

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

**“ESPECIFICAÇÃO, EXECUÇÃO E CONTROLE DE ALVENARIA ESTRUTURAL
EM BLOCOS CERÂMICOS DE ACORDO COM A NBR 15812”**

MÁRCIA MARIA MELO SOARES

São Carlos
2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

**“ESPECIFICAÇÃO, EXECUÇÃO E CONTROLE DE ALVENARIA ESTRUTURAL
EM BLOCOS CERÂMICOS DE ACORDO COM A NBR 15812”**

MÁRCIA MARIA MELO SOARES

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

Área de Concentração: Sistemas Construtivos de Edificações

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Aris Parsekian

São Carlos

2011

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

S676ee

Soares, Márcia Maria Melo.

Especificação, execução e controle de alvenaria estrutural em blocos cerâmicos de acordo com a NBR 15812 / Márcia Maria Melo Soares. -- São Carlos : UFSCar, 2012.
187 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2011.

1. Construção civil. 2. Alvenaria estrutural. 3. Blocos de cerâmica. 4. Graute. I. Título.

CDD: 690 (20^a)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
Programa de Pós-Graduação em Construção Civil
Rod. Washington Luís, Km 235
13565-905 – São Carlos – SP
Fone: (16) 3351-8261 Fax (16) 3351-8262
e-mail: ppgciv@ufscar.br site: www.ppgciv.ufscar.br

**“ESPECIFICAÇÃO, EXECUÇÃO E CONTROLE DE ALVENARIA ESTRUTURAL EM BLOCOS
CERÂMICOS DE ACORDO COM A NBR 15812”**

MÁRCIA MARIA MELO SOARES

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em dois de dezembro de 2011.

Banca Examinadora constituída pelos membros:



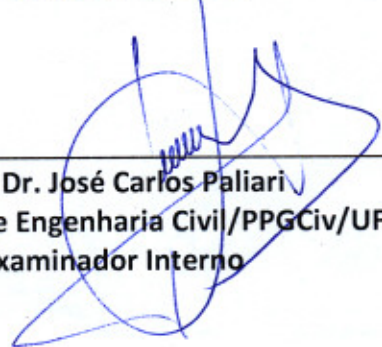
Prof. Dr. Guilherme Aris Parsekian

**Departamento de Engenharia Civil/PPGCiv/UFSCar
Orientador**



Prof. Dr. Alberto Casado Lordsleem Junior

**Escola Politécnica da UPE
Examinador Externo**



Prof. Dr. José Carlos Paliari

**Departamento de Engenharia Civil/PPGCiv/UFSCar
Examinador Interno**

DEDICATÓRIA

Dedico a meus pais, Alair e Maria Rodrigues,
ao meu marido Eduardo e
as minhas filhas, Tainá e Yasmin.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, saúde e coragem para poder enfrentar os novos desafios e sempre superá-los.

Especialmente ao prof. Guilherme Parsekian, não apenas pela competente orientação, mas principalmente pelo incentivo, amizade e apoio.

À minha família, pelo apoio incondicional.

Ao prof. Fernando Menezes de Almeida Filho, pela inestimável colaboração na realização dos ensaios, e a todos os responsáveis pelo NETPRE e Laboratório de Sistemas Estruturais do DECiv.

Ao técnico, graduando e amigo, Gregory Lee Pinheiro, pela grande ajuda, paciência e dedicação durante a realização dos ensaios.

Ao Marco Albano, pela grande colaboração e dedicação no decorrer dos ensaios.

Ao Departamento de Materiais da UFSCar, pela colaboração na realização dos ensaios de argamassa.

À empresa Selecta, pela doação dos blocos e pelo incentivo à pesquisa e conhecimento.

À Argamais, fabricante de argamassa, pela doação do material e incentivo à pesquisa.

Aos colegas e professores do PPGCiv.

RESUMO

Este trabalho trata da especificação, execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos conforme a NBR 15812 (ABNT, 2010). Na etapa de especificação foi avaliada, através de ensaios, a resistência à compressão de argamassas, blocos, grautes, prismas e paredes, constituídos por diversas combinações, concluindo, para os materiais estudados os seus respectivos fatores de eficiência. Foram estabelecidas relações de resistência à compressão de blocos e prismas ocos e cheios por argamassa ou graute. Foi verificada a perda na resistência de prismas quando a argamassa é dosada com excesso de água. Também se verificou a variação da resistência de prisma cheio quando melhorado o procedimento executivo através da execução de re-adensamento. Por fim, foram sistematizadas a execução e controle de obras de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos de acordo com a bibliografia existente e recomendações da NBR 15812 (ABNT, 2010).

Palavras-chave: Alvenaria Estrutural. Blocos cerâmicos. Graute.

ABSTRACT

This dissertation refers to the specification, execution and build's control in masonry structural of ceramic blocks, according to the current standard ABNT NBR 15812 (ABNT, 2010). The specification was evaluated by testing the compressive strength of mortar, blocks, grout, prisms and walls, which are materials constituted of various combinations, in order to define their efficiency factors. The relationship between the compressive strength in hollow blocks and prism and in blocks filled up with mortar or grout has been established, showing, as result, loss of strength in prism when the mortar was dosed with excess water. Also, there was a variation in resistance of the filled prism when the executive procedure was improved by the implementation of re-densification. Finally, It was explained the execution and build's control in masonry structural of ceramic blocks, according to the existing literature and recommendations of NBR 15812 (ABNT, 2010).

Key words: Structural Masonry. Ceramic blocks. Grout.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Bloco cerâmico 14x19x29	23
Figura 2 –	Vista lateral e frontal da Extrusão	25
Figura 3 –	Paletização dos blocos cerâmicos	27
Figura 4 –	Classificação dos blocos quanto à forma	31
Figura 5 –	Ancoragem argamassa/bloco	37
Figura 6 –	Exemplo do teste de arrancamento – Extraída de Biggs (2005)	51
Figura 7 –	Teste de arrancamento	51
Figura 8 –	Resultado do teste de arrancamento.	54
Figura 9 –	Unidades especiais para grauteamento.	57
Figura 10 –	Sensor de capacitância	62
Figura 11 –	Campo elétrico e linhas equipotencias obtidas através do FEM	63
Figura 12 –	Penetração do campo elétrico através do material	64
Figura 13 –	Avaliação das propriedades dielétricas dos materiais	65
Figura 14 –	Modelo de teste em alvenaria	66
Figura 15 –	Medições de capacitância para diferentes células da parede	67
Figura 16 –	Prismas de dois blocos cerâmicos	69
Figura 17 –	Ensaio de resistência à compressão da argamassa	79
Figura 18 –	Exemplo de corpo-de-prova de graute (10x20cm)	79
Figura 19 –	Exemplos de grupos de prismas moldados	80
Figura 20 –	Ensaio de resistência à compressão de prismas	80
Figura 21 –	Parede sendo confeccionada sobre chapas metálicas	81
Figura 22 –	Preenchimento das juntas horizontais e verticais da parede	81
Figura 23 –	Medidas e esquema de ensaio de compressão das paredes	82
Figura 24 –	Extensômetros verticais e horizontais instalados	82
Figura 25 –	Paredes do grupo 1 (paredes 1, 2 e 3)	83
Figura 26 –	Paredes do grupo 3 (paredes 4,5 e 6)	83
Figura 27 –	Prismas de 5 blocos	84
Figura 28 –	Forma de colocação da argamassa nos prismas de aderência	84
Figura 29 –	Parede P1 com instrumentação	96
Figura 30 –	Modo de ruptura da Parede P1 (trinca vertical)	96
Figura 31 –	Parede P1 após ruptura	97
Figura 32 –	Parede P2 com instrumentação	97
Figura 33 –	Modo de ruptura da parede P2 (trinca vertical)	98
Figura 34 –	Parede P2 após ruptura	99
Figura 35 –	Parede P3 com instrumentação	99
Figura 36 –	Forma de ruptura da Parede P3 (trinca vertical)	100
Figura 37 –	Parede P3 após ruptura	100
Figura 38 –	Parede P7 com instrumentação	101
Figura 39 –	Forma de ruptura da Parede P7 (trinca vertical)	101
Figura 40 –	Parede P7 – Após ruptura	102
Figura 41 –	Parede P8 com instrumentação	102
Figura 42 –	Forma de ruptura da Parede P8 (trinca vertical)	103
Figura 43 –	Parede P8 após ruptura	104
Figura 44 –	Parede P9 instrumentada	104
Figura 45 –	Forma de ruptura da parede P9 (trinca vertical)	105
Figura 46 –	Parede P9 após ruptura	105
Figura 47 –	Parede P4 instrumentada	106
Figura 48 –	Forma de ruptura da parede P4 (trinca vertical)	107
Figura 49 –	Parede P4 após ruptura	107

Figura 50 – Parede P5 instrumentada	107
Figura 51 – Forma de ruptura da parede P5 (trinca vertical)	108
Figura 52 – Parede P5 após ruptura	108
Figura 53 – Parede P6 instrumentada	109
Figura 54 – Forma de ruptura da parede P6 (trinca vertical)	110
Figura 55 – Parede P6 após ruptura	110
Figura 56 – Parede P10 instrumentada	111
Figura 57 – Forma de ruptura da parede P10 (trinca vertical)	112
Figura 58 – Parede P10 após ruptura	112
Figura 59 – Parede P11 instrumentada	113
Figura 60 – Parede P11 após ruptura	113
Figura 61 – Parede P12 instrumentada	114
Figura 62 – Forma de ruptura da parede P12 (trinca vertical)	115
Figura 63 – Parede P12 após ruptura	115
Figura 64 – Esquema de ensaio de aderência	117
Figura 65 – Exemplar de prisma de aderência carregado	119
Figura 66 – Exemplar de prisma de aderência rompido	119
Figura 67 – Exemplo corpos de prova tipo PA3- molhando os blocos com brocha	124
Figura 68 – Corpo-de-prova após 15 minutos do grautamento	126
Figura 69 – Prismas do grupo 12, mostrando a retração na ligação bloco/graute	127
Figura 70 – Prismas do grupo 11 sendo re-adensados	127
Figura 71 – Re-adensamento do grupo 15	128
Figura 72 – Verificação do esquadro	133
Figura 73 – Locação dos blocos estratégicos	133
Figura 74 – Uso do Nível alemão por um único operador para referência de nível	134
Figura 75 – Tolerâncias do nível da superfície dos pavimentos	135
Figura 76 – Blocos estratégicos assentados	136
Figura 77 – Finalização da primeira fiada	137
Figura 78 – Primeira fiada concluída	137
Figura 79 – Detalhe do escantilhão	138
Figura 80 – Forma de aplicação da argamassa de assentamento sobre os blocos	139
Figura 81 – Argamassa nas juntas verticais	139
Figura 82 – Assentamento com bisnaga de confeito	140
Figura 83 – Paleta para aplicação de argamassa	141
Figura 84 – Detalhe do filete de argamassa	141
Figura 85 – Elevação da Alvenaria	142
Figura 86 – Detalhe de prumo, nível e espessura das juntas	143
Figura 87 – Limite para desaprumo e desalinhamento de paredes	143
Figura 88 – Detalhe de fixação de caixa de luz	145
Figura 89 – Verga e contraverga com bloco canaleta	146
Figura 90 – Detalhes de grauteamento	147
Figura 91 – Uso de canaleta “J” e canaleta compensadora	148
Figura 92 – Descontinuidade máxima das paredes entre os andares	148
Figura 93 – Detalhe de isolamento da laje de cobertura.	149
Figura 94 – Fluxograma de controle para obras de pequena exigência estrutural	158
Figura 95 – Fluxograma para obras de maior exigência estrutural	162
Figura 96 – Exemplo de conjunto de edificações iguais	172

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Resistência à compressão de Blocos cerâmicos	30
Quadro 2 –	Classificação da argamassa	40
Quadro 3 –	Compilação de resultados de resistência à compressão de argamassas	41
Quadro 4 –	Faixas granulométricas de areias recomendadas para graute	44
Quadro 5 –	Faixa granulométrica para pedrisco/pedra 0	45
Quadro 6 –	Sugestões de dosagem de grautes para pequenas obras	45
Quadro 7 –	Especificação dos traços de argamassas	50
Quadro 8 –	Tipos de argamassas avaliadas	52
Quadro 9 –	Resistência à compressão das argamassas de preenchimento (MPa)	52
Quadro 10 –	Comparação entre os resultados experimentais e teóricos	67
Quadro 11 –	Valores característicos da resistência à tração na flexão - f_{tk} (MPa)	73
Quadro 12 –	Argamassas utilizadas	75
Quadro 13 –	Grautes utilizados	75
Quadro 14 –	Ensaio de resistência à compressão de prismas	76
Quadro 15 –	Ensaio de resistência à compressão de paredes	77
Quadro 16 –	Avaliação da aderência argamassa /bloco	77
Quadro 17 –	Procedimentos e normas para caracterização da argamassa, bloco, graute, e paredes	78
Quadro 18 –	Caracterização do bloco BE30-6 lote 41610	87
Quadro 19 –	Caracterização do bloco BE30-10 lote 26409	88
Quadro 20 –	Resultados de resistência a compressão dos grupos 11 e 12	129
Quadro 21 –	Resultados de resistência a compressão dos grupos 14 e 15	129
Quadro 22 –	Comparação da eficiência blocos de 8,3 MPa	130
Quadro 23 –	Comparação da eficiência blocos de 11,1 MPa	130
Quadro 24 –	Número mínimo de corpos-de-prova por tipo de elemento de alvenaria	151
Quadro 25 –	Cálculo de f_{pk}	156
Quadro 26 –	Número mínimo de prismas a serem ensaiados	161
Quadro 27 –	f_{pk} calculado máximo por pavimento, do exemplo de projeto	163
Quadro 28 –	f_{pk} calculado máximo por pavimento	167
Quadro 29 –	f_{pk} calculado por pavimento	170
Quadro 30 –	f_{pk} calculado máximo por pavimento	171
Quadro 31 –	Resultados obtidos para conjunto de edificações iguais do exemplo	173
Quadro 32 –	Variáveis de controle da produção da alvenaria, considerando juntas de 10 mm de espessura	177

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 –	Relação entre as resistências dos CPs cilíndricos e cúbicos de argamassa, extraído de Mohamad e outros (1997)	42
Gráfico 2 –	Grupos de prismas ocos utilizando blocos de 8,3 MPa	94
Gráfico 3 –	Grupos de prismas cheios utilizando blocos de 8,3 MPa	94
Gráfico 4 –	Grupos de prismas ocos utilizando blocos de 11,1 MPa	94
Gráfico 5 –	Grupos de prismas cheios utilizando blocos de 11,1 MPa	95
Gráfico 6 –	Cargas x deslocamentos parede P1	96
Gráfico 7 –	Cargas x deslocamentos parede P2	98
Gráfico 8 –	Cargas x deslocamentos parede P3	99
Gráfico 9 –	Cargas x deslocamentos parede P7	101
Gráfico 10 –	Cargas x deslocamentos parede P8	103
Gráfico 11 –	Cargas x deslocamentos parede P9	104
Gráfico 12 –	Cargas x deslocamentos parede P4	106
Gráfico 13 –	Cargas x deslocamentos parede P5	108
Gráfico 14 –	Cargas x deslocamentos parede P6	109
Gráfico 15 –	Cargas x deslocamentos parede P10	111
Gráfico 16 –	Cargas x deslocamentos parede P11	113
Gráfico 17 –	Cargas x deslocamentos parede P12	114
Gráfico 18 –	Resumo da resistência à compressão dos componentes e elementos ensaiados	116

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Compilação de resultados resistência à compressão de grautes	46
Tabela 2 –	Resistência à compressão das amostras de grautes – (MPa)	53
Tabela 3 –	Resistência à compressão média da alvenaria por interpolação	54
Tabela 4 –	Resultados de resistência à compressão de prismas de blocos cerâmicos	70
Tabela 5 –	Resultados médios de elementos em blocos cerâmicos vazados	72
Tabela 6 –	Resultado do ensaio de granulometria da areia	85
Tabela 7 –	Resistência à compressão das argamassas	86
Tabela 8 –	Resultado de ensaio de granulometria do pedrisco	89
Tabela 9 –	Resultados da resistência à compressão dos grautes	90
Tabela 10 –	Resultados de resistências dos prismas grupo 1 ao grupo 5	91
Tabela 11 –	Resultados de resistências dos prismas grupo 6 ao grupo 12	92
Tabela 12 –	Resultados de resistências dos prismas grupo 14 ao grupo 18	93
Tabela 13 –	Resultados de resistência à compressão das paredes do grupo 1	95
Tabela 14 –	Resultados de resistência à compressão das paredes do grupo 2	100
Tabela 15 –	Resultados de resistência a compressão das paredes do grupo 3	106
Tabela 16 –	Resultados de resistência a compressão das paredes do grupo 4	110
Tabela 17 –	Resultados do ensaio de aderência	120
Tabela 18 –	Fatores de eficiência dos elementos ensaiados	121
Tabela 19 –	Comparativo da resistência das argamassas com diferentes relações a/c	123
Tabela 20 –	Comparativo da aderência em argamassas com variações da relação a/c	123

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	16
1.2	OBJETIVO GERAL.....	16
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
1.4	JUSTIFICATIVA.....	18
1.5	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	20
2	ALVENARIA ESTRUTURAL: CONCEITOS E ESPECIFICAÇÕES	21
2.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	21
2.2	DEFINIÇÃO.....	22
2.3	MATERIAIS E COMPONENTES.....	23
2.3.1	Bloco cerâmico estrutural	23
2.3.1.1	Processo de produção do bloco cerâmico.....	24
2.3.1.2	Requisitos de identificação para os blocos cerâmicos estruturais.....	27
2.3.2	Argamassa de assentamento	27
2.3.3	Graute	28
2.3.4	Argamassas industrializadas	29
2.4	PROPRIEDADES DOS BLOCOS CERÂMICOS.....	30
2.4.1	Resistência à compressão	30
2.4.2	Forma do bloco cerâmico	31
2.4.3	Precisão dimensional	31
2.4.4	Absorção de água	32
2.4.5	Absorção inicial de água	32
2.5	PROPRIEDADES DA ARGAMASSA.....	33
2.5.1	Trabalhabilidade	33
2.5.2	Índice de retenção de água	34
2.5.3	Velocidade de endurecimento	35
2.5.4	Aderência	35
2.5.5	Resiliência	38
2.5.6	Resistência à compressão da argamassa	39
2.6	PROPRIEDADES DOS GRAUTES.....	42
2.6.1	Materiais constituintes do graute	44
2.6.2	Dosagem	45
2.6.3	Resistência à compressão do graute	46
2.6.4	Graute auto adensável - National Concrete Masonry Association	46
2.6.5	Argamassa para grauteamento em substituição ao graute convencional	49
2.7	EXECUÇÃO DO GRAUTEAMENTO – SEGUNDO O NATIONAL CONCRETE MASONRY ASSOCIATION.....	56
2.8	AVALIAÇÃO NÃO DESTRUTIVA DO GRAUTEAMENTO.....	60
2.8.1	Resultados do teste	66
2.8.2	Conclusão de Nassr, Dakhkhni e Shedid (2009)	68
2.9	PRISMAS.....	69
2.10	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DA ALVENARIA.....	71
2.11	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DA ALVENARIA.....	73
3	TRABALHO EXPERIMENTAL	74
3.1	INTRODUÇÃO.....	74
3.2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	74
3.2.1	Caracterização de blocos, grautes e argamassas	77
3.2.2	Montagem dos corpos-de-prova	78
3.2.2.1	Blocos, argamassa e graute.....	78
3.2.2.2	Prismas.....	80
3.2.2.3	Paredes.....	81

3.2.2.4	Aderência.....	83
3.3	RESULTADOS DO TRABALHO EXPERIMENTAL.....	84
3.3.1	Resultados das Argamassas.....	84
3.3.1.1	Granulometria da areia.....	85
3.3.1.2	Resistência à compressão das argamassas.....	85
3.3.2	Resultados dos Blocos.....	86
3.3.3	Resultados dos Grautes.....	89
3.3.3.1	Granulometria do pedrisco.....	89
3.3.3.2	Resistência à compressão dos grautes.....	90
3.3.4	Resultados dos prismas.....	90
3.3.4.1	Resistência à compressão dos prismas.....	90
3.3.4.2	Resumo das resistências dos grupos de prismas por resistência de bloco.....	94
3.4	RESULTADOS DAS PAREDES.....	95
3.4.1	Resultado das paredes do grupo 1.....	95
3.4.2	Resultado das paredes do grupo 2.....	100
3.4.3	Resultado das paredes do grupo 3.....	106
3.4.4	Resultado das paredes do grupo 4.....	110
3.5	RESULTADOS DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA.....	116
3.5.1	Tensão máxima à flexão.....	117
3.5.2	Resistência de aderência.....	117
3.6	RELAÇÕES DE INTERESSE.....	120
3.7	ANÁLISE DOS RESULTADOS E RESPOSTAS ÀS QUESTÕES QUE MOTIVARAM O ESTUDO EXPERIMENTAL.....	122
4	EXECUÇÃO DE ALVENARIA ESTRUTURAL DE ACORDO COM A NBR 15812-2	131
4.1	PRODUÇÃO DA ALVENARIA.....	131
4.1.1	Liberação do pavimento.....	132
4.1.2	Medidas e esquadro da primeira fiada.....	132
4.1.3	Blocos estratégicos.....	133
4.1.4	Cotas acumuladas.....	134
4.1.5	Determinação da referência de nível.....	134
4.1.6	Marcação e elevação.....	135
4.1.6.1	Marcação da alvenaria.....	136
4.1.7	Elevação da alvenaria.....	138
4.1.7.1	Equipamento para assentamento dos blocos.....	140
4.1.7.2	Seqüência de elevação da alvenaria.....	141
4.2	INSTALAÇÕES ELÉTRICAS.....	144
4.3	CONFECÇÃO DAS VERGAS E CONTRAVERGAS.....	145
4.4	GRAUTEAMENTO.....	146
4.5	CINTA DE AMARRAÇÃO OU RESPALDO.....	147
4.6	CUIDADO COM A LAJE DE COBERTURA.....	149
5	CONTROLE DE EXECUÇÃO DA ALVENARIA ESTRUTURAL DE ACORDO COM A NBR 15812-2	150
5.1	CONTROLE DA RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS.....	150
5.1.1	Caracterização prévia dos materiais e da alvenaria.....	150
5.1.2	Controle dos materiais e alvenaria em obra.....	151
5.1.2.1	Controle dos blocos.....	152
5.1.2.2	Controle da argamassa.....	152
5.1.2.3	Controle do graute.....	154
5.1.3	Resistência característica estimada.....	155
5.1.4	Controle para obras de menor exigência estrutural.....	156
5.1.5	Controle para obras de maior exigência estrutural.....	159
5.1.5.1	Controle padrão.....	159

5.1.5.2	Controle otimizado.....	160
5.1.5.3	Controle otimizado para edificação isolada.....	160
5.2	ACEITAÇÃO DA ALVENARIA DO PAVIMENTO.....	176
5.3	LIMITE PARA DESAPRUMO.....	177
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	178
6.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O PROGRAMA EXPERIMENTAL DESENVOLVIDO.....	178
6.1.1	Resistência à compressão das argamassas de assentamento e graute.....	178
6.1.2	Fatores de eficiência.....	179
6.1.3	Re-adensamento do graute	180
6.1.4	Fatores de eficiência dos prismas re-adensados	180
6.1.5	Substituição do graute pela argamassa de assentamento	181
6.2	EXECUÇÃO DA ALVENARIA ESTRUTURAL DE ACORDO COM A NBR 15812-2.....	182
6.3	CONTROLE DE EXECUÇÃO DA ALVENARIA ESTRUTURAL DE ACORDO COM A NBR 15812-2.....	182
	REFERÊNCIAS.....	183

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A alvenaria estrutural de blocos cerâmicos é um sistema construtivo racionalizado; portanto, mais econômico que os sistemas construtivos tradicionais. É bastante utilizado no Brasil, porém, atualmente uma grande parte das empresas de construção e projetistas ainda tem dificuldade para projetar, executar e controlar adequadamente a alvenaria estrutural, devido à falta de divulgação das propriedades dos materiais, do conhecimento de técnicas adequadas, pouca compatibilização de projetos, cursos de graduação com abordagem sobre o assunto e poucas bibliografias nacionais para melhor estimular o conhecimento sobre o tema.

Outro grande entrave para o pleno desenvolvimento do sistema é a mão de obra pouco qualificada. A falta de normas técnicas nacionais até abril de 2010 também prejudicava o seu pleno desenvolvimento. Esta lacuna foi superada com a publicação da NBR 15812-1 (ABNT, 2010) – Alvenaria Estrutural - Blocos Cerâmicos – Parte 1: Projetos e NBR 15812-2 (ABNT, 2010) – Alvenaria Estrutural – Blocos Cerâmicos - Parte 2: Execução e controle de obras, que serão referências para o cálculo, execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos no país.

1.2 OBJETIVO GERAL

Avaliar propriedades dos materiais e componentes, formas de controle de execução de alvenaria estrutural, promovendo a melhoria da especificação, execução e controle da alvenaria estrutural de blocos cerâmicos, utilizando blocos comercializados com resistências à compressão de 6 MPa e 10 MPa.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Desenvolver programa experimental para contribuir com a especificação do grauteamento em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos. Neste programa pretende-se conhecer a resistência de prismas e paredes em diversas combinações de bloco, argamassa e graute com suas principais relações de interesse.

Pretende-se responder, através de constatação experimental, as seguintes perguntas:

- a) Qual a resistência à compressão de variados traços de argamassa e grautes produzidos com materiais (cimento, cal e areia) da região central do Estado de SP, com diferentes relações água/cimento?
- b) Qual a eficiência (relação prisma/bloco, relação parede/bloco e relação parede/prisma) considerando diferentes combinações de bloco, argamassa e graute?
- c) O re-adensamento do graute após alguns minutos do lançamento é adequado e necessário, ou não?
- d) Qual a eficiência (relação prisma/bloco), quando é realizado o re-adensamento manual do graute (cerca de 15 minutos após o adensamento inicial), compensando a retração inicial (com conseqüente descolamento do graute da parede do bloco) conforme indicado em Drysdale e outros (1999)?
- e) Qual a eficiência (relação prisma cheio/bloco) do preenchimento dos vazios dos blocos (grauteamento) com argamassa de assentamento, conforme sugerido por Biggs (2005)?

Desenvolver um roteiro para a execução e controle de um edifício de 6 pavimentos em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos de acordo com a nova norma NBR 15812-2 (ABNT, 2010)

1.4 JUSTIFICATIVA

O número de pavimentos executados em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos no Estado de São Paulo, em sua maioria, é oito, com algumas poucas exceções de 10 pavimentos, principalmente devido à máxima resistência de blocos oferecida pelos fabricantes que é de 10 MPa, fator que limita o número de pavimentos. Na região Sul, alguns fabricantes oferecem blocos cerâmicos de até 20 MPa e uma das maiores obras realizadas até hoje situada nesta região tem 14 pavimentos. Devido aos avanços nas pesquisas e utilização extensiva da alvenaria estrutural em obras populares desde 1960, o mercado vem se familiarizando com o sistema e se mostra cada vez mais disposto a executar prédios de maior altura utilizando blocos cerâmicos.

Dentro deste contexto, o graute começa a ter uma importância maior, visto que será utilizado com mais frequência para suprir a falta de resistência dos blocos em variadas situações. Por exemplo, no caso de um edifício onde seriam necessário blocos com resistências diferentes num mesmo pavimento, o projetista poderia adotar apenas uma resistência de bloco e nas outras paredes onde seria necessária resistência de bloco superior, especificaria o grauteamento.

Em prédios mais altos onde o cálculo estrutural pede uma resistência de bloco superior ao usualmente encontrado no mercado, o grauteamento poderia proporcionar a resistência necessária, viabilizando o emprego do sistema construtivo. Então, a correta especificação, execução e controle do grauteamento em alvenaria de blocos cerâmicos passam a ser fundamental para o bom desempenho da alvenaria, diferente das aplicações onde o graute era tratado na maioria dos casos como detalhe construtivo e prevenção de patologias.

Vastas pesquisas já foram realizadas para determinação da influência do graute na resistência à compressão da alvenaria estrutural, considerando diferentes tipos de grautes e porcentagens de grauteamento. Porém, com a publicação da NBR 15812-2 (ABNT, 2010), algumas alterações foram introduzidas, dentre elas, a caracterização prévia dos materiais, adoção de valores característicos e forma cúbica do corpo de prova de argamassa para o ensaio de compressão.

Para aumentar a velocidade de execução e economia, Biggs (2005) propôs preencher o furo a ser grauteado com a própria argamassa de assentamento

utilizada na obra. Este procedimento foi proposto em obras norte americanas e há grande dúvida sobre sua eficiência.

Para que o graute cumpra suas funções é necessário tomar alguns cuidados no que se refere à: retração do graute, absorção (bloco/graute e graute/argamassa) altura do grauteamento, confecção de espigas para limpeza do furo, adensamento e adições. Kingsley, Tulin e Noland (1984) citados por Grohmann (2006) realizaram vasta pesquisa com alvenaria grauteada de blocos cerâmicos e sobre a retração do graute e concluíram pela necessidade de fluidez para o preenchimento de todos os vazios da alvenaria, levando a necessidade de água em excesso, o que aumenta a necessidade de cuidados com sua retração. Esse processo pode gerar a formação de fissuras no graute, prejudicando a capacidade de resistência à compressão da alvenaria.

No que se refere à absorção entre bloco e graute, constata-se que a perda de água do graute para o bloco, depende muito das características de absorção do bloco e do fator água/cimento do graute. Essa perda pode prejudicar as reações de hidratação do cimento no graute, gerando a formação de fissuras e vazios na interface bloco/graute.

Os pesquisadores destacaram a formação de fissuras e vazios na interface graute/argamassa, em decorrência da alta absorção deste local. Além disso, observa-se que estes pontos são considerados frágeis na alvenaria, pela possibilidade de penetração de umidade.

A NBR 8798 (ABNT, 1985) define que o abatimento do graute deve ser de 17 a 20 cm para adensamento por apiloamento e 20 a 23 cm para auto-adensamento; o graute deve ser o menos fluido possível quando for usado vibrador mecânico. Sobre este assunto, Kingsley; Tulin; Noland (1984) citado por Grohmann (2006) realizaram pesquisa empírica e concluíram que a vibração mecânica é mais eficiente que a manual, mas não é suficiente para evitar fissuras por retração. Concluíram também que o re-adensamento é inútil e até mesmo indesejável.

Já Drysdale; Hamid; Baker (1999) indicou o procedimento de realizar o re-adensamento do graute instantes após seu lançamento, quando grande parte da água é absorvida para minimizar essa retração. A eficiência deste procedimento será testada nesta pesquisa.

Para o controle da execução, a NBR 15812-2 (ABNT, 2010) preconiza uma série de ensaios que serão realizados de acordo com a responsabilidade e número de repetições da obra, visando à segurança e economia do controle de produção.

Desta forma, esta pesquisa se justifica pela importância do tema, pela carência de procedimentos adequados para execução e controle de grauteamento em alvenaria estrutural, para disponibilizar parâmetros técnicos e conceitos de projetos ao engenheiro estrutural, e assim, aumentar o conhecimento geral sobre o tema proporcionando obras mais econômicas e seguras.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Além deste capítulo inicial, onde se apresenta uma introdução sobre a alvenaria estrutural e grauteamento, objetivos gerais e específicos, assim como as justificativas, este trabalho é composto por mais cinco capítulos.

No capítulo 2 são abordados aspectos teóricos importantes sobre alvenaria estrutural de blocos cerâmicos e características dos principais materiais e componentes empregados.

No capítulo 3 faz-se de uma descrição detalhada do programa experimental desenvolvido e seus resultados.

No capítulo 4 está apresentado um roteiro para execução de obras em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos de acordo com a norma NBR 15812-2 (ABNT, 2010).

No capítulo 5 apresenta-se um roteiro para o controle de obras em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos de acordo com a norma NBR 15812-2 (ABNT, 2010).

No capítulo 6 são apresentadas as considerações finais.

2 ALVENARIA ESTRUTURAL: CONCEITOS E ESPECIFICAÇÕES

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

De acordo com Duarte (1999), as edificações em alvenaria estão entre as construções que têm maior aceitação pelo homem, não somente hoje, como também nas civilizações antigas. Grandes edifícios em alvenaria de pedras e tijolos permanecem de pé, após mais de 2.000 anos de sua construção, e algumas sendo utilizadas, num testemunho de durabilidade e aceitação do material e sistema construtivo ao longo do tempo.

Até o final do século 19, a alvenaria predominou como material estrutural. A difusão do concreto armado que aconteceu no século 20, fez com que a alvenaria ficasse esquecida e só voltasse a ser estudada novamente em 1950 pelo suíço Paul Haller.

No Brasil, na década de 60, foram construídos os primeiros prédios em alvenaria de blocos de concreto. Araújo, citado por Prudêncio, Oliveira e Bedin (2002) estima que tenham sido construídos no Brasil, entre 1964 e 1976, mais de dois milhões de unidades habitacionais em alvenaria estrutural, mas com resultados não satisfatórios em relação à qualidade e durabilidade do produto, tornando necessárias mais pesquisas com relação à este tipo de construção.

A carência de pesquisas, a falta de conhecimento e inexperiência da mão de obra eram os principais obstáculos a serem superados na época.

Prudêncio, Oliveira e Bedin (2002) citam que o primeiro trabalho expressivo foi realizado pelo IPT, em São Paulo, em parceria com a Cerâmica Selecta, conduzido pelo engenheiro Nelson dos Santos Gomes na década de 80. Em seguida, o prof. Fernando Henrique Sabbatini, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, realizou estudos para a Cerâmica Tebas, também de São Paulo, e firmou um convênio com a Construtora Encol para a melhoria do sistema construtivo, pesquisando desde a produção dos blocos de concreto até a manutenção dos edifícios.

Após esta fase de intensas pesquisas, os trabalhos foram-se escasseando e as manifestações de patologias das obras, na época foram erroneamente atribuídas a problemas ligados ao sistema, fazendo com que as construtoras buscassem outros sistemas construtivos, deixando a alvenaria novamente em segundo plano.

Porém, as vantagens econômicas proporcionadas pela alvenaria em relação aos sistemas construtivos tradicionais, incentivaram as construtoras a buscar soluções para os problemas patológicos encontrados anteriormente.

Segundo Sanches (2002), o sistema construtivo em alvenaria estrutural é uma excelente opção para a indústria da construção civil, que tem uma necessidade premente de produzir habitações num curto intervalo de tempo a preços baixos, atendendo aos requisitos de qualidade e durabilidade.

2.2 DEFINIÇÃO

Segundo Franco (1992), a Alvenaria Estrutural é um processo construtivo que se caracteriza pelo emprego de paredes de alvenaria, dimensionadas segundo métodos de cálculo racionais, como principal estrutura suporte dos edifícios. Nesse processo construtivo, as paredes constituem-se ao mesmo tempo no subsistema estrutura e vedação. A simplicidade deste fato traz inúmeras vantagens do ponto de vista construtivo, possibilitando racionalização do processo, com a conseqüente redução de prazos e custos da obra.

Correa e Ramalho (2003) listam como principais vantagens da alvenaria estrutural em relação às estruturas convencionais de concreto armado a economia de formas, redução significativa nas espessuras de revestimentos, redução nos desperdícios de material e mão de obra, redução no número de especialidades de profissionais e a flexibilidade no ritmo de execução da obra.

De acordo com a NBR 15812-1 (ABNT, 2010), a estrutura de alvenaria deve ser projetada de modo a estar apta a receber todas as influências ambientais e ações que sobre ela produzam efeitos significativos, tanto na sua construção, quanto durante a sua vida útil e que também seja capaz de resistir às ações excepcionais, como explosões e impactos, sem apresentar danos desproporcionais às suas causas.

O principal conceito estrutural ligado à utilização da alvenaria estrutural é a transmissão de ações através de tensões de compressão. As tensões de tração devem se restringir a pontos específicos da estrutura, além de não apresentarem valores muito elevados (CORRÊA e RAMALHO, 2003). De acordo com os autores, se as trações ocorrerem de forma generalizada ou seus valores forem muito elevados, a estrutura poderá até ser tecnicamente viável, mas não será economicamente adequada.

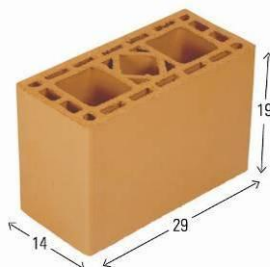
2.3 MATERIAIS E COMPONENTES

2.3.1 Bloco cerâmico estrutural

Segundo a NBR 15270-2 (ABNT, 2005), o bloco é o principal componente da alvenaria, deve possuir furos prismáticos e/ou cilíndricos, perpendiculares às faces de assentamento. Os blocos cerâmicos são classificados de acordo com suas resistências à compressão, sendo o material básico de sua fabricação a argila.

Esta unidade será sempre definida por três dimensões principais: largura, altura e comprimento. Na Figura 1 ilustra-se um bloco cerâmico com medidas de 14 cm (largura), 19 cm (altura) e 29 cm (comprimento).

Figura 1 – Bloco cerâmico 14x19x29



Fonte: Cortesia Selecta Blocos

Segundo Corrêa e Ramalho (2003), o comprimento e a largura definem o módulo horizontal e a altura define o módulo vertical a ser adotado nas elevações das paredes de alvenaria estrutural.

De acordo com Parsekian (2010), os blocos representam 80 a 95% do volume da alvenaria, sendo determinantes de grande parte das características da parede: resistência à compressão, estabilidade e precisão dimensional, resistência ao fogo e penetração de chuvas, isolamento térmico, isolamento acústico e estética. Em conjunto com a argamassa, os blocos também são determinantes para a resistência ao cisalhamento, tração e para a durabilidade da obra. São, portanto, as unidades fundamentais da alvenaria.

O controle do processo de produção é fundamental para que os lotes de produção tenham as mesmas características físicas e mecânicas.

As fases do processo de produção dos blocos cerâmicos mais importantes são: a preparação da matéria-prima, britagem/moagem, mistura, extrusão/corte, secagem, queima e paletização, e estão descritas resumidamente no processo de produção da indústria Selecta Blocos, a seguir.

2.3.1.1 Processo de produção do bloco cerâmico

Laboratório - O laboratório é o início de todo o processo industrial que garante a qualidade dos blocos produzidos.

Preparação - A matéria-prima é composta de dois tipos de argilas, uma denominada Taguá amarelo, originária da decomposição de rocha (confere característica de plasticidade) e a outra, um argilito, de origem sedimentar chamado Varvito (confere característica de resistência mecânica). As argilas ficam estocadas em local coberto para controle da umidade inicial. O laboratório controla a umidade do taguá.

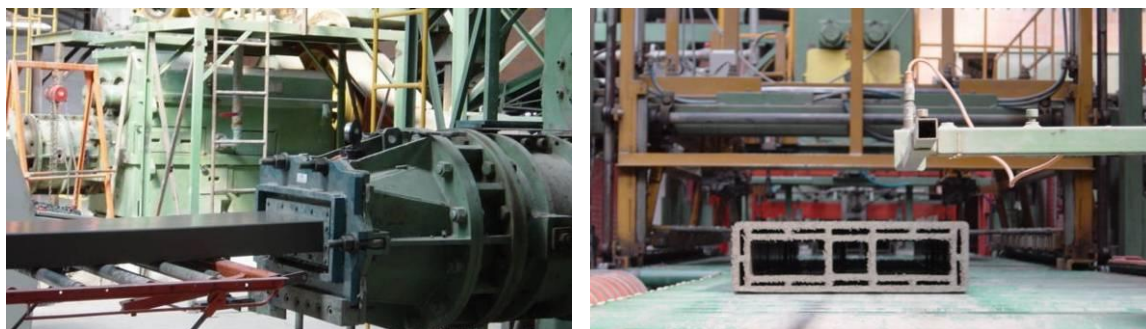
É necessário assegurar os padrões das argilas utilizadas para garantias de que as variações dimensionais atenderão às especificações das normas vigentes, a absorção de água se manterá uniforme, além de resistências mecânicas adequadas.

Britagem/Moagem - O argilito é britado e misturado à argila amarela em proporções indicadas para cada tipo de produto. Em seguida, a mistura é moída em moinho de alta produção e peneirada para a obtenção da granulometria padrão. Nesta etapa o laboratório controla a granulometria e umidade da matéria-prima.

Mistura - Após a moagem, a mistura é homogeneizada e umedecida, atingindo aproximadamente 15% de umidade, seguindo para o silo pulmão, onde permanecerá no mínimo 72 horas, para que haja um alívio das tensões internas da mistura. Nesta fase, o laboratório deve controlar a umidade da massa.

Extrusão/corte - Após o descanso, o material é retirado do silo e transportado para a linha de extrusão, onde, se necessário, sofrerá nova correção na umidade. No interior da extrusora a mistura passa por processo de retirada de todas as partículas de ar, devido à existência de uma câmara de vácuo, sendo a pressão do equipamento regulada de acordo com o tipo de produto a ser extrusado, garantindo resistência mecânica inicial. Na extrusão as peças adquirem o formato final previsto, as quais são cortadas em dimensões previamente definidas, prevendo-se a retração do material após a perda de umidade na secagem e queima. Nesta etapa de extrusão e corte o material recebe identificação do lote de produção, tornando possível sua rastreabilidade. É fundamental para a qualidade do produto, que seja realizado o controle do vácuo, pressão na maromba e o dimensional dos blocos.

Figura 2 – Vista lateral e frontal da Extrusão



Fonte: Cortesia Selecta blocos

Secador – Após a saída da extrusão, Figura 2, as peças são encaminhadas para a mesa agrupadora e armazenadas em vagonetas que serão direcionadas para a estufa de secagem (secador), importante etapa da produção com duração aproximada de 20 horas, monitoradas por um gradiente de secagem, sendo que o calor utilizado no secador é retirado da área de resfriamento do forno. Esta etapa busca eliminar água por evaporação, obtendo uma umidade residual de 2% e uma resistência mecânica tal que possibilite a manipulação automatizada do produto no

processo de carga de vagões e também suportar um gradiente térmico na fase de queima.

As vagonetas que saem do secador passam por uma mesa de descarregamento e são agrupadas mecanicamente para a carga dos vagões do forno.

Nesta etapa será controlada pelo laboratório a umidade, o dimensional e a resistência à seco dos blocos.

Pré-forno - Visando preparar a entrada no forno, o bloco passa pelo pré-forno, sendo submetido a uma temperatura de aproximadamente 70°, para eliminar possível reabsorção da umidade ambiente

Forno - Estando adequadamente preparado, os blocos iniciam o processo de cozimento, por aproximadamente 20 horas. Nesta fase o material adquire características apropriadas de isolamento termo-acústico, resistências mecânicas e impermeabilidade.

O forno é constituído de 4 zonas distintas, sendo: zona de pré- aquecimento (600°C) zona de queima (900°C), zona de recuperação de calor para o secador e zona de resfriamento.

A geração de energia calorífica é oriunda de utilização de gás natural, o qual propicia em termos técnicos a melhor atmosfera de queima para produtos cerâmicos. O controle da curva de queima garantirá a homogeneidade do lote de produção.

Paletização - Após a saída do forno, os blocos são acondicionados na forma de mini-paletes amarrados entre si, conforme Figura 3, formando um pacote de pequenos volumes que são facilmente movimentados em obra. Aqui são retiradas amostras para ensaios de produto acabado de acordo com a NBR 15270-3 (ABNT, 2005), e serão realizados ensaios de absorção, dimensional, resistência à compressão, esquadro, planeza de faces, empenamento e aspecto final do produto.

Figura 3 - Paletização dos blocos cerâmicos

Fonte: Cortesia - Selecta blocos

2.3.1.2 Requisitos de identificação para os blocos cerâmicos estruturais

A NBR 15270-2 (ABNT, 2005), especifica os requisitos mínimos a serem atendidos para a identificação dos blocos com função estrutural.

O bloco cerâmico estrutural deve trazer, obrigatoriamente, gravado em uma das faces externas, as seguintes informações: identificação da empresa; dimensões de fabricação na sequência: largura(L), altura (H) e comprimento (C) em centímetros; as letras “EST” (indicação da sua condição estrutural) e por fim a indicação da rastreabilidade, que permite ao fabricante identificar o lote ao qual o bloco pertence.

Além do requisito de identificação, o bloco não deve apresentar defeitos sistemáticos, como quebras, superfícies irregulares ou deformações que impeçam o seu emprego na função especificada.

2.3.2 Argamassa de assentamento

Conforme NBR 13281 (ABNT, 2005), a argamassa é uma mistura homogênea de agregados miúdo(s), aglomerante(s), inorgânico(s) e água contendo ou não aditivos com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada).

A argamassa de assentamento, segundo Cavalheiro e outros (1997), tem a importante função de unir as unidades conferindo monoliticidade, distribuir adequadamente os esforços e promover estanqueidade e durabilidade ao conjunto, além de compensar as irregularidades geométricas dos blocos e absorver deformações de movimentações térmicas, higroscópicas e recalques, distribuindo estas variações volumétricas e diferenciais numa rede de microfissuras.

Segundo os mesmos autores, as características desejáveis da argamassa no estado plástico são: trabalhabilidade, capacidade de retenção de água e velocidade de endurecimento. Já no estado endurecido, as características desejáveis são: boa aderência, boa resiliência, adequada resistência à compressão, geometria das juntas uniformes e pouca retração na secagem.

2.3.3 Graute

O *American Concrete Institute* – ACI, citado por Prudêncio, Oliveira e Bedin (2002) define o termo *grout* como uma mistura de materiais cimentícios e água, com ou sem agregados, em proporção tal que se obtenha uma consistência líquida sem segregação de seus constituintes. “Segundo os mesmos autores, a palavra “grout” vem do sueco “grotto”, que foi empregada pela primeira vez em 1925 por I. Guttman para referir-se à consistência deste preparado de cimento como semelhante à de uma sêmola de aveia que se consome na Suécia em forma de sopa espessa.

Graute, conforme NBR 15812-2 (ABNT, 2010) é o componente utilizado para preenchimento de espaços vazios de blocos com a finalidade de solidarizar armaduras à alvenaria ou aumentar sua capacidade resistente. Dessa forma, pode-se aumentar a resistência da alvenaria à compressão ou permitir que as armaduras colocadas combatam tensões de tração que a alvenaria por si só não teria condições de resistir, e também aumentar a resistência a compressão em pontos localizados, como vergas, contravergas e coxim.

Considera-se que o conjunto bloco, argamassa, graute e eventualmente armadura trabalhe monoliticamente. Assim, o graute deve envolver completamente as armaduras e aderir tanto a ela quanto ao bloco, de modo a formar um conjunto único.

2.3.4 Argamassas industrializadas

Devido à necessidade de maior velocidade das obras, maior racionalização dos canteiros e para garantia da homogeneidade e qualidade, tem sido utilizado cada vez mais nas obras de alvenaria estrutural a argamassa industrializada. Segundo Prudêncio, Oliveira e Bedin (2002) estes produtos podem ser classificados em dois grupos: argamassas prontas e argamassas em que é necessário apenas o acréscimo de água a sua composição final.

Normalmente, por possuírem aditivos incorporadores de ar na sua constituição, podem apresentar resistências e trabalhabilidade que variam sensivelmente com o tipo de misturador e o tempo de mistura, mesmo quando se utiliza a quantidade de água recomendada pelo fabricante. Os autores mostram um estudo onde se buscou avaliar a influência do tipo de misturador e do tempo de mistura na resistência à compressão de uma argamassa industrializada. Foram usados dois tipos de misturadores: uma argamassadeira de laboratório e uma betoneira de eixo inclinado de 120 litros. Quanto mais eficiente for o misturador, mais rapidamente se atingirá a homogeneidade da mistura e também maior será a velocidade de incorporação de ar, com reflexo direto na queda da resistência mecânica. A amostra testada não atingiu o requisito mínimo de resistência e apresentou valores de ar incorporado muito elevados, mesmo para o tempo mínimo de mistura recomendado por vários autores internacionais de 3 minutos.

Portanto, ao utilizar este tipo de argamassa, é fundamental obter informações sobre a umidade da mistura e tempo de amassamento em função do tipo de misturador adotado para se evitar problemas nas alvenarias construídas.

A NBR 15812-2 (ABNT, 2010) diz que a argamassa deve ser misturada com auxílio de misturador mecânico. O misturador deve garantir a mistura homogênea de todos os materiais e veta o uso da mistura manual. O tempo recomendado de mistura segundo a mesma norma (dado em segundos) é de $240\sqrt{d}$, $120\sqrt{d}$, $60\sqrt{d}$ conforme o eixo do misturador for inclinado, horizontal e vertical, respectivamente, sendo “d” o diâmetro máximo do misturador em metros.

2.4 PROPRIEDADES DOS BLOCOS CERÂMICOS

2.4.1 Resistência à compressão

A principal característica de um bloco é a sua resistência característica à compressão (f_{bk}), referida sempre à área bruta do bloco. Blocos cerâmicos com furos na vertical devem ter resistência mínima de 3,0 MPa, seja para alvenaria estrutural ou vedação, sendo muito comum encontrar no mercado blocos cerâmicos estruturais com resistências mínimas de 6,0 MPa. Já os blocos de vedação, que possuem furos horizontais, sua resistência mínima, conforme a norma de requisitos NBR 15270-1 (ABNT, 2005) é 1,5 MPa. No Quadro 1 apresenta-se o resultado de ensaios de resistência à compressão de várias pesquisas com blocos de diferentes formas e dimensões.

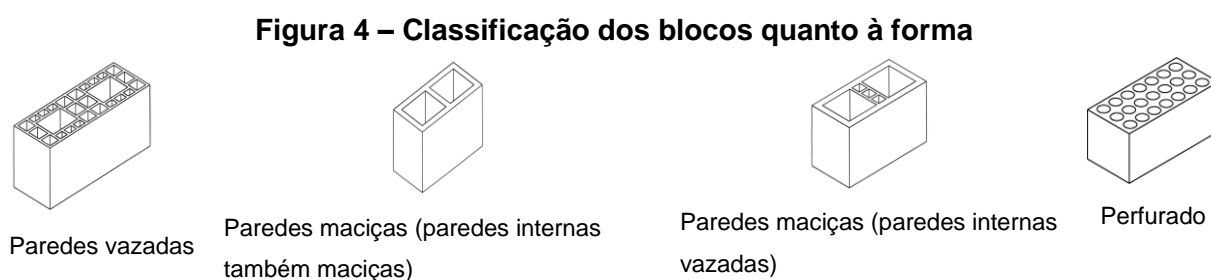
Quadro 1 – Resistência à compressão de Blocos cerâmicos

Autor	Forma	Dimensões (mm)	Valor Característico (f_{bk})	Nº de ensaios	Valor Médio Resistência (f_b)	Desvio Padrão (s)	Coefficiente de Variação (CV)
NIQUES, CARVALHO GLEIZE, ROMAN (2003)	Vazado	120x190x250	8,4 MPa	10	10,76 MPa	1,43	13,26
FUSCO, CAMACHO (1994)	Vazado/perfurado	140x190x290	10,58 MPa	n/d	15,94 MPa	3,25	20,37
GROHMANN (2006)	Vazado	140x190x290	9,22 MPa	13	13,25 MPa	2,26	17,04
MENDES, ROMAN (1998)	Vazado	140x190x290	20,13 MPa	n/d	22,9 MPa	1,68	7,34

A resistência à compressão dos blocos cerâmicos varia de acordo com a matéria prima utilizada, geometria do bloco e o processo de fabricação.

2.4.2 Forma do bloco cerâmico

De acordo com a Figura 4, quanto à sua forma, os blocos cerâmicos podem ser classificados como: de paredes vazadas (aqueles cujas paredes externas e internas apresentam vazados), com paredes maciças (aqueles cujas paredes externas são maciças e as internas podem apresentar vazados, sendo a relação da área líquida para a área bruta não maior que 65%) e perfurados (aqueles com vazados distribuídos em toda a sua face de assentamento, sendo a relação da área líquida para a área bruta não maior que 75%, utilizados em alvenaria não-armada apenas).



Fonte: NBR 15270-2 (ABNT, 2005)

2.4.3 Precisão dimensional

A variação dimensional do bloco cerâmico estrutural, de acordo com a NBR 15270-3 (ABNT, 2005), deve ser de ± 3 mm na largura, altura e comprimento. Variações maiores que a especificada na largura do bloco impacta diretamente na largura da parede e podem prejudicar o prumo e planicidade das mesmas aumentando o consumo de argamassa de revestimento. A variação maior que o permitido na altura do bloco ocasionará variação na junta horizontal, o que poderá ocasionar redução na resistência à compressão da parede caso esta junta seja maior do que 13 mm e poderá não haver transmissão eficiente de carga caso a junta fique com menos de 7 mm. Segundo Prudêncio, Oliveira e Bedin (2002), quanto maior a espessura da 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.

De acordo com Parsekian (2010), a variação no comprimento produz alterações na espessura de juntas verticais e podem ser prejudiciais à modulação, não permitindo a distribuição dos blocos conforme desenho do projeto, pois esses têm tamanhos diferentes e, em casos extremos, pode comprometer a resistência ao cisalhamento. A espessura da parede do bloco é outra especificação a ser controlada, de grande importância para garantir a resistência do bloco (uma pequena variação de 1 mm nessa espessura pode significar uma grande redução na área líquida do bloco e, portanto, na quantidade de material resistente).

2.4.4 Absorção de água

A NBR 15270-3 (ABNT, 2005) prescreve o limite entre 8% e 22% para a variação da absorção de água do bloco. Segundo Parsekian (2010), este ensaio mede indiretamente a porosidade do bloco e é um bom indicador da qualidade deste; uma vez que, em geral, blocos de menor absorção são mais resistentes e duráveis. Outro ponto importante ligado à absorção é a possibilidade de patologias no revestimento, uma vez que uma alta absorção pode levar a fissuras ou mapeamento dos blocos no revestimento. Outro ponto é o aumento de peso que uma alta absorção pode acarretar.

2.4.5 Absorção inicial de água

O índice de absorção inicial (AAI) é uma medida de quanto o bloco absorve de água por capilaridade logo após ser molhado. É um dado importante para definição da argamassa. Uma boa aderência entre o bloco e argamassa é obtida com características compatíveis entre esses dois componentes. Ainda de acordo com Parsekian (2010), se o bloco tem alto AAI esse irá retirar grande parte da água da argamassa logo após o espalhamento desta, sobrando pouco para a hidratação

do cimento e, portanto, reduzindo sua resistência. Em contrapartida, se o bloco absorver muito pouco da água da argamassa haverá um prejuízo na aderência, pois grande parte desta resistência é garantida pela pasta de argamassa penetrando por capilaridade nos poros dos blocos (em linhas gerais pode-se dizer que se formam pequenos “pregos” de argamassa na superfície do bloco).

Goodwin e West (1982), citados por Silva (2004), concluíram que existe uma faixa de sucção ótima do substrato que proporciona altas resistências de aderência, eles citam os valores de AAI (denominados anteriormente na norma nacional por IRA) ótimos, máximos e mínimos, definidos por diversos autores, os quais, para os substratos cerâmicos, oscilam entre 10 e 30 g/194cm²/min.

Han e Kishitani (1984) avaliaram experimentalmente substrato de material cerâmico empregando três traços de argamassas mistas de cimento, cal e areia, mantendo sempre a proporção de aglomerante e areia fixa igual a 1:3 e concluíram que a faixa ótima do AAI está entre 12 e 22 g/194cm²/min.

É recomendável AAI entre 5 e 25 (g/194cm²)/min. Blocos com AAI superior a 30 g/194cm²/min devem ser umedecidos antes do assentamento (PARSEKIAN, 2010).

2.5 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA

2.5.1 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade é a mais importante propriedade da argamassa no estado plástico e essencial para garantir as características desejáveis no estado endurecido. Uma argamassa é dita “trabalhável” quando tem boa coesão e boa fluidez, ou seja, desliza facilmente sem grudar na colher por ocasião da colocação sobre a unidade e permanece plástica pelo tempo necessário para os ajustes de alinhamento, prumo e nível das unidades. Deve se espalhar facilmente e se fixar em superfícies verticais. Ao ser expelida (após o assentamento do bloco subsequente)

não deve respingar nem escorrer, apenas se projetar horizontalmente, ficando com as laterais abauladas.

A trabalhabilidade resulta da capacidade das partículas deslizarem entre si, devido à lubrificação da pasta mais ar e depende de diversos fatores relacionados com os materiais, mão de obra e condições atmosféricas. Quanto maiores as quantidades de água, a relação aglomerante/agregado e a quantidade de cal, maior será a trabalhabilidade.

A trabalhabilidade pode ser avaliada através do Índice de Consistência-Padrão conforme NBR 13276 (ABNT, 2005). Este índice serve para a padronização dos ensaios e definição do traço em laboratório.

Na prática, é comum o pedreiro ajustar a trabalhabilidade com a quantidade de água, pois, ao contrário das pastas de cimento com função estrutural, a relação a/c não é um fator essencial de controle rigoroso. É preferível ter uma menor resistência à compressão e uma boa trabalhabilidade (PARSEKIAN, 2010). Segundo este autor, há uma forte relação entre trabalhabilidade e retenção de água da argamassa de assentamento.

2.5.2 Índice de retenção de água

A água tem duas funções na argamassa: hidratação do cimento para endurecimento da pasta e a lubrificação dos grãos.

A capacidade de retenção de água deve ser proporcional à taxa de absorção inicial dos blocos; quanto maior for a absorção do bloco, maior deve ser a retenção de água da argamassa e sua avaliação deve ser feita conforme NBR 13277 (ABNT, 2005). Argamassas pouco retentivas tendem a enrijecer prematuramente, dificultando o assentamento das unidades; em casos extremos pode ocasionar a insuficiência de água para a hidratação do cimento. Por outro lado, argamassas com alta retenção de água em contato com unidades de baixa absorção também não promoverão aderência adequada (é como se a argamassa flutuasse sobre o bloco). Para garantir adequado índice de retenção de água, Cavalheiro e outros (1997) recomendam o uso da cal, devido a suas propriedades de excelente retentor de água, (usando a cal esta água será cedida aos poucos, mantendo assim a

plasticidade inicial (trabalhabilidade adequada) e conferindo resiliência no estado endurecido).

São muitos os problemas causados pela deficiência de retenção de água, entre eles Parsekian (2010) cita o prejuízo ao desempenho devido à penetração de água na parede através das trincas na argamassa, diminuição da durabilidade, diminuição da resistência à tração e ao cisalhamento por diminuição da aderência.

2.5.3 Velocidade de endurecimento

A argamassa endurece quando o cimento reage quimicamente com a água no processo chamado de hidratação. A taxa de endurecimento da argamassa é a velocidade com que a mesma desenvolve resistência para a carga aplicada.

O endurecimento precoce da argamassa normalmente acontece por perda muito rápida de água de amassamento, mas pode ocorrer também por aceleração ou retardamento das reações químicas. Se a argamassa estiver muito dura a mão de obra terá dificuldades no assentamento e acabamento das juntas; se for muito mole, terá dificuldades com as fiadas subseqüentes. Segundo Panarese, Kosmatka e Randal (1991), quando as juntas da alvenaria têm cores uniformes, revelam que o endurecimento da argamassa está adequado.

2.5.4 Aderência

Depois da resistência à compressão dos blocos, a aderência é a propriedade mais importante para a resistência da alvenaria. Cavalheiro e outros (1997) definem aderência como o fenômeno mecânico que se processa pela ação do encunhamento (micrométrico) dos componentes da argamassa nos blocos por sucção destes.

Assim como o bloco, a argamassa tem influência direta na aderência. Apesar da resistência de aderência da argamassa ser diretamente proporcional à

quantidade de cimento, a aderência argamassa-bloco depende da combinação das características dos dois componentes.

Voss, em 1933 e mais tarde Sattley em 1940 citados por Silva (2004) examinaram através da análise petrográfica a interface do substrato cerâmico e argamassas mistas de cimento cal e areia. Eles constataram que a aderência era profunda e contínua e que havia uma fina camada de material, possivelmente composta de cal, entre o substrato e a argamassa. Essa camada adjacente ao substrato foi denominada “camada de aderência” e sua espessura, segundo os referidos autores variavam de acordo com o teor de cal na argamassa. De acordo com as análises obtidas por estes autores, o movimento de água obtido pela sucção do substrato conduzia a cal para a sua superfície, formando assim a camada de aderência.

Para Grandet (1973), citado por Silva (2004), a aderência entre a pasta de cimento e o substrato cerâmico é proveniente do intertravamento mecânico da etringita (íons sulfatos, que são liberados quando a gipsita se dissolve em contato com a água, que são os primeiros a entrar em solução e devido à absorção do substrato são conduzidos para a interface e formam a camada de etringita) nos poros da base, uma vez que ela foi o principal produto de hidratação do cimento cristalizado na base.

No entanto segundo estes mesmos estudos, a camada de etringita não é freqüentemente o fator mais importante. Para os substratos cerâmicos com alta sucção, onde o cimento não foi totalmente hidratado, as rupturas ocorrem atrás da camada de etringita, dentro da argamassa, próxima a interface. Desta forma o grau de hidratação do cimento é determinado pela sucção do substrato. Nesse processo de sucção, parte da água de amassamento da argamassa próximo ao substrato cerâmico é retirada, não deixando água suficiente para a hidratação da pasta aglomerante, criando uma região de menor aderência.

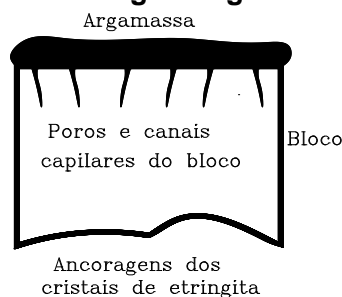
De acordo com Lawrence & Cao (1988) citado por Silva (2004) a extensão e continuidade da microestrutura da interface são muito influenciadas pela presença da cal. A estrutura da pasta mista de cimento e cal é mais densa e contínua do que a estrutura da pasta apenas de cimento. No entanto as resistências de aderência das argamassas com cal tendem a ser mais baixas devido à maior demanda de água, ou seja, como a aderência deriva da conjugação da aderência a tração e a extensão de aderência, é possível obter uma boa aderência entre substratos e

argamassas mistas de cimento e cal (devido à boa extensão de aderência), ainda que a resistência de aderência seja mais baixa do que quando se utilizam argamassas de cimento.

Argamassas de alto teor de cimento, em geral, apresentam elevada resistência de aderência, mas possuem baixa extensão de aderência e são também menos duráveis, pois tem mais tendência a desenvolver fissuras.

Então, nas argamassas mistas, a aderência ocorre principalmente pela penetração e encunhamento da argamassa no bloco através da formação dos cristais de etringita que cristalizam no início da pega na forma de agulhas e promovem a aderência bloco/ argamassa.

Figura 5 – Ancoragem argamassa/bloco



Fonte: CAVALHEIRO e outros (1997)

Para a argamassa, as duas propriedades importantes neste fenômeno são a capacidade de retenção de água (que melhora as condições de hidratação do cimento) e a trabalhabilidade (que melhora a sua penetração no bloco). Assim, a argamassa tem que ser simultaneamente retentiva (para conservar água para hidratação do cimento) e ser capaz de ceder a água em excesso (que não é usada na hidratação) de forma gradual e contínua para o bloco.

A água cedida penetra nos poros do bloco e após a cristalização da argamassa forma pequenas cunhas que resultam na aderência. Isso só ocorre quando a retenção da argamassa é compatível com o índice de absorção do bloco. Se o fluxo de água for interrompido por sucção exagerada do bloco ou por pouca retentividade da argamassa, prejudica se a hidratação do cimento, tornando a argamassa fraca. Fenômeno semelhante ocorre com blocos de baixa sucção, quando se dificulta a formação das cunhas dentro dos blocos.

Assim, pode-se dizer que o mecanismo de aderência começa no estado plástico e se completa no endurecido. A aderência ótima é obtida com a máxima

quantidade de água compatível com a consistência desejada, mesmo com a redução da resistência à compressão da argamassa.

Outros fatores que influem na aderência são a porcentagem de aglomerantes, a taxa de absorção inicial e textura do bloco, umidade relativa e temperatura do ambiente.

Segundo Parsekian (2010), a aderência deve resistir às tensões tangenciais e normais de tração. A aderência usualmente é medida através de ensaio de tração na flexão, baseado na norma americana ASTM - E518 – Standard Test Methods for flexural Bond Strenght of masonry, ASTM (2000), que mede indiretamente a aderência bloco-argamassa.

2.5.5 Resiliência

Outra importante propriedade para o desempenho da alvenaria, segundo Cavalheiro e outros (1997), é a resiliência (elasticidade) da junta da argamassa, que é definida como a capacidade da argamassa endurecida de deformar-se sem romper macroscopicamente. Esta propriedade está relacionada com o módulo de deformação longitudinal da argamassa (E_a). O mesmo autor descreve que quanto menor o módulo de deformação, maior será a resiliência e menor será a resistência à compressão da argamassa, ou seja, argamassas com maiores relações cal/cimento possuem maiores resiliências e menores resistências, mas em compensação terão um maior número de fissuras com menores aberturas. Assim, argamassas fortes (maior teor de cimento), podem originar um menor número de fissuras, mas de aberturas maiores (perceptíveis), as quais poderão permitir a penetração da água da chuva, comprometendo a durabilidade da alvenaria.

2.5.6 Resistência à compressão da argamassa

As normas BSI-5628 (BSI, 1992) e ASTM C-270 (ASTM, 1997) especificam a resistência à compressão como a principal característica mecânica das argamassas de assentamento para alvenaria estrutural; mas, de acordo com Mohamad e outros (2009), este tipo de parâmetro não é suficiente para propiciar um melhor entendimento das complexidades da alvenaria em função da argamassa. As pesquisas, de uma forma geral, indicam que na alvenaria deve haver uma compatibilidade nas características mecânicas entre os tipos de bloco e a capacidade resistente da argamassa.

A resistência à compressão da argamassa na alvenaria possui uma importante função na limitação do estado de fissuração (estanqueidade) e representa um papel secundário na resistência à compressão da alvenaria.

Segundo Panarese, Kosmatka e Randal (1991), a resistência à compressão da argamassa depende muito do tipo e da quantidade de cimento usado no preparo da mesma. A resistência aumenta com um aumento no conteúdo do cimento e diminui com um aumento na entrada de ar, conteúdo de cal ou conteúdo de água, mas, os mesmos autores salientam que embora a resistência a compressão da alvenaria possa ser aumentada com o uso de uma argamassa mais forte, o aumento não é proporcional ao aumento da resistência à compressão da argamassa. Segundo os mesmos autores, testes mostraram que a resistência à compressão da alvenaria aumentou somente em 10%, enquanto a resistência a compressão da argamassa aumentou em 130%.

Correa e Ramalho (2003) concordam que a resistência à compressão da argamassa não influi de forma significativa na resistência à compressão da parede. Segundo os autores apenas se a resistência da argamassa for menor que 30% ou 40% da resistência do bloco é que essa influência pode ser considerada importante.

Os resultados obtidos por Gomes (1983), utilizando blocos de 7,5 MPa, com variação da resistência da argamassa em 135%, tiveram acréscimo de resistência da parede de apenas 11,5%. O mesmo autor recomenda que a argamassa de assentamento deva ter como resistência um valor entre 70% e 100% da própria resistência do bloco.

Duarte (1999) também afirma que a resistência à compressão da argamassa desempenha um papel secundário na resistência à compressão da parede em relação à resistência à compressão dos tijolos. Como a argamassa ocupa um volume aproximado de 20% na parede, aumentos significativos de resistência à compressão da argamassa apenas incidem sobre este percentual de 20% do total da parede.

Para Rizzati (2003) citado por Santos (2008), a influência da resistência à compressão da argamassa cresce com o aumento da qualidade do bloco e conseqüente elevação das tensões admissíveis. Entretanto, este aumento de resistência da argamassa gera um aumento menos significativo do que aquele ocasionado pela maior resistência dos blocos.

Segundo SABBATINI (1986), quando se utiliza a cal hidratada (em pó) um requisito de grande importância é deixar a argamassa “descansar”. A cal deve ser misturada com a areia e água no mínimo 16 horas antes de seu emprego na argamassa. Esta prática, denominada de “descanso” é recomendável porque o hidróxido de cálcio na forma de cal hidratada, não se encontra bem hidratado e é necessário mantê-lo sob condições de umidade durante certo tempo, obtendo-se assim um produto bem hidratado e em condições de desenvolver todo seu potencial de resistência, além de melhorar a trabalhabilidade.

De acordo com a NBR 15812-1 (ABNT, 2010), a argamassa deve atender aos requisitos da NBR 13281 (ABNT, 2005), conforme Quadro 2.

Quadro 2 – Classificação das argamassas

	Resistência Média de Compressão da Argamassa (MPa)		
	1,5 a 3,4	3,5 a 7,0	acima de 7,0
Classificação NBR 13281	P2 e P3	P4 e P5	P6
Traço de referência esperado (cimento: cal: areia), em volume	1: 2: 9	1: 1: 6	1: 0,5: 4,5

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005)

A resistência à compressão da argamassa deve ser determinada de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005). Alternativamente, a moldagem dos corpos-de-prova pode ser feita empregando-se moldes metálicos de 4 cm x 4 cm x 4 cm, com adensamento manual, em duas camadas, com 30 golpes de soquete. Os limites estipulados pela mesma norma para a resistência à compressão têm o valor mínimo

de 1,5 MPa e máximo limitado a $0,7 f_{bk}$ referida à área líquida. O Quadro 3 apresenta uma compilação de resultados de resistência à compressão de vários pesquisadores.

Quadro 3 - Compilação de resultados de resistência à compressão de argamassas

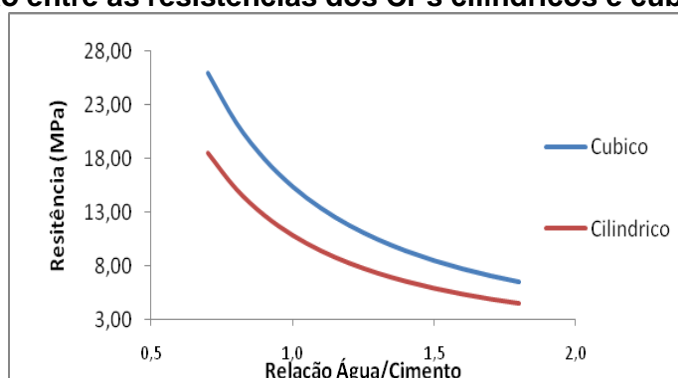
Autor	Traço (Cim:Cal:Areia)	H ₂ O (a/c quando disponível)	Cimento (tipo)	Forma C.P.	Nº de ensaios	Valor Médio Resistência (f _a) - MPa	Desvio Padrão (s)	Coef. Variação (CV)
MOHAMAD, LOURENÇO, CAMÕES, ROMAN (2009)	1: 0,25: 3	Trabalhável	CEM II/B-L	Cilíndrico	4	20,3	0,32	1,6
		++			3	18,7	0,86	4,6
	1: 0,5: 4,5	Trabalhável			4	7,4	0,77	10,4
		++			3	8,8	0,13	1,5
	1: 1: 6	Trabalhável			4	4,5	0,63	14
		++			3	8,5	0,27	3,1
Conclui as seguintes formulações $f_{a,cúbico} = 15,36(a/c)^{-1,4728}$; $f_{a,cilíndrico} = 10,86(a/c)^{-1,5034}$								
CARVALHO, CESAR, ROMAN (2006)	1: 0,5: 4,5	1,5	CP II-Z-32	Cilíndrico	5	6,7	n/d	n/d
	1: 1: 6	2,1			5	3,6		
NIQUES, CARVALHO, GLEIZE, ROMAN (2003)	1: 0,5: 4,5	1,5	CP II-Z-32	n/d	4	8,27	0,01	0,01
FUSCO, CAMACHO (1994)	1: 1: 6	Trabalhável	CP II-Z-32	n/d	6	4,13	0,16	3,96
MENDES, ROMAN (1998)	1: 1: 6	"Flow Table"	CP I -S-32	Cilíndrico	4	6,67	0,24	3,59
GROHMAN N (2006)	1: 1: 5	1,2	CP I -S-32	Cilíndrico 5x10cm	4	8,31	n/d	n/d
	1: 0,25: 3	0,7	CP I -S-32	Cilíndrico 5x10cm	4	18,35		

Obs.: Trabalhável: quantidade de água para que a argamassa tenha boa trabalhabilidade.
++: maior quantidade de água em relação ao nível trabalhável.

Destaque para o trabalho de Mohamad, Lourenço e Camões (2009), devido à comparação feita entre os diferentes tipos de formatos dos CPs (corpos-de-prova). Segundo este trabalho, a relação entre as resistências dos CPs cilíndricos e cúbicos é obtida pelas seguintes equações: $f_{a,cúbico} = 15,36(a/c)^{-1,4728}$; $f_{a,cilíndrico} = 10,86(a/c)^{-1,5034}$. A partir destas equações, como justificado no Gráfico 1, é feita uma relação para inúmeras quantidades de água/cimento sendo obtida a relação seguinte:

$$\text{Equação 1 } f_{a,cilíndrico} = 0,7 f_{a,cúbico}$$

Gráfico 1 – Relação entre as resistências dos CPs cilíndricos e cúbicos de argamassa,



Fonte: Extraído de Mohamad e outros (1997)

O atrito entre o corpo de prova e a prensa impede a livre deformação lateral, caracterizando-se como “confinamento”. Devido à dimensão axial ser relativamente menor do que a do cilindro, o confinamento torna-se mais favorável ao corpo de prova cúbico, o que pode “mascarar” a real resistência a compressão da argamassa.

2.6 PROPRIEDADES DOS GRAUTES

Panarese, Kosmatka e Randal (1991) informam que o graute é composto por uma mistura de cimento, agregado e água suficiente para promover à mistura um fluxo adequado para os núcleos da alvenaria e das cavidades, sem que exista a segregação. Os autores classificam o graute de acordo com a granulometria do agregado e da medida do furo a ser preenchido. Para um graute fino, o menor espaço a ser grauteado deve ter, no mínimo, uma extensão de 1,9 cm ($\frac{3}{4}$ polegadas). Já em grautes onde a menor dimensão horizontal do espaço a ser grauteado é cerca de 7,5 cm (3 polegadas) deverá ser usado graute com agregado de no máximo 1,2 cm ($\frac{1}{2}$ polegada). Também estipulam que para furos de lados maiores que de 10 cm (4 polegadas) podem ser usados agregados de 1,9 cm de diâmetro ($\frac{3}{4}$ de polegadas).

O ACI citado por Prudêncio, Oliveira e Bedin (2002), distingue dois tipos de misturas: graute sem agregados, que são as caldas de cimento, usadas, por exemplo, para o preenchimento de bainhas em concreto protendido e o graute com agregados.

Devem ser distinguidos dois tipos de graute, sendo que um tipo contém agregado graúdo e o outro não. O graute fino é aquele cujo diâmetro máximo do agregado for igual ou inferior a 4,8 mm e o graute grosso é aquele cujo diâmetro é superior a 4,8 mm. A escolha pelo tipo de graute deve ser de acordo com o tamanho dos furos a serem preenchidos, isto é, para que tenha a capacidade de penetrar nos furos, visto que o diâmetro máximo do agregado não pode ser superior a um terço do diâmetro dos furos que devem preencher.

Parsekian (2010) esclarece que o chamado graute fino é composto de cimento e areia e o graute grosso é composto de cimento, areia e brita 0. Prudêncio, Oliveira e Bedin (2002) afirmam que o graute fino só deve ser empregado quando a menor dimensão do vazado da unidade for maior ou igual a 50 mm. O graute deve possuir alta fluidez, com “slump” entre 20 e 28 cm e, por isso, alta relação água/cimento, podendo chegar até 0,9. A elevada quantidade de água leva à diminuição da resistência à compressão do graute, usualmente medida em um corpo-de-prova cilíndrico. Entretanto, deve-se observar que a resistência do graute lançado dentro do bloco será maior, pois a alta absorção dos blocos, especialmente para aqueles com índice de absorção inicial elevados, irá rapidamente retirar boa parte da água do graute, diminuindo a relação água/cimento. Para garantir a fluidez e plasticidade do graute e também diminuir sua retração, o autor aconselha a utilização de cal até o volume máximo de 10% do volume de cimento utilizado.

Deve ter características no estado fresco que garantam o completo preenchimento dos furos e não apresentar retração que provoque o deslocamento do graute das paredes dos blocos.

Quando o graute for produzido em obra deverão ser realizados ensaios com antecedência adequada, comprovando o atendimento das características descritas anteriormente.

De acordo com a NBR 15812-2 (ABNT, 2010), a critério do projetista, o graute pode ser substituído pela argamassa de assentamento utilizada na obra, nos elementos de alvenaria não-armados.

2.6.1 Materiais constituintes do graute

Os cimentos usados para compor o graute são exclusivamente os cimentos portland sem adições ativas. Segundo Prudêncio, Oliveira e Bedin (2002), são inadmissíveis o emprego de cimentos modificados por pozolanas por serem mais retentivos e manterem uma maior relação água/ cimento final, conseqüentemente, atingindo uma menor resistência. Como no Brasil, praticamente todos os cimentos possuem adições, é importante que o graute produzido seja testado ao ser aplicado na alvenaria para avaliar a real compatibilização com os blocos que os envolve.

A cal hidratada é um componente dispensável, mas pode ser útil para aumentar a coesão da mistura, quando se empregam areias mal graduadas com módulos de finura superior a três. Neste caso, a proporção de cal em volume não deve exceder a 1/10 da quantidade de cimento usado. Com proporções maiores, o graute se torna excessivamente retentivo e diminui sensivelmente sua resistência. Aditivos plastificantes podem ser utilizados na mistura com a mesma função da cal. Prudêncio, Oliveira e Bedin (2002) recomendam baseados na ASTM C404 faixas granulométricas aceitáveis das areias utilizadas de acordo com o Quadro 4.

Quadro 4 – Faixas granulométricas de areias recomendadas para graute

Granulometria Porcentagem retida acumulada nas peneiras		
Abertura da peneira (mm)	Tipo 1	Tipo 2
9,5	0	0
4,8	0-5	0
2,4	0-20	0-5
1,2	15-50	0-30
0,6	40-75	25-60
0,3	70-90	65-90
0,15	90-98	85-98
0,075	95-100	95-100

Fonte: Prudêncio, Oliveira e Bedin (2002)

Prudêncio, Oliveira e Bedin (2002), recomendam as areias tipo 1, e dentre estas, as que possuem módulo de finura entre 2,3 e 3,1, pois requerem menos cimento, sendo que os grautes com elas produzidos alcançam maior resistência e apresentam uma menor retração no endurecimento.

Os agregados graúdos, segundo os mesmos autores, devem ter a faixa granulométrica conforme Quadro 5.

Quadro 5 – Faixa granulométrica para pedrisco/pedra 0 utilizados em graute

Abertura da peneira (mm)	% retida acumulada
12,5	0
9,5	0-15
4,8	70-90
2,4	90-100
1,2	95-100

Fonte: Prudêncio, Oliveira e Bedin (2002)

Agregados e água devem estar livres de substâncias orgânicas, excesso de sais e substâncias deletérias.

2.6.2 Dosagem

Parsekian (2010) traz indicativos de dosagem básica para obras de pequeno vulto conforme Quadro 6. Para grandes obras deve se proceder à dosagem experimental, sendo um indicativo para a resistência do graute a mesma resistência do bloco considerando a sua área líquida.

Quadro 6 – Sugestões de dosagem de grautes para pequenas obras

<p>graute fino:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1 saco de cimento • até 3,5 dm³ de cal • até 88dm³ de agregado miúdo ($D_{máx} = 4,8\text{mm}$) • até 37 l de água <p>traço básico para obras de pequeno vulto: 1: 3 a 4 (cimento: areia, volume seco)</p>	<p>graute grosso:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1 saco de cimento • até 3,5 dm³ de cal • até 88dm³ de agregado miúdo ($D_{máx} = 4,8\text{mm}$) • até 66dm³ de agregado graúdo ($D_{máx} = 19\text{mm}$) • até 35 l de água <p>traço básico para obras de pequeno vulto: 1: 2 a 3: 1 a 2 (cimento: areia: brita 0, volume seco)</p>
---	---

Fonte: Parsekian (2010)

2.6.3 Resistência à compressão do graute

O graute deverá ter resistência à compressão de modo que a resistência do prisma grauteado atinja a resistência especificada pelo projetista.

A NBR 15812-1 (ABNT, 2010) especifica que o graute deve ter sua resistência característica maior ou igual à resistência do bloco cerâmico na área líquida e não deve ser menor que 15 MPa. Na Tabela 1 apresenta-se uma compilação de resultados de resistência à compressão de grautes obtidos por vários pesquisadores.

Tabela 1 - Compilação de resultados resistência à compressão de grautes (MPa)

Autor	Traço	Teor de água	Cimento (tipo)	Forma C.P.	Valor Característico (f_{gk})	Nº de ensaios	Valor Médio Resistência (f_b)	Desvio Padrão (s)	Coeficiente de Variação (CV)
	(Cim: Cal: Areia: Pedrisco)								
FUSCO, CAMACHO (1994)	1: 0: 3,06: 2,94	0,952	n/d	Cilíndrico 15x30	n/d	3	13,08	n/d	n/d
	1: 0: 2,48: 5,52	0,822					15,59		
	1: 0: 1,90: 2,21	0,637					22,6		
MENDES, ROMAN (1998)	1: 0: 1,98: 1,98	0,6	CP I -S-32	Cilíndrico 7,5x15	23,54	6	28,32	2,9	10,23
	1: 0: 3,08: 2,72	1			12,07		13,94	1,13	8,13
GROHMAN (2006)	1: 0,05: 3,25: 3,5	1,06	CP I -S-32	Cilíndrico 10x20	n/d	3	7,98	n/d	n/d
	1: 0,05: 2,25: 2,5	0,78					16,47		
	1: 0,05: 1,25: 1,75	0,57					24,38		

2.6.4 Graute auto adensável - *National Concrete Masonry Association*

O documento do NCMA (National Concrete Masonry Association), TEK 9-2B/2007, mostra um tipo de graute chamado SCG - SELF-CONSOLIDATION GROUT, que chamaremos de graute auto adensável, adequado para alvenaria estrutural armada. Ele é projetado para preencher os núcleos estreitos e longos, por vezes bastante congestionados das paredes armadas de alvenaria, sem a necessidade de adensamento e re-adensamento. Semelhante ao graute convencional, existem dois tipos de graute auto adensável, grosso e fino, com o último conjunto contendo apenas agregado fino.

O graute auto adensável é obtido a partir de uma cuidadosa combinação para criar um graute fluido, muito coeso que não segrega e possa passar livremente através do aço congestionado em aberturas estreitas sem bloqueios, mantendo as

propriedades consistentes ao longo de toda a altura. É composto de agregados, cimento, água e aditivos especiais que proporcionam a fluidez e estabilidade para atender aos requisitos de desempenho.

O agregado graúdo deve ter sua composição com 100% passando na peneira de ½ pol (13 mm) e pelo menos 85 a 90% passando na peneira de 3/8 polegadas (9,5 mm). O agregado miúdo, usado para grautes auto adensáveis fino ou grosso, normalmente é tamanho n^o 1, que é uma areia grossa, como definido na norma ASTM C 33 - Standard specification for concrete aggregates, mas também poderia ser o tamanho n^o 2, que é uma areia para argamassa usada em alvenaria como definido na norma ASTM C 144 - Standard specification for aggregate for masonry Mortar. A proporção especificada é que o graute grosso deve ter agregado fino no valor de 2,5 a 3 vezes a soma do volume de cimento e agregado graúdo, no valor de 1 a 2 vezes a soma do volume de cimento.

O graute deverá ter uma resistência mínima à compressão de 2.000 psi (13,79 MPa), após 28 dias de cura. O Building Code Requirements for Masonry Structures estabelece um limite máximo para a resistência à compressão do graute de 5.000 psi (34,5 MPa) aos 28 dias, embora experiências indiquem que muitos grautes convencionais apresentem resistências maiores que este limite de especificação.

Adequar os conteúdos da pasta é fundamental para a mistura do graute auto adensável ficar estável, porque a pasta forma a matriz na qual as partículas estão suspensas. Esta pasta é composta por cimento, materiais mais finos do que a peneira n^o 100 (0,150 mm), água e o ar que entra, se houver.

O cimento e os materiais mais finos são muitas vezes adicionados na forma de pó. Estas misturas contêm materiais auxiliares, incluindo os materiais pozolânicos e hidráulicos, bem como enchimentos inertes, como calcário. Estas adições ao cimento podem melhorar e manter a coesão e resistência à segregação da mistura, promover a redução do custo global e ajudar a controlar a resistência à tração da mistura. Segundo o documento, cinzas também podem ser um complemento eficaz, pois seu uso pode ajudar a aumentar a capacidade de preenchimento e slump da mistura, proporcionando maior coesão e menor sensibilidade a mudanças no teor de água. Pesquisas têm mostrado que os valores de slump, aumentaram quando as cinzas volantes substituíram entre 20 e 40% de cimento portland.

Pesquisas demonstraram que o SCG (graute auto adensável), mistura grossa pode ser produzido com consumo de cimento na faixa de 445 kg/m³ a 415 kg/m³. Em comparação, um graute grosso convencional produzido de acordo com as especificações da norma ASTM C 476 - Standard specification for grout for masonry, produzirá um consumo de cimento na faixa de 325 a 415 kg/m³. A mistura de graute auto adensável fina poderá ser feita com o consumo de cimento na faixa de 475-505 kg/m³. Em comparação, um graute típico convencional fino feito com as proporções da especificação ASTM C 476, produzirá um consumo de cimento entre 415 kg/m³ e 590 kg/m³.

O termo Slump natural descreve o slump da mistura do graute antes de adicionar o aditivo. Um procedimento comum para a dosagem de graute auto adensável é definir a quantidade de água inicial até o total de água necessário para a mistura atingir um "slump natural" de 2-4 polegadas (51-102 mm). Para fazer a mistura fluida o suficiente e obter o slump desejado é adicionado o aditivo policarboxilato.

Policarboxilatos (PC) são polímeros de cadeia longa que são sintetizados para ajudar a manter os grãos de cimento dispersos e proporcionam coesão e estabilidade à mistura do graute auto adensável. Outra classe de aditivos, muitas vezes usados em conjunto com os policarboxilatos são os VMA - Viscosity-Modifying Admixtures. VMAs servem para ajustar a viscosidade e podem melhorar a coesão e estabilidade da mistura, permitindo que ela flua sem segregação.

A colocação do graute auto adensável pode ser por bombeamento ou utilizando os mesmos procedimentos do graute convencional. Pesquisas têm mostrado que, com o graute auto adensável não há necessidade de remover as saliências da argamassa superiores a 1/2 polegada (13 mm), como é exigido para o grauteamento convencional, uma vez que ele é suficientemente fluido para fluir em torno dessas pequenas obstruções. Para conter o graute recomenda-se colocar argamassa no sentido transversal da unidade de alvenaria nas construções parcialmente grauteadas.

De acordo com as especificações para estruturas de alvenaria o graute auto adensável deve atingir um slump de 24 a 30 pol (610-762 mm) e obter a resistência à compressão especificada ou 2000 psi (13,79 MPa), o que for maior, em 28 dias.

2.6.5 Argamassa para grauteamento em substituição ao graute convencional

De acordo com Biggs (2005), algumas normas americanas permitem nas obras residenciais de alvenaria estrutural nos pontos onde necessitam de grauteamento, substituir o graute convencional por argamassa de cimento e cal, numa consistência adequada para o preenchimento do furo, inclusive com barras de aço incorporadas. A lógica da substituição é que a argamassa e graute têm materiais constituintes similares e, portanto, podem ter desempenhos semelhantes, no entanto, esta lógica ignora o efeito de diferentes teores de água.

A preferência pela argamassa em substituição ao graute está baseada na maior velocidade de colocação e redução no número de insumos e equipamentos.

A especificação padrão para graute de alvenaria americana está na ASTM C 476 -Standard specification for grout for masonry. A especificação padrão para a argamassa é a ASTM C 270 - Standard specification for mortar for unit masonry, 1997, conforme Quadro 7.

O graute fino é composto por areia, cimento e cal, já o graute grosso contém cimento, areia, cal e pedrisco. Desta forma, os constituintes do graute fino são similares aos materiais da argamassa. Porém, enquanto os grautes devem ter slump entre 8 e 11 polegadas, as argamassas devem ter slump entre 5 e 8 polegadas. A dúvida segundo Biggs (2005) é saber se para grauteamentos feitos de baixas alturas é mesmo necessário grautes de altos slumps. O autor lembra que no Uniform Building Code em 1982, a argamassa era aceitável como um substituto para o graute em chaminés e lareiras, mas, na edição de 1985 este item foi suprimido. Já o código Residencial do Conselho de Autoridades americanas de construção (CABO) permite argamassas tipo S e Tipo M, com adição de água, para ser usada como graute.

Quadro 7 – Especificação dos traços de argamassas

Tipo de Argamassa	Cimento Portland ou cimento com adição	Cal hidráulica ou leite de cal	Proporção de agregado
M	1	0,25	Maior que 2,25 e menor que 3 vezes a soma dos volumes de aglomerantes
S	1	0,25 a 0,50	
N	1	0,50 a 1,25	
o	1	1,25 a 2,25	

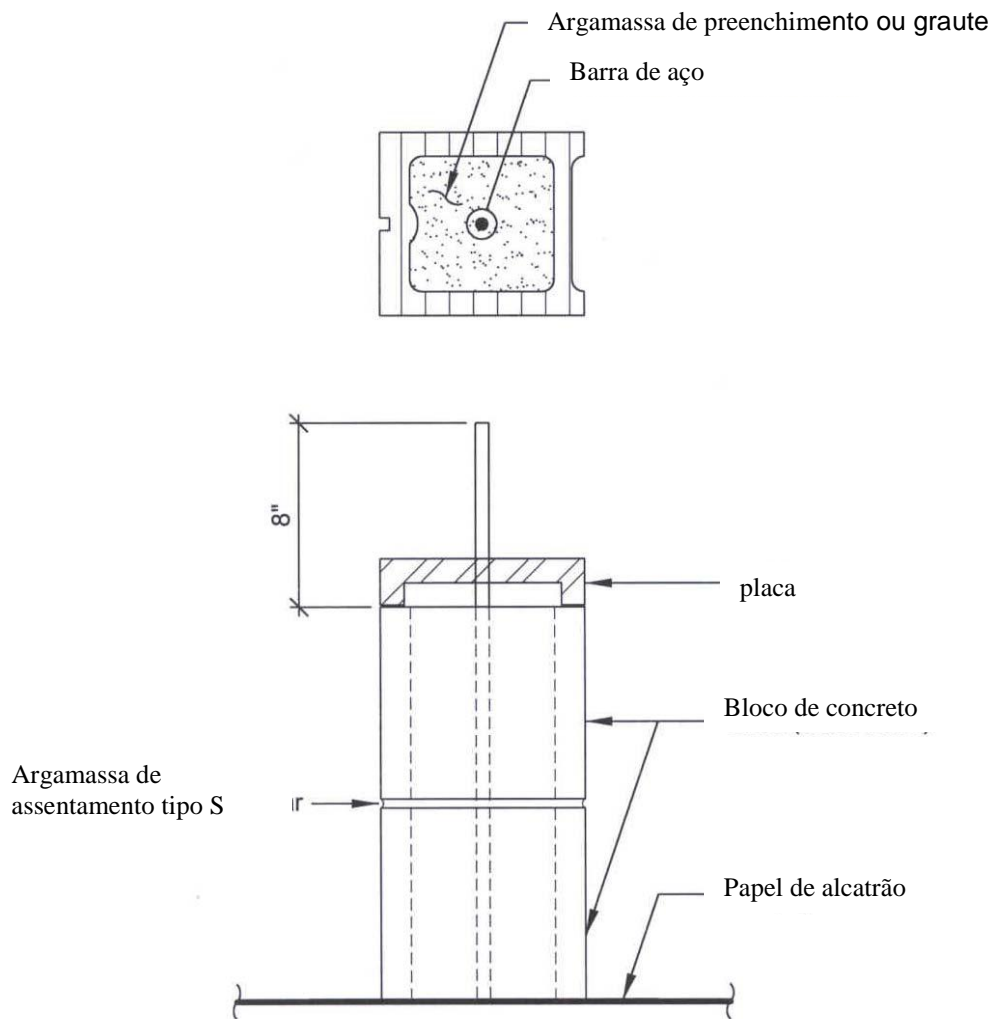
Fonte: ASTM C-270

Hedstrom e Thomas (1991) citados por Biggs (2005) realizaram pesquisa onde foram comparadas argamassas tipo M, S e N com slump entre 7 e 9 polegadas (17 e 23 cm) com grautes de slump e resistências semelhantes. As três misturas de grautes continham apenas cimento e areia, sem cal. Foram feitos testes de arrancamento de uma barra de aço em todos os corpos de provas. Este estudo concluiu que argamassas poderiam se tornar uma alternativa eficaz para o graute.

Biggs (2005) testou o arrancamento de barras de aço incorporadas em argamassas e grautes, conforme Figura 6, com o objetivo de comparar a capacidade da argamassa de preenchimento de transferir tensões para o aço em relação a esta mesma capacidade do graute convencional, ambos deveriam atender os requisitos do código.

Foram utilizados prismas de blocos de concreto com argamassas e grautes. Após o preenchimento do furo foram colocadas as barras de aço com comprimento superior a altura do prisma em aproximadamente 20 cm, em seguida o graute/argamassas foram adensados.

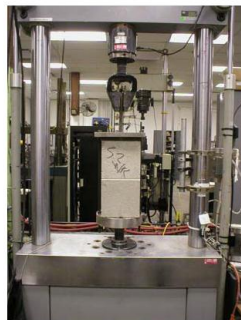
Figura 6 – Exemplo do teste de arrancamento



Fonte: BIGGS (2005)

As amostras foram testadas em uma máquina de ensaio de tração conforme Figura 7.

Figura 7 – Teste de arrancamento



Fonte: BIGGS (2005)

Todas os corpos-de-prova foram assentados com argamassas tipo S, proporcionadas em conformidade com a norma ASTM C 270, sendo o traço utilizado 1:0,5:4,5.

As argamassas de preenchimento estudadas, estão descritas no Quadro 8 com os resultados de resistência à compressão encontradas no ensaio expressos no Quadro 9.

Quadro 8 – Tipos de argamassas avaliadas

Tipo	Traço (cimento:cal:areia)	Observação
N	1: 1: 6	
NSL	1: 1: 6	Com adição de água para atingir slump de 6 polegadas (15,2 cm)
S	1: 0,5: 4,5	Mesma argamassa usada no assentamento
SSL	1: 0,5: 4,5	Com adição de água para atingir slump de 6 polegadas (15,2 cm)

Fonte: Biggs (2005)

Quadro 9 - Resistência à compressão das argamassas de preenchimento (MPa)

Mistura		7 dias	14 dias	28 dias	90 dias
N	Média	8,6	9,7	9,9	10,2
	Desvio padrão	0,37	0,44	1,04	0,74
	CV (%)	4,3	4,5	10,5	7,2
NSL	Média	8,94	10,04	10,6	10
	Desvio padrão	0,15	0,59	0,92	1,52
	CV (%)	1,6	5,9	8,7	15,2
S	Média	14,3	14,7	17,56	15,79
	Desvio padrão	0,49	1,28	0,62	1,27
	CV (%)	3,4	8,7	3,5	8,0
SSL	Média	12,1	13,0	12,4	15,2
	Desvio padrão	0,33	0,85	0,57	0,33
	CV (%)	2,7	6,6	4,6	2,2

Fonte: Biggs (2005)

Duas variações de grautes foram utilizadas, com resultados de resistências à compressão descritos na Tabela 2.

- a) **mistura G**: ASTM C 476 graute misto em proporções 1:0,1:3,3 (cimento Portland:cal:agregado), com slump de 10-1/4 polegadas;
- b) **mistura ModG**: ASTM C 476 graute modificado com cal adicionada, em proporções de 1:0,4: 4,2, com slump de 9-7/16 polegadas.

Tabela 2 – Resistência à compressão das amostras de grautes – (MPa)

Mistura	7 dias	14 dias	28 dias	90 dias
G	21,2	27,9	20,7	28,95
	21,7	23,85	28,8	28,95
	19,2	27,2	26,5	28,5
Média	20,7	26,3	25,3(*27,6)	28,9
Desvio padrão	1,3	2,2	3,4	0,3
CV	6,4	8,2	13,5	0,9
ModG	17,1	17	19	22,3
	16,5	18,1	9,5	20,9
	16,3	16,5	19,5	20,3
	Média	16,6	17,2	16,0(*19,3)
Desvio padrão	0,4	0,8	5,6	1
CV	2,5	4,8	35,2	4,8

Fonte: Biggs (2005)

Foram usados dois tipos de amostras de blocos de concreto com a única diferença entre eles que, em um dos tipos, foi adicionado aditivo na mistura para redução da absorção de água do bloco, reduzindo em média 10 % da absorção de água do bloco. A resistência à compressão do bloco era aproximadamente 21 MPa.

Considerando as resistências à compressão do bloco e da argamassa de assentamento, o autor baseado em tabelas do MSJC – Masonry Standards Joint Committee, indica que a resistência mínima da alvenaria por interpolação deve ser de 2178 psi (15 MPa).

Alguns resultados de resistência à compressão da argamassa não atenderam ao mínimo especificado de 2000 psi (13,8 MPa).

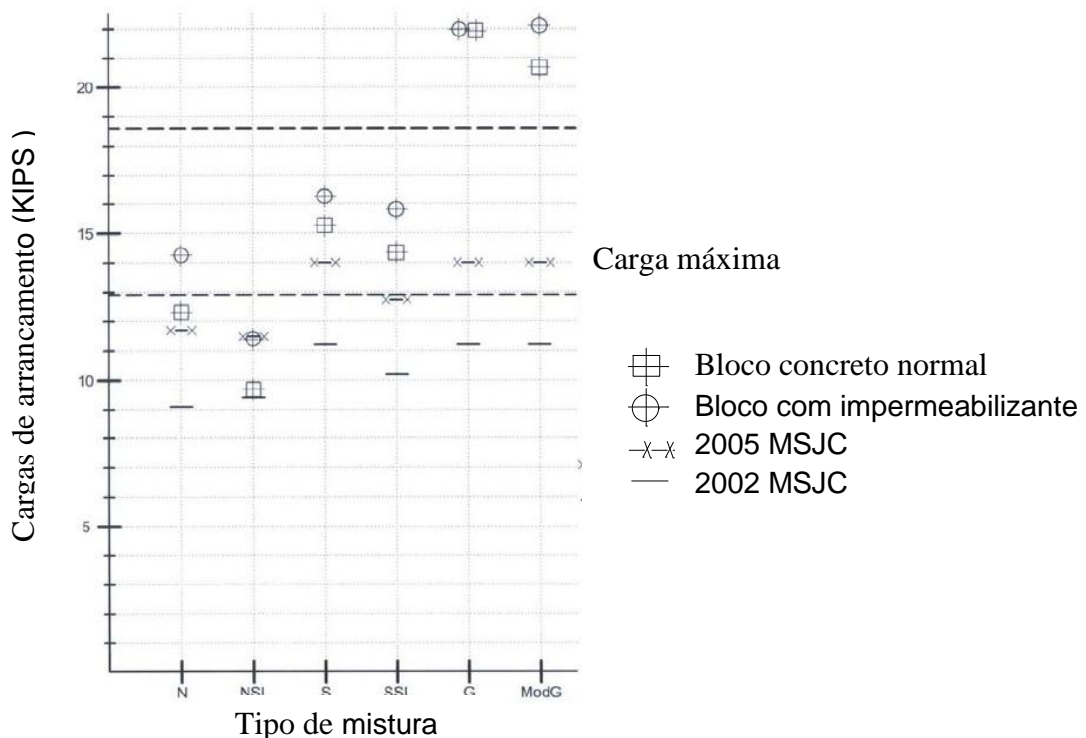
A origem do valor mínimo exigido de 2.000 psi é desconhecida. Para este estudo, foram tomadas de forma conservadora a resistência média da alvenaria (f'm) de 2.178 psi (15 MPa) ou a resistência à compressão da argamassa de preenchimento, o que for menor, conforme demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Resistência à compressão média da alvenaria por interpolação

Mistura	Resistência à compressão da argamassa/graute (MPa)	f' m adotado (MPa)
N	9,9	9,9
NSL	10,6	10,6
S	17,56	15
SSL	12,4	12,4
G	27,6	15
ModG	19,3	15

Fonte: Biggs (2005)

Os resultados dos ensaios de arrancamento, reproduzidos na Figura 8, mostraram que em todas as amostras onde foi usado aditivo impermeabilizante no bloco de concreto os testes de arrancamento tiveram resultados mais elevados.

Figura 8 – Resultado do teste de arrancamento

Fonte: BIGGS (2005)

Foram encontrados vários tipos de falhas, sejam nas amostras com grautes ou argamassas de preenchimento. Foram encontradas fissuras em toda a altura

vertical nos blocos de concreto em algumas amostras, em outras a trinca ocorreu no encontro da barra de aço com o graute ou argamassa. Biggs (2005) considera que as trincas nos blocos são um bom sinal, por que acredita que estão sendo transferidas as tensões para os blocos. Já as trincas internas no encontro do graute/argamassa com as barras de aço e os blocos não sinalizam bom desempenho. A retração do material de preenchimento reduz a aderência. O “deslizamento” da barra de aço em relação ao graute/argamassa de preenchimento foi a principal falha ocorrida na maioria das amostras.

Nas condições analisadas no estudo de Biggs (2005), os testes de arrancamentos sugerem que as argamassas de enchimento tiveram melhor desempenho que as argamassas com slump de 6 polegadas.

A resistência no teste de arrancamento foi aumentando à medida que aumentava a resistência à compressão do material de enchimento.

A mistura da argamassa de enchimento alcançou maior resistência à tração, nos corpos de prova dos blocos que continham impermeabilizantes na sua massa.

Uma vez que argamassas tem baixo teor de água, a perda desta pode afetar a sua resistência. Os blocos que tinham menor absorção, permitiram a hidratação mais completa da argamassa de preenchimento.

A resistência à compressão da mistura tipo N e NSL foram inferiores a 11 MPa. Elas não atingiram o mínimo de 13,8 Mpa (2000 psi) exigidos nos documentos pela MSJC, e portanto, não tiveram desempenho adequado. Estas misturas também não obtiveram resultados satisfatórios nos testes de arrancamento, provavelmente devido a retração significativa que tiveram.

A mistura S conseguiu atender aos valores mínimos de tração em todos os métodos de concepção. A resistência à compressão da mistura ultrapassou 17 MPa.

A mistura SSL também atendeu as resistências mínimas no teste de arrancamento, mas a resistência à compressão não atingiu o mínimo de 13,8 MPa (2000 psi).

As duas misturas de graute atingiram as resistências mínimas no teste de arrancamento e tiveram resistências à compressão bem acima do mínimo especificado.

Os resultados dos testes de arrancamentos do graute excedeu o limite de elasticidade do aço.

Biggs (2005), concluiu que as amostras de graute tiveram melhor desempenho no teste de arrancamento. As amostras de argamassas tipo S tiveram valores aceitáveis. As amostras tipo N e NSL não tiveram um bom desempenho e indicaram retração significativa.

Os resultados preliminares indicam que a argamassa de preenchimento tipo S tem potencial para ser uma alternativa aceitável para aplicações em alvenaria armada, quando lançadas de baixas alturas.

Argamassa de preenchimento obteve desempenho melhor do que argamassa com slumps maiores em todos os testes.

2.7 EXECUÇÃO DO GRAUTEAMENTO – SEGUNDO O *NATIONAL CONCRETE MASONRY ASSOCIATION*

O documento do NCMA (National Concrete Masonry Association), TEK 3-2 A/2005, esclarece que quando as paredes serão grauteadas, as unidades de alvenaria devem estar assentadas de modo a que os furos verticais estejam alinhados para formar uma livre série contínua de espaço vertical dentro da parede. As juntas devem ser preenchidas com argamassa em toda a espessura da face lateral.

Quando a parede será parcialmente grauteada, os septos adjacentes aos furos que serão grauteados são argamassados para confinar o fluxo de graute.

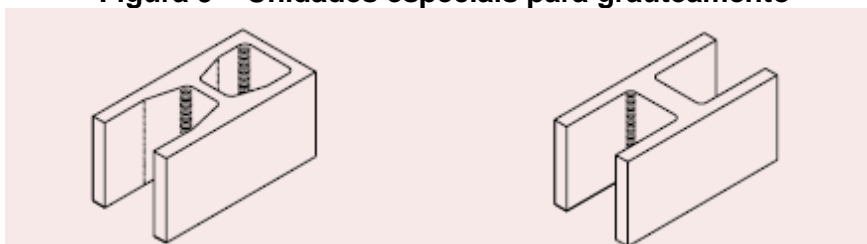
Nos casos onde a parede será totalmente grauteada, os septos não precisam ser argamassados, pois o graute fluirá lateralmente, preenchendo todos os espaços. Devem ser tomados cuidados para evitar o excesso de argamassa, prejudicando o espaço de grauteamento. Excesso de argamassa que se projetam sobre o furo a ser grauteado com mais de 1/2 pol (13 mm) devem ser removidos. Isso ocorre porque estas saliências podem restringir o fluxo de graute, causando preenchimento incompleto do furo.

Na base da parede, a argamassa sob a primeira fiada de blocos a serem grauteados, deve permitir que o graute entre em contato direto com a fundação. Se houverem barras de aço especificadas, elas devem se alinhar com os furos das

unidades de alvenaria. Se uma barra de aço interfere com o posicionamento das unidades, esta pode ser dobrada no máximo em 1 polegada (25 mm) na horizontal para cada 6 polegadas (152 mm) na vertical. Quando as paredes serão todas grauteadas, permite-se desbastar uma porção do septo com serra de corte para melhor acomodar o aço. Se houver um problema de alinhamento substancial do aço, o engenheiro responsável deve ser notificado.

Segundo o documento, as barras de aço especificadas podem ser colocadas antes, ou depois que for concluída a alvenaria. Se o aço é colocado antes do bloco, é aconselhável a utilização de peças especiais como as da figura 9, permitindo que as unidades sejam facilmente colocadas em torno do reforço de aço. Se as barras de aço não são muito longas, o pedreiro deve levantar as unidades sobre as barras verticais.

Figura 9 – Unidades especiais para grauteamento



Fonte: NCMA TEK 3-2 A (2007)

Quando o aço é colocado após o levantamento da parede, recomenda-se o uso de posicionadores ou outros dispositivos adequados para manter a barra no local. O comprimento do transpasse deve ser indicado no projeto.

Na colocação do graute, é preciso entender a diferença entre um graute “*lift*” e um graute “*pour*”. Um “*lift*” é a quantidade de graute colocado em uma única operação contínua.

Um “*pour*” é toda a altura da alvenaria a ser previamente grauteada para a construção de alvenarias adicionais. Um “*pour*” pode ser composto de um “*lift*” ou uma série de grautes “*lift*” sucessivamente colocados.

São dois os procedimentos de uso geral para a colocação do graute:

- a) Onde a parede é construída para lançamentos a alturas de até 5 pés, (aproximadamente 1,5m) sem janelas de inspeção (aberturas na base para limpeza do furo), este procedimento é usualmente chamado de “*low lift grouting*” (grauteamento sem janelas de inspeção ou lançamentos de baixas alturas);

- b) Onde a parede é construída para alturas máximas de lançamentos de 24 pés (aproximadamente 7,3m), nestes casos as espias são necessárias e o lançamento é realizado em incrementos de 5 pés (1,5m). Tal procedimento é usualmente chamado de "*high lift grouting*" (grauteamento com espias ou lançamento de alturas elevadas).

O mesmo documento apresenta uma opção adicional para aumentar a altura de lançamento do graute para 12 pés (aproximadamente 3,8m), desde que a alvenaria tenha cura de pelo menos quatro horas, e o slump do graute seja mantido entre 10 e 11 polegadas (245 e 279 mm). Para esta altura de lançamento também exige-se que não exista nenhum vínculo intermediário na altura entre o topo e a parte inferior do furo a ser preenchido.

O grauteamento tipo "*low lift grouting*" ocorre gradualmente com a produção da alvenaria. Para o grauteamento sem a confecção das espias a parede é construída até a altura de andaime, a um máximo de 5 pés (1,5m). As barras de aço são então colocadas nos locais designados e os furos são grauteados. Embora não seja uma exigência do código, é considerada uma boa prática (em todos os lançamentos, exceto o final) parar o nível do grauteamento cerca de 1 polegada (25 mm) abaixo, para ajudar a introduzir uma ação mecânica na resistência à penetração de água. O graute deve ser colocado dentro do período de 1,5 horas após a introdução inicial da água. Devem ser tomados cuidados para minimizar vibrações da barra de aço.

Muitas vezes é vantajoso construir a parede de alvenaria na altura máxima antes de grautear, ao invés de construí-la a cada 5 pés (1,5 m) de incrementos, para isso devem ser confeccionadas as espias.

Este tipo de grauteamento oferece vantagens, especialmente para os projetos maiores. Uma vantagem é que um volume maior de graute pode ser colocado de uma só vez, aumentando assim a velocidade total da construção. A segunda vantagem é que permite a construção de alvenaria com a altura projetada completa antes de colocar o aço vertical e grautear. Menos aço é utilizado para emendas e a localização do aço pode ser facilmente verificada pela fiscalização da obra antes do grauteamento.

As espias (aberturas para limpeza), devem ser feitas nas faces externas da parte inferior das unidades nos locais a grautear. As aberturas devem ser grandes o suficiente para permitir que os detritos sejam removidos do espaço a ser grauteado.

Exige-se uma dimensão de abertura mínima de 3 polegadas (76 mm). As espias devem estar localizadas nas bases de todas as unidades que receberão grauteamento, as laterais são removidas, quer por corte ou a utilização de unidades especiais que permitam uma fácil remoção de partes das paredes do bloco para a confecção das espias.

Quando a espia for realizada em parede aparente, pode-se remover a face inteira da unidade, de modo que possa ser substituída no todo para melhor esconder a abertura.

A preparação adequada do furo antes do grauteamento é muito importante. Depois do assentamento das unidades de alvenaria, argamassa e detritos maiores do que 1/2 polegada (13 mm) devem ser removidos usando uma mangueira de ar ou varrendo através das espias. Os furos devem ser verificados pelo responsável após a limpeza e posicionamento do aço antes do fechamento das espias. Após o grauteamento as espias podem ser fechadas por argamassa na face original. Aconselha-se aguardar para grautear até que tenha sido completada a cura da argamassa (mínimo de 4 horas) a fim de impedir o movimento horizontal da parede durante o grauteamento.

Um detalhe importante mencionado em ambos os procedimentos de grauteamento é o adensamento. Pois, o mesmo elimina falhas, ajudando a garantir o completo preenchimento do furo e boa aderência do graute à alvenaria. Como a água da mistura do graute é absorvida pela alvenaria, pequenos vazios podem se formar na coluna grauteada. O re-adensamento para remover esses pequenos vazios geralmente deve ser feito entre 3 e 10 minutos após a colocação do graute. O tempo depende da taxa de absorção de água, que varia de acordo com fatores como a temperatura, as propriedades de absorção das unidades de alvenaria e na presença de misturas repelentes de água nas unidades.

É importante que se faça o re-adensamento após ter ocorrido a absorção inicial e antes do graute perder a sua plasticidade. Se as condições permitirem e o lançamento do graute for cronometrado, o adensamento de uma determinada altura e o re-adensamento da parte de baixo pode ser feito ao mesmo tempo, estendendo o vibrador em toda a altura de grauteamento. A altura de cima será re-adensada após o período de tempo exigido e, em seguida, preenchido com graute para substituir qualquer vazio deixado pelo re-adensamento.

Normalmente, é utilizado para o adensamento e re-adensamento um vibrador mecânico de velocidade baixa, geralmente com 3/4 de polegada a 1 polegada (19-25 mm) de cabeça. Esta "cabeça" é ativada por alguns segundos em cada célula grauteada. O vibrador deve ser retirado lentamente para permitir que o graute feche o espaço que foi ocupado pelo mesmo.

2.8 AVALIAÇÃO NÃO DESTRUTIVA DO GRAUTEAMENTO

Ensaio não destrutivo, por definição, são os ensaios que não causam dano algum no elemento ensaiado ou, deixam pequenos danos para serem reparados após o ensaio, e não provocam perda da capacidade resistente da peça. Estes ensaios podem ser utilizados em estruturas novas ou antigas. No caso de estruturas novas, eles podem ser utilizados no monitoramento da evolução da resistência ou verificação da qualidade do material estudado. Já em estruturas existentes, permitem avaliar a integridade e capacidade de resistência às solicitações.

Problemas associados com grauteamento incompleto podem alterar significativamente a resposta das paredes de alvenaria e podem resultar em uma resposta insatisfatória, ou menor resistência, exigindo demolição e reconstrução total ou de uma parte significativa das paredes.

Nassr, Dakhkhni e Shedid (2009) informam que a detecção do preenchimento de furos grauteados é essencial, especialmente nas paredes resistentes concebidas para resistir às forças sísmicas. Ao desenvolver uma boa técnica para detectar mal grauteamento, a técnica deve ser rápida, barata e o que é mais importante, fácil de usar e interpretar, especialmente nas aplicações da vida real. Os mesmos autores exemplificam que diversas técnicas de avaliação não destrutiva têm sido utilizadas para avaliar danos e detectar falhas de preenchimento de grautes em alvenaria. Técnicas ultrasônicas provaram ser promissoras para a sua aplicação na detecção destes danos.

O sucesso da aplicação de ensaios não destrutivos in loco depende do conhecimento e experiência profissional de quem realiza os ensaios, assim como das curvas de correlação adotadas às medições de resistência do concreto (Evangelista, 2002). Esclerometria, penetração de pinos, método da maturidade e

ultra-som, são alguns exemplos de métodos não destrutivos para avaliação da resistência do concreto. A esclerometria é o método não destrutivo mais utilizado para avaliação da resistência in loco. Já o método de penetração de pinos é o menos utilizado no Brasil (Evangelista, 2002). O método do esclerômetro consiste em submeter à superfície da estrutura de concreto um impacto de maneira padronizada utilizando uma determinada massa com certa energia, medindo-se o valor do ricochete (índice esclerométrico). Parte desta energia é absorvida no impacto e está relacionada à dureza superficial da peça. A resistência é estimada por meio de curvas de calibração relacionando o índice esclerométrico com a resistência à compressão do concreto.

O ensaio de ultra-som baseia-se no fato de que a velocidade de propagação da onda ultra-sônica no concreto é influenciada pela densidade e propriedades elásticas do concreto. O método consiste na medição do tempo de propagação que a onda ultrasônica leva para atravessar a peça de concreto. Segundo Malhotra (1984) citado por Evangelista (2002), a velocidade média de propagação da onda é o comprimento percorrido entre os transdutores dividido pelo tempo de propagação. Com a velocidade da onda, pode-se avaliar a qualidade do material com relação à sua homogeneidade, resistência à compressão, densidade e módulo de elasticidade.

O método de penetração de pinos foi desenvolvido nos anos 60 nos Estados Unidos. Este relaciona a resistência do concreto com a profundidade de penetração de um pino ou parafuso disparado por uma pistola na superfície do concreto. Este ensaio utilizado para avaliar a resistência do concreto é normalizado nos Estados Unidos pela ASTM C 803- 1990 – Standard Test Method for Penetration Resistance or Hardened Concrete.

O método baseia-se na absorção da energia cinética inicial do pino pelo concreto. Parte da energia é absorvida pela fricção entre o pino e o concreto, e outra parte na fratura do concreto. É necessário que o equipamento forneça valores constantes de energia cinética ao pino no momento do disparo. O equipamento padrão é chamado de pistola de Windsor. No Brasil é utilizado um equipamento similar, devido à inexistência da pistola de Windsor. Os poucos usuários deste método não destrutivo utilizam-se da pistola de pinos Walsywa, que é facilmente encontrada nas lojas de materiais de construção. Com o método da maturidade é possível estimar a resistência à compressão do concreto a partir de leituras de temperaturas do concreto nas primeiras idades. O modelo matemático foi

desenvolvido nos anos 50, relacionando o desenvolvimento da resistência com o tempo e temperatura do material. Quando a dosagem dos materiais utilizados para a confecção do concreto permanecer a mesma durante a obra, com pequenas variações nas quantidades de seus componentes, este método possibilita programar atividades a partir da leitura de temperatura do material.

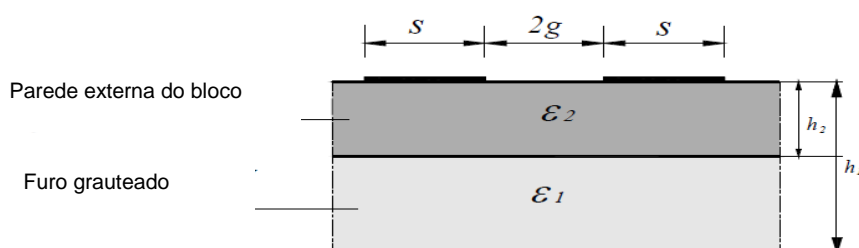
Williams e outros, citados por Nassr, Dakhakhni e Shedid (2009), utilizaram impacto-eco ultra-sônico para detectar vazios nos grauteamentos em paredes e células de bloco de concreto. De acordo com os autores, as técnicas ultra-sônicas têm várias deficiências, tais como as exigências de um meio de engate, e a necessidade de operadores altamente experientes para adquirir e interpretar corretamente os dados coletados.

Os autores salientam a possibilidade de detecção de vazios e cavidades internas de paredes em alvenaria utilizando termografia infravermelha. Esta técnica facilita inspeção de grandes áreas, a principal desvantagem é que a técnica só é eficaz para a detecção de danos perto da superfície. Outras técnicas como a NDE microondas e Ground Penetrating Radar também foram associados com dificuldades na interpretação dos seus resultados e limitada profundidade de penetração.

Nassr, Dakhakhni e Shedid (2009) apostam na detecção de falhas de grauteamento através da técnica de sensor de capacitância coplanar, a técnica proposta se baseia na detecção da variação dielétrica da composição no material de paredes de blocos de concreto. A mudança de permissividade dielétrica em diferentes partes das paredes de alvenaria, como resultado de defeitos, produz alterações na capacitância medida. O estudo citado será detalhado abaixo:

O sensor proposto foi modelado como dois eletrodos adjacentes de largura, s , com espaçamento, $2g$, como mostrado na Figura 10.

Figura 10 – Sensor de capacitância



Fonte: NASSR; DAKHAKHNI; SHEDID (2009)

São consideradas duas camadas, sendo uma da parede do bloco e a outra do grauteamento com espessuras h_1 e h_2 , a partir da face externa do bloco, com as permissividades dielétricas ϵ_1 e ϵ_2 , respectivamente. O mesmo modelo é utilizado para preencher as células, onde ϵ_1 é tido como a permissividade dielétrica do ar, que é igual a 1,0. O valor total da capacitância por unidade de comprimento para as duas camadas de substrato, pode ser computada por:

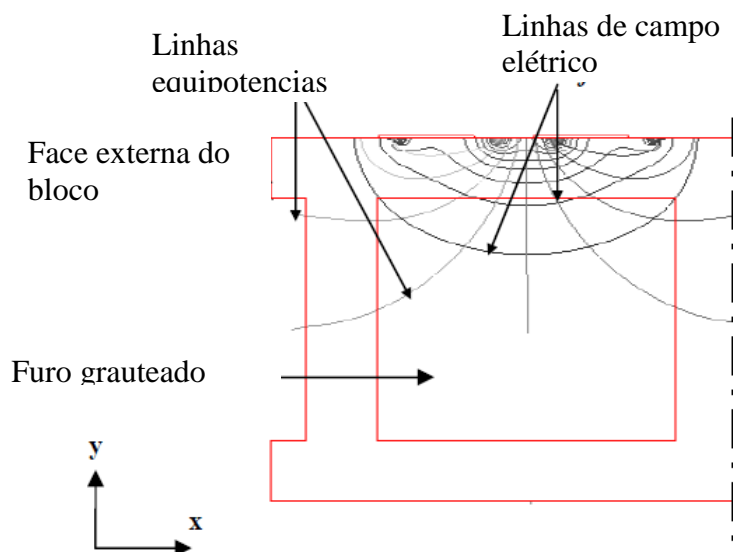
$$C = \epsilon_0 \epsilon_{\text{eff}} \frac{K(k_o')}{K(k_o)}$$

Equação 2

onde ϵ_0 (a permissividade do espaço livre) é igual a 8.8541×10^{-12} F/m, e ϵ_{eff} é a efetiva permissividades dielétricas das duas camadas. $K(k)$ é a integral elíptica completa do primeiro tipo, k é o módulo da função elíptica integrante.

Os autores usaram elementos finitos em 2D para modelar o sistema. O modelo 2D considerado neste estudo foi construído utilizando um pacote de elementos finitos comercialmente chamado FEM. A Figura 11 mostra os resultados da análise FEM com a distribuição de campo elétrico e linhas equipotenciais desenvolvido pelo sensor de capacitância coplanar sobre uma célula grauteada.

Figura 11 – Campo elétrico e linhas equipotencias obtidas através do FEM

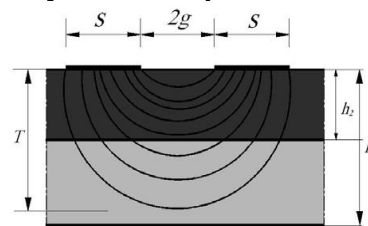


Fonte: NASSR; DAKHAKHNI; SHEDID (2009)

A boa concepção dos sinais de saída do sensor em relação às diferenças de material entre as propriedades dielétricas de células grauteadas e não grauteadas devem resultar em uma mudança significativa da emissão de som. Um fator importante detectado foi a influência dos parâmetros geométricos dos sensores de capacitância sobre a capacidade de detecção de células não grauteadas. O sinal é um aspecto importante a ser considerado em qualquer desenho de sensor, como um sinal alto leva a um elevado ruído, que, por sua vez, leva a melhores resultados.

Outro fator importante no projeto do sensor é a profundidade de penetração, T , que indica o quão profundo o campo elétrico penetra efetivamente numa amostra de teste ou espessura do material, como mostrado na Figura 12, nota-se que o campo elétrico decai exponencialmente através da espessura do material.

Figura 12 – Penetração do campo elétrico através do material



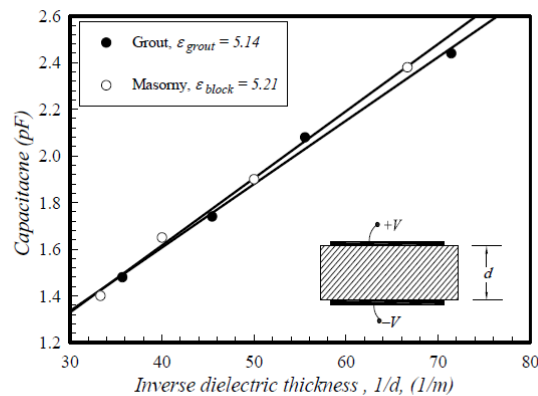
Fonte: NASSR; DAKHAKHNI; SHEDID (2009)

A medição precisa das propriedades dielétricas de diferentes materiais de composição de alvenaria de blocos de concreto grauteada é de suma importância para facilitar a correlação dos dados experimentais e de simulação pelo FEM. Uma técnica simples para determinar a permissividade dielétrica de um material é um sanduíche de um disco de material de espessura conhecida, d , entre dois condutores paralelos. Duas placas de cobre de 25 milímetros quadrados, ($A = 625 \text{ mm}^2$), foram utilizadas como eletrodos de placas paralelas do capacitor.

A fim de garantir pleno contato entre as placas de material e do cobre, as amostras do material foram colocadas entre as duas garras de uma pinça não condutora como mostrado na Figura 13 (a). As permissividades dielétricas não podem ser determinadas experimentalmente pela medida da capacitância individual. Isso ocorre porque a capacitância produzida pela medida de condução, C_{lead} , levará a ser isolada e subtraída da capacitância total medida. Por isso, quatro amostras com diferentes espessuras foram testadas para obter diferentes pontos de dados para estabelecer uma relação entre a espessura, d , e capacitância medida, C .

A Figura 13 (b) mostra a capacitância em função do inverso da espessura do dielétrico, $1/d$, para os materiais bloco de concreto e argamassa utilizados no ensaio de parede. Para cada material, uma relação linear foi traçada com uma inclinação igual a permissividade dielétrica do material. A permissividade dielétrica do bloco de concreto e argamassa encontradas foram 5,21 e 5,14, respectivamente.

Figura 13 - Avaliação das propriedades dielétricas dos materiais



(b)

Fonte: NASSR; DAKHAKHNI; SHEDID (2009)

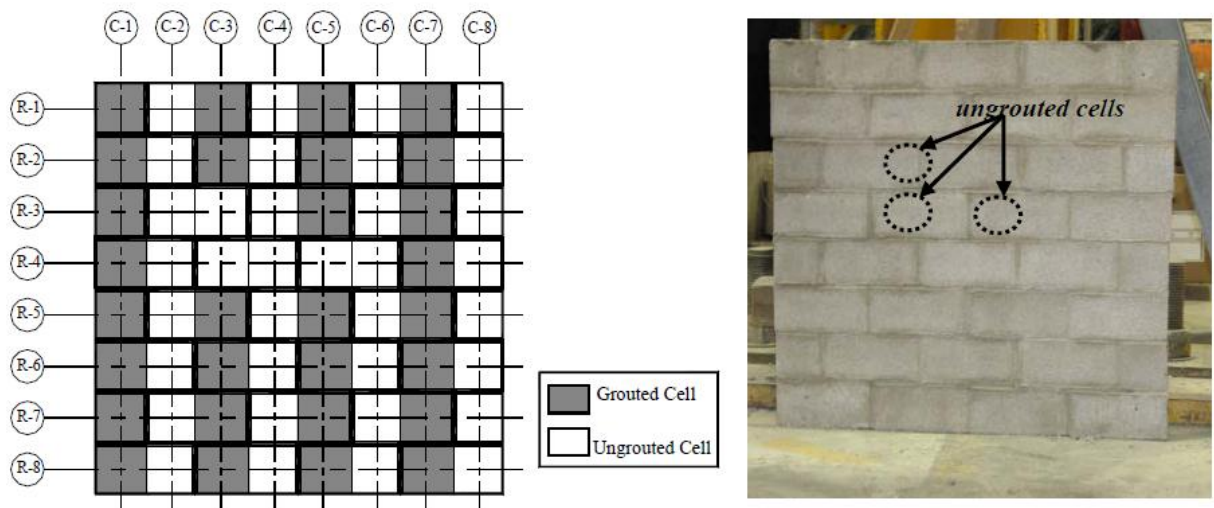
Uma amostra de alvenaria contendo 4 blocos de largura por 8 blocos de altura, foi construída com duas colunas totalmente grauteadas, C-1 e C-7 (ver Figura 14, onde *grouted cells*, são as células grauteadas e *ungouted cells* são as células não-grauteadas). Outras duas colunas foram grauteadas, porém uma célula na coluna C-5, e duas células na coluna C-3, foram preenchidas com isopor durante o processo de grauteamento para simular ar (permissividade dielétrica do isopor é igual a do ar). O restante das células foram mantidas sem grauteamento, como mostrado na Figura 14. Um sensor de capacitância coplanar com uma largura de eletrodo $s = 25$ mm, espaçamento, $2g = 8$ mm e um comprimento do eletrodo, $l = 50$ mm foi fabricado. Os eletrodos do sensor foram feitos de uma fita de cobre e montados em uma folha de plástico fina para manter a distância de separação constante entre os eletrodos de cobre.

A profundidade de penetração, T , do sensor, foi estimada em 25 mm.

Usando o sensor coplanar, 29 células grauteadas e as 35 células não-grauteadas foram digitalizados ao longo da superfície da parede. As medidas foram coletadas utilizando um INSTEK 816 metros LCR com precisão de 0,10%. O

medidor de LCR foi fornecido com um suporte de ensaio que facilitou a conexão com o sensor de cabos coaxiais.

Figura 14 - Modelo de teste em alvenaria



Fonte: NASSR; DAKHAKHNI; SHEDID (2009)

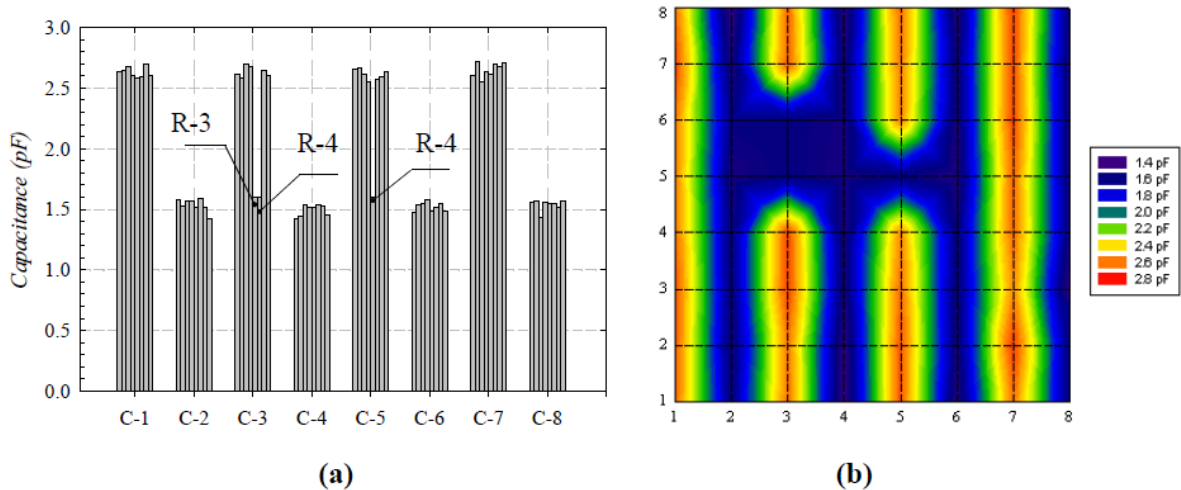
2.8.1 Resultados do teste

A Figura 15(a) mostra a medição de capacitância para diferentes células inspecionadas da parede.

As capacitâncias foram afetadas pela presença de vazios e células não preenchidas com a diminuição da capacidade nestas regiões. A diminuição dos sinais de saída é atribuída ao baixo valor da permissividade dielétrica do ar, o ar $\epsilon = 1$, comparada com a do graute $\epsilon = 5.14$. Os valores médios para as medições de células grauteadas e não grauteadas foram 2,61 e 1,52 pF pF, respectivamente, com coeficiente médio de variação (COV) para ambas as células grauteadas e não grauteadas de 2,56%. Os perfis de capacitância das medições foram inferidos a partir das três configurações de sensor apresentadas na Figura 15(b). Os vazios e as zonas sem grauteamento podem ser identificadas pelas regiões escuras, enquanto as células grauteadas aparecem como as regiões de luz. Os resultados analíticos e simulações FEM também foram obtidos para verificar as células não

grauteadas nos resultados experimentais. Uma comparação entre os resultados obtidos a partir dos dados experimentais, o modelo analítico e simulações FEM é mostrado no Quadro 10. Os resultados teóricos superestimaram os valores experimentais em média 9%.

Figura 15 - (a) Medições de capacitância para diferentes células da parede (b) Perfil da capacidade para a parede inspecionada



Fonte: NASSR; DAKHAKHNI; SHEDID (2009)

Quadro 10 - Comparação entre os resultados experimentais e teóricos

	Dados experimentais	Modelo analítico	FEM
células grauteadas	2.63 pf	2,84 pf	2.70 pf
células não - grauteadas	1.50 pf	1,72 pf	1.63 pf

Fonte: NASSR; DAKHAKHNI; SHEDID (2009)

A sensibilidade do sensor é um importante fator usado para investigar o seu desempenho. A sensibilidade do sensor é uma indicação dos sinais de mudança para as células não grauteadas em comparação com células grauteadas. A sensibilidade do sensor é definida como:

$$\% \text{ Sensor Sensitivity} = \frac{C_{\text{grouted}} - C_{\text{ungrouted}}}{C_{\text{grouted}}} \times 100$$

Equação 3

onde $C_{grouted}$ e $C_{ungrouted}$ são as medidas de capacitância média de células grauteadas e não grauteadas, respectivamente. A sensibilidade do sensor coplanar que foi encontrada neste estudo é de aproximadamente 40%.

A relação sinal-ruído (SNR) é outro fator importante e pode ser estimada da seguinte forma:

$$SNR = \frac{C_{grouted} - C_{ungrouted}}{\sigma_g} \quad \text{Equação 4}$$

onde σ_g é o desvio padrão das medições do sensor para as células grauteadas. A SNR encontrada foi aproximadamente 22.

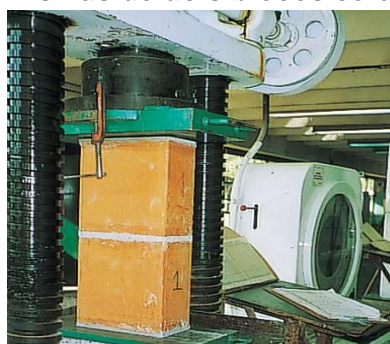
2.8.2 Conclusão de Nassr, Dakhkhni e Shedid (2009)

Foi apresentado o projeto de um sensor de capacitância coplanar para detectar zonas não grauteadas em paredes de bloco de concreto. O desenvolvimento do sensor foi baseado na detecção da variação de assinaturas dielétricas em diferentes pontos ao longo da superfície da parede e correlacionadas as variações com a presença ou ausência do graute. Tanto o modelo de análise e simulação de elementos finitos foram realizados para analisar a influência dos parâmetros geométricos de diferentes sensores sobre as respostas do sensor. Os modelos desenvolvidos foram avaliados por meio de medições feitas em uma parede de blocos contendo células grauteadas e não grauteadas. O sensor de capacitância coplanar foi capaz de identificar as células grauteadas. Houve excelente concordância entre os resultados experimentais. Os resultados do estudo demonstraram claramente que as assinaturas dielétricas de diferentes materiais podem ser usadas para detectar células não preenchidas em construções de alvenaria grauteada.

2.9 PRISMAS

Segundo a NBR 15812-1 (ABNT, 2010), prismas representam o corpo-de-prova da alvenaria estrutural. São corpos-de-prova obtidos pela superposição de blocos, unidos por juntas de argamassa, cheios ou não de grautes, destinados ao ensaio de compressão axial conforme Figura 16.

Figura 16 – Prismas de dois blocos cerâmicos



Fonte: Cortesia Selecta Blocos

No comportamento do prisma, ao ser submetido a um estado de compressão axial, é suposto que a argamassa, por ter módulo de elasticidade menor, tende a deformar-se mais do que o bloco, submetendo-se a tensões de tração. Quando essas tensões ultrapassam a resistência à tração dos blocos, ocorre a fissuração da peça e sua conseqüente ruptura.

O estudo das resistências à compressão dos prismas, retrata com boa exatidão o comportamento da alvenaria, onde pode se verificar a interação da argamassa, do graute e do bloco.

De acordo com Santos (2008), os ensaios com prismas são a base para o projeto estrutural, uma vez que ensaios das unidades componentes da alvenaria não apresentam boa correlação com aqueles sob condições de utilização das estruturas. Os ensaios com prismas apresentam a vantagem de serem mais rápidos e econômicos do que os ensaios de paredes, além de não exigirem estrutura laboratorial muito sofisticada, entretanto não se obtém o real comportamento da alvenaria. Os mesmos autores fazem uma analogia com o concreto: o prisma é o corpo-de-prova para ensaio de compressão de alvenaria, assim como o cilindro é usado para ensaiar o concreto à compressão.

Várias pesquisas têm sido desenvolvidas para avaliar a influência do índice de esbeltez (influência da altura e geometria do prisma) na resistência à compressão.

Alguns pesquisadores optam por prismas de três blocos para reduzir o efeito gerado pelo confinamento dos pratos da prensa aos blocos das extremidades, com uma relação altura/espessura próxima a 4. Nos prismas de três blocos, o bloco central, geralmente livre do efeito de confinamento dos pratos da prensa, representaria melhor o tipo de ruptura da alvenaria.

A NBR 15812-2 (ABNT, 2010), norma atual de execução e controle de obras de blocos cerâmicos especifica que o prisma deve ser constituído de dois blocos principais sobrepostos. Os prismas podem ser recebidos ou moldados no laboratório, o capeamento deve ser total (disposto em toda a superfície dos blocos) e apresentar-se plano e uniforme, não sendo permitidos remendos. O argamassamento deve ser em toda a área líquida do bloco. A Tabela 4, mostra o resultado de alguns pesquisadores para a resistência à compressão de prismas.

Tabela 4 - Resultados de resistência à compressão de prismas de blocos cerâmicos (MPa)

Autor	Tipo de Bloco	Dimensões do bloco	Resistência do Bloco (f_b)	Argamassa (traço) cimento:cal:areia:pedrisco	Resistência da Argamassa (f_a)	Graute (traço) cimento:cal:areia:pedrisco	Resistência à compressão do Graute (f_g)	Tipo do Prisma	Valor Característico (f_{pk})	Eficiência (%) f_{pk}/f_b	
FUSCO, CAMACHO (1994)	Vazado/Perfurado	14x19x29	10,58	01:01:06	4,13	Não Possui	Não Possui	À Prumo; 3 blocos	n/d	n/d	
						1:0:3,06:2,94	13,08			n/d	
						1:0:2,48:5,52	15,59			n/d	
						1:0:1,90:2,21	22,6			n/d	
CARVALHO, CESAR, ROMAN (2006)	Vazado	14x19x29	18,76	1:0,5:4,5	6,7	Não Possui	Não Possui	À Prumo; 3 blocos	4,6	24,6	
			19,23	01:01:06	3,6				3,8	20	
		12x19x25	17,99	1:0,5:4,5	6,7				5,9	32,9	
			20,07	01:01:06	3,6				4,3	21,3	
		12x14x25	23,05	1:0,5:4,5	6,7				8,6	37,5	
			21,3	01:01:06	3,6				4,4	20,7	
MENDES, ROMAN (1998)	Vazado	14x19x29	20,13	01:01:06	6,67	Não Possui		À Prumo; 3 blocos	5,9	29,36	
						1:0:1,98:1,98	28,32		12,19	60,54	
						1:0:3,08:2,72	13,94		15,53	77,18	
GROHMANN (2006)	Vazado	14x19x29	9,22	1: 1: 5 (A1)	8,31	Não Possui	Não Possui	Com Amarração; 4,5 Blocos	4,23 (oco)	45,88	
				1: 0,25:3 (A2)	18,35				5,19 (oco)	56,29	
				1: 1: 5 (A1)	8,31				7,98	6,29 (A1,G1)	68,26
				1: 0,25: 3 (A2)	18,35				7,98	6,49 (A2,G1)	70,43
				1: 1: 5 (A1)	8,31				16,47	5,04 (A1,G2)	54,7
				1: 0,25: 3 (A2)	18,35				16,47	6,49 (A2,G2)	70,37
				1: 1: 5 (A1)	8,31				24,38	4,43(A1,G3)	48,01
				1: 0,25: 3 (A2)	18,35				24,38	5,88(A2,G3)	63,79

Observando os resultados de ensaios, com variadas formas de blocos, distintos traços de argamassa, quando os prismas rompidos foram ociosos a eficiência prisma/bloco obteve uma variação de 20% a 56%. Para os prismas grauteados a eficiência prisma/bloco variou de 48% a 77%.

2.10 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DA ALVENARIA

De acordo com Parsekian (2010), a resistência à compressão da alvenaria depende muito mais do tipo de bloco, do que da mão de obra e da argamassa. A máxima carga de compressão que a parede é capaz de resistir depende da seção transversal (espessura e comprimento da parede), da esbeltez (relação altura/espessura), e de eventuais excentricidades de carregamento.

O ensaio para determinar a resistência à compressão da parede é normalizado pela NBR 8949 (ABNT, 1985).

Sempre é bom ter em mente de que quanto maior e mais perto do elemento parede é o corpo-de-prova ensaiado menor será a resistência à compressão obtida no ensaio, porém mais próxima do real será o resultado. Por exemplo, resultados de ensaios de resistência à compressão de blocos são superiores aos de prismas, que por sua vez são maiores que pequenas paredes, que são maiores que a parede inteira.

Cavalheiro e Gomes (2002) analisaram resultados de ensaios realizados no Brasil nos últimos anos, conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados médios de elementos em blocos cerâmicos vazados

Fonte	Dimensões (cm)	Nº Par.	Resistência à Compressão na Área Bruta (MPa)					Relações adimensionais			
			fb	fa	fp	fppa	fpa	fpa/fb	fpa/fppa	fpa/fp	fp/fb
Nelson Gomes São Paulo, 1982	14x19x39	3	10,2	9,9	3,3	-	3,0	0,29	-	0,91	0,32
Nelson Gomes São Paulo 1983	14x19x39	3	7,3	13,6	5,4	-	3,8	0,52	-	0,70	0,74
	19x19x39	3	8,6	9,7	4,9	-	3,3	0,38	-	0,67	0,57
Nelson Gomes São Paulo, 1984	11,5x19x39	3	8,3	11,7	5,3	-	3,6	0,43	-	0,68	0,64
Nelson Gomes Dissert. Mestrado São Paulo, 1984	19x19x39	3	15,3	3,6	2,4	-	2,5	0,16	-	1,04	0,16
	19x19x39	2	9,6	10,2	3,2	-	3,1	0,32	-	0,97	0,33
	19x19x39	2	7,5	5,1	-	-	2,6	0,35	-	-	-
	19x19x39	3	7,5	12,0	4,0	-	2,9	0,39	-	0,73	0,53
Nelson Gomes 29º CBC São Paulo, 1985	14x19x39	3	11,4	8,3	6,8	-	4,4	0,39	-	0,65	0,60
	19x19x39	3	7,9	13,4	5,2	-	4,0	0,51	-	0,77	0,66
	14x19x29	3	11,5	9,2	7,4	-	4,5	0,39	-	0,61	0,64
	09x19x39	3	7,6	12,0	7,0	-	4,6	0,61	-	0,66	0,92
Nelson Gomes São Paulo, 1986	19x19x39	3	7,4	8,3	4,8	-	3,5	0,47	-	0,73	0,65
	14x19x39	3	10,0	9,8	5,0	-	4,2	0,42	-	0,84	0,50
Mônica Muller Dissert. Mestrado São Paulo, 1989	14x14x29	4	23,3	0,8	5,4	2,8	2,8	0,12	1,00	0,52	0,23
	14x14x29	3	23,3	1,9	5,7	3,4	2,6	0,11	0,76	0,46	0,24
	14x14x29	3	23,3	3,8	5,9	3,3	3,0	0,13	0,91	0,51	0,25
Manual ABCI São Paulo, 1990	14x14x29	3	30,0	4,5	5,7	-	4,5	0,15	-	0,79	0,19
Relatório EESC São Carlos 1997	14x19x29	3	6,1	7,6	3,7	-	3,7	0,61	-	1,00	0,61
Machado/Takeya São Carlos, 1998	14x19x29	3	20,8	7,2	5,7	-	3,7	0,18	-	0,65	0,27
Machado/Takeya e Vareda São Carlos 1999	14x19x29	5	12,6	12,8	7,2	-	4,2	0,33	-	0,58	0,57
	14x19x29	5	12,6	23,0	6,4	-	4,2	0,33	-	0,66	0,51
Capuzzo/Corrêa São Carlos, 2000	14x19x29	6	11,0	9,5	6,3	-	3,7	0,33	-	0,58	0,57
Patrícia Garcia São Carlos, 2000	14x19x29	2	12,2	11,0	-	-	4,0	0,33	-	-	-
Média (77 paredes)					5,4	3,2	3,6	0,34	0,88	0,70	0,50
Desvio Padrão					1,27	0,28	0,65	0,14	0,09	0,15	0,20
Coeficiente de Variação					0,23	0,09	0,18	0,41	0,10	0,21	0,40

Essas pesquisas mostraram eficiência prisma/bloco média para os blocos cerâmicos de 50% e relação parede/prisma média de 70%.

2.11 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DA ALVENARIA

A resistência à tração direta da alvenaria, segundo Cavalheiro e outros (1997) é pequena e muito variável, devido a isso não é considerada no cálculo do projeto estrutural. De acordo com os mesmos autores, se uma parede está apoiada apenas na base e no topo, sua resistência lateral dependerá da resistência à tração na flexão desenvolvida ao longo da junta de assentamento. Se é suportada também nos limites laterais, a resistência vai depender também da resistência à flexão da alvenaria na direção perpendicular às juntas de assentamento. Nesta direção a resistência é três vezes maior do que a resistência obtida ao longo da junta de assentamento.

De acordo com a NBR 15812-1 (ABNT, 2010), nos casos de ações temporárias como, por exemplo, a do vento, permite-se a consideração da resistência à tração da alvenaria sob flexão, segundo os valores do Quadro 11.

Quadro 11 - Valores característicos da resistência à tração na flexão - f_{tk} (MPa)

Direção da tração	Resistência Média de Compressão da Argamassa (MPa)		
	1,5 a 3,4 ^a	3,5 a 7,0 ^b	acima de 7,0 ^c
Normal à fiada	0,10	0,20	0,25
Paralela à fiada	0,20	0,40	0,50

As faixas de resistência indicadas correspondem às seguintes classes da ABNT NBR 13.281, a seguir:

a Classes P2 e P3
b Classes P4 e P5
c Classe P6

3 TRABALHO EXPERIMENTAL

3.1 INTRODUÇÃO

Serão descritos os ensaios de blocos, argamassas, prismas e paredes com e sem grautes, submetidos a esforços de compressão simples, realizados no laboratório de sistemas estruturais da UFSCar. Nos resultados serão apresentadas as resistências características e correlações entre resistências de blocos, prismas e paredes com e sem graute.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram ensaiados 24 blocos 14x19x29, 175 prismas de dois blocos, sendo 98 prismas cheios e 77 prismas ocos, 12 paredes, sendo 3 grauteadas e 9 ocas. Também foram ensaiados 30 prismas de 5 blocos para determinação da resistência de aderência para diversos traços de argamassa.

Todos os blocos utilizados foram fornecidos pela Cerâmica Selecta e pertenciam a dois lotes de produção distintos; ambos tinham dimensões nominais de 14x19x29 (largura, altura e comprimento, cm), porém possuíam geometrias e resistências à compressão distintas. O primeiro lote denominado comercialmente BE30-6 é comercializado com resistência a compressão de 6 MPa; o segundo lote, denominado BE30-10, é comercializado com resistência à compressão de 10 MPa. O lote BE30-6 possui área bruta de 406 cm² e área líquida de 163 mm². O lote BE30-10 possui área bruta de 406 cm² e área líquida de 183 mm². Os meio-blocos tinham dimensões de 14x19x14 (espessura, altura e comprimento, cm).

Foram utilizados 6 traços de argamassa, sendo suas denominações, proporções e quantidade de corpos-de-prova listadas no Quadro 12.

Quadro 12 – Argamassas utilizadas

Argamassa	Traço (cimento:cal:areia)	Relação a/c	Nº corpo-de-prova
A1	1:0,5:4,5	1,2	6
A1 ⁺	1:0,5:4,5 (10% mais água)	1,3	6
A2	01:01:06	1,8	6
A2 ⁺	1:1:6 (10% mais água)	2	6
I4	Industrializada comercializada com 4,5 MPa	-	6
I8	Industrializada comercializada com 8 MPa	-	6
I14	Industrializada comercializada com 14 MPa	-	6

Foram utilizados três tipos de grautes, sendo suas denominações e traços (cimento: cal: areia: pedrisco) mostrados no Quadro 13.

A escolha dos grautes G1 e G2, foi baseada, nos resultados de ensaios da cerâmica Selecta onde o Graute G1 obteve resistência à compressão de 12,9 MPa e o graute G2 obteve resistência à compressão de 19 MPa.

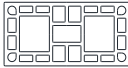

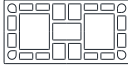
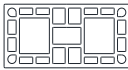
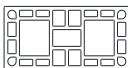

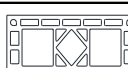




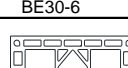

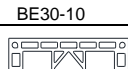
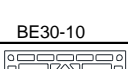
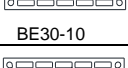
Quadro 13 – Grautes utilizados

Graute	Traço cimento:cal:areia:pedrisco	A/C	Corpo-de-prova	número de corpos-de-prova
G1	1:0,1:3:2	0,8	cilíndrico	6
G2	1:0,1:2,5:3	0,8	cilíndrico	6
Graute industrializado 20 MPa	não especificado	Recomendada pelo fabricante	cilíndrico	6

Os prismas ensaiados estão mostrados no Quadro 14.

Este ensaio também serviu para avaliação da aderência bloco/graute, visualmente, quando se fez o re-adensamento alguns minutos após o grauteamento e quando não se fez o re-adensamento.

Quadro 14 - Ensaio de resistência à compressão de prismas

Grupo	Nº corpos-de-prova	Geometria e Resistência do bloco	Lote de produção bloco	Traço da argamassa	Graute
(1) Prisma oco	12	 BE30-6	41610	A2 (1:1:6)	não
(2) Prisma cheio	12	 BE30-6	41610	A2 (1:1:6)	A2 (1:1:6)
(3) Prisma oco	11	 BE30-6	41610	A2+ (1:1:6) 10% mais de água	não
(4) Prisma cheio	12	 BE30-6	41610	A2 (1:1:6)	A1 (1:0,5:4,5)
(5) Prisma oco	12	 BE30-6	41610	A1 (1:0,5:4,5)	não
(6) Prisma oco	12	 BE30-6	41610	A1+ (1:0,5:4,5) 10% mais água	não
(7) Prisma Oco	12	 BE30-10	26409	A1 (1:0,5:4,5)	não
(8) Prisma cheio	11	 BE30-10	26409	A1 (1:0,5:4,5)	A2 (1:1:6)
(9) Prisma oco	12	 BE30-6	41610	I 4,5	não
(11) Prisma cheio	12	 BE30-6	41610	A2 (1:1:6)	G1 com readensamento
(12) Prisma cheio	11	 BE30-6	41610	A2 (1:1:6)	G1 sem readensamento
(14) Prisma cheio	12	 BE30-10	26409	A1 (1:0,5:4,5)	G2 sem readensamento
(15) Prisma cheio	10	 BE30-10	26409	A1 (1:0,5:4,5)	G2 com readensamento
(16) Prisma oco	6	 BE30-10	26409	I 8	não
(17) Prisma cheio	12	 BE30-10	26409	I 8	Graute industrializado de 20 MPa
(18) Prisma cheio	6	 BE30-10	26409	I 8	I 14

Foram ensaiadas 12 paredes à compressão simples conforme Quadro 15.

Quadro 15 - Ensaio de resistência à compressão de paredes

Corpo de prova	Bloco	Quantidade	Argamassa	Graute	Total Paredes
Par. tipo1	BE30-6	3	I 4,5	não	12
Par.tipo2	BE30-6	3	A2	não	
Par.Tipo3	BE30-10	3	A1	não	
Par.Tipo4	BE30-6	3	A2	G15	

Outra avaliação realizada foi de aderência bloco/argamassa em diversas situações, conforme Quadro 16.

Quadro 16 - Avaliação da aderência argamassa /bloco

Grupo	Bloco	Argamassa	Número de Prismas de 5 blocos	Total de prismas de 5 blocos
PA1	BE30-6	A2	6	30
PA2	BE30-6	A2 ⁺ (10% a mais de água)	6	
PA3	BE30-6	A2 (molhando os blocos)	6	
PA4	BE30-6	A1	6	
PA5	BE30-6	I 4,5	6	

3.2.1 Caracterização de blocos, grautes e argamassas

Para a caracterização dos materiais, foram utilizados os procedimentos e normas anotados no Quadro 17.

Quadro 17 – Procedimentos e normas para caracterização da argamassa, bloco, graute, e paredes

	Ensaio	Procedimento
ARGAMASSA	Resistência à compressão	NBR 13279 (ABNT, 2005) NBR 7215 (ABNT, 1996) NBR 15812-1 (ABNT, 2010)
	Caracterização da areia	NBR NM248 (ABNT, 2003)
BLOCO	Varição dimensional	NBR 15270-2 (ABNT, 2005)
	Absorção total	NBR 15270-3 (ABNT, 2005)
	Resistência à compressão	NBR 15270-3 (ABNT, 2005)
GRAUTE	Resistência à compressão	NBR 7215 (ABNT, 1996)
	Caracterização do pedrisco	NBR NM248 (ABNT, 2003)
PRISMAS	Resistência à compressão	NBR 15812-2 (ABNT,2010) ANEXO A
PAREDE	Resistência à compressão	NBR 8949 (1 ABNT, 1984)
ADERÊNCIA BLOCO/ARGAMASSA	Tração na flexão	ASTM E518

3.2.2 Montagem dos corpos-de-prova

Todos os ensaios foram realizados num período aproximado de 6 meses, com início em novembro/2010 e término em abril/2011. As datas de moldagem e respectivos rompimentos estarão descritas junto aos resultados dos ensaios.

3.2.2.1 Blocos, argamassa e graute

O primeiro passo foi caracterizar os dois lotes de blocos recebidos de acordo com a NBR 15270-3 (ABNT, 2005). Foram caracterizados também a areia e pedriscos utilizados para a argamassa e graute. As amostras para ensaios de resistência à compressão de grautes e argamassas foram retiradas à medida que eram moldados os corpos de prova e foi realizado apenas um ensaio de compressão para cada traço utilizado. As Figura 17 e Figura 18 ilustram os corpos-de-prova de argamassa e graute, respectivamente.

Foram utilizados os traços de argamassa 1:1:6 e 1:0,5:4,5 em volume de materiais secos de cimento:cal:areia. Antes da realização da dosagem, todos os materiais foram secos em estufa e acondicionados dentro do laboratório em recipientes plásticos fechados. Os mesmos traços de argamassa citados

anteriormente foram utilizados com uma relação água/cimento 10% maior para avaliação das resistências de prismas, simulando um erro na dosagem em obras.

A dosagem final foi realizada sempre em peso. Para transformação do traço de volume para peso os materiais foram pesados em recipiente de volume conhecido obtendo-se os valores de massa unitária.

A mistura foi feita conforme recomendações da NBR15812-2 (ABNT, 2010). A quantidade de água foi definida pelo pedreiro na primeira dosagem de maneira a que essa atingisse o ponto ideal de trabalhabilidade. A quantidade definida nessa primeira dosagem foi mantida constante nas demais dosagens.

A resistência à compressão de cada argamassa foi verificada em ensaios de compressão de cubos de 40 mm, moldados de acordo com NBR15812-2 (ABNT, 2010) e NBR 13279 (ABNT, 2005).

Figura 17 - Ensaio de resistência à compressão da argamassa

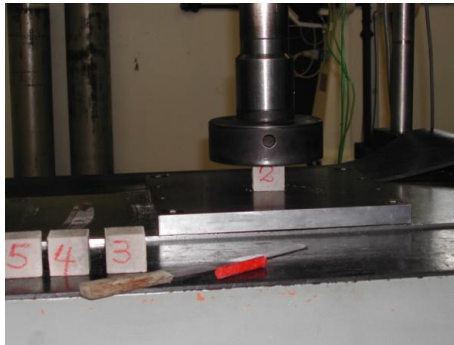


Figura 18 - Exemplo de corpo-de-prova de graute (10x20cm)



3.2.2.2 Prismas

Os prismas foram moldados e ensaiados conforme NBR 15812-2 (ABNT, 2010), com capeamento em pasta de cimento. Os ensaios foram realizados em prensa hidráulica de 2000 kN, marca EMIC, modelo PC200-ESP.

Foi moldada uma série de 16 grupos de prismas de 2 blocos, variando os traços de argamassa e resistência dos blocos. A argamassa foi colocada no sentido longitudinal e transversal das paredes e septos dos blocos. Foi utilizada colher de pedreiro na colocação da argamassa.

Com os prismas já pré-confeccionados, e o graute recém misturado em betoneira, os prismas foram cheios até a metade com graute e com um bastão foram dados 12 golpes para compactá-lo. Após estes primeiros golpes, terminou-se de encher o prisma com graute e mais uma vez foram aplicados 12 golpes. Os centímetros restantes foram completados sem mais golpes.

A Figura 19 ilustra dois grupos de prismas moldados e a Figura 20 ilustra o ensaio de resistência à compressão de um dos prismas.

Figura 19 - Exemplos de grupos de prismas moldados

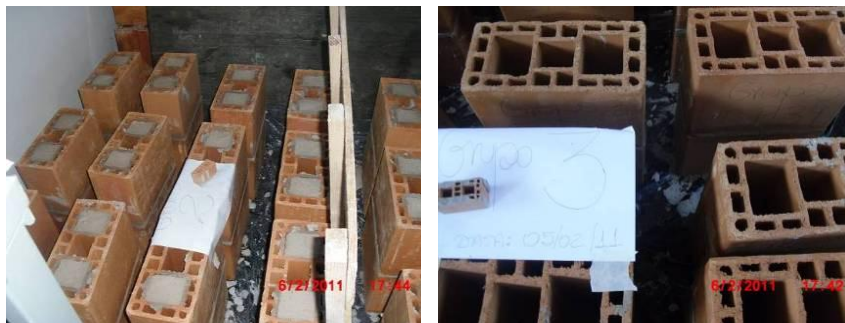


Figura 20 - Ensaio de resistência à compressão de prismas



3.2.2.3 Paredes

As paredes foram moldadas sobre chapas metálicas conforme Figura 21.

A argamassa de assentamento foi colocada utilizando colher de pedreiro com junta horizontal apenas nas paredes longitudinais do bloco e junta vertical com filetes colocados antes do assentamento, conforme Figura 22.

Figura 21 – Parede sendo confeccionada sobre chapas metálicas



Figura 22 - Preenchimento das juntas horizontais e verticais da parede



As dimensões das paredes e os detalhes de dispositivos para aplicação das cargas estão detalhados na Figura 23. A Figura 24 mostra os extensômetros instalados.

Figura 23 - Medidas e esquema de ensaio de compressão das paredes

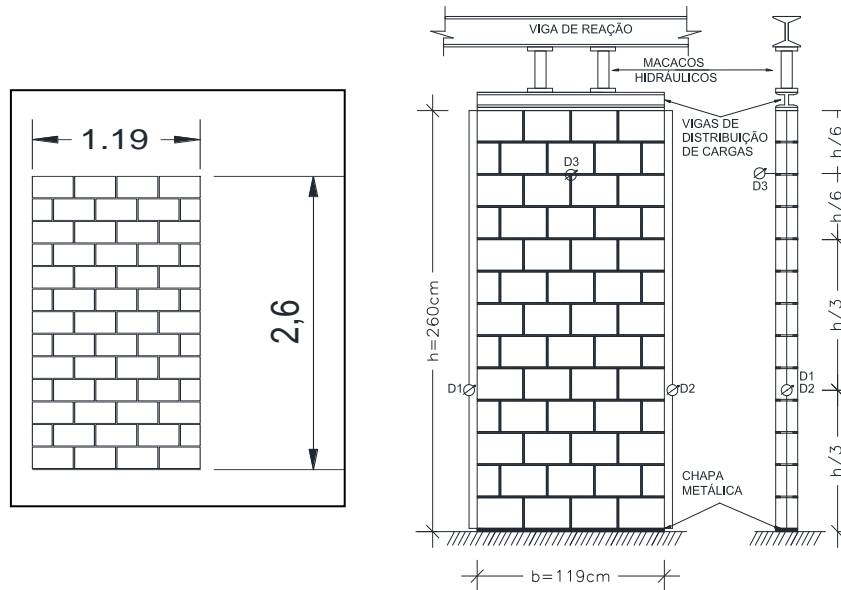
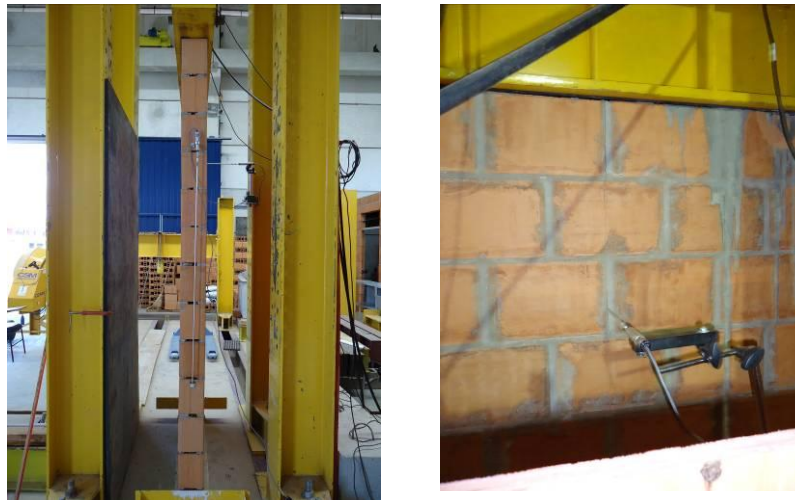


Figura 24 - Extensômetro vertical e horizontal instalados



Os painéis de alvenaria foram executados com as medidas recomendadas pela NBR 8949 (ABNT, 1984), em duas etapas: foram construídas paredes de 1,20 m de altura, após 24 horas foram construídas as outras metades, porém nas paredes grauteadas – grupo 4, não foram abertas espigas para a limpeza do furo e o grauteamento foi feito imediatamente após a confecção da segunda metade da parede.

Devido a uma alteração da mão de obra, as paredes do grupo 2 apresentaram problemas na altura, as juntas horizontais variaram e a altura de uma das paredes ficou com 2,63m, nesta parede foi usada manta de 4mm no contato

com a prensa. As outras duas ficaram com 2,62m e foi usada manta de 15 mm.. Apesar da diferença na altura, o autor assumiu o risco e preferiu romper as paredes, acreditando que o ensaio poderia representar melhor o que corriqueiramente acontece nas obras.

A Figura 25 e Figura 26 ilustram corpos-de-prova das paredes ensaiadas.

Figura 25 - Paredes do grupo 1 (paredes 1, 2 e 3)



Figura 26 - Paredes do grupo 3 (paredes 4, 5 e 6)



3.2.2.4 Aderência

O ensaio de aderência foi realizado de acordo com as orientações da ASTM E518.

Os corpos de prova foram moldados dias 13 e 14 de março/2011 e ensaiados em 15/04/2011.

Foram moldados prismas de 5 blocos, exemplificados pela Figura 27, com argamassa de assentamento apenas nas paredes longitudinais dos blocos conforme Figura 28.

Figura 27 - Prismas de 5 blocos



Figura 28 – Forma de colocação da argamassa nos prismas de aderência



3.3 RESULTADOS DO TRABALHO EXPERIMENTAL

3.3.1 Resultados das argamassas

A resistência à compressão de cada argamassa foi verificada em ensaios de compressão de cubos de 40 mm, moldados de acordo com a norma NBR 15812-2 (ABNT, 2010). Os corpos-de-prova foram rompidos de acordo com NBR 7215

(ABNT, 1996) em Máquina Universal de Ensaio INSTRON 5500R com capacidade máxima de 250 kN do Dept. de Materiais da UFSCar.

3.3.1.1 Granulometria da areia

A Tabela 6, mostra o resultado do ensaio de granulometria da areia utilizada que foi realizado conforme NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Tabela 6 - Resultado do ensaio de granulometria da areia

Amostra (areia Fina) = agregado fino – dimensão máxima = 0,6 mm

Peneiras / Aberturas		Massa Retida (g)	% Retida	% Acumulada	Módulo Finura
# ASTM	abert (mm)				
3/4"	19	0	0	0	0
1/2"	12,5	0	0	0	
3/8"	9,5	0	0	0	0
1/4"	6,3	0	0	0	
4	4,75	0,18	0,04	0	0
8	2,36	1,69	0,34	0	0
16	1,18	4,33	0,87	1	1
30	0,6	5,89	1,18	2	2
50	0,3	200,3	40,03	42	42
100	0,15	224,92	44,95	87	87
Passante	< 0,150	63,1	12,61	100	
Total		500,41	100	**	1,32

A areia utilizada foi classificada como areia fina com módulo de finura de 1,32.

3.3.1.2 Resistência à compressão das argamassas

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão das argamassas estão descritos na Tabela 7.

Tabela 7 - Resistência à compressão das argamassas

Argamassa	Traço (cimento:cal:areia)	Resistência à compressão Média (MPa)	Desvio padrão	CV (%)
A1	1:0,5:4,5	8,5	0,6	7
A1+	1:0,5:4,5 (10% mais de água)	7,9	0,53	6,7
A2	01:01:06	6,8	0,51	7,5
A2+	1:1:6 (10% mais água)	5,7	0,32	5,6
I 4,5	Industrializada comercializada com 4,5 MPa	6,3	0,47	7,4
I 8	Industrializada comercializada com 8 MPa	14,5	0,75	5,2
I 14	Industrializada comercializada com 14 MPa	20,81	0,55	2,6

3.3.2 Resultados dos blocos

Os resultados dos ensaios de caracterização dos blocos estão descritos no Quadro 18 e Quadro 19.

Quadro 18 - Caracterização do bloco BE30-6 lote 41610

BLOCO 14X19X29																	
Corpo de prova	Características Geométricas e Físicas											Resistência Característica à Compressão					
	Largura (mm)	Altura (mm)	Comp (mm)	Parede (mm)	Septos (mm)	Esquad (mm)	Planeza (mm)	Área Bruta (mm ²)	Peso Seco (kg)	Peso Úmido (kg)	Abs. Água (%)	Carga ruptura (KGF)	Resistência à compressão (MPa)	Resistência ordem cresc	F _{bk} Est.	Coef Ø x F _{bi}	F _{bk} (MPa)
1	140,6	190,0	291,0	8,2	7,4	1,8	0,3	409,1	5,795	6,620	14,2	34,800	8,7	8,0	8,3	7,9	8,3
2	140,0	192,0	290,6	8,2	7,4	2,0	0,4	406,8	5,765	6,575	14,1	36,000	9,0	8,5			
3	140,0	192,0	291,0	8,2	7,4	2,0	0,4	407,4	5,765	6,575	14,1	34,000	8,5	8,7			
4	141,8	192,0	290,8	8,3	7,4	1,9	0,4	412,4	5,795	6,605	14,0	32,400	8,0	9,0			
5	142,0	191,8	290,6	8,3	7,4	1,9	0,4	412,7	5,790	6,610	14,2	36,400	9,0	9,0			
6	141,8	191,8	290,0	8,3	7,4	1,8	0,8	411,2	5,780	6,610	14,4	36,400	9,0	9,0			
7	141,0	192,2	291,0	8,2	7,3	1,6	0,6	410,3	5,800	6,615	14,1	36,600	9,1	9,0			
8	140,8	191,6	291,3	8,2	7,3	1,6	0,3	410,2	5,780	6,595	14,1	37,000	9,2	9,1			
9	140,6	192,0	291,2	8,0	7,4	1,4	0,2	409,4	5,790	6,595	13,9	36,400	9,1	9,1			
10	140,0	192,0	291,6	8,1	7,4	1,4	0,2	408,2	5,780	6,600	14,2	37,000	9,2	9,2			
11	140,3	192,0	291,8	8,2	7,4	1,8	0,6	409,4	5,760	6,570	14,1	36,800	9,2	9,2			
12	140,0	192,0	292,0	8,3	7,3	1,8	0,4	408,8	5,775	6,605	14,4	37,000	9,2	9,2			
13	140,8	190,6	292,0	8,3	7,3	1,9	0,4	411,1	5,780	6,610	14,4	36,400	9,0	9,2			
Média	140,7	191,7	291,1	8,2	7,4	1,8	0,4	409,8	5,781	6,599	14,1	35,9	8,9	Área líquida =162 mm ²			
Varição máxima permitida	3	3	3	**	**	3,0	3,0	**	**	**	22	**	**				
variação mínima permitida	-3	-3	-3	8,0	7,0	**	**	**	**	**	8	**	6,0				

Quadro 19 - Caracterização do bloco BE30-10 lote 26409

Bloco 14x19x29																	
Corpo de prova	Características Geométricas e Físicas											Resistência Característica à Compressão					
	Largura (mm)	Altura (mm)	Comp (mm)	Parede (mm)	Septos (mm)	Esquad (mm)	Planeza (mm)	Área Bruta (mm ²)	Peso Seco (kg)	Peso Úmido (kg)	Abs. Água (%)	Carga de ruptura (KGF)	Resistência à compressão (MPa)	ordem cresc	F _{bk} Est.	Coef \emptyset x F _{bi}	F _{bk} (MPa)
1	138,4	187,6	289,4	8,5	7,4	0,9	1,1	400,5	6,000	6,865	14,4	44,800	11,4	10,9	11,1	10,8	11,1
2	138,2	188,2	290,0	8,2	7,4	1,4	0,7	400,8	6,000	6,850	14,2	53,400	13,6	11,4			
3	138,8	187,8	290,2	8,2	7,5	1,0	0,7	402,8	6,000	6,865	14,4	50,800	12,9	11,5			
4	138,6	187,8	290,0	8,3	7,5	0,8	0,8	401,9	6,020	6,885	14,4	45,200	11,5	11,6			
5	138,6	187,4	289,7	8,3	7,5	1,1	1,0	401,5	6,030	6,875	14,0	46,600	11,8	11,8			
6	139,3	188,0	290,0	8,2	7,6	1,4	1,5	404,0	6,040	6,910	14,4	49,000	12,4	11,8			
7	138,4	187,5	289,3	8,6	7,5	1,3	1,3	400,4	6,005	6,855	14,2	52,200	13,3	12,4			
8	138,6	188,0	289,4	8,3	7,6	1,4	0,7	401,1	6,030	6,895	14,3	50,800	12,9	12,4			
9	139,0	188,1	289,8	8,3	7,6	1,2	0,6	402,8	6,025	6,895	14,4	54,400	13,8	12,9			
10	138,4	188,0	290,0	8,2	7,5	1,0	0,6	401,4	6,020	6,880	14,3	45,600	11,6	12,9			
11	138,6	187,6	290,0	8,4	7,5	1,1	0,7	401,9	5,985	6,850	14,5	43,000	10,9	13,3			
12	139,0	187,4	290,4	8,5	7,4	1,3	0,9	403,7	6,005	6,870	14,4	46,600	11,8	13,6			
13	138,7	187,4	289,5	8,4	7,6	1,2	1,7	401,5	6,005	6,840	13,9	49,000	12,4	13,8			
Média	138,7	187,8	289,8	8,3	7,5	1,2	0,9	401,9	6,013	6,872	14,3	48,6	12,3	Área Líquida = 180mm ²			
Varição Máxima Permitida	3	3	3	8	7	**	**	**	**	**	8	**	**				
Varição Mínima Permitida	-3	-3	-3	**	**	3	3	**	**	**	22	**	6,0				

3.3.3 Resultados dos grautes

A resistência à compressão de cada corpo de prova de graute foi verificada em ensaios de compressão de cilindros de 10x20cm, rompidos de acordo com NBR 7215 (ABNT, 1996) em Máquina Universal de Ensaio INSTRON 5500R com capacidade máxima de 250 kN do Departamento de Materiais da UFSCar.

Foi utilizada nos grautes a mesma areia usada para a confecção da argamassa.

3.3.3.1 Granulometria do pedrisco

O resultado do ensaio de granulometria do pedrisco utilizado nos grautes está descrito na Tabela 8 e foi realizado conforme NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Tabela 8 - Resultado de ensaio de granulometria do pedrisco

Amostra 2 (pedrisco) = agregado graúdo Dimensão máxima: 9,5mm					
Peneiras / Aberturas		Massa Retida (g)	% Retida	% Acumulada	Módulo Finura
# ASTM	abert (mm)				
3/4"	19,0	0	0,00	0	0
1,2"	12,5	0	0,00	0	
3/8"	9,5	20,2	2,02	2	2
1/4"	6,3	381,12	38,10	40	
4	4,75	264,38	26,43	67	67
8	2,36	229,55	22,95	90	90
16	1,18	24,08	2,41	92	92
30	0,600	7,57	0,76	93	93
50	0,300	15,97	1,60	94	94
100	0,150	28,31	2,83	97	97
Passante	< 0,150	29,03	2,90	100	
Total		1000,21	100,0	**	5,35

3.3.3.2 Resistência à compressão dos grautes

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão dos grautes estão descritos na Tabela 9.

Tabela 9 - Resultados da resistência à compressão dos grautes

Graute	Traço cimento:cal:areia:pedrisco	A/C	Corpo-de-prova	Resistência à compressão média (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
G1	1:0,1:3:2	0,8	cilíndrico (10x20)cm	10,82	0,04	0,4
G2	1:0,1:2,5:3	0,8	cilíndrico (10x20)cm	11,47	0,11	1,0
Graute industrializado	não especificado	Recomendada pelo fabricante	cilíndrico (10x20)cm	18,68	0,33	1,8

3.3.4 Resultados dos prismas

3.3.4.1 Resistência à compressão dos prismas

O resultado da resistência à compressão dos prismas estão mostrados na Tabela 10, Tabela 11 e Tabela 12.

Tabela 10 – Resultados de resistências dos prismas grupo 1 ao grupo 5

Grupo	Data Confeção dos corpos de prova	Nº Corpo de prova	Tipo de Bloco	Lote de produção do bloco	Traço da argamassa	Graute	Data rompimento	Resultado ensaio de compressão individual (MPa)	Média (MPa)	F _{pk1} (MPa)	F _{pk2} (MPa)	F _{pk3} (MPa)	F _{pk4} (MPa)	F _{pk} (MPa)
(1) Prisma Oco	5/2/2011	1		41610	A2 (1:1:6)	Não	13/4/2011	3,07	4,02 CV=15,9%	3,07	3,42	3,01	3,07	3,07
		2												
		3												
		4												
		5												
		6												
		7												
		8												
		9												
		10												
		11												
		12												
(2) Prisma Cheio	5/2/2011	1		41610	A2 (1:1:6)	A2 (1:1:6)	13/4/2011	4,76	5,36 CV=7,4%	4,64	4,56	4,66	4,66	4,56
		2												
		3												
		3												
		5												
		6												
		7												
		8												
		9												
		10												
		11												
		12												
(3) Prisma Oco	5/2/2011	1		41610	A2+ (1:1:6) 10% mais de água	não	13/4/2011	3,36	5,13 CV=14,1%	3,65	4,36	3,26	3,26	3,26
		2												
		3												
		3												
		5												
		6												
		7												
		8												
		9												
		10												
		11												
		12												
(4) Prisma Cheio	5/2/2011	1		41610	A2 (1:1:6)	A1 (1:0,5:4,5)	13/4/2011	5,2	5,97 CV=6,3%	5,18	5,07	5,10	5,18	5,07
		2												
		3												
		3												
		5												
		6												
		7												
		8												
		9												
		10												
		11												
		12												
(5) Prisma Oco	5/2/2011	1		41610	A1 (1:0,5:4,5)	não	14/4/2011	4,37	5,62 CV= 14,4%	4,35	4,78	4,28	4,35	4,35
		2												
		3												
		3												
		5												
		6												
		7												
		8												
		9												
		10												
		11												
		12												

Tabela 11 - Resultados de resistências dos prismas grupo 6 ao grupo 12







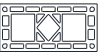
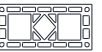
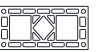
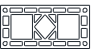

Grupo	Data Confeção dos corpos de prova	№ Corpo de prova	Tipo de Bloco	Lote de produção do bloco	Traço da argamassa	Graute	Data rompimento	Resultado ensaio de compressão individual (MPa)	Média (MPa)	F _{pk1} (MPa)	F _{pk2} (MPa)	F _{pk3} (MPa)	F _{pk4} (MPa)	F _{pk} (MPa)
(6) Prisma Oco	6/2/2011	1		41610	A1* (1:0,5:4,5) 10% mais água	não	14/4/2011	3,05	4,11 CV= 13,4%	2,99	3,49	2,99	2,99	2,99
		2												
		3												
		4												
		5												
		6												
		7												
		8												
		9												
		10												
		11												
		12												
(7) Prisma Oco	5/2/2011	1		26409	A1 (1:0,5:4,5)	não	14/4/2011	4,82	6,33 CV=12,1%	5,06	5,38	4,72	5,06	5,06
		2												
		3												
		3												
		5												
		6												
		7												
		8												
		9												
		10												
		11												
		12												
(8) Prisma Cheio	5/2/2011	1		26409	A1 (1:0,5:4,5)	A2 (1:1:6)	15/4/2011	5,49	7,09 CV=15,2%	5,76	6,03	5,33	5,76	5,76
		2												
		3												
		3												
		5												
		6												
		7												
		8												
		9												
		10												
		11												
		12												
(9) Prisma Oco	19/12/2010	1		41610	14,5	não	12/1/2011	3,71	4,28 CV=6,7%	3,80	3,64	3,64	3,80	3,64
		2												
		3												
		3												
		5												
		6												
		7												
		8												
		9												
		10												
		11												
		12												
(11) Prisma Cheio	14/3/2011	1		41610	A2 (1:1:6)	G1 com readensa mento	25/4/2011	4,83	5,44 CV=5,7%	4,90	4,62	4,73	4,90	4,62
		2												
		3												
		3												
		5												
		6												
		7												
		8												
		9												
		10												
		11												
		12												
(12) Prisma Cheio	6/2/2011	1		41610	A2 (1:1:6)	G1 sem readensa mento	25/4/2011	4,68	7,17 CV=15%	5,25	6,09	4,54	5,25	5,25
		2												
		3												
		3												
		5												
		6												
		7												
		8												
		9												
		10												
		11												
		12												

Tabela 12 - Resultados de resistências dos prismas grupo 14 ao grupo 18

Grupo	Data Confeção dos corpos de prova	Nº Corpo de prova	Tipo de Bloco	Lote de produção do bloco	Traço da argamassa	Graute	Data rompimento	Resultado ensaio de compressão individual (MPa)	Média (MPa)	F _{pk1} (MPa)	F _{pk2} (MPa)	F _{pk3} (MPa)	F _{pk4} (MPa)	F _{pk} (MPa)
(14) Prisma Cheio	13/3/2011	1		26409	A1 (1:0,5:4,5)	G2 sem readensa mento	25/4/2011	5,67	6,9 CV=7,0%	6,06	5,87	5,56	6,06	5,87
		2						6,58						
		3						6,59						
		3						6,8						
		5						6,87						
		6						6,94						
		7						7,03						
		8						7,04						
		9						7,17						
		10						7,21						
		11						7,35						
		12						7,59						
(15) Prisma Cheio	13/3/2011	1		26409	A1 (1:0,5:4,5)	G2 com readensa mento	26/4/2011	6,96	7,7 CV=5%	6,91	6,55	6,68	6,91	6,55
		2						7,31						
		3						7,34						
		3						7,77						
		5						7,78						
		6						7,79						
		7						7,9						
		8						7,98						
		9						8,02						
		10						8,23						
(16) Prisma Oco	14/3/2011	1		26409	I8	não	26/4/2011	5,5	6,95 CV=15%	5,47	5,91	4,90	5,47	5,47
		2						6,39						
		3						6,42						
		3						7,18						
		5						7,87						
		6						8,31						
(17) Prisma Cheio	14/3/2011	1		26409	I8	G20 Industriali zado	25/11/2011	6,34	7,46 CV=7,7%	6,34	6,34	6,21	6,21	6,21
		2						6,87						
		3						6,94						
		3						7,2						
		5						7,22						
		6						7,49						
		7						7,69						
		8						7,7						
		9						7,72						
		10						7,78						
		11						8,08						
		12						8,46						
(18) Prisma Cheio	14/3/2011	1		26409	I8	I14	26/11/2011	5,39	6,46 CV=10,4%	5,33	5,49	4,80	5,33	5,33
		2						6,2						
		3						6,26						
		3						6,59						
		5						7,11						
		6						7,22						

3.3.4.2 Resumo das resistências dos grupos de prismas por resistência de bloco

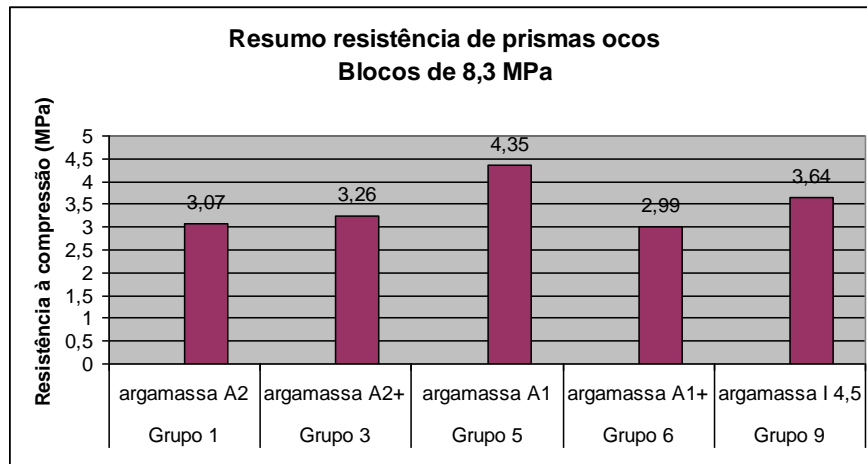
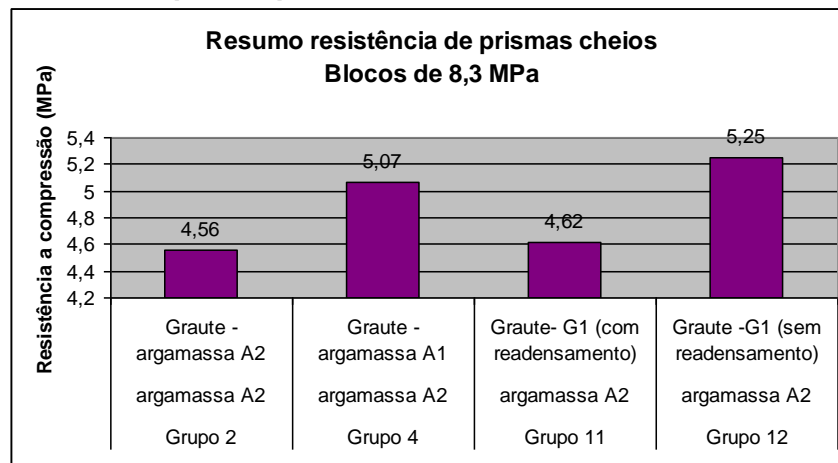
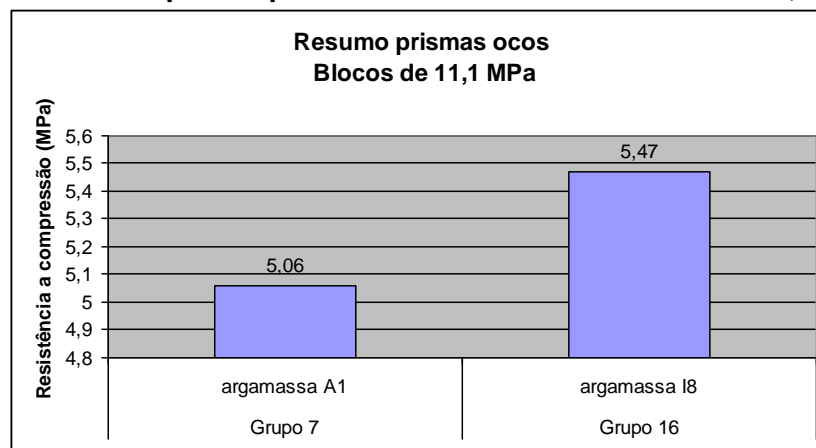
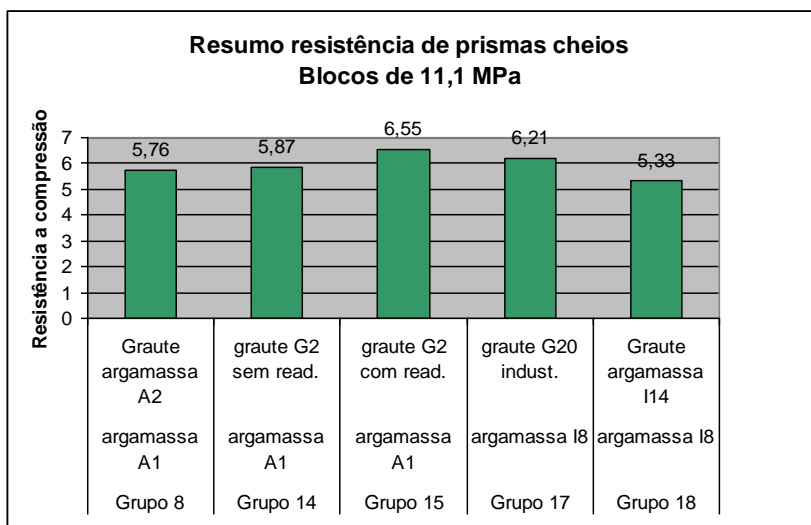
Gráfico 2 – Grupos de prismas ocios utilizando blocos de 8,3 MPa**Gráfico 3 - Grupos de prismas cheios utilizando blocos de 8,3 MPa****Gráfico 4 - Grupos de prismas ocios utilizando blocos de 11,1 MPa**


Gráfico 5 - Grupos de prismas cheios utilizando blocos de 11,1 MPa



3.4 RESULTADOS DAS PAREDES

3.4.1 Resultado das paredes do grupo 1

Tabela 13 – Resultados de resistência à compressão das paredes do grupo 1

Data Moldagem	Grupo	Nº Corpo de prova	Resistência Bloco (MPa)	Lote de produção bloco	Traço da argamassa	Graute	Data do ensaio de compressão	Resistência à compressão
18/12/2010	1	1		41610	I 4,5 Resistência (6,3 Mpa)	não	19/1/2011	2,11
18/12/2010		2					18/1/2011	2,16
19/12/2010		3					8,3	18/1/2011
Resistência média a compressão paredes do Grupo 1 (MPa)								2,18

A Figura 29 mostra a parede P1 instrumentada, o gráfico 6 ilustra a relação carga versus deslocamentos e a Figura 30 e Figura 31 mostram a forma de ruptura da parede P1.

Figura 29 – Parede P1 com instrumentação



Gráfico 6 - Cargas x deslocamentos parede P1

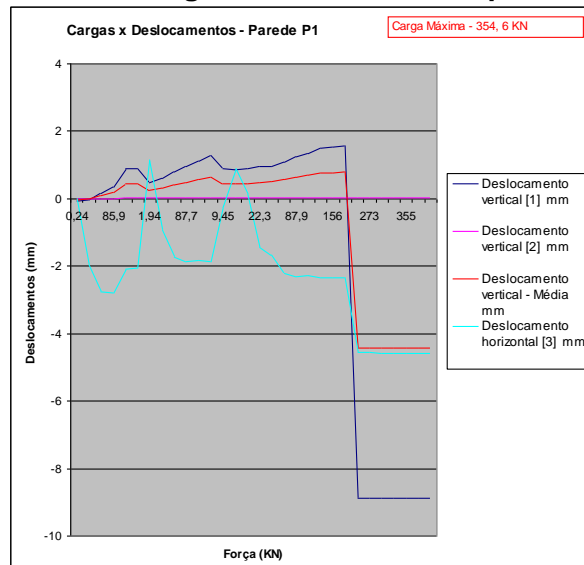


Figura 30 - Modo de ruptura da Parede P1 (trinca vertical)



Figura 31 – Parede P1 após ruptura



A Figura 32 mostra a parede P2 instrumentada, o Gráfico 7 ilustra a relação carga versus deslocamentos e a Figura 33 e Figura 34 mostram a forma de ruptura da parede P2.

Figura 32 – Parede P2 com instrumentação



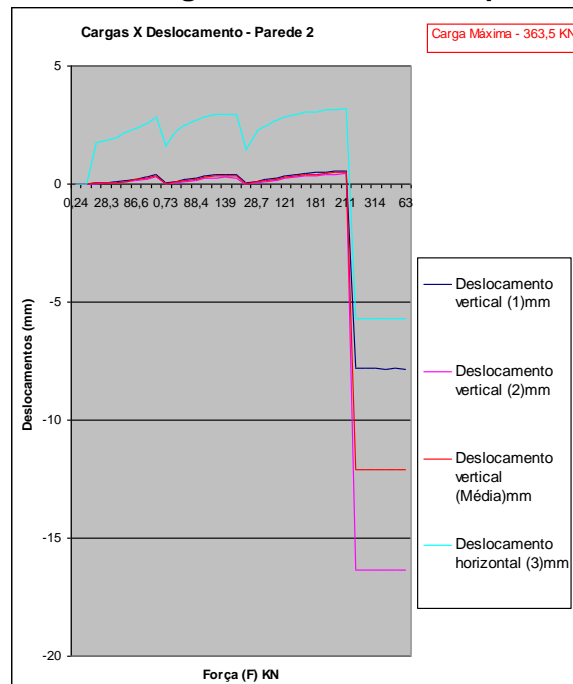
Gráfico 7 – Cargas x deslocamentos parede P2**Figura 33 - Modo de ruptura da parede P2 (trinca vertical)**

Figura 34 – Parede P2 após ruptura



A Figura 35 mostra a parede P3 instrumentada, o Gráfico 8 ilustra a relação carga versus deslocamentos e a Figura 36 e Figura 37 mostram a forma de ruptura da parede P1.

Figura 35 – Parede P3 com instrumentação



Gráfico 8 – Cargas x deslocamentos da parede P3

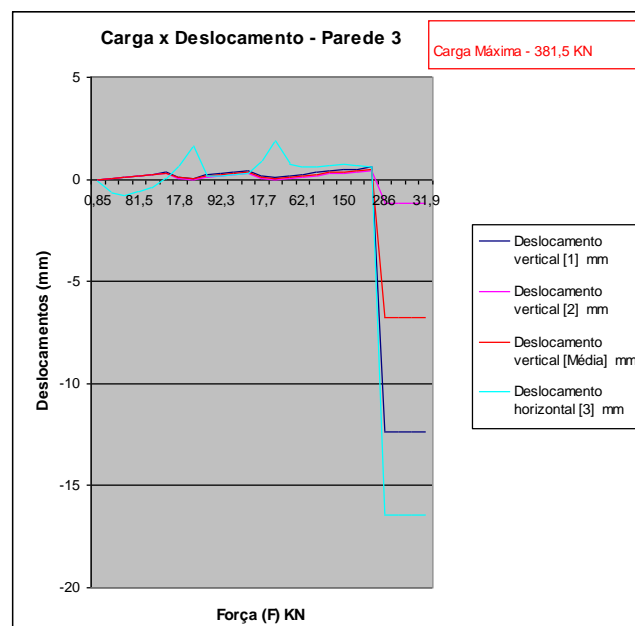


Figura 36 – Forma de ruptura da Parede P3 (trinca vertical)




Figura 37 – Parede P3 após ruptura



3.4.2 Resultado das paredes do grupo 2

Tabela 14 – Resultados de resistência à compressão das paredes do grupo 2

Data Moldagem	Grupo	Nº Corpo de prova	Resistência Bloco (MPa)	produção bloco	Traço da argamassa	Graute	data ensaio de compressão	Resistência a compressão
5/2/2011	2	7		41610	A2 (1:1:6) Resistência (6,8 Mpa)	não	25/3/2011	2,68
6/2/2011		8					26/3/2011	2,8
6/2/2011		9					8,3	26/3/2011
Resistência média a compressão paredes do grupo 2 (MPa)								2,50

A Figura 38 mostra a parede P7 instrumentada, o Gráfico 9 ilustra a relação carga versus deslocamentos e a Figura 39 e Figura 40 mostram a forma de ruptura da parede P7.

Figura 38 – Parede P7 com instrumentação



Gráfico 9 - Cargas x deslocamentos parede P7

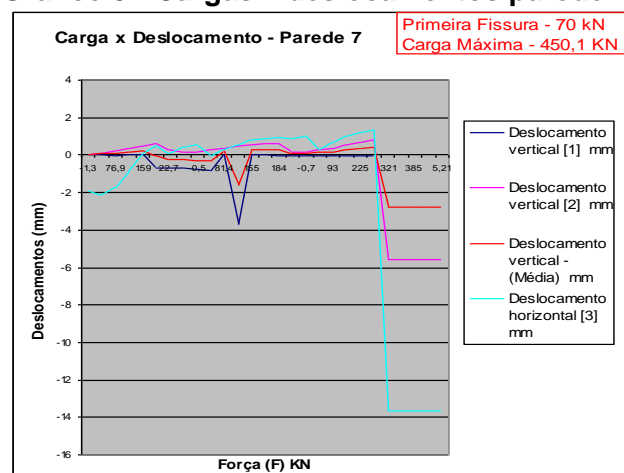


Figura 39 – Forma de ruptura da Parede P7 (trinca vertical)



Na parede P7, surgiu a fissura vertical na segunda fiada, logo abaixo da aplicação da carga dos macacos hidráulicos (valor de referência: 70 kN)

Figura 40 - Parede P7 – Após ruptura



A Figura 41 mostra a parede P8 instrumentada, o Gráfico 10 ilustra a relação carga versus deslocamentos e a Figura 42 e Figura 43 mostram a forma de ruptura da parede P8.

Figura 41 – Parede P8 com instrumentação



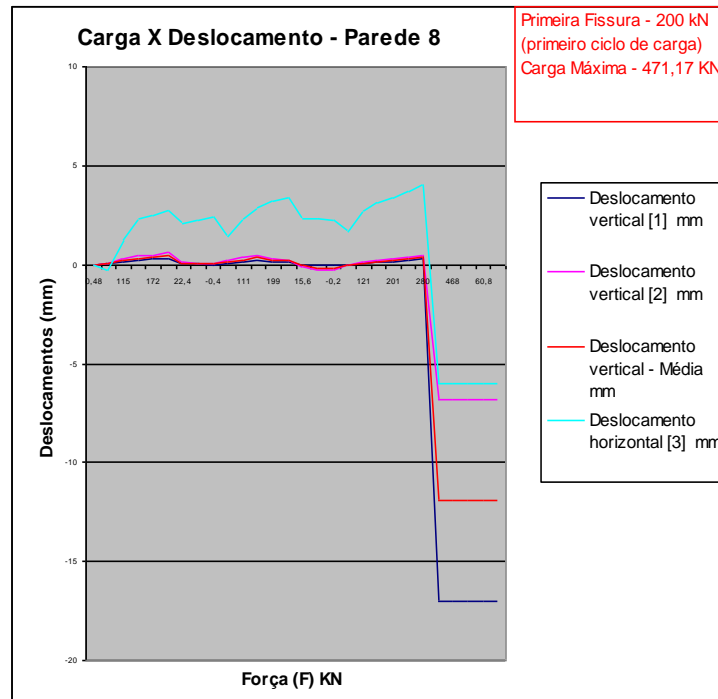
Gráfico 10 - Cargas x deslocamentos parede P8**Figura 42 – Forma de ruptura da Parede P8 (trinca vertical)**

Figura 43– Parede P8 após ruptura



A Figura 44 mostra a parede P9 instrumentada, o Gráfico 11 ilustra a relação carga versus deslocamentos e a Figura 45 e Figura 46 mostram a forma de ruptura da parede P9.

Figura 44 – Parede P9 instrumentada



Gráfico 11 - Cargas x deslocamentos parede P9

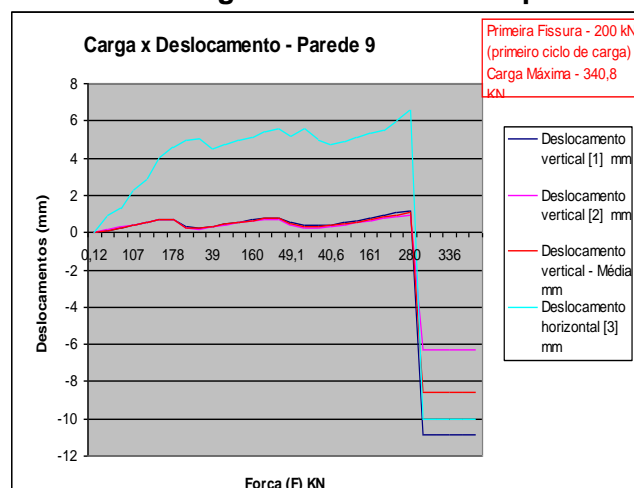


Figura 45 – Forma de ruptura da parede P9 (trinca vertical)




Na parede P9, houve ruptura parcial de um bloco de extremidade situado na fiada do topo e fissuração dos blocos centrais da fiada do topo no primeiro ciclo de carga (valor de referência 200 kN)

Figura 46 – Parede P9 após ruptura



3.4.3 Resultado das paredes do grupo 3

Tabela 15- Resultados de resistência a compressão das paredes do grupo 3

Data Moldagem	Grupo	Nº Corpo de prova	Resistência Bloco (MPa)	Lote de produção bloco	Traço da argamassa	Graute	Data do ensaio de compressão	Resistência à compressão
18/12/2010	3	4		26409	A1 1:0,5:4,5 Resistência (8,5 Mpa)	não	17/1/2011	3,08
19/12/2010		5					17/1/2011	3,06
19/12/2010		6					17/1/2011	3,44
Resistência média a compressão paredes do grupo 3 (MPa)								3,19

A Figura 47 mostra a parede P4 instrumentada, o Gráfico 12 ilustra a relação carga versus deslocamentos e a Figura 48 e Figura 49 mostram a forma de ruptura da parede P4.

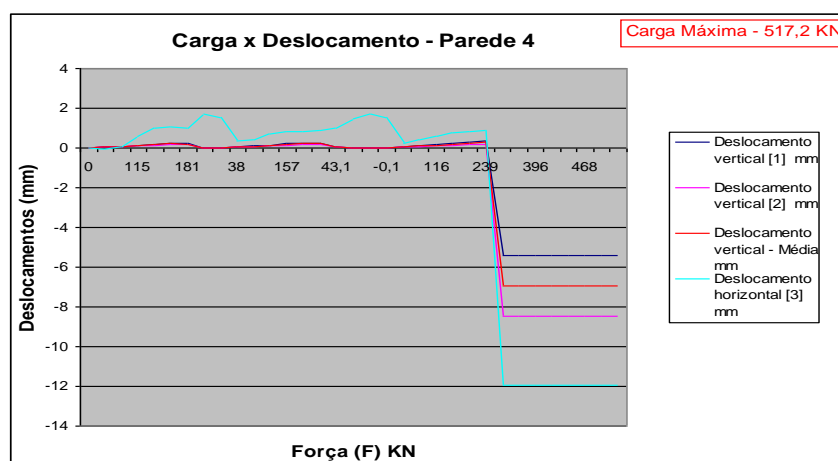
Figura 47 – Parede P4 instrumentada**Gráfico 12 - Cargas x deslocamentos parede P4**

Figura 48 – Forma de ruptura da parede P4 (trinca vertical)



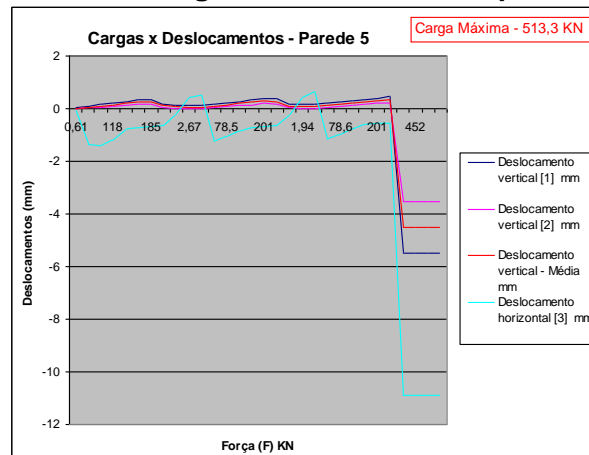
Figura 49 – Parede P4 após ruptura



A Figura 50 mostra a parede P5 instrumentada, o Gráfico 13 ilustra a relação carga versus deslocamentos e a Figura 51 e Figura 52 mostram a forma de ruptura da parede P5.

Figura 50 – Parede P5 instrumentada



Gráfico 13 - Cargas x deslocamentos parede P5**Figura 51 – Forma de ruptura da parede P5 (trinca vertical)****Figura 52 – Parede P5 após ruptura**

A Figura 53 mostra a parede P6 instrumentada, o Gráfico 14 ilustra a relação carga versus deslocamentos e a Figura 54 e Figura 55 mostram a forma de ruptura da parede P5.

Figura 53 – Parede P6 instrumentada



Gráfico 14 - Cargas x deslocamentos parede P6

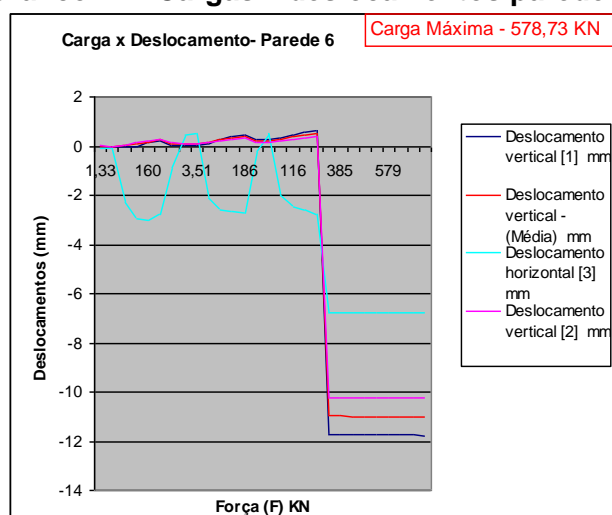


Figura 54 – Forma de ruptura da parede P6 (trinca vertical)

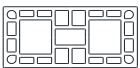


Figura 55 – Parede P6 após ruptura



3.4.4 Resultado das paredes do grupo 4

Tabela 16 - Resultados de resistência a compressão das paredes do grupo 4

Data Moldagem	Grupo	Nº Corpo de prova	Resistência Bloco (MPa)	Lote de produção bloco	Traço da argamassa	Graute	Data do ensaio de compressão	Resistência à compressão
5/2/2011	4	10	 8,3	41610	A2 (1:1:6) Resistência (6,8 MPa)	G1 Resistência a (10,8 MPa)	25/3/2011	3,81
6/2/2011		11					26/3/2011	2,92
6/2/2011		12					26/3/2011	3,79
Resistência média a compressão paredes do grupo 4 (MPa)								3,50

A Figura 56 mostra a parede P10 instrumentada, o Gráfico 15 ilustra a relação carga versus deslocamentos e a Figura 57 e Figura 58 mostram a forma de ruptura da parede P10.

Figura 56 – Parede P10 instrumentada



Gráfico 15 - Cargas x deslocamentos parede P10

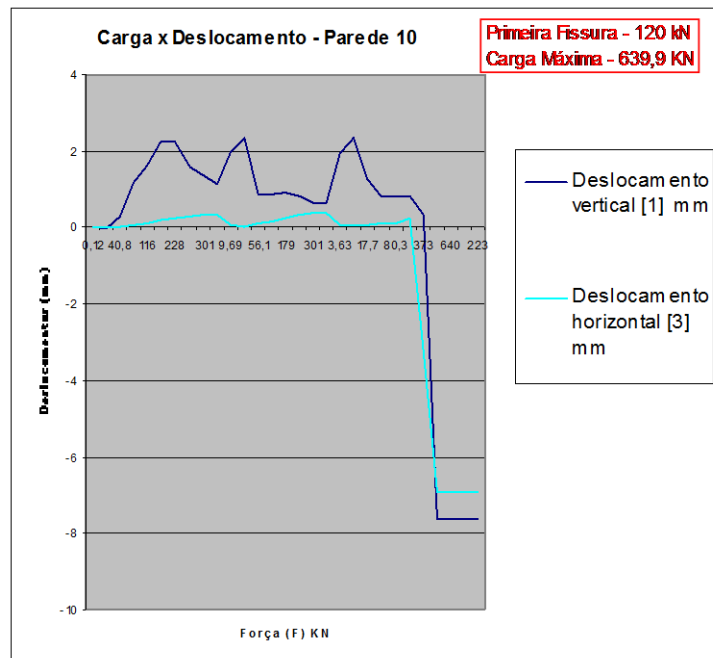


Figura 57 – Forma de ruptura da parede P10 (trinca vertical)



Na parede P10 houve lascamento de um bloco de extremidade com a aplicação da força pelos macacos hidráulicos (valor de referência: 120 kN).

No terceiro carregamento da parede, com a carga de 360 kN, houve uma fissura vertical que percorreu a parede de cima a baixo (sentido longitudinal).

A instrumentação foi retirada antes do previsto pelo risco de ruptura iminente (valor de referência: 400 kN).

Figura 58 – Parede P10 após ruptura



A Figura 59 mostra a parede P11 instrumentada, o Gráfico 16 ilustra a relação carga versus deslocamentos e a Figura 60 mostra a parede P11 após a ruptura.

Figura 59 – Parede P11 instrumentada



Gráfico 16 - Cargas x deslocamentos parede P11

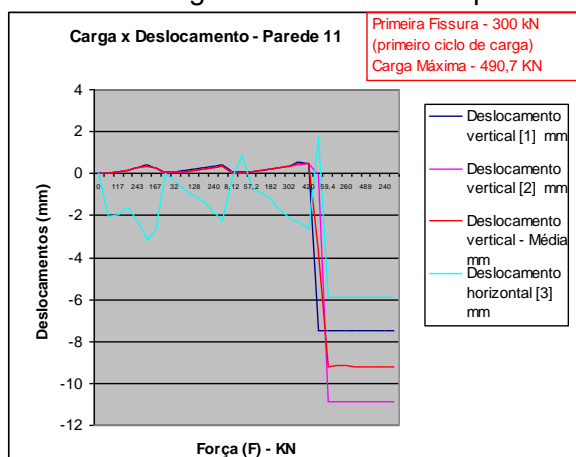


Figura 60 – Parede P11 após ruptura



A parede P11 possuía grande desnível na superfície de contato com a viga de reação do pórtico, devido a essa falta de nivelamento na superfície da parede, ocorreu sob o 1º. ciclo de carga de 300 kN a fissuração nos blocos de extremidade, acredita-se que os blocos intermediários da fiada de contato com a viga de reação, não haviam, aparentemente, sido carregados, mesmo com o uso da manta de borracha mais espessa, o que pode ter sobrecarregado os blocos de extremidade.

Durante a última carga, o modelo foi descarregado para que se fossem retiradas as instrumentações, dado o nível de carga e de dano no modelo.

A Figura 61 mostra a parede P12 instrumentada, o Gráfico 17 ilustra a relação carga versus deslocamentos e a Figura 62 e Figura 63 mostram a forma de ruptura da parede P12.

Figura 61 – Parede P12 instrumentada



Gráfico 17 - Cargas x deslocamentos parede P12

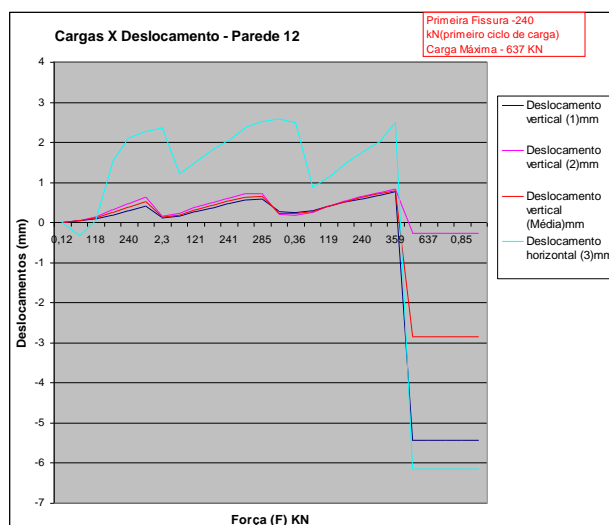


Figura 62 – Forma de ruptura da parede P12 (trinca vertical)



A parede P12 também possuía grande desnível na superfície de contato com a viga de reação do pórtico, devido a essa falta de nivelamento na superfície da parede, ocorreu sob o 1º. ciclo de carga de 240 kN a fissuração nos blocos de extremidade, acredita-se que os blocos intermediários da fiada de contato com a viga de reação, não haviam, aparentemente, sido carregados, mesmo com o uso da manta de borracha mais espessa, o que pode ter sobrecarregado os blocos de extremidade.

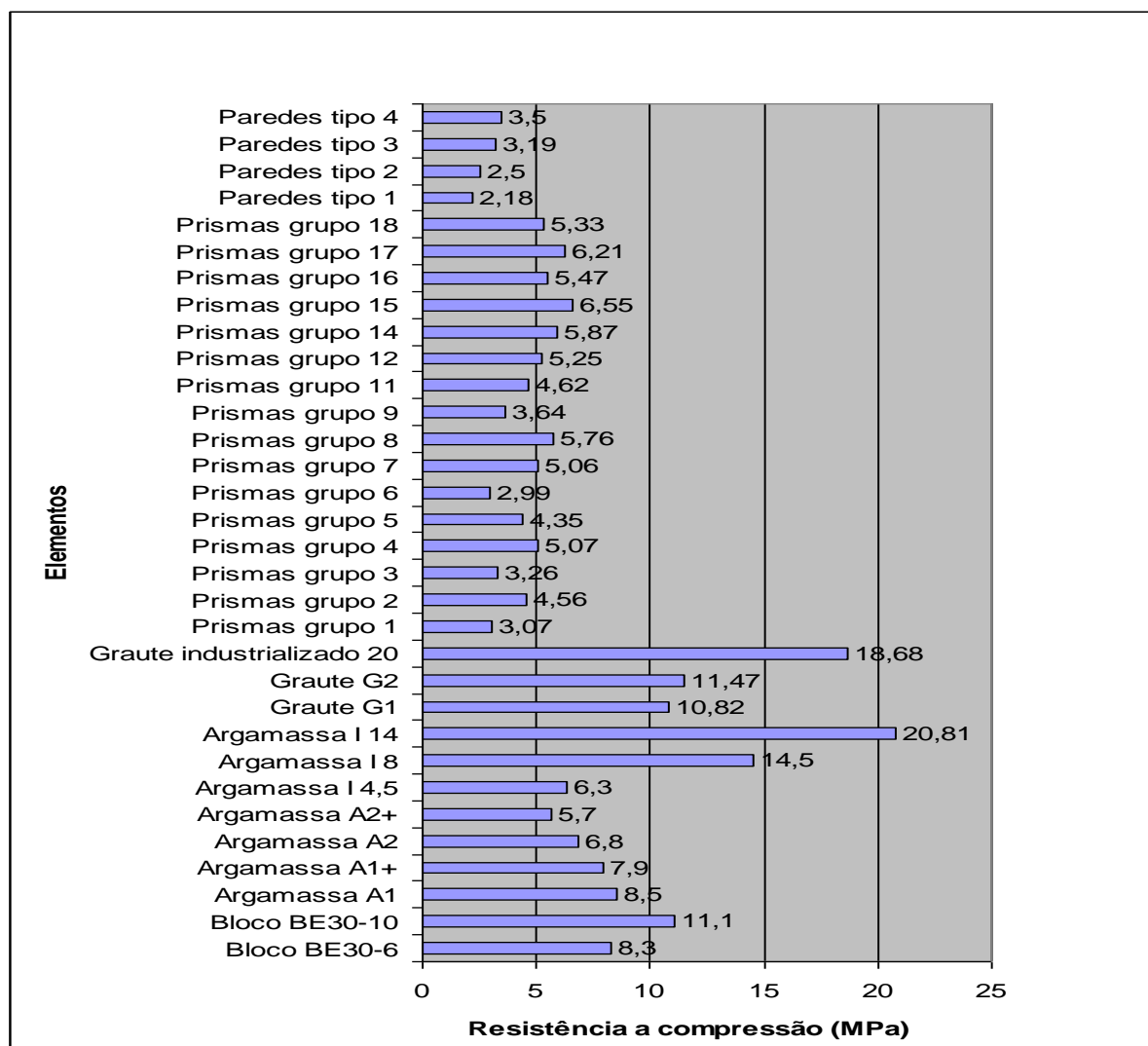
No ciclo de carga de 360 kN houve ruptura localizada do modelo, sendo retirada a instrumentação.

Figura 63 – Parede P12 após ruptura



O Gráfico 18 resume os resultados de resistência à compressão de todos os elementos ensaiados.

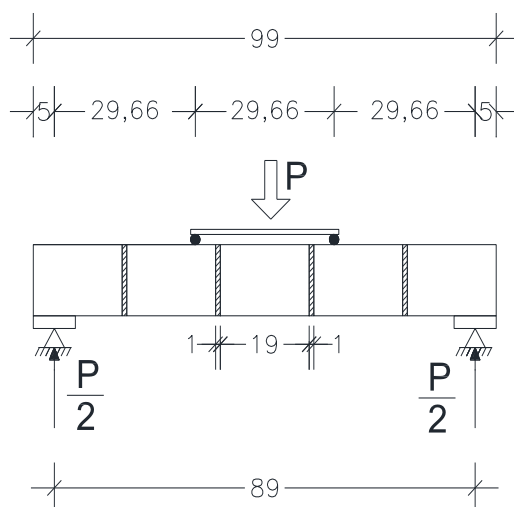
Gráfico 18 - Resumo da resistência à compressão dos componentes e elementos ensaiados



3.5 RESULTADOS DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA

A metodologia dos cálculos abordados pela norma ASTM - E518 (ASTM, 2000) foram resumidos na Figura 64, a Figura 65 ilustra um prisma de aderência sendo carregado para o ensaio de flexão. A Figura 66 mostra um prisma de aderência já rompido.

Figura 64 – Esquema de ensaio de aderência



3.5.1 Tensão máxima à flexão

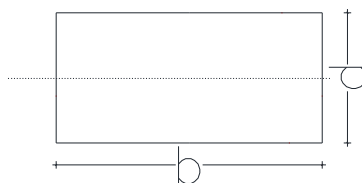
$$T = M/l * d/2 = M/w$$

$$M = p/2 * l/3 = PL/6$$

$$I = bd^3/12 \text{ (Momento de Inércia)}$$

$$W = I/d/2 = bd^2/6 \text{ (Módulo de resistência)}$$

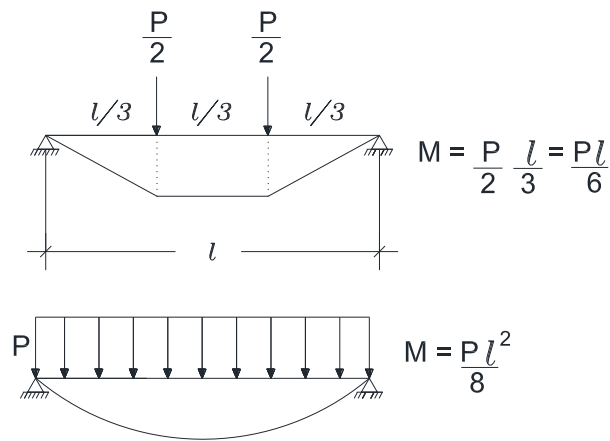
$$T = PL/bd^2 \text{ (devido a P)}$$



3.5.2 Resistência de aderência

Prisma de 5 blocos (l=89 cm)

Bloco cerâmico: 14x19x29



$$R = ((0,167P + 0,125Ps)l)/W$$

Onde

P – carga de ruptura

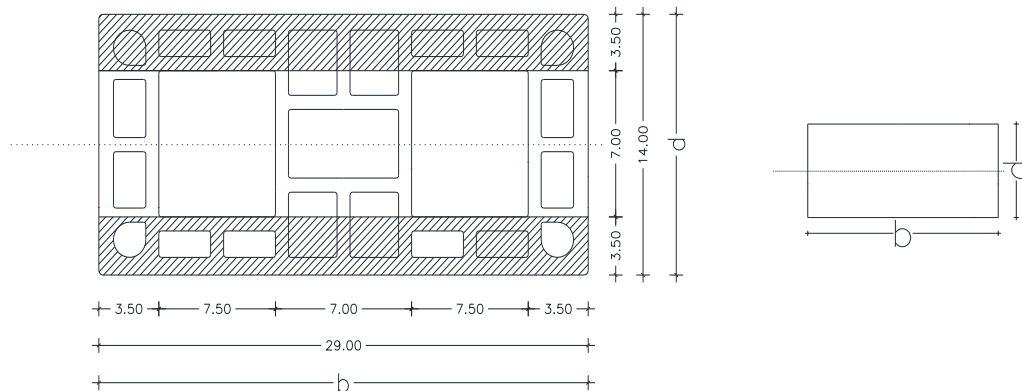
PS – Peso do corpo de prova

l - vão

b - largura do corpo de prova (29 cm)

D- altura do corpo de prova (14cm)

W – módulo de resistência



$$\text{Momento de Inércia } I = (0,29 \cdot 0,143)/12 - (0,29 \cdot 0,073)/12 = 5,802 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$\text{Módulo de Resistência } W = I/(d/2) = 5,802 \cdot 10^{-5}/0,07 = 8,289 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\text{Resistência de Aderência} = R = ((0,167P + 0,125Ps)l)/W$$

$$R1-1 = ((0,167 \cdot 313,11 + 0,125 \cdot 31,67) \cdot 0,89) / 8,289 \cdot 10^{-4}$$

$$R1-1 = 60394,28 \text{ Kg/m}^2 = 0,6 \text{ MPa}$$

Figura 65 – Exemplo de prisma de aderência carregado



Figura 66 – Exemplo de prisma de aderência rompido



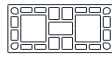
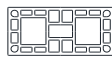
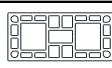
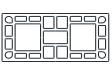
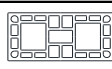
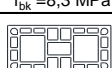
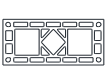
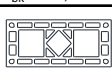
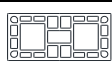


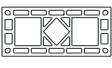
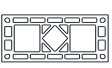
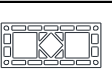
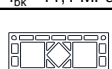
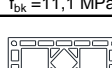
Tabela 17 - Resultados do ensaio de aderência

Aderência - Ensaio de Tração na Flexão										
Grupo	Data Moldagem CP	CP - Prisma Aderência	Bloco	Argamassa	Data Ensaio de aderência	Carga (Kg)	Massa Do CP (Kg)	(I) Momento de Inércia (m ⁴)	(W) Módulo de resistência (m ³)	(R) Resistência de Aderência (MPa)
PA 1	13/3/2011	PA1.1		A2 (1:1:6)	15/4/2011	313,11	31,67	5,80E-05	8,29E-04	0,60
		PA1.2				259,51	31,62			0,51
		PA1.3				368,66	31,14			0,70
		PA1.4				451,16	31,39			0,85
		PA1.5				385,16	31,81			0,73
		PA1.6				434,66	31,7			0,82
Média Aderência (MPa)										0,70
PA 2	14/3/2011	PA2.1		A2 + (1:1:6) (+ 10% água)	15/4/2011	434,66	31,32	5,80E-05	8,29E-04	0,82
		PA2.2				182,81	31,33			0,37
		PA2.3				392,36	31,14			0,75
		PA2.4				320,86	31,43			0,62
		PA2.5				254,86	31,74			0,50
		PA2.6				337,36	31,12			0,65
Média Aderência (MPa)										0,62
PA 3	13/3/2011	PA 3.1		A2 (1:1:6) (molhando os blocos)	15/4/2011	259,51	31,41	5,80E-05	8,29E-04	0,51
		PA3.2				385,16	31,17			0,73
		PA3.3				313,11	30,95			0,60
		PA3.4				329,61	31,1			0,63
		PA3.5				259,51	31,31			0,51
		PA3.6				385,16	31,89			0,73
Média Aderência (MPa)										0,62
PA 4	13/3/2011	PA 4.1		A1 (1:0,5:4,5)	15/4/2011	414,36	33,83	5,80E-05	8,29E-04	0,79
		PA4.2				359,36	33,81			0,69
		PA4.3				418,16	33,76			0,80
		PA4.4				385,16	33,94			0,74
		PA4.5				259,51	33,98			0,51
		PA4.6				528,16	33,76			0,99
Média Aderência (MPa)										0,75
PA 5	13/3/2011	PA 5.1		Argamassa Industrializada - 4,5 Mpa	15/4/2011	64,65	31,63	5,80E-05	8,29E-04	0,16
		PA5.2				49,5	31,59			0,13
		PA5.3				22	31,7			0,08
		PA5.4				49,5	31,8			0,13
		PA5.5				88	31,39			0,20
		PA5.6				49,5	31,88			0,13
Média Aderência (MPa)										0,14

3.6 Relações de interesse

A Tabela 18 mostra as correlações entre as resistências dos blocos, prismas e paredes.

Tabela 18 - Fatores de eficiência dos elementos ensaiados

Grupo	Tipo de Bloco	Traço da argamassa	Graute	F _{pk} (MPa)	Eficiência Prisma/bloco	Eficiência parede /prisma	Eficiência parede grauteada /prisma grauteado	Eficiência parede oca /bloco	Eficiência parede grauteada /bloco
(1) Prisma Oco	 f _{bk} = 8,3 MPa	A2 (1:1:6)	Não	3,07	0,37	0,81	-	0,30	
(2) Prisma Cheio	 f _{bk} = 8,3 MPa	A2 (1:1:6)	A2 (1:1:6)	4,56	0,55	-	-	-	-
(3) Prisma Oco	 f _{bk} = 8,3 MPa	A2 ⁺ (1:1:6) 10% mais de água	não	3,26	0,39	-	-	-	-
(4) Prisma Cheio	 f _{bk} = 8,3 MPa	A2 (1:1:6)	A1 (1:0,5:4,5)	5,07	0,61	-	-	-	-
(5) Prisma Oco	 f _{bk} = 8,3 MPa	A1 (1:0,5:4,5)	não	4,35	0,52	-	-	-	-
(6) Prisma Oco	 f _{bk} = 8,3 MPa	A1 ⁺ (1:0,5:4,5) 10% mais água	não	2,99	0,36	-	-	-	-
(7) Prisma Oco	 f _{bk} = 11,1 MPa	A1 (1:0,5:4,5)	não	5,06	0,46	0,63		0,29	
(8) Prisma Cheio	 f _{bk} = 11,1 MPa	A1 (1:0,5:4,5)	A2 (1:1:6)	5,76	0,52	-	-	-	-
(9) Prisma Oco	 f _{bk} = 8,3 MPa	I 4,5	não	3,64	0,44	0,60	-	0,26	
(11) Prisma Cheio	 f _{bk} = 8,3 MPa	A2 (1:1:6) 6,8 Mpa	G1 com readensamento	4,62	0,56	-	-	-	-
(12) Prisma Cheio	 f _{bk} = 8,3 MPa	A2 (1:1:6) 6,8 Mpa	G1 sem readensamento	5,25	0,63	-	0,67		0,42
(14) Prisma Cheio	 f _{bk} = 11,1 MPa	A1 (1:0,5:4,5) 8,5 MPa	G2 sem readensamento	5,87	0,53	-	-	-	-
(15) Prisma Cheio	 f _{bk} = 11,1 MPa	A1 (1:0,5:4,5) 8,5 MPa	G2 com readensamento	6,55	0,59	-	-	-	-
(16) Prisma Oco	 f _{bk} = 11,1 MPa	I 8	não	5,47	0,49	-	-	-	-
(17) Prisma Cheio	 f _{bk} = 11,1 MPa	I 8	G20 Industrializado	6,21	0,56	-	-	-	-
(18) Prisma Cheio	 f _{bk} = 11,1 MPa	I 8	I14	5,33	0,480	-	-	-	-

É importante salientar que nas paredes ensaiadas, nas juntas horizontais foram colocados filetes de argamassa somente nas paredes longitudinais do bloco. As juntas verticais foram preenchidas de acordo com a especificação da norma NBR15812-2 (ABNT, 2010). De acordo com Parsekian (2010), quando a argamassa é colocada desta forma na junta horizontal, a resistência à compressão da parede será diminuída em torno de 20%.

Com esta consideração o fator de eficiência parede/prisma fica maior que 70% em todos os casos, confirmando os resultados encontrados por diversos outros pesquisadores.

3.7 ANÁLISE DOS RESULTADOS E RESPOSTAS ÀS QUESTÕES QUE MOTIVARAM O ESTUDO EXPERIMENTAL

1) Qual a resistência compressão de variados traços de argamassa e grautes produzidos com materiais (cimento, cal e areia) da região central do Estado de SP, misturadas com diferentes relações de água/cimento?

A Tabela 7 mostra os resultados de resistência à compressão para os diversos traços de argamassa avaliados. Os valores obtidos foram satisfatórios e estão próximos dos valores encontrados para estes traços em outras bibliografias pesquisadas.

Para o estudo das variações da relação água cimento, foram escolhidos dois traços e foi aumentada a quantidade de água na argamassa.

Inicialmente, tentou-se aumentar a relação água cimento em 20%, o que deixou a argamassa extremamente mole e sem condições de uso. Foi feito um novo teste, com aumento de 10% e pediu-se a avaliação do pedreiro que estava preparando os corpos-de-prova. O pedreiro avisou que aquela “consistência” estava “boa” e foi adotado este acréscimo de água.

Os resultados para as argamassas com maiores relações água/cimento estão repetidos na Tabela 19. Houve uma perda de 7,5% na resistência à compressão da argamassa A1, quando se aumentou em 10% a relação a/c.

Já o traço A2 teve um decréscimo de 19% para o mesmo aumento na relação a/c.

Tabela19 – Comparativo da resistência das argamassas com diferentes relações a/c

Argamassa	Traço (cimento:cal:areia)	Resistência à compressão Média (MPa)	Desvio padrão	CV (%)
A1	1:0,5:4,5	8,5	0,6	7
A1 ⁺	1:0,5:4,5 (10% mais de água)	7,9	0,53	6,7
A2	1:1:6	6,8	0,51	7,5
A2 ⁺	1:1:6 (10% mais água)	5,7	0,32	5,6

No ensaio de aderência, onde os resultados de interesse estão repetidos na Tabela 20, notou-se uma perda de 13% na resistência de aderência nos corpos - de prova do grupo PA2, que foram confeccionados utilizando argamassa com 10% a mais de água.

Tabela 20 - Comparativa da aderência em argamassas com variações da relação a/c

Grupo	Data Moldagem CP	CP - Prisma Aderência	Bloco	Argamassa	Data Ensaio de aderência	Carga (Kg)	Massa Do CP (Kg)	(I) Momento de Inércia (m ⁴)	(W) Módulo de resistência (m ³)	(R) Resistência de Aderência (MPa)
PA 1	13/3/2011	PA1.1		A2 (1:1:6)	15/4/2011	313,11	31,67	5,80E-05	8,29E-04	0,60
		PA1.2				259,51	31,62			0,51
		PA1.3				368,66	31,14			0,70
		PA1.4				451,16	31,39			0,85
		PA1.5				385,16	31,81			0,73
		PA1.6				434,66	31,7			0,82
		Média Aderência (MPa)								
PA 2	14/3/2011	PA2.1		A2 + (1:1:6) (+ 10% água)	15/4/2011	434,66	31,32	5,80E-05	8,29E-04	0,82
		PA2.2				182,81	31,33			0,37
		PA2.3				392,36	31,14			0,75
		PA2.4				320,86	31,43			0,62
		PA2.5				254,86	31,74			0,50
		PA2.6				337,36	31,12			0,65
		Média Aderência (MPa)								
PA 3	13/3/2011	PA 3.1		A2 (1:1:6) (molhando os blocos)	15/4/2011	259,51	31,41	5,80E-05	8,29E-04	0,51
		PA3.2				385,16	31,17			0,73
		PA3.3				313,11	30,95			0,60
		PA3.4				329,61	31,1			0,63
		PA3.5				259,51	31,31			0,51
		PA3.6				385,16	31,89			0,73
		Média Aderência (MPa)								

O mesmo decréscimo na resistência de aderência foi notado nos corpos de prova do grupo PA3, onde foi usado argamassa padrão e os blocos foram “molhados” com brocha antes da colocação da argamassa conforme Figura 67.

Figura 67 - Exemplo corpos de prova tipo PA3 - molhando os blocos com brocha



Os resultados da resistência à compressão dos grautes estudados estão listados na Tabela 9, que surpreenderam de forma negativa, contrariando os resultados de resistências para traços similares encontradas por outros autores.

Para o traço G1, esperava-se encontrar resistência à compressão em torno de 12 MPa e o resultado foi de apenas 10,82 MPa. Para o traço G2, esperava-se encontrar resistências próximas de 20 MPa e o resultado foi de apenas 11,47 MPa.

O traço de graute industrializado apresentou resistência conforme previsto e informado na embalagem.

Uma dos fatores responsáveis para a baixa resistência à compressão do graute pode ter sido o tipo de areia utilizado para o grauteamento. Devido ao grande número de ensaios, a caracterização da areia foi feita posteriormente e sua classificação com dimensão máxima de 6 mm e módulo de finura 1,32, não está de acordo com o recomendado no Quadro 4, que especifica as faixas granulométricas de areias recomendadas para graute e mostra que o módulo de finura adequado deverá estar entre 2,3 e 3,1.

2) Qual a eficiência (relação prisma/bloco, relação parede/bloco e relação parede/ prisma) de variadas combinações de bloco, argamassa e graute?

A tabela 18 mostrou os resultados da eficiência dos elementos estudados. Os valores para a eficiência prisma oco/bloco estão dentro de uma faixa média encontrada por outros pesquisadores para os mesmos tipos de materiais.

A eficiência parede oca/bloco, histórica do fabricante Selecta é de 36%, os resultados encontrados para o grupo de paredes 1 foi de 26%. Considerando que nestes ensaios a junta horizontal foi executada apenas com filetes no sentido longitudinal e que o ensaio normalizado é feito com argamassa nos dois sentidos, podemos considerar de acordo com Parsekian (2010), um acréscimo de resistência da ordem de 20%. Com esta consideração a eficiência parede oca/ bloco das paredes do grupo 1 será de 31,5%.

A eficiência parede oca/bloco para as paredes do grupo 2 foi de 30%.Fazendo a mesma consideração do acréscimo de resistência devido a forma de colocação da argamassa esta eficiência passaria a ser de 36%.

A eficiência parede oca/bloco para as paredes do grupo 3 foi de 28%. Com a mesma consideração a eficiência passaria a ser de 34%.

A eficiência parede grauteada/bloco para as paredes do grupo 4 foi de 42%. Com a mesma consideração devido a forma de colocação da argamassa esta eficiência passaria a ser de 50,6%.

A relação parede/prisma média para blocos cerâmicos de acordo com diversos pesquisadores é de 70%.

Nesta pesquisa, a eficiência parede oca/prisma oco, média das paredes do grupo 1 e dos prismas de mesmas características do grupo 9, foi de 60%. Considerando o acréscimo de resistência devido a forma de colocação da argamassa esta eficiência passará a ser de 72%.

A eficiência parede oca/prisma oco, média das paredes do grupo 2 e dos prismas de mesmas características do grupo 1 foi de 80%. Considerando o acréscimo de resistência esta eficiência passará a ser de 98%.

A eficiência parede oca/prisma oco, média das paredes do grupo 3 e dos prismas de mesmas características do grupo 7 foi de 63%. Considerando o acréscimo de resistência esta eficiência passaria a ser de 76%.

A eficiência parede grauteada/prisma grauteado, média, das paredes do grupo 4 e dos prismas de mesmas características do grupo 12 onde não foi realizado o re-adensamento foi de 67%. Considerando o acréscimo de resistência esta eficiência passaria a ser de 80%.

A eficiência parede grauteada/ prisma grauteado, média, das paredes do grupo 4 e dos prismas de mesmas características do grupo 11 onde foi realizado o

re-adensamento foi de 76%. Considerando o acréscimo de resistência esta eficiência passaria a ser de 91%.

3) Aferir se o re-adensamento do graute após alguns minutos do lançamento é adequado e necessário, ou não;

Para esta verificação, os grupos de prismas 11/12 e 14/15 foram moldados exatamente com os mesmos tipos de materiais, onde um dos grupos de prismas seriam re-adensados após alguns minutos e o outro grupo seria moldado da forma padrão, ou seja, encher os prismas até a metade com graute e com um bastão aplicar 12 golpes para compactá-lo, após estes primeiros golpes, terminar de encher o prisma com graute e mais uma vez aplicar 12 golpes. Os centímetros restantes após os últimos golpes são completados sem mais golpes.

Inicialmente se executaria este procedimento padrão nos prismas do grupo 11 e após 15 minutos seria feito o re-adensamento. Porém, após os 15 minutos, o graute já estava endurecido e não havia a menor condição de se fazer o re-adensamento. A Figura 68 ilustra a tentativa de re-adensamento. Estes prismas foram descartados e moldados novamente em 13/02/11. Os prismas do grupo 12 foram moldados normalmente.

Figura 68 – Corpo-de-prova após 15 minutos do grautamento



A Figura 69 ilustra um exemplar do grupo 12 moldado sem re-adensamento com a clara retração do graute na interface bloco/graute, dos 12 exemplares 8 mostraram esta retração. Estes exemplares foram ensaiados à compressão.

Figura 69 – Prismas do grupo 12, mostrando a retração na ligação bloco/graute



Devido à dificuldade para re-adensamento após 15 minutos, resolveu-se moldar os prismas do grupo 11 e re-adensar após 5 minutos, conforme Figura 70. Na nova moldagem do grupo 11 a retração foi menor, dos 12 prismas confeccionados apenas 3 mostraram a trinca na interface bloco/graute.

Figura 70 – Prismas do grupo 11 sendo re-adensados



Os outros dois grupos estudados foram os grupos 14 e 15. O grupo 14 foi moldado no procedimento padrão e o grupo 15 foi re-adensado após 5 minutos.

Figura 71 - Re-adensamento do grupo 15



No grupo 14, 7 prismas dos 12 moldados apresentaram a trinca na interface bloco/graute, já no grupo 15, apenas 2 prismas dos 10 moldados apresentaram a trinca.

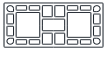
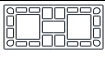
Em todos os grupos de prismas ensaiados, em média, a metade de cada grupo apresentava esta trinca acentuada.

Por uma análise apenas visual dos corpos-de-prova, o re-adensamento do graute após alguns minutos, nesta pesquisa, mostrou-se eficiente para diminuir a retração do graute. Pode se observar a diminuição do número de corpos-de-prova sem a trinca na interface graute/bloco, indicando que é um procedimento adequado. Porém, como o tempo para a execução do re-adensamento foi de apenas 5 minutos, deve-se avaliar com mais critérios a necessidade de se implantar este tipo de procedimento.

4) Qual a eficiência prisma/ bloco quando é realizado o re-adensamento manual do graute (cerca de 15 minutos após o adensamento inicial), compensando a retração inicial (com conseqüente descolamento do graute da parede do bloco) conforme indicado em Drysdale e outros (1999).

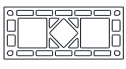
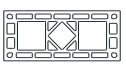
O re-adensamento foi feito com 5 minutos, os resultados foram repetidos no Quadro 20. A resistência à compressão do grupo 11 cujos prismas foram re-adensados foi 13% menor que a do grupo 12.

Quadro 20 - Resultados de resistência à compressão dos grupos 11 e 12

Grupo	Tipo de Bloco	Traço da argamassa	Graute	F_{pk} (MPa)	Eficiência Prisma/bloco
(11) Prisma Cheio	 $f_{bk} = 8,3$ MPa	A2 (1:1:6) 6,8 Mpa	G1 com re- adensamen- to	4,62	0,56
(12) Prisma Cheio	 $f_{bk} = 8,3$ MPa	A2 (1:1:6) 6,8 Mpa	G1 sem re- adensamen- to	5,25	0,63

A resistência à compressão do grupo 15, que foi re-adensado após 5 minutos, foi 11% maior que a resistência do grupo 14 que não foi feito o re-adensamento, desta forma, contrariando os resultados dos ensaios dos grupos 11 e 12.

Quadro 21 - Resultados de resistência à compressão dos grupos 14 e 15

Grupo	Tipo de Bloco	Traço da argamassa	Graute	F_{pk} (MPa)	Eficiência Prisma/bloco
(14) Prisma Cheio	 $f_{bk} = 11,1$ MPa	A1 (1:0,5:4,5) 8,5MPa	G2 sem re- adensamen- to	5,87	0,53
(15) Prisma Cheio	 $f_{bk} = 11,1$ MPa	A1 (1:0,5:4,5) 8,5 MPa	G2 com re- adensamen- to	6,55	0,59

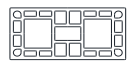
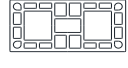


Pela análise de resistência à compressão dos prismas, comparando os que foram executados com procedimento normal e os que foram re-adensados, esta pesquisa não consegue esclarecer se o desempenho foi realmente melhor, pois, um resultado contrariou o outro.

5) Qual a eficiência (relação prisma cheio/bloco e prisma oco/bloco) do preenchimento dos vazios dos blocos (grauteamento) com argamassa de assentamento, conforme sugerido por Biggs (2005)?

Para os grupos de blocos de resistência 8,3 MPa os resultados estão listados no Quadro 22.

Para graute e argamassa de resistências próximas a eficiência também foi muito próxima.

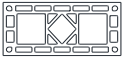




Quadro 22 - Comparação da eficiência blocos de 8,3 MPa

Grupo	Tipo de Bloco	Traço da argamassa	Graute	F_{pk} (MPa)	Eficiência Prisma/bloco
(1) Prisma Oco	 $f_{bk} = 8,3$ MPa	A2 (1:1:6) 6,8 MPa	Não	3,07	0,37
(2) Prisma Cheio	 $f_{bk} = 8,3$ MPa	A2 (1:1:6) 6,8 MPa	A2 (1:1:6) 6,8 MPa	4,56	0,55
(4) Prisma Cheio	 $f_{bk} = 8,3$ MPa	A2 (1:1:6) 6,8 MPa	A1 (1:0,5:4,5) 8,5 MPa	5,07	0,61
(12) Prisma Cheio	 $f_{bk} = 8,3$ MPa	A2 (1:1:6) 6,8 MPa	G1 10,82 MPa	5,25	0,63

Para os grupos de prismas de blocos de 11,1 MPa os resultados estão listados no Quadro 23.

Também nestes grupos para as resistências de graute e argamassa de valores próximos, encontramos valores muito próximos de eficiência.

Quadro 23 - Comparação da eficiência blocos de 11,1 MPa

(7) Prisma Oco	 $f_{bk} = 11,1$ MPa	A1 (1:0,5:4,5)	não	5,06	0,46
(8) Prisma Cheio	 $f_{bk} = 11,1$ MPa	A1 (1:0,5:4,5) 8,5 MPa	A2 (1:1:6) 6,8 MPa	5,76	0,52
(14) Prisma Cheio	 $f_{bk} = 11,1$ MPa	A1 (1:0,5:4,5) 8,5 MPa	G2 11,47 MPa	5,87	0,53
(17) Prisma Cheio	 $f_{bk} = 11,1$ MPa	I8 14,5 MPa	G20 Industrializado 18,68 MPa	6,21	0,56
(18) Prisma Cheio	 $f_{bk} = 11,1$ MPa	I8 14,5 MPa	I14 20,81 MPa	5,33	0,48

Baseado nestes resultados, pode-se concluir que é possível a substituição do graute por argamassa de assentamento, desde que devidamente comprovada a igualdade das eficiências em ensaios laboratoriais.

4 EXECUÇÃO DE ALVENARIA ESTRUTURAL DE ACORDO COM A NBR 15812-2

Segundo Melo (2008), a execução das obras de alvenaria estrutural somente deverá ser iniciada após a conclusão da compatibilização entre os projetos de arquitetura, estrutura, elétrica, hidrossanitários e demais projetos complementares. Todas as interferências devem ser resolvidas antes da chegada do projeto ao canteiro de obras. A qualidade desse projeto será primordial para facilitar a execução dos serviços.

A correta execução e controle da alvenaria é fator importante para que se atinja o máximo de eficiência do sistema construtivo. De acordo com a NBR 15812-2 (ABNT, 2010), certos princípios devem ser rigorosamente seguidos, entre eles, resistência à compressão do bloco cerâmico, composição da argamassa e sua resistência, forma de assentamento, espessura de assentamento, amarração das paredes e posicionamento das aberturas.

De acordo com Gomes (1983), a fiscalização da mão de obra tem grande influência na qualidade da execução da alvenaria estrutural. Nas paredes construídas sem fiscalização, a resistência pode ser significativamente menor que naquelas construídas com fiscalização.

A execução da alvenaria deve contemplar todos os itens da NBR 15812-2 (ABNT, 2010) que serão descritos nos itens a seguir.

4.1 PRODUÇÃO DA ALVENARIA

De acordo com Melo (2008), antes do início de qualquer atividade, deve-se verificar a existência e as perfeitas condições dos equipamentos de segurança individual e coletivo.

Deve-se apresentar ao grupo de operários o trabalho a ser realizado, enfatizando as vantagens do processo construtivo, e explicar detalhadamente os componentes e projetos.

No projeto de alvenaria estrutural, devem-se encontrar todos os componentes quantificados por pavimento. Desse modo, poderão ser projetadas áreas para

armazenar no canteiro de obras apenas o “kit” de componentes necessários àquele pavimento, poupando assim espaços de armazenagem.

Na execução da alvenaria, devem ser empregados os materiais definidos na fase de caracterização, em função das especificações do projeto estrutural.

Para garantir as tolerâncias dimensionais especificadas, é recomendado o emprego de controles no recebimento de materiais, uso de equipamentos adequados e ferramentas específicas que permitam a execução e a garantia de qualidade da alvenaria durante sua execução.

4.1.1 Liberação do pavimento

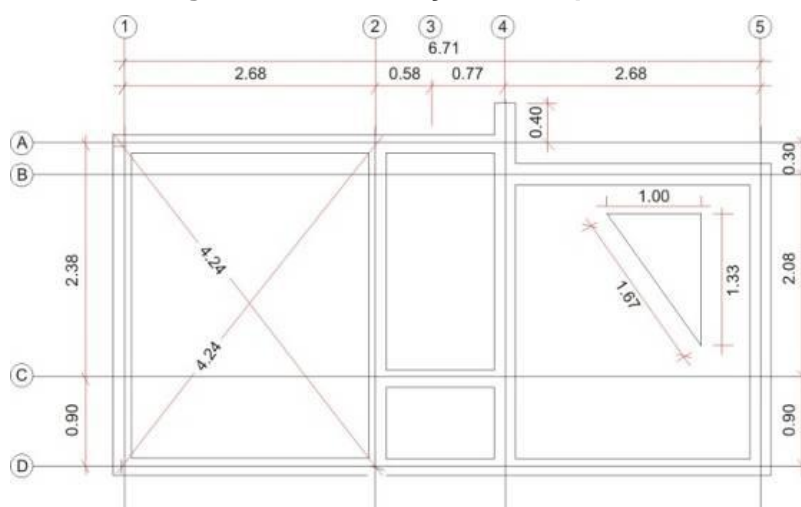
Segundo Melo (2008), quando a edificação de alvenaria estrutural começar no térreo, o contrapiso deverá estar executado. Em todos os casos, as instalações que caminharão pela alvenaria e os arranques das armaduras verticais, nos pontos indicados no projeto estrutural, também deverão estar locados em suas corretas posições, para que seja feita a liberação do pavimento.

4.1.2 Medidas e esquadro da primeira fiada

De acordo com a NBR 15812-2 (ABNT, 2010), a marcação da alvenaria define a precisão geométrica do conjunto. No momento de verificar as medidas e o esquadro do pavimento, deverá ser utilizada a planta de primeira fiada.

Para a verificação do esquadro, conforme Figura 72, se a planta for retangular, devem-se comparar as medidas das diagonais, que deverão ser idênticas. Para a verificação do esquadro de um determinado ponto da edificação, deve-se confirmar a relação de um triângulo de lados 3, 4, 5.

Figura 72 – Verificação do esquadro

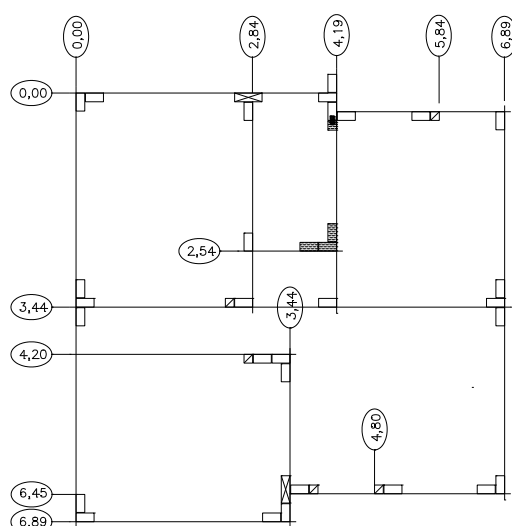


Fonte: Cortesia – Selecta Blocos

4.1.3 Blocos estratégicos

Para Melo (2008), Os blocos estratégicos são aqueles de cantos, de encontros de paredes e os blocos determinantes das aberturas de portas. São os primeiros a serem assentados e servem de referência para o assentamento dos demais blocos, como pode ser observado na Figura 73.

Figura 73 – Locação dos blocos estratégicos



PLANTA LOCAÇÃO DOS BLOCOS ESTRATÉGICOS

- BE30 - 14x19x29
- ▣ BE 45 -14x19x44
- ▨ BE30 -ALVENARIA DE VEDAÇÃO
- ▤ BE 15 -14x19x14
- Tela

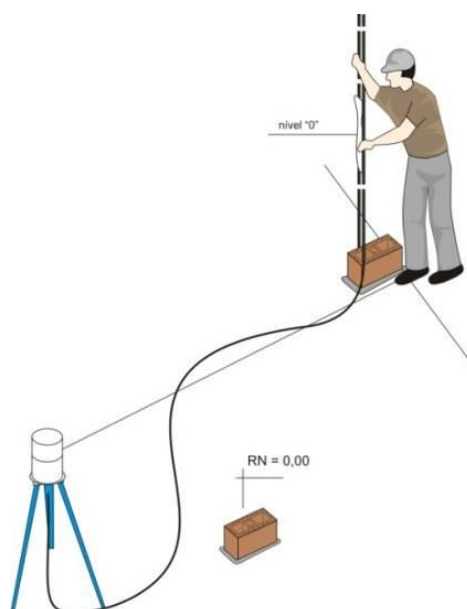
4.1.4 Cotas acumuladas

Cotas acumuladas são aquelas que fornecem a locação de cada “bloco estratégico”, indicando a distância de uma face do bloco até a origem dos eixos principais de locação X e Y. Esses eixos usualmente são definidos nos cantos extremos, ou na região central da planta. Deve-se evitar locar os eixos principais sobre paredes.

4.1.5 Determinação da referência de nível

Com auxílio de nível laser ou nível alemão, busca-se encontrar o ponto mais alto do pavimento. Nesse ponto, assenta-se um bloco inteiro, que passa a ser referência de nível dos blocos da primeira fiada, como pode ser observado na Figura 74.

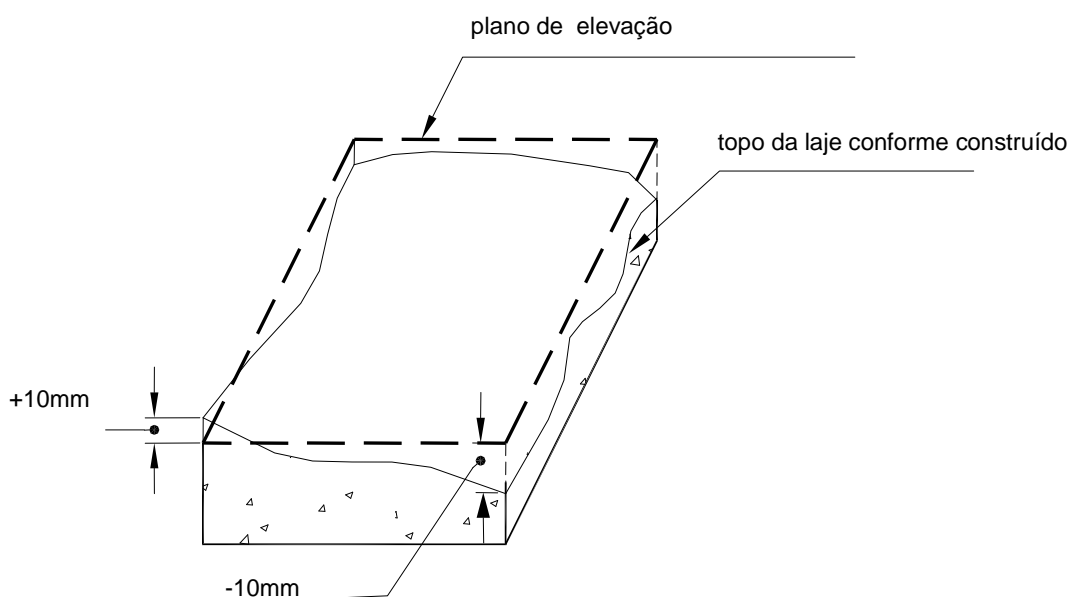
Figura 74 – Uso do Nível alemão por um único operador para referência de nível



Fonte: Cortesia – Selecta Blocos

As tolerâncias da variação do nível da superfície dos pavimentos são $\pm 10\text{mm}$ em relação ao plano especificado e estão ilustradas na figura 75.

Figura 75 - Tolerâncias do nível da superfície dos pavimentos



Fonte: NBR 15812-2 (ABNT, 2010)

De acordo com Melo (2008), as primeiras fiadas do pavimento térreo devem ser assentes com argamassa de cimento e areia, devido ao uso do impermeabilizante. A espessura mínima desta primeria junta horizontal é de 5mm e o valor máximo não deve ultrapassar 20mm. Admite-se, entretanto, espessuras de até 30mm em pequenos trechos de até 50cm de comprimento.

Caso a espessura da junta horizontal de argamassa de assentamento dos blocos da primeira fiada ultrapassem o valor máximo, a NBR 15812-2 (ABNT, 2010) especifica que deverá ser feito o nivelamento com concreto de resistência igual à especificada no projeto da laje.

4.1.6 Marcação e elevação

Dois tarefas distintas fazem parte do processo executivo de alvenarias estruturais: a marcação ou construção da primeira fiada, e a elevação ou construção das demais fiadas.

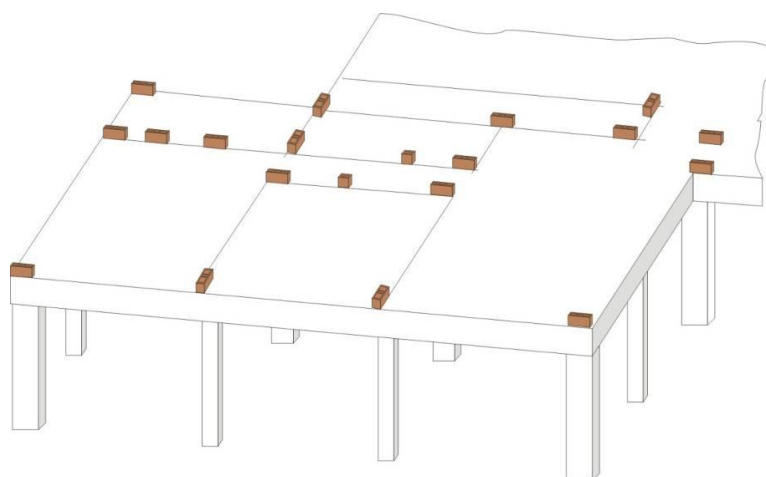
4.1.6.1 Marcação da alvenaria

Para Melo (2008) a marcação consiste em materializar no pavimento, utilizando o fio traçador que contém linha com pó colorido, a direção das paredes. A marcação da alvenaria influencia na precisão geométrica do conjunto de paredes que serão elevadas. Os eixos de referência das medidas que localizam as paredes deverão estar indicados no projeto e devem ser seguidos em todas as etapas da alvenaria. Para não obstruir o trabalho de marcação, é importante que não se armazene blocos no pavimento além da quantidade necessária à execução do serviço.

Umedecer a superfície do pavimento na direção das paredes para assentar os blocos da primeira fiada. A argamassa para assentamento desta primeira fiada será aplicada com a colher de pedreiro em toda a extensão da largura do bloco a ser usado, exceto nos pontos onde os furos serão grauteados.

Assentar, nivelar e aprumar os blocos estratégicos, conforme a planta de primeira fiada e a referência de nível determinada na etapa de preparação.

Figura 76 – Blocos estratégicos assentados

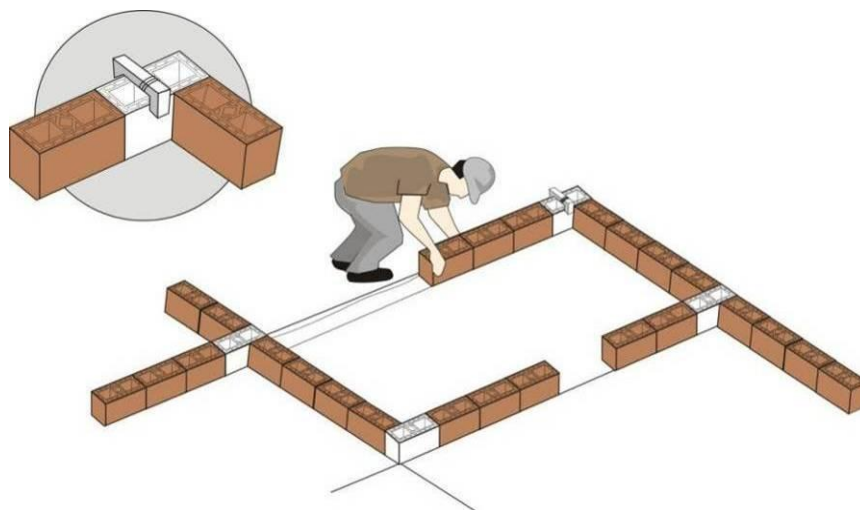


Fonte: Cortesia Selecta Blocos

Concluir a execução da primeira fiada, assentando os demais blocos. Verificar o nível e alinhamento da primeira fiada e também a correta posição da armadura do graute. Armaduras locadas com erro nunca devem ser entortadas. Caso ocorra locação incorreta, as armaduras devem ser retiradas e chumbadas novamente na

posição correta. As janelas de inspeção dos furos a grautear devem ter dimensões mínima de 7,5 cm de largura por 10 cm de altura e devem ser cuidadosamente limpos.

Figura 77 – Finalização da primeira fiada



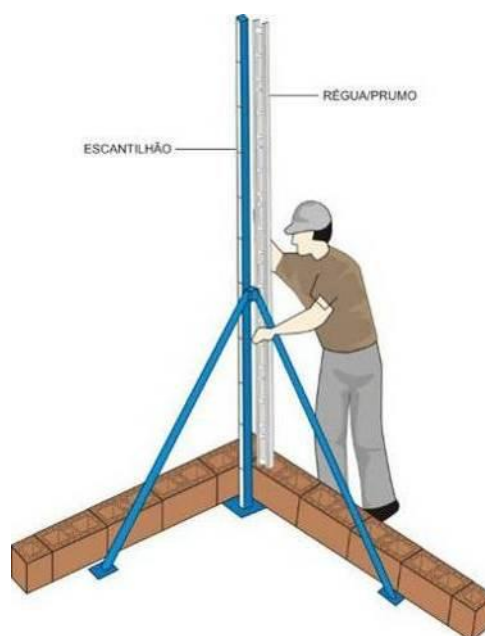
Fonte: Cortesia – Selecta Blocos

Figura 78 – Primeira fiada concluída



Fonte: Arquivo pessoal do autor

Em seguida deve-se fixar os escantilhões, fazendo coincidir a primeira marca com o nível da primeira fiada dos blocos.

Figura 79 – Detalhe do escantilhão

Fonte: Cortesia – Selecta Blocos

4.1.7 Elevação da alvenaria

De acordo com Melo (2008), o serviço da elevação da alvenaria inicia-se a partir da execução da segunda fiada. Dependendo da necessidade de mais ou menos detalhes, a planta de segunda fiada pode ser encontrada no projeto de alvenaria. De maneira geral, a ausência dessa última planta não compromete a execução da segunda fiada, pois eventuais dúvidas se resolvem com os desenhos de elevações das paredes. Convém lembrar ainda que, nessa etapa, já se assentam blocos com caixas elétricas destinadas, entre outros fins, a tomadas e interruptores, cujas posições são indicadas também no desenho de elevação das paredes.

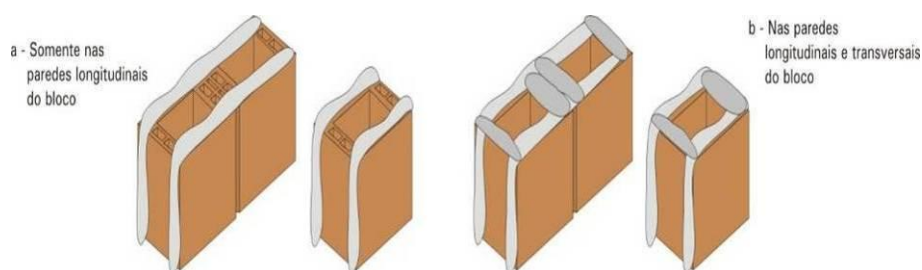
São considerados essenciais para o desempenho da parede: o cumprimento das tolerâncias de prumo (alinhamento vertical da parede), de nível (alinhamento horizontal da parede) e a execução correta das juntas de argamassa. Os blocos devem ser posicionados enquanto a argamassa estiver trabalhável e plástica, fazendo-se o mínimo possível de ajuste. Em caso de necessidade de acomodação do bloco, a argamassa deve ser removida e o componente assentado novamente na forma correta.

Os cordões de argamassa devem ser aplicados numa máxima extensão, em que sua trabalhabilidade e, conseqüentemente, sua aderência não sejam prejudicadas por exposição prolongada ao tempo.

As juntas horizontais e verticais devem ter espessuras de 10mm, com variação máxima permitida de ± 3 mm.

A aplicação da argamassa nos blocos pode ser feita de duas maneiras, segundo observação do projetista, conforme mostra a Figura 80.

Figura 80 - Forma de aplicação da argamassa de assentamento sobre os blocos



Fonte: Cortesia - Selecta Blocos

Parsekian (2010), salienta a importância do projetista aprovar a forma de colocação da argamassa, pois, se a opção for de filetes apenas nas paredes longitudinais do bloco, a resistência da parede estará sendo diminuída em aproximadamente 20%.

As juntas verticais devem ser preenchidas pela aplicação de dois filetes de argamassa na parede lateral dos blocos, garantindo que cada um dos filetes tenha espessura não inferior a 20% da largura dos blocos, conforme NBR 15812-2 (ABNT, 2010). É proibido qualquer tipo de calço no assentamento dos blocos.

Figura 81 – Argamassa nas juntas verticais



Fonte: Cortesia - Equipaobra

4.1.7.1 Equipamentos para assentamento dos blocos

Para Melo (2008), o equipamento mais adequado é aquele no qual se consegue controlar o volume de argamassa consumido e de mais fácil aceitação pela mão de obra.

A Figura 82, Figura 83 e Figura 84 ilustram os equipamnetos mais comuns para a colocação da argamassa de assentamento.

Bisnaga de confeitoiro – Utilizada na aplicação da argamassa de assentamento e preechimento das juntas verticais, tem a vantagem de controlar rigorosamente o volume consumido, porém a argamassa a ser utilizada deve ser industrializada, ou com extinção adequada da cal, quando esta for dosada em obra, para que a trabalhabilidade seja adequada para aplicação.

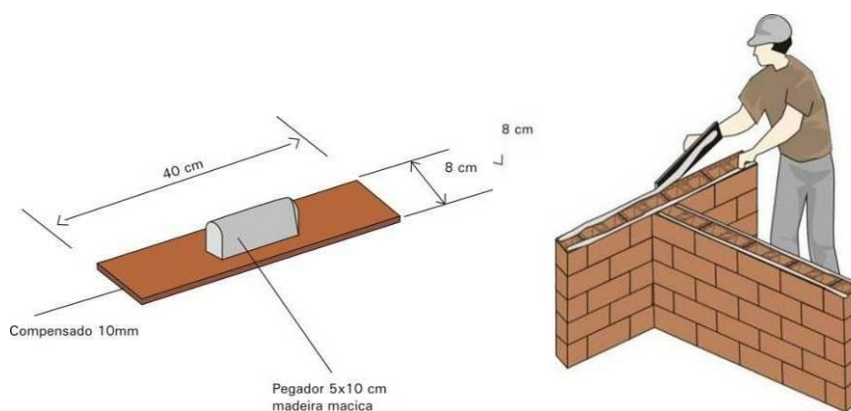
Figura 82 – Assentamento com bisnaga de confeitoiro



Fonte: Cortesia - Equipaobra

Paleta – Ferramenta metálica, de madeira ou PVC, para colocação da argamassa no sentido longitudinal do bloco. No sentido transversal do bloco, se for necessário a aplicação de argamassa, esta pode ser aplicada com a própria paleta ou colher. A paleta é uma ferramenta muito bem aceita pela mão de obra, mas o controle do volume de material a ser utilizado não é tão preciso.

Figura 83 - Paleta para aplicação de argamassa



Fonte: Cortesia - Selecta Blocos

Colher meia-cana – Com a mesma função das ferramentas citadas anteriormente, a colher meia-cana tem a vantagem de controlar o volume de argamassa a ser utilizado.

Figura 84 - Detalhe do filete de argamassa utilizando a colher meia-cana



Fonte: Arquivo pessoal do autor

4.1.7.2 Sequência de elevação da alvenaria

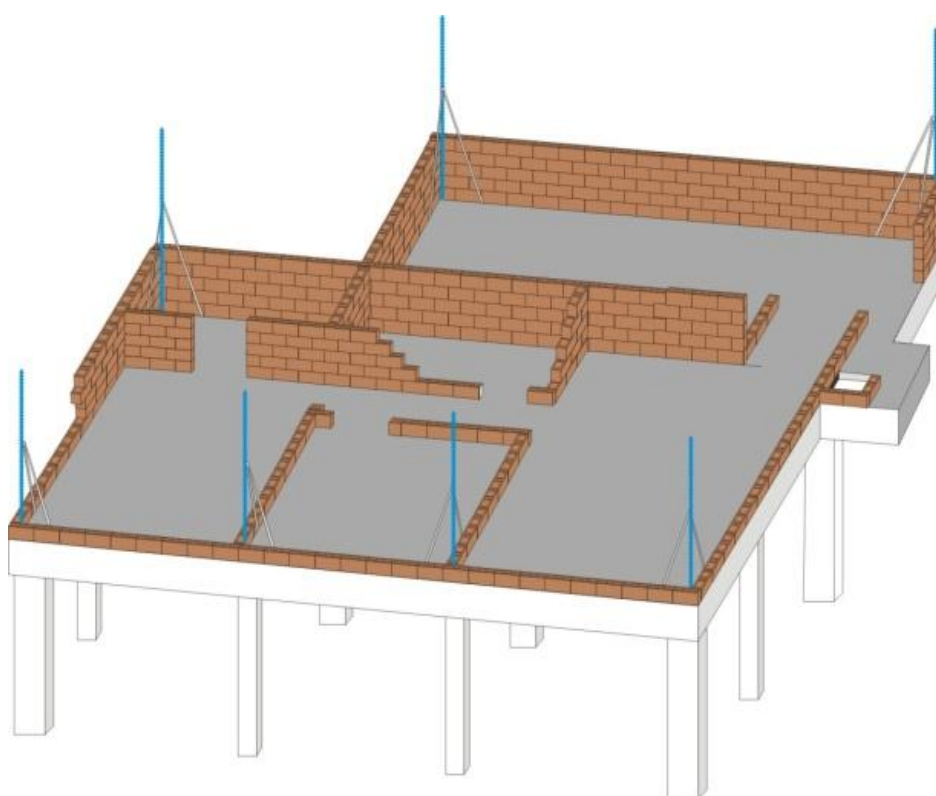
Na elevação da alvenaria deve-se assentar blocos até a altura do peitoril das janelas.

O excesso de argamassa deve ser retirado com a colher logo após o assentamento dos blocos, de maneira a compor o plano da parede e sem apresentar

rebarbas ou saliências. A argamassa não deve obstruir os vazios dos blocos e aquela retirada em excesso das juntas pode ser re-misturada à argamassa fresca; as argamassas em contato com o chão ou andaime não devem ser reaproveitadas.

Melo (2008) salienta que as alvenarias recém-elevadas devem ser protegidas da chuva, evitando remoção da argamassa das juntas e também que o excesso de umidade através dos vazados dos blocos venham a provocar problemas como eflorescências.

Figura 85 – Elevação da Alvenaria

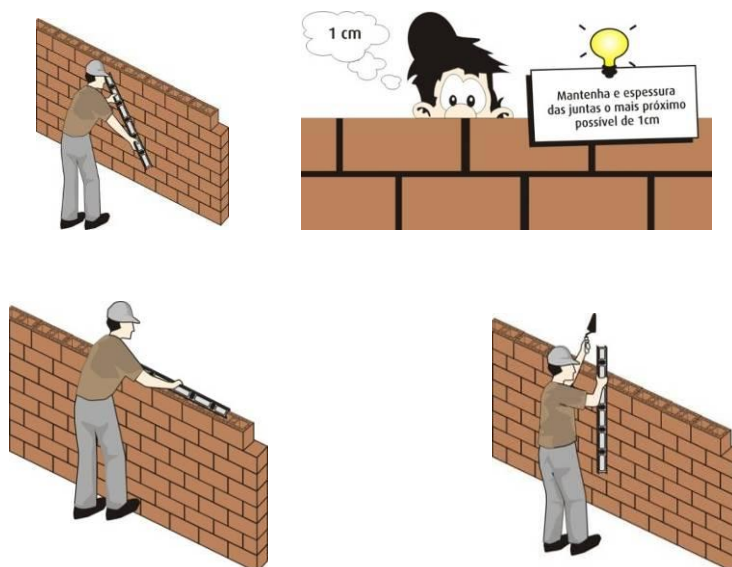


Fonte: Cortesia – Selecta Blocos

Prudêncio, Oliveira e Bedin (2002), salientam que se deve verificar tolerâncias quanto ao prumo, nível, planicidade, alinhamento e espessuras das juntas horizontais da alvenaria de maneira constante.

Melo (2008) recomenda o uso de porta-masseiras com alturas próximas de 70cm, para evitar esforços físicos desnecessários.

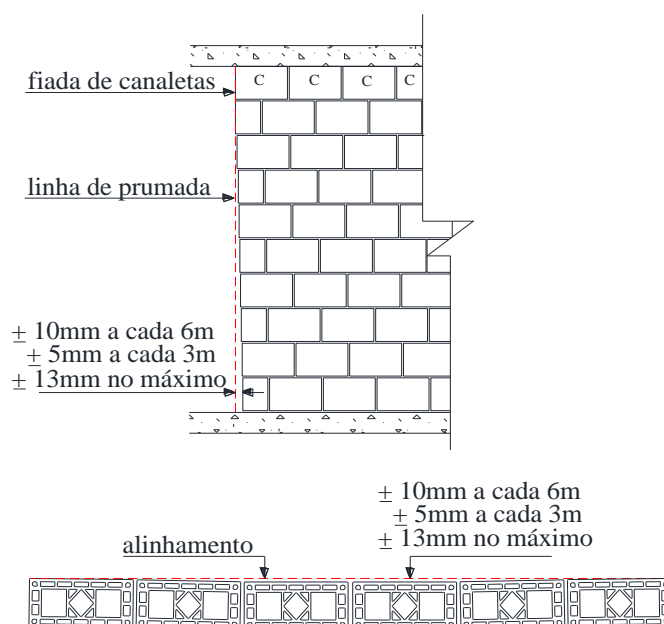
Figura 86 – Detalhe de prumo, nível e espessura de juntas



Fonte: Cortesia – Selecta Blocos

A NBR 15812-2 (ABNT, 2010) indica que o desalinhamento máximo das paredes e colunas do pavimento não podem ser superiores a 13mm, além de atender aos limites de 5 mm a cada 3m e 10mm a cada 6m, conforme Figura 87.

Figura 87 - Limite para desaprumo e desalinhamento de paredes



Fonte: NBR 15812-2 (ABNT, 2010)

4.2 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

De acordo com Prudêncio, Oliveira e Bedin (2002), como regra geral, as tubulações devem caminhar sempre na vertical, utilizando os vazados dos blocos para as passagens das mangueiras, não sendo permitidos cortes horizontais para a interligação dos pontos.

A NBR 15812-1 (ABNT, 2010) permite que se façam cortes horizontais individuais de até 40cm em paredes estruturais. Mas, não são permitidos cortes horizontais em uma mesma parede cujos comprimentos somados ultrapassem 1/6 do comprimento total da parede em planta.

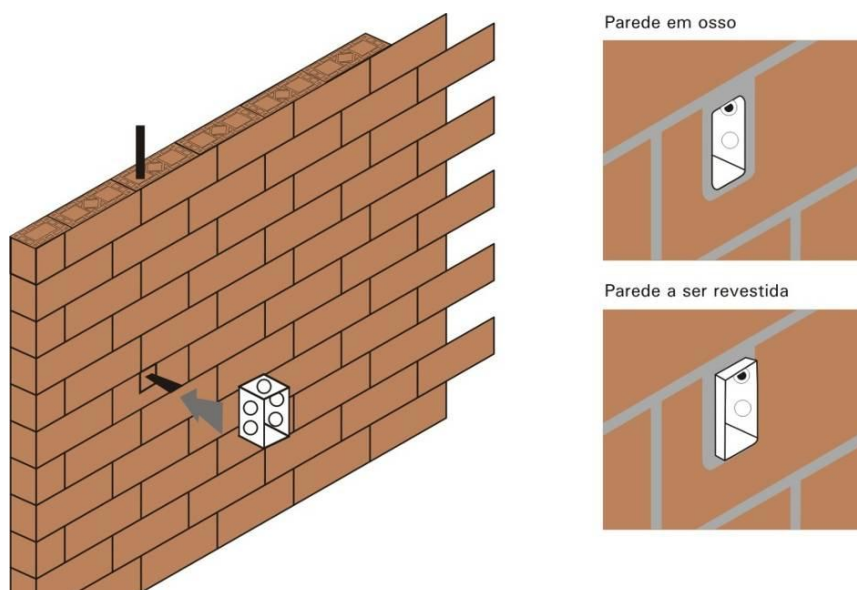
O limite para cortes verticais é 60cm, a NBR 15812-1 (ABNT, 2010) indica que cortes verticais maiores realizados em paredes definirão duas paredes distintas.

De acordo com a mesma norma, não são permitidos condutores de fluidos embutidos em paredes estruturais, exceto quando a instalação e a manutenção não exigirem cortes.

Os eletrodutos horizontais devem ser embutidos nas lajes ou nos pisos. As caixas de tomadas e interruptores podem ser previamente fixadas nos blocos, que, por sua vez, serão assentadas em posições predeterminadas, conforme indicado nas plantas de elevação das paredes.

Após a elevação da alvenaria, deve ser feita a passagem dos eletrodutos furando-se o fundo da canaleta (peça especial utilizada para o travamento da alvenaria e confecção de vergas e contravergas) e introduzindo-se o eletroduto com o uso de uma guia metálica.

Figura 88 - Detalhe de fixação de caixa de luz



Fonte: Cortesia Selecta Blocos

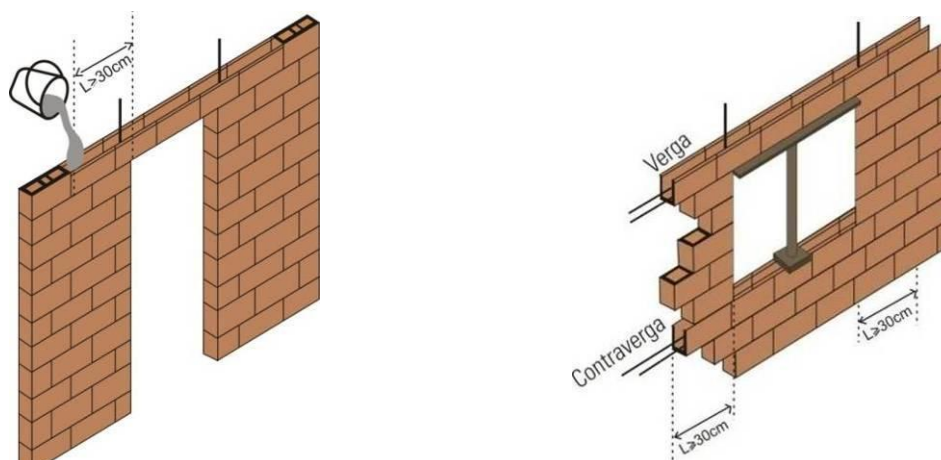
4.3 CONFECÇÃO DAS VERGAS E CONTRAVERGAS

De acordo com Melo (2008), as aberturas são espaços nos quais as tensões se concentram. Portanto, a quantidade, o tamanho e a posição das aberturas influenciam diretamente no desempenho da parede como elemento estrutural.

As contravergas e vergas em vãos de janelas e portas podem ser executadas com pré-moldados de concreto ou com canaletas preenchidas com graute e armadura, conforme especificação do projeto, com apoio lateral mínimo de 30cm para cada lado da abertura, tomando-se os devidos cuidados para que em nenhum caso o cobrimento da armadura seja inferior ao especificado. Não é permitido o contato de metais de naturezas diferentes.

Eventuais fios, barras ou telas de reforço imersos em juntas de argamassa deverão ser de aço galvanizado ou metal resistente à corrosão.

Figura 89 – Verga e contraverga com bloco canaleta



Fonte: Cortesia - Selecta Blocos

4.4 GRAUTEAMENTO

De acordo com Parsekian (2010), os vazados dos blocos a serem preenchidos com grautes não podem ter rebarbas de argamassa e as dimensões mínimas recomendadas são de 50 mm x 70 mm.

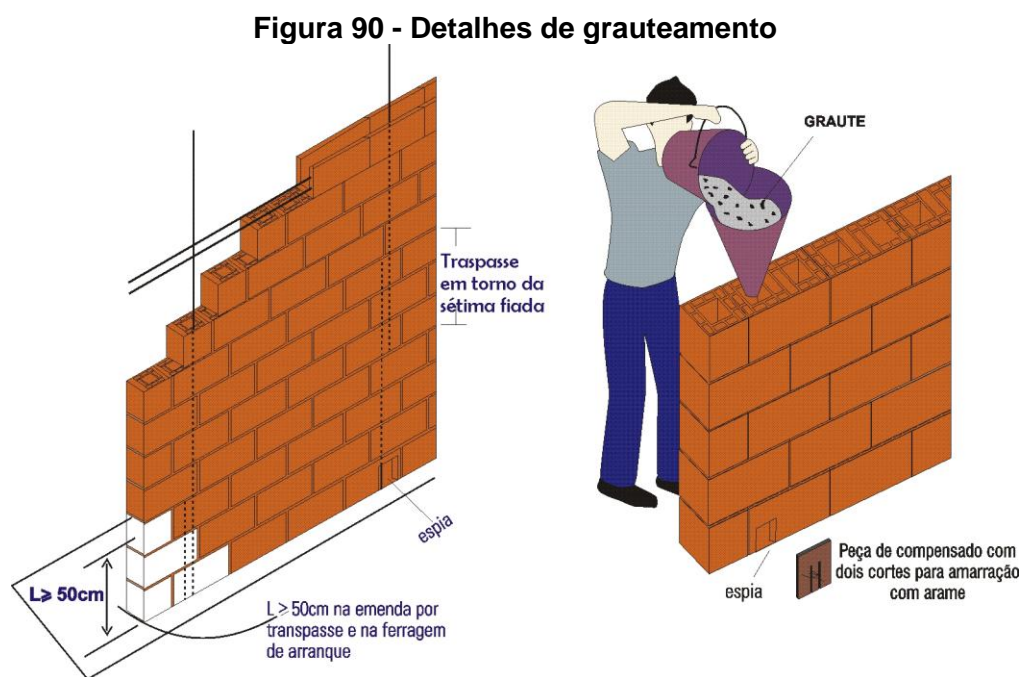
A NBR 15812-2 (ABNT, 2010) recomenda que o lançamento do graute, seja feito após a limpeza dos furos, no mínimo, após 24 horas do assentamento dos blocos. A altura máxima de lançamento do graute, desde que ele seja devidamente aditivado e garantida a coesão sem segregação, é de 2,8m. Recomenda-se, no entanto, lançamento em duas etapas com alturas não superiores a 1,6m.

Melo (2008) salienta que o adensamento pode ser feito concomitantemente com o lançamento do graute. A armadura fixada à fundação anteriormente, não deve ser usada como ferramenta de compactação. Para o adensamento manual, deve-se empregar outra haste de 10mm ou 15mm de diâmetro, devendo esta ter um comprimento de forma a atingir o fundo do furo a preencher.

Nos locais previstos para grauteamento, é necessário a limpeza da argamassa de assentamento que se deposita nas cavidades dos blocos. Para isso,

deve-se deixar aberturas laterais nos blocos da primeira e oitava fiadas. Nos casos onde há necessidade de armaduras, estas devem estar devidamente fixadas à estrutura da base ou da alvenaