forem utilizadas ao invés de 10mm a resistência do prisma pode ser reduzida em torno de 30%.

No entanto, para que a junta possa acomodar as pequenas deformações do conjunto, absorver imperfeições da unidade e reter água suficiente à sua hidratação, é necessário que ela tenha uma espessura mínima. Esta espessura, recomendada pela literatura, é de 10mm (CALÇADA, 1998).

2.3.1.5 Tipo de assentamento

O tipo de assentamento é um fator que pode alterar a resistência do prisma. A ausência de argamassa nas paredes transversais da face de assentamento dos blocos provoca concentrações de tensões nas paredes laterais dos blocos causando a redução na resistência do prisma ou parede. Todavia, o aumento de resistência, obtido quando se utiliza argamassa em toda a face transversal, não é proporcional ao ganho de área de argamassa (ROMAGNA, 2000).

A argamassa só aplicada nas paredes longitudinais dos blocos é empregada usualmente nos Estados Unidos por aumentar consideravelmente a produtividade no assentamento, pelo fato de não precisar preencher com filetes de argamassa as juntas horizontais transversais dos blocos (PANARESE, KOSMATKA E RANDALL JR., 1991). Essa configuração leva a uma redução significativa no fator de eficiência da alvenaria (aproximadamente 20%) (PRUDÊNCIO JR., OLIVEIRA e BEDIN, 2002).

2.3.1.6 Relação altura/espessura

A influência da relação altura/espessura (razão de esbeltez) dos prismas em sua resistência à compressão já foi exaustivamente estudada. Sabe-se que o aumento desta relação provoca decréscimo na resistência dos prismas (CALÇADA, 1998).

Na realidade, o efeito de confinamento provocado pelos pratos da prensa altera o processo de distribuição de tensões ao longo do prisma podendo mudar o mecanismo de ruptura no caso de prismas de pequena altura. Ensaio mostram que a ruptura de prisma de pequena relação altura/espessura da ordem de 2, apresentam-se com fissuração em forma de cone, típica de compressão associada a cisalhamento, que não é o tipo de falha observado em paredes. Para prismas mais altos, foi observada ruptura com fissuração vertical característica de um estado de compressão-tração (DRYSDALE et al., 1993).

Os prismas mais altos têm as unidades intermediárias livres do efeito confinante dos pratos da prensa e por isso representam melhor o comportamento da alvenaria (CALÇADA, 1998). La Rovere (1997) recomenda a utilização de prismas com no mínimo 3 blocos de altura.

2.4 MATERIAIS EMPREGADOS

Em uma parede de alvenaria resistente, formada por dois componentes: o bloco ou tijolo e a junta de argamassa, a influência desta no desempenho funcional da parede é crítica, principalmente se ela for exterior à edificação e aparente (sem revestimento protetor) (SABATINI, 1986).

Apesar de estarem presentes no mesmo elemento estrutural, cada componente possui suas funções específicas e características que influem no seu desempenho.

Os blocos e as argamassas são os materiais constituintes das paredes de alvenaria. As propriedades destes materiais são determinantes para as características finais destes elementos. O bloco é o principal componente da parede e também o mais resistente do conjunto.

Os tijolos e blocos podem ser confeccionados com diferentes materiais e formas, sendo que suas propriedades físicas e mecânicas, bem como o desempenho das alvenarias construídas por eles, dependem fundamentalmente desses parâmetros.

Medeiros (1993) conceitua o bloco de concreto como uma unidade da 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 250x120x55 mm (comprimento x largura x altura).

Os blocos de concreto devem atender aos requisitos das normas vigentes. A ABNT, por meio da NBR 6136 (1994), especifica as características dos blocos de concreto para alvenaria estrutural. Além desta, são utilizadas como referência a norma americana ASTM C 90 (1991) e a norma britânica BS 6073 (1981).

As propriedades dos blocos dependem fundamentalmente dos seguintes fatores: natureza dos materiais constituintes, umidade do material usado nas moldagens, proporcionamento dos materiais, grau de compactação conferido pelo equipamento e método de cura empregado (BESSER RESERARCH AND TRAINING CENTER (1988) apud MEDEIROS, 1993).

As principais propriedades mecânicas dos blocos são: resistência à compressão, resistência à tração, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson. A resistência à compressão do bloco é a

característica mais importante a ser determinada. Segundo a BS 5628: Parte 1 (1992), a resistência à compressão da alvenaria é determinada principalmente pela resistência do bloco.

Segundo Medeiros (1993), as propriedades mecânica estão intimamente relacionados ao processo produtivo dos blocos e deles depende também o desempenho final da parede estrutural de alvenaria.

Assim como os blocos, as argamassas também têm suas propriedades e funções definidas. Os principais aspectos das argamassas de assentamento, que junto com o bloco de concreto são responsáveis pelas características do elemento estrutural que formam, serão abordados no capítulo 3 deste trabalho.

3 ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO

3.1 DEFINIÇÕES

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1985), na sua norma NBR 8798, define a argamassa de assentamento como: “Elemento utilizado na ligação entre os blocos de concreto garantindo a distribuição uniforme dos esforços, composto de: cimento, agregado miúdo, água e cal ou outra adição destinada a conferir plasticidade e retenção de água de hidratação à mistura”.

As argamassas de assentamento podem ser entendidas como um material de construção sem forma definida mas com a função específica de ser destinada ao assentamento das unidades de alvenaria. Esta argamassa, após o emprego, se converte em uma “junta de assentamento” com forma e funções definidas (SABBATINI, 1998).

A argamassa é um adesivo e sua aderência completa, forte e durável com as unidades de alvenaria é seu objetivo mais importante (GALLEGOS, 1989). A argamassa serve para transferir esforços entre elas, bem como para acomodar pequenas deformações inerentes à própria alvenaria (PRUDÊNCIO JR., OLIVEIRA e BEDIN, 2002).

Como a argamassa tem os mesmos ingredientes comuns ao concreto, cimento, agregado e água, ocorre a tendência de confundir suas tecnologias (GALLEGOS, 1989). Existe uma confusão por se tentar tratar as argamassas como se fossem concretos. É incorreto pensar que para se obter uma boa argamassa, seja necessário atender-se aos mesmos requisitos recomendados para a obtenção de um bom concreto. Em certos casos, estes requisitos caminham em sentidos opostos (PRUDÊNCIO JR., OLIVEIRA e BEDIN, 2002).

As argamassas se diferenciam do concreto no método de colocação, trabalhabilidade e uso

estrutural. O concreto é um elemento estrutural por si só enquanto que a argamassa liga unidades estruturais. Para a argamassa constituinte do concreto é exigida, basicamente, a resistência a esforços mecânicos, enquanto que, para a argamassa de assentamento, são fundamentais as características de trabalhabilidade, retenção de água, coesão (no estado fresco), capacidade de aderência e deformação (no estado endurecido), tendo a resistência uma importância secundária. Em consequência, a resistência de aderência da argamassa é mais importante do que sua resistência à compressão (SUPRENANT, 1994; PRUDÊNCIO JR., OLIVEIRA e BEDIN, 2002).

Ao contrário do concreto que, geralmente, é moldado em contato com superfícies metálicas e ou de madeira ambas normalmente pouco permeáveis e lisas, as argamassas são colocadas sobre superfícies porosas e absorventes que provocam, no primeiro contato, uma substancial perda de água e enrijecimento. Além disso, a maior parte de sua superfície está exposta aos efeitos da evaporação. A sucção de água, geralmente caracterizada através do ensaio IRA (*Initial Rate of Absorption*), das unidades de alvenaria é necessária para promover o contato íntimo com a argamassa, aumentando sua aderência, já que a água absorvida carrega substâncias solúveis do cimento e as incrusta na superfície da unidade. Entretanto, se esta sucção passa de certos limites, a unidade pode absorver água indispensável à hidratação do cimento. Para não se atingir estes limites, pode-se contar com o tratamento prévio da unidade (molhagem), com uma espessura mínima da junta de argamassa e com a resistência que opõe esta argamassa à perda de sua água (retenção de água). Esta mesma retenção de água também deve evitar a perda de água, não somente pela dificuldade de executar tal operação, mas porque umedeceria principalmente as unidades de alvenaria, criando-se deformações de expansão e contração que atentariam contra a integridade da parede (PRUDÊNCIO JR., OLIVEIRA e BEDIN, 2002).

O concreto é colocado em moldes impermeáveis e, uma vez lançado, deve-se prover de umidade para assegurar a total hidratação do cimento. Como consequência, a tecnologia do concreto pressupõe: o uso da mínima quantidade de água possível, compatível com a resistência desejada e com os métodos de adensamento disponíveis; o uso de agregados de maior tamanho possível, compatível com as seções das formas a serem preenchidas e a cura durante o maior tempo possível. O objetivo final é atingir a resistência à compressão especificada ao menor custo (PRUDÊNCIO JR., OLIVEIRA e BEDIN, 2002; GALLEGOS, 1989).

Todos estes aspectos indicam que a resistência à compressão, que é vital para o concreto, é secundária para a argamassa. Concreto e argamassa de assentamento são, pois, dois materiais

muito diferentes.

Devido à concepção equivocada, que confunde as características desejáveis de uma argamassa de assentamento com as da argamassa do concreto de cimento Portland, pode haver um uso inadequado dessas argamassas. Nas alvenarias resistentes, esses problemas podem ser patológicos, econômicos, de racionalização e desempenho para a parede estrutural, e poderiam ser evitados se fosse outro o enfoque dado a este material.

As funções e as propriedades das argamassas de assentamento serão explicadas com maiores detalhes a seguir.

3.2 FUNÇÕES E PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO

Gallegos (1989) afirma que a argamassa de assentamento absorve as irregularidades dos blocos de forma que as fiadas fiquem uniformes, aprumadas e niveladas. Além disso, une as unidades com relativa estabilidade, provendo rigidez à fiada para permitir o assentamento da fiada seguinte e formar um conjunto durável, impermeável e com alguma resistência à tração.

Segundo o código CP – 121 *Walling da British Standards Institution (BSI)* (apud SABBATINI, 1986), as funções primárias das juntas de argamassas em uma parede de alvenaria são:

- a) Unir solidamente as unidades de alvenaria e ajudá-las a resistir aos esforços laterais;
- b) Distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede por toda a área resistente dos componentes de alvenaria;
- c) Absorver as deformações naturais a que a alvenaria estiver sujeita; e
- d) Selar as juntas contra a penetração de água de chuva.

Segundo Sabbatini (1986), para que a argamassa tenha capacidade de prover as funções citadas ela deve apresentar as seguintes características:

- a) ter trabalhabilidade (consistência, plasticidade e coesão) suficiente para que o pedreiro produza com rendimento otimizado um trabalho satisfatório, rápido e econômico;
- b) ter capacidade de retenção de água suficiente para que uma elevada sucção das unidades não prejudique as suas funções primárias;
- c) adquirir rapidamente alguma resistência depois de assentada para resistir a esforços que possam atuar durante a construção;
- d) desenvolver resistência adequada para não comprometer a alvenaria da qual faz parte, não devendo, no entanto, ser mais resistente que os componentes que ela une;
- e) ter adequada aderência aos componentes a fim de que a interface possa resistir a esforços cisalhantes e de tração e prover a alvenaria de juntas estanques à água da chuva;
- f) ser durável e não afetar a durabilidade de outros materiais ou da construção como um todo; e
- g) ter suficiente resiliência (baixo módulo de deformação) de maneira a acomodar as deformações intrínsecas (retração na secagem e de origem térmica) e as decorrentes de movimentos estruturais de pequena amplitude da parede de alvenaria, sem fissurar.

A magnitude destas características é fortemente dependente não só do tipo e composição da argamassa, mas também das características do componente que ela irá unir. De maneira geral, não existe parametrização limitante para estas características (SABBATINI, 1986).

Dentre os requisitos de desempenho atribuídos às juntas de argamassa, destacam-se como os mais importantes: a resistência de aderência (da junta com uma determinada base); a resistência à compressão (do conjunto bloco-junta para um determinado corpo-de-prova); o módulo de deformação do mesmo conjunto. Tal importância deve-se à marcada influência que estes requisitos têm no desempenho da parede estrutural e também pela possibilidade de serem avaliados e quantificados através de ensaios padronizados (SOLÓRZANO, 1994).

Assim, as principais propriedades das argamassas podem ser divididas em dois grupos: propriedades no estado fresco (trabalhabilidade, capacidade de retenção de água e teor de ar

incorporado) e propriedades no estado endurecido (resistência à compressão, aderência, resiliência, módulo de deformação e durabilidade).

3.3 PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO

3.3.1 Trabalhabilidade

Esta propriedade da argamassa é difícil de definir porque é a combinação de várias propriedades independentes e inter-relacionáveis. As propriedades da argamassa que têm grande influência na trabalhabilidade são: consistência, retenção de água, tempo de pega, massa específica, adesão, e coesão (PANARESE, KOSMATKA e RANDALL JR., 1991). O documento MR-3 da RILEM – “The complex workability – consistence – plasticity” (1982), também cita a plasticidade, o enrijecimento sob sucção e tixotropia.

A importância da trabalhabilidade de uma argamassa é que, pelas suas características reológicas e por influir diretamente na qualidade do serviço do pedreiro, todas as demais propriedades desejáveis a ela se subordinam (SABBATINI, 1986).

Os pedreiros sabem quando uma argamassa é trabalhável, mas descrever exatamente o que é trabalhabilidade é muito difícil. A argamassa deve ter uma consistência suave e plasticidade. (BEALL, 1989).

A trabalhabilidade é um dos mais importantes aspectos da argamassa plástica porque esta é a principal exigência do pedreiro. Sem uma boa trabalhabilidade, a chance de haver um bom preenchimento das juntas de argamassas de alvenaria é muito pequena. A argamassa trabalhável pode ser espalhada facilmente com uma colher sobre a unidade de alvenaria. Esta também deverá suportar o peso do bloco quando assentado e facilitar o alinhamento (TALY, 2001).

A trabalhabilidade não é precisamente definida em termos quantitativos porque não foram definidos testes ou normas para esta medida. Uma argamassa “trabalhável” deve possuir

consistência plástica, ser maleável e aderir firmemente à colher e a superfícies verticais (BEALL, 1987).

A experiência do pedreiro é o fator decisivo na avaliação da trabalhabilidade da argamassa sob o aspecto de aderir ou de deslizar da colher. Para que a argamassa seja de boa trabalhabilidade deve ser fácil de manusear e de espalhar sobre a superfície da unidade da alvenaria; ter adesão para permitir a pré-colocação da argamassa nos topos das unidades para formação das juntas verticais; manter consistência durante um intervalo de tempo tal que permita o assentamento de algumas unidades consecutivamente; ter coesão suficiente para não escorrer pelas paredes da unidade inferior quando do assentamento da unidade sobre ela; ter facilidade e rapidez para alcançar a espessura de junta desejada; manter a espessura da junta após o processo de assentamento e mesmo depois da confecção das fiadas subsequentes (plasticidade) (PANARESE, KOSMATKA e RANDALL JR., 1991).

Segundo Sabbatini (1986), qualitativamente, diz-se que uma argamassa tem boa trabalhabilidade quando: distribui-se facilmente ao ser assentada preenchendo todas as reentrâncias; “agarra” à colher de pedreiro quando transportada e não “agarra” quando distribuída no bloco; não segrega ao ser transportada; não enrijece em contato com blocos de sucção elevada e, permanece plástica por tempo suficiente para que os blocos sejam ajustados facilmente no nível e no prumo.

Em termos práticos, a trabalhabilidade significa facilidade de manuseio, por parte do operário que a prepara e aplica. Nesse sentido, também, a trabalhabilidade não se constitui em uma propriedade por si só, na medida em que dependerá do julgamento subjetivo por parte do operário. Embora a trabalhabilidade possa associar-se, ainda, às propriedades de plasticidade, retenção e exsudação de água, coesão interna, tixotropia, adesão e massa específica, a influência da granulometria do agregado sobre a mesma representa, também, a influência sobre a consistência. A literatura indica que a trabalhabilidade é alterada de forma positiva à medida que decresce o módulo de finura do agregado, mantém-se a continuidade da granulometria e decresce o teor de grãos angulosos (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995).

Prudêncio Jr., Oliveira e Bedin (2002) comentam que a trabalhabilidade depende, além da granulometria, do tipo de aglomerante empregado e da quantidade de água. A água, em combinação com os materiais cimentantes, faz o papel de lubrificante. Esta propriedade é essencial para assegurar a extensão da aderência através da penetração da pasta aglomerante da argamassa nos poros superficiais da unidade de alvenaria. Yoshida e Barros (1995)

complementam que uma argamassa com boa trabalhabilidade proporciona maior contato entre o bloco e argamassa, melhorando as condições de extensão de aderência e nas propriedades da argamassa no estado endurecido, podendo alterar-se completamente em função da relação água/aglomerante, da relação aglomerante/areia, da granulometria do agregado e da natureza e qualidade do aglomerante.

Segundo Prudêncio Jr., Oliveira e Bedin (2002), não existe um método direto consagrado para medir trabalhabilidade das argamassas de assentamento. Na prática, quem define se uma argamassa é trabalhável é o assentador da alvenaria como já mencionado anteriormente. Seu julgamento, por sua vez, baseia-se no tipo de ferramenta utilizada no assentamento e em critérios subjetivos.

Geralmente, o único meio direto do qual o pedreiro dispõe para corrigir a trabalhabilidade da argamassa é alterar a quantidade de água de amassamento uma vez que as proporções dos componentes são pré-fixadas (CARASEK e DJANIKIAN, 1993).

Panarese, Kosmatka e Randall Jr. (1991) bem como Beall (1987) afirmam que as argamassas de assentamento deverão conter o máximo de água possível para produzir uma trabalhabilidade adequada ao seu emprego.

Beall (1989) comenta que se a argamassa tiver boa granulometria dos agregados há um incremento na sua trabalhabilidade. O mesmo ocorre com a inclusão de ar ou de cal ou com o uso de novos plastificantes.

Segundo Cincotto, Silva e Carasek (1995), com relação ao aglomerante, a prática tem mostrado que a utilização de cal repercute favoravelmente na trabalhabilidade da argamassa devendo-se, no entanto, analisar posteriormente a influência do teor desse aglomerante nas demais propriedades. Quanto aos cimentos, observa-se que as diferentes classes de resistência não têm influência significativa sobre a trabalhabilidade da argamassa, mas, os cimentos que possuem maior finura podem resultar em argamassas com maior trabalhabilidade e maior retenção de água.

3.3.1.1 Consistência

A consistência é a propriedade que exprime o quão rígida ou mole está a argamassa. É a propriedade da argamassa pela qual esta tende a resistir à deformação e, a manutenção da consistência com o tempo diz respeito à capacidade da argamassa manter esta tendência ao longo do tempo de aplicação. Diversos autores classificam as argamassas, segundo a consistência, em argamassas secas, plásticas ou fluidas, existindo um sentido crescente de índices de consistência da argamassa seca para a fluida (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995; SABBATINI, 1986).

Influem na consistência de uma argamassa de assentamento: relação água/aglomerante; relação aglomerante/areia; granulometria da areia e natureza e qualidade do aglomerante (SABBATINI, 1986). Além disso, a consistência é diretamente determinada pelo conteúdo de água (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995).

Segundo Robert et al. (1983), a consistência de qualquer tipo de argamassa depende da quantidade de água e do teor de ar incorporado.

Existem vários métodos de ensaios propostos para a avaliação da consistência. A seguir serão apresentados os principais.

Determinação do índice de consistência na mesa ABNT (NBR 7215, 1996)

A determinação da consistência por este método é feita através da mesa de consistência (*flow table*) e o valor medido é o diâmetro da base de um tronco de cone de argamassa submetido a impactos sucessivos (30 quedas da mesa de uma altura padrão). Essa medida é o chamado índice de consistência, expresso em milímetros.

Segundo o prof. Schimmelwitz, citado no documento MR-3 da RILEM, este método avalia ao mesmo tempo consistência e plasticidade.

Por este ensaio ser o mais empregado e difundido, a NBR 8798 (1985) recomenda que a argamassa de assentamento para alvenaria de blocos de concreto apresente uma faixa de índice

de consistência de 230 ± 10 mm medida no máximo após 15 minutos do início do amassamento com a quantidade máxima de água a ser empregada.

A NBR 13276 (1995) para argamassas de assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos recomenda um índice de consistência de 255 ± 10 mm para a obtenção do índice de consistência-padrão.

Em testes realizados em argamassas utilizadas em diferentes obras, observou-se que o valor desde índice de consistência geralmente varia de 230 a 280mm, que é uma faixa muito ampla. Além disso, o valor da consistência medido pelo teste é extremamente dependente da composição da argamassa. Argamassas com agregados de granulometria mais fina, por exemplo, apresentam consistências mais próximas ao limite inferior da faixa citada. Deve ser ainda observado que o fato da argamassa apresentar uma consistência dentro destes limites, por si só, não é uma garantia de sua trabalhabilidade. Empregando-se misturas ásperas e sem coesão, mesmo com consistências nesta faixa, resultarão argamassas inadequadas ao uso em alvenaria (PRUDÊNCIO, OLIVEIRA e BEDIN, 2002).

Shalon e Soroka (1964) apud Sabbatini (1986), pesquisando as consistências reais adotadas por diferentes pedreiros, chegaram a três importantes conclusões: a consistência adequada para um pedreiro não o é para outro; ela é uma qualidade das argamassas de escolha individual de cada pedreiro e não pode ser generalizada e os pedreiros têm a capacidade de manter uma dada consistência (a ideal para cada um deles) constante qualquer que seja a composição (proporção) da argamassa.

Em estudo realizado em laboratório por diversos autores com a moldagem de prismas para avaliação da resistência à compressão da alvenaria estrutural podemos observar pela Tabela 3.1 que este índice é variado (230 a 310mm) para cada autor.

TABELA 3.1 - Traço, índice de consistência e tipo de argamassa utilizados nos laboratórios

Tipo de Argamassa			Traço em Volume	Consistência (mm)	Observação	Fonte
Mista	A1	A	1:0:3	260	A e B dia de moldagem diferentes	Cunha, Guimarães e Carasek (2001)
		B		270		
Mista	A2	A	1:1:6	262		
		B		280		
Industrializada	A3	A	-	246		
		B		270		
Industrializada	I-1		-	225	-	Steil et al. (2001)
Industrializada	I-2		-	235		
Mista	C-1		1:1:5	265	Traço em areia seca	
Mista	C-2		1:0,5:3,75	255		
Mista	A1		1:1:6	287	-	Romagna (2000)
Mista	A2		1:0,5:4,5	294		
Mista	1 a 11		1:0,12:4	240±10	Traço em Massa	Ishikawa (2001)
Mista	A		1:1:5	230±10	-	Caçada (1998)
Mista	A	M1	1:0,25:3	240	M1 e M2 blocos diferentes	Mohamad (1998)
		M2		240		
Mista	B	M1	1:0,5:4,5	262		
		M2		300		
Mista	C	M1	1:1:6	310		
		M2		230		
Mista	D	M1	1:2:9	264		
Mista	-	-	1:0,5:4,5	255±10	-	Parsekian (2002)
Mista	-	-	1:1:6	280±10	Traço em areia úmida	Oliveira, Anselmo Jr. e Prudêncio Jr. (2002)
Industrializada	-	-	-	280±10	-	

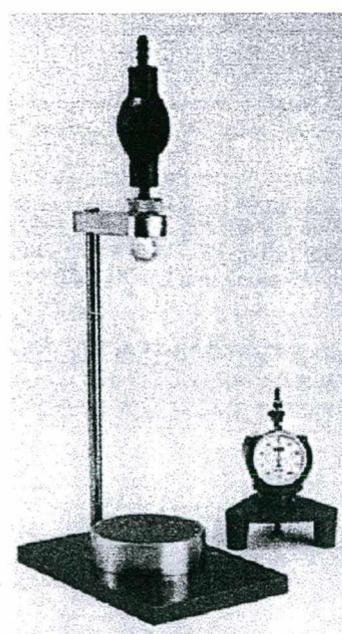
Este tipo de ensaio de consistência é prescrito por várias normas estrangeiras, dentre as quais: ASTM C 109, BS 4551, DIN 1060 e MR-11 RILEM, existindo pequenas diferenças nas dimensões do tronco de cone e na frequência das quedas da mesa (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995). A consistência é expressa em porcentagem do espalhamento final em relação ao diâmetro inicial do tronco de cone em alguns casos. Por exemplo, a ASTM C 109 especifica uma compactação no molde de tronco de cone em duas camadas de 20 golpes cada uma. Depois a argamassa é submetida a impactos sucessivos (25 quedas da mesa de uma altura padrão de 13 mm em 15 segundos). O diâmetro final é medido e a consistência é expresso em porcentagem do

diâmetro original de base (o diâmetro especificado do molde é de 10cm).

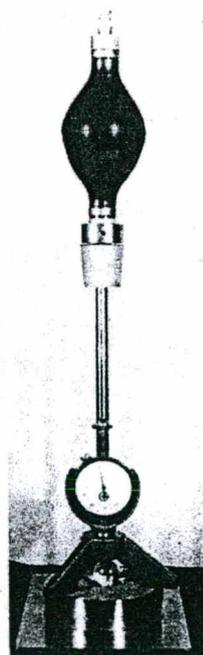
A norma ASTM C 270 (Norma de especificação de argamassa para alvenaria) especifica certos requisitos de resistência à compressão, retenção de água e teor de ar incorporado. Para estes ensaios, a argamassa de laboratório por especificação deve conter água para uma consistência de $110\pm 5\%$. Uma argamassa com 110% de consistência é aproximadamente uma argamassa semi-seca (BEALL, 1989).

Penetração dinâmica da esfera - *Dropping Ball* (BS 4551, 1980)

Este ensaio consiste na medida da profundidade de penetração, em mm, de uma esfera que é lançada em queda livre de uma altura de 250 mm sobre a superfície da argamassa colocada em um molde metálico. A esfera empregada é de metilmetacrilato e possui diâmetro igual a 25 mm e 9,8g de massa. A recomendação para ajustar a quantidade de água é que a consistência de penetração pelo *dropping ball* deverá ser de $10\pm 0,5$ mm. O teste deverá ser repetido mais duas vezes e a média das três medidas é registrada como a consistência (ROBERT et al., 1983). Na Figura 3.1 observa-se o equipamento e a medida de penetração.



(a)



(b)

FIGURA 3.1 – *Dropping ball*: (a) equipamento para o ensaio e (b) medida da profundidade

Um método modificado foi proposto pelo Centro de Pesquisa do Departamento de Construção Civil – CPqDCC da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP, adaptando o ensaio às condições nacionais. Devido à dificuldade de obtenção da esfera de metilmetacrilato, esta foi substituída por uma esfera de mesmo diâmetro, porém de alumínio, alterando simultaneamente a altura de queda para 100 mm e a massa para 22,1g (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995).

Carasek e Djanikian (1993) confrontaram os valores obtidos dos ensaios que avaliam a consistência pelos diferentes princípios: índice de consistência (*flow table*) versus *dropping ball* modificado EPUSP, num estudo sobre a avaliação indireta da trabalhabilidade das argamassas de assentamento e revestimento. Os autores observaram, através do gráfico da Figura 3.2, que não foi possível estabelecer uma correlação estatisticamente significativa entre os ensaios.

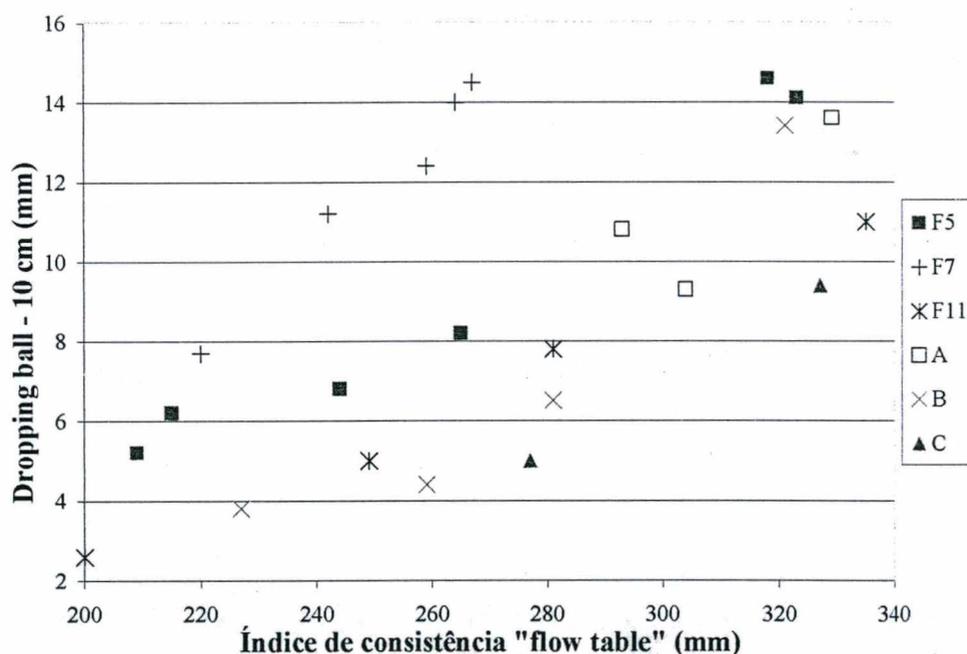


FIGURA 3.2 – Tentativa de estabelecimento de correlação entre os resultados dos ensaios *dropping ball* modificado e índice de consistência (*flow table*) (CARASEK e DJANIKIAN, 1993)

Penetração estática de cone (ASTM C-780, 1981)

A consistência da argamassa em obra ou em laboratório pode ser medida pelo procedimento de penetração de cone. Este ensaio também pode ser usado para determinar o tempo máximo de

aplicação da argamassa e, em controle de qualidade, para controlar a uniformidade da consistência entre as distintas misturas (BEALL, 1989).

Em vez de usar a mesa de consistência (ASTM C 109), este ensaio usa a penetração de um cone, que é uma versão modificada do aparelho de Vicat usado na ASTM C 187 e na NBR 11581 (1991) para medir a água de consistência normal do cimento e o tempo de pega.

Neste ensaio, com a argamassa preenche-se um recipiente cilíndrico metálico padronizado de 400ml de volume em três camadas de igual volume acomodando com 20 golpes de espátula. Depois o recipiente cilíndrico é golpeado no lado do molde para remover o ar aprisionado e logo se corta o excesso de argamassa na parte superior. Logo após coloca-se o recipiente abaixo de um cone metálico com a extremidade arredondada de tal modo que a ponta encoste-se na altura da borda do cilindro. Ajusta-se o aparelho na escala zero e em seguida libera-se o cone metálico para penetrar sob a ação da gravidade em queda livre. Após um tempo definido, 30 segundos, ou o término da penetração, é realizada a medida da profundidade de penetração, expressa em mm. Quanto mais fluida é a argamassa mais profunda será a penetração do cone.

Na Figura 3.3 podemos observar o equipamento e o ensaio sendo realizado.

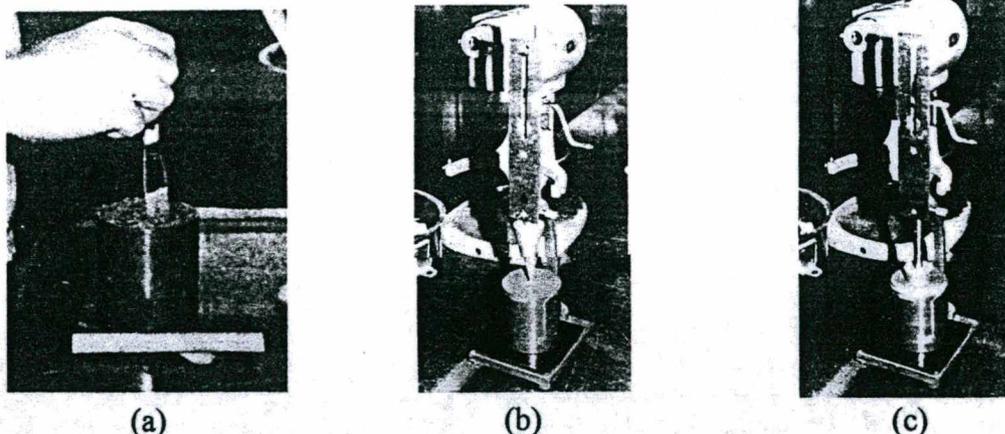


FIGURA 3.3 – Penetração do cone: (a) recipiente sendo preparado para o ensaio, (b) equipamento e o posicionamento do recipiente embaixo do cone e (c) o final do ensaio com a medida (BEALL, 1989)

Um método semelhante à penetração do cone foi prescrito pela norma russa de construção SN-43, já em 1959 (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995).

O ensaio de penetração de cone é bastante simples, usa uma quantidade pequena de argamassa e é portátil. Porém, alguns técnicos dizem que, em algumas ocasiões e com certas argamassas, o

resultado do ensaio de penetração de cone não é confiável tal como são os ensaios em laboratório como a mesa de consistência (BEALL, 1989).

Cunha, Guimarães e Carasek (2001) estudaram três argamassas diferentes para verificar a influência do tipo de argamassa na resistência à compressão da alvenaria estrutural. Foram utilizadas: argamassa de cimento (1:3 em volume, A1), argamassa mista (1:1:6 em volume, A2) e uma argamassa industrializada (traço não fornecido pelo fabricante, A3). A água das argamassas foi colocada visando a obtenção da trabalhabilidade adequada à aplicação. Na Tabela 3.2 são apresentadas os valores encontrados de penetração de cone (ASTM C 780), o índice de consistência (NBR 7215, 1996) e o valor da resistência à compressão e a tração das argamassas estudadas. As argamassas foram subdivididas nas classes A e B, cada classe corresponde a um dia de moldagem diferente.

TABELA 3.2 – Propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido (CUNHA, GUIMARÃES e CARASEK, 2001)

Argamassa		Consistência (mm)		Resistência à compressão (MPa)	Resistência à tração (MPa)
		Flow (NBR 7215)	Penetração do Cone		
A1	A	260	51	28,52	2,93
	B	270	41	23,00	2,46
A2	A	262	57	4,58	0,49
	B	280	67	5,52	0,57
A3	A	246	48	8,19	0,89
	B	270	46	4,84	0,72

Carasek e Djanikian (1993) analisaram vários ensaios de laboratório para avaliação indireta da trabalhabilidade das argamassas de assentamento e revestimento através da quantificação de outras propriedades da qual ela é resultante, entre elas a consistência, confrontando os valores obtidos dos ensaios de índice de consistência (*flow table*) versus o ensaio de penetração de cone, gráfico da Figura 3.4. Os autores verificaram que não é possível estabelecer uma correlação estatisticamente significativa entre os ensaios. Este fato já era esperado uma vez que os ensaios baseiam-se em princípios diferentes, medindo no caso do *flow table*, segundo os autores, a plasticidade além da consistência.

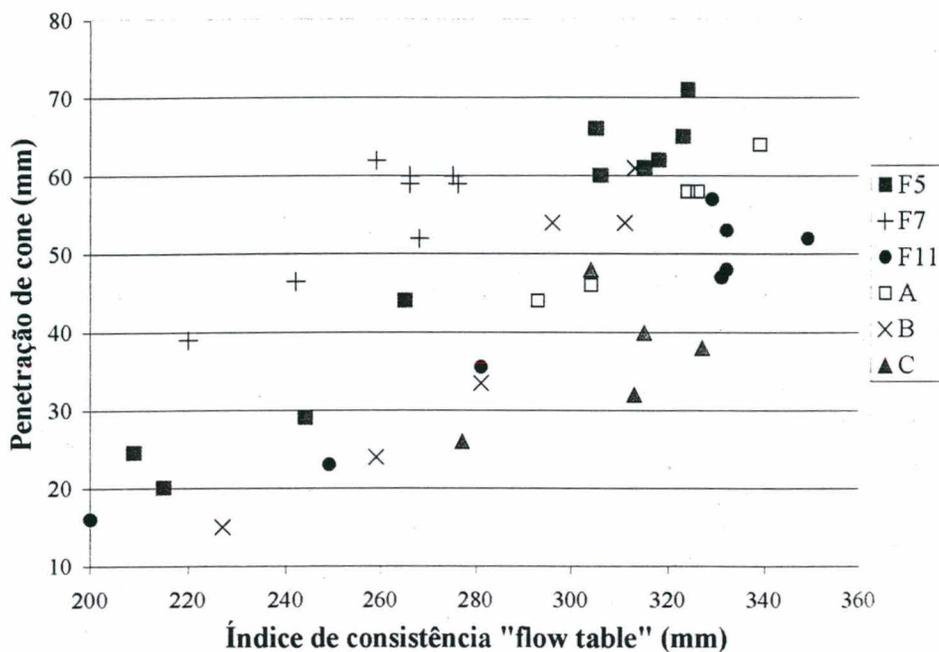


FIGURA 3.4 – Tentativa de estabelecimento de correlação entre os resultados dos ensaios penetração do cone e índice de consistência (*flow table*) (CARASEK e DJANIKIAN, 1993)

***Mo-meter* (RILEM MR – 1, 1982)**

Este método está incluído na norma sueca de cimentos de alvenaria, além de ser empregado por outros países escandinavos como um teste para avaliação da consistência. Trata-se de um tubo metálico posicionado na vertical preenchido com argamassa e posteriormente esvaziado através de quedas a 25 mm de altura com frequência pré-definida (um golpe por segundo). Então mede-se o número de impactos necessários para o esvaziamento do tubo, chamado de *Mo-value*. O teste deve ser repetido duas vezes e a média aritmética é registrada como medida da consistência (*Mo-value*) (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995; BOWLER, JACKSON e MONK, 1996).

A Figura 3.5 mostra o esquema e o dispositivo para determinação da consistência pelo método *Mo-meter*.

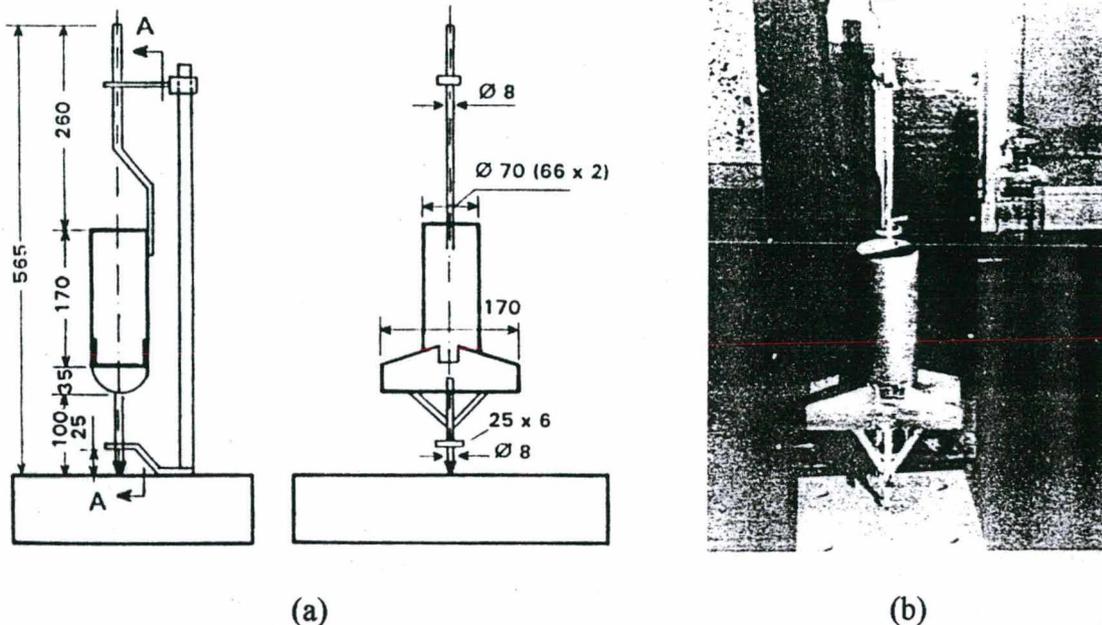


FIGURA 3.5 – *Mo Meter*: (a) Esquema e (b) foto do equipamento (BOWLER, JACKSON e MONK, 1996)

Penetrômetro de concreto modificado - *Conway test* (ASTM C-780, 1991)

Este método foi concebido por Tim Conway de uma companhia de cimento dos Estados Unidos e por isto é denominado penetração de Conway. Segundo Beall (1989), se este método é utilizado, qualquer método de penetração poderia ser usado alternativamente.

O método emprega um penetrômetro de concreto recalibrado para argamassa (20 a 700psi, 138 a 4826 kPa). A argamassa é moldada e nivelada dentro de um anel de 40 cm de diâmetro, sendo posteriormente removido. Um disco metálico de menor diâmetro (com 2,5 cm de espessura e 7 cm de diâmetro) é colocado sobre a superfície da argamassa. Assim, através de um penetrômetro manual, o disco é empurrado para o interior da argamassa e lê-se a força necessária para que este penetre.

A consistência é expressa em tensão, podendo este ensaio ser realizado em obra para controle de qualidade das argamassas, inclusive na argamassa no interior da betoneira, quando finalizada a mistura (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995).

Quanto mais força é necessária para empurrar o disco na argamassa mais consistente esta será.

Por este motivo, o técnico também pode usar este ensaio para medir o tempo máximo de aplicação da argamassa (BEALL, 1989).

Na Figura 3.6 observa-se o equipamento e a realização do ensaio por este método.

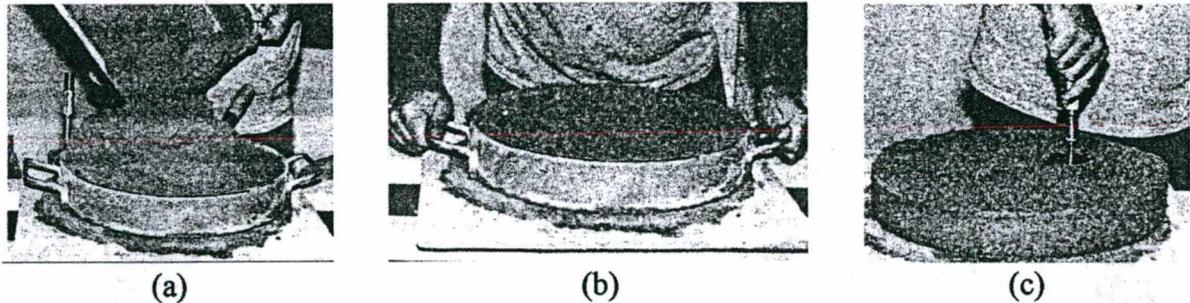


FIGURA 3.6 – Conway test: (a) recipiente preenchido com argamassa, (b) retirando o anel e (c) penetração do penetrômetro manual (BEALL, 1989)

Ensaio de compactação (DIN 18555, Part 2, 1982)

A argamassa é colocada em uma caixa rígida 100x100x200mm e nivelada. Então a caixa é submetida à ação de uma mesa vibratória até que a argamassa tenha assentado. Determina-se a altura de abatimento (em milímetros) nos quatro bordos e calcula-se a média “s”. O grau de compactação “s” é dado pela equação 3.1:

$$v = \frac{200}{(200 - s)} \quad (3.1)$$

Existe o método de trabalhabilidade AFNOR P18-452 com o mesmo princípio porém as dimensões da caixa rígida são diferentes. Este equipamento pode ser observado na Figura 3.7.

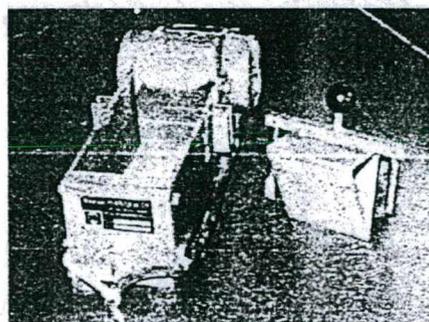


FIGURA 3.7 – O equipamento para medir trabalhabilidade AFNOR P18-452 (BOWLER, JACKSON e MONK, 1996)

Determinação da consistência por *Consistor Baronnie* (LNEC Pa 10/1980 e *CSTB – Modalités d’essais, Certification CSTB des enduits monocouches d’imperméabilisation, 1993*) (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995)

O aparelho *Consistor Baronnie* é constituído de uma série de 10 tubos em aço inoxidável, com 50 mm de altura e diâmetros compreendidos entre 10 e 55mm (numerados de 1 a 10), um copo com obturador e uma agulha calibrada de aço inoxidável, montada num esquadro com haste graduada, conforme apresentado na Figura 3.8. A consistência da argamassa é expressa por um número de 1 a 20 relacionado com o diâmetro do tubo. Quanto menor o número, mais plástica é a argamassa.

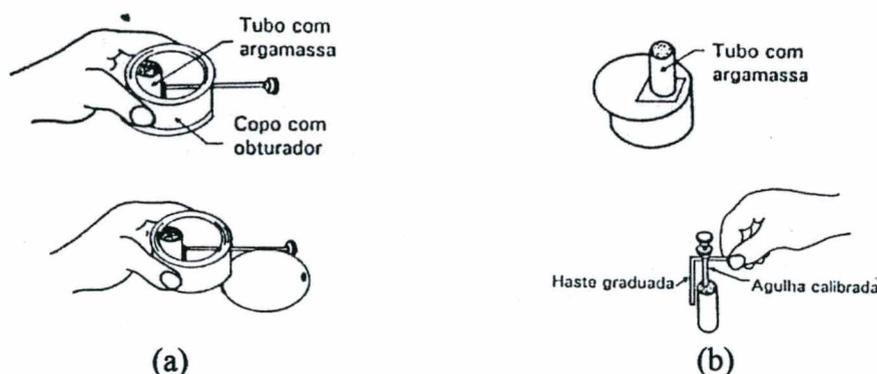


FIGURA 3.8 – Avaliação de consistência pelo *Consistor Baronnie* (LNEC Pa 10/1980): (a) consistências de 1 a 10 e (b) Consistência de 11 a 20

O ensaio inicia-se com a colocação da argamassa em um tubo de diâmetro médio, de modo a diminuir o número de tentativas. Este é suspenso para determinação do tempo, ao fim do qual, a argamassa cai através do tubo. Realizam-se testes com vários tubos até se encontrar o tubo de maior diâmetro pelo qual a argamassa não cai, total ou parcialmente, após o tubo ser suspenso durante no mínimo 5 segundos (o número deste tubo corresponde ao índice de consistência, que nesta etapa varia de 1 a 10 – Figura 3.8a).

Caso a argamassa não caia do tubo de maior diâmetro (nº 10) em 5 segundos, então, a consistência é superior a 10. Neste caso, emprega-se a agulha calibrada para prosseguir a determinação. Novamente, toma-se um tubo de diâmetro médio e, após a colocação da argamassa, introduz-se uma agulha no seu interior. O conjunto tubo mais argamassa é suspenso pela haste da agulha, determinando-se o tempo ao fim do qual se verifica a queda do conjunto. Registra-se, então, o número do tubo de maior diâmetro para qual o conjunto permanece

suspenso pela haste da agulha durante pelo menos 5 segundos. A consistência é expressa pelo número correspondente à adição de 10 ao número de referência deste tubo (consistência de 11 a 20 – Figura 3.8b).

3.3.1.2 Plasticidade

Segundo Cincotto, Silva e Carasek (1995), a plasticidade é a propriedade pela qual a argamassa tende a reter a deformação, após a redução do esforço de deformação. A plasticidade e a consistência são as propriedades que efetivamente caracterizam a trabalhabilidade, sendo que a avaliação dessas propriedades em alguns métodos de ensaio, ocorre em conjunto. A plasticidade é influenciada pelo teor de ar, natureza e teor de aglomerante e pela intensidade de mistura das argamassas.

Quando a plasticidade da argamassa é conseguida por meio de aditivos, por exemplo, incorporadores de ar, as minúsculas bolhas de ar produzem um efeito lubrificante na argamassa, permitindo o melhor escorregamento entre suas partículas. Cabe salientar que o uso de aditivos tem suas desvantagens. O ar incorporado diminui a extensão de aderência entre a unidade e a argamassa o que pode prejudicar diretamente a resistência de aderência. Beall (1987), cita que teores máximos de até 12 a 15% de ar incorporado no máximo, não há prejuízo significativo na aderência.

Vargas e Comba (1984) apud Cincotto, Silva e Carasek (1995), em trabalho teórico-experimental realizado para a revisão da norma espanhola de alvenaria, observaram que uma argamassa no estado fresco, com plasticidade adequada, apresenta baixa segregação de água o que resulta a importância do estudo da retenção de água. Nesse estudo, também se observou que a classificação da plasticidade realizada pelos pedreiros que preparam e aplicam a argamassa, é coincidente com o conteúdo de finos menores do que 0,075mm na mistura seca (cimento, cal e areia) com a consistência compreendida entre limites que variam de uma mistura à outra. A Tabela 3.3 apresenta os conteúdos de finos da mistura seca, segundo a soma dos pesos das frações dos aglomerantes e da areia que passam na peneira 0,075 mm (equivalente brasileira da espanhola 0,08 UNG 7050) dividida pela sua massa total. Às porcentagens estabelecidas, estão associadas às classificações de plasticidade que no Brasil correspondem aos termos argamassa

rica, argamassa cheia e argamassa pobre (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995).

TABELA 3.3 - Conteúdo de finos da mistura seca (<0,075 mm) (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995)

Plasticidade	% mínimo de finos da mistura seca de uma argamassa	
	Sem aditivo plastificante	Com aditivo plastificante
Rica	>25	>20
Média	25 a 15	20 a 10
Pobre	<15	<10

A plasticidade é muito difícil de ser medida e vários equipamentos foram desenvolvidos. No entanto, nenhum método satisfatório que equacione o veredito da experiência do pedreiro foi estabelecido (BOWLER, JACKSON e MONK, 1996).

A plasticidade pode ser determinada através do trabalho (ou energia) necessária para deformar uma amostra de tamanho definido, como proposto no método da RILEM MR-13, de 1982. Neste ensaio, um molde plástico quadrado é preenchido com a argamassa e o conjunto é forçado a deformar-se diagonalmente a uma velocidade constante de 40 mm/s. Simultaneamente, são registradas a força aplicada (através de um dinamômetro) e a deformação produzida – mudança de comprimento da diagonal do quadrado – (através de um transdutor). O ensaio é interrompido quando a força atinge 25 N ou a deformação atinge 40 mm. A Figura 3.9 apresenta um esquema do equipamento empregado e da realização do ensaio.

A força e a deformação são representadas em um gráfico, medindo a área, expressa em N.mm, abaixo da curva, até o limite de 20N que representa a energia necessária para deformar a amostra de argamassa. Obtém-se assim a resistência relativa à deformação.

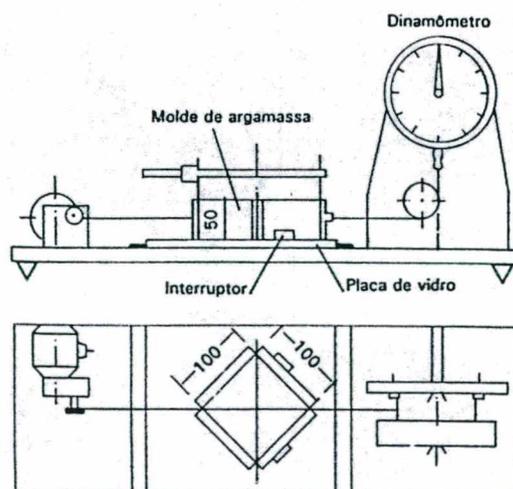


FIGURA 3.9 - Equipamento para ensaio de plasticidade de argamassa, também denominado Wuerpel modificado (MR – 13 da RILEM, 1982)

3.3.1.3 Coesão

A coesão refere-se às forças físicas de atração existentes entre as partículas sólidas da argamassa e às ligações químicas da pasta aglomerante. A influência da cal sobre a consistência e a trabalhabilidade das argamassas provém das condições de coesão interna que a mesma proporciona, em função da diminuição da tensão superficial da pasta aglomerante e da adesão ao agregado. A estabilidade plástica das argamassas origina-se também da coesão interna (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995).

É fácil fazer uma argamassa mais fluida simplesmente adicionando água; porém, a argamassa pode ter uma inadequada aderência especialmente por depender do bloco, e pode também ter a tendência de segregar os constituintes da argamassa, a menos que esse material retenha a coesão (BOWLER, JACKSON e MONK, 1996).

Atualmente não existem métodos consagrados para medir a coesão adequada para argamassas de assentamento.

3.3.1.4 Retenção de água

A retenção de água é entendida como a capacidade que a argamassa possui de reter a água que contém quando colocada em contato com blocos de alta sucção.

Retenção de água é uma importante propriedade e relaciona-se com a trabalhabilidade. Uma argamassa que tem boa retenção de água fica mole e suficientemente plástica para permitir e ajustar o alinhamento, nível, prumo, sem perigo de quebrar o íntimo contato ou aderência entre a argamassa e a unidade. Por outro lado, quando a argamassa tem muita retenção de água, estes componentes podem descolar. Conseqüentemente, a retenção de água de uma argamassa deveria ser dentro dos limites toleráveis (PANARESE, KOSMATKA e RANDALL JR. 1991).

Segundo Carasek (1996), para que as argamassas de assentamento e revestimento apresentem desempenho adequado após o endurecimento, é necessário que elas possuam uma capacidade

mínima de retenção de água. Tanto assim, que as especificações de vários materiais relacionados com a confecção de argamassas prescrevem valores mínimos de retenção de água ou consistência.

A ASTM C-270 (1993) especifica que, para argamassas de assentamento, a retenção de água deve ser superior a 70%, determinada pelo método de ensaio descrito na ASTM C-91.

De acordo com a NBR 8798 (1985), a retenção de água mínima permitida é de 75%, determinada segundo a ASTM C-91, até que se publique norma brasileira sobre o assunto. Esta norma baseia-se na determinação da consistência em ensaio semelhante ao preconizado pela NBR 7215 (1996) (através da mesa de consistência ou *flow table*), variando apenas as dimensões da forma tronco-cônica. A determinação da retenção de água (na verdade retenção de consistência) é realizada de acordo com o procedimento prescrito pela norma NBR 9287, adaptado do método americano.

A retenção de água na realidade consiste na medida de massa de água retirada pela argamassa após a realização de um tratamento padronizado de sucção. A retenção de água de uma argamassa pode ser avaliada pelos métodos BS 4551 e NBR 13277 (1995). Estes métodos serão detalhados a seguir.

Já a retenção de consistência consiste em uma forma indireta de determinar a retenção de água medindo a consistência da argamassa antes e depois da aplicação de um tratamento padronizado de sucção. Podem ser empregados os seguintes métodos para a avaliação da capacidade de retenção de consistência: NBR 9287, ASTM C-91 e BS 4551.

A retenção de consistência e de água para argamassas é considerada de importância prática, especialmente se a argamassa é para a aplicação em materiais de alta sucção. A consistência de qualquer tipo de argamassa depende da quantidade de água contida e o teor de ar incorporado (ROBERT et al., 1983).

Segundo Cincotto, Silva e Carasek (1995) além de determinar as condições de manuseio da argamassa, a retenção de água influi sobre as propriedades no estado endurecido, na medida em que determina as condições de hidratação do cimento e a carbonatação da cal, responsáveis pela evolução do processo de endurecimento. A retenção de água tem influência sobre as condições de contato da argamassa com a base e a retenção da umidade. A capacidade de retenção de água da argamassa varia em função do potencial de absorção da base.

As argamassas de cal apresentam características favoráveis de retenção de água pela elevada superfície específica da cal e pela grande capacidade de adsorção da água pelos seus cristais (até 100% do seu volume).

As conseqüências de uma baixa retenção de água pela argamassa são: absorção excessiva de água pelo bloco que irá expandi-lo, aumentando posteriormente o potencial de retração na secagem; a argamassa, perdendo rapidamente muita água provocará uma diminuição na resistência de aderência a apresentar-se-á mais rígida (maior módulo de deformação) quando endurecida, o que implica em menor capacidade de absorver deformações; a argamassa poderá ter reduzida sua resistência pois a hidratação do cimento e a carbonatação da cal serão prejudicadas com a perda inadequada de água. Em decorrência destes fatores haverá, ainda, prejuízo na durabilidade e na estanqueidade da parede (SABBATINI, 1986).

Deve-se esclarecer que, nem sempre, uma alta retenção de água na argamassa produz a melhor aderência. Em ensaios realizados por Solórzano (1994) encontrou-se que, para as unidades utilizadas, argamassas mistas com retenção de água na faixa entre 80 a 85% resultaram em menores resistências de aderência que se comparadas com as de retenção de água na faixa de 73 e 78%.

A retenção de água indiretamente relaciona-se com a manutenção de sua trabalhabilidade durante o processo de assentamento. Se a argamassa não possui boa retenção (perde água facilmente), a mesma enrijecerá dificultando ou mesmo impedindo o assentamento correto da fiada seguinte e a hidratação do cimento será parcial. Por outro lado, uma retenção de água muito elevada prejudica, no estado fresco, a manutenção da espessura da junta após o processo de assentamento e, depois, a confecção das fiadas subseqüentes. No estado endurecido, compromete a aderência com as unidades de alvenaria e a resistência da junta, por torná-la mais porosa devido à manutenção de uma alta relação água/aglomerante (PRUDÊNCIO, OLIVEIRA e BEDIN, 2002).

O teor de cal é também fator determinante da retenção de água e, para que haja alterações significativas nessa propriedade, é necessário que a adição de cal ocorra pelo menos em igual proporção ao teor de cimento. Quanto à relação agregado/aglomerante, observa-se que, em caso de grande consumo de aglomerante, a retenção é elevada, independentemente do teor de cal. No entanto, quando decresce o consumo de aglomerante, a retenção de água da argamassa melhora com o aumento da relação cal/cimento (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995).

Uma argamassa deve possuir capacidade de reter água necessária para molhar a superfície dos grãos e do aglomerante. Assim, sua capacidade de retenção de água está relacionada com a superfície específica dos seus constituintes. Neste sentido, a cal é bastante recomendada, devido, além de sua elevada superfície específica, à sua alta capacidade adsortiva. A capacidade de retenção de água pode ser também, obtida com o uso de aditivos derivados de celulose. (YOSHIDA e BARROS, 1995; BEALL, 1989). Segundo Cincotto, Silva e Carasek (1995), esses aditivos, cujas características impedem a perda de água para o componente, também impedem a percolação de água capilar, como é o caso dos aditivos incorporadores de ar.

Os fatores que influem sobre a capacidade de retenção de água das argamassas são: a área específica dos materiais constituintes e o número de íons ativos por unidade de superfície; a maturação prévia das argamassas de cal (período em que a pasta ou argamassa de cal são deixadas em descanso antes da aplicação); a natureza da cal; a relação cal/cimento no traço; a relação agregado/aglomerante do traço (SELMO, 1989 apud CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995).

Segundo Franco (1988), os problemas causados por uma argamassa com deficiência na sua capacidade de retenção de água podem comprometer o desempenho da parede, em relação à penetração de água da chuva, à diminuição da durabilidade, à diminuição da resistência à compressão, e à diminuição da resistência a esforços de tração e cisalhamento.

A seguir serão detalhados os métodos de determinação da retenção de água.

Retenção de água (BS 4551, 1980) e NBR 13277 (1995)

Consiste na medida da massa de água retida pela argamassa, após a sucção realizada através de discos de papel de filtro empilhados e pressionados durante 2 minutos sobre a superfície da argamassa contida em um molde metálico. É expressa em percentagem, através da relação entre a massa de água retida pela argamassa após a sucção e a massa de água inicial.

A RILEM, em sua recomendação MR-4 *Water retention capacity*, prescreve um ensaio similar ao anteriormente descrito. Nele é permitido, fazendo-se a adaptação necessária, a substituição do papel filtro por tijolos ou blocos, possibilitando a comparação do efeito de diferentes substratos

(CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995).

A NBR 13277 (1995), que prescreve este tipo de ensaio, refere-se a argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos, não sendo específica para alvenaria como é a NBR 9287 (1986).

Determinação da retenção de água empregando o funil de Büchner modificado para argamassas de assentamento para alvenaria de bloco de concreto (NBR 9287, 1986)

A denominação deste método não é muito adequada, pois este, na verdade, avalia a retenção de consistência e não a retenção de água da argamassa, embora existam muitas afinidades entre as duas determinações. Cabe salientar que o mesmo acontece com a ASTM C-91 (CARASEK e DJANIKIAN, 1993).

O método consiste na determinação do índice de consistência pelo *flow table* (NBR 7215), antes e depois da porção da argamassa ser submetida a uma sucção correspondente a uma coluna de 50 mm de Hg durante 60 segundos, em um funil de filtração (funil de Büchner modificado). O valor do índice de retenção de água é calculado pela expressão:

$$RA = \frac{(A - 125)}{(B - 125)} \times 100$$

Onde:

RA – índice de retenção de água, em (%);

A – consistência após a sucção no funil de Büchner modificado, em mm;

B – consistência inicial, em mm

A Figura 3.10 apresenta o equipamento utilizado para o ensaio.



FIGURA 3.10 – Equipamento utilizado para a retenção de água

Esse teste, por determinar concomitantemente a consistência inicial e final, dá uma razoável idéia da plasticidade e coesão de uma argamassa. Por exemplo, uma mistura áspera pode apresentar um índice de fluidez dentro da faixa recomendada, mas não passará no teste de retenção de água.

Este ensaio é uma adaptação do prescrito pela norma ASTM C-91 para cimento de alvenaria, sendo também prescrito por diversas normas em todo o mundo. Porém, nesta norma, a relação entre os valores medidos após a aplicação da subpressão (A e B respectivamente) e antes dela, expressa em porcentagem, é a medida da retenção de água (RA) como mostra a equação abaixo.

$$RA = \frac{A}{B} \times 100$$

Desta forma, se for realizado o teste segundo a NBR 9287 (1986), o limite de 75% não é mais aplicável. Em estudos realizados na Universidade Federal do Espírito Santo, correlacionando os resultados dos testes normalizados pela ABNT e ASTM, concluiu-se que um limite equivalente para os resultados da NBR 9287 (1986) deveria ser de aproximadamente 50% (TRISTÃO apud PRUDÊNCIO JR., OLIVEIRA e BEDIN, 2002).

Ensaio de retenção de consistência - *Consistency retentivity* (BS 4551,1980)

Este ensaio é composto pelo *dropping ball* (descrito anteriormente) para a avaliação da consistência, antes e depois da sucção exercida através de folhas de papel filtro (pelo método BS 4551 de retenção de água), possibilitando analisar a estabilidade das argamassas em manter a

consistência mesmo após a sucção.

3.3.1.5 Teor de Ar Aprisionado

Os vazios presentes na argamassa são, na realidade, ar aprisionado ou incorporado, ou espaços deixados após evaporação do excesso de água, e também dependem da granulometria das partículas mais finas da mistura (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995).

Segundo Carasek (1996), o aumento do teor de ar incorporado nas argamassas pode reduzir os pontos de contato da argamassa com o substrato e, conseqüentemente, resultar em baixa resistência de aderência.

O teor de ar pode ser determinado pelo método da densidade ou pelo método de pressão. O método da densidade geralmente tem maior repetição dos resultados porém requer o conhecimento da densidade de todos os constituintes do traço (incluindo a quantidade de água). O método de pressão não precisa desta informação mas envolve o uso de equipamentos especiais (ROBERT et al., 1983).

A NBR 13278 (1995) especifica o método de ensaio para determinação da densidade de massa e do teor de ar para argamassas para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos. Essa norma utiliza o método da densidade para o cálculo do teor de ar incorporado.

Cabe salientar que a densidade de massa descrita na norma NBR 13278 (1995) na realidade é a massa específica no estado fresco, visto que a densidade é uma propriedade adimensional, o que não acontece com a densidade de massa segundo esta norma.

Segundo Beall (1987) o teor de ar incorporado entre 12 a 15% deve ser estipulado para não reduzir a resistência à aderência quando o uso de aditivos incorporadores de ar para promover a trabalhabilidade.

3.3.1.6 Deformabilidade da Junta Fresca

Gallegos (1989) comenta que a altura máxima para assentamento da parede em um turno de trabalho é até meia altura da parede, o equivalente a 6 fiadas. Isto se deve provavelmente a uma redução na espessura, ou ao recalque, da junta da argamassa com o assentamento das fiadas em cima de um ponto específico.

Araújo (2001), ao realizar um estudo sobre técnicas construtivas de edifícios residenciais em alvenaria estrutural não armada de blocos vazados de concreto, procedeu a medição da variação da espessura da junta da alvenaria após a colocação de 6 fiadas subsequentes. Com essas medições, realizadas em 10 obras, totalizando 80 medições, o autor calculou a deformação da primeira junta após a sobreposição da primeira até a sexta fiada, conforme demonstrado na Figura 3.11.

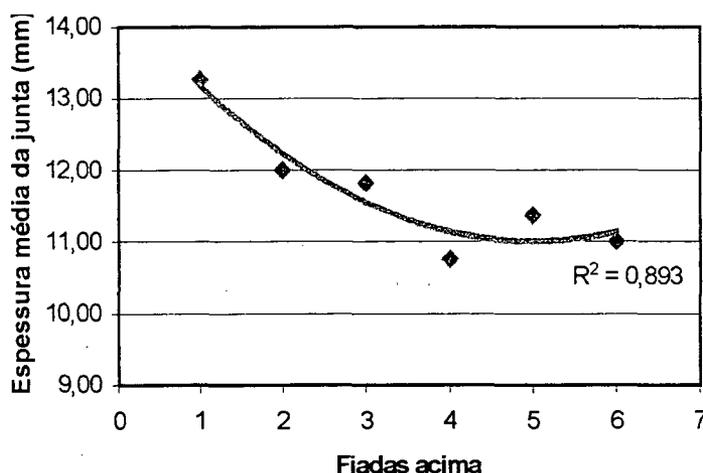


FIGURA 3.11 – Resultados de medição em obra da espessura média da argamassa no assentamento de blocos vazados de concreto (ARAÚJO, 2001)

O recalque médio dos blocos da parede, calculado a partir da Figura 3.11, medido em obra, foi de 0,452mm/fiada, sendo que após a colocação da sexta fiada colocada acima ocorreu a estabilização da primeira fiada, não observando mais recalque na junta, verificando que a argamassa de assentamento adquiriu resistência suficiente para não ocorrer mais recalque.

Cabe aqui ressaltar que, no estudo em questão, o tempo decorrido entre o assentamento das diversas fiadas não era constante e não foram determinados. Além disso, nos casos estudados, a argamassa não era sempre a mesma. Assim sendo, com base nesses resultados, não é possível afirmar que a recomendação de Gallegos (1989) é conservadora ou não.

3.4 PROPRIEDADES DO ESTADO ENDURECIDO

3.4.1 Resistência à Compressão

A argamassa começa a apresentar uma certa resistência com o fim de pega do aglomerante que aumenta continuamente com o tempo (endurecimento). As argamassas exclusivamente de cal e areia desenvolvem uma resistência pequena e de maneira lenta. O valor atingido com o tempo depende muito da umidade e da adequada difusão do dióxido de carbono do ar. Ao contrário, as argamassas de cimento dependem menos das condições ambientais, para desenvolver a resistência à compressão esperada (SABBATINI, 1998).

A resistência à compressão manifesta-se na argamassa a partir do início de seu endurecimento, determinado por diferentes mecanismos, conforme a argamassa contenha cal ou não. O endurecimento em argamassas de cimento ocorre pelas reações de hidratação do cimento quando, na presença de água, os silicatos e aluminatos constituintes resultam em produtos de hidratação na pasta endurecida (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995).

Segundo as mesmas autoras, a presença da cal na argamassa gera outro tipo de processo que resulta no endurecimento da mesma, ou seja, o processo de carbonatação do hidróxido de cálcio pela ação do anidrido carbônico do ar. Esta reação é mais lenta do que o processo de endurecimento das argamassas de cimento.

A resistência à compressão da argamassa é aumentada com a quantidade de cimento e é diminuída com a proporção de cal e o teor de ar incorporado. Falhas estruturais em alvenarias devido a problemas de resistência à compressão da argamassa são raras, porém se houver falhas na resistência de aderência, o resultado é geralmente mais crítico (KICKLIGHTER, 1985).

O proporcionamento dos materiais constituintes da argamassa tem influência sobre a resistência mecânica, observando-se, através de ensaios realizados, que as resistências à tração e à compressão aumentam com a adição de pequenos volumes de cal, sendo que volumes mais elevados provocam decréscimos significativos nas resistências. Constatou-se, também, que o aumento do volume de cal provoca um decréscimo significativo do módulo de deformação

estático (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995).

O valor da resistência à compressão da argamassa de assentamento não é de grande importância já que vários pesquisadores demonstraram que sua influência na resistência final da parede é pequena, como comentado no item 2.2.1.2.

Gallegos (1989) comenta que existe a tendência natural de preparar os corpos-de-prova em moldes impermeáveis, e que é cada vez mais crescente o reconhecimento de que é essencial na preparação dos corpos-de-prova que se leve em conta, de alguma maneira, a retirada de água por sucção da unidade de alvenaria para estabelecer assim a realidade da resistência da argamassa utilizada. Por exemplo, a *Uniform Building Code* apud Gallegos (1989) recomenda que, para obter corpos-de-prova de argamassa destinados a estabelecer a resistência à compressão, deve-se colocar a argamassa com uma espessura de 12 a 15 mm sobre a face de assentamento da unidade com a qual irá se utilizar, retirando-a depois de um minuto e colocando, compactando logo após em um molde cilíndrico impermeável de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura.

Os motivos para ainda hoje se ensaiar a resistência à compressão cubos e cilindros de argamassas empregadas na alvenaria estrutural são: o ensaio permite um controle estatístico da qualidade da argamassa em si e justifica-se também porque a resistência à compressão reflete o grau de hidratação da argamassa (que tem influência em outras características de desempenho, por exemplo: durabilidade da própria argamassa) (SABBATINI, 1986).

3.4.2 Aderência

A aderência não é uma propriedade intrínseca da argamassa, pois ela também depende das características das unidades que irá ligar (GALLEGOS, 1989).

A resistência de aderência pode ser definida como a capacidade que a interface bloco/argamassa possui de absorver tensões tangenciais (cisalhamento) e normais (tração) a ela, sem romper (PRUDÊNCIO JR., OLIVEIRA e BEDIN, 2002). Desta resistência depende a monolicidade da parede e a resistência da alvenaria frente a solicitações provocadas por: deformações volumétricas (retração hidráulica e dilatação térmica); carregamento perpendicular excêntrico;

esforços ortogonais à parede (cargas de vento), etc. (SABBATINI, 1986).

Segundo Sabbatini (1984), a aderência é, na verdade, uma conjugação de três propriedades da interface bloco-argamassa: a resistência de aderência à tração, a resistência de aderência ao cisalhamento e a extensão de aderência.

O mesmo autor ressalta a importância da argamassa no estabelecimento da aderência com os blocos destacando os seguintes fatores como os mais importantes: retenção de água, consistência e teor de ar incorporado.

A aderência é um importante indicativo da qualidade construtiva empregada na confecção das juntas. Quando bem executadas, as juntas de argamassa contribuem decisivamente para o adequado desempenho da alvenaria frente às solicitações mais diversas (MEDEIROS, 1993)

A aderência entre a argamassa e o bloco é uma combinação do grau de contato entre ambos e da adesão da pasta de cimento à superfície do bloco. Os fatores que influenciam o grau de contato e a adesão são a trabalhabilidade da argamassa, a retentividade, a taxa de absorção inicial do bloco, a mão-de-obra, a quantidade de cimento na mistura, a textura da superfície do bloco, o teor de umidade do bloco, a temperatura e a umidade relativa (MOHAMAD, 1998).

A aderência da argamassa pode reduzir se a água da mistura se evaporar. Obtêm-se maiores resistências de aderência com misturas úmidas de boa trabalhabilidade. A redosagem, que consiste em colocar mais água e misturar novamente, é uma prática aceitável para compensar a água perdida da argamassa. Todavia, existem alguns requisitos para fazer a redosagem. As normas da ASTM recomendam que toda argamassa antes de 2,5 horas após a primeira mistura pode ser redosada quantas vezes forem necessárias. Os ensaios têm mostrado que a redução da resistência à compressão devido a esta redosagem de água é mínima se esta for feita antes das 2,5 horas da primeira mistura (SUPRENTANT, 1994; PANARESE, KOSMATKA e RANDALL JR., 1991; BEALL, 1987).

A aderência, medida por seu valor e extensão, é a propriedade mais importante da argamassa endurecida. Ela estabelece e fica definida para todas as suas finalidades no momento em que é feito o contato da unidade com a argamassa. Ainda não existem métodos ou ensaios adequados para medir o valor da aderência como uma característica independente. Atualmente é utilizada uma série de métodos que consistem em separar duas ou mais unidades ligadas por argamassas (PRUDÊNCIO JR., 1994).

O valor da resistência de aderência entre a unidade e argamassa não é constante ao longo do tempo. O fato de existirem dois materiais distintos mantidos juntos, sujeitos a esforços solicitantes (variações dimensionais originadas por mudanças de temperatura e umidade), faz com que a tensão de aderência possa, em muitos casos, reduzir com o tempo (PRUDÊNCIO JR., OLIVEIRA e BEDIN, 2002).

Provavelmente a única forma de se conhecer a durabilidade de aderência seja por meio de uma avaliação do desempenho de construções de alvenaria que tenham sido submetidas a ações que tenderam a destruí-las. Segundo Sabbatini (1984), um exemplo mais interessante é o descrito por C.C. Conner em um trabalho preparado para a ASTM em 1948, baseado no exame detalhado de 100 edifícios de alvenaria da Companhia de Telefones de Nova Jersey nos Estados Unidos, que tinham entre 6 e 23 anos e que deviam ser demolidos. Os edifícios estanques, e que não apresentavam fissuras haviam sido construídos com argamassas com cal; entretanto, aqueles que haviam sido construídos com argamassas sem cal, apresentavam até 60% do comprimento das fiadas fissuradas e tinham graves infiltrações. Além do mais, o custo licitado de demolição foi muito mais elevado para os edifícios assentados com argamassas contendo cal, já que era necessário romper as paredes, e não simplesmente desmontá-las, o que era possível quando não havia sido usada cal.

A situação descrita anteriormente tem sua explicação na tendência do cimento a contrair-se com o avanço do processo de hidratação, enquanto que a cal tende a endurecer com o tempo, mantendo as argamassas elásticas e curando as fissuras de maneira autógena ao ocorrer a carbonatação.

3.4.3 Resiliência e Módulo de Deformação

A resiliência é a capacidade que o material possui de se deformar sem apresentar ruptura quando sujeita a solicitações diversas e de retornar à dimensão original quando cessam estas solicitações. No entanto, para argamassas de assentamento, este conceito se estende para um estado de deformação plástica em que a ruptura ocorre na forma de fissuras microscópicas não prejudiciais (que não permitem a penetração da chuva) (SABBATINI, 1986).

A resiliência da argamassa está inversamente relacionada com o valor do seu módulo de elasticidade e com sua resistência à compressão, e é também por isso que não se aconselha o uso de argamassas muito resistentes.

Steil e Prudêncio Jr. (2002) observaram que as curvas tensão versus deformação de uma argamassa industrializada e uma mista à base de cal e cimento de resistências aproximadamente iguais apresentaram um módulo de elasticidade e resistência à compressão bastante similar. Porém, quando foram instrumentados os prismas de alvenaria, as deformações observadas para os prismas com argamassas industrializadas foram muito maiores, alterando-se inclusive o mecanismo de ruptura da alvenaria. Enquanto os prismas contendo argamassas mistas romperam-se por tração transversal nos blocos, os confeccionados com argamassa industrializada romperam-se por esmagamento das juntas. Porém estes resultados foram obtidos para um tipo específico de argamassa industrializada, não podendo, portanto, ser generalizado (PRUDÊNCIO JR., OLIVEIRA e BEDIN, 2002).

Algumas técnicas e equações para a determinação da deformação têm sido propostas. A NBR 8522 (1994) calcula o módulo de elasticidade através do diagrama tensão x deformação ($\sigma \times \epsilon$), obtido nos pontos de 0,5 MPa e 30 % da carga de ruptura.

Também é especificada a adoção do módulo de elasticidade de acordo com a corda dos pontos iguais a 5% e 30% da carga de ruptura (f_p) do diagrama $\sigma \times \epsilon$. A justificativa para adoção desses valores é que as deformações que ocorrem em tensões menores que 5% de f_p são influenciadas por efeitos de acomodação das tensões. O limite superior é determinado pela máxima tensão admissível na alvenaria (a máxima tensão admissível de compressão na flexão é da ordem de a 0,30 f_p).

3.4.4 Durabilidade

As argamassas podem ter a sua integridade comprometida por uma série de fatores dentre os quais temos: retração por secagem; absorção de água; congelamento; choques térmicos; agentes corrosivos atmosféricos; agentes agressivos biológicos (SABBATINI, 1986).

3.5 MATERIAIS CONSTITUINTES DAS ARGAMASSAS

3.5.1 Considerações Iniciais

Os materiais constituintes das argamassas de assentamento, como já visto anteriormente, são: cimento, cal, agregado miúdo e/ou aditivos (incorporadores de ar ou plastificantes) para argamassas industrializadas.

3.5.2 Cimento

O cimento proporciona resistência às argamassas e aumenta a resistência de aderência, além de colaborar em sua trabalhabilidade e retenção de água. Por outro lado, um excesso de cimento (quando ultrapassa 1/3 do volume total da argamassa) aumenta exageradamente a contração da argamassa atentando contra a durabilidade da aderência (PRUDÊNCIO JR., OLIVEIRA e BEDIN, 2002; GALLEGOS, 1989).

A NBR 8798 (1985) não condena o uso de nenhum tipo ou classe de cimento, no entanto exige que atenda às normas brasileiras a ele pertinentes. Segundo Sabbatini (1986), a utilização de cimento com classes de resistência mais elevadas geram argamassas com maior resistência sem que as demais propriedades sejam alteradas. Gallegos (1989) considera que a adoção de cimento Portland comum é a mais adequada.

A princípio qualquer tipo de cimento Portland pode ser utilizado para a produção das argamassas de assentamento. Devem ser consideradas as condições às quais a obra estará sujeita. Os cimentos mais finos, por apresentarem uma maior superfície específica, tendem a aumentar a capacidade de retenção de água e a trabalhabilidade. Também, aqueles cujo endurecimento é mais lento produzem argamassas mais resilientes (com maior capacidade de absorver pequenas deformações). Os cimentos pozolânicos e de alto-forno apresentam estas duas características e podem ser, portanto, uma opção tão boa quanto o cimento Portland comum (CALÇADA, 1998;

PRUDÊNCIO JR., OLIVEIRA e BEDIN, 2002).

Gallegos (1989) afirma que o cimento Portland é um componente essencial para a argamassa, mas deve-se entender que ele não pode alcançar seu potencial sem a presença da cal. Existe, na prática, a dosagem de argamassa sem cal, porém esta leva a problemas na construção de alvenaria como juntas excessivamente grossas devido a sua falta de trabalhabilidade.

3.5.3 Cal

A cal é usada hoje em dia como um plastificante e por muitos anos, muito antes de aparecer o cimento Portland, já era um ingrediente ativo na argamassa. As argamassas de cal e areia eram duráveis, porém retardavam muito o tempo de endurecimento. As construções rápidas de hoje em dia requerem um aumento de resistência rápido, mas não resistência alta, a qual é produzida ao usar o cimento Portland. Todavia, como as argamassas somente de cimento podem ser difíceis de se trabalhar, a cal e os plastificantes são usados para beneficiar a trabalhabilidade (BEALL, 1989).

Diferentemente do cimento, a cal trata-se de um aglomerante aéreo, cujo endurecimento se dá através da reação com o gás carbônico presente no ar. A cal pode ser classificada conforme a Tabela 3.4.

TABELA 3.4 - Classificação das cales (GUIMARÃES, 1997)

Tipo de Cal	CaO (%)	MgO (%)	Insolúveis no HCl (%)	Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃ (%)	P.F. (%)	CO ₂ (%)	SO ₃ (%)	CaO + MgO* (%)	Mg O** (%)	MI/HCl/ 4N ⁺ (10 min)
Cal Virgem Cálctica	90 a 98	0,1 a 0,8	0,5 a 3,5	0,2 a 1,0	0,5 a 5,0	0,2 a 3,8	0,1 a 0,6	96 a 98,5	-	225 a 400
Cal Hidratada Cálctica	70 a 74	0,1 a 1,4	0,5 a 2,5	0,2 a 0,8	23 a 27	1,5 a 3,5	0,1 a 0,0		0,5 a 1,8	-
Cal Hidratada Dolomítica/ Magnésiana	39 a 61	15 a 30	0,5 a 18,2	0,2 a 1,5	19 a 27	3,0 a 6,0	0,02 a 0,2	76 a 99	5 a 25	-
Cal Virgem Dolomítica/ Magnésiana	51 a 61	30 a 37	0,5 a 4,5	0,2 a 1,0	0,5 a 4,8	0,5 a 4,5	0,05 a 0,1		-	225 a 290

* - Base de Não-Volátil

** - Não Hidratado

⁺ - Reatividade

Para a produção de argamassas, pode ser utilizada a cal hidratada ou cal extinta em obra, desde que apresentem teores de elementos ativos (CaO e MgO) superiores a 88% (NBR 7175, 1992).

Segundo Gillard e Lee apud Solórzano (1994) a escolha da cal adequada deve levar em conta que esta contenha o menor teor possível de impurezas (maior teor de óxido totais – MgO e CaO), menor teor de óxido livres, maior plasticidade e maior capacidade de incorporação de areia.

As funções básicas da cal nas argamassas de assentamento são: o aumento de fluidez e da coesão (conseqüentemente da trabalhabilidade), aumento da capacidade de reter água, aumento da plasticidade, redução da retração por secagem, aumento da aderência (extensão e durabilidade), melhoria da resiliência (LA ROVERE, 1997). A variação nas propriedades da argamassa quando é aumentado o teor de cal mantendo a relação de agregados pode ser verificada na Tabela 3.5.

TABELA 3.5 – Variação nas propriedades de uma argamassa com a alteração da composição relativa de cimento e cal (SABBATINI, 1986)

Propriedades	Aumento na proporção de cal no aglomerante	
Resistência à Compressão	Decresce	Propriedades melhoradas com maior teor relativo de cimento
Resistência de Aderência	Decresce	
Durabilidade	Decresce	
Impermeabilidade	Decresce	
Resistências Iniciais	Decresce	
Retração na secagem inicial	Cresce	
Retenção de Água	Cresce	Propriedades melhoradas com maior teor relativo de cal
Plasticidade	Cresce	
Trabalhabilidade	Cresce	
Resiliência	Cresce	
Módulo de Elasticidade	Decresce	
Extensão de Aderência	Aumenta	
Custo	Decresce	

3.5.4 Agregado Miúdo

O agregado miúdo atua como agregado inerte na mistura, reduz a proporção dos aglomerantes permitindo aumentar seu rendimento (ou reduzir o custo da argamassa) e diminuir os efeitos nocivos do excesso de cimento. Podem ser empregados agregados naturais ou artificiais, sendo a areia de rio o mais freqüente.

Segundo Prudêncio Jr. (1994), uma boa areia para argamassa é aquela que passa integralmente na peneira 1,2 mm, tem teor de material passante na peneira 0,075 mm inferior a 10% e apresenta granulometria bem distribuída nas peneiras intermediárias. Solórzano (1994) comenta que, para a maioria dos autores, a areia para argamassa deve ser resistente, limpa, com granulometria apropriada (intermediária) e contínua além de livre de matéria orgânica. A melhor areia, segundo Sabbatini (1986), é aquela que apresenta granulometria contínua, pode ser classificada como média (módulo de finura entre 1,8 e 2,8) e que tem predominância de grãos arredondados.

A NBR 8798 (1985) especifica que o agregado atenda às especificações da NBR 7211 (1987) como mostra a Tabela 3.6. A granulometria dos agregados deve estar dentro dos limites de somente uma das zonas porém a NBR 8798 (1985) não especifica qual das zonas a granulometria para argamassas de assentamento devem estar.

TABELA 3.6 – Limites granulométricos do agregado, NBR 7211 (1987)

Peneiras ABNT (mm)	Porcentagem, em peso, retida acumulada na peneira ABNT			
	ZONA 1 (muito fina)	ZONA 2 (fina)	ZONA 3 (média)	ZONA 4 (grossa)
9,5	0	0	0	0
6,3	0 a 3	0 a 7	0 a 7	0 a 7
4,8	0 a 5*	0 a 10	0 a 11	0 a 12
2,4	0 a 5*	0 a 15*	0 a 25*	5* a 40
1,2	0 a 10*	0 a 25*	10 a 45*	30* a 70
0,6	0 a 20	21 a 40	41 a 65	66 a 85
0,3	50 a 85*	60* a 88*	70* a 92*	80* a 95
0,15	85** a 100	90** a 100	90** a 100	90** a 100

(*) pode haver tolerância de até 5 unidades de por cento em um só dos limites marcados com (*) ou distribuídos em vários deles;

** para agregado miúdo resultante de britamento este limite poderá ser 80.

As normas britânica e americana apresentam uma recomendação sobre a granulometria das areias destinadas a argamassa de assentamento que são apresentadas na Tabela 3.7.

TABELA 3.7 – Faixas granulométricas das areias para argamassas empregadas em alvenaria estrutural, segundo BS – 1200 e ASTM C - 144

Peneira – abertura nominal (mm)	Porcentagem em massa que passa nas peneiras	
	BS - 1200	ASTM C-144
4,75 (5,0 para BS – 1200)	100	100
2,36	90 a 100	95 a 100
1,18	70 a 100	70 a 100
0,6	40 a 80	40 a 75
0,3	5 a 40	10 a 35
0,15	0 a 10	2 a 15

Há uma evidência de que as areias grossas aumentam a resistência à compressão da argamassa e produzem argamassas ásperas, porém as areias muito finas reduzem a resistência à aderência. A forma redonda ou angulosa do grão influencia igualmente na propriedade das argamassas. Em consequência, deve-se preferir as areias de granulometria completa, bem graduada, pois produzem argamassas trabalháveis e adesivas (GALLEGOS, 1989).

As características mineralógicas e granulométricas da areia têm grande influência nas propriedades da argamassa, conforme pode ser observado na Tabela 3.8 (SABBATINI, 1986).

TABELA 3.8 – Influência das características granulométricas da areia nas propriedades das argamassas (SABBATINI, 1986)

Propriedades	Característica da Areia		
	Quanto menor o módulo de finura	Quanto mais descontínua a granulometria	Quanto maior o teor de grãos angulosos
Trabalhabilidade	Melhor	Pior	Pior
Retenção de água	Melhor	Variável	Melhor
Resiliência	Variável	Pior	Pior
Retração na secagem	Aumenta	Aumenta	Variável
Aderência	Pior	Pior	Melhor
Resistência mecânica	Variável	Pior	Variável
Permealbilidade	Pior	Pior	Variável

O termo variável foi usado para o caso em que não existe uma influência definitiva ou depende de outros fatores

3.5.5 Aditivos

O principal aditivo empregado em argamassas é o incorporador de ar, que é adicionado com a finalidade de melhorar a plasticidade, permitindo a redução da quantidade de água. Esse produto, pela adição de bolhas de ar, em geral, também aumenta a retenção de água e reduz a exsudação. Por estas razões, muitas vezes ele é empregado como substitutivo da cal (CARASEK, 1996).

Estes aditivos podem ser plastificantes, geralmente aeradores (vinsol) e tornam a argamassa trabalhável e com capacidade de retenção de água.

Os incorporadores de ar são tensoativos que atuam na tensão superficial da pasta de cimento, diminuindo-a e, desta forma, aumentando a plasticidade e a retenção de água da argamassa. As bolhas de ar incorporadas preenchem os vazios existentes entre a areia e a diminuição da tensão superficial da pasta permite que esta molhe os grãos de areia, favorecendo a trabalhabilidade (SOLÓRZANO, 1994).

3.5.6 Água

A água é o principal componente que influencia a trabalhabilidade da argamassa. Para obter melhores resultados de aderência com argamassas de assentamento, existe um consenso de que a quantidade de água deva ser o máximo possível compatível com a trabalhabilidade e mantendo a coesão e a plasticidade da argamassa (PANARESE, KOSMATKA e RANDALL JR., 1991; GALLEGOS, 1989; e BEALL, 1989).

A quantidade de água deve ser tal que garanta uma boa produtividade no assentamento sem que cause a segregação dos constituintes da argamassa. Além disso, deve-se restituir a água que se evapora durante o processo de assentamento de modo a manter constante a fluidez. Este processo conhecido como remistura, que é totalmente desaconselhável no caso do concreto, não deve ser empregado uma vez iniciada a pega do cimento (PRUDÊNCIO JR., OLIVEIRA e BEDIN, 2002; GALLEGOS, 1989; BEALL, 1987; BRICK INSTITUTE OF AMERICA, 1988).

Sabbatini (1984) afirma que não é habitual fixar-se um valor máximo de teor de água (como é normalmente na tecnologia do concreto de cimento Portland) pois a quantidade de água para uma argamassa é dosada pelo operário que irá manuseá-la, a fim de que, segundo seus critérios pessoais, ela seja trabalhável. Nem mesmo a proibição de acréscimo de água e posterior reamassamento de argamassa após algumas horas do primeiro amassamento é recomendável. A perda de resistência à compressão devido a este procedimento é normalmente compensada por um ganho na trabalhabilidade e na retenção de água e, conseqüentemente, na aderência.

Munro (1988) comenta que é impossível determinar exatamente a quantidade de água para produzir as propriedades desejáveis da argamassa. Geralmente, a quantidade de água deve ser estabelecida pelo operador do misturador da argamassa. Sua tarefa é simples: se produzir uma argamassa muito seca ou com muita água, os assentadores não poderão usá-la. Este operador é treinado com base de acertos e erros para produzir uma argamassa com quantidade de água adequada.

A NBR 8798 (1985) especifica padrões de pureza que devem ser observados para que a água seja utilizada na argamassa, conforme a Tabela 3.9.

TABELA 3.9 – Limites máximos da qualidade da água a ser utilizada em argamassas segundo a NBR 8798 (1985)

PH	Entre 5,8 e 8,0
Matéria orgânica	3 mg/l
Resíduos sólidos	500 mg/l
Sulfatos – expressos em íons SO_4^-	300 mg/l
Cloretos – expressos em íons Cl^-	500 mg/l
Açúcar	5 mg/l

Segundo Sabbatini (1986), estes valores têm grande importância quando do uso de alvenaria armada, porém para alvenaria não armada o uso de água limpa, clara, de pH neutro e livre de sujeiras e matéria orgânica visíveis têm apresentado bons resultados.

3.6 INFLUÊNCIA DOS MATERIAIS CONSTITUINTES NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS

Como foi visto nos itens anteriores, os materiais constituintes das argamassas são responsáveis pelas suas propriedades e o conhecimento da influência destes é fundamental para uma dosagem adequada, que atenda as necessidades no emprego da mistura. Para facilitar uma melhor visualização deste fato, na Tabela 3.10 é apresentada uma síntese da influência dos materiais nas propriedades da argamassa.

TABELA 3.10 - Influência dos materiais nas propriedades da argamassa (Sabbatini, 1984)

Estado	Propriedades	Componentes				
		Cimento	Cal	Areia		Água
				Grossa	Fina	
Fresco	Fluidez	+	+	0	0	++
	Plasticidade	+	++	-	+	0
	Coesão	+	++	-	+	0
	Retenção de água	+	++	-	+	0
Endurecido	Resistência de aderência	++	0	0	0	0
	Extensão de aderência	-	++	-	+	+
	Durabilidade	-	++	0	0	0
	Resistência à compressão	++	-	+	-	-

++ indica que influencia fortemente aumentando a propriedade

+ indica que aumenta

- indica que diminui

0 indica pouca influência

3.7 TIPOS DE ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO

Para a classificação da argamassa dentro de um contexto amplo pode-se adotar a classificação dada por Sabbatini (1986) que divide as argamassas segundo quatro aspectos principais: a sua utilização; os aglomerantes; a proporção dos elementos constituintes e os critérios que ressaltam alguma propriedade intrínseca.

As argamassas que são destinadas ao assentamento de alvenaria podem ser classificadas pelo tipo de aglomerante empregado, sendo as mais importantes: argamassas de cal; argamassas de

cimento Portland com aditivos ou sem aditivos; argamassas de cimento e cal (mistas); e argamassas de cimentos de alvenaria. Dentre estas, as mais adequadas para o emprego em alvenaria estrutural são as argamassas de cimento e cal, segundo a opinião da maioria dos pesquisadores do assunto (PRUDÊNCIO JR., OLIVEIRA, e BEDIN, 2002).

O levantamento feito por Araújo (2001) em 15 construtoras da grande Florianópolis que construíam em alvenaria estrutural, detectou que 80% das obras utilizavam argamassas mistas de cimento e cal e os outros 20%, de argamassas de cimento Portland com aditivos (industrializadas).

3.7.1 Argamassa de Cal

A argamassa tradicionalmente empregada para assentamento de alvenaria antes do advento do cimento Portland era a constituída de areia e cal, as vezes eram utilizadas pozolanas naturais e pó de tijolo. A pasta de cal, suspensão coloidal de hidróxido de cálcio e/ou hidróxido de magnésio, preenche os vazios entre os grãos de areia, proporcionando trabalhabilidade e retenção de água otimizada em comparação com outros tipos de argamassas, principalmente se a cal utilizada possuir um alto teor de óxidos de cálcio e for empregada sob a forma de pasta extinta (e não em pó, hidratada).

A argamassa de cal desenvolve resistência mecânica lentamente e os valores máximos são pequenos, além do que, para atingir estes valores, ela requer condições ambientais específicas, como a manutenção da umidade e a garantia de acesso de dióxido de carbono durante todo o tempo de endurecimento. Além disso, ela não dá pega, endurecendo inicialmente por perda de água para os elementos e por evaporação. Por estas razões, as argamassas de cal não são recomendadas para a alvenaria com blocos estruturais (SABBATINI, 1998).

3.7.2 Argamassa de Cimento

As argamassas de cimento Portland e areia são normalmente de elevada resistência à compressão e são usadas em obras específicas tais como, por exemplo, muros de contenção; camadas de impermeabilização na transição das fundações para as paredes estruturais; fundações em solos agressivos; fundações abaixo do nível do lençol freático ou ainda quando são utilizados blocos de altíssimas resistências à compressão, entre outras aplicações.

Por essas argamassas adquirirem com rapidez resistências mecânicas elevadas podem desenvolver, sem problemas, resistências adequadas para suportar as cargas durante uma construção de alvenaria estrutural (SABBATINI, 1986).

Existem dois fatores ainda a serem considerados sobre as argamassas de cimento e areia: primeiro a retração por secagem, que pode ser excessiva e prejudicar as características da alvenaria e, segundo, a mudança de volume devido à variação de temperatura (SOLÓRZANO, 1994).

As razões expostas fazem com que as argamassas de cimento tenham uso restrito na alvenaria estrutural.

3.7.3 Argamassa Mista de Cal e Cimento

As argamassas de cimento e areia têm alta resistência mecânica associadas a uma baixa retenção de água e trabalhabilidade deficiente. Estas características deixam a parede muito resistente mas vulnerável à fissuração e à penetração da chuva.

Por sua vez as argamassas somente de cal possuem características contrárias: baixas resistências, alta retenção de água e trabalhabilidade. Paredes que utilizam este tipo de argamassa têm baixas resistências mecânicas, se comparadas com as assentadas com argamassas de cimento mas possuem grande deformabilidade, o que diminui a fissuração e, conseqüentemente, aumenta a sua estanqueidade.

Argamassas feitas com apropriadas proporções de cal e cimento possuem as propriedades e vantagens das argamassas feitas com cada material combinando: a resistência dada pelo cimento com a trabalhabilidade e retenção de água obtidas pela adição de cal.

Os ingleses utilizam a proporção 1:3 (cimento mais cal:areia seca) em volume como traço básico, pois partem do princípio de que, com esta proporção, os vazios da areia são preenchidos pela pasta aglomerante. E assim, ao se alterarem as proporções relativas de cal e cimento, a trabalhabilidade fica mais ou menos assegurada, conforme a quantidade de cal utilizada. Este tipo de argamassa é a de emprego mais adequado na alvenaria estrutural não armada (SABBATINI, 1986).

Outra característica importante das argamassas contendo cal é de dotar a argamassa de uma maior capacidade de incorporação de areia. O grande número de pequenas partículas da cal permite agregar mais areia a uma mesma quantidade de pasta, mantendo todas as partículas de areia envolvidas sem sacrificar a trabalhabilidade da argamassa e por decorrência reduzindo seu custo (SOLÓRZANO, 1994).

No estado endurecido, os efeitos vantajosos com a utilização de argamassas mistas são vários em relação à melhoria da aderência (aderência potencial da argamassa). O efeito positivo dessas argamassas decorre da sua maior plasticidade e retenção de água.

A aderência é também favorecida pela capacidade de retenção de água deste tipo de argamassa pois, ao assentar-se a unidade de alvenaria, esta absorve água da argamassa e, se esta absorção for muito rápida, o que ocorre com argamassa de baixa retenção de água, forma-se um vazio na interface unidade-argamassa prejudicando a aderência (SABBATINI, 1986).

Se for comparado o desempenho das argamassas mistas frente ao das que usam cimento de alvenaria ou aditivos, as primeiras desenvolvem geralmente melhor aderência. Estas foram as conclusões obtidas em estudos realizados na Universidade do Texas citados por Walker e Gutschik (1990) (apud SOLÓRZANO, 1994). Nestes estudos, comparou-se o desempenho de argamassas mistas de cal e cimento com oito tipos diferentes de argamassas com cimento de alvenaria em paredes de ensaio curadas às intempéries por 28 dias e sujeitas, posteriormente, a esforços simulados de furacão, chuva e vento por um período de 72 horas.

As argamassas mistas proporcionam um maior tempo aberto (tempo de manuseio) devido, principalmente, à cal ou à argila adicionada a estas argamassas. Tais materiais retardam o

endurecimento rápido da argamassa permitindo obter tempos de abertura de até 4 a 5 vezes maiores que se comparadas com argamassas de cimento (SOLÓRZANO, 1994).

3.7.4 Argamassa de Cimento com Aditivos

Sabbatini (1984) refere-se às argamassas aditivadas como aquelas que usam aditivos plastificantes, geralmente incorporadores de ar, com objetivo de aumentar a trabalhabilidade e a retenção de água.

As argamassas industrializadas são compostas basicamente por agregados inertes de granulometria fina, fileres minerais, cimento Portland e aditivos (plastificantes, retentores de água e incorporadores de ar). São comercializadas pré-misturadas, necessitando para utilização apenas uma dosagem adequada de água (YOSHIDA e BARROS, 1995).

Yoshida e Barros (1995) observaram uma superioridade das argamassas industrializadas frente às convencionais na trabalhabilidade. Isto porque o ar incorporado através de aditivos, serve de “lubrificante” entre os grãos sólidos da argamassa, dando a esta uma semelhante trabalhabilidade e auxiliando na capacidade de retenção de água.

A quantidade de aditivo a ser colocado é de extrema importância, já que o teor geralmente utilizado é baixo e pequenos erros na dosagem provocariam grandes variações nas características e no desempenho esperado da argamassa. Deve-se, portanto, fazer testes com os materiais que estejam sendo usados em cada caso para se ter um melhor conhecimento do desempenho destes aditivos e depois partir para o estabelecimento de uma tecnologia de utilização prática e confiável (SOLÓRZANO, 1994).

Quanto ao tempo de mistura, Beningfield (1988) comenta que o teor de ar varia com a mudança do tempo de mistura. Este autor preparou argamassas aditivadas com resinas “vinsol” para incorporar diferentes teores de ar na argamassa e poder determinar a sua variação com a mudança de diversos fatores.

Ao contrário das argamassas convencionais, cuja consistência é função básica da sua composição, a presença de aditivos nas argamassas industrializadas, principalmente os

incorporadores de ar, torna a consistência condicionada também pelo tempo de repouso e pelo modo em que estas são misturadas (YOSHIDA e BARROS, 1995). Além disso, dependem do teor de aditivos que altera conseqüentemente todas as outras propriedades (NAKAKURA e CINCOTTO, 2001).

Então para as argamassas industrializadas, existe a necessidade de se avaliar o tempo de mistura. Quando o tempo for muito curto, os aditivos incorporadores de ar não chegam a agir, e, se excessivo, pode causar a expulsão de parte do ar.

Outro fator que deve ser avaliado segundo Yoshida e Barros (1995) durante os ensaios com argamassas industrializadas é a velocidade de mistura. Uma rotação muito rápida possibilita a incorporação de uma quantidade de ar bem maior do que em rotações mais lentas, e conseqüentemente, obtêm-se uma argamassa de menor consistência.

Segundo a norma brasileira NBR 13276 (1995), para argamassas industrializadas, o tempo de mistura especificado é de 4 minutos na velocidade lenta do misturador mecânico (argamassadeira) conforme NBR 7215 (1996).

Cada fabricante formula a sua argamassa para uma utilização específica, supondo a forma de mistura de obra, que pode não ter o tempo de mistura de 4 minutos e nem ser tão enérgico como preconiza a NBR 13276 (1995). Logo, padronizar esse valor sem preocupação com a modificação das características da argamassa, não refletindo o resultado em obra, mostra-se um procedimento especificado inadequado (NAKAKURA e CINCOTTO, 2001).

A recomendação do CSTB (*Centre Scientifique et Technique Du Batiment*) (1993) apud Nakakura e Cincotto (2001) é de 30 segundos na velocidade lenta, escarificação e 1 minuto na velocidade lenta, totalizando 90 segundos de mistura. Normalmente, o tempo de mistura recomendado pelos fabricantes é de 30 segundos na velocidade lenta.

Nakakura e Cincotto (2001), em um estudo de 19 argamassas industrializadas, observaram que o tempo de 4 minutos (recomendados pela norma brasileira) leva a uma incorporação de ar elevada. Tomando os resultados obtidos segundo a NBR 13276 (1995) como referência, constataram que o procedimento segundo CSTB reduziu o teor de ar incorporado em 30% e o do fabricante em 50%. Concluíram que o procedimento de mistura recomendado pelo fabricante pode não ser ideal para todas as argamassas, de forma a garantir uma perfeita homogeneização da mistura, e que o tempo preconizado pela norma NBR 13276 (1995) é excessivo, a ponto de

incorporar ar em teor elevado e prejudicial às propriedades no estado endurecido. Assim, o tempo de 90 segundos preconizado pelo CSTB provavelmente esteja mais próximo de atender a todas as argamassas.

A argamassa industrializada está formulada para um determinado modo de mistura, manual ou mecânica (ainda diferenciado pelo tipo de misturador). Essa especificação deve constar da embalagem sendo especificado na NBR 13281 (1995).

Yoshida e Barros (1995) encontraram, para duas argamassas industrializadas estudadas, resistências à compressão e módulos bem inferiores as argamassas de cimento e areia, porém relativamente superiores às convencionais. Neste sentido, observaram que as argamassas industrializadas ainda são bastantes rígidas e que, portanto, a porcentagem utilizada de cimento na sua composição ainda era elevada, quando se necessita oferecer às alvenarias alta capacidade de absorver deformações.

A baixa resistência de aderência obtida com argamassas aditivadas é atribuída à redução da superfície de contato pela presença das bolhas de ar (CARASEK, 1996).

3.7.5 Argamassa de Cimento de Alvenaria

O cimento de alvenaria é um cimento especial composto por cimento Portland e um filler mineral (geralmente calcário, finamente moído), contendo ou não aditivos. Em tese, a argamassa produzida por este cimento seria adequada para uso na alvenaria estrutural. No entanto, seu uso deve ser feito com cuidado. Os ingleses recomendam que seja empregada na alvenaria estrutural só após estudos específicos, pois a tecnologia de seu emprego não está bem consolidada: falta tradição de uso, estudos comprobatórios da sua adequabilidade e sua qualidade é muito variável de fabricante para fabricante (SABBATINI, 1986).

3.8 COMPOSIÇÕES RECOMENDADAS PELAS ESPECIFICAÇÕES NACIONAIS E INTERNACIONAIS

A determinação das proporções dos materiais constituintes das argamassas, segundo a NBR 8798 (1985), pode ser experimental ou não experimental. A dosagem experimental tem por finalidade estabelecer o traço da argamassa para que este tenha a resistência e a trabalhabilidade prevista, expressa esta última pela consistência. Pode ser feita por qualquer método baseado na correlação entre as características de resistência e durabilidade da argamassa e a relação água/cimento, levando-se em conta a trabalhabilidade desejada. A dosagem empírica, feita em canteiro de obra, por processo rudimentar, somente deve ser permitida para obras de pequeno vulto, respeitadas as seguintes condições e dispensado o controle da resistência: a resistência característica do prisma de projeto deve ser menor ou igual a 6,0 MPa para prisma de bloco vazado, na área líquida, ou 3,0 MPa para prisma grauteado; trabalhabilidade necessária à argamassa deve ser obtida com o proporcionamente especificado na Tabela 3.11.

TABELA 3.11 – Condições mínimas para dosagem não experimental da argamassa segundo a NBR 8798 (1985)

Traço	Materiais				
	Cimento	Cal Hidratada	Agregado miúdo $D_{\max} = 4,8 \text{ mm}$		Água
			Seco	Umidade 5% Inchamento 25%	
Massa	1,00	$\leq 0,12$	$\leq 4,0$	-	$\leq 0,80$
Volume	1 saco	$\leq 10 \text{ dm}^3$	$\leq 133 \text{ dm}^3$	-	$\leq 40 \text{ dm}^3$
			-	$\leq 166 \text{ dm}^3$	$\leq 32 \text{ dm}^3$
Por m^3 de argamassa	$\geq 400 \text{ kg}$	$\leq 60 \text{ kg}$	$\leq 1000 \text{ dm}^3$	-	$\leq 320 \text{ dm}^3$
	$\leq 600 \text{ kg}$		-	$\leq 1250 \text{ dm}^3$	$\leq 240 \text{ dm}^3$

A NBR 8978 (1985) apresenta exigências para algumas propriedades da argamassa de assentamento (Tabela 3.12). Entretanto, não sugere composições para argamassa de assentamento como as normas britânicas e americanas. Normalmente têm-se adotado traços típicos recomendados por estas duas normas.

TABELA 3.12 – Exigências mínimas para argamassas NBR 8978 (1995)

Propriedades	Exigência	Método
Consistência ⁽¹⁾	230±10mm	NBR 7215
Retenção de água	≥ 75 %	ASTM C – 91 ⁽²⁾
Resistência à compressão axial	≥ 9 MPa ou ≥ f _{akj} ⁽³⁾	NBR 7215

1 – Medida no máximo 15 minutos após o assentamento, com a quantidade máxima de água a ser empregada;

2 – Até que se publique Norma Brasileira sobre o assunto (cabe ressaltar que há a NBR 9287 (1986)) para determinação da retenção de água de argamassas de assentamento. Todavia, conforme mencionado no item 3.2.2, o valor de 75% apresentado na Tabela acima não é aplicável à referida Norma.

3 - f_{akj} = resistência característica à idade "j", expressa no projeto da obra.

A norma americana ASTM C 270-86b (1987) especifica o uso das argamassas de assentamento para alvenaria estrutural quanto ao traço e quanto às propriedades. Quanto ao traço da argamassa, a norma recomenda que os materiais constituintes devem atender às especificações da ASTM e que a escolha dos traços deve ser feita de acordo com a Tabela 3.13. Quanto às propriedades, a escolha da argamassa de assentamento deve ser feita objetivando-se as propriedades de retenção de água, quantidade de ar incorporado pela mistura e resistência à compressão, sendo que estas propriedades são mostradas na Tabela 3.14.

TABELA 3.13 – Traços para argamassa de assentamento de alvenaria estrutural proposto pela ASTM C 91 – em volume

Direção de melhora das propriedades	Tipo de Argamassa	Traço em Volume		
		Cimento	Cal	Areia
↑ Resistência ↓ Trabalhabilidade, resiliência e retenção de água	M	1	0 a ¼	De 2,25 a 3 vezes o volume de cimento e cal
	S	1	½	
	N	1	1	
	O	1	2	

TABELA 3.14 – Especificação das propriedades das argamassas de cimento e cal, ASTM C 270-86b (1987)

Tipo de argamassa	Resistência média à compressão 28 dias (MPa)	Retenção de água (%)	Ar incorporado (%)
M	17,2	75	12
S	12,4	75	12
N	5,2	75	14*
O	2,4	75	14*

Somente para argamassas de laboratório

*quando tiver armadura incorporada à junta de argamassas, a quantidade de ar incorporado não deve ser maior que 12%.

A norma britânica BS 5628: Parte 1 (1992) especifica as classes de cada tipo de argamassa, as proporções (em volume) dos materiais para a execução que é mostrada na Tabela 3.15.

TABELA 3.15 – Traço da argamassa para assentamento de alvenaria estrutural proposta pela BS 5682 (1992) – em volume

	Tipo de argamassa	Cimento: cal: areia	Cimento de alvenaria: areia	Cimento: areia (com plastificante)	Resistência média à compressão aos 28 dias
↑ Aumenta a resistência e diminui a capacidade de absorver deformações	i	1:0 a ¼:3	-	-	16 MPa
	ii	1: ½ a 4½	1:2½ a 3,5	1:3 a 4	6,5 MPa
	iii	1:1:5 a 6	1:4 a 5	1:5 a 6	3,6 MPa
	iv	1:2:8 a 9	1:5½ a 6½	1:7 a 8	1,5 MPa
Aumento na capacidade de aderência conseqüentemente na resistência à penetração de água ←					

4 PROGRAMA EXPERIMENTAL

4.1 DEFINIÇÃO DO PROGRAMA EXPERIMENTAL

Conforme visto nos capítulos 2 e 3, atualmente existem poucos trabalhos desenvolvidos com o propósito de conhecer os principais requisitos das argamassas de assentamento no estado fresco e o seu real desempenho como junta de argamassa (estado endurecido). Ainda não foi possível estabelecer ensaios que possam representar, o mais próximo possível, o comportamento das argamassas de assentamento que são utilizadas em obra.

Com o objetivo de auxiliar no esclarecimento de algumas dúvidas quanto ao desempenho, foi desenvolvido um programa experimental onde foram estudadas algumas das principais propriedades no estado fresco e no estado endurecido das argamassas de assentamento. Também foram confeccionados prismas de blocos de concreto para avaliar o comportamento desta argamassa como junta de assentamento para alvenaria estrutural.

O trabalho experimental foi dividido em três etapas. A primeira etapa se constituiu no desenvolvimento de um equipamento para medir a trabalhabilidade das argamassas de assentamento utilizadas em obra. Na segunda etapa, realizada em campo, empregando-se as argamassas de assentamento utilizadas em obras de alvenaria estrutural na região da grande Florianópolis, avaliou-se o ensaio com o equipamento proposto na primeira etapa. Na terceira etapa, realizou-se um estudo em laboratório das propriedades no estado fresco e endurecido dos tipos de argamassas de assentamento mais utilizados atualmente (verificado na segunda etapa do trabalho), inclusive com o equipamento proposto. Além disso, nesta etapa foi avaliado, em prismas, o comportamento dos diferentes tipos de argamassas de assentamento.

4.2 DESENVOLVIMENTO DO EQUIPAMENTO PARA A AVALIAÇÃO DA TRABALHABILIDADE

4.2.1 Considerações Iniciais

Conforme comentado no item 3.2.1.1, o ensaio comumente utilizado para avaliação da trabalhabilidade de uma argamassa de assentamento é o ensaio de consistência (*Flow Table Test*), especificado pela NBR 7215 (1996). No caso de assentamento de blocos de concreto, a NBR 8798 (1985) estipula o valor deste índice em 230 ± 10 mm. No entanto, este limite nem sempre produz argamassas com trabalhabilidade adequada e são encontrados valores muito distintos para cada tipo de argamassa (Ver Tabela 3.1).

A prática de obra mostra que argamassas de diferentes tipos (industrializadas ou convencionais) produzidas com materiais diferentes apresentam comportamentos distintos com relação ao ensaio de consistência (*flow table*) e a resistência oferecida pelo filete de argamassa, durante o assentamento, quando submetido à ação do peso próprio do bloco. Isto ocorre provavelmente porque este ensaio não é capaz de medir a real consistência de uma argamassa, pois conceitualmente esta propriedade define a resistência do material a se deformar quando submetido a uma carga estática. Como no ensaio de *flow* a argamassa é submetida a esforços dinâmicos, fica evidente que não se está medindo de uma forma direta a propriedade em questão.

Quanto aos demais ensaios de medida da consistência, parece não haver um consenso quanto a sua eficácia, conforme relato dos pesquisadores que os utilizaram em suas pesquisas. Devido a isto, buscou-se propor uma nova metodologia de ensaio para avaliação desta propriedade.

A primeira proposta foi uma adaptação de um aparelho de Vicat (Vicat Adaptado). Como será visto no item 5.1.1, esta metodologia de ensaio apresentou bons resultados na medida da consistência da argamassa destinada ao assentamento de blocos de concreto. Porém, apesar destes bons resultados, constatou-se que este tipo de ensaio não fornecia outros subsídios importantes para avaliar a trabalhabilidade da argamassa de assentamento tais como plasticidade e coesão. Por isso, foi desenvolvido um novo equipamento com uma nova metodologia de ensaio

(GTec teste). As duas metodologias serão detalhadas a seguir.

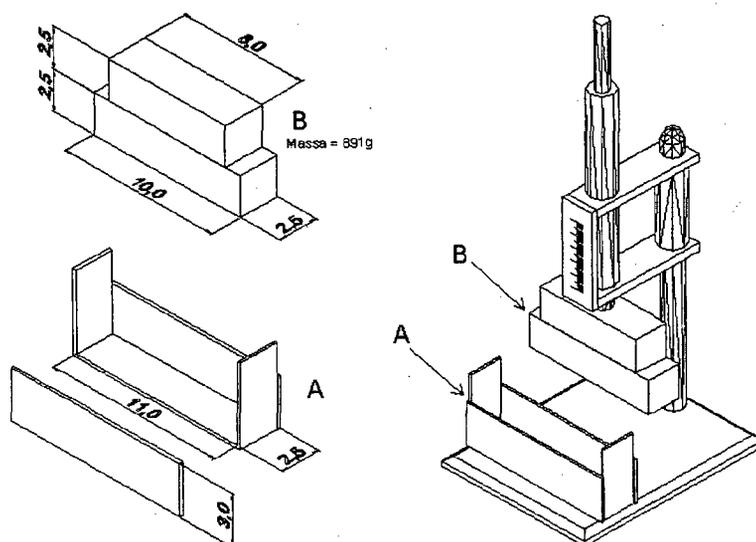
4.2.2 Vicat Adaptado

Nesta primeira tentativa, o objetivo era propor uma metodologia de ensaio para avaliação indireta da trabalhabilidade de argamassas de assentamento através da resistência oferecida por um filete de argamassa, quando submetido à ação de uma barra metálica em queda livre, sendo que o equipamento proposto é uma adaptação do aparelho de Vicat. Neste procedimento de ensaio, também estão contemplados alguns conceitos de diferentes métodos de avaliação da consistência tais como a penetração estática de cone e penetrômetro de concreto modificado, já mencionados no item 3.2.1.1.

O filete de argamassa medindo 3,0x2,5x10cm, era submetido à ação de uma barra metálica em queda livre de uma altura pré-determinada, sendo o peso desta barra calculado para proporcionar uma tensão equivalente à gerada no assentamento de blocos de concreto (peso da unidade sobre área de assentamento).

O esquema do aparelho de Vicat adaptado pode ser observado na Figura 4.1. O ensaio era feito conforme apresentado abaixo:

1. Zerava-se o aparelho de Vicat adaptado para altura de queda máxima (5cm);
2. Enchia-se o recipiente A, da Figura 4.1, com argamassa, eliminando-se o máximo possível de vazios;
3. Liberavam-se as laterais do recipiente A, da Figura 4.1;
4. Soltava-se o aparelho de Vicat adaptado em queda livre;
5. Media-se e anotava-se a altura final do filete de argamassa; e
6. Repetia-se o ensaio duas outras vezes para confirmação do valor encontrado.



Massa total da barra metálica (B) e da haste deslizante do aparelho de Vicat = 1151 g

FIGURA 4.1 – Esquema do aparelho de Vicat Adaptado

A média e o desvio-padrão de 3 leituras individuais, com precisão de 0,05 cm, eram os parâmetros que definiam a trabalhabilidade da argamassa.

Avaliação do método proposto – Vicat Adaptado

Como a avaliação da trabalhabilidade das argamassas, via de regra, se dá através do índice de consistência *flow table* e argamassas produzidas com diferentes materiais apresentam comportamentos distintos frente a este ensaio, foram produzidas duas argamassas industrializadas e uma argamassa mista (cimento, cal e areia), fixando-se quatro diferentes índices de consistência para a avaliação do Vicat Adaptado. Os valores desses índices foram escolhidos pela avaliação das argamassas de assentamento. Para as argamassas industrializadas os índices de consistência encontrados para conseguir uma trabalhabilidade adequada foram entre 180 e 210 mm. Já para a argamassa mista este índice estava entre 230 e 250 mm. A partir disso, foram estipuladas as quatro faixas do índice de consistência: 180 ± 10 mm, 210 ± 10 mm, 230 ± 10 mm e 250 ± 10 mm.

As argamassas industrializadas utilizadas (mistura pronta de cimento, areia e aditivos, sendo necessário apenas adicionar água para sua utilização) foram aquelas comercializadas na região da grande Florianópolis para assentamento de blocos de concreto. A argamassa mista foi

produzida com traço 1:1:5 (cimento:cal:areia), em volume e materiais secos, usualmente utilizado em obra de alvenaria estrutural da região.

O cimento utilizado foi CP II-Z 32 e cal do tipo CH III. O agregado miúdo enquadrava-se no limite superior da BS-1200 (1976).

As quantidades de material para produzir as argamassas utilizadas nesta primeira etapa, cujas características são apresentadas no anexo 1, são mostradas na Tabela 4.1. As argamassas foram misturadas num misturador mecânico – argamassadeira - apresentado na norma NBR 7215 (1996). Os procedimentos de mistura seguiram o indicado na NBR 13276 (1995) e a quantidade de água foi aquela necessária para produzir os quatro diferentes índices de consistência, tanto para as argamassas mistas como para argamassas industrializadas.

TABELA 4.1 – Argamassas empregadas para a avaliação do método proposto – Vicat Adaptado

Argamassa	Flow table esperado (mm)	Mistura pronta (g)	Cimento (g)	Cal (g)	Agregado miúdo (g)	Água (ml)	H (%)
Industrializada 1	180 ± 10	2000,0	-	-	-	240,0	12,0
	210 ± 10	2000,0	-	-	-	274,0	13,7
	230 ± 10	2000,0	-	-	-	330,1	16,5
	250 ± 10	2000,0	-	-	-	355,0	17,8
Industrializada 2	180 ± 10	2000,0	-	-	-	269,2	13,5
	210 ± 10	2000,0	-	-	-	288,7	14,4
	230 ± 10	2000,0	-	-	-	300,3	15,0
	250 ± 10	2000,0	-	-	-	326,6	16,3
Mista	180 ± 10	0,0	250,0	162,5	1620,0	309,7	15,2
	210 ± 10	0,0	250,0	162,5	1620,0	330,6	16,3
	230 ± 10	0,0	250,0	162,5	1620,0	352,0	17,3
	250 ± 10	0,0	250,0	162,5	1620,0	384,5	18,9

H – Relação água/materiais secos

Após a realização do ensaio de consistência *flow table*, enchia-se o recipiente A da Figura 4.1 com argamassa e procedia-se o ensaio com o aparelho de Vicat adaptado.

A fim de se obter uma avaliação prática da qualidade das argamassas e validar o método proposto, além das medições diretas da trabalhabilidade através do aparelho de Vicat adaptado, foi simulado o assentamento de um bloco de concreto (14x19x39 cm) com cada uma das doze argamassas produzidas. Foram utilizados dois blocos de concreto, revestidos com filme plástico para evitar a perda de água da argamassa para o bloco. As características do bloco de concreto

empregados na avaliação da qualidade das argamassas para assentamento estão apresentadas no anexo 1.

Para a simulação do assentamento, o bloco inferior era colocado sobre uma bancada lisa e nivelada, recebendo um filete de argamassa produzida com o auxílio de uma colher de pedreiro. A seguir, o bloco superior era depositado sobre o filete, determinando-se a espessura da junta de argamassa resultante pela simples ação do peso próprio do bloco (Figura 4.2).

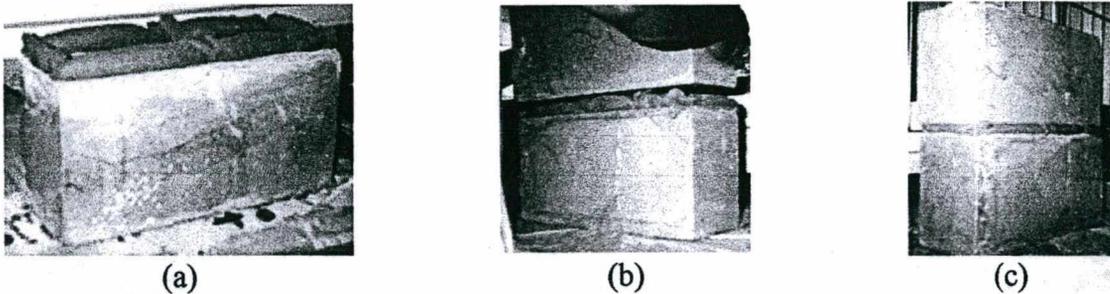


FIGURA 4.2 - Simulação do assentamento do bloco de concreto: filete de argamassa (a), posicionamento do bloco superior (b) e determinação da junta resultante (c)

Também nesta simulação, foi registrada a avaliação qualitativa do assentador com relação às condições de trabalhabilidade das argamassas.

4.2.3 GTec Teste

Conforme já mencionado, depois de ter sido realizado o estudo com o Vicat Adaptado houve a necessidade de um aprimoramento do mesmo. A primeira metodologia proposta apenas identificava a consistência da argamassa (leitura inicial pelo equipamento) e não a trabalhabilidade, visto que esta é um conjunto de propriedades no estado fresco, conforme comentado no item 3.2.1. Então, foram necessárias modificações no equipamento, no intuito de torná-lo mais confiável para a avaliação da trabalhabilidade.

Observando-se e analisando-se o processo de assentamento de um bloco de concreto, tentou-se reproduzi-lo no ensaio. O novo ensaio, além de medir a resistência oferecida por um filete de argamassa submetido à ação de uma força constante, que representa a tensão resultante do peso do bloco sobre a junta de argamassa, mede a energia necessária para obtenção de uma junta final de 1cm. O objetivo do novo ensaio é avaliar o comportamento de um filete de argamassa (2cm

de altura, 2,5cm de largura e 10cm de comprimento) submetido a um esforço equivalente ao de um bloco sendo assentado. Este comportamento é avaliado segundo três propriedades distintas fundamentais da trabalhabilidade: consistência, plasticidade e coesão.

O equipamento empregado nesta metodologia é o aparelho GTec (Figura 4.3). O projeto do equipamento proposto foi desenvolvido no Grupo de Tecnologia em Materiais e Componentes a Base de Cimento Portland - GTec - da Universidade Federal de Santa Catarina.

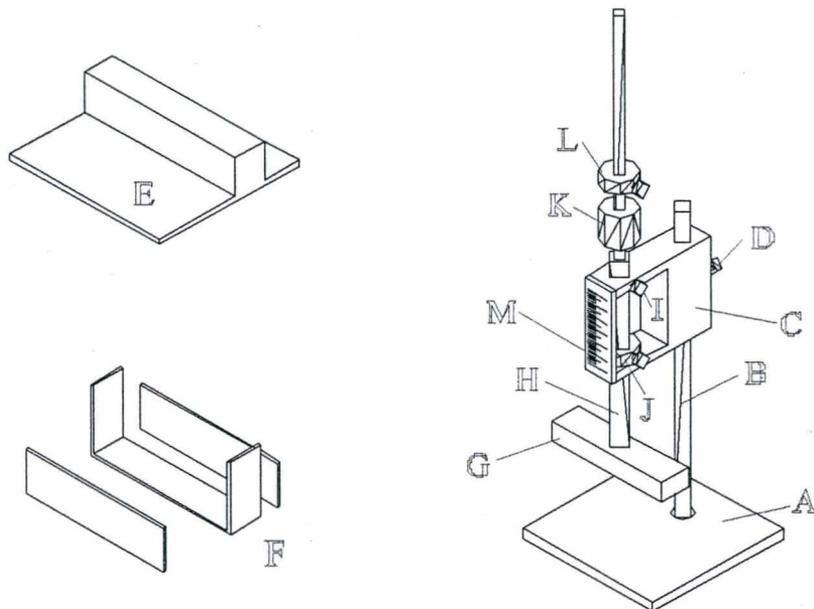


FIGURA 4.3 - Esquema do equipamento utilizado no *GTec Teste*

O equipamento consta das seguintes partes:

- A - Base do suporte
- B - Coluna do suporte
- C - Massa deslizante do suporte
- D - Parafuso fixador do suporte
- E - Base de apoio do recipiente de argamassa
- F - Recipiente de argamassa
- G - Base da sonda
- H - Haste da sonda
- I - Parafuso fixador da sonda
- J - Anel 1
- K - Massa deslizante da sonda
- L - Anel 2
- M - Escala de medida da profundidade

O conjunto que simula o peso de um bloco de concreto (G, H, J, K e L) sobre o filete de argamassa, tem 1140,0g que representa o peso médio de um bloco de concreto de resistência característica de 6MPa, de aproximadamente 11,5Kg, apoiado sobre um filete contínuo posicionado em toda a superfície líquida do bloco. A massa deslizante possui 204,0g e a base da sonda (G) mede 10cm de comprimento e 2,5cm de largura.

O procedimento de ensaio pode ser assim resumido:

1. Posicionar a base E sobre a base do suporte A;
2. sobre a saliência da base E, apoiar o recipiente F;
3. soltar o parafuso I e apoiar a base da sonda G sobre o fundo do recipiente F;
4. deslizar o anel 1 (J) sobre a sonda e fixar na posição correspondente ao zero da escala M;
5. suspender a sonda e fixar com o parafuso I em uma altura tal que a sua base fique acima do topo do recipiente F;
6. retirar, do aparelho, o recipiente F e apoiar sobre uma bancada;
7. transferir o recipiente F do topo da saliência da base E para uma posição adjacente;
8. posicionar as laterais do recipiente F e preenchê-lo com a argamassa com o auxílio de uma espátula;
9. acomodar a argamassa no recipiente F homogeneizando o material com a lâmina da espátula e eliminando vazios de ar aprisionado;
10. fazer a rasadura da argamassa alinhando seu topo com o topo das laterais;
11. alinhar o topo da saliência da base E com a base da sonda G;
12. posicionar o recipiente F com suas laterais sobre a saliência da base E;
13. retirar as laterais do recipiente F, deslizando-as para baixo, pois não existe restrição de movimento neste sentido no momento do assentamento;
14. soltar o parafuso I, apoiar e soltar a base da sonda sobre o filete de argamassa, determinando a espessura resultante do filete (Lo);
15. suspender a massa deslizante K até a altura limitada pelo anel 2 (L);

16. soltar em queda livre a massa K e medir a nova espessura do filete (L1);
17. repetir os passos "15" e "16" anotando as leituras L2, L3,...,Li,...,Ln onde n é o número de golpes necessários para o filete atingir 1cm de espessura, registrando a quantidade de golpes (i) onde ocorreu o desprendimento das rebarbas do filete.

O valor de L_0 relaciona-se com a consistência da argamassa. O valor de L_i indica a coesão da mistura. Se L_i for maior do que L_n , significa que a rebarba se rompeu antes da junta atingir sua espessura final de 1cm e, portanto, falta coesão à argamassa. Um terceiro parâmetro extraído do ensaio é "n", ou seja, o número de golpes necessário para atingir-se uma junta de 1cm. Na realidade este parâmetro correlaciona-se com a plasticidade da mistura, uma vez que mede a energia necessária para conformar a junta à sua espessura final.

O ensaio ainda permite a determinação de outros parâmetros tais como o índice de plasticidade, que mede a deformação obtida (mm) por unidade de energia aplicada (J), determinado no gráfico espessura da junta versus energia. Esta determinação é feita por meio do cálculo do coeficiente angular da reta que une os pontos cuja espessura de junta corresponde a 16 e 12mm. Este parâmetro permite uma comparação objetiva da plasticidade de diferentes argamassas, complementando a avaliação visual das curvas obtidas no gráfico. Na Figura 4.4 é apresentada a seqüência de um ensaio sendo realizado. Na mesma Figura, observa-se a argamassa com coesão (h) e outra sem coesão (i) quando atingida a altura de 1cm.

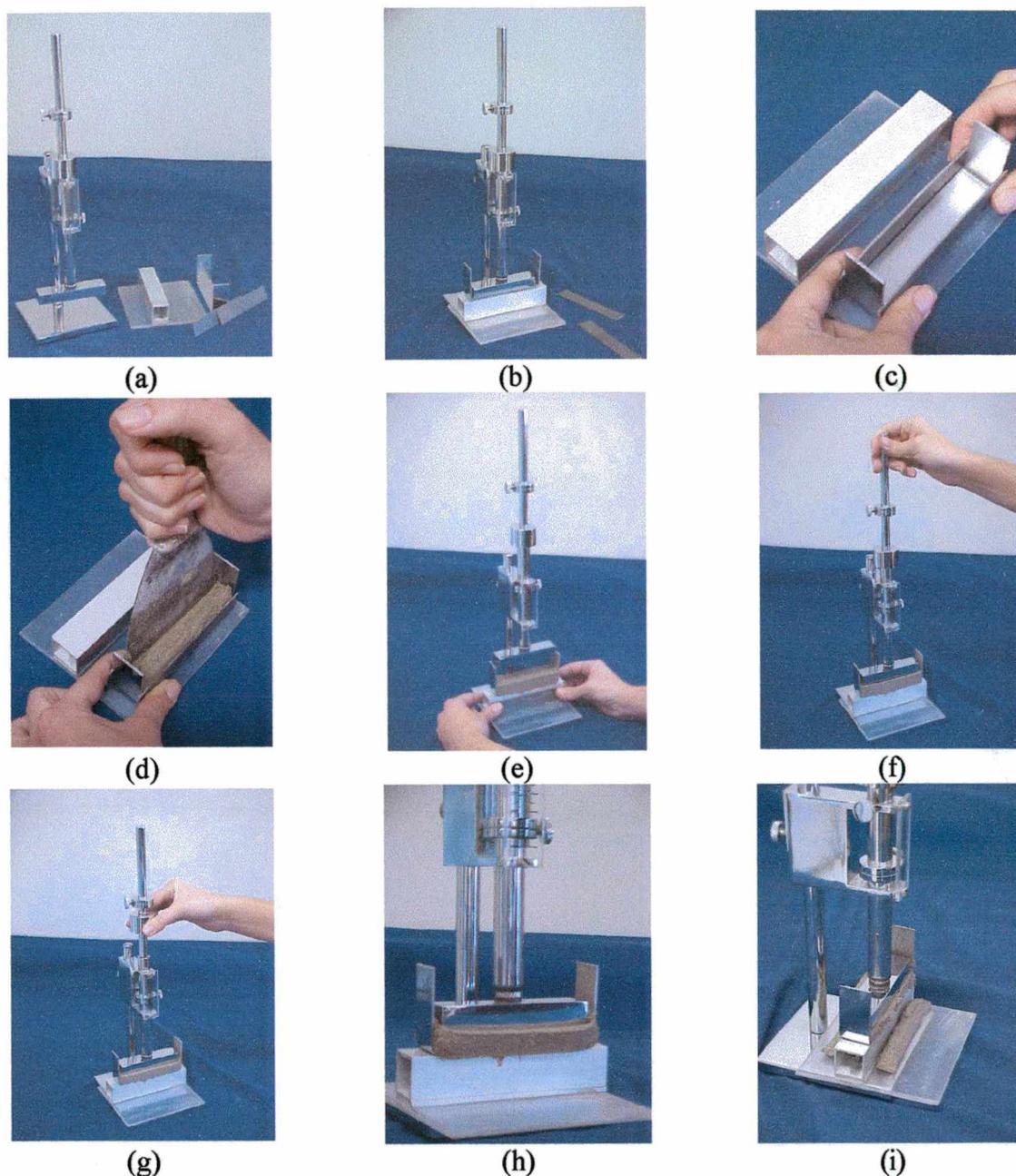


FIGURA 4.4 – Seqüência da execução do GTec Teste: (a) aparelho GTec e acessório; (b) zeragem da sonda; (c) detalhe da forma; (d) preenchimento da forma; (e) retirada das laterais da forma; (f) determinação da consistência L_o ; (g) aplicação dos impactos da massa deslizante para a determinação da plasticidade e coesão; (h) leitura final do ensaio a 1cm com argamassa com coesão e (i) argamassa sem coesão quando atingida a leitura de 1cm

Avaliação do Novo Método Proposto – GTec Teste

Com a finalidade de se obter uma avaliação prática da trabalhabilidade das argamassas estudadas

e validar o novo método proposto, além das medições diretas da trabalhabilidade com o GTec Teste, foi simulado o assentamento de um bloco de concreto com cada argamassa produzida. Para a simulação do assentamento, o bloco inferior era colocado sobre um aparato nivelado, recebendo um filete uniforme de argamassa. A seguir, o bloco superior era posicionado sobre o filete determinando-se a espessura da junta de argamassa resultante pela simples ação do peso do bloco (Figura 4.5).

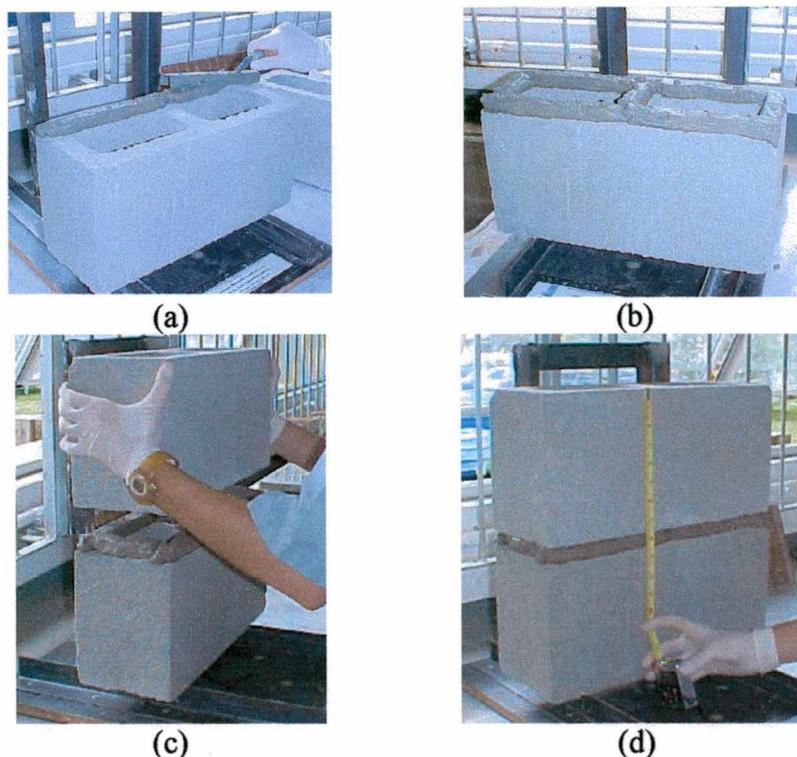


FIGURA 4.5 - Simulação do Assentamento: (a) colocação do filete de argamassa com o auxílio de uma colher canaleta, (b) filete de argamassa sobre o bloco de concreto, (c) posicionamento e assentamento do bloco de concreto e (d) medida da espessura da junta de argamassa submetida somente ao peso próprio do bloco

A ferramenta utilizada para a simulação do assentamento foi uma colher canaleta (Figura 4.6), visto que esta produz um filete de argamassa com volume, altura e massa praticamente constantes, conforme verificado em testes laboratoriais específicos da medida repetitiva da massa de argamassa que preenche a colher canaleta. Neste teste, para uma das duas argamassas avaliadas, em 28 medidas realizadas, obteve-se coeficiente de variação de 1,48%, e para a outra argamassa, em 18 medidas obteve-se 2,30%, o que demonstrou baixa variabilidade. Outra vantagem do uso da colher canaleta é que esta produz um filete de argamassa com 2cm de altura. Esta altura é considerada adequada pois permite a confecção de juntas de 1cm de altura com baixo desperdício de argamassa e preservando o vazado do bloco sem estrangulamentos que possam prejudicar possíveis grauteamentos e passagens de tubulações, conforme pode ser

observado na Figura 4.7.



FIGURA 4.6 – Colher canaleta utilizada para a simulação do assentamento

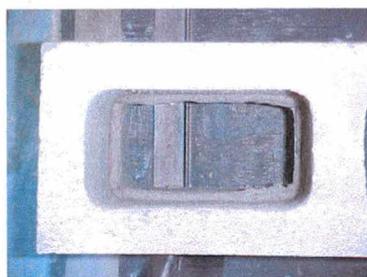


FIGURA 4.7 – Pequeno estrangulamento do vazado do bloco quando do uso de filete de 2cm de argamassa

Assim, para reproduzir no Gtec Teste, a altura inicial do filete de 2cm, utilizada na simulação de assentamento através do uso da colher canaleta, as laterais do molde (F) tinham 2cm de altura.

A energia total dispensada no GTec Teste para cada ensaio foi medida pelo número de golpes da massa deslizante (k) sobre o filete de argamassa para a obtenção de uma junta final de 1cm. A energia de cada golpe foi determinada por uma altura de queda de 5cm que corresponde a 0,1J.

Para o desenvolvimento desta segunda etapa foram estudados 2 tipos de argamassa: industrializada e mista (cimento, cal e areia). Foram empregadas três argamassas industrializadas disponíveis comercialmente no Estado de Santa Catarina e duas argamassas mistas de cimento e cal, com proporções de 1:1:5 e 1:0,5:3,75 (cimento:cal:areia) em volume de materiais secos. Foram estudadas, portanto, 5 argamassas distintas, de modo que o equipamento proposto fosse testado para diversas misturas de características diferentes e, com isso, fosse possível verificar a sua capacidade de medir a trabalhabilidade de argamassas de assentamento.

Para a produção das argamassas mistas, empregou-se cimento Portland CP II - Z-32 e cal hidratada classe CH-III, cuja caracterização é apresentada no anexo 2.

A areia empregada era de origem quartzosa e enquadrava-se nos limites especificados pela normalização britânica, BS 1200 (1976), para assentamento de alvenaria estrutural. As propriedades físicas dos agregados miúdos utilizados nos diferentes tipos de argamassa são

apresentadas também no anexo 2.

Cada uma das argamassas foi produzida com 3 quantidades distintas de água, de forma a produzir índices de consistência medidos segundo a NBR 7215 (1996) (*flow table test*) de $230\pm 10\text{mm}$; $255\pm 10\text{mm}$ e $280\pm 10\text{mm}$. Estes valores foram escolhidos com base na normalização brasileira (NBR 8798, 1985), que preconiza o menor valor adotado, e através de experiências práticas que, para as argamassas mistas, indicaram boa trabalhabilidade para índices de consistência mais elevados. A quantidade de água e de material utilizados para cada uma das misturas e sua denominação pode ser observada na Tabela 4.2.

TABELA 4.2 – Quantidade de material utilizado para a produção das argamassas

Tipo		Flow (mm)	Mistura Pronta (g)	Cimento (g)	Cal (g)	Areia (g)	Água (ml)
Industrializada 1	I1 230	230 ± 10	3170	-	-	-	523,0
	I1 255	255 ± 10	3170	-	-	-	540,0
	I1 280	280 ± 10	3170	-	-	-	568,0
Industrializada 2	I2 230	230 ± 10	3170	-	-	-	511,0
	I2 255	255 ± 10	3170	-	-	-	536,0
	I2 280	280 ± 10	3170	-	-	-	561,0
Industrializada 3	I3 230	230 ± 10	3170	-	-	-	430,1
	I3 255	255 ± 10	3170	-	-	-	460,0
	I3 280	280 ± 10	3170	-	-	-	490,0
Mista 1 (1:1:5)	M1 230	230 ± 10	-	470	310	2840	639,0
	M1 255	255 ± 10	-	470	310	2840	668,0
	M1 280	280 ± 10	-	470	310	2840	684,0
Mista 2 (1:0,5:3,75)	M2 230	230 ± 10	-	730	497	2060	577,4
	M2 255	255 ± 10	-	730	497	2060	600,5
	M2 280	280 ± 10	-	730	497	2060	656,0

Para o preparo, utilizou-se o misturador mecânico – argamassadeira - apresentado na norma NBR 7215, comumente empregado para o preparo de argamassas em laboratório.

Uma vez que as argamassas industrializadas utilizadas contêm aditivos incorporadores de ar em sua formulação, o tempo de mistura utilizado no seu preparo foi de um minuto e meio, conforme recomendado por Nakakura e Cincotto (2001), já que tempos elevados de mistura provocariam alta incorporação de ar e, conseqüentemente grande prejuízo nas propriedades mecânicas. Assim, o preparo destas argamassas se deu pela colocação da água e, em seguida da mistura seca, na cuba do misturador que foi acionado por 30 segundos em velocidade lenta. Nos 30 segundos posteriores, procedia-se a raspagem das pás e da cuba do misturador. Em seguida, o equipamento

era religado e o material era misturado por mais um minuto na mesma velocidade.

Por sua vez, as argamassas mistas, que não continham aditivos, foram confeccionadas conforme o procedimento descrito na NBR 7215 (1996).

No dia anterior à produção e aplicação das argamassas mistas, era feita a maturação da cal através da sua pré-mistura com a areia úmida (teor de umidade de 10%).

No caso das argamassas industrializadas, foi observado que a quantidade de água necessária para garantir uma boa trabalhabilidade era menor do que a especificada pelos fabricantes.

As características dos blocos de concreto (14x19x39cm) com resistência característica de 6MPa empregados para a simulação do assentamento encontram-se no anexo 2.

4.3 AVALIAÇÃO EM CAMPO

Nesta etapa, realizada em campo, foram avaliados os tipos de argamassas de assentamento utilizados em obras de alvenaria estrutural de blocos de concreto da região.

Foram visitadas três obras para fazer um levantamento das características e das propriedades das argamassas de assentamento que foram as seguintes:

1. Procedimento de mistura: neste item foram avaliados o tipo de misturador e o tempo de mistura utilizados em obra;
2. dosagem (traço) da argamassa e granulometria dos materiais utilizados;
3. acompanhamento do assentamento de blocos de concreto, obtendo a opinião do assentador de bloco sobre a trabalhabilidade da argamassa;
4. tipo de ferramenta utilizada para o assentamento dos blocos de concreto;
5. trabalhabilidade medida com o GTec Teste; e
6. altura do filete de argamassa. Esta altura do filete inicial de argamassas utilizada para assentar os blocos de concreto foi medida segundo o procedimento ilustrado na Figura 4.8: após o assentador de blocos de concreto colocar o filete de

argamassa para assentar o bloco (a), retira-se a argamassa até preencher um recipiente de volume conhecido (b), no caso um corpo-de-prova de argamassa 5x10cm, medindo o comprimento da argamassa retirada (c) e a largura (d), obtendo-se assim a altura média do filete de argamassa.

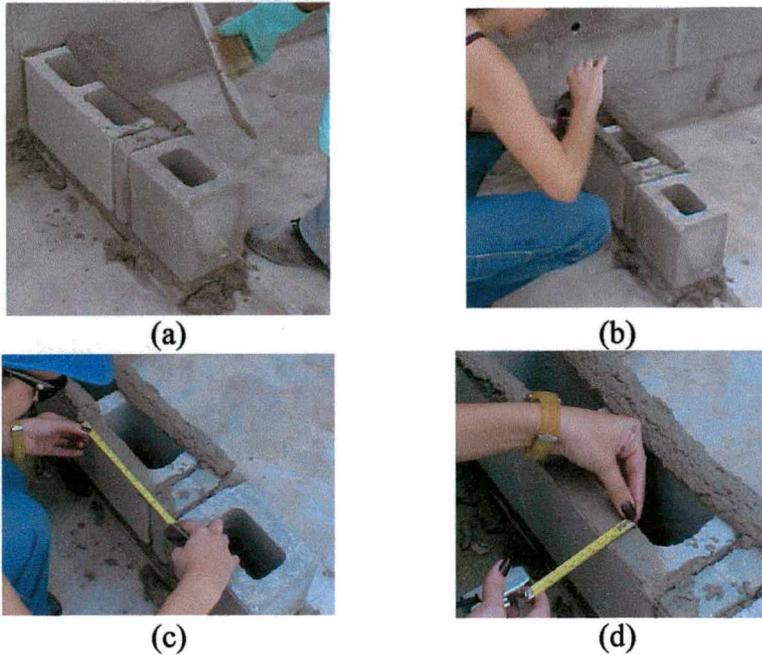


FIGURA 4.8 – Determinação da altura do filete de argamassa em campo: (a) assentador colocando o filete de argamassa, (b) retirada do material para um recipiente de volume conhecido, (c) medida do comprimento de argamassa e (d) medida da largura do filete

O conhecimento desta altura se fez necessária para auxiliar na definição da altura do filete que seria fixada para o GTec Teste.

4.4 AVALIAÇÃO EM LABORATÓRIO

4.4.1 Considerações Iniciais

Nesta etapa do trabalho, foi elaborado um programa laboratorial para analisar as características e as propriedades das argamassas no estado fresco e no estado endurecido, correlacionando estas propriedades entre si e observando a sua influência no desempenho das argamassas de

assentamento.

4.4.2 Definição das Argamassas Estudadas

A escolha das argamassas de assentamento investigadas nesta etapa do programa experimental esteve baseada, principalmente, na utilização em obras de alvenaria estrutural da região da grande Florianópolis. Foram escolhidos dois tipos de argamassas: argamassa mista (cimento, cal e areia) e argamassa industrializada.

Na opinião da maioria dos autores (como SABBATINI, 1986; CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995; SOLÓRZANO, 1994; GALLEGOS, 1989), a granulometria da areia e a quantidade de cal influenciam nas propriedades das argamassas mistas para assentamento. Devido a isto, existem faixas de utilização recomendadas por diversas normas. Porém, estas faixas são bastante amplas para poderem contemplar o uso de materiais distintos encontrados regionalmente e ainda existem dúvidas sobre o real desempenho das argamassas quando são variadas a quantidade de cal e granulometrias dentro dos limites usualmente estabelecidos. Por isso, decidiu-se estudar argamassas com teores de cal diferentes e granulometrias distintas.

O traço base utilizado para argamassa mista foi de 1:1:5, em volume e areia seca, por ser este corriqueiro em obras de alvenaria no país e, estar preconizado pela norma britânica BS 5628 – Parte 1 (1992). Definido o traço base, foi fixado o cimento e a areia, em volume, e se variou o conteúdo de cal, sendo a quantidade média de cal aquela do traço base. Então, foi escolhido um traço mais magro (menos cal) de 1:0,7:5, em volume e areia seca, e outro mais gordo (mais cal) de 1:1,3:5, também em volume e areia seca.

Foram escolhidas três areias de granulometrias distintas para a confecção das argamassas. As três granulometrias obedeceram aos limites granulométricos da BS 1200. Uma encontrava-se no limite superior da BS 1200, areia grossa, outra no meio este intervalo, areia média, e a última no limite inferior, areia fina. As areias tiveram suas qualidades testadas através da NBR 7221 (1987), conforme propriedades no anexo 3. Além disso, o módulo de finura das areias está dentro do limite recomendado por Sabbatini (1986) entre 1,8 a 2,8.

Como foram utilizadas três quantidades de cal e três granulometrias de areia, obteve-se um total de 9 misturas diferentes estudadas para as argamassas mistas. Na Tabela 4.3 pode ser observado um resumo dessas argamassas com sua respectiva denominação que será utilizada daqui em diante.

TABELA 4.3 – Resumo das argamassas mistas com sua respectiva denominação

Traço \ Granulometria	Fina (F)	Média (M)	Grossa (G)
1:0,7:5 – Magra (m)	Fm	Mm	Gm
1:1:5 – Intermediária (i)	Fi	Mi	Gi
1:1,3:5 – Gorda (g)	Fg	Mg	Gg

Como já foi citado anteriormente, com o objetivo de aumentar a produtividade e diminuir a responsabilidade da dosagem, as argamassas industrializadas vêm sendo cada vez mais utilizadas pelas construtoras em obra. Entretanto, alguns fatores podem interferir na qualidade destes produtos, entre eles o tempo e a velocidade de mistura, alterando propriedades como incorporação de ar e consistência.

Diante disto, antes da escolha da argamassa industrializada se fazia necessário um estudo preliminar avaliando a influência do tempo de mistura sobre o teor de ar incorporado e a resistência à compressão para as argamassas industrializadas, tomando-se por base uma argamassa mista de cimento, cal e areia, comumente empregada em alvenaria estrutural.

Para avaliação da influência do processo de mistura no teor de ar incorporado e na resistência à compressão das argamassas para assentamento, foram estudadas três argamassas industrializadas e uma argamassa mista de cimento, cal e areia, neste caso utilizada apenas como referência. Na Tabela 4.4 são apresentadas as argamassas produzidas.

As argamassas industrializadas utilizadas foram aquelas especificadas e formuladas para argamassas de assentamento para alvenaria estrutural de blocos de concreto, disponíveis comercialmente para a região da grande Florianópolis.

TABELA 4.4 – Argamassas produzidas

Tipo de Argamassa	Mistura pronta (g)	Cimento (g)	Cal (g)	Agregado miúdo (g)	Água (ml)
Industrializada 1	2000,0	0,0	0,0	0,0	350,0
Industrializada 2	2000,0	0,0	0,0	0,0	333,4
Industrializada 3	2000,0	0,0	0,0	0,0	251,0
Mista	0,0	250,0	162,5	1620,0	320,9

A quantidade de água usada para as argamassas industrializadas foi a indicada pelo fabricante. Para a argamassa mista, a quantidade de água foi aquela necessária para obtenção de um índice de consistência (*flow table*) de 230 ± 10 mm, segundo especificado na NBR 8798 (1982).

As características dos agregados, do cimento e da cal utilizadas para a avaliação do tempo de mistura são apresentadas no anexo 4.

Para simular diferentes capacidades e energias de mistura apresentadas por equipamentos distintos, foram estabelecidos seis tempos de mistura. Este procedimento também permite verificar a influência do tempo de mistura na resistência à compressão das argamassas. Na Tabela 4.5 são apresentados os tempos de mistura adotados.

As argamassas foram produzidas no misturador mecânico 1 – argamassadeira - nos tempos de mistura indicados na Tabela 4.5, na velocidade de mistura 1. Após a mistura, era realizado o ensaio de índice de consistência (*flow table*) segundo a NBR 7215 (1996), e a moldagem de 3 corpos-de-prova para o ensaio de resistência à compressão axial aos 28 dias, de acordo com a NBR 13279 (1995). A seguir, eram determinados a massa específica e o teor de ar incorporado de cada argamassa.

TABELA 4.5 – Tempos de mistura – misturador 1

Tipo de Argamassa	Tempo de Mistura
Industrializada 1	20s, 1,2,3,4 e 5 mim
Industrializada 2	20s, 1,2,3,4 e 5 mim
Industrializada 3	20s, 1,2,3,4 e 5 mim
Mista	1,2,3 e 4 mim

Para a argamassa Industrializada 3, o fabricante recomenda que antes da aplicação deveria deixar em repouso durante 10 minutos. Então para o tempo de 4 minutos de mistura na velocidade 1, especificado pela NBR 13276 (1995) para argamassas industrializadas, foi verificada se a influencia deste tempo sobre o resultado dos ensaios. Foram produzidas duas misturas, uma deixando a argamassa descansar após a mistura o tempo recomendado pelo fabricante e na outra

se realizava os ensaios assim que terminava o tempo de mistura.

Os corpos-de-prova permaneceram nos moldes e cobertos por 24 horas. Depois, foram mantidos em cura ao ar, em ambiente saturado de água por 27 dias. Vencido este prazo, os corpos-de-prova foram capeados com pasta de cimento e enxofre e rompidos à compressão axial.

A partir do desempenho apresentado pelas argamassas produzidas com o misturador mecânico 1, foi escolhida a argamassa industrializada 1 para a realização do estudo em outro equipamento - misturador mecânico 2 que era uma betoneira de queda livre e eixo inclinado com capacidade de cuba de 120 litros. A escolha desta argamassa se deu pelo fato de ter-se observado a maior variação da massa específica nos diferentes tempos de mistura avaliados no misturador mecânico 1, como será apresentado posteriormente. Os tempos de mistura usados no misturador mecânico 2 são apresentados na Tabela 4.6.

TABELA 4.6 – Tempos de mistura no misturador mecânico 2

Tipo de Argamassa	Tempo de Mistura
Industrializada 1	1,5; 3; 6; 9; 12; 15 e 20 min

Nos tempos pré-determinados, parava-se a betoneira, retirando-se material suficiente para a realização do ensaio de índice de consistência da argamassa (*flow table* – NBR 7215, 1996) e a moldagem de dois corpos-de-prova, seguindo os mesmos procedimentos já descritos anteriormente. Os corpos-de-prova também permaneceram nos moldes e cobertos por 24 horas e foram curados conforme já descrito anteriormente e rompidos à compressão axial aos 28 dias.

A partir da avaliação do tempo de mistura foi escolhida a argamassa que apresentou maior variação do teor de ar incorporado com tempos de mistura diferentes (resultados item 5.3.1) para uma avaliação das características do estado fresco e endurecido, cujos procedimentos serão detalhados a seguir.

Para esta argamassa industrializada, fixou-se três teores de ar incorporado, medido segundo os procedimentos da NBR 13278 (1995), obtido por tempos diferentes de mistura para avaliação das características e do desempenho nas propriedades do estado fresco e endurecido. Os teores de ar incorporado escolhidos foram de $15\pm 1\%$, $18\pm 1\%$ e $21\pm 1\%$. Na Tabela 4.7 demonstra-se a denominação utilizada para a argamassa industrializada.

TABELA 4.7 – Denominação e teor de ar incorporado para a argamassa industrializada

Denominação	Teor de Ar Incorporado (%)
I1	15±1
I2	18±1
I3	21±1

Para facilitar a identificação das argamassas utilizadas no estudo, na Tabela 4.8, apresenta-se um resumo dos dois tipos de argamassas: argamassa mista (cimento, cal e areia) e argamassa industrializada, assim como as variáveis que serão estudadas a seguir.

TABELA 4.8 – Resumo das argamassas de assentamento estudadas

Tipo de Argamassa	Denominação	Traço em volume	Granulometria	Teor de Ar Incorporado (%)	
Argamassa Mista	Fm	1:0,7:5	Fina	-	
	Mm		Média	-	
	Gm		Grossa	-	
	Fi	1:1:5	Fina	-	
			Mi	Média	-
			Gi	Grossa	-
	Fg	1:1,3:5	Fina	-	
			Mg	Média	-
			Gg	Grossa	-
Argamassa Industrializada	I1	-	-	15±1	
	I2	-	-	18±1	
	I3	-	-	21±1	

4.4.3 Produção das Argamassas Estudadas e Características dos Materiais Empregados

As argamassas foram produzidas em betoneira intermitente de queda livre e eixo inclinado com capacidade de 120 litros.

No dia anterior à produção das argamassas mistas, era feita a maturação da cal através da mistura desta com areia úmida com teor de umidade de 10%. Esta pré-mistura de cal e areia ficava em repouso em recipiente fechado até a produção da argamassa.

Os materiais para as argamassas mistas eram colocados na betoneira da seguinte ordem: primeiramente colocava-se a areia e a cal (já pré-misturadas), em seguida colocava-se o cimento

e por último adicionava-se a água até atingir a consistência ideal para o assentamento. Para esta argamassa, misturava-se cerca de 7 minutos com repouso de aproximadamente 1 minuto para raspagem do material retido nas paredes da betoneira.

Já para a argamassa industrializada, colocava-se metade da água na betoneira e, em seguida, era colocado todo o material seco e o restante da água. A quantidade de água foi estabelecida pelo fabricante da argamassa. Os tempos de mistura na betoneira foi aquele capaz de produzir os teores de ar incorporado desejados.

As argamassas mistas foram confeccionadas com cimento CP II – F – 32, com cal hidratada do tipo CH III e areias obedecendo aos limites granulométricos da BS 1200. As propriedades desses materiais constam no Anexo 3. A água utilizada era proveniente da rede de abastecimento local.

A quantidade de material utilizada para a produção das argamassas está apresentada na Tabela 4.9.

TABELA 4.9 – Quantidade de material utilizado para a produção das argamassas e tempo de mistura utilizado

Arg	Traço (volume)	Traço (massa)	Cimento (Kg)	Cal (Kg)	Areia (Kg)	Mistura Pronta (Kg)	H (%)	Tempo de mistura
Fm	1:0,7:5	1:0,39:5,88	4,6	1,794	27,048	-	20,9	7 min + 1 min de raspagem
Mm			4,6	1,794	27,048	-	19,8	
Gm			4,6	1,794	27,048	-	17,8	
Fi	1:1:5	1:0,58:5,88	5,36	3,11	31,52	-	23,2	
Mi			4,46	2,587	26,255	-	20,0	
Gi			4,46	2,587	26,255	-	18,0	
Fg	1:1,3:5	1:0,72:5,88	4,37	3,15	25,696	-	22,4	
Mg			4,37	3,15	25,696	-	18,7	
Gg			4,37	3,15	25,696	-	15,76	
I1	Traço não fornecido pelo fabricante		-	-	-	25	16,2	1,50 min*
I2			-	-	-	25	16,2	2,42min*
I3			-	-	-	25	16,2	5,25 min*

* - Sem contar o tempo de raspagem da betoneira que foi de 1 minuto

Foram utilizados blocos de concreto de dimensões nominais de 14x19x39cm, especificado pela NBR 6136 (1994). Os blocos de concreto tinham resistência característica nominal de 6MPa. Para caracterização dos blocos foram feitos ensaios de absorção, de acordo com a NBR 12118 (1991) e ensaio de área líquida cujos resultados constam no anexo 3.

4.4.4 Ensaios no Estado Fresco e Estado Endurecido

Após a confecção das argamassas, eram realizados os ensaios no estado fresco e moldados os prismas e os corpos-de-prova para ensaios no estado endurecido.

As características e as propriedades das argamassas estudadas no estado fresco foram:

- Índice de consistência (flow table), de acordo com as especificações da NBR 7215 (1996);
- Retenção de água (NBR 9287, 1986 – através do funil de Büchner modificado);
- Massa específica e teor de ar incorporado (NBR 13278, 1995);
- Trabalhabilidade (GTec Teste) com os mesmos parâmetros utilizados no item 4.1.2 para a avaliação do ensaio; e
- Deformabilidade da junta fresca (medida da espessura de uma determinada junta após o assentamento de cada uma das fiadas superiores).

A propriedade deformabilidade da junta no estado fresco, como já foi citado no item 3.3.3, apesar de não possuir uma metodologia de ensaio específica para a sua avaliação, é de suma importância para a prática das obras de alvenaria estrutural pois dela depende o ritmo de construção a ser imposto bem como o dimensionamento das equipes de assentamento de blocos. Sendo assim, optou-se por utilizar um procedimento próprio, cujas etapas podem ser assim resumidas: primeiramente assentava-se um bloco de concreto, mantendo-se a junta em 1 cm e media-se a distância de pontos de referência pré-determinados fixados nas faces laterais dos blocos. Após 15 minutos do assentamento desta junta, era realizado o assentamento de mais um bloco acima e media-se a primeira junta novamente. A cada 15 minutos era assentado um novo bloco até formar um prisma de 6 unidades. A argamassa era mantida com a mesma trabalhabilidade para todas as juntas assentadas durante este ensaio. Se houvesse perda de água da argamassa por evaporação, era colocada mais água até adquirir novamente a trabalhabilidade adequada. Este ensaio era realizado em dois testemunhos. Na Figura 4.9 pode ser observada a medida da deformação da junta fresca da argamassa de assentamento e a confecção do prisma de 6 unidades para a realização desse ensaio.

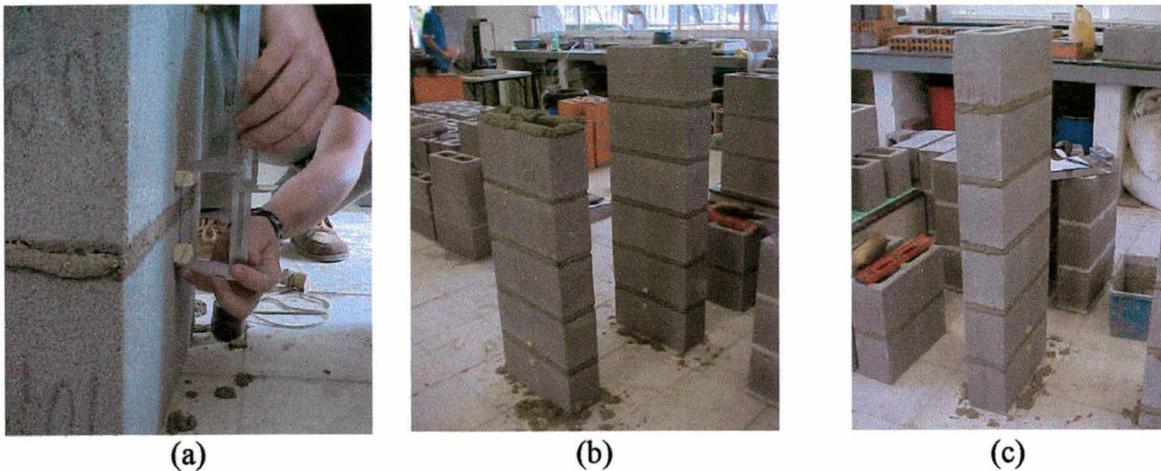


FIGURA 4.9 – Ensaio de deformabilidade da junta fresca: (a) medida da deformação da junta fresca da argamassa de assentamento; (b) colocação do filete de argamassa e (c) confecção dos prismas de 6 blocos

Após o final do ensaio eram retirados os 4 blocos superiores e o prisma restante, de 2 blocos, era armazenado para a realização do ensaio de resistência à penetração de pino aos 28 dias. Este ensaio será detalhado a seguir.

Eram moldados 4 corpos-de-prova cilíndricos 5x10cm para ensaio de resistência à compressão e módulo de elasticidade da argamassa de acordo com a NBR 13279 (1995). Também era moldado um corpo-de-prova prismático de argamassa de 4x4x16cm conforme as especificações da BS 4551 – Parte 1 (1998) para ensaiar a penetração de pino aos 28 dias. Na hora da rasadura desse corpo-de-prova prismático, tentava-se deixar a superfície com uma aparência parecida com a junta de assentamento, passando somente a espátula para retirar o excesso de material. Além disso, colocava-se somente um plástico de maneira que não houvesse perda de água e não se obtivesse uma superfície lisa.

As características e o desempenho verificadas no estado endurecido das argamassas foram:

- resistência à compressão e módulo de deformação da argamassa aos 28 dias em corpos-de-prova cilíndricos de 5x10cm (NBR 7215, 1996);
- resistência à compressão dos blocos de concreto na data do ensaio de prisma (NBR 7184, 1992);
- resistência à compressão de prisma aos 28 dias, com conseqüentemente determinação do fator de eficiência ;
- módulo de deformação do prisma e da junta de argamassa; e

- resistência à penetração de pino da argamassa e da junta de assentamento em prisma.

Para que os corpos-de-prova de argamassa fossem submetidos às mesmas condições das juntas de argamassa do prisma até o momento do ensaio, estes foram curados ao ar, ao lado dos prismas.

Todos os corpos-de-prova foram ensaiados à compressão à idade de 28 dias juntamente com a ruptura dos prismas nos quais as respectivas argamassas foram empregadas. Para o ensaio de resistências à compressão das argamassas aos 28 dias foram obedecidas às prescrições da NBR 7215 (1996). Primeiramente ensaiava-se 2 exemplares e, com base nos resultados, realizava-se o ensaio com os outros dois corpos-de-prova que tinham suas deformações longitudinais (no sentido da aplicação da carga) controladas até aproximadamente 70% da carga de ruptura dos dois corpos-de-prova anteriormente ensaiados, conforme descrito no item 4.5. Após a última leitura do ensaio de deformação, os corpos-de-prova de argamassa eram descarregados, retirava-se o equipamento do ensaio de deformação e as argamassas eram ensaiadas à compressão. Os corpos-de-prova cilíndricos eram capeados com pasta de cimento e enxofre para a regularização da superfície.

Os blocos de concreto empregados foram ensaiados à compressão para sua caracterização, conforme a NBR 7184 (1992), na data de ruptura dos prismas para que se pudesse estabelecer uma relação entre a resistência do prisma e a resistência do bloco no prisma ensaiado. Para realização deste ensaio, os blocos foram capeados com pasta de cimento.

O ensaio de resistência à penetração de pino foi adaptado do método proposto por Prudêncio Jr. (1993) para estimar a resistência à compressão dos concretos projetados nas primeiras idades. O autor obteve boa correlação entre a penetração de pino e a resistência à compressão.

Então foi utilizado este ensaio alternativo para avaliar indiretamente a real resistência da argamassa na junta da alvenaria uma vez que, como foi mencionado no item 3.4.1, a resistência obtida em ensaios de corpos-de-prova moldados em formas impermeáveis não representam fielmente a resistência da argamassa na junta. Sendo assim, foi utilizado para tentar identificar esta possível diferença, ao ser aplicado tanto na argamassa da junta quanto naquela resultante da moldagem de corpos-de-prova prismáticos.

Para a execução do ensaio de resistência a penetração de pino com os corpos-de-prova

prismáticos, primeiramente era realizado um ensaio de tração na flexão prescrito pelo método ISO/DIS 679 – *Methods of testing cements – Determination of strength* (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1987) apud Bastos (2001). Utilizou-se uma prensa, com capacidade de 10 toneladas, com dois apoios fixos distantes de centro a centro de 8cm e um outro apoio adaptado na prensa para a aplicação da carga ao centro do corpo-de-prova, conforme pode ser observado na Figura 4.10.

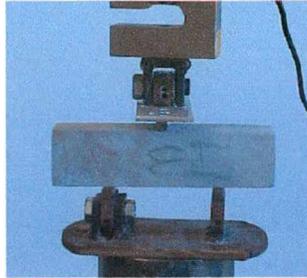
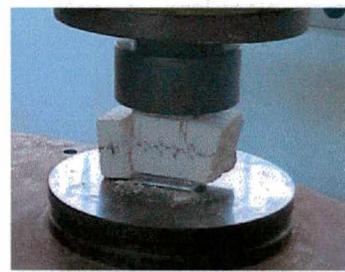


FIGURA 4.10 – Ensaio de resistência à tração na flexão

Após a realização do ensaio a tração na flexão, eram obtidos dois corpos-de-prova de dimensões de 4x4x8cm nos quais era realizado o ensaio de penetração de pino. Em seguida, para se obter uma correlação entre a resistência de penetração de pino e a resistência da argamassa, era realizado o ensaio de compressão nos corpos-de-prova de 4x4x8cm onde a carga era aplicada no centro do corpo-de-prova com placas de aço de dimensões 4x4x0,8cm. Na Figura 4.11 pode ser observado o ensaio de resistência à compressão nos corpos-de-prova prismáticos de argamassa.



(a)



(b)

FIGURA 4.11 – Ensaio de resistência à compressão nos corpos-de-prova prismáticos de argamassa: (a) preparação do corpo-de-prova e (b) após o ensaio de resistência à compressão

Para a realização do ensaio de resistência à penetração do pino, foi utilizado um soquete empregado no ensaio de “Mini Proctor” adaptado, utilizando uma energia de 2J, obtida com a queda livre de uma massa de uma altura pré-determinada, para a penetração de um pino metálico (prego de bitola comercial 12x15). Após um único golpe, media-se a profundidade de penetração do pino com o auxílio de um paquímetro. Este ensaio foi realizado tanto nos corpos-de-prova prismáticos como numa junta de assentamento do prisma que foi utilizado no ensaio de

deformabilidade da junta fresca. Na Figura 4.12 mostra-se o ensaio de resistência à penetração de pino nos corpos-de-prova 4x4x8cm com detalhe da penetração feita ao longo da maior dimensão no meio do corpo-de-prova de argamassa. Eram realizadas 5 a 6 medidas de resistência à penetração de pino em cada metade do corpo-de-prova de argamassa de 4x4x8 cm.

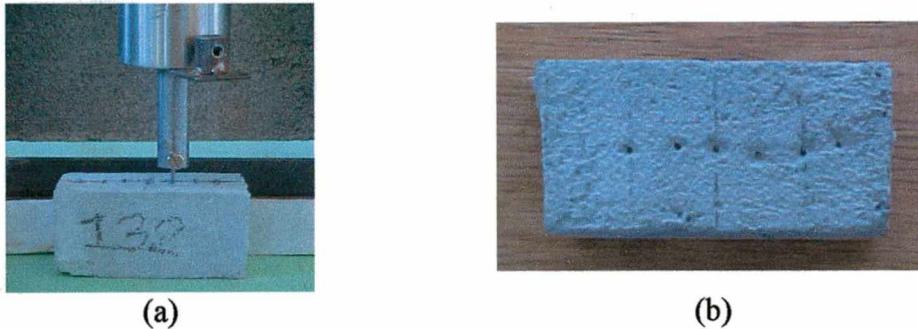


FIGURA 4.12 – Ensaio de resistência a penetração de pino: (a) em argamassa e (b) detalhe da vista superior do corpo-de-prova prismático após o ensaio de penetração de pino

Para a realização da penetração do pino na junta de assentamento, o prisma de 2 blocos restante do ensaio de deformação da junta fresca, era colocado sobre uma bancada nivelada com sua maior dimensão na posição horizontal e eram feitas 7 medidas ao longo da maior dimensão da junta de assentamento. O ensaio pode ser observado na Figura 4.12. Para a realização desse ensaio, foi construído um aparato para deixar a guia do “Mini Proctor” nivelada e no prumo, a 90° com a superfície do corpo-de-prova durante a realização da penetração do pino.

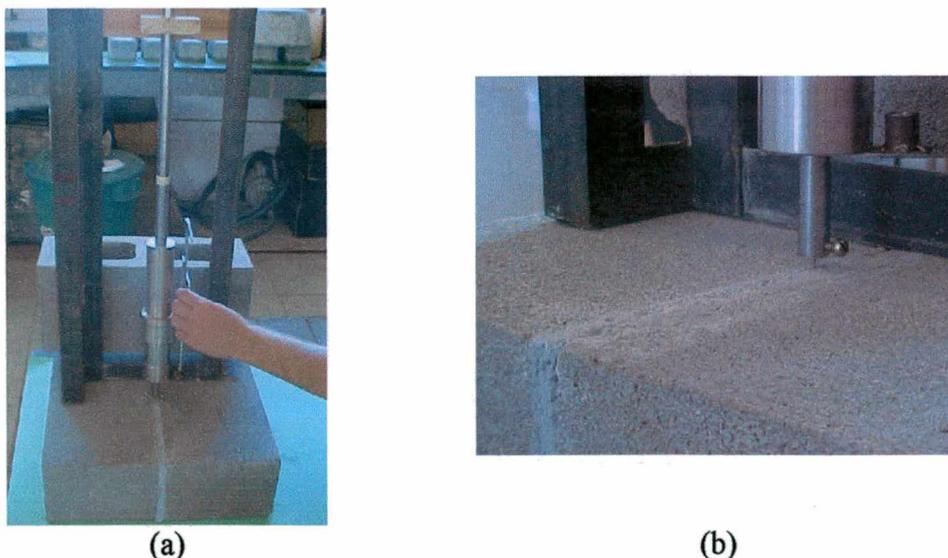


FIGURA 4.13 –Ensaio de resistência à compressão de pino (a) na junta de argamassa e (b) detalhe do ensaio na junta de argamassa

A seguir serão detalhados a moldagem e o ensaio à compressão dos prismas.

4.4.5 CONFECCÃO E ENSAIO À COMPRESSÃO DOS PRISMAS

No ensaio de prisma eram confeccionados, segundo a NBR 8215 (1983), 4 prismas (com três unidades de altura) para cada tipo de argamassa. Estes prismas foram destinados ao ensaio de resistência à compressão axial e módulo de deformação, cujo objetivo era de avaliar a influência no fator de eficiência, mecanismo de ruptura das alvenarias e a deformação das diferentes argamassas utilizadas. Os ensaios eram realizados aos 28 dias de idade.

Foram confeccionados 48 prismas no total, sendo 4 prismas para cada uma das 12 diferentes argamassas (9 argamassas mistas e 3 argamassas industrializadas) sendo estas já detalhadas no item 4.2.

Optou-se por confeccionar prismas com três unidades de altura, conforme recomendação de La Rovere (1997), para garantir que a ruptura se desse por compressão axial, o que difere do preconizado pela NBR 8215 (1983). Os demais procedimentos seguiram o especificado pela norma brasileira.

A espessura da junta de argamassa do prisma tinha 10 ± 1 mm conforme recomendado para a otimização do funcionamento estrutural do elemento de alvenaria. Além disso, era aplicada a argamassa em toda a face superior do bloco com auxílio de uma colher de pedreiro. Em seguida, a unidade subsequente era assentada, quando se fazia a verificação do nível e do prumo do prisma, bem como a espessura da junta determinada. O excesso de argamassa no interior e exterior dos prismas era removido para evitar sua influência sobre os resultados dos ensaios de compressão.

Os prismas já eram moldados com os dois blocos de topo capeados, o que evitava o seu excessivo manuseio e conseqüente possibilidade de perda de exemplares. Seu estoque foi realizado em local coberto, protegido do sol, da chuva e da ação de ventos, até a data de rompimento, quando também eram realizados os demais ensaios do estado endurecido das argamassas.

Os blocos de concreto para a confecção dos prismas eram devidamente selecionados por massa, dentro de um lote referente a uma mesma produção, para minimizar as dispersões de resistência. Primeiramente, pesava-se todos os blocos e foram separava-se em três grupos com relação ao

peso. Um grupo era destinado aos blocos de topo e base que pesavam entre $11,35 \pm 0,10$ Kg. O outro grupo era destinado aos blocos do meio e aos blocos destinados a resistência à compressão com $11,10 \pm 0,10$ Kg. O terceiro grupo constituía-se de blocos que não se enquadravam nas duas categorias anteriores e eram destinados ao ensaio de deformabilidade da junta fresca.

Além disso, para o ensaio de deformação da junta de argamassa, no prisma era preciso preparar os blocos que seriam utilizados para este ensaio. No bloco de topo e no bloco do meio eram feitos talhos na parede transversal externa para a colocação de chapas de ferro que eram fixadas com cola de base epóxi, cujo procedimento será detalhado no item 4.5. Na Figura 4.14 pode ser observada a moldagem dos 2 prismas destinados à resistência à compressão e os outros 2 destinados ao ensaio de deformação.



FIGURA 4.14 – Moldagem dos prismas destinados a resistência à compressão e a deformação

O ensaio de resistência à compressão dos prismas era realizado aos 28 dias. Primeiramente, eram ensaiados dois prismas. A partir dos resultados obtidos, ensaiava-se o terceiro e quarto prismas, os quais tinham deformação longitudinal do prisma e da junta de argamassa controladas até aproximadamente 70% da carga de ruptura dos dois prismas irmãos anteriormente ensaiados. Após a última leitura de deformação, os prismas eram descarregados para a retirada dos equipamentos empregados na instrumentação e eram, então, ensaiados à compressão. Na Figura 4.15 observa-se o ensaio de resistência à compressão em prismas.



FIGURA 4.15 – Ensaio de resistência à compressão em prisma

4.4.6 DETERMINAÇÃO DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADE DOS PRISMAS, DA JUNTA DE ASSENTAMENTO E DA ARGAMASSA

O desempenho das argamassas foi avaliado, também, através da medição das deformações longitudinais (na direção do carregamento) do conjunto bloco-argamassa e da junta de assentamento de argamassa. A opção por determinar a deformabilidade da junta ao invés de calculá-la subtraindo a deformação do bloco da deformação do prisma foi descartada devido aos problemas encontrados em trabalhos anteriores, já mencionados no item 2.2.1.3. Este procedimento foi realizado em dois prismas de cada argamassa, durante o ensaio de compressão axial. Também foram medidas as deformações longitudinais de dois corpos-de-prova de argamassa para cada argamassa estudada.

A determinação das deformações, em todos os ensaios, foi realizada utilizando-se relógios comparadores analógicos da marca Digimess com precisão de 0,001mm. Estes relógios eram acoplados em anéis que envolviam o corpo-de-prova, no caso dos prismas e argamassas, e das chapas de aço, no caso da junta de assentamento dos prismas.

No caso dos prismas e dos corpos-de-prova cilíndricos de argamassa, utilizava-se um conjunto de anéis e dois relógios eram fixados em posições diametralmente ou diagonalmente opostas, de modo que a média de suas leituras representasse a deformação do centro do corpo-de-prova. É importante salientar que durante a instalação, o nível dos relógios foi observado, objetivando

garantir que a seção de leitura das deformações fosse perpendicular à direção de aplicação da carga.

Na Figura 4.16 apresenta-se os anéis utilizados para a deformação do conjunto bloco-argamassa dos prismas e dos corpos-de-prova de argamassa. As Figuras 4.17 e 4.18 mostram os equipamentos de medição instalados.

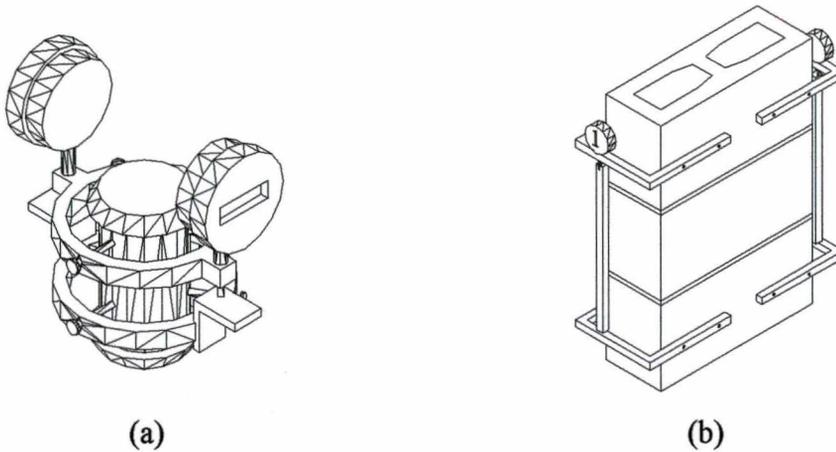


FIGURA 4.16 – Anéis utilizados para a fixação dos relógios comparadores: (a) nos corpos-de-prova de argamassa e (b) nos prismas



FIGURA 4.17 – Equipamento de medição das deformações num corpo-de-prova de argamassa



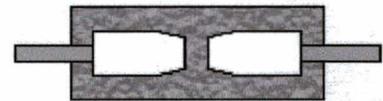
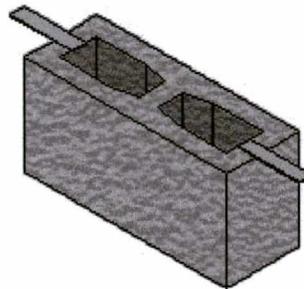
FIGURA 4.18 – Equipamento de medição das deformações no prisma do conjunto bloco-argamassa e da deformação da junta de assentamento

Os dois anéis dos prismas eram colocados na meia altura do bloco superior e na meia altura do bloco inferior para a obtenção das deformações do conjunto bloco-argamassa. A desconsideração de uma altura de meio bloco no topo e na base do prisma foi uma tentativa de anular o efeito de confinamento dos pratos da prensa sobre leituras de deformação.

Já para o ensaio de deformação da junta de assentamento, foram utilizadas chapas de aço confeccionadas para fixarem os relógios comparadores. Estas chapas eram coladas com cola a base de epóxi no bloco antes do assentamento dos mesmos. Para tal, era feita uma pequena reentrância que permitisse o encaixe da chapa, de profundidade de aproximadamente 2mm e largura de 25mm - medidas das chapas - de modo que estas ficassem de maneira plana e alinhada com a superfície do bloco (Figura 4.19a). Este procedimento se deu com o intuito de não estrangular ou diminuir a espessura da junta onde fossem colocadas as chapas, mantendo a espessura desta constante. Foram realizados estudos preliminares para definir a posição dessas chapas.



(a)



(b)

FIGURA 4.19 – (a) Chapas coladas para a medida da deformação da junta do bloco de topo dos prismas que foram confeccionados e (b) esquema da posição escolhida para a fixação das chapas

Primeiramente foram confeccionados prismas com mesma argamassa com chapas em várias posições, chapas para a fixação de apenas um relógio para a medida de deformação. Na Figura 4.20 pode-se observar a colocação em diferentes posições no prisma pronto para o ensaio de deformação. Neste ensaio observou-se que a junta de assentamento superior se deformava mais que a junta de assentamento inferior. Também neste ensaio, observou-se que os relógios estavam indicando tração, mostrando assim que, na verdade, por as chapas estarem coladas nas faces dos blocos, os mesmos estavam se distanciando devido à rotação da parede externa dos blocos causada pela sua deformação transversal diferenciada entre topo e base. Este fato foi confirmado experimentalmente através do posicionamento de relógios comparadores perpendiculares às paredes dos blocos com o auxílio de bases magnéticas fixadas na base do pórtico da prensa. Este

teste, que pode ser observado em detalhe na Figura 4.20b, também auxiliou na definição da posição das chapas de aço no contorno da junta. Além disso, para eliminar o efeito de rotação das paredes dos blocos nas leituras de deformação da junta de argamassa, foram confeccionadas chapas de aço para a fixação de dois relógios comparadores. Sendo assim, mede-se a deformação desses dois relógios e, conhecendo-se as distâncias entre a posição dos relógios e o centro da parede do bloco, pode-se, por semelhança de triângulos, calcular a deformação média daquela posição da junta de argamassa. Na Figura 4.19b apresenta-se um esquema da posição escolhida das chapas, que eram fixadas em posições opostas, de modo que a média de suas leituras representassem a deformação média da junta. Já na Figura 4.22 pode ser observada a chapa de aço fixada no bloco, pronta para o ensaio e, inclusive, com os relógios comparadores colocados.

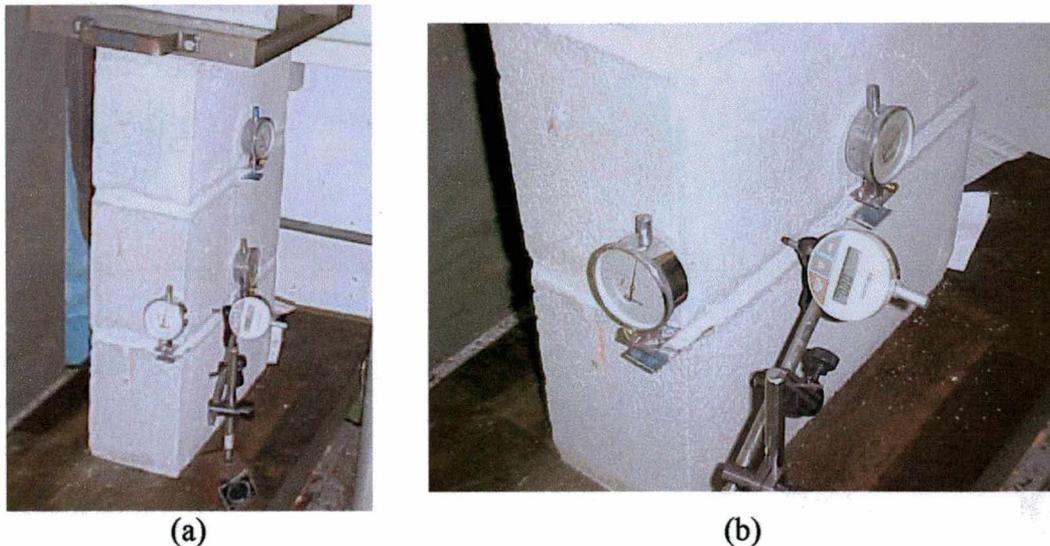


FIGURA 4.20 – (a) Prisma posicionado para o ensaio preliminar da posição das chapas para medir a deformação das juntas de argamassa e (b) detalhe das chapas e do relógio comparador usado para medir a deformação lateral do bloco



FIGURA 4.21 – Equipamento de medida de deformação da junta utilizando dois relógios comparadores em prismas: (a) chapas pronta para ensaio e (b) chapas junto com os relógios para medida da deformação já instalados no prisma

Eram utilizados quatro relógios comparadores para a medida da deformação da junta em cada prisma. Também era observado o nível dos relógios durante a instalação para garantir que a seção de leitura das deformações fosse perpendicular à direção de aplicação da carga.

Então, para cada prisma destinado ao ensaio de deformação, eram utilizados 6 relógios comparadores, 2 utilizados para a medida da deformação do prisma e os outros 4 para a deformação da junta de assentamento. Na Figura 4.18 observa-se o prisma preparado para o ensaio de deformação.

A leitura dos relógios, em todos os ensaios, era realizada instantaneamente a medida que as cargas escolhidas para leitura das deformações eram atingidas. Assim, não havia interrupção do carregamento, que era realizado à velocidade constante. A última leitura de deformação em cada corpo-de-prova era realizada a uma carga de aproximadamente 70% da carga estimada para a ruptura através do ensaio de dois prismas irmãos rompidos anteriormente. A deformação de ruptura, embora representasse um dado importante, não foi determinada para que não houvesse danos aos relógios comparadores. Além disso, se forem considerados os fatores de segurança preconizados pela normalização nacional e estrangeira, a alvenaria nunca atingiria sua carga de ruptura e, conseqüentemente, não atingiria sua deformação de ruptura.

A partir dos resultados obtidos para as deformações dos prismas (conjunto bloco-argamassa), da junta de assentamento e da argamassa foi possível traçar seus diagramas tensão x deformação específica, onde puderam ser calculados os módulos de elasticidade dos materiais. Em todos os casos, foram determinados os módulos de elasticidade secantes, através da definição da reta que une os pontos cuja tensão corresponde a 5% e 30% da tensão de ruptura, conforme recomendado pela ACI 530/ASCE 5/TMS 402 (1992).

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 DESENVOLVIMENTO DO EQUIPAMENTO PARA A AVALIAÇÃO DA TRABALHABILIDADE

Inicialmente, neste item, são apresentados e analisados os resultados apresentados pelo Vicat Adaptado. Em seguida os resultados obtidos para avaliação da trabalhabilidade pelo GTec Teste.

5.1.1 Vicat Adaptado

Para a verificação da trabalhabilidade das argamassas de assentamento pelo Vicat Adaptado era necessária uma avaliação deste método através dos ensaios já descritos no item 4.1.1. A seguir serão apresentados os resultados obtidos tanto para argamassas industrializadas como para as argamassas mistas.

Nas Tabelas 5.1, 5.2 e 5.3 mostra-se, respectivamente, os resultados obtidos para as argamassas industrializadas 1 e 2 e argamassa mista, no ensaio de consistência *flow table* e Vicat adaptado, as espessuras das juntas obtidas logo após o posicionamento do bloco para o assentamento bem como uma avaliação qualitativa do assentador com relação às condições de trabalhabilidade das mesmas.

TABELA 5.1 - Avaliação da trabalhabilidade da argamassa industrializada 1

<i>Flow table</i> esperado (mm)	<i>Flow table</i> médio alcançado (mm)	Leituras Vicat Adaptado (cm)	Leitura média/desvio padrão Vicat adaptado (cm)	Junta da argamassa no assentamento do bloco (cm)	Avaliação qualitativa do assentador dos blocos
180 ± 10	183,5	1,45 1,75 1,90	1,70 / 0,23	2,0	Boa/seca
210 ± 10	203,5	0,10 0,20 0,30	0,20 / 0,10	1,2	Mole
230 ± 10	226,9	0,05 0,05 0,05	0,05 / 0,00	0,5	Muito mole
250 ± 10	249,3	0,05 0,05 0,05	0,05 / 0,00	0,5	Muito mole

TABELA 5.2 - Avaliação da trabalhabilidade da argamassa industrializada 2

<i>Flow table</i> esperado (mm)	<i>Flow table</i> médio alcançado (mm)	Leituras Vicat Adaptado (cm)	Leitura média/desvio padrão Vicat adaptado (cm)	Junta da argamassa no assentamento do bloco (cm)	Avaliação qualitativa do assentador dos blocos
180 ± 10	178,0	2,25 2,55 2,40	2,40 / 0,15	2,3	Seca
210 ± 10	220,0	1,85 1,65 1,55	1,68 / 0,15	1,8	Muito boa
230 ± 10	225,0	0,90 1,00 0,85	0,92 / 0,08	1,3	Boa
250 ± 10	254,0	0,05 0,10 0,05	0,07 / 0,03	0,8	Mole

TABELA 5.3 - Avaliação da trabalhabilidade da argamassa mista

<i>Flow table</i> esperado (mm)	<i>Flow table</i> médio alcançado (mm)	Leituras Vicat Adaptado (cm)	Leitura média/desvio padrão Vicat adaptado (cm)	Junta da argamassa no assentamento do bloco (cm)	Avaliação qualitativa do assentador dos blocos
180 ± 10	183,0	2,80 2,70 2,90	2,80 / 0,10	2,2	Seca
210 ± 10	218,0	2,40 2,50 2,45	2,45 / 0,05	2,2	Boa/seca
230 ± 10	231,5	1,80 2,00 2,05	1,95 / 0,13	2,0	Boa
250 ± 10	245,0	1,80 1,80 2,05	1,88 / 0,14	1,8	Boa

Na Figura 5.1 mostra-se o comportamento das diferentes argamassas diante dos dois métodos de avaliação da trabalhabilidade estudados (*flow table* e Vicat Adaptado). Na Figura 5.2 são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de *flow table* pela espessura da junta obtida logo após o posicionamento dos blocos.

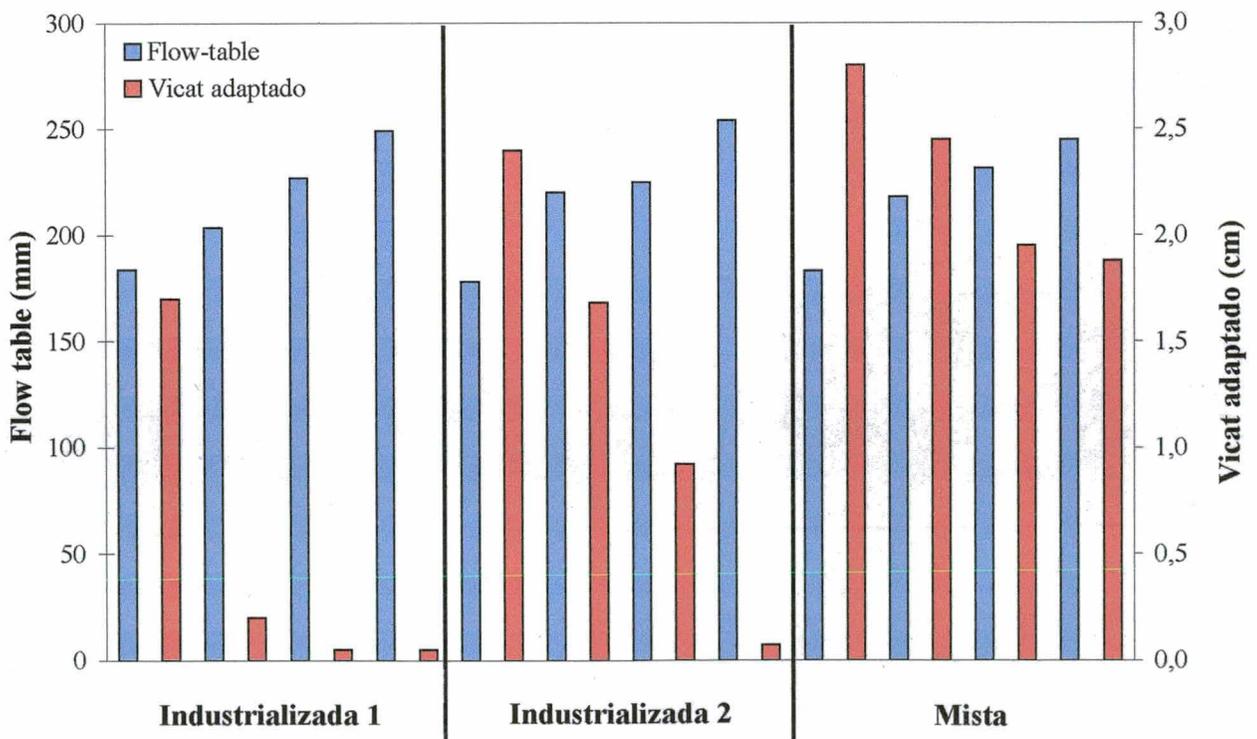


FIGURA 5.1 - Índice de consistência *flow table* e leitura de Vicat adaptado para as argamassas empregadas

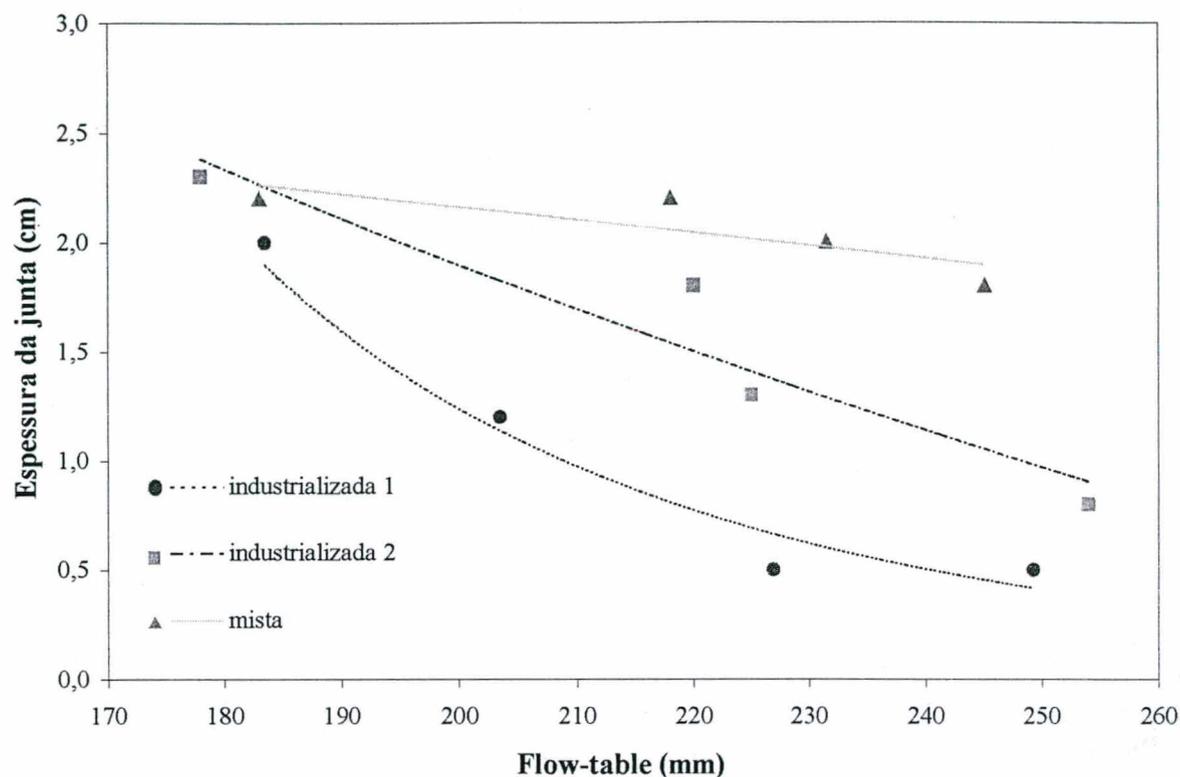
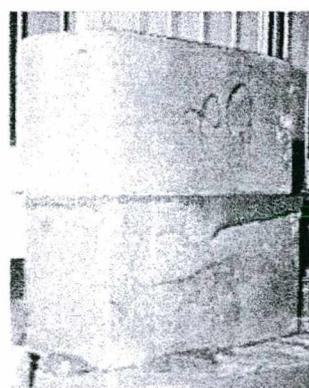
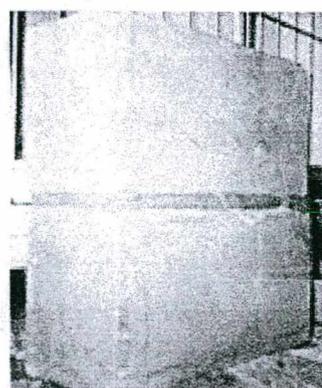


FIGURA 5.2 - Índice de consistência *flow table* x espessura da junta para as argamassas empregadas

Através dos gráficos apresentados nas Figuras 5.1 e 5.2, pode-se verificar que não existe uma correlação única entre os resultados obtidos no ensaio de *flow table* e no equipamento de Vicat adaptado, bem como entre os resultados do *flow table* e das espessuras das juntas no assentamento dos blocos. Argamassas com mesmo índice de consistência, medido através do ensaio de *flow table*, apresentam deformações das juntas completamente distintas quando submetidas a ação do peso próprio do bloco (Figura 5.2), chegando, em alguns casos, a inviabilizar o assentamento do mesmo (Figura 5.3).



(a) industrializada 1



(b) industrializada 2

FIGURA 5.3 - Espessuras das juntas obtidas para as argamassas industrializadas 1 e 2 com índices de consistência obtidos através do ensaio de *flow table*: (a) espessura da junta = 0,5cm com *flow table* de 226,9mm e (b) espessura da junta = 1,3cm com *flow table* de 225,0 mm

O gráfico da Figura 5.4 apresenta os resultados obtidos no ensaio de Vicat adaptado pela espessura da junta obtida logo após o posicionamento dos blocos. Como pode ser observado nesta Figura, os resultados encontrados no ensaio de Vicat adaptado correlacionaram-se bem com as espessuras das juntas quando submetidos ao peso próprio dos blocos.

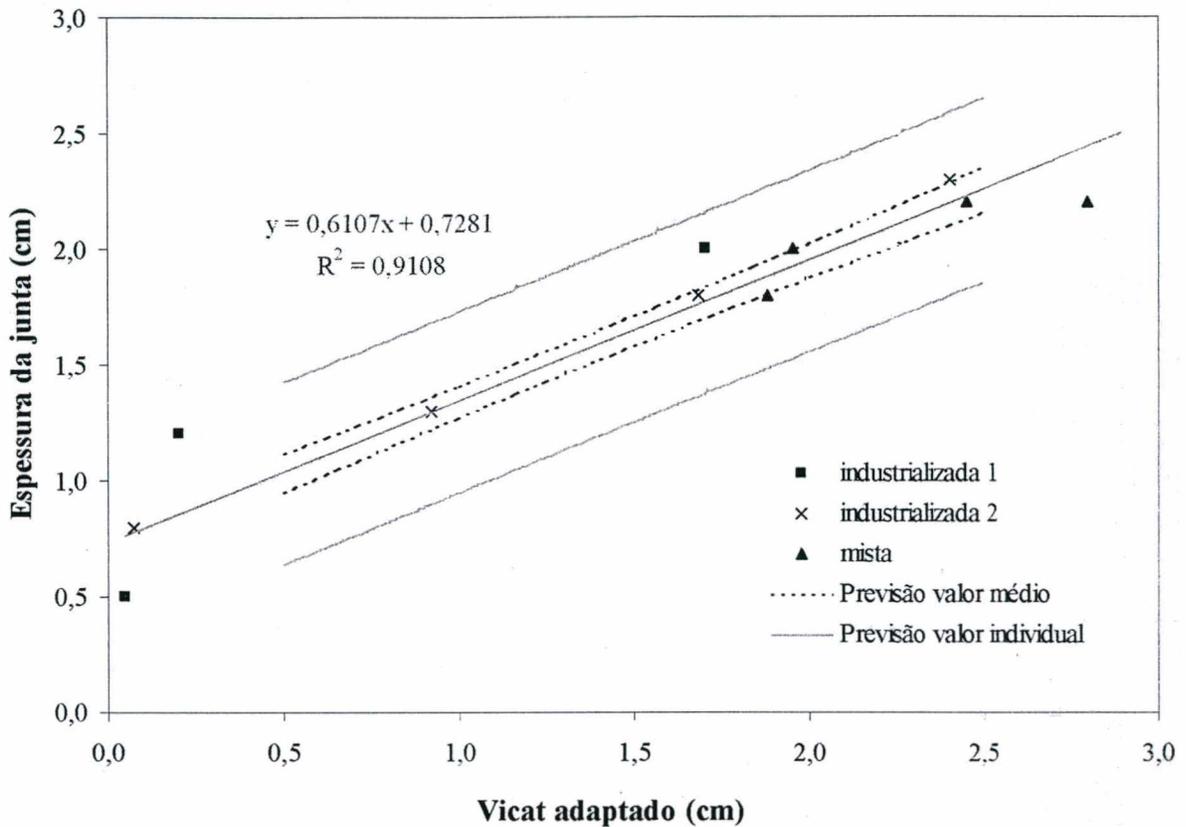


FIGURA 5.4 - Vicat adaptado x espessura da junta para as argamassas empregadas

O ensaio de Vicat adaptado proposto é um ensaio portátil e prático para aplicação em obra. Através do mesmo é possível ajustar-se a trabalhabilidade da argamassa, segundo a recomendação de Panarese, Kosmatka e Randall Jr. (1991), empregando-se a maior quantidade de água possível, pelo fato de o fator limitante de uma argamassa de assentamento, quando empregada uma quantidade de água elevada, ser normalmente a deformação sofrida pela junta quando submetida a ação do peso próprio do bloco.

O ensaio de Vicat adaptado mostrou-se viável de ser empregado independentemente do tipo de argamassa (industrializada ou mista de cimento, cal e areia), sendo recomendados valores médios de leitura do equipamento entre 1,5 e 2,0 cm.

Porém, como já dito anteriormente, a análise da trabalhabilidade feita unicamente baseada na consistência da argamassa, como este ensaio, pode conduzir à uma interpretação equivocada e

errônea de tal propriedade. Por este motivo, buscou-se desenvolver um método que pudesse medir, além da consistência, a plasticidade e a coesão das argamassas. Assim, partiu-se para o desenvolvimento do equipamento, GTec Teste, cujos valores obtidos nos ensaios desse teste são apresentados a seguir.

5.1.2 GTec Teste

Como foi citado na metodologia do trabalho, para avaliar-se a eficácia do GTec Teste em medir a trabalhabilidade de uma argamassa de assentamento para alvenaria de blocos de concreto, foram produzidos e caracterizados vários tipos de argamassa, tanto mistas quanto industrializadas.

Na Tabela 5.4 são apresentadas as propriedades no estado fresco medidas para estas argamassas com suas respectivas designação.

TABELA 5.4 – Propriedades no estado fresco das argamassas estudadas

Argamassa		Flow Esperado (mm)	Flow Obtido (mm)	H (%)	Densidade (kg/dm ³)	Teor de Ar Incorporado (%)
Industrializada 1	I1 200	200±10	207,5	14,20	1,57	31,74
	I1 230	230±10	240,0	16,50	1,40	37,61
	I1 255	255±10	253,3	17,03	1,57	29,53
	I1 280	280±10	280,5	17,92	1,57	28,88
Industrializada 2	I2 230	230±10	232,1	16,12	1,80	19,55
	I2 255	255±10	250,9	16,91	1,77	20,16
	I2 280	280±10	276,1	17,70	1,75	20,50
Industrializada 3	I3 230	230±10	232,5	13,57	1,89	15,99
	I3 255	255±10	251,0	14,51	1,66	25,46
	I3 280	280±10	281,8	15,46	1,65	24,93
Mista 1	M1 230	230±10	222,0	17,65	1,94	8,94
	M1 255	255±10	259,0	18,45	1,95	7,59
	M1 280	280±10	277,0	18,89	1,92	8,87
Mista 2	M2 230	230±10	231,2	17,57	2,06	3,73
	M2 255	255±10	254,0	18,27	2,03	4,33
	M2 280	280±10	288,9	19,96	2,00	4,51

H – Relação água/materiais secos

Pode-se observar na Tabela 5.4, como já era esperado, que os teores de ar incorporado medidos nas argamassas industrializadas foram muito maiores do que os das argamassas mistas. Este comportamento se deve à presença dos aditivos incorporadores de ar. Ainda, cabe notar que, dentre as argamassas industrializadas, a argamassa industrializada 1 apresentou teores de ar incorporado superiores às demais. Isto pode ser também observado na Figura 5.5 que apresenta o teor de ar incorporado pelo índice de consistência *flow table* esperado para cada argamassa estudada.

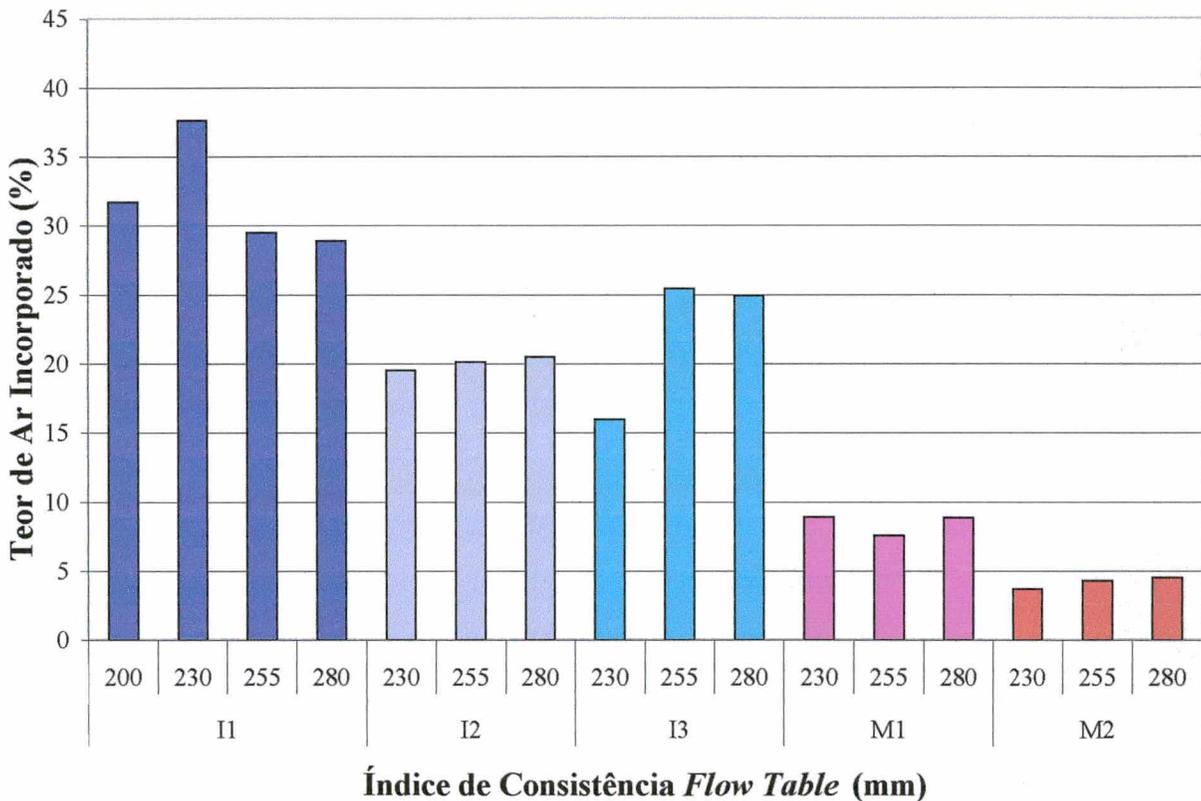


FIGURA 5.5 – Teor de ar incorporado (%) x Índice de Consistência *flow table* (mm)

Cabe ressaltar que a variação do teor de ar incorporado nas argamassas industrializadas, verificada na Tabela 5.4 e na Figura 5.5, foi obtida através do aumento da quantidade de água até obter o índice de consistência (*flow table*) desejado. Desta forma, não se utilizou a quantidade de água recomendada pelo fabricante. Porém, manteve-se constante o tempo de mistura na produção da argamassa.

Os resultados dos ensaios para a avaliação da trabalhabilidade das argamassas de assentamento pelo índice de consistência (*flow table*), pelo GTec Teste e pela simulação do assentamento de um bloco de concreto (espessura da junta), descrito no item 4.1.2, são apresentados na Tabela 5.5.

TABELA 5.5 – Avaliação da trabalhabilidade das argamassas de assentamento

Argamassa		Espessura da Junta (cm)	Flow Obtido (mm)	GTec Teste		
				Li média (cm)	Energia (J)	IP (mm/J)
Industrializada 1	I1 200	1,4	207,5	1,4	0,36	-
	I1 230	0,9	240	0,2	0,00	-
	I1 255	0,5	253,3	0,2	0,00	-
	I1 280	0,5	280,5	0,3	0,00	-
Industrializada 2	I2 230	1,7	232,1	1,7	1,17	-7,06
	I2 255	1,5	250,9	1,3	0,36	-
	I2 280	1,3	276,1	0,9	0,18	-
Industrializada 3	I3 230	1,7	232,5	1,5	0,36	-
	I3 255	1,2	251,0	1,2	0,18	-
	I3 280	0,8	281,8	0,4	0,00	-
Mista 1	M1 230	2,0	222,0	1,9	3,96	-1,74
	M1 255	1,8	259,0	1,9	2,16	-3,20
	M1 280	1,6	277,0	1,8	1,35	-5,33
Mista 2	M2 230	1,9	231,2	1,9	2,97	-2,58
	M2 255	1,7	254,0	1,7	0,99	-7,27
	M2 280	1,4	288,9	1,1	0,18	-

Li – Leitura Inicial

IP – Índice de Plasticidade

Para um melhor entendimento quanto à forma de determinação dos parâmetros do ensaio GTec teste, na Figura 5.6 são apresentadas duas curvas referentes aos ensaios das argamassas M1 230 ($flow=230mm$) e M1 255 ($flow=255mm$) bem como a indicação da obtenção/ cálculo destes parâmetros.

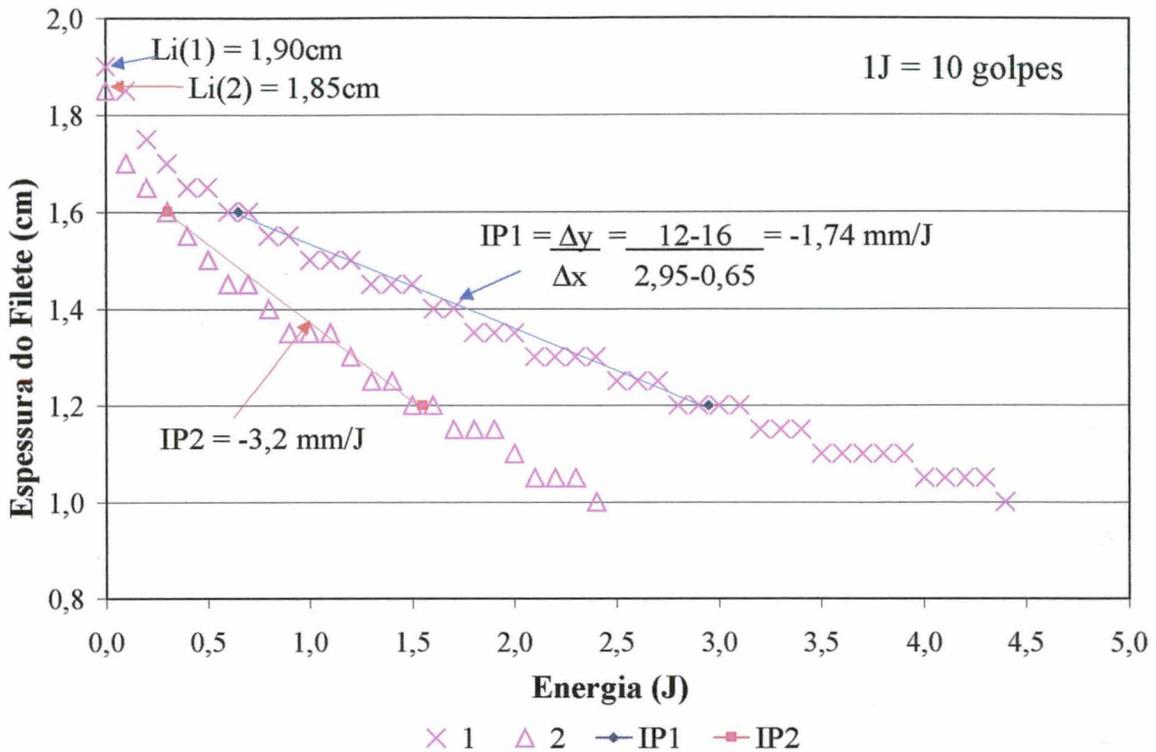


FIGURA 5.6 – Exemplo da obtenção/cálculo do índice de plasticidade

Como se pode observar na Tabela 5.5, para o caso da argamassa industrializada 1, não foi possível obter juntas iniciais para a simulação do assentamento de 1cm ou mais. Isto pode ser atribuído ao alto teor de ar incorporado observado (Tabela 5.4 e Figura 5.5). Por este motivo, visando a obtenção de uma argamassa que possibilitasse o assentamento de blocos de concreto com este material, foi necessário produzir uma mistura com menor consistência, que consta das Tabelas 5.4 e 5.5 como industrializada 1 com índice de consistência *flow table* de 200 ± 10 cm.

Ainda na Tabela 5.5, pode-se constatar que, para o mesmo índice de consistência *flow table* esperado, as alturas das juntas de assentamento submetidas somente ao peso do bloco são distintas. Este comportamento também é observado na Figura 5.7 que representa a altura da junta de assentamento em função do índice de consistência *flow table*.

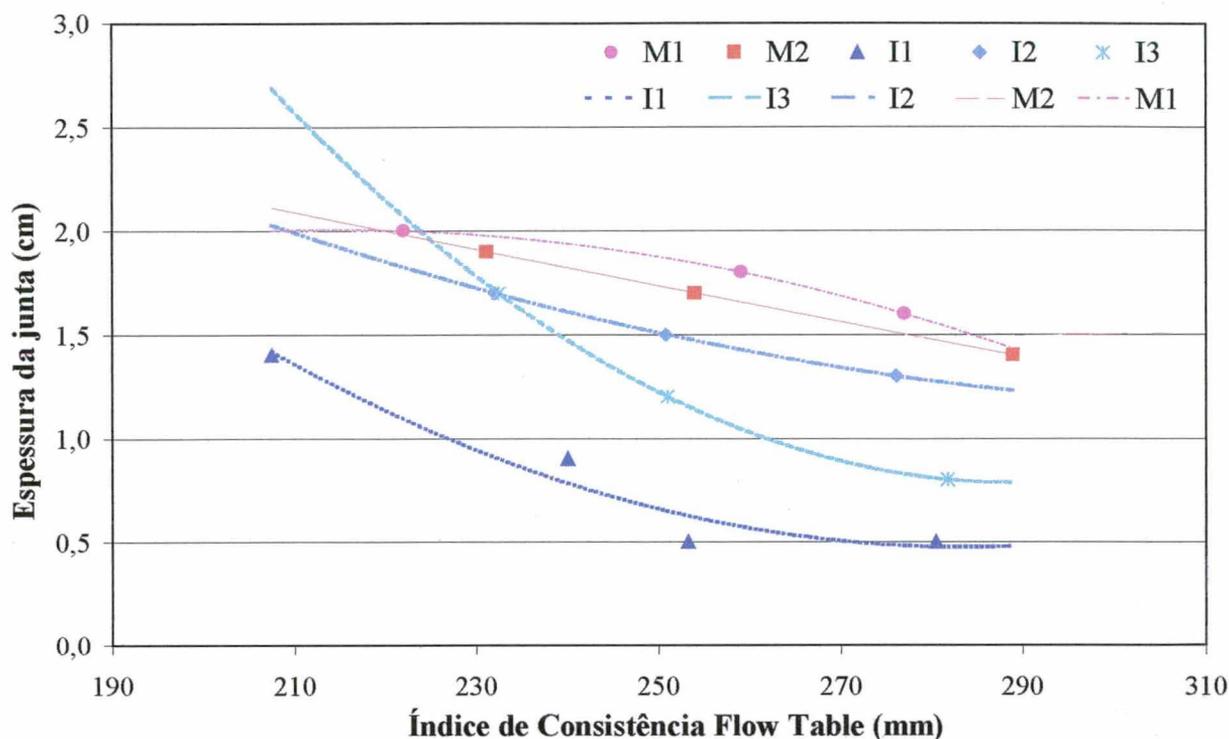


FIGURA 5.7 – Espessura da junta (cm) x Índice de consistência *flow table* (mm)

Através da Figura 5.7 nota-se que o índice de consistência *flow table* não é correlacionável genericamente com a espessura inicial da junta de argamassa. Isto fica claro na medida em que, fixada uma altura inicial de junta desejada, o índice *flow table* necessário para atingi-la não é o mesmo para as diferentes argamassas. No entanto, pode ser observado que, para uma dada argamassa (traço e materiais componentes fixos), este índice é capaz de distinguir consistências diferentes, já que existe, para cada argamassa, uma função que se ajusta bem aos dados. Isto indica que este ensaio é adequado para o controle da consistência de um determinado tipo de argamassa de assentamento, porém, não deve ser utilizado como parâmetro genérico para especificação deste material, como preconizado na NBR 8798 (1985).

Por outro lado, conforme pode ser observado na Figura 5.8, houve uma relação linear entre a espessura inicial da junta e a leitura inicial (L_i) obtida no ensaio GTec teste. A dispersão observada pode ser considerada aceitável (Desvio padrão= 0,14mm), expressa na relativamente pequena amplitude dos intervalos de confiança para estimativa de valores médios e individuais apresentados nesta mesma Figura, obtidos para um nível de significância de 0,05. Deve ser lembrado que os valores obtidos no ensaio de referência realizado, assentando-se blocos apenas com o seu peso próprio, sofrem também influência dos procedimentos experimentais.

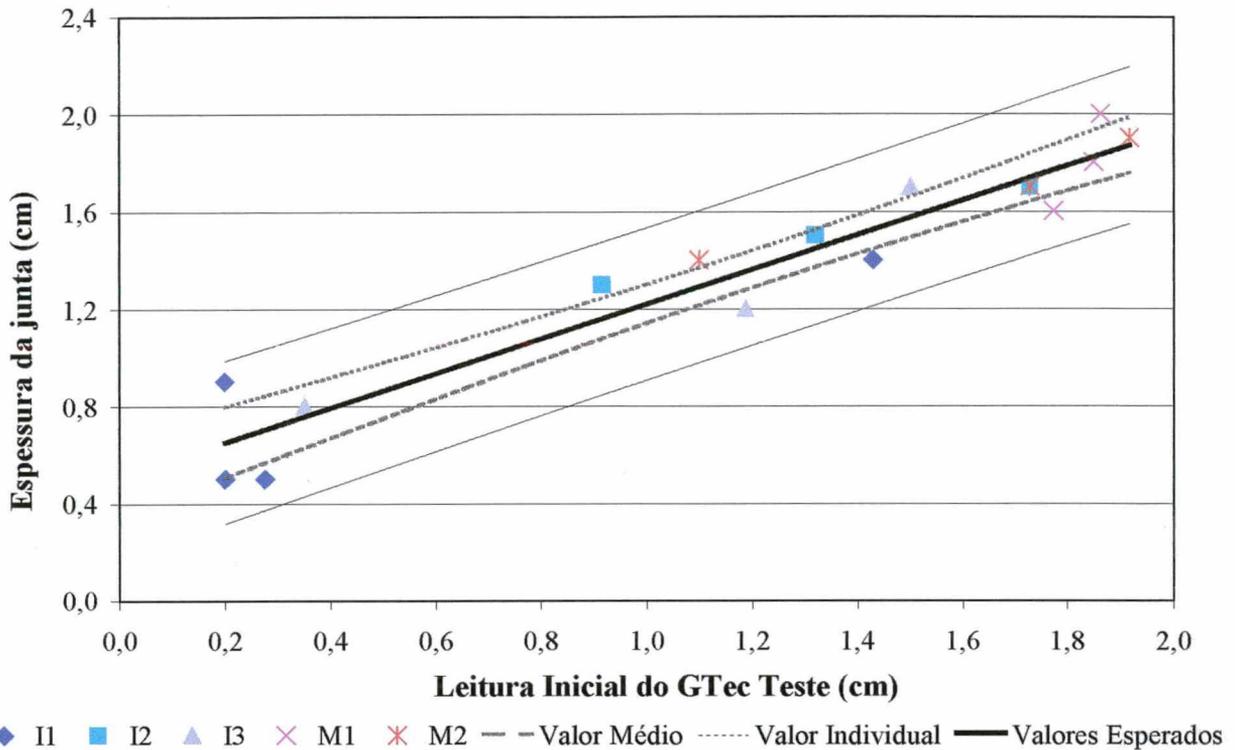


FIGURA 5.8 – Espessura da junta (cm) x Leitura inicial do GTec Teste (cm)

Cabe também frisar que, no caso de espessuras iniciais de junta muito pequenas, inferiores a 0,5cm, o equipamento perde a precisão de medida. No entanto, espessuras de junta desta magnitude não interessam para o assentamento de alvenaria estrutural já que a junta final deve ser de 1cm. Assim, pode-se dizer, a partir do comportamento observado, que o teste proposto apresentou-se como uma boa alternativa para a avaliação da consistência das argamassas de assentamento.

O gráfico da Figura 5.9 apresenta a variação da quantidade de golpes necessários para obtenção da junta de 1 cm com o GTec Teste com a leitura inicial (L_i), consistência da argamassa, do mesmo ensaio.

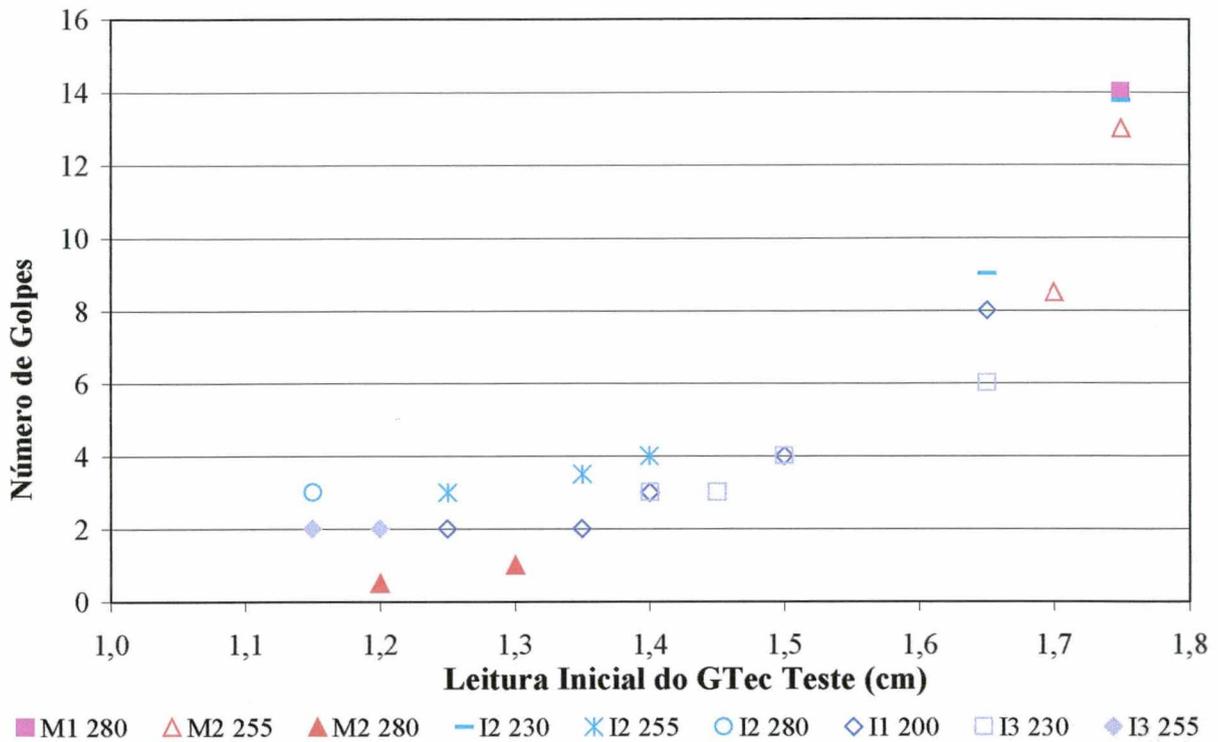


FIGURA 5.9 – Número de golpes x Leitura inicial do GTec Teste (cm)

No gráfico da Figura 5.9 cabe ressaltar que não foram incluídos os pontos referentes a leituras iniciais superiores a 1,80cm por estarem muito próximos da deformação inicial nula, onde o equipamento não possui sensibilidade para distinguir diferentes consistências. Através desta figura, observa-se que, para leituras iniciais inferiores a 1,5cm, a energia necessária para a finalização da junta é muito baixa e praticamente constante, independentemente do tipo de argamassa e da consistência inicial (Li). Por outro lado, para leituras iniciais superiores a este valor e inferiores a 1,8 cm parece que o número de golpes aumenta à medida que a leitura inicial é maior. Levando-se em consideração as duas tendências verificadas neste gráfico, acredita-se que haja uma espessura inicial ótima para o ensaio GTec teste e, conseqüentemente para a espessura inicial de uma junta de argamassa em obra, onde a energia necessária para a obtenção de uma junta com espessura padronizada (10mm) não é tão pequena e nem excessiva, evitando que pequenos descuidos no assentamento em situações reais acarrete em juntas de menos de 1cm ou que seja necessário um esforço muito grande para que a junta atinja esta espessura. Parece que esta leitura inicial, para filetes de altura média de 2cm, está entre 1,5 e 1,7cm. Infelizmente, nenhum dos ensaios realizados com as argamassas neste programa experimental apresentaram pontos nesta região para confirmar esta suposição.

Na Figura 5.10 apresenta-se um gráfico da quantidade de golpes versus a relação água/materiais

secos (H) para a obtenção do filete de 1cm medido pelo GTec Teste.

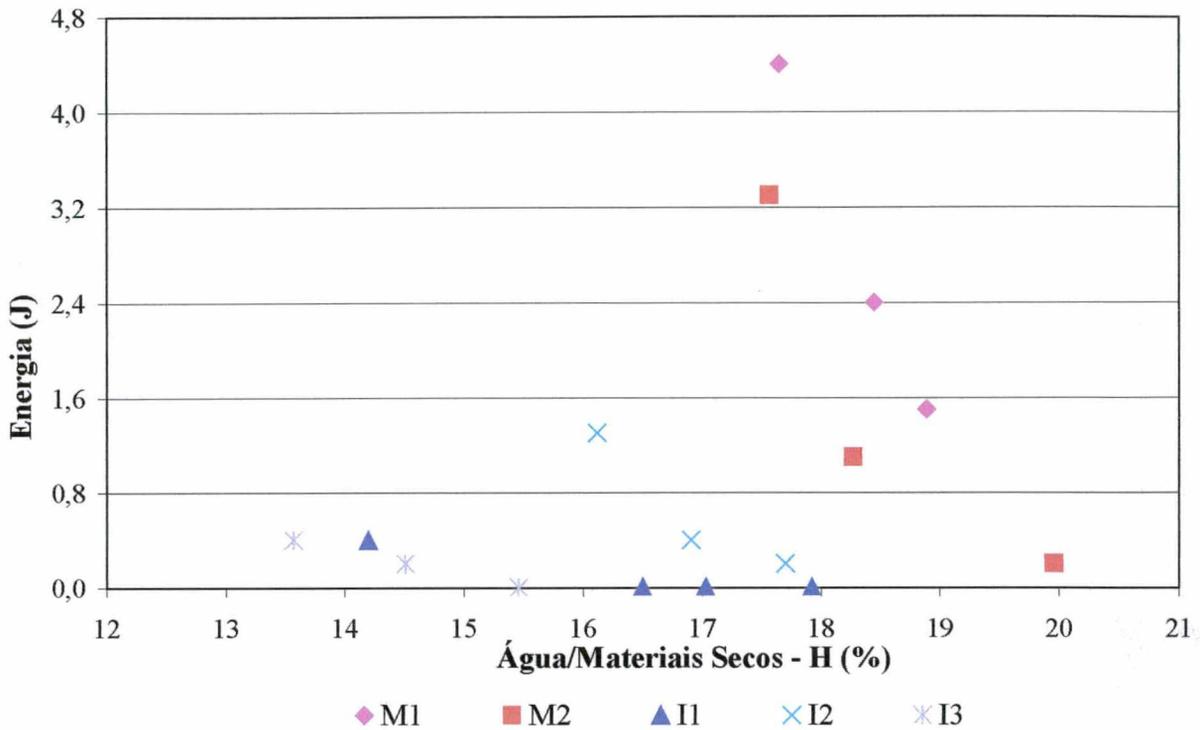


FIGURA 5.10 – Energia (J) x Água/Materiais Secos –H (%)

Constata-se nesta figura que, para o caso das argamassas industrializadas, os valores de H são bem menores que os necessários para as argamassas mistas. Além disso, percebe-se que, para uma mesma argamassa, a energia para deformação do filete até 1cm aumenta à medida que a umidade da mistura é menor e que este comportamento independe da leitura inicial do GTec Teste. Isto pode ser também observado na Figura 5.11, onde algumas argamassas com a mesma leitura inicial apresentaram curvas espessura do filete versus energia distintas. Um exemplo é o caso das argamassas M1 com *flow table* de 280mm e M2 com *flow table* de 255mm que apresentaram leitura inicial de 1,80cm e 1,70cm respectivamente, com curvas de deformação distintas. Isto indica que, apesar de as leituras iniciais serem praticamente iguais, há diferença de trabalhabilidade (plasticidade: $IP=-5,33\text{mm/J}$ e $IP=-7,27\text{mm/J}$ respectivamente) entre as argamassas.

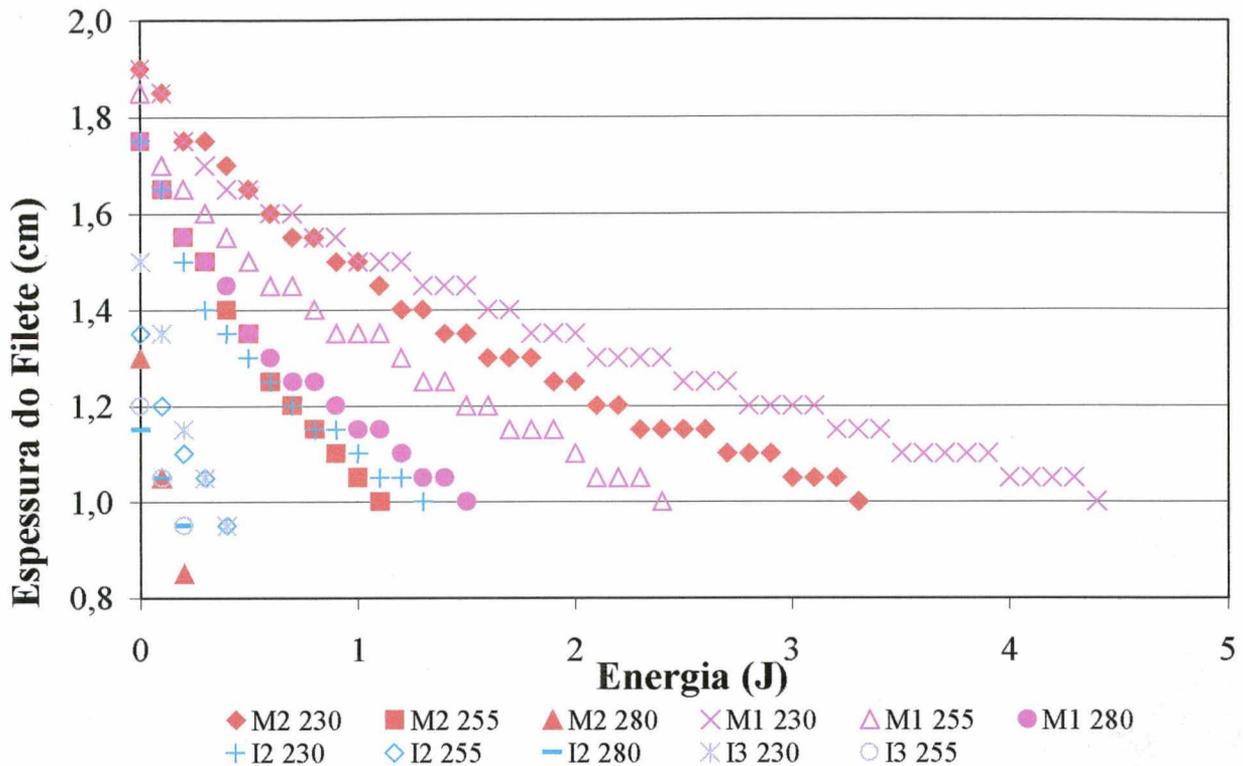


FIGURA 5.11 – Espessura do filete (cm) x Energia (J)

Também, pode-se confirmar, pela Figura 5.11, que, para leituras iniciais muito baixas (menores que 1,5cm) as curvas de espessura do filete versus energia são muito parecidas e que, portanto, não se consegue notar diferença entre as argamassas para esta faixa de leitura inicial.

Através do índice de plasticidade, apresentados na Tabela 5.5, podemos analisar objetivamente, de uma forma numérica, as curvas apresentadas na Figura 5.11. Quanto maior o índice de plasticidade, em módulo, mais deformável é a argamassa, sendo esta mais plástica, como o caso da argamassa M2 255 (IP= -7,27 mm/J). E quanto menor o índice de plasticidade, em módulo, maior será a energia necessária para se deformar sendo a argamassa menos plástica como por exemplo a argamassa M1 230 (IP= -2,58 mm/J). Resumindo: quanto maior o índice de plasticidade, maior será a deformação da argamassa quando da aplicação de 1J de energia.

O índice de plasticidade pode ser um indicativo da plasticidade sendo necessário obtê-lo para a avaliação da trabalhabilidade argamassa. Este índice pode ser indispensável principalmente, para distinguir analiticamente argamassas de mesma consistência.

Cabe ressaltar que, para algumas argamassas, não foram calculados os índices de plasticidade, pois estas apresentavam leitura inicial (L_i) menor que o valor estipulado para o cálculo que é de

1,60cm.

A avaliação da trabalhabilidade das argamassas de assentamento para blocos de concreto através do GTec Teste mostrou que o ensaio é simples e eficiente para a determinação desta propriedade. Consegue avaliar simultaneamente a consistência, através da medida Li, coesão, pela determinação da altura da junta onde ocorre o seccionamento da rebarba da argamassa, e plasticidade, através da energia necessária para deformar a argamassa até que se consiga uma junta de 1cm. Neste estudo específico, as propriedades mais enfatizadas foram a consistência e a plasticidade, pois todas as argamassas testadas apresentaram coesão adequada. Quanto à plasticidade, verificou-se que esta propriedade é fundamental quando se trabalha com argamassas mais consistentes, necessárias quando são empregados filetes de argamassa pouco espessos que facilitam o posterior grauteamento dos vazados dos blocos, além de proporcionar economia no caso de alvenaria não-grauteada. Cabe frisar que a plasticidade pode ser observada pelo gráfico de espessura do filete versus energia ou pelo índice de plasticidade (calculado por meio do gráfico).

Também, com o estudo, foi ratificada a suspeita de que o ensaio de consistência preconizado pela NBR 7215 (1996) não é adequado para definir a consistência ideal de uma argamassa de assentamento e só deveria ser empregado quando é fixado um determinado tipo de argamassa para uso. Conseqüentemente, o valor $230\pm 10\text{mm}$ recomendado pela NBR 8798 (1985) não é aplicável para todos os tipos de argamassa de assentamento como foi demonstrado no presente estudo.

5.2 AVALIAÇÃO EM CAMPO

Neste item são apresentados e discutidos os dados obtidos em obras da região da grande Florianópolis. Na Tabela 5.6, apresenta-se o tipo de argamassa, traço utilizado, procedimento de mistura, o tipo de misturador e o tempo de mistura para as 3 obras visitadas.

TABELA 5.6 – Propriedades medidas em obra

	Obra 1	Obra 2	Obra 3
Tipo de Argamassa	Argamassa Industrializada	Argamassa Semi-Pronta (mistura de areia + cal)	Argamassa dosada em obra
Número de Pavimentos	4	4	13
Traço utilizado	Não Fornecido	1:5 (cimento:areia+cal) em volume	1:0,7:4 em volume
Água	Recomendada pelo fabricante	Até a trabalhabilidade desejada	Até a trabalhabilidade desejada
Tipo de misturador	Betoneira de eixo inclinado	Betoneira de eixo inclinado	Betoneira de eixo inclinado
Tempo de mistura	Sem controle (≈ 6 minutos)	Aproximadamente 9 minutos	Sem controle

É bom ressaltar que a argamassa industrializada utilizada na Obra 1, segundo o fabricante, não possuía, na sua formulação, aditivos como incorporador de ar e plastificante. A argamassa utilizada contém cimento, areia e cal sendo esta dosada para obter resistência à compressão de 6MPa e ensacada em fábrica, de modo que em obra era apenas adicionada água para a sua utilização.

Nas Obras 1 e 2 eram utilizados blocos de concreto de resistência característica de 6MPa. Já na Obra 3 empregava-se blocos de concreto com resistência característica de 12MPa conforme especificado pelo calculista para os primeiros pavimentos e a visita foi durante a execução do assentamento de blocos do segundo pavimento em alvenaria estrutural. Também, pode-se observar na Tabela 5.6 que o traço da argamassa para esta obra é mais rico se comparado com a argamassa utilizada na Obra 2 e, conseqüentemente, apresentava com maior resistência à compressão.

Todas as obras utilizavam betoneiras de eixo inclinado e nenhuma controlava o tempo de mistura das argamassas como observado na Tabela 5.6. Isto provavelmente não causaria influência nas propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido, como a trabalhabilidade e a resistência à compressão, pois nenhuma das argamassas continha aditivos (incorporadores de ar ou plastificante). O operário encarregado de preparar a argamassa misturava até obter a homogeneidade e a trabalhabilidade desejada. Por sua vez, a trabalhabilidade era obtida pela adição de água a gosto do operário responsável pelo misturador (Obra 2 e 3).

Na Tabela 5.7 mostra-se: o tipo de ferramenta utilizada para o assentamento, a altura do filete

médio verificado, a trabalhabilidade pelo GTec Teste e a opinião do assentador da argamassa utilizada para cada uma das obras estudadas. Além disso, nesta Tabela, são apresentados os valores médios da determinação da consistência pela leitura inicial (Li), o número de golpes necessários para obtenção de uma espessura do filete de 1cm e o índice de plasticidade obtido pelo GTec Teste.

TABELA 5.7 – Tipo de ferramenta para o assentamento, altura do filete, trabalhabilidade (GTec Teste) e opinião do assentador sobre a argamassa utilizada nas 3 obras estudadas

Obra	Assentador	Tipo de Ferramenta	Altura do Filete (cm)	Trabalhabilidade GTec Teste			Opinião do assentador
				Li (cm)	Golpes	IP ⁺ (mm/J)	
1	Assentador 1	Meia Desempenadeira	2,84	1,95	9	-	Boa
				2,40 ⁺⁺	22	-	Seca
				2,3 ⁺⁺	14	-	Boa
2	Assentador 2	Desempenadeira	1,71	1,75	5	-16,67	Boa
				2,45 ⁺⁺	7	-	Boa
			2,06	1,70*	6	-13,33	Boa
			1,80	1,9**	10	-8,89	Boa/Seca
				1,65**	4	-26,67	Mole
3	Assentador 3	Colher de Pedreiro	2,64	1,55	2	-35,00	Boa/Mole
	Assentador 4	Meia Desempenadeira	1,77	1,80	6	-15,00	Boa
				1,80***	8	-10,00	Boa

+ - IP – Índice de Plasticidade

++ - GTec Teste realizado com altura do filete com 3 cm

* e ** - Medidas realizadas em dias diferentes

*** - Argamassa de outra masseira utilizada pelo mesmo assentador

Ficou evidente que a altura do filete é influenciada pelo tipo de ferramenta utilizada e pelo assentador de blocos de concreto. Por exemplo, para a mesma argamassa na obra 3, o assentador 3 estava utilizando uma argamassa mais mole e assentando com uma colher de pedreiro. Verificou-se que para o assentamento dos blocos de concreto este assentador precisava de um filete de argamassa com uma altura maior do que aquele que utilizava uma argamassa adequada para o uso como o assentador 4. A altura do filete empregada pelo assentador 3 era aproximadamente 50% maior em relação a altura do filete utilizada pelo assentador 4 com outra ferramenta para o assentamento, uma meia desempenadeira, pois a argamassa desse assentador estava dosada adequadamente para assentamento de bloco de concreto.

O maior índice de plasticidade encontrado, em módulo, foi de 35cm/J, para argamassa do assentador 3 sendo esta argamassa mais deformável, ou seja, mais plástica do que as demais

argamassas como pode ser observado na Figura 5.12. Além disso, o assentador 3 avaliou esta argamassa como boa/mole. A argamassa que apresentou o menor índice, em módulo, de 8,89 cm/J, como pode ser também observado na Figura 5.12, foi a argamassa do assentador 2 que apresentou-se mais seca, menos deformável e menos plástica do que as demais argamassas sendo que a avaliação do assentador para esta argamassa foi de seca/boa.

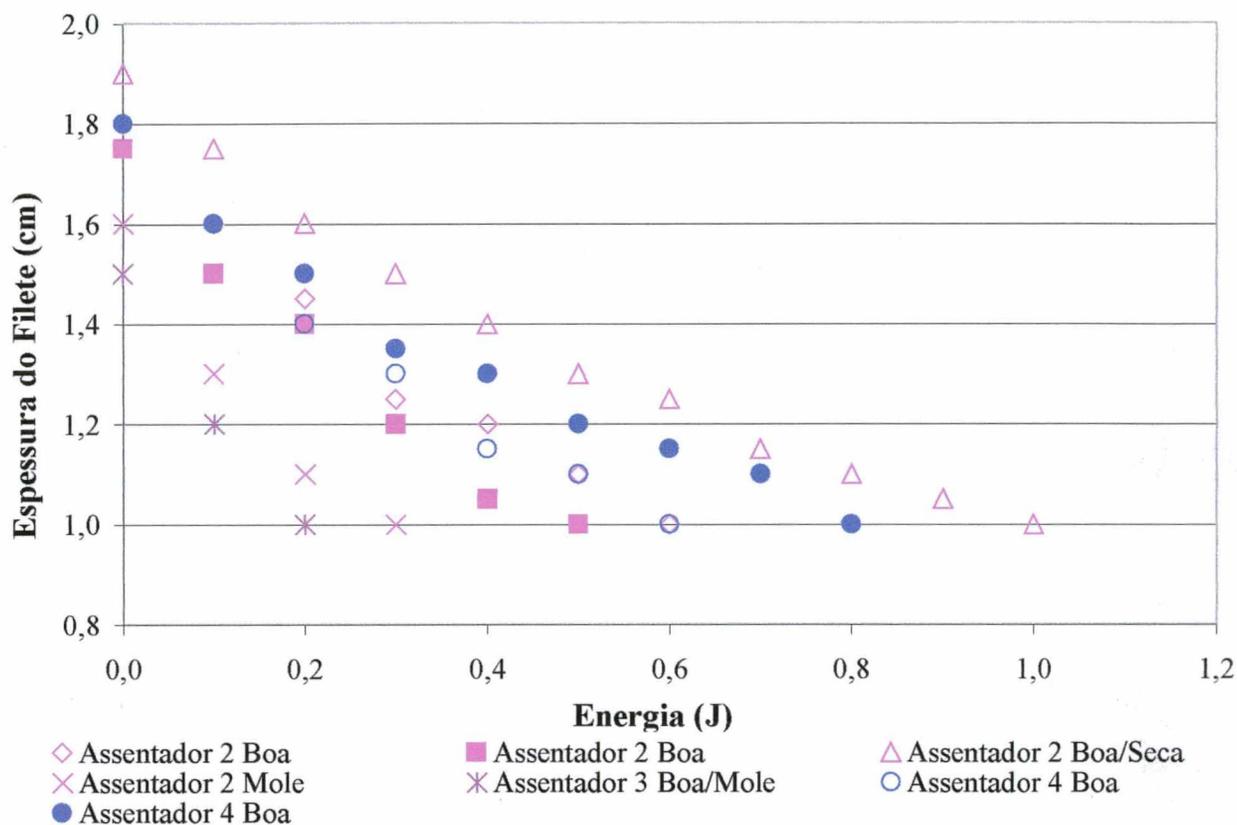


FIGURA 5.12 – Espessura do filete versus Energia das argamassas utilizadas em obra

A argamassa analisada na Obra 1 não foi representada na Figura 5.12 pois, na época da visita em obra, o procedimento do GTec Teste ainda estava em fase de aprimoramento. Então, para esta argamassa, não foi registrada a espessura do filete conforme a energia aplicada.

Na Figura 5.12 e na Tabela 5.7 pode ser observado que as argamassas que apresentaram trabalhabilidade adequada para obra estão com leitura iniciais (L_i) entre 1,70 e 1,90cm com número de golpes entre 6 e 12. Para as argamassas avaliadas em obra e consideradas com boa trabalhabilidade, o índice de plasticidade está entre 10 a 18 mm/J, em módulo.

5.3 AVALIAÇÃO EM LABORATÓRIO

5.3.1 Estudo Preliminar do Tempo de Mistura

Primeiramente são apresentados os resultados encontrados no estudo para a definição da argamassa industrializada utilizada na avaliação em laboratório. Neste estudo, descrito no item 4.2, avaliou-se a influência do tempo de mistura no teor de ar incorporado e na resistência à compressão para argamassas industrializadas.

Para a argamassa mista, o tempo de mistura de 20 segundos estabelecido não foi o suficiente para homogeneizar a mistura e como nos tempos de 3 e 4 minutos já houve repetição dos resultados no estado fresco, não foi produzida a argamassa mista com tempo de mistura igual a 5 minutos.

Na Tabela 5.8 são apresentados os valores de índice de consistência *flow table*, massa específica, teor de ar incorporado e resistência à compressão axial de cada uma das argamassas produzidas no misturador mecânico 1 com seus respectivos tempos de mistura.

Com relação ao tempo de repouso de 10 minutos antes do uso da argamassa industrializada 3 recomendado pelo fabricante, não foi notada influência nas propriedades medidas, como pode ser verificado na Tabela 5.8.

TABELA 5.8 - *Flow table*, massa específica, teor de ar incorporado e resistência à compressão - misturador mecânico 1

Argamassa	Tempo de mistura	<i>Flow table</i> (mm)	Massa específica (g/cm ³)	CV (%)	Teor de ar incorporado (%)	Resistência à compressão (MPa)	CV (%)
Industrializada 1	20s	219,0	1,86	0,34	16,33	4,56	1,95
	1min	227,0	1,65	0,15	25,85	2,72	1,32
	2min	236,7	1,54	0,68	30,52	2,03	5,71
	3min	247,7	1,48	0,21	33,48	1,72	9,53
	4min	243,2	1,38	0,66	37,81	1,29	6,43
	5min	238,1	1,30	1,28	41,37	1,03	5,00
Industrializada 2	20s	235,0	1,92	1,15	13,93	3,42	3,90
	1min	235,1	1,83	0,33	17,70	3,12	4,16
	2min	230,0	1,82	2,43	18,32	2,98	0,73
	3min	246,8	1,80	1,08	19,37	2,82	4,69
	4min	246,3	1,76	0,17	20,93	2,80	4,55
	5min	245,0	1,70	0,41	23,78	2,40	5,56
Industrializada 3	20s	233,3	1,85	0,33	18,28	6,43	3,33
	1min	241,4	1,71	0,65	24,62	5,43	7,69
	2min	269,5	1,70	0,31	25,18	5,54	12,2
	3min	272,1	1,69	1,02	25,48	5,63	6,14
	4min	274,3	1,69	0,69	25,73	5,27	6,64
	4 min+10*	267,9	1,68	0,15	25,80	5,26	9,00
	5min	274,4	1,68	0,29	26,08	5,46	3,57
Mista	1min	239,5	2,10	0,97	3,10	7,42	2,21
	2min	234,0	2,13	1,48	1,61	8,39	4,94
	3min	230,5	2,11	0,27	2,52	7,61	7,17
	4min	240,7	2,11	0,24	2,52	7,89	5,43

(*) 10 minutos de repouso antes de iniciar os ensaio conforme recomendado pelo fabricante

A Figura 5.13 mostra o comportamento das argamassas estudadas quanto à resistência à compressão e o teor de ar incorporado em relação aos tempos de mistura analisados para o misturador mecânico 1.

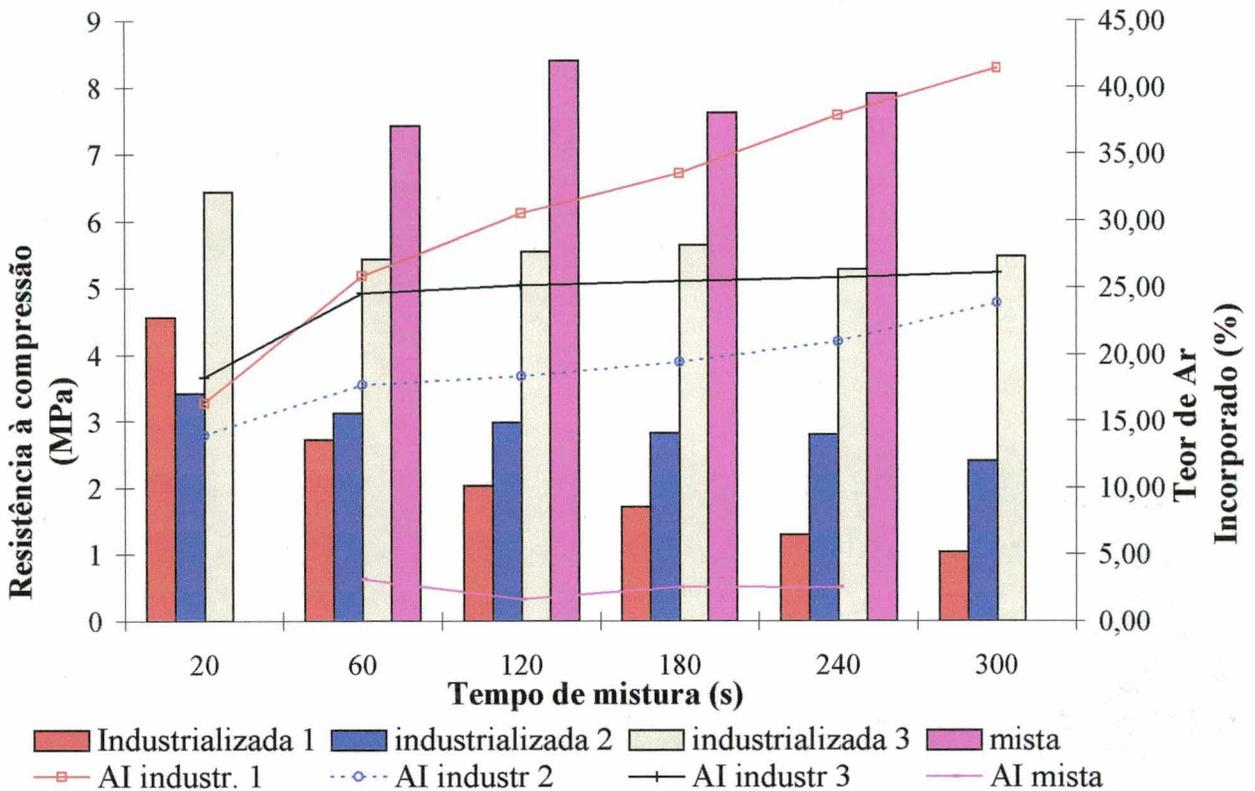


FIGURA 5.13 - Resistência à compressão (colunas) e teor de ar incorporado (linhas) x tempo de mistura (misturador mecânico 1)

Analisando-se a Figura 5.13, percebe-se que o aumento do tempo de mistura leva a um aumento no teor de ar incorporado e uma conseqüente diminuição da resistência à compressão para as argamassas industrializadas, como já comentado anteriormente.

Observando os valores encontrados, apresentados na Tabela 5.8 e na Figura 5.13, a argamassa industrializada 1 foi aquela que apresentou maior variação do teor de ar incorporado conforme o aumento do tempo de mistura. Para a argamassa industrializada 1, houve um aumento de 153,28% no teor de ar incorporado quando o tempo de mistura passou de 20 segundos para 5 minutos enquanto para as argamassas industrializadas 2 e 3, para a mesma variação do tempo de mistura, o aumento foi de 70% e 42,67% respectivamente. Como conseqüência, obteve-se as menores resistências à compressão para a argamassa industrializada 1, já que a resistência à compressão é inversamente proporcional a quantidade de vazios presente (METHA e MONTEIRO, 1994).

Então, o pior caso observado foi o da argamassa industrializada 1 (Tabela 5.8 e Figura 5.13), onde a resistência atingiu 1,29 MPa, para o tempo de mistura de 4 minutos, ficando bem abaixo

dos valores de resistência normalmente empregados para argamassas de assentamento de alvenaria estrutural. Esta argamassa apresentou redução de cerca de 71% na resistência à compressão quando o tempo de mistura passou de 20 segundos para 4 minutos enquanto que, para o mesmo incremento de tempo de mistura, as argamassas industrializadas 2 e 3 reduziram cerca de 18%.

A argamassa industrializada 3 praticamente não apresentou variação significativa do teor de ar incorporado após o tempo de mistura de 1 minuto, mantendo-se quase constante para os demais tempos. O mesmo comportamento observou-se para a resistência à compressão. Então, para esta argamassa industrializada, o tempo de mistura não influenciou nas propriedades estudadas.

A argamassa mista não apresentou variação significativa no teor de vazios e na resistência à compressão, com a variação do tempo de mistura.

O índice de consistência (*flow table*) não variou significativamente com a variação do tempo de mistura e do teor de ar incorporado. Com exceção da argamassa industrializada I3 onde se observou uma variação do índice de consistência do tempo de mistura de 20 segundos e 1 minuto (*flow table* =235±5mm) para os tempos restantes (*flow table*=270±5mm).

Na Tabela 5.9 são apresentados os valores de índice de consistência (*flow table*), massa específica, teor de vazios e resistência à compressão axial de cada uma das argamassas produzidas no misturador mecânico 2 para a argamassa industrializada 1, visto que esta apresentou maior variação do teor de ar incorporado no misturador 1.

TABELA 5.9 - Propriedades da argamassa industrializada 1 quando produzida como o misturador mecânico 2

Argamassa	Tempo de mistura (min)	<i>Flow table</i> (mm)	Massa específica (g/cm ³)	CV (%)	Teor de Ar Incorporado (%)	Resistência à compressão (MPa)	CV (%)
Industrializada 1	1,5	223,2	1,89	4,19	15,16	4,55	1,90
	3	265,5	1,75	0,35	21,53	4,10	2,81
	6	267,1	1,63	0,46	26,86	2,97	2,18
	9	264,5	1,55	0,21	30,45	2,45	6,76
	12	278,3	1,49	0,10	33,16	2,02	7,14
	15	259,3	1,46	0,02	34,66	1,66	5,66
	20	264,1	1,40	1,44	37,21	1,40	12,4

Na Figura 5.14 é apresentada uma análise comparativa da argamassa industrializada 1, empregando-se os misturadores 1 e 2.

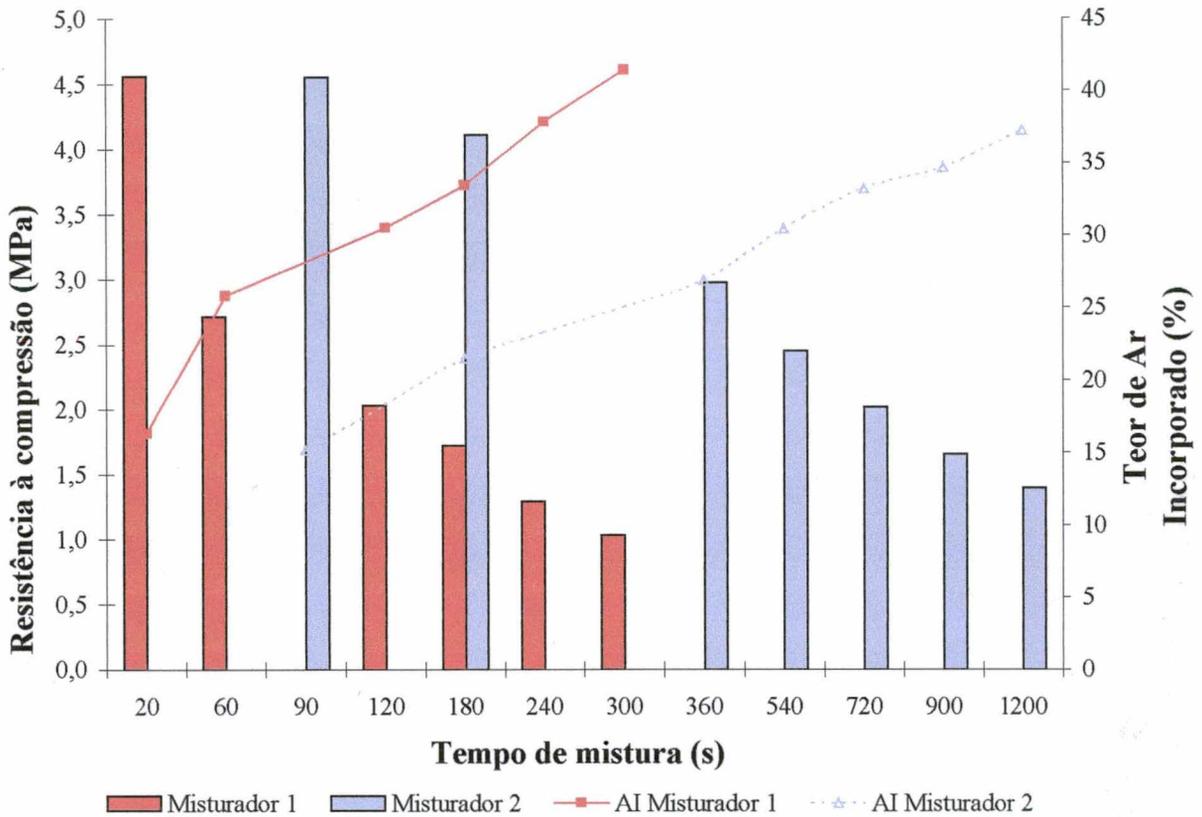


FIGURA 5.14 – Resistência à compressão (colunas) e teor de ar incorporado (linhas) x tempo de mistura (argamassa industrializada 1- misturador mecânico 2)

Na Figura 5.14, pode-se observar a nítida influência do tipo de misturador na incorporação de ar e resistência a compressão da argamassa testada. Embora os tempos de mistura para os misturadores mecânicos 1 e 2 tenham sido diferentes, pode-se perceber que tanto o aumento do teor de ar incorporado como a queda na resistência à compressão não foram tão acentuados para o misturador mecânico 2. Todavia, os valores de resistência obtidos com o misturador mecânico 2 ainda encontram-se abaixo dos valores comumente utilizados quando tempos de mistura elevados são empregados (acima de 10 minutos).

O estudo da influência do tempo de mistura no teor de ar incorporado e na resistência à compressão mostrou que argamassas de tipos diferentes (industrializadas ou mista) apresentam comportamentos diferentes com relação a estas propriedades.

Pode-se concluir que argamassas mistas praticamente não sofrem influência do tempo de mistura sobre o teor de ar incorporado e a resistência à compressão, o que não ocorre com certos tipos de argamassas industrializadas. Além disso, pode-se dizer, também, que a massa específica da argamassa no estado fresco é um bom parâmetro para o controle indireto de sua resistência à

compressão, podendo ser facilmente determinado em obra.

Para que as argamassas industrializadas possam ser empregadas com maior segurança pelos construtores, poderia ser recomendação dos fabricantes de argamassa, além da quantidade de água necessária para a mistura, o tempo de mistura máximo adequado para cada tipo de misturador.

Como a argamassa industrializada 1 apresentou maior influência do tempo de mistura nas propriedades estudadas, esta foi escolhida para a análise das propriedades do estado fresco e endurecido, variando-se o teor de ar incorporado com o já descrito no programa experimental.

5.3.2 Propriedades do Estado Fresco

Os ensaios das argamassas no estado fresco tiveram como objetivo determinar a consistência (*flow table*), a massa específica, o teor de ar incorporado, a retenção de água, a trabalhabilidade pelo Gtec Teste e a deformabilidade da junta fresca. Além disso, as propriedades do estado fresco serão analisadas posteriormente, juntamente com os resultados obtidos no estado endurecido como, por exemplo, a resistência e o módulo de elasticidade das argamassas, que foram avaliados pelo comportamento em prismas.

Na Tabela 5.10 apresenta as propriedades do estado fresco para todas as argamassas analisadas, descritas no programa experimental no item 4.3.3.

TABELA 5.10 – Propriedades do estado fresco das argamassas analisadas em laboratório

Argamassa	Flow table (mm)	Massa específica (g/cm ³)	Teor de ar incorporado (%)	Retenção de água (%)	GTec Teste			
					Li (cm)	N	IP (mm/J)	Coesão
Fm	242,4	1,85	10,63	41,57	1,75	17	-5,00	Sim
Mm	260,3	1,90	9,40	39,87	1,85	19	-4,44	Sim
Gm	249,7	1,93	9,47	53,93	1,90	32	-2,76	Sim
Fi	291,6	1,89	6,97	48,66	1,75	11	-6,67	Sim
Mi	250,6	1,92	7,93	52,89	1,90	24	-3,48	Sim
Gi	250,5	1,95	8,16	53,65	1,95	25	-3,18	Sim
Fg	275,1	1,91	6,30	56,53	1,80	15	-5,33	Sim
Mg	250,1	1,94	7,15	57,16	1,75	13	-6,15	Sim
Gg	247,7	1,98	8,78	52,63	1,85	29	-2,59	Sim
I1	205,4	1,91	15,22	79,59	1,85	36	-2,64	Sim
I2	219,0	1,85	17,61	71,81	1,70	9	-10,00	Sim
I3	247,4	1,79	20,53	77,67	1,55	6	-11,67	Sim

N – número de golpes

IP – Índice de plasticidade

Observando-se a Tabela 5.10, pode-se notar que existe uma variação do valor do índice de consistência (*flow table*) variando o tipo e a argamassa estudada para a obtenção de uma argamassa trabalhável pela opinião do assentador. Este índice de consistência (*flow table*) variou de aproximadamente 205 a 290 mm confirmando a afirmação de que o índice de consistência de 230 ± 10 mm, estipulado pela NBR 8798 (1985), nem sempre produz argamassas com trabalhabilidade adequada e que são encontrados valores muito distintos para cada tipo de argamassa (como já comentado no item 3.2.1.1).

Cabe ressaltar que, para as argamassas industrializadas, o objetivo era estudar a influência do teor de ar incorporado nas demais propriedades. Então, para esta argamassa, não foi fixada a trabalhabilidade adequada para assentar blocos de concreto e sim o teor de ar incorporado. A argamassa industrializada I2, segundo o assentador, estava boa para o assentamento. Por isso, o teor de ar incorporado desta argamassa foi tomado como valor intermediário. Adotou-se um teor de ar incorporado mais baixo, industrializada I1, que proporcionou uma argamassa muito seca para o assentamento e um o teor de ar incorporado mais alto, industrializada I3, no qual a argamassa estava muito mole. Neste último caso, o filete de argamassa utilizado para o assentamento era superior aos usados para as outras argamassas pois, caso contrário, não se conseguiria atingir uma junta final de 1cm.

Analisando a massa específica no estado fresco das argamassas mistas, observa-se um pequeno

aumento conforme aumenta o módulo de finura da areia. Para o mesmo traço, mudando o módulo de finura da areia (por exemplo, de areia fina para areia grossa) houve aumento da massa específica. Já a variação do teor de ar incorporado não segue a mesma tendência sendo distinta para cada argamassa. A massa específica das argamassas industrializadas é inversamente proporcional ao teor de ar incorporado. Quando a massa específica diminuiu, pelo aumento do tempo de mistura, o teor de ar incorporado aumentou. Os teores de ar incorporado para as argamassas mistas, observados na Tabela 5.10, foram semelhantes aos obtidos nos estudos feitos anteriormente com o traço em volume de 1:1:5 (cimento, cal e areia) cujos resultados se encontram na Tabela 5.4 (argamassa mista 1) e na Tabela 5.8 (argamassa mista).

Na Figura 5.15 pode ser observada a espessura do filete conforme a aplicação da energia para a obtenção da junta de 1cm para as argamassas estudadas. Esta figura permite analisar a plasticidade destas argamassas, que influenciam na sua trabalhabilidade.

Dentro das faixas de variação estudadas, a trabalhabilidade das argamassas mistas foi influenciada principalmente pela granulometria do agregado utilizado sendo pouco influenciada pelo aumento do teor de cal. Para argamassas com areia grossa (Gm, Gi e Gg) foram encontrados valores da leitura inicial (Li) e de número de golpes (N) maiores do que para as demais argamassas com o mesmo traço e granulometrias diferentes (Figuras 5.15b, c e d). O índice de plasticidade para as argamassas produzidas com areia grossa, em todos os casos, foi menor, em módulo, do que os das argamassas mistas com areia fina e média do mesmo traço (Tabela 5.10). A mesma tendência foi verificada quando analisadas as argamassas mistas com areia média que apresentaram índices de plasticidade menores do que para as argamassas de mesmo traço com areia fina (Figura 5.15b, c e d), com exceção no traço mais rico em cal, tendo a argamassa Mg (areia média) obtido um índice maior do que a argamassa Fg com areia fina. Isto pode ser observado na Figura 5.15d e na Tabela 5.10. Cabe salientar que, no momento da realização do ensaio, a influência da granulometria da areia era muito mais acentuada e visualmente identificada do que a da quantidade de cal da argamassa.

Já para as argamassas industrializadas, a trabalhabilidade foi influenciada pelo teor de ar incorporado. Com o aumento do teor de ar incorporado diminuíram a leitura inicial e o número de golpes e, conseqüentemente, aumentou o índice de plasticidade, em módulo (Figura 5.15 e).

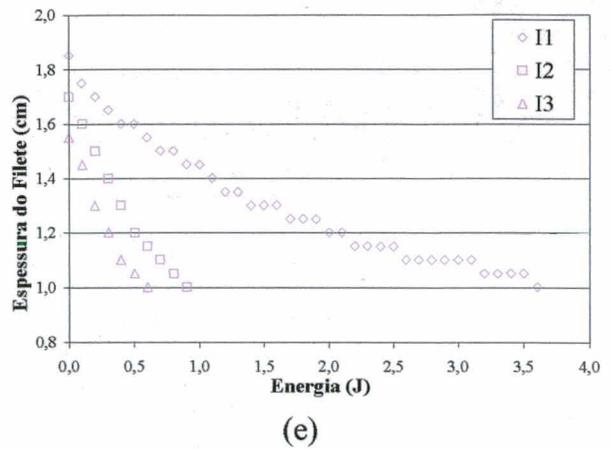
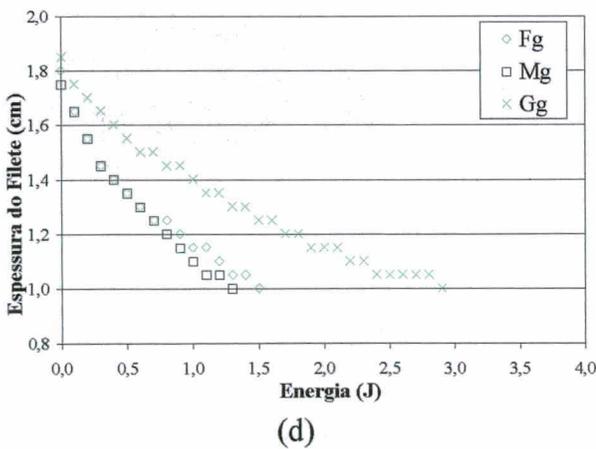
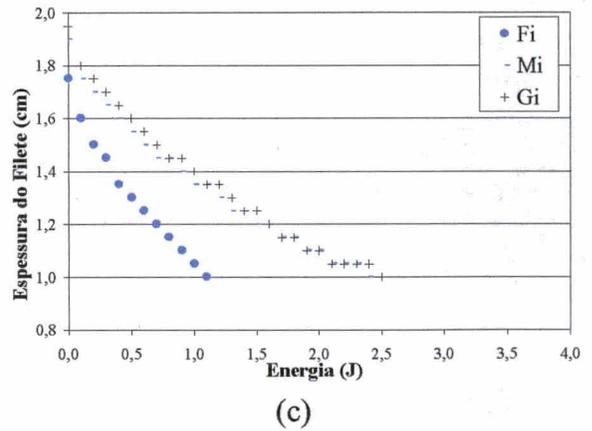
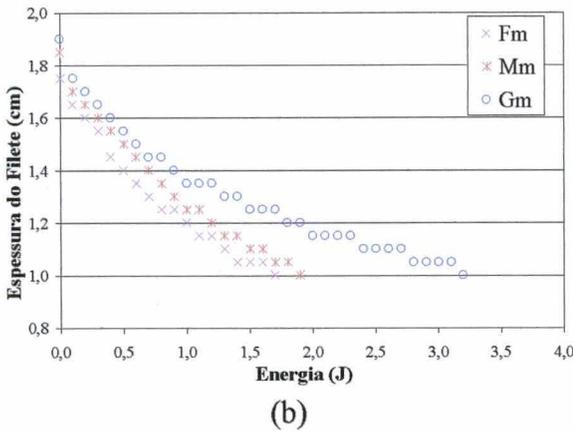
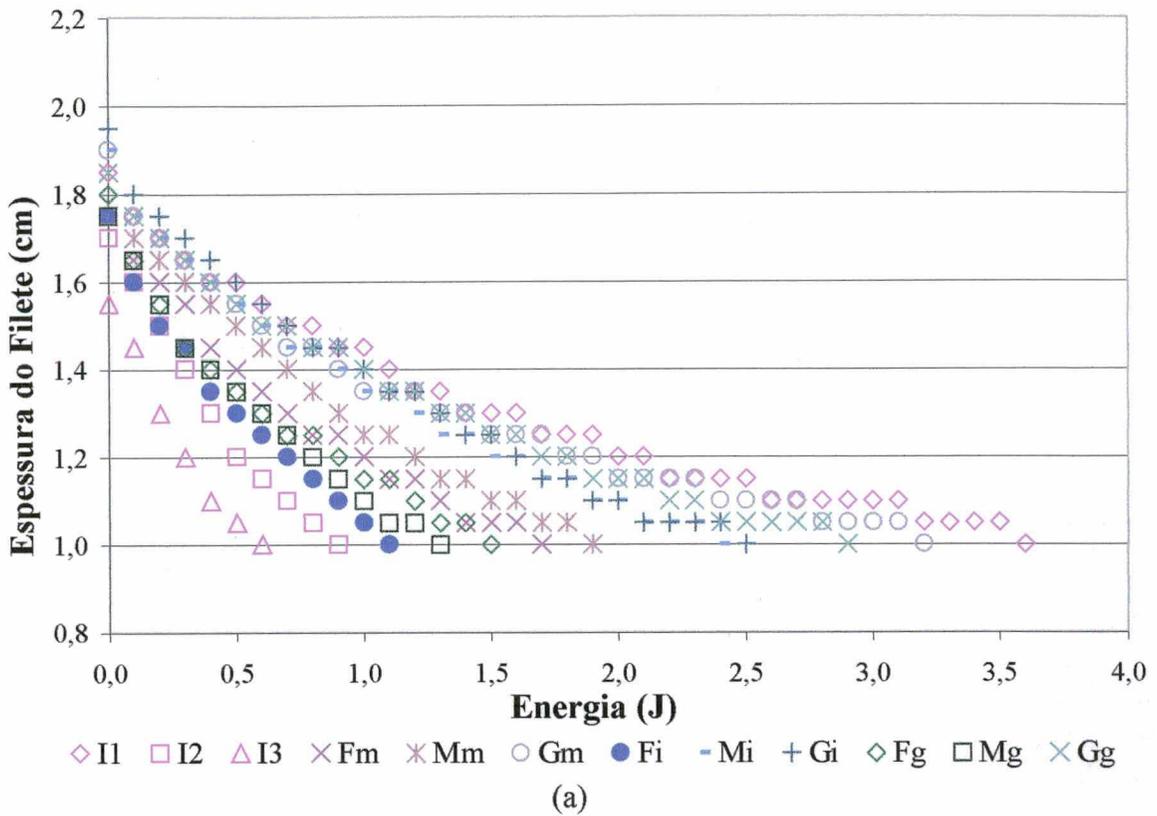


FIGURA 5.15 – Espessura do filete (cm) x Energia (J) das argamassas estudadas: (a) geral, (b) traço magro, (c) traço médio, (d) traço gordo e (e) argamassa industrializada

Os valores da trabalhabilidade das argamassas, medidos pelo GTec Teste, encontrados em obra, comentados no item 5.2, foram semelhantes aos obtidos no estudo de laboratório, para o caso da argamassa industrializada I2. Já para as argamassas mistas, a leitura inicial (consistência) observada em obra esteve no intervalo de 1,70 a 1,90. Porém o número de golpes para as argamassas mistas em laboratório foi maior, de 13 a 32, enquanto em obra foi de 6 a 12 e o índice de plasticidade encontrado foi menor, em módulo (de 2,59 a 6,67mm/J, enquanto para a obra foi de 10 a 18mm/J). A diferença destes valores de plasticidade se deve, provavelmente, à diferença da quantidade de água adicionada em obra e em laboratório. Em obra, como a argamassa normalmente demora de 1 a 2 horas para o seu consumo total, é adicionada mais água para obter-se a trabalhabilidade adequada, evitando ter-se que redosar a quantidade de água durante o consumo de argamassa. Como em laboratório, logo após a produção da argamassa eram assentados os prismas, esta argamassa possuía uma quantidade de água menor do que a observada em obra, gerando-se assim a diferença na plasticidade das argamassas mistas usadas em laboratório em relação às argamassas ensaiadas em obra (sendo esta mais plástica).

Os valores de retenção de água encontrados para as argamassas industrializadas foram maiores do que aqueles obtidos para as argamassas mistas (Tabela 5.8). Isto se deve, provavelmente, à presença de aditivos incorporadores de ar e plastificantes na composição desta argamassa. Com relação às argamassas mistas observou-se uma diferença significativa da retenção de água com a variação da quantidade de cal para as argamassas com areia fina e areia média. Argamassas com areia grossa o efeito da quantidade de cal na retenção de água não foi verificada.

A diferença da retenção de água das argamassas industrializadas para as argamassas mistas foi verificada também após o assentamento dos blocos de concreto. Para as argamassas mistas, a altura de capilaridade da água nos blocos, em todos os casos foi, em média, de 1,2cm após 1 hora de assentamento. Já para as argamassas industrializadas, essa altura de capilaridade foi, em média, de 0,4cm após 1 hora de assentamento.

Os valores obtidos no ensaio de deformabilidade da junta fresca são apresentados na Tabela 5.11. Os valores estão em porcentagem considerando-se a espessura inicial média da junta como referencial.

TABELA 5.11 – Porcentagem da espessura da junta em relação à espessura inicial para as argamassas estudadas, determinadas à medida que se assentavam novas fiadas

Argamassa	Espessura média da junta/Espessura inicial (%)				
	Blocos assentados				
	1*	2	3	4	5
Fm	100,00	99,25	97,75	97,75	97,75
Mm	100,00	98,75	97,00	96,50	95,75
Gm	100,00	98,50	96,75	96,50	95,25
Fi	100,00	98,50	98,00	97,50	97,50
Mi	100,00	96,00	95,25	95,00	95,00
Gi	100,00	98,25	97,75	95,75	95,50
Fg	100,00	98,00	96,25	94,75	94,25
Mg	100,00	94,25	92,25	91,00	91,00
Gg	100,00	96,75	95,75	95,75	95,00
I1	100,00	94,00	93,25	92,50	92,50
I2	100,00	98,00	96,83	96,33	96,33
I3	100,00	97,25	96,50	94,25	94,00

* Bloco 1 se refere a 2 fiada do prisma assentado

A deformabilidade da junta fresca pode ser observada nas Figuras 5.16 e 5.17. Nestas figuras foram representadas a espessura da junta em relação à espessura da junta inicial conforme a variação da quantidade de blocos assentados.

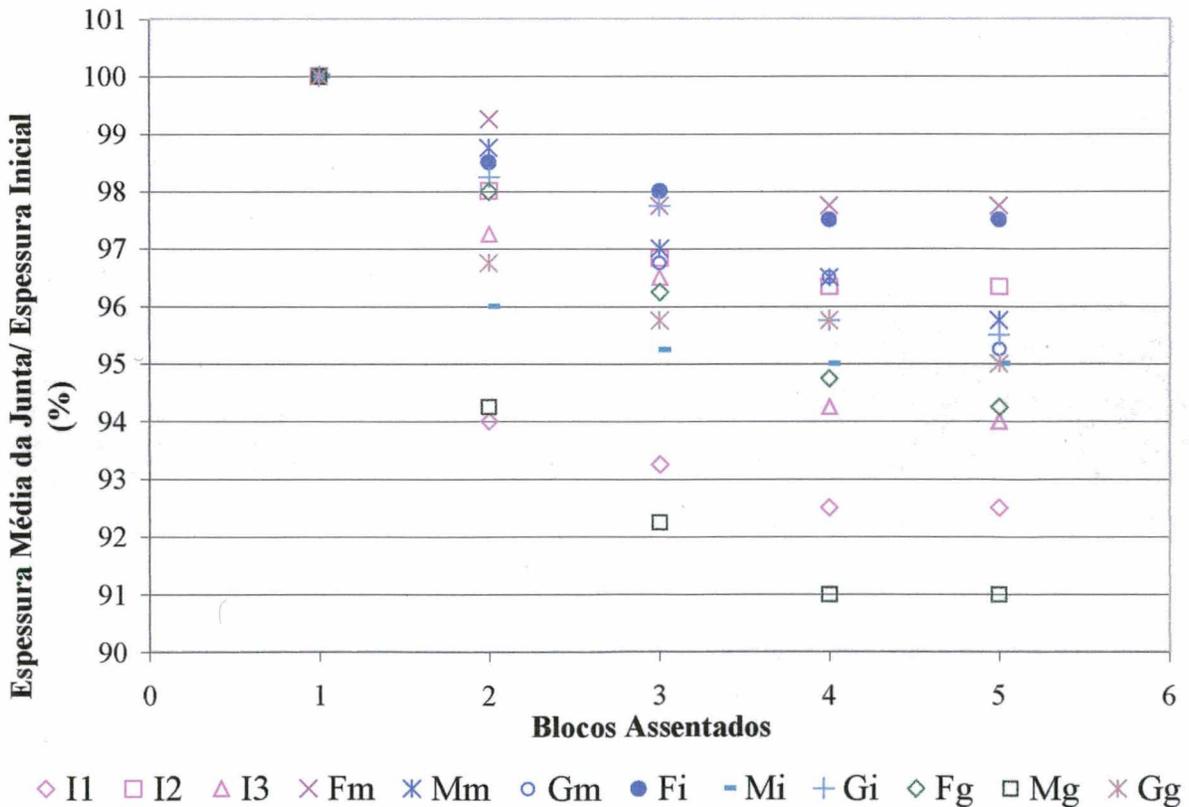


FIGURA 5.16 – Deformabilidade da junta fresca

Observando a Figura 5.16 e a Tabela 5.11 a argamassa mista Mg foi aquela que apresentou maior deformação da junta fresca. Pode-se notar também que, para as argamassas mistas, fixando-se a granulometria, quanto maior a quantidade de cal maior a deformabilidade da junta fresca. Nas Figuras 5.17 a, b e c esta influência pode ser observada com maior clareza. Já para a argamassa industrializada, aquela com menor teor de ar incorporado, I1, apresentou maior deformabilidade da junta fresca (Figura 5.17 d).

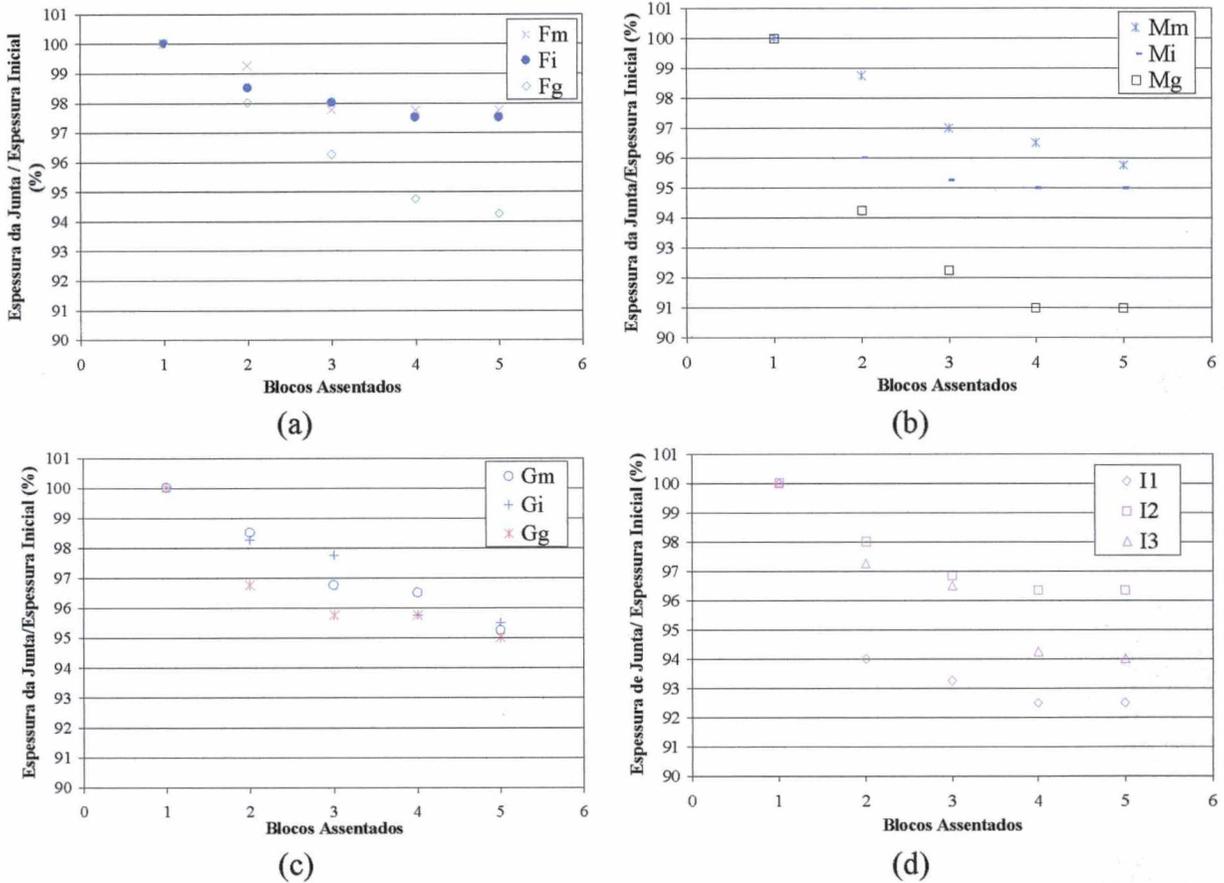


FIGURA 5.17 – Deformabilidade da junta fresca: (a) argamassas com areia fina, (b) argamassas com areia média, (c) argamassas mistas com areia grossa e (d) argamassas industrializadas

Deste ensaio pode-se concluir que seria bom aguardar pelo menos 15 minutos para assentar as fiadas superiores sem que houvesse uma redução significativa na espessura da junta como pode ser observado para as argamassas estudadas. Porém nenhuma argamassa estabilizou a deformação até o 5 bloco assentado, como havia sido verificado por Araújo (2001). Entretanto, deve ser lembrado que este autor não monitorou o tempo para o assentamento de cada fiada, como já comentado no item 3.3.3.

5.3.3 Propriedades do Estado Endurecido

O estudo das propriedades do estado endurecido teve como principal objetivo, além de conhecer o desempenho das argamassas de assentamento com relação a sua resistência à compressão e módulo de elasticidade, avaliar o comportamento mecânico da junta de argamassa e do conjunto bloco-argamassa.

A Tabela 5.12 apresenta os resultados obtidos de resistência à compressão das argamassas em corpos-de-prova cilíndricos 5x10 cm, dos blocos de concreto e dos prismas juntamente com o fator de eficiência, para cada argamassa estudada. Além disso, mostra os módulos de elasticidade da argamassa, prisma (conjunto bloco-argamassa) e da junta de argamassa de assentamento obtidos através do gráfico tensão versus deformação específica apresentados nas Figuras 5.19, 5.20, 5.21, 5.22, 5.23, 5.24, 5.25.

TABELA 5.12 – Propriedades do estado endurecido

Argamassa	Resistência à compressão (MPa)*			Fator de eficiência	Módulo de elasticidade (MPa)		
	Argamassa ⁺	Bloco	Prisma		Argamassa ⁺	Prisma**	Junta** ⁺⁺
Fm	4,70	7,10	5,61	0,79	3411,87	15154,12	3572,79
Mm	7,72	7,10	5,79	0,82	7460,81	10726,23	3968,50
Gm	8,46	7,10	5,70	0,80	8106,30	14264,80	3201,81
Fi	4,64	7,10	5,69	0,80	3733,82	15554,04	1252,58
Mi	5,56	7,10	6,13	0,86	5653,85	12914,07	11314,75
Gi	8,46	7,10	5,81	0,82	6672,69	15079,82	1508,05
Fg	5,54	7,10	5,17	0,73	5572,02	7694,42	3222,50
Mg	6,42	7,10	5,95	0,84	6298,95	11382,19	1508,05
Gg	9,70	7,10	6,18	0,87	9300,12	13820,23	10914,25
I1	6,78	7,48	5,58	0,75	5984,58	23986,94	6820,33
I2	6,88	7,48	5,17	0,69	6089,38	18696,42	1479,23
I3	6,48	7,48	4,76	0,64	7396,51	10630,05	1721,99

* - valores médios; sendo que os valores individuais, desvios padrões e coeficiente de variação estão apresentados no anexo 5

** - Módulo de elasticidade em área líquida

⁺ - CP 5x10cm

⁺⁺ - Junta de argamassa de assentamento em prisma

Observando a Tabela 5.12, percebe-se que a resistência à compressão das argamassas em corpos-de-prova cilíndricos 5x10cm aumenta conforme aumenta o módulo de finura da areia para as argamassas mistas. Então, fixando o traço (a quantidade de cal), as argamassas com areia grossa

(Gm, Gi e Gg) têm resistência à compressão maior do que as com areia média (Mm, Mi e Mg) e essas, por sua vez, têm resistência à compressão maior do que com areia fina (Fm, Fi e Fg). Porém, quando se fixa a granulometria da areia, não se consegue visualizar uma relação entre a quantidade de cal e a resistência à compressão. Isto pode ser observado na Figura 5.18 onde se mostra a resistência à compressão da argamassa, do bloco e do prisma, assim como o fator de eficiência.

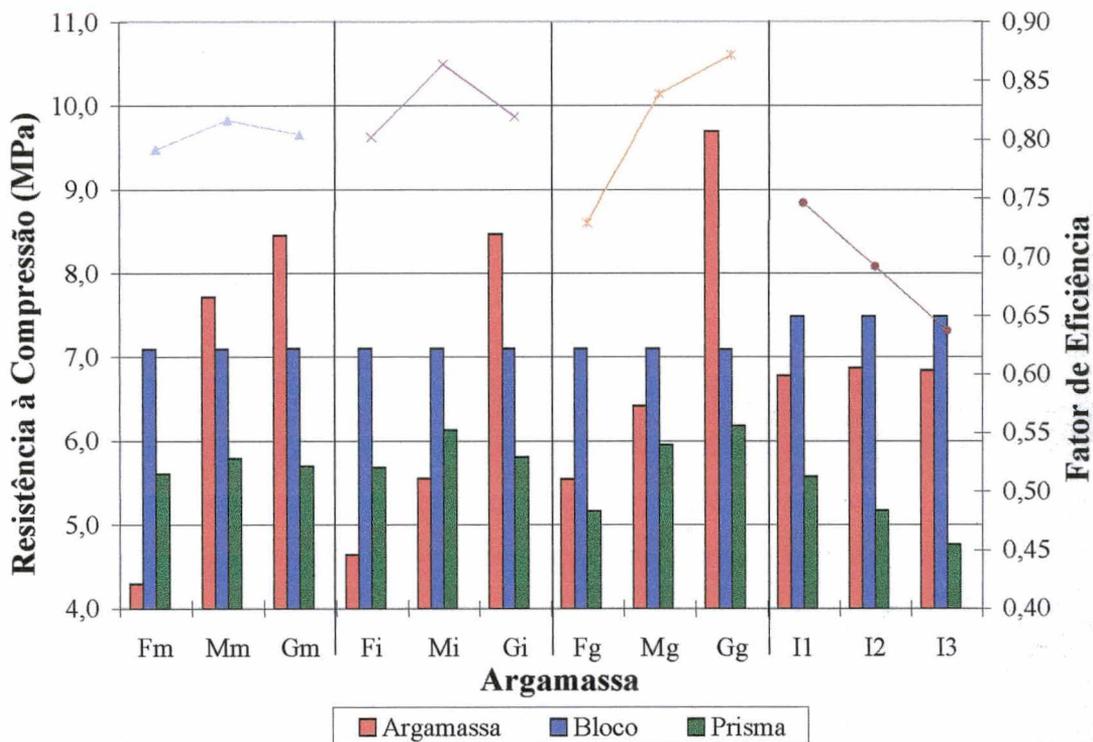


FIGURA 5.18 – Resistência à compressão (em colunas) das argamassas, blocos e prismas e o fator de eficiência (em linhas)

Nos ensaios de resistência à compressão da argamassa industrializada em corpos-de-prova cilíndricos de 5x10cm, surpreendentemente, não se observou uma alteração da resistência à compressão mesmo com a variação dos teores de ar incorporados, no estado fresco. Isto pode ter ocorrido por dois motivos. Primeiramente a metodologia empregada na determinação do teor de ar incorporado na Tabela 5.8 e 5.9 foi através da moldagem de corpos-de-prova com soquete (preconizado pela NBR 7215, 1996), pois se buscava correlacionar a resistência à compressão com o teor de ar efetivamente incorporado. Por questões de praticidade na execução dos ensaios na etapa 3 (Tabela 5.10), resolveu-se modificar o procedimento e determinar o teor de ar incorporado através do recomendado pela NBR 13278 (1995). Porém, para evitar-se possíveis discrepâncias entre os valores obtidos pelos diferentes métodos, realizou-se um teste preliminar com a argamassa industrializada 3 onde se verificou uma similaridade entre os resultados

obtidos. Além disso, a diferença máxima entre os teores de ar incorporado das argamassas industrializadas foi de apenas 5,31%. Esta pequena diferença foi em função da dificuldade de realizar o assentamento dos blocos com variações maiores desta propriedade. Cabe ressaltar que no estudo da influência do teor de ar incorporado na resistência à compressão a diferença entre os teores de ar incorporado foi de até 25,04% (Tabela 5.2).

Porém mesmo não existindo uma diferença na resistência à compressão das argamassas em corpos-de-prova cilíndricos, o comportamento dessas argamassas em prisma é bem diferenciado conforme aumenta o teor de ar incorporado. O fator de eficiência é inversamente proporcional ao teor de ar incorporado no estado fresco (Tabela 5.12 e Figura 5.18), mostrando a importância do ensaio em prisma para a avaliação das argamassas de assentamento principalmente quando se trabalha com argamassa industrializada para alvenaria estrutural para conhecer-se o real desempenho deste material na alvenaria.

Cabe ressaltar que os valores de fator de eficiência para argamassas industrializadas foram, em média, inferiores aos encontrados para argamassas mistas, sendo que o valor mais baixo encontrado (0,64) foi para o caso de argamassa industrializada com maior teor de ar incorporado no estado fresco (I3). No ensaio de resistência à compressão de prisma onde foi utilizada esta argamassa foi verificado, em todos os casos, a ruptura por esmagamento da junta de argamassa. Esse comportamento também foi verificado por Steil et al. (2001) para a mesma argamassa industrializada. Porém este autor encontrou valores do fator de eficiência de 0,77 utilizando esta argamassa com blocos de concreto da mesma fábrica com resistência característica de 6MPa.

Assim como Steil e Prudêncio Jr. (2002), que encontraram valores de fator de eficiência diferentes para argamassas com mesma resistência e módulos de elasticidade parecidos, pode-se observar neste estudo que as argamassas Mg e I3 têm resistências semelhantes, módulos de elasticidade da mesma ordem de grandeza porém fatores de eficiência distintos. A argamassa Mg obteve valores de fator de eficiência de 0,84 enquanto para a argamassa I3 só atingiu 0,64, o que corresponde uma diminuição de aproximadamente 24% no fator de eficiência.

Na Tabela 5.12 e na Figura 5.18 observa-se que os maiores valores de fator de eficiência foram obtidos com as argamassas mistas Mi (0,86) e Gg (0,87). Porém, a resistência à compressão dessas argamassas são distintas. A argamassa Mi tem resistência à compressão 43% menor do que a argamassa Gg. As argamassas mistas produzidas com areia média apresentaram os maiores valores de fator de eficiência para o mesmo traço, com exceção da argamassa Gg (Figura 5.18).

Com relação ao módulo de elasticidade das argamassas mistas, medidos em corpos-de-prova cilíndricos 5x10cm, observa-se que seu valor aumenta com o aumento do módulo de finura da areia. Os menores valores de módulo de elasticidade encontrados foram para argamassas mistas produzidas com areia fina.

Para todas as argamassas mistas, observou-se que o módulo de elasticidade foi proporcional à sua resistência à compressão. Os menores módulos de elasticidade obtidos foram para as argamassas Fm e Fi, que também apresentaram as menores resistências à compressão, enquanto que, para a argamassa Gg, que tem a maior resistência à compressão, verificou-se o maior módulo de elasticidade. Na Figura 5.19, apresenta-se o diagrama tensão versus deformação específica, a partir da qual foram obtidos os módulos de elasticidade para as argamassas mistas.

O módulo de elasticidade encontrado para a argamassa Mi tem a mesma ordem de grandeza do valor encontrado por Steil et al. (2001) utilizando o mesmo traço e granulometria da areia semelhante, sendo a resistência à compressão também similar.

Já para as argamassas industrializadas, não se observou nos resultados de módulo de elasticidade da argamassa uma influência do teor de ar incorporado no estado fresco, assim como na resistência à compressão. O diagrama tensão versus deformação específica das argamassas industrializadas está apresentado na Figura 5.20.

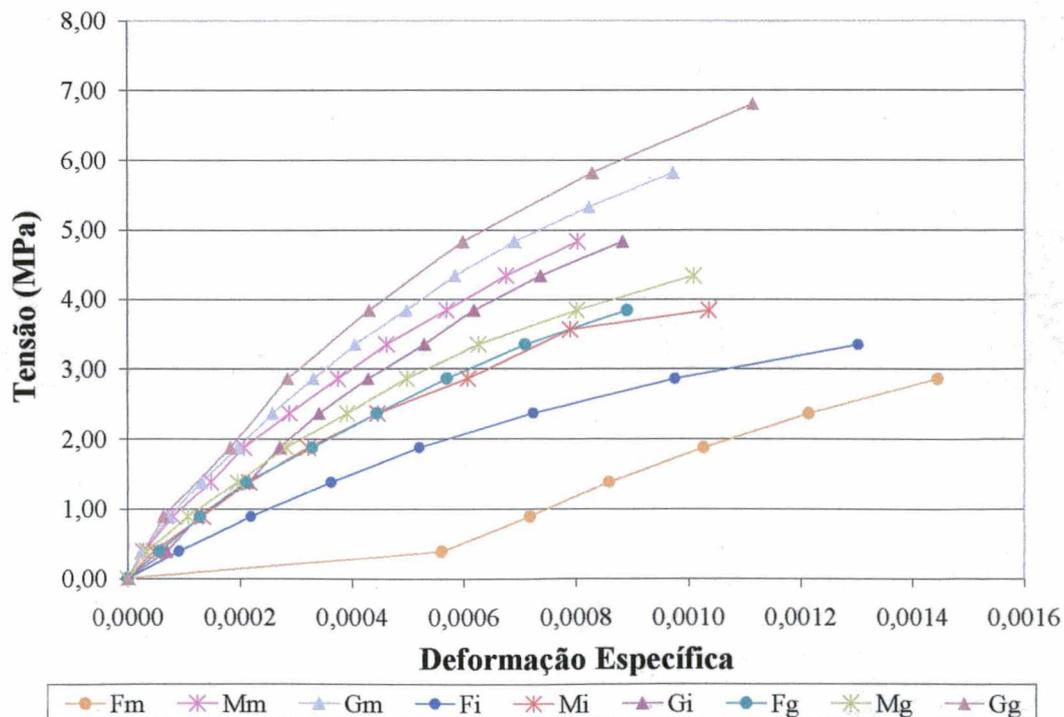


FIGURA 5.19 – Diagrama tensão x deformação específica das argamassas mistas

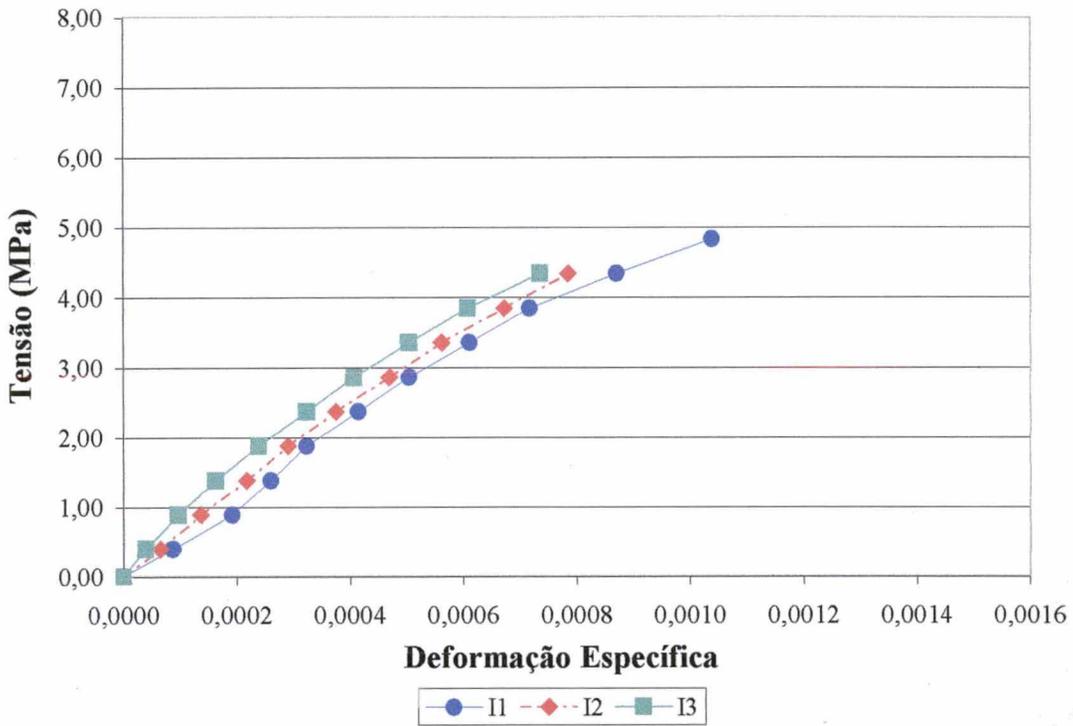


FIGURA 5.20 – Diagrama tensão x deformação das argamassas industrializadas

Os módulos de elasticidade obtidos para os prismas estão apresentados na Tabela 5.12 e as curvas tensão versus deformação específica estão representadas nas Figuras 5.21, 5.22, 5.23 e 5.24.

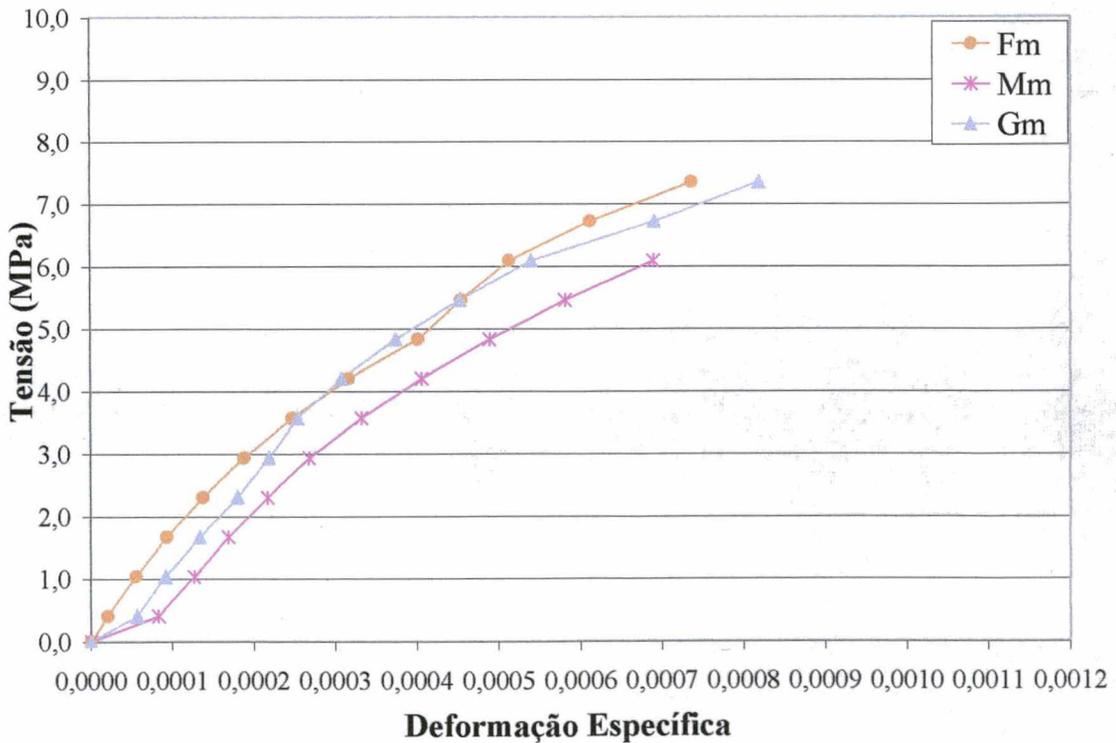


FIGURA 5.21 – Diagrama tensão x deformação específica dos prismas com argamassas mistas com traço 1:0,7:5 (em volume)

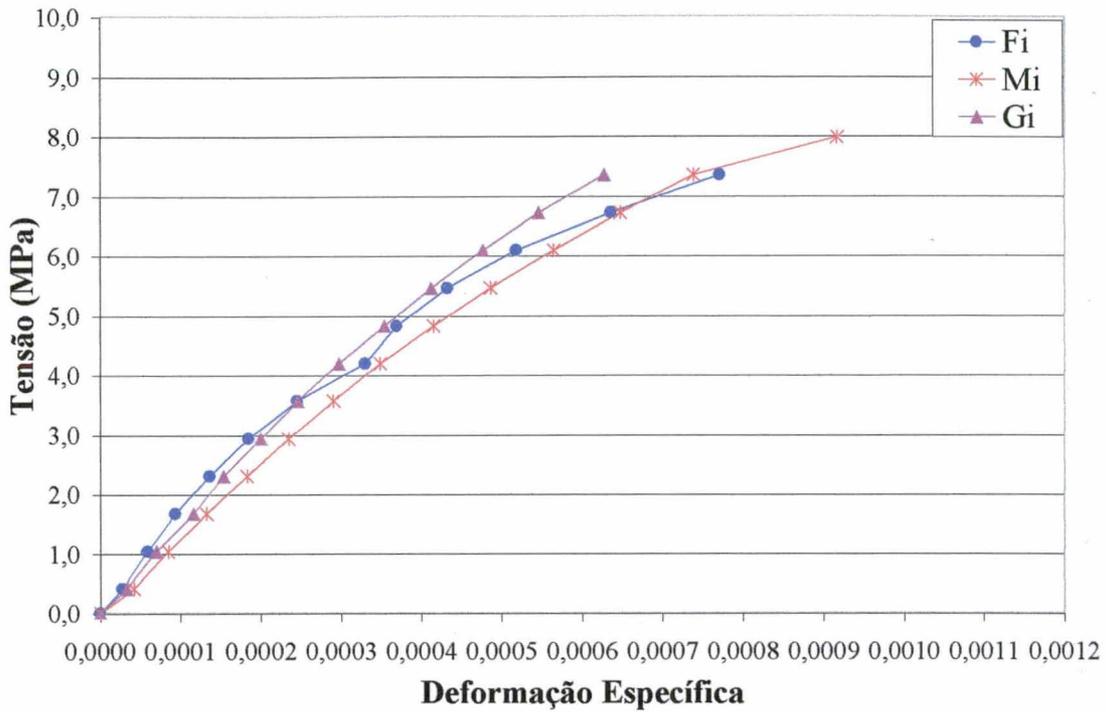


FIGURA 5.22 – Diagrama tensão x deformação específica dos prismas com argamassas mistas com traço 1:1:5 (em volume)

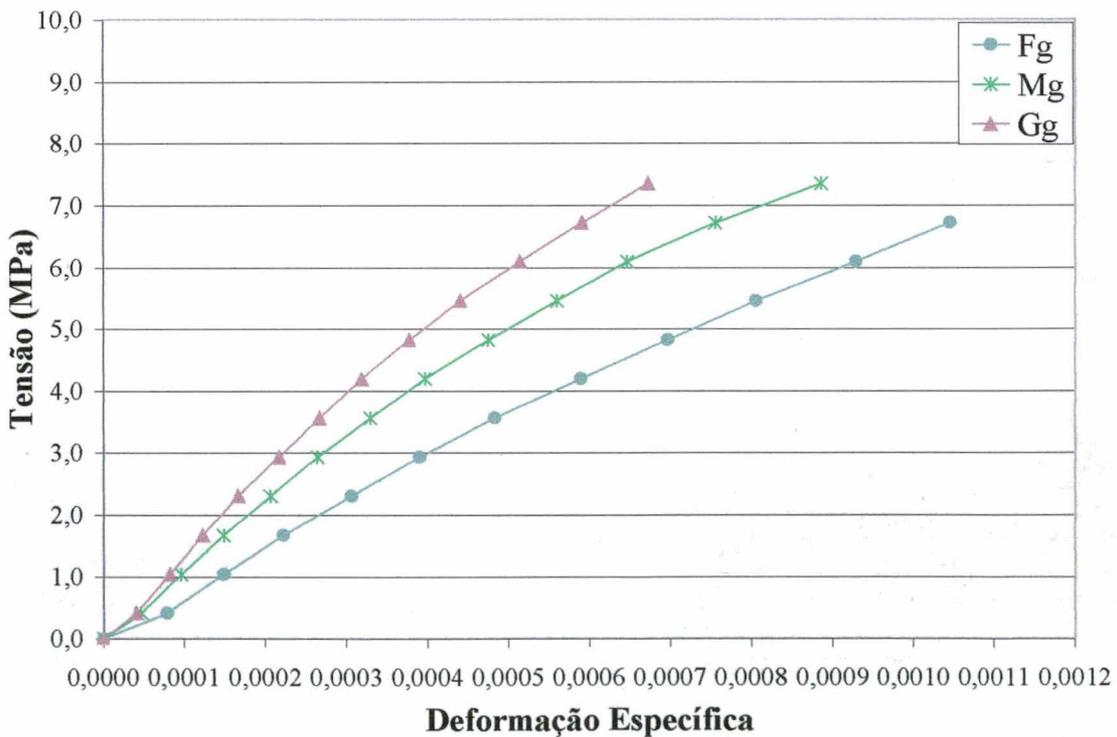


FIGURA 5.23 – Diagrama tensão x deformação específica dos prismas com argamassas mistas com traço 1:1,3:5 (em volume)

Para o módulo de elasticidade de prismas das argamassas mistas não foi verificada nenhuma tendência com relação à granulometria da areia e a quantidade de cal. O módulo de elasticidade

dos prismas moldados com argamassa mista Mi foi praticamente o mesmo verificado por Steil et al. (2001).

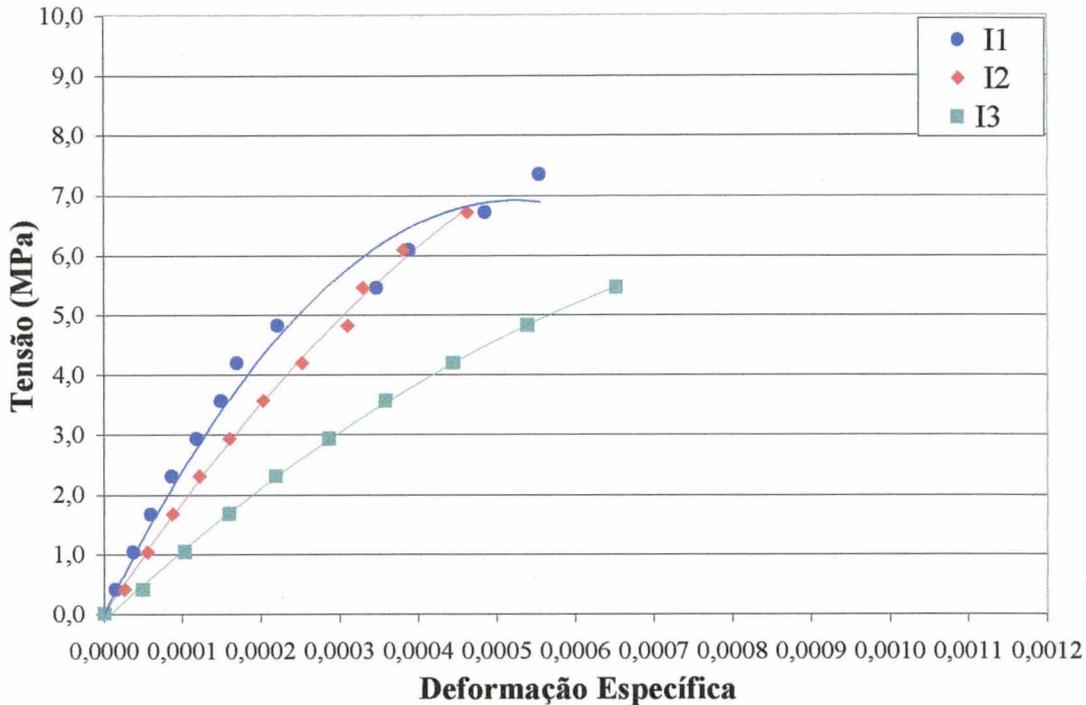


FIGURA 5.24 – Diagrama tensão x deformação específica dos prismas com argamassas industrializadas

O menor módulo de elasticidade, em média, foi o dos prismas com argamassa Fg. Estes prismas correspondem ao menor fator de eficiência obtido para argamassas mistas. Também, para argamassas industrializadas, o prisma que apresentou menor módulo de elasticidade, confeccionado com argamassa I3 (maior teor de ar incorporado no estado fresco), apresentou o menor fator de eficiência. Pode-se constatar que para as argamassas industrializadas, quanto menor o tempo de mistura da argamassa, menor o teor de ar incorporado no estado fresco, maior foi o módulo de elasticidade dos prismas com elas confeccionados.

A mudança nos módulos dos prismas para as argamassas industrializadas foi bem mais acentuada do que a verificada no módulo das argamassas, ratificando a provável influência da metodologia do ensaio normalizado para a estimativa da resistência e módulo de elasticidade da argamassa na junta para o caso de argamassa contendo ar incorporado.

Os módulos de elasticidade encontrados para as juntas de argamassas em prismas estão apresentados na Tabela 5.12 e os diagramas tensão x deformação específica, de onde foram obtidos esses módulos, estão apresentados nas Figuras 5.25, 5.26, 5.27 e 5.28.

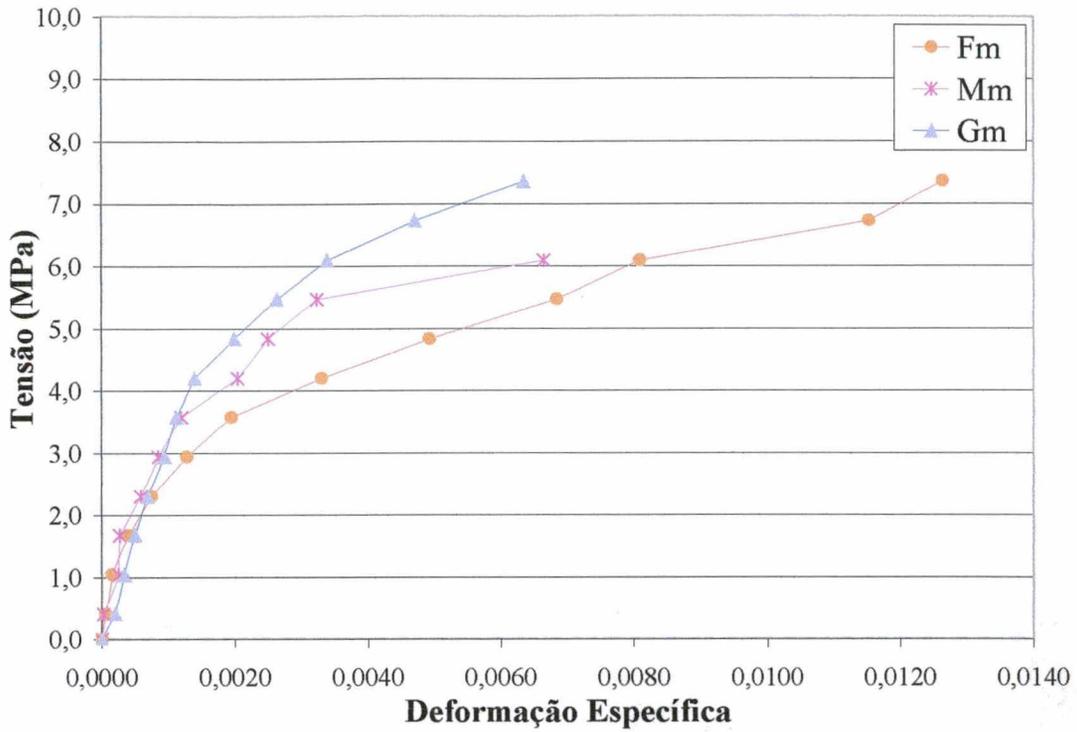


FIGURA 5.25 – Diagrama tensão x deformação para juntas de argamassas mistas com traço 1:0,7:5 (em volume)

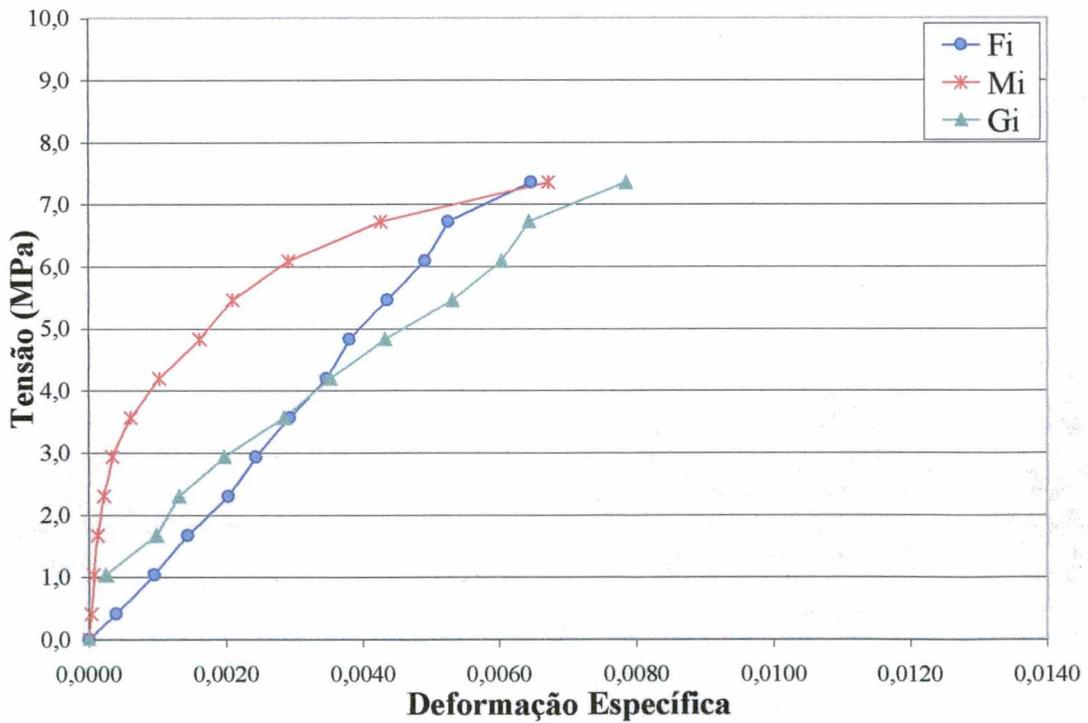


FIGURA 5.26 – Diagrama tensão x deformação para juntas de argamassas mistas com traço 1:1:5 (em volume)

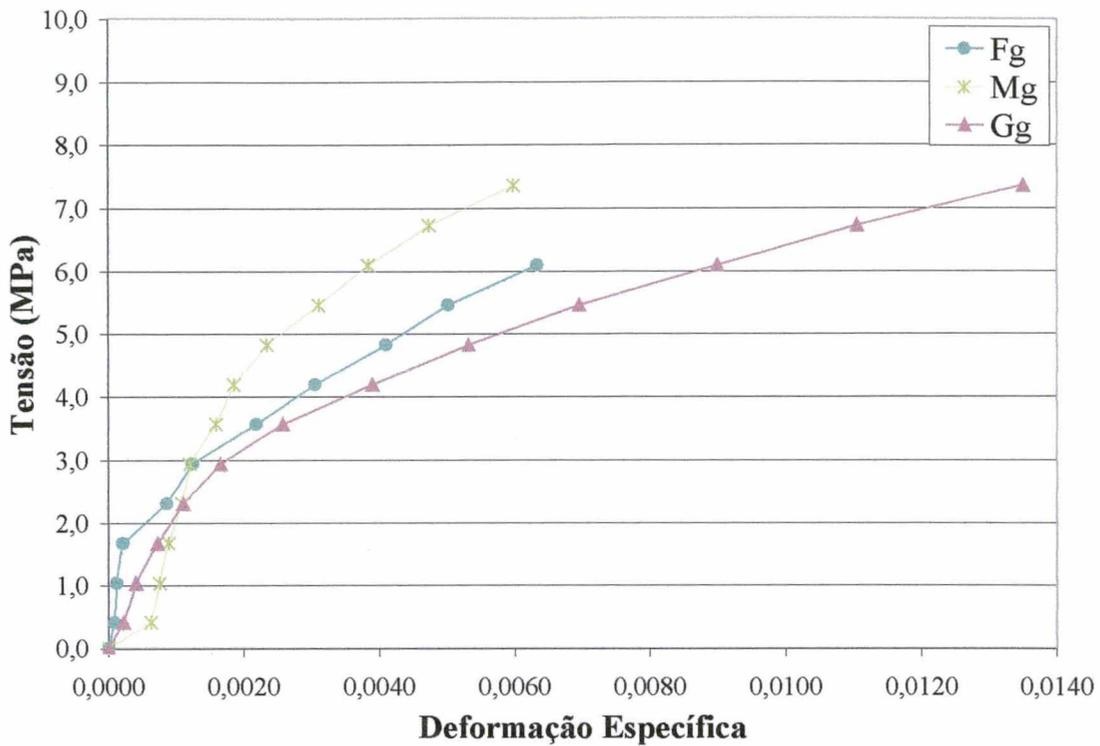


FIGURA 5.27 – Diagrama tensão deformação para juntas de argamassas mistas com traço 1:1,3:5 (em volume)

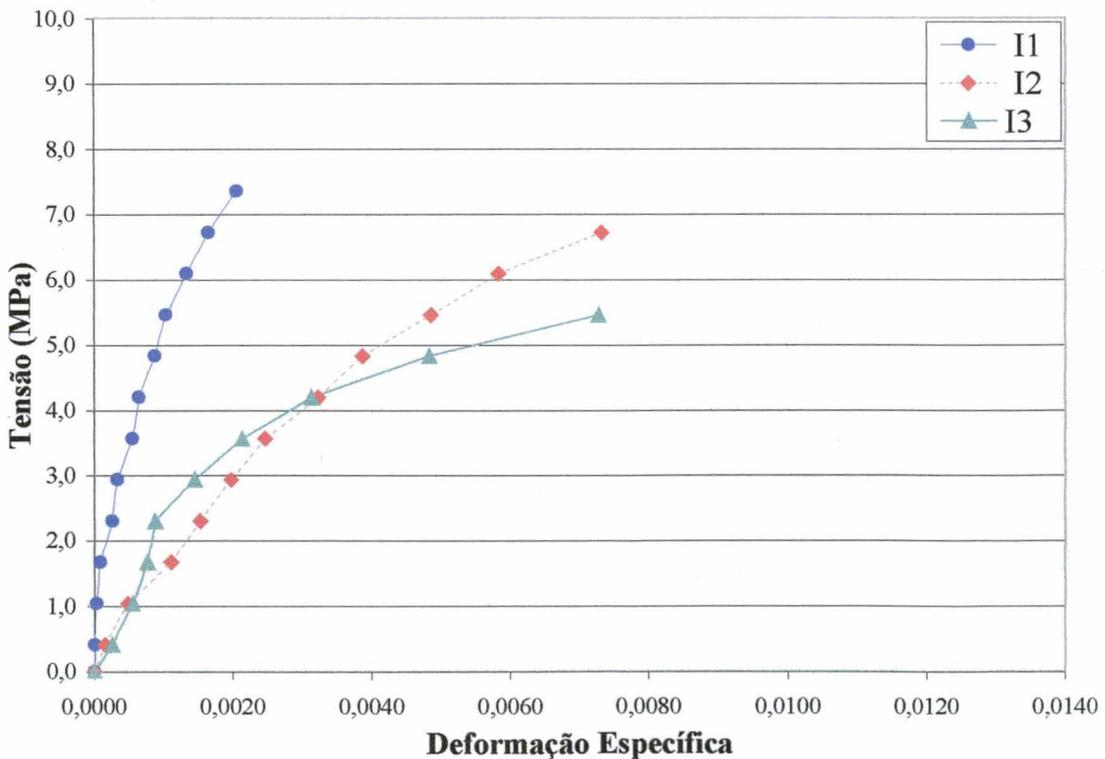


FIGURA 5.28 – Diagrama tensão x deformação para juntas de argamassas industrializadas

Em todos os casos, como já era esperado, os módulos de elasticidade da junta foram inferiores aos dos prismas correspondentes. Isto quer dizer que a junta de argamassa é mais deformável que

o conjunto bloco-argamassa sendo que este comportamento já era esperado e conhecido pela literatura.

A junta de argamassa que apresentou o maior módulo de elasticidade, maior rigidez, foi a do prisma com argamassa Mi, para a qual obteve-se um dos fatores de eficiência mais altos. Cabe salientar que este módulo de elasticidade foi o mais próximo do módulo do prisma, dentre as argamassas estudadas. O módulo de elasticidade da junta, para as argamassas mistas, não foi influenciado significativamente (e nem se verificou uma tendência na variação de comportamento) pela granulometria da areia e quantidade de cal.

Para a argamassa industrializada, a deformação da junta seguiu a mesma tendência da deformação dos prismas. O maior módulo de elasticidade na junta foi obtido para argamassa I1, que apresentou o maior fator de eficiência.

Cabe ainda ressaltar que, para o prisma confeccionado com a argamassa I3, o modo de ruptura foi diferenciado dos demais, havendo ruptura por esmagamento da junta provavelmente devida à baixa resistência da argamassa na junta decorrente do maior tempo de mistura utilizado na sua produção. Este comportamento distinto também pode ser observado na Figura 5.28 onde a curva tensão *versus* deformação específica é diferenciada da argamassa I3 para as demais.

Para tentar estimar a resistência à compressão real da argamassa na junta, em prismas, foi utilizado o método de ensaio de resistência de penetração de pino descrito no item 4.3.3. Este ensaio teve como principal intuito verificar o porque de fatores de eficiência diferentes quando se obtém resistência à compressão em corpos-de-prova cilíndricos de argamassa semelhantes principalmente no caso das argamassas industrializadas, como comentado no item 3.4.1.

Na Tabela 5.13 apresenta-se os valores encontrados no ensaio de resistência de penetração de pino nas juntas de assentamento e em corpos-de-prova prismáticos 4x4x16cm juntamente com a resistência à compressão desses corpos-de-prova prismáticos.

TABELA 5.13 – Penetração média dos pinos e resistência à compressão das argamassas estudadas

Argamassa	Penetração média de pino				Resistência à compressão média (MPa)*
	Na junta (cm)	CV (%)	Na argamassa (cm)	CV (%)	
Fm	0,42	12,68	0,49	8,28	4,23
Mm	0,35	17,46	0,38	4,94	5,50
Gm	0,32	14,85	0,35	9,16	8,32
Fi	0,47	9,24	0,51	16,05	4,17
Mi	0,33	8,86	0,41	10,84	5,26
Gi	0,33	22,74	0,35	14,76	7,53
Fg	0,39	9,89	0,42	12,61	4,62
Mg	0,39	8,13	0,37	10,16	6,26
Gg	0,33	19,81	0,34	11,82	8,17
I1	0,46	16,78	0,36	12,61	6,50
I2	0,45	13,23	0,35	12,70	6,62
I3	0,41	10,87	0,44	15,35	6,38

* - Os coeficientes de variação estão apresentados no Anexo 5

A resistência à compressão das argamassas obtidas, em corpos-de-prova cilíndricos 5x10cm (Tabela 5.12), foi semelhante à resistência à compressão das argamassas em corpos-de-prova prismáticos (Tabela 5.13) para todas as argamassas estudadas como já era esperado. Somente para a argamassa mista Mm, a resistência à compressão em corpo-de-prova prismático foi inferior ao obtido em corpos-de-prova cilíndricos.

As argamassas mistas apresentaram maior resistência à penetração de pino (menor penetração) na junta de argamassa do que nos corpos-de-prova mostrando, assim, que sua resistência nas juntas deve ser superior do que a resistência encontrada nos corpos-de-prova produzidos em moldes impermeáveis pois estes apresentaram maior penetração do pino.

Já para as argamassas industrializadas, o comportamento do ensaio de penetração de pino foi o inverso. Na junta de argamassa obteve-se penetração de pino maior que nos corpos-de-prova impermeáveis. Isto quer dizer que, na junta de argamassa, a resistência é menor que nos corpos-de-prova. Este pode ser um dos motivos para esta argamassa ter apresentado fator de eficiência menor do que as argamassas mistas, mesmo obtendo resistência à compressão em moldes cilíndricos 5x10cm superiores ou iguais às argamassas mistas.

O comportamento das argamassas neste ensaio de penetração de pino, foi distinto para as argamassas industrializadas e as argamassas mistas. A grande diferença possivelmente se deve a retenção de água nas argamassas. As argamassas industrializadas, por possuírem maior retenção

de água no estado fresco, perdem menos água para o substrato do que as argamassas mistas conduzindo assim a uma resistência menor na junta de argamassa do que nos corpos-de-prova obtidos em fôrmas impermeáveis. Além disso, o teor de ar incorporado da argamassa industrializada no estado fresco influencia na resistência à penetração de pino.

As argamassas mistas, que possuem menor retenção de água no estado fresco, perdem mais água para o substrato do que as argamassas industrializadas, explicando assim sua maior resistência à penetração do pino na junta de argamassa do que em corpos-de-prova confeccionados em moldes impermeáveis.

Isto também foi verificado pela altura de capilaridade de água no bloco assentando em contato com a junta de argamassa nos prismas após 1 hora de assentamento. Para as argamassas mistas, essa altura foi em média de 1,2cm e para argamassa industrializada foi de 0,4cm. Isto ocorreu principalmente pela diferença na retenção de água das argamassas industrializadas para as argamassas mistas.

Na Figura 5.29 apresenta-se o resultado da penetração do pino nas juntas de argamassa e nos corpos-de-prova prismáticos 4x4x16cm, além da resistência à compressão da argamassa para todos os tipos de argamassa. Nesta Figura pode-se, também, observar os comentários feitos anteriormente para este ensaio.

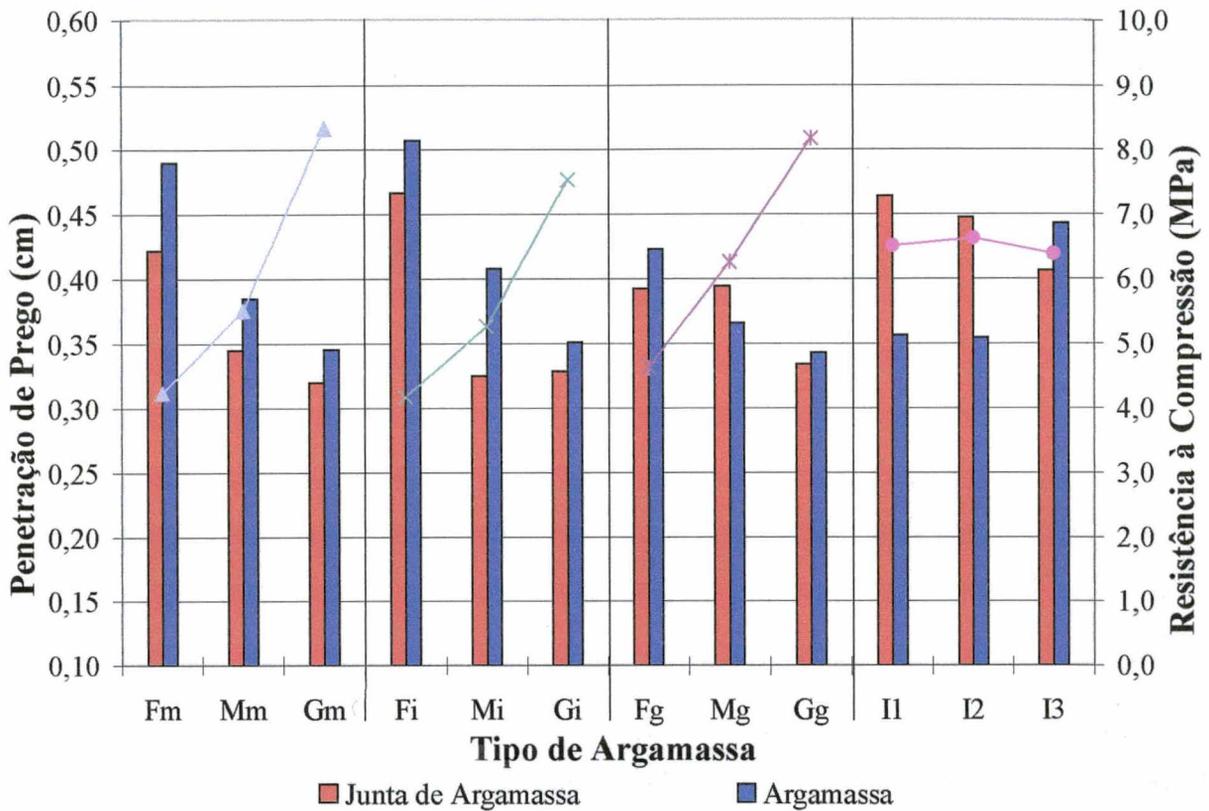


FIGURA 5.29 – Penetração de pino na junta de argamassa e em corpos-de-prova prismáticos (em coluna) juntamente com a resistência à compressão das argamassas (em linha)

Durante o ensaio de resistência à penetração de pino, realizado com a argamassa industrializada I1, foi verificada uma diferença na penetração do pino ao longo da junta de argamassa. Em alguns pontos encontrava-se penetração do pino de 0,41cm e em outros de 0,54cm. Isto quer dizer que existia diferença da resistência ao longo da junta de argamassa. Essa diferença ocorria num comprimento similar ao comprimento do filete de argamassa produzido com o auxílio da colher de pedreiro durante o assentamento. Provavelmente, quando a argamassa era mexida para fazer o filete de argamassa, antes de colocar sobre a superfície de assentamento dos blocos de concreto, incorporava-se mais ou menos ar, gerando-se assim, ao longo da junta de argamassa, resistências diferentes. Este efeito foi encontrado somente para a argamassa industrializada I1.

Com os dados obtidos do ensaio de penetração de pino e resistência à compressão dos corpos-de-prova prismáticos foi feito um estudo da correlação. Pela simples disposição dos pontos correspondentes aos resultados no ensaio, constatou-se que a relação entre as variáveis de estudo era não-linear. Após o estudo de várias funções matemáticas que correlacionassem a penetração de pino com a resistência à compressão obteve-se uma função que conduziu um bom ajuste (valores de $r^2 = 0,95$). Esta função utiliza o inverso da penetração de pino ($1/y$) e o inverso da

resistência à compressão ($1/x$) como pode ser observado na Figura 5.30.

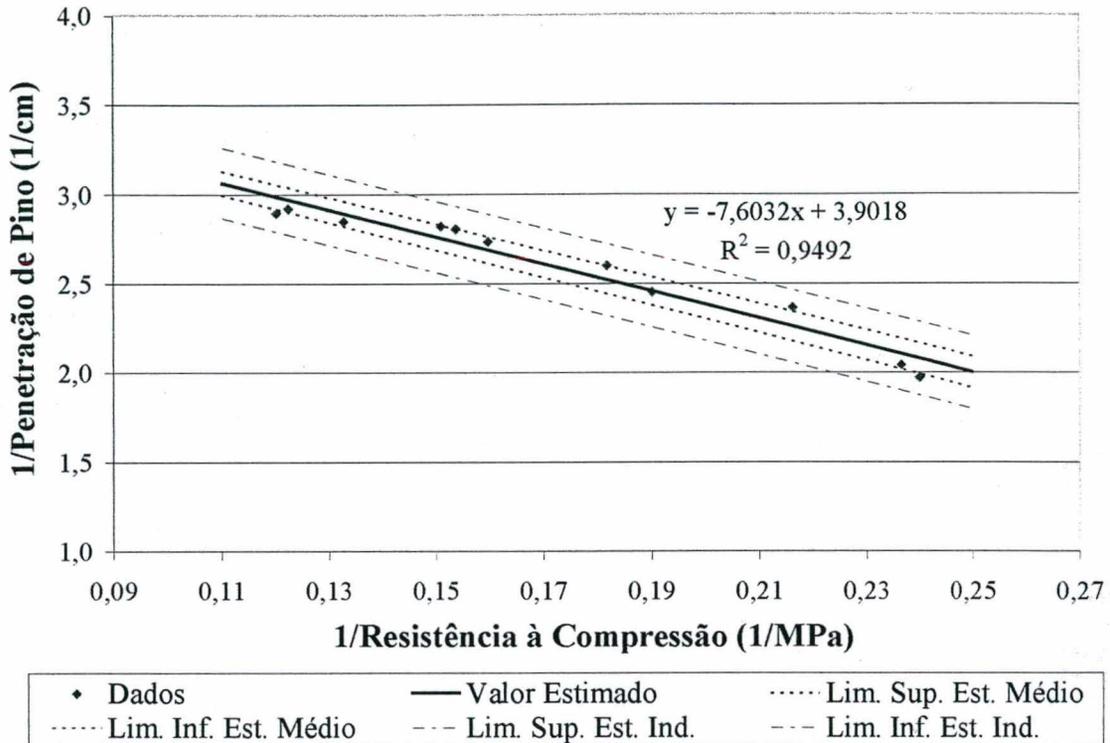


FIGURA 5.30 – Correlação entre o inverso da penetração de pino e o inverso da resistência à compressão da argamassa

Com a correlação obtida na Figura 5.30 podemos estimar a resistência à compressão na junta de assentamento. No caso das argamassas mistas, a maior diferença encontrada entre a penetração de pino na junta e na argamassa, foi para a argamassa Mi. A resistência à compressão estimada na junta foi de 8,72 MPa (penetração de pino = 0,33cm) e no corpo-de-prova prismático a resistência à compressão foi de 5,20 MPa. A resistência à compressão da argamassa em corpos-de-prova cilíndricos de 5x10cm foi de 5,56 MPa, que é praticamente o mesmo valor verificado para o corpo-de-prova prismático. Cabe ressaltar que o fator de eficiência dos prismas confeccionados com esta argamassa, Mi foram dos maiores valores encontrados.

Já para a argamassa industrializada I1, na qual houve diferença na penetração de pino ao longo da junta, foram encontradas medidas de penetração de 0,41cm a 0,54cm cujas resistências à compressão estimadas são, respectivamente, de 5,20MPa e 3,71 MPa. Isto quer dizer que, dentro da mesma junta de argamassa, a resistência à compressão estimada variou 28,8%. Provavelmente o prisma e a parede moldados com esta argamassa iriam romper onde a resistência fosse menor. No entanto, tanto no corpo-de-prova prismático como no cilíndrico, a resistência à compressão foi superior aos valores estimados, não representando, assim, a resistência à compressão da junta

de argamassa. Além disso, a maior diferenças entre a penetração de pino na junta e no corpo-de-prova prismático (0,10cm) foi observada para as argamassas industrializadas.

A estimativa da resistência à compressão através da penetração de pinos indicou diferença entre as resistências à compressão obtidas na junta e no corpo-de-prova prismático ou cilíndrico. Observou-se que, no caso de argamassas mistas, o ensaio em corpos-de-prova subestima a resistência da argamassa na junta. No entanto, para as argamassas industrializadas, esta prática leva à superestimativa da resistência da junta de alvenaria.

Por meio da Figura 5.31 tem-se uma idéia da precisão da estimativa, com um grau de confiabilidade de 95%, da correlação entre a penetração de pino e a resistência à compressão.

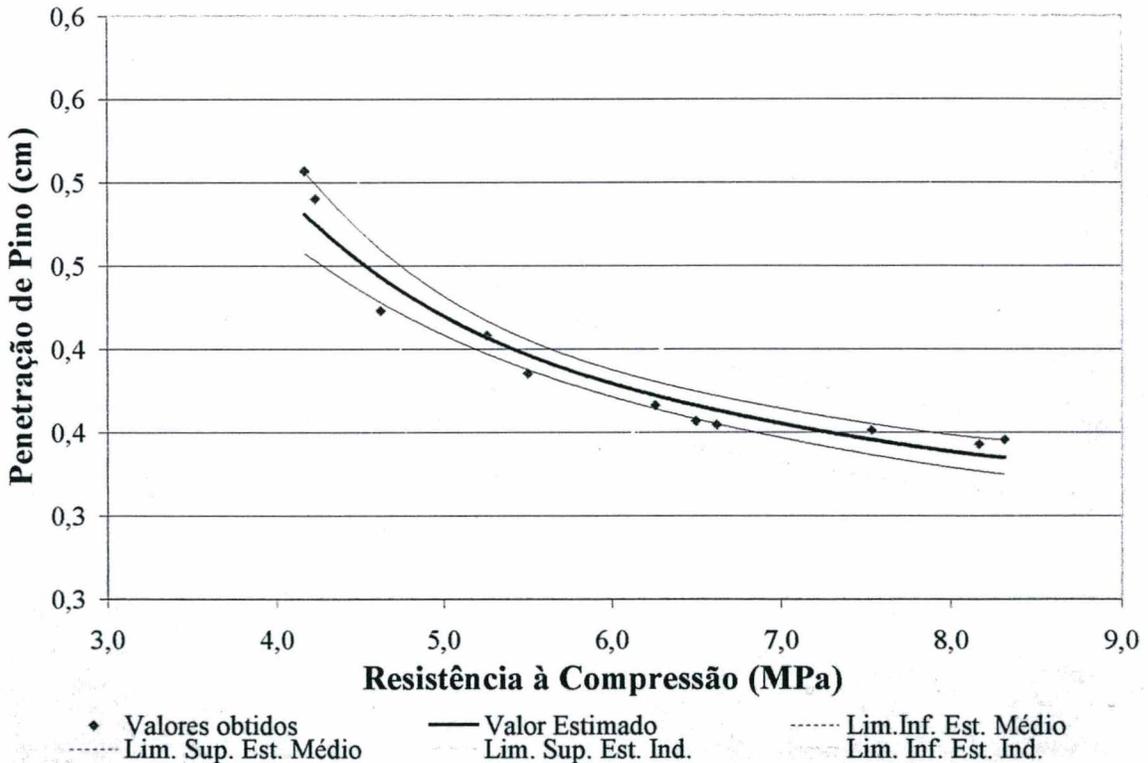


FIGURA 5.31 – Correlação entre a penetração de pino (cm) e a resistência à compressão (MPa).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÕES

Várias são as conclusões a que se pode chegar a partir dos resultados obtidos dos ensaios realizados com objetivo de avaliar o comportamento das argamassas de cimento com aditivos (industrializadas) e mistas (cimento e cal) para assentamento de blocos de concreto para alvenaria estrutural e o comportamento mecânico de prismas de blocos de concreto confeccionados com estas argamassas.

O ensaio de Vicat adaptado proposto é um ensaio portátil e prático para aplicação em obra. Através do mesmo é possível ajustar-se a consistência da argamassa, empregando-se a maior quantidade de água possível para obter-se um filete de dimensões adequadas, segundo a recomendação de Panarese, Kosmatka e Randall Jr. (1991) e Beall (1987), sem que haja deformação excessiva da junta quando do assentamento, causada por excesso de água. O ensaio de Vicat adaptado mostrou-se viável de ser empregado independentemente do tipo de argamassa (industrializada ou mista de cimento, cal e areia), sendo recomendados valores médios de leitura do equipamento entre 1,5 a 2,0 cm. Porém, neste ensaio, a análise da trabalhabilidade é feita unicamente baseada na consistência da argamassa.

A avaliação da trabalhabilidade das argamassas de assentamento para blocos de concreto através do GTec Teste mostrou que o ensaio é simples e eficiente para a determinação desta propriedade. Consegue-se avaliar simultaneamente a consistência, através da medida L_i , coesão, pela determinação da altura de junta onde ocorre o seccionamento da rebarba da argamassa, e plasticidade, através da energia necessária para deformar a argamassa até que se consiga uma junta de 1cm.

Com este equipamento, GTec Teste, é possível realizar a dosagem adequada dos materiais para a

obtenção de uma argamassa ideal para o assentamento de blocos de concreto segundo o assentador. Isto permite aproximar a argamassa dosada em laboratório da argamassa que será realmente utilizada em obra. Assim, pode-se conseguir aumentar a produtividade e a qualidade das argamassas utilizadas em obra de alvenaria estrutural de blocos de concreto.

Com o acompanhamento feito em obra, pode-se definir os intervalos para os parâmetros do Gtec Teste (consistência inicial, plasticidade e coesão) e verificar a eficiência do equipamento frente a trabalhabilidade encontrada em obra. O ensaio mostrou-se prático, versátil e confiável para a avaliação da trabalhabilidade. Em obra foi observado, também, que para argamassas dosadas adequadamente, os assentadores utilizavam uma altura de filete menor e, portanto, mais econômica e produtiva. Além disso, com uma argamassa adequada, pode-se treinar a mão-de-obra a utilizar uma altura de filete de argamassa menor, diminuindo seu consumo e permitindo assentar o bloco de forma a não se necessitar da limpeza da argamassa do interior dos blocos, sempre recomendável quando a reborda de argamassa (para dentro do bloco) for maior que 1cm, no caso de pontos grauteados na alvenaria estrutural.

Neste estudo, também pode-se constatar que o tempo de mistura influencia as propriedades das argamassas industrializadas, aquelas que contém aditivos incorporadores de ar. Entretanto, essa conclusão não pode ser generalizada. Deve-se estudar o comportamento da argamassa industrializada que será utilizada, principalmente com relação ao tempo de mistura, misturador empregado e seu desempenho em prismas com blocos de concreto.

O índice de consistência *flow table* preconizado pela NBR 7215 (1996) não parece ser adequado para definir a consistência ideal de uma argamassa de assentamento e só deveria ser empregado quando fixado um determinado tipo de argamassa para uso. Verificaram-se valores de índices de consistência distintos para argamassas trabalháveis. Conseqüentemente, o valor 230 ± 10 mm recomendado pela NBR 8798 (1985) não é aplicável para todos os tipos de argamassa de assentamento como foi demonstrado.

A massa específica da argamassa foi influenciada pela granulometria da areia para as argamassas mistas. Quanto maior o módulo de finura maior massa específica encontrada. Isto se deve ao fato de que, quanto maior é a finura da areia, maior é a demanda de água da mistura para atingir a trabalhabilidade adequada, ou seja, esta diminuição da massa específica não está relacionada com o teor de ar incorporado. Para argamassa industrializada, a massa específica foi influenciada pelo teor de ar incorporado na argamassa, sendo o teor de ar incorporado inversamente

proporcional a esta propriedade.

A trabalhabilidade das argamassas, medida pelo GTec Teste, foi influenciada pela granulometria da areia e esta influência foi maior do que o efeito da quantidade de cal, para as argamassas mistas. A argamassa que se mostrou mais trabalhável foi a argamassa mista Mi, produzida com areia média e quantidade de cal intermediária. Para as argamassas industrializadas, a trabalhabilidade foi influenciada pelo teor de ar incorporado e a argamassa mais trabalhável foi a argamassa industrializada I2 que tinha um teor médio, $18\pm 1\%$, de ar incorporado no estado fresco.

A retenção de água das argamassas mistas foi influenciada pela quantidade de cal para as argamassas com areia fina e areia média. Porém não foi verificada a influência da quantidade de cal nas argamassas com areia grossa. A maior retenção de água foi obtida para as argamassas industrializadas (média de 75%). As argamassas mistas apresentaram retenção de água média de 50% que já era esperado pela literatura. A alta retenção da argamassa industrializada é provavelmente devido a aditivos incorporadores de ar, retentores de água e plastificantes contidos nesta argamassa. Essa retenção de água também foi observada pela altura de capilaridade de água no bloco em contato com a junta de argamassa nos prismas após 1 hora de assentamento. Para as argamassas mistas, essa altura foi em média de 1,2cm e para argamassa industrializada foi de 0,4cm.

Com o ensaio de deformabilidade da junta fresca pode-se concluir que deveria ser deixado um tempo maior que 15 minutos para assentar as fiadas superiores sem que houvesse uma redução significativa na espessura da junta, como foi observado para as argamassas estudadas, pois estas apresentaram uma alta deformação da junta fresca.

A resistência à compressão das argamassas em corpos-de-prova cilíndricos foi influenciada principalmente pela granulometria da areia para as argamassas mistas. Quanto maior o módulo de finura, maior a resistência à compressão. A quantidade de cal, nos teores estudados, não influenciou significativamente nos resultados de resistência à compressão. Os valores de resistência à compressão obtidos com os corpos-de-prova prismáticos foram da mesma ordem de grandeza do que os corpos-de-prova cilíndricos.

Para as argamassas industrializadas não foi observada diferença significativa com o aumento do teor de ar incorporado, devido a pequena diferença nos teores de ar incorporado (5%) e a

metodologia de moldagem.

O fator de eficiência foi maior para argamassas mistas do que para a argamassa industrializada testada. Os maiores fatores de eficiência encontrados para as argamassas mistas foram para argamassa Mi (areia média e quantidade de cal intermediária) de 0,86 e para argamassa Gg (areia grossa e quantidade de cal alta – gorda) de 0,87. Cabe salientar que a argamassa Mi apresentou melhor trabalhabilidade no estado fresco e que a resistência à compressão desta argamassa foi 42,88% menor do que a da argamassa Gg. O maior fator de eficiência encontrado para as argamassas industrializadas foi de 0,75 e o menor de 0,64 (o mais baixo de todas as argamassas). O fator de eficiência para argamassas industrializadas foi influenciado pelo teor de ar incorporado no estado fresco.

Os módulos de elasticidade das argamassas, obtidos dos ensaios em corpos-de-prova cilíndricos 5x10cm, foram proporcionais a resistência à compressão para as argamassas mistas. Um dos menores módulo de elasticidade encontrado foi para a argamassa mista que obteve a menor resistência à compressão, a argamassa Fi. O módulo de elasticidade, também, foi proporcional ao módulo de finura da areia. Para as argamassas industrializadas não se observou nos resultados de módulo de elasticidade da argamassa uma influência do teor de ar incorporado no estado fresco.

Para as argamassas mistas, os módulos de elasticidade dos prismas (conjunto bloco-argamassa) obtidos não seguiram nenhuma tendência. Porém, o prisma com menor módulo de elasticidade encontrado para argamassas mistas apresentou o menor fator de eficiência. O mesmo ocorreu para argamassas industrializadas onde o prisma com menor fator de eficiência apresentou o menor módulo de elasticidade. Porém, o inverso não foi verificado para argamassas mistas.

Em todos os casos, como já era esperado, os módulos de elasticidade da junta foram inferiores aos dos prismas correspondentes. Isto quer dizer que a junta de argamassa é mais deformável que o conjunto bloco-argamassa sendo que este comportamento já era esperado e conhecido pela literatura. O maior módulo de elasticidade da junta para as argamassas mistas foi da argamassa Mi, cujo prisma apresentou o maior fator de eficiência. Para as argamassas industrializadas, o módulo de elasticidade da junta foi proporcional ao teor de ar incorporado no estado fresco. Entretanto este valor de ar incorporado pode não refletir exatamente o teor de ar na argamassa na junta. Esta suspeita baseia-se no fato de que, a resistência à penetração de pino foi menor na junta do que no corpo-de-prova prismático. Esta menor resistência deve ter sido provocada pela maior incorporação de ar devido ao manuseio da argamassa pelo assentador durante a confecção

dos prismas.

Os módulos de elasticidade das juntas, em média, foram inferiores aos encontrados para as argamassas em corpos-de-prova cilíndricos mostrando a importância de conhecer o real desempenho das argamassas como junta de argamassa.

O ensaio de resistência à penetração de pino mostrou-se como um bom parâmetro de correlação para se conhecer a real resistência da argamassa como junta de assentamento. Para as argamassas mistas, a penetração do pino foi inferior na junta de argamassa do que aquela encontrada em corpos-de-prova confeccionados em moldes impermeáveis. Pode-se verificar, assim, que a resistência da argamassa provavelmente é maior na junta de assentamento do que em corpos-de-prova, como comentado por muitos autores como Gallegos (1989), Beall (1989) e Prudêncio Jr., Oliveira e Bedin (2002). Porém, para argamassas industrializadas, ocorreu exatamente o contrário. A argamassa que obteve o menor teor de ar incorporado no estado fresco, apresentou menor penetração do pino em corpo-de-prova e maior penetração do pino nas juntas de argamassa. Verificou-se, portanto, que a resistência da junta de assentamento provavelmente deve ser inferior aquela encontrada em corpos-de-prova, ressaltando, assim, a importância da avaliação do desempenho das argamassas para alvenaria estrutural em prisma, principalmente para argamassas industrializadas contendo aditivos incorporadores de ar.

A estimativa da resistência à compressão através da penetração de pinos indicou diferença entre as resistências à compressão obtidas na junta e no corpo-de-prova prismático ou cilíndrico. Observou-se que, no caso de argamassas mistas, o ensaio em corpos-de-prova subestima a resistência da argamassa na junta. No entanto, para as argamassas industrializadas, esta prática leva à superestimativa da resistência da junta de alvenaria.

Como conclusão geral pode-se dizer que as argamassas mistas apresentaram melhor desempenho do que a argamassa industrializada testada. A argamassa mista Mi (produzida com areia média e teor de cal médio) foi aquela na qual se verificou o melhor desempenho no estado fresco e no estado endurecido para o assentamento de blocos de concreto.

6.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros sugere-se que sejam estudadas argamassas industrializadas produzidas por fabricantes diferentes, com composições diferentes, pois este estudo só aplica-se para uma argamassa industrializada não devendo ser, então, generalizado. Portanto, esta pesquisa mostra a importância de um estudo mais aprofundado para argamassas industrializadas visto que é crescente e cada vez mais freqüente o uso dessas argamassas em obras de alvenaria estrutural.

Também, sugere-se o estudo de argamassas semiprontas ou intermediárias (mistura de cal e areia) produzidas por fabricantes diferentes no intuito de avaliar as propriedades do estado fresco e endurecido já que tem crescido o uso dessas argamassas em obras de alvenaria estrutural.

Como neste estudo não foi verificada a influência do teor de cal nas propriedades do estado fresco e endurecido para argamassas mistas, deveriam ser estudados teores menores e maiores de cal para avaliar a influência deste aglomerante no desempenho das argamassas de assentamento. Sugere-se, também, a realização de um estudo sobre a influência da retenção de água das argamassas nas propriedades do estado endurecido, pois ainda não se encontram trabalhos no meio técnico avaliando tal influência. Neste trabalho, mesmo variando-se o teor de cal, não se obteve diferenças na retenção de água. A NBR 8798 (1985) recomenda que a argamassa deve apresentar uma retenção de água maior que 75% porém não limita a retenção máxima.

Além disso, a realização de um estudo mais detalhado envolvendo a determinação do módulo de elasticidade da junta de assentamento poderia ser útil para descrever a relação existente entre tal propriedade, as características dos materiais empregados e as características da alvenaria.

7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE; AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS; THE MASONRY SOCIETY. **ACI 530/ASCE 5/TMS 402**: Building code requirements for masonry structures,. 1995.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 90 75**: Standard specification for hollow load-bearing concrete masonry units. Philadelphia, 1991.

----- **ASTM C 91**: Specification for masonry cement. Philadelphia: ACI, 1916.

----- **ASTM C 109**: Test method for compressive strength of hydraulic cement mortars. Philadelphia, 1981.

----- **ASTM C 144**: Specification for aggregate for masonry mortar. Philadelphia, 1916.

----- **ASTM C 187**: Test method for determination of water content in hydraulic cement. Philadelphia, 1971.

----- **ASTM C 207**: Specification for hydrated lime for masonry purposes. Philadelphia, 1916.

----- **ASTM C780-91**: Standard test method for reconstruction and construction evaluation of mortar for plain and reinforced unit masonry. Philadelphia, 1981.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NB 1228**: Cálculo de alvenaria estrutural de blocos de concreto. Rio de Janeiro, 1989.

----- **NBR 6136**: Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural. Rio de Janeiro, 1994.

----- **NBR 7175**: Cal hidratada para argamassas. Rio de Janeiro, 1992.

----- **NBR 7184:** Bloco vazado de concreto simples para alvenaria – determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1992.

----- **NBR 7211:** Agregado para concreto. Rio de Janeiro, 1987.

----- **NBR 7215:** Determinação da resistência à compressão – cimento Portland. Rio de Janeiro, 1996.

----- **NBR 8215:** Prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural – preparo e ensaio à compressão – método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.

----- **NBR 8522:** Concreto: determinação do módulo de deformação estática e diagrama tensão x deformação - método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

----- **NBR 8798:** Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1985.

----- **NBR 9287:** Argamassa de assentamento para alvenaria de blocos de concreto – determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 1986.

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

----- **NBR 12118:** Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - determinação da absorção de água, do teor de umidade e da área líquida - método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991.

----- **NBR 13276:** Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência-padrão. Rio de Janeiro, 1995.

----- **NBR 13277:** Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 1995.

----- **NBR 13278:** Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 1995.

----- **NBR 13279:** Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1995.

----- **NBR 13281:** Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos

– requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

ARAÚJO, F. E. **Técnicas construtivas de edifícios residenciais em alvenaria estrutural não armada de blocos vazados de concreto.** 2001. 194 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

BASTOS, P. K. X. **Retração e Desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento.** 2001. 172 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

BEALL, C. **Masonry design and detailing for architects, engineers, and builders.** New York, McGraw – Hill Book Company, 1987.

----- **La trabajabilidad del mortero.** The Magazine Masonry Construction, Illinois, Octubre, 1989.

BENINGFIELD, N. **Air entrainment of mortar.** In: 8 th IBIMAC (International Brick and Block Masonry Conference), v.1, 1988, Dublin.

BOWLER, G. K.; JACKSON, P. J.; MONK, M. G. **The measurement of mortar workability.** Masonry International, vol 10, n 1, 1996.

BRICK INSTITUTE OF AMERICA. **BRICKLAYING: brick and block masonry.** Reston, 1988.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **Sands for mortar for plain an reinforced brickwork, blockwork, blockwalling and masonry:** BS 1200. London, 1976.

----- **Specification for precast concrete masonry units:** BS 6073. London, 1981.

----- **Structural use of unreinforced masonry:** BS 5628: Part 1. London, 1992.

----- **Methods of testing mortars, screeds and plasters:** . London, 1980.

CALÇADA, L. M. L. **Avaliação do Comportamento de Prismas Grauteados e Não Grauteados de Blocos de Concreto.** 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

CAMACHO, J. S. **Alvenaria estrutural não armada – parâmetros básicos a serem considerados no projeto dos elementos resistentes.** 1986. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CARASEK, H. **Aderência de Argamassas à Base de Cimento Portland a Substratos Porosos** – Avaliação dos Fatores Intervenientes e Contribuição ao Estudo do Mecanismo da Ligação. 1996. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

CARASEK, H.; DJANIKIAN, J. G. **Avaliação da Trabalhabilidade para Argamassas de Assentamento e Revestimento**. In: Anais do 3^o Congresso Brasileiro de Cimento, vol 2. Associação Brasileira de Cimento Portland. São Paulo, 1993. p. 407-426.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. **Argamassa de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio**. Boletim 68. Instituto de Pesquisa Tecnológicas. São Paulo, 1995.

CHEEMA, T. S.; KLINGNER, R. E. **Compressive strength of concrete masonry prism**. American Concrete Institute Journal. Farmington Hills, jan./fev, 1986. p. 88-97.

CUNHA, E. H.; GUIMARÃES, G. N.; CARASEK, H. **Influência do tipo de argamassa na resistência à compressão da alvenaria estrutural**. In: Anais do IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Brasília, 2001. p. 397-408.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **Testing mortars containing mineral binders – Freshly mixed mortars containing aggregates of dense structure (heavy aggregates): determination of consistence, bulk density and air content: DIN 18555: part 2**. Berlin, 1982.

DRYSDALE, R. G.; HAMID, A. A. e BAKER, L. R. **Masonry Structures Behavior and Design**. New Jersey, Prentice-Hall, 1993.

FRANCO, L. S. **Desempenho da Alvenaria à Compressão**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, BT – 20/88. São Paulo, 1988.

GALLEGOS, H. **Albañileria Estructural**. Pontificia Universidade Católica do Peru. Lima, 1989. 483p.

GUIMARÃES, J. E. P. **A Cal – Fundamentos e aplicações na Engenharia Civil**. Pini. São Paulo, 1997. 285p.

HENDRY, A. W. **Structural Brickwork**. London, The MacMillan Press, 1981. 211p.

ISHIKAWA, P. H. **Desempenho da argamassa de assentamento de bloco estrutural utilizando agregado miúdo de pedra britada.** In: Anais do IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Brasília, 2001. p. 409-421.

KHALIFA, M. A.; MAGZOUN, A. E. **Compressive strength of masonry prisms.** In: Proceedings of the Structures Congress XII, ASCE, Nova York, 1994. p.1100-1105.

KHALAF, F. M. **Factors influencing compressive strength of concrete masonry prisms.** In: Magazine of Concrete Research, v. 48, Edinburgh, 1996.

KICKLIGHTER, C. E. **Modern masonry: brick, block, stone.** Illinois: Ed. The Goodheart-Willcox Company, INC. 1985.

LA ROVERE, H. L. **Análise do comportamento mecânico de prismas de alvenaria de blocos de concreto por M.E.F.** In: Anais da XXVIII Jornadas Sulamericanas de Engenharia de Estrutural. Vol 1, São Carlos - SP, 1997. p. 179-188.

MEDEIROS, J. S. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto:** produção de componentes e parâmetros de projeto. 1993. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

METHA, P. K. ; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto:** estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: PINI, 1994.

MOHAMAD, G. **Comportamento mecânico na ruptura de prismas de alvenaria de blocos de concreto.** 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MUNRO, C. C. **Cómo especificar el mortero.** In: The Magazine Masonry Construction, Abril, 1988.

NAKAKURA, E. H. ; CINCOTTO, M. A. **Revisão de norma NBR 13581 como instrumento para melhor representar o desempenho de argamassas industrializadas em obra.** In: Anais do IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Brasília, 2001. p. 387-394.

NARAYANAN, R. S. **Practical design of load bearing masonry structures.** In: PRACTICAL DESIGN OF MASONRY STRUCTURES, London, 1986. Proceedings. London, Thomas Telford, 1986. p. 57-70.

OLIVEIRA, R. A. **Análise da resistência de prismas de blocos de concreto fabricados no Estado de Goiás submetidos à compressão simples.** 2000. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

OLIVEIRA, A. L.; ANSELMO JR, A.; PRUDÊNCIO JR, L. R. **Influência da alteração de Geometria de blocos de concreto na eficiência de prismas de alvenaria.** In: Anais do VII International Seminar no Structural Masonry. Belo Horizonte. September, 2002.

PANARESE, W. C, KOSMATKA, S. H., RANDALL, F. A. **Concrete masonry handbook for architects, engineers, builders.** Portland Cement Association, 5ª ed. Estados Unidos da América, 1991.

PARSEKIAN, G. A. **Tecnologia de Produção de Alvenaria Estrutural Protendida.** 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

PRIESTLEY, M. J. N.; YUK, C. **Prediction of masonry compressive strenght - part 1.** In: New Zealand Concrete Concrete Construction. march, 1984. p 11-14.

PRUDÊNCIO JR., L. R. **Contribuição à dosagem do concreto projetado.** 1993. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

PRUDÊNCIO JR., L. R. **Alvenaria estrutural.** Notas de Aula, Curso de Graduação em Engenharia Civil - UFSC, 1994.

PRUDÊNCIO JR, L. R. ; OLIVEIRA, A. L., BEDIN, C.A. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto.** Florianópolis, 2002. Editora Gráfica Palloti.

RAMAMURTHY, K.; GANESAN, T. P. **Behaviour of concrete hollow block masonry prism under axial compression.** ASCE Journal of Structural Engineering, march, 1992, v. 112. p.605 - 613.

RÉUNION INTERNATIONALE DES LABORATORIES D'ESSAIS DE MATÉRIAUX ET DE CONSTRUCTION – RILEM Recommendations. **Testing methods of mortars and renderings:** MR 1-21. Paris, France. RILEM, 1982.

ROBERT, J. J. et al. **Concrete masonry designer's handbook.** A Viewpoint Publication, 1983.

ROMAGNA, R. H. **Resistência à compressão de prismas de blocos de concreto grauteados e não grauteados.** 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SABBATINI, F. H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-cálcario**. 1984. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

----- **Argamassa de assentamento para paredes de alvenaria resistente**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1986.

----- **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente**. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland, 2 ed. 1998.

----- **Alvenaria estrutural: materiais, execução da estrutura e controle tecnológico**. Brasília, Caixa Econômica Federal, 2002. Disponível em: <
http://downloads.caixa.gov.br/arquivos/inovacoestecnologicas/manualvest/alvenaria_estrutural.pdf>. Acesso em: 18 outubro 2002.

SOLÓRZANO, M. G. P. **Características e desempenho de juntas de argamassa na alvenaria estrutural de blocos de concreto**. 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

----- **Características e desempenho de juntas de argamassa na alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995.

SCHUMACHER, R. C. **Mortar – a key to quality concrete masonry**. Besser Block. First quarter 1997. vol. 22 nº1.

SUPRENANT, B. A. **Solución a los problemas de la mampostería**. In: Mortero: cómo especificar y utilizar mortero. The Aberdeen Group, 1994.

STEIL, R. O., M.; CALÇADA, L. M. L.; OLIVEIRA, A. L.; MARTINS, V.C.; PRUDÊNCIO JR., L. R. **Influência do tipo de argamassa no fator de eficiência e na deformabilidade de alvenarias estruturais de blocos de concreto**. In: Anais do IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Brasília, 2001. p. 423-434.

STEIL, R. O.; PRUDÊNCIO JR. **Influência da geometria do bloco no fator de eficiência das alvenarias estruturais de blocos de concreto**. In: Anais do VII International Seminar no Structural Masonry. Belo Horizonte. September, 2002.

STEIL, R. O. **Comparação do desempenho à compressão de prismas não grauteados produzidos a partir de blocos de concreto fabricados na região sul do Brasil**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. (a ser publicada)

TALY, N. **Design of reinforced masonry structures**. McGraw – Hill Companies, New York, 2001.

YOSHIDA, A. T., BARROS, M. M. S. B. **Caracterização de argamassas no estado fresco: peculiaridades na análise de argamassas industrializadas**. In: Anais do I Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Goiânia, 1995. p. 53-62.

ANEXO 1 – CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS DA
AVALIAÇÃO DO VICAT ADAPTADO

TABELA A1.1 - Características das argamassas industrializadas e do agregado miúdo

Material	Industrializada 1	Industrializada 2	Agregado miúdo
Abertura da malha (mm)	% retida acumulada	% retida acumulada	% retida acumulada
6,3	0,0	0,0	0,19
4,8	0,0	0,0	0,92
2,4	0,0	0,0	10,10
1,2	0,43	0,0	32,65
0,6	21,84	12,94	61,28
0,3	52,75	63,06	80,62
0,15	84,12	85,64	94,05
Fundo	100,00	100,00	100,00
Módulo de finura	1,59	1,62	2,80
Massa específica (g/cm ³)	2,82	2,80	2,63

OBS: O agregado miúdo enquadra-se no limite superior da BS-1200 (1976) Cabe salientar que no ensaio de granulometria dos agregados das argamassas industrializadas, foram excluídas as frações passantes na peneira 0,075mm.

TABELA A1.2 - Características do cimento CP II-Z 32

Análise física		Análise química		Análise mecânica	
Ensaio	Teor (%)	Ensaio	Teor (%)	Idade (dias)	Resistência (Mpa)
Peneira # 0,075mm	1,28	Perda ao fogo	5,17	1	12,7
Peneira # 0,045mm	8,06	CaO livre	1,66	3	24,0
Água da pasta de consistência normal	28,6	Resíduo insolúvel	12,60	7	28,9
Massa específica (g/cm ³)	2,97	SiO ₂	21,56	28	34,1
Blaine (m ² /kg)	3,592	Al ₂ O ₃	6,63		
Início de pega (min)	186	Fe ₂ O ₃	3,04		
Fim de pega (min)	240	CaO	54,08		
		MgO	4,48		
		SO ₃	2,58		

TABELA A1.3 - Características da cal hidratada

Componente	Teor (%)
CaO	37,87
MgO	25,49
Perda ao fogo (incluindo H ₂ O e CO ₂)	26,55
Resíduo insolúvel	8,97
Massa unitária (g/cm ³)	0,68
Massa específica (g/cm ³)	2,42

TABELA A1.4 - Características do bloco de concreto empregado na avaliação da qualidade das argamassas para assentamento

Dimensões (cm)	Fpk (MPa)	Massa média (kg)	Aliq./Abru.
14,0 x 19,0 x 39,0	6,0	11,85	57 %

ANEXO 2 - CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS DA
AVALIAÇÃO DO GTEC TESTE

TABELA A2.1 – Características dos agregados miúdos das diferentes argamassas

Material	Argamassa Industrializada 1	Argamassa Industrializada 2	Argamassa Industrializada 3	Argamassa Mista 1 e 2
Abertura da malha (mm)	% Retida Acumulada			
6,3	0	0	0	0,00
4,8	0	0	0,02	0,00
2,4	0	0	0,12	0,28
1,2	0,43	0	1,86	3,67
0,6	21,84	12,94	7,15	25,18
0,3	52,75	63,06	34,46	72,67
0,15	84,12	85,64	86,52	97,19
Fundo	100	100	100	100
Modulo de Finura	-	-	-	1,99
Massa Específica (g/cm ³)	2,82	2,80	2,70	2,63
Massa Unitária (g/cm ³)	-	-	-	1,33

Cabe salientar que no ensaio de granulometria dos agregados das argamassas industrializadas, foram excluídas as frações passantes na peneira 0,075mm.

TABELA A2.2 - Características do cimento CP II-Z 32

Análise física		Análise química		Análise mecânica	
Ensaio	Teor (%)	Ensaio	Teor (%)	Idade (dias)	Resistência (Mpa)
Peneira # 0,075mm	1,33	Perda ao fogo	5,27	1	12,1
Peneira # 0,045mm	8,06	CaO livre	1,55	3	24,0
Água da pasta de consistência normal	28,7	Resíduo insolúvel	12,33	7	29,2
Massa específica (g/cm ³)	2,97	Si ₂ O ₂	21,11	28	38,0
Massa Unitária (g/cm ³)	1,10	AL ₂ O ₃	6,67		
Blaine (m ² /kg)	3,535	Fe ₂ O ₃	3,03		
Início de pega (min)	196	CaO	53,91		
Fim de pega (min)	259	MgO	4,30		
		SO ₃	2,74		

TABELA A2.3 – Propriedades da cal

Componente	Teor (%)
CaO	37,87
MgO	25,49
Perda ao fogo (incluindo H ₂ O e CO ₂)	26,55
Resíduo insolúvel	8,97
Massa unitária (g/cm ³)	0,73
Massa específica (g/cm ³)	2,46

TABELA A2.4 – Características dos blocos de concreto

Dimensões (cm)	Resistência característica (MPa)	Massa média (Kg)	A _{líquida} /A _{bruta}	Absorção (%)
14,0x19,0x39,0	6,0	11,40	57%	7,88

ANEXO 3 - CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS DA
AVALIAÇÃO EM LABORATÓRIO

TABELA A3.1 - Características dos agregados miúdos

Material	Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa
Abertura da malha (mm)	% retida acumulada	% retida acumulada	% retida acumulada
6,3	0,00	0,00	0,00
4,8	0,00	0,15	0,38
2,4	0,05	1,96	4,81
1,2	1,95	12,97	29,50
0,6	16,58	31,68	54,32
0,3	61,50	69,59	81,72
0,15	91,05	93,05	96,05
Fundo	100,00	100,00	100,00
Módulo de finura	1,71	2,09	2,67
Massa específica (g/cm ³)	2,63	2,63	2,63
Massa Unitária (g/ cm ³)	1,33	1,33	1,33

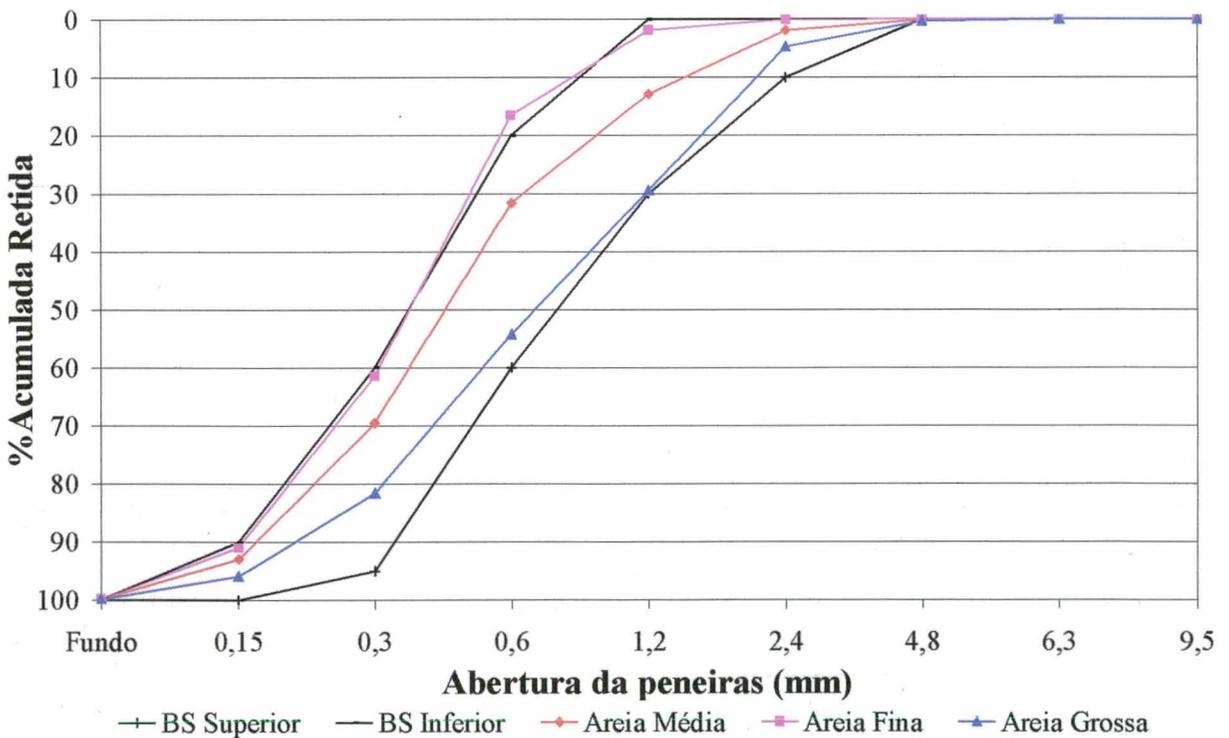


FIGURA A3.1 – Curvas granulométricas das areias utilizadas

TABELA A3.2 - Características do cimento CP II-F 32

Análise física		Análise química		Análise mecânica	
Ensaio	Teor (%)	Ensaio	Teor (%)	Idade (dias)	Resistência (MPa)
Peneira # 0,075mm	2,45	Perda ao fogo	5,23	1	15,7
Peneira # 0,045mm	11,95	CaO livre	1,58	3	25,6
Água da pasta de consistência normal	27,4	Resíduo insolúvel	1,31	7	30,4
Massa específica (g/cm ³)	3,04	Si ₂ O ₂	18,20	28	38,4
Massa unitária (g/cm ³)	1,13	Al ₂ O ₃	4,33		
Blaine (m ² /kg)	3,257	Fe ₂ O ₃	2,50		
Início de pega (min)	169	CaO	59,60		
Fim de pega (min)	230	MgO	5,07		
		SO ₃	2,89		

TABELA A3.3 - Características da cal hidratada CH III

Componente	Teor (%)
CaO	37,87
MgO	25,49
Perda ao fogo (incluindo H ₂ O e CO ₂)	26,55
Resíduo insolúvel	8,97
Massa unitária (g/cm ³)	0,63
Massa específica (g/cm ³)	2,46

ANEXO 4 - CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS DO
ESTUDO DO TEMPO DE MISTURA

TABELA A4.1 - Características das argamassas industrializadas e do agregado miúdo

Material	Industrializada 1	Industrializada 2	Agregado miúdo
Abertura da malha (mm)	% retida acumulada	% retida acumulada	% retida acumulada
6,3	0,0	0,0	0,19
4,8	0,0	0,0	0,92
2,4	0,0	0,0	10,10
1,2	0,43	0,0	32,65
0,6	21,84	12,94	61,28
0,3	52,75	63,06	80,62
0,15	84,12	85,64	94,05
Fundo	100,00	100,00	100,00
Módulo de finura	1,59	1,62	2,80
Massa específica (g/cm ³)	2,82	2,80	2,63

O agregado miúdo enquadra-se no limite superior da BS-1200/76.

TABELA A4.2 - Características do cimento CP II-Z 32

Análise física		Análise química		Análise mecânica	
Ensaio	Teor (%)	Ensaio	Teor (%)	Idade (dias)	Resistência (MPa)
Peneira # 0,075mm	1,28	Perda ao fogo	5,17	1	12,7
Peneira # 0,045mm	8,06	CaO livre	1,66	3	24,0
Água da pasta de consistência normal	28,6	Resíduo insolúvel	12,60	7	28,9
Massa específica (g/cm ³)	2,97	Si ₂ O ₂	21,56	28	34,1
Blaine (m ² /kg)	3,592	Al ₂ O ₃	6,63		
Início de pega (min)	186	Fe ₂ O ₃	3,04		
Fim de pega (min)	240	CaO	54,08		
		MgO	4,48		
		SO ₃	2,58		

TABELA A4.3 - Características da cal hidratada

Componente	Teor (%)
CaO	37,87
MgO	25,49
Perda ao fogo (incluindo H ₂ O e CO ₂)	26,55
Resíduo insolúvel	8,97
Massa unitária (g/cm ³)	0,68
Massa específica (g/cm ³)	2,51

ANEXO 5 – RESULTADOS DO ESTADO

ENDURECIDO DA AVALIAÇÃO EM LABORATÓRIO

ENSAIOS DE BLOCOS

ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

C.P. NR.	DIMENSÕES (cm)			ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)	PESO (gramas)
	Largura	Altura	Comp.				
01	14,0	19,0	39,2	546,84	331,3	6,06	11.090
02	14,0	19,0	39,3	550,20	410,7	7,47	11.150
03	14,0	19,0	39,0	546,00	437,8	8,02	11.140
04	14,1	19,0	39,1	551,31	464,9	8,43	11.060
05	14,2	19,0	39,1	555,22	423,8	7,63	11.090
06	13,9	19,0	39,1	543,49	395,8	7,28	11.090

Resistência Média:	7,48	MPa
Coefficiente de variação:	10,83	%

C.P. NR.	DIMENSÕES (cm)			ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)	PESO (gramas)
	Largura	Altura	Comp.				
07	13,9	19,0	39,2	544,88	379,0	6,96	11.090
08	14,0	19,0	39,1	547,40	369,6	6,75	11.150
09	14,0	19,0	39,1	547,40	411,7	7,52	11.140
10	14,0	19,0	39,2	548,80	379,0	6,91	11.060
11	14,0	19,0	39,2	548,80	397,7	7,25	11.090
12	14,0	19,0	39,0	546,00	393,0	7,20	11.090

Resistência Média:	7,10	MPa
Coefficiente de variação:	3,92	%

DETERMINAÇÃO DA ÁREA LÍQUIDA

N	Área Bruta (cm ²)	Área Líquida (cm ²)	Al/Ab
1	546,00	295,50	54,12%
2	546,00	291,01	53,30%
3	546,00	288,89	52,91%
Média:		291,80	53,44%
CV (%):		1,16	1,16

UMIDADE E ABSORÇÃO

N	Peso Inicial (Kg)	Peso Estufa (Kg)	Peso Final (Kg)	Umidade (%)	Absorção (%)
1	11,11	10,82	11,88	2,68	9,80
2	10,98	10,66	11,88	3,00	11,44
3	11,07	10,76	11,79	2,88	9,57
Média:				2,85	10,27
CV (%):				5,69	9,95

ENSAIOS DA ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA

ARGAMASSA I1

ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

C.P. 5X10 NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)
01	19,63	12,87	6,56
02	19,63	12,58	6,41
03	19,63	13,84	7,05
04	19,63	14,71	7,49
Resistência Média (MPa)			6,88
Desvio-padrão (MPa)			0,49
Coeficiente de variação (%)			7,19

CP 4x4x8 NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)
01	16,00	10,26	6,41
02	16,00	10,93	6,83
Resistência Média (MPa)			6,62
Coeficiente de variação (%)			4,53

ENSAIOS DE DEFORMAÇÃO

Média dos CPs

CARGA (KN)	TENSÃO (MPa)	DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA
0,00	0,00	0,00000E+00
0,76	0,39	6,50846E-05
1,73	0,88	1,36419E-04
2,70	1,38	2,17434E-04
3,67	1,87	2,91588E-04
4,64	2,36	3,74812E-04
5,61	2,86	4,69925E-04
6,58	3,35	5,61913E-04
7,54	3,84	6,71429E-04
8,51	4,34	7,84680E-04

ARGAMASSA I2

ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

C.P. 5X10 NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)
01	19,63	13,74	7,00
02	19,63	13,16	6,70
03	19,63	12,78	6,51
04	19,63	13,55	6,90
Resistência Média (MPa)			6,78
Desvio-padrão (MPa)			0,22
Coeficiente de variação (%)			3,23

CP 4x4x8 NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)
01	16,00	9,87	6,17
02	16,00	10,93	6,83
Resistência Média (MPa)			6,50
Coeficiente de variação (%)			7,24

ENSAIOS DE DEFORMAÇÃO

Média dos CPs

CARGA (KN)	TENSÃO (MPa)	DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA
0,00	0,00	0,00000E+00
0,76	0,39	8,71666E-05
1,73	0,88	1,92583E-04
2,70	1,38	2,60623E-04
3,67	1,87	3,24744E-04
4,64	2,36	4,14733E-04
5,61	2,86	5,04722E-04
6,58	3,35	6,10796E-04
7,54	3,84	7,16871E-04
8,51	4,34	8,71200E-04
9,48	4,83	1,03857E-03

ARGAMASSA I3

ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

C.P. 5X10 NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)
01	19,63	13,07	6,65
02	19,63	13,16	6,70
03	19,63	13,65	6,95
04	19,63	13,84	7,05
Resistência Média (MPa)			6,84
Desvio-padrão (MPa)			0,19
Coeficiente de variação (%)			2,79

CP 4x4x8 NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)
01	16,00	9,97	6,23
02	16,00	10,45	6,53
Resistência Média (MPa)			6,38
Coeficiente de variação (%)			3,36

ENSAIOS DE DEFORMAÇÃO

Média dos CPs

CARGA (KN)	TENSÃO (MPa)	DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA
0,00	0,00	0,00000E+00
0,76	0,39	3,90487E-05
1,73	0,88	9,72345E-05
2,70	1,38	1,62445E-04
3,67	1,87	2,39768E-04
4,64	2,36	3,23728E-04
5,61	2,86	4,07688E-04
6,58	3,35	5,04148E-04
7,54	3,84	6,07246E-04
8,51	4,34	7,36117E-04

ENSAIOS DA ARGAMASSA MISTA

ARGAMASSA Fm

ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

C.P. 5X10 NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)
01	19,63	8,03	4,09
02	19,63	8,80	4,48
03	19,63	8,42	4,29
04	19,63	8,51	4,34
Resistência Média (MPa)			4,30
Desvio-padrão (MPa)			0,16
Coeficiente de variação (%)			3,79

CP 4x4x8 NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)
01	16,00	6,96	4,35
02	16,00	6,58	4,11
Resistência Média (MPa)			4,23
Coeficiente de variação (%)			4,05

ENSAIOS DE DEFORMAÇÃO

Média dos CPs

CARGA (KN)	TENSÃO (MPa)	DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA
0,00	0,00	0,00000E+00
0,76	0,39	5,59748E-04
1,73	0,88	7,17898E-04
2,70	1,38	8,58491E-04
3,67	1,87	1,02699E-03
4,64	2,36	1,21318E-03
5,61	2,86	1,44444E-03

ARGAMASSA Mm

ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

C.P. 5X10 NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)
01	19,63	14,13	7,20
02	19,63	15,20	7,74
03	19,63	14,62	7,44
04	19,63	16,65	8,48
Resistência Média (MPa)			7,72
Desvio-padrão (MPa)			0,56
Coeficiente de variação (%)			7,21

CP 4x4x8 NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)
01	16,00	8,80	5,50
02	16,00	8,80	5,50
Resistência Média (MPa)			5,50
Coeficiente de variação (%)			0,00

ENSAIOS DE DEFORMAÇÃO

Média dos CPs

CARGA (KN)	TENSÃO (MPa)	DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA
0,00	0,00	0,00000E+00
0,76	0,39	2,67878E-05
1,73	0,88	8,03635E-05
2,70	1,38	1,47333E-04
3,67	1,87	2,07546E-04
4,64	2,36	2,87790E-04
5,61	2,86	3,74671E-04
6,58	3,35	4,61672E-04
7,54	3,84	5,68584E-04
8,51	4,34	6,75616E-04
9,48	4,83	8,02559E-04

ARGAMASSA Gm

ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

C.P. 5X10 NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)
01	19,63	16,07	8,18
02	19,63	17,52	8,92
03	19,63	16,36	8,33
04	19,63	16,46	8,38
Resistência Média (MPa)			8,46
Desvio-padrão (MPa)			0,32
Coeficiente de variação (%)			3,83

CP 4x4x8 NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)
01	16,00	13,45	8,41
02	16,00	13,16	8,23
Resistência Média (MPa)			8,32
Coeficiente de variação (%)			1,54

ENSAIOS DE DEFORMAÇÃO

Média dos CPs

CARGA (KN)	TENSÃO (MPa)	DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA
0,00	0,00	0,00000E+00
0,76	0,39	2,46650E-05
1,73	0,88	7,40279E-05
2,70	1,38	1,30400E-04
3,67	1,87	1,97320E-04
4,64	2,36	2,57197E-04
5,61	2,86	3,31159E-04
6,58	3,35	4,05120E-04
7,54	3,84	4,96672E-04
8,51	4,34	5,84685E-04
9,48	4,83	6,90288E-04
10,45	5,32	8,24094E-04
11,42	5,82	9,71952E-04

ENSAIOS DA ARGAMASSA MISTA

ARGAMASSA FI

ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

C.P. 5X10 NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)
01	19,63	9,97	5,08
02	19,63	8,80	4,48
03	19,63	8,13	4,14
04	19,63	9,58	4,88
Resistência Média (MPa)			4,64
Desvio-padrão (MPa)			0,42
Coeficiente de variação (%)			8,99

CP 4x4x8 NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)
01	16,00	6,77	4,23
02	16,00	6,58	4,11
Resistência Média (MPa)			4,17
Coeficiente de variação (%)			2,05

ENSAIOS DE DEFORMAÇÃO

Média dos CPs

CARGA (KN)	TENSÃO (MPa)	DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA
0,00	0,00	0,00000E+00
0,76	0,39	9,11967E-05
1,73	0,88	2,19652E-04
2,70	1,38	3,61547E-04
3,67	1,87	5,20958E-04
4,64	2,36	7,23651E-04
5,61	2,86	9,76207E-04
6,58	3,35	1,30272E-03

ARGAMASSA MI

ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

C.P. 5X10 NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)
01	19,63	10,93	5,57
02	19,63	11,03	5,62
03	19,63	11,03	5,62
04	19,63	10,64	5,42
Resistência Média (MPa)			5,56
Desvio-padrão (MPa)			0,09
Coeficiente de variação (%)			1,68

CP 4x4x8 NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)
01	16,00	8,51	5,32
02	16,00	8,32	5,20
Resistência Média (MPa)			5,26
Coeficiente de variação (%)			1,63

ENSAIOS DE DEFORMAÇÃO

Média dos CPs

CARGA (KN)	TENSÃO (MPa)	DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA
0,00	0,00	0,00000E+00
0,76	0,39	4,64602E-05
1,73	0,88	1,32743E-04
2,70	1,38	2,15708E-04
3,67	1,87	3,21903E-04
4,64	2,36	4,44690E-04
5,61	2,86	6,07301E-04
7,00	3,57	7,89823E-04
7,54	3,84	1,03540E-03

ARGAMASSA GI

ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

C.P. 5X10 NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)
01	19,63	12,58	6,41
02	19,63	16,75	8,53
03	19,63	17,14	8,73
04	19,63	15,97	8,13
Resistência Média (MPa)			8,46
Desvio-padrão (MPa)			0,30
Coeficiente de variação (%)			3,56

CP 4x4x8 NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)
01	16,00	12,00	7,50
02	16,00	12,10	7,56
Resistência Média (MPa)			7,53
Coeficiente de variação (%)			0,57

ENSAIOS DE DEFORMAÇÃO

Média dos CPs

CARGA (KN)	TENSÃO (MPa)	DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA
0,00	0,00	0,00000E+00
0,76	0,39	6,93277E-05
1,73	0,88	1,26050E-04
2,70	1,38	2,14286E-04
3,67	1,87	2,71008E-04
4,64	2,36	3,40336E-04
5,61	2,86	4,28571E-04
6,58	3,35	5,29412E-04
7,54	3,84	6,17647E-04
8,51	4,34	7,37395E-04
9,48	4,83	8,82353E-04

ENSAIOS DA ARGAMASSA MISTA

ARGAMASSA Fg

ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

C.P. 5X10 NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)
01	19,63	10,55	5,37
02	19,63	10,93	5,57
03	19,63	10,45	5,32
04	19,63	11,61	5,91
Resistência Média (MPa)			5,54
Desvio-padrão (MPa)			0,27
Coeficiente de variação (%)			4,85

CP 4x4x8 NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)
01	16,00	7,16	4,47
02	16,00	7,64	4,78
Resistência Média (MPa)			4,62
Coeficiente de variação (%)			4,63

ENSAIOS DE DEFORMAÇÃO

Média dos CPs

CARGA (KN)	TENSÃO (MPa)	DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA
0,00	0,00	0,00000E+00
0,76	0,39	5,58442E-05
1,73	0,88	1,29545E-04
2,70	1,38	2,10065E-04
3,67	1,87	3,29221E-04
4,64	2,36	4,44156E-04
5,61	2,86	5,69968E-04
6,58	3,35	7,09578E-04
7,54	3,84	8,90909E-04

ARGAMASSA Mg

ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

C.P. 5X10 NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)
01	19,63	12,78	6,51
02	19,63	12,29	6,26
03	19,63	12,87	6,56
04	19,63	12,48	6,36
Resistência Média (MPa)			6,42
Desvio-padrão (MPa)			0,14
Coeficiente de variação (%)			2,12

CP 4x4x8 NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)
01	16,00	9,58	5,99
02	16,00	10,45	6,53
Resistência Média (MPa)			6,26
Coeficiente de variação (%)			6,16

ENSAIOS DE DEFORMAÇÃO

Média dos CPs

CARGA (KN)	TENSÃO (MPa)	DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA
0,00	0,00	0,00000E+00
0,76	0,39	3,35479E-05
1,73	0,88	1,07462E-04
2,70	1,38	1,95012E-04
3,67	1,87	2,82381E-04
4,64	2,36	3,90205E-04
5,61	2,86	4,97848E-04
6,58	3,35	6,25764E-04
7,54	3,84	8,00865E-04
8,51	4,34	1,00951E-03

ARGAMASSA Gg

ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

C.P. 5X10 NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)
01	19,63	18,39	9,37
02	19,63	19,36	9,86
03	19,63	18,93	9,64
04	19,63	19,46	9,91
Resistência Média (MPa)			9,70
Desvio-padrão (MPa)			0,25
Coeficiente de variação (%)			2,56

CP 4x4x8 NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)
01	16,00	13,07	8,17
02	16,00		
Resistência Média (MPa)			8,17
Coeficiente de variação (%)			

ENSAIOS DE DEFORMAÇÃO

Média dos CPs

CARGA (KN)	TENSÃO (MPa)	DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA
0,00	0,00	0,00000E+00
1,73	0,88	6,33013E-05
3,67	1,87	1,83494E-04
5,61	2,86	2,84776E-04
7,54	3,84	4,30288E-04
9,48	4,83	5,97997E-04
11,42	5,82	8,28846E-04
13,36	6,80	1,11362E-03

ENSAIOS DOS PRISMAS COM ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA

PRISMA I2

ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

C.P. NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)	FATOR DE EFICIENCIA
01	546,00	259,61	4,75	0,64
02	546,00	269,74	4,94	0,66
03	546,00	284,48	5,21	0,70
04	546,00	315,80	5,78	0,77
Média			5,17	0,69
Desvio-padrão			0,45	0,06
Coeficiente de variação (%)			8,67	8,67

Resistência Média Bloco (MPa)	7,48
Resistência Média Argamassa (MPa)	6,88

ENSAIOS DE DEFORMAÇÃO

Média dos Exemplares

CARGA (KN)	TENSAO (MPa)	ε	
		Prisma	Junta
0,00	0,00	0,00000E+00	0,00000E+00
11,83	0,41	2,62990E-05	1,51793E-04
30,26	1,04	5,50991E-05	4,80121E-04
48,68	1,67	8,76838E-05	1,11873E-03
67,10	2,30	1,22186E-04	1,53682E-03
85,52	2,93	1,60135E-04	1,98070E-03
103,94	3,56	2,03707E-04	2,47943E-03
122,37	4,19	2,53514E-04	3,23826E-03
140,79	4,82	3,10839E-04	3,87090E-03
159,21	5,46	3,31134E-04	4,85684E-03
177,63	6,09	3,82234E-04	5,83814E-03
196,05	6,72	4,62733E-04	7,31703E-03

PRISMA II

ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

C.P. NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)	FATOR DE EFICIENCIA
01	546,00	301,98	5,53	0,74
02	546,00	333,30	6,10	0,82
03	546,00	284,48	5,21	0,70
04	546,00	298,30	5,46	0,73
Média			5,58	0,75
Desvio-padrão			0,38	0,05
Coeficiente de variação (%)			6,77	6,77

Resistência Média Bloco (MPa)	7,48
Resistência Média Argamassa (MPa)	6,78

ENSAIOS DE DEFORMAÇÃO

Média dos Exemplares

CARGA (KN)	TENSAO (MPa)	ε	
		Prisma	Junta
0,00	0,00	0,00000E+00	0,00000E+00
11,83	0,41	1,49574E-05	0,00000E+00
30,26	1,04	3,73909E-05	2,68926E-05
48,68	1,67	5,98213E-05	8,87223E-05
67,10	2,30	8,72300E-05	2,58523E-04
85,52	2,93	1,18375E-04	3,32618E-04
103,94	3,56	1,49519E-04	5,58679E-04
122,37	4,19	1,70698E-04	6,52898E-04
140,79	4,82	2,21743E-04	8,76376E-04
159,21	5,46	3,48713E-04	1,04199E-03
177,63	6,09	3,89811E-04	1,34379E-03
196,05	6,72	4,85694E-04	1,65347E-03
214,476	7,35	5,55451E-04	2,06032E-03

PRISMA I3

ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

C.P. NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)	FATOR DE EFICIENCIA
01	546,00	258,69	4,74	0,63
02	546,00	221,84	4,06	0,54
03	546,00	273,43	5,01	0,67
04	546,00	286,32	5,24	0,70
Média			4,76	0,64
Desvio-padrão			0,51	0,07
Coeficiente de variação (%)			10,72	10,72

Resistência Média Bloco (MPa)	7,48
Resistência Média Argamassa (MPa)	6,84

ENSAIOS DE DEFORMAÇÃO

Média dos Exemplares

CARGA (KN)	TENSAO (MPa)	ε	
		Prisma	Junta
0,00	0,00	0,00000E+00	0,00000E+00
11,83	0,41	5,04235E-05	2,56972E-04
30,26	1,04	1,03377E-04	5,56976E-04
48,68	1,67	1,60118E-04	7,78948E-04
67,10	2,30	2,20005E-04	8,82159E-04
85,52	2,93	2,87456E-04	1,45409E-03
103,94	3,56	3,59330E-04	2,14580E-03
122,37	4,19	4,45699E-04	3,13818E-03
140,79	4,82	5,39629E-04	4,82728E-03
159,21	5,46	6,53099E-04	7,28198E-03

ENSAIOS DOS PRISMAS COM ARGAMASSA MISTA

PRISMA Fm

ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

C.P. NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)	FATOR DE EFICIENCIA
01	546,00	344,35	6,31	0,89
02	546,00	280,80	5,14	0,72
03	546,00	282,64	5,18	0,73
04	546,00	317,64	5,82	0,82
Média			5,61	0,79
Desvio-padrão			0,56	0,08
Coeficiente de variação (%)			9,95	9,95

Resistência Média Bloco (MPa)	7,10
Resistência Média Argamassa (MPa)	4,30

ENSAIOS DE DEFORMAÇÃO

Média dos Exemplares

CARGA (KN)	TENSAO (MPa)	ε Prisma	ε Junta
0,00	0,00	0,00000E+00	0,00000E+00
11,83	0,41	2,03393E-05	6,82175E-05
30,26	1,04	5,50839E-05	1,59010E-04
48,68	1,67	9,32847E-05	3,96250E-04
67,10	2,30	1,37140E-04	7,54701E-04
85,52	2,93	1,87892E-04	1,28019E-03
103,94	3,56	2,47739E-04	1,94016E-03
122,37	4,19	3,16352E-04	3,30634E-03
140,79	4,82	4,01571E-04	4,93160E-03
159,21	5,46	4,54741E-04	6,84058E-03
177,63	6,09	5,12691E-04	8,09679E-03
196,05	6,72	6,12298E-04	1,15310E-02
214,48	7,35	7,37074E-04	1,26404E-02

PRISMA Mm

ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

C.P. NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)	FATOR DE EFICIENCIA
01	546,00	267,44		
02	546,00	335,14	6,14	0,86
03	546,00	297,84	5,45	0,77
04	546,00	315,34	5,78	0,81
Média			5,79	0,82
Desvio-padrão			0,34	0,05
Coeficiente de variação (%)			5,90	5,90

Resistência Média Bloco (MPa)	7,10
Resistência Média Argamassa (MPa)	7,72

ENSAIOS DE DEFORMAÇÃO

Média dos Exemplares

CARGA (KN)	TENSAO (MPa)	ε Prisma	ε Junta
0,00	0,00	0,00000E+00	0,00000E+00
11,83	0,41	8,28055E-05	3,16625E-05
30,26	1,04	1,26731E-04	2,60595E-04
48,68	1,67	1,69447E-04	2,67082E-04
67,10	2,30	2,17217E-04	5,89781E-04
85,52	2,93	2,68764E-04	8,54194E-04
103,94	3,56	3,32889E-04	1,19374E-03
122,37	4,19	4,05824E-04	2,04337E-03
140,79	4,82	4,88814E-04	2,49665E-03
159,21	5,46	5,81867E-04	3,23183E-03
177,63	6,09	6,90022E-04	6,65065E-03
194,86	6,72	8,08247E-04	
212,98	7,35	9,80661E-04	

PRISMA Gm

ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

C.P. NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)	FATOR DE EFICIENCIA
01	546,00	312,57	5,72	0,81
02	546,00	313,95	5,75	0,81
03	546,00	290,93	5,33	0,75
04	546,00	327,77	6,00	0,85
Média			5,70	0,80
Desvio-padrão			0,28	0,04
Coeficiente de variação (%)			4,89	4,89

Resistência Média Bloco (MPa)	7,10
Resistência Média Argamassa (MPa)	8,46

ENSAIOS DE DEFORMAÇÃO

Média dos Exemplares

CARGA (KN)	TENSAO (MPa)	ε Prisma	ε Junta
0,00	0,00	0,00000E+00	0,00000E+00
11,83	0,41	5,67452E-05	2,03433E-04
30,26	1,04	9,17110E-05	3,35617E-04
48,68	1,67	1,34296E-04	4,92859E-04
67,10	2,30	1,80050E-04	6,90500E-04
85,52	2,93	2,18808E-04	9,40025E-04
103,94	3,56	2,54378E-04	1,12311E-03
122,37	4,19	3,08383E-04	1,39882E-03
140,79	4,82	3,74448E-04	1,99005E-03
159,21	5,46	4,52567E-04	2,62469E-03

ENSAIOS DOS PRISMAS COM ARGAMASSA MISTA

PRISMA Fi

ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

C.P. NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)	FATOR DE EFICIENCIA
01	546,00	300,60	5,51	0,78
02	546,00	313,03	5,73	0,81
03	546,00			
04	546,00	317,64	5,82	0,82
Média			5,69	0,80
Desvio-padrão			0,16	0,02
Coeficiente de variação (%)			2,84	2,84

Resistência Média Bloco (MPa)	7,10
Resistência Média Argamassa (MPa)	4,64

ENSAIOS DE DEFORMAÇÃO

Média dos Exemplares

CARGA (KN)	TENSAO (MPa)	ε Prisma	ε Junta
0,00	0,00	0,00000E+00	0,00000E+00
11,83	0,41	2,70329E-05	4,02332E-04
30,26	1,04	5,87310E-05	9,57121E-04
48,68	1,67	9,40357E-05	1,44185E-03
67,10	2,30	1,35810E-04	2,04267E-03
85,52	2,93	1,85060E-04	2,43698E-03
103,94	3,56	2,45127E-04	2,92594E-03
122,37	4,19	3,29097E-04	3,47502E-03
140,79	4,82	3,69301E-04	3,80478E-03
159,21	5,46	4,32092E-04	4,36242E-03
177,63	6,09	5,17928E-04	4,91847E-03
196,05	6,72	6,36525E-04	5,25577E-03
214,48	7,35	7,70755E-04	6,46836E-03

PRISMA Mi

ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

C.P. NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)	FATOR DE EFICIENCIA
01	546,00	327,31	5,99	0,84
02	546,00	345,27	6,32	0,89
03	546,00	320,40	5,87	0,83
04	546,00	345,27	6,32	0,89
Média			6,17	0,86
Desvio-padrão			0,26	0,04
Coeficiente de variação (%)			4,26	4,29

Resistência Média Bloco (MPa)	7,10
Resistência Média Argamassa (MPa)	5,56

ENSAIOS DE DEFORMAÇÃO

Média dos Exemplares

CARGA (KN)	TENSAO (MPa)	ε Prisma	ε Junta
0,00	0,00	0,00000E+00	0,00000E+00
11,83	0,41	4,15498E-05	3,87604E-05
30,26	1,04	8,50093E-05	7,29912E-05
48,68	1,67	1,33189E-04	1,28341E-04
67,10	2,30	1,82608E-04	2,27443E-04
85,52	2,93	2,34857E-04	3,44279E-04
103,94	3,56	2,90243E-04	6,12309E-04
122,37	4,19	3,48126E-04	1,03687E-03
140,79	4,82	4,15459E-04	1,61773E-03
159,21	5,46	4,85935E-04	2,10050E-03
177,63	6,09	5,64587E-04	2,91717E-03
196,05	6,72	6,48280E-04	4,26588E-03
214,476	7,35	7,38202E-04	6,72080E-03
232,90	7,98	9,16692E-04	

PRISMA Gi

ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

C.P. NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)	FATOR DE EFICIENCIA
01	546,00	360,01	6,59	0,93
02	546,00	302,90	5,55	0,78
03	546,00	308,43	5,65	0,80
04	546,00	297,38	5,45	0,77
Média			5,81	0,82
Desvio-padrão			0,53	0,07
Coeficiente de variação (%)			9,11	9,11

Resistência Média Bloco (MPa)	7,10
-------------------------------	------

ENSAIOS DE DEFORMAÇÃO

Média dos Exemplares

CARGA (KN)	TENSAO (MPa)	ε Prisma	ε Junta
0,00	0,00	0,00000E+00	0,00000E+00
11,83	0,41	3,27882E-05	
30,26	1,04	6,96447E-05	2,48652E-04
48,68	1,67	1,16640E-04	9,85947E-04
67,10	2,30	1,53064E-04	1,32043E-03
85,52	2,93	2,00064E-04	1,97831E-03
103,94	3,56	2,45873E-04	2,84480E-03
122,37	4,19	2,96499E-04	3,52913E-03
140,79	4,82	3,53954E-04	4,33297E-03

ENSAIOS DOS PRISMAS COM ARGAMASSA MISTA

PRISMA Fg

ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

C.P. NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)	FATOR DE EFICIENCIA
01	546,00	273,43	5,01	0,71
02	546,00	291,85	5,35	0,75
03	546,00	295,53	5,41	0,76
04	546,00	267,90	4,91	0,69
Média			5,17	0,73
Desvio-padrão			0,25	0,04
Coeficiente de variação (%)			4,81	4,81

Resistência Média Bloco (MPa)	7,10
Resistência Média Argamassa (MPa)	5,54

ENSAIOS DE DEFORMAÇÃO

Média dos Exemplares

CARGA (KN)	TENSAO (MPa)	ε Prisma	ε Junta
0,00	0,00	0,00000E+00	0,00000E+00
11,83	0,41	7,85971E-05	8,99726E-05
30,26	1,04	1,48745E-04	1,21554E-04
48,68	1,67	2,22741E-04	2,08547E-04
67,10	2,30	3,05753E-04	8,69626E-04
85,52	2,93	3,90005E-04	1,24354E-03
103,94	3,56	4,83650E-04	2,18757E-03
122,37	4,19	5,89883E-04	3,06337E-03
140,79	4,82	6,96809E-04	4,10538E-03
159,21	5,46	8,06154E-04	5,01264E-03
177,63	6,09	9,28640E-04	6,33554E-03
196,05	6,72	1,04535E-03	

PRISMA Mg

ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

C.P. NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)	FATOR DE EFICIENCIA
01	546,00	324,09	5,94	0,84
02	546,00	338,82	6,21	0,87
03	546,00	321,32	5,89	0,83
04	546,00	314,88	5,77	0,81
Média			5,95	0,84
Desvio-padrão			0,23	0,03
Coeficiente de variação (%)			3,81	3,82

Resistência Média Bloco (MPa)	7,10
Resistência Média Argamassa (MPa)	6,42

ENSAIOS DE DEFORMAÇÃO

Média dos Exemplares

CARGA (KN)	TENSAO (MPa)	ε Prisma	ε Junta
0,00	0,00	0,00000E+00	0,00000E+00
11,83	0,41	4,66950E-05	6,28417E-04
30,26	1,04	9,64522E-05	7,59034E-04
48,68	1,67	1,49342E-04	8,89651E-04
67,10	2,30	2,06636E-04	1,09358E-03
85,52	2,93	2,63945E-04	1,20810E-03
103,94	3,56	3,30035E-04	1,59243E-03
122,37	4,19	3,96754E-04	1,86451E-03
140,79	4,82	4,75430E-04	2,34808E-03
159,21	5,46	5,61023E-04	3,10596E-03
177,63	6,09	6,47245E-04	3,84445E-03
196,05	6,72	7,56099E-04	4,73199E-03
214,476	7,35	8,86887E-04	5,98018E-03

PRISMA Gg

ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

C.P. NR.	ÁREA (cm ²)	CARGA (KN)	RESISTÊNCIA (MPa)	FATOR DE EFICIENCIA
01	546,00	323,17	5,92	0,83
02	546,00	336,52	6,16	0,87
03	546,00	328,69	6,02	0,85
04	546,00	361,85	6,63	0,93
Média			6,18	0,87
Desvio-padrão			0,31	0,04
Coeficiente de variação (%)			5,07	5,07

Resistência Média Bloco (MPa)	7,10
Resistência Média Argamassa (MPa)	9,70

ENSAIOS DE DEFORMAÇÃO

Média dos Exemplares

CARGA (KN)	TENSAO (MPa)	ε Prisma	ε Junta
0,00	0,00	0,00000E+00	0,00000E+00
11,83	0,41	4,09407E-05	2,25669E-04
30,26	1,04	8,21957E-05	4,07397E-04
48,68	1,67	1,23452E-04	7,26782E-04
67,10	2,30	1,66876E-04	1,11086E-03
85,52	2,93	2,16603E-04	1,66163E-03
103,94	3,56	2,66926E-04	2,58086E-03
122,37	4,19	3,18504E-04	3,90885E-03
140,79	4,82	3,76983E-04	5,32077E-03
159,21	5,46	4,41091E-04	6,95222E-03
177,63	6,09	5,14658E-04	8,99831E-03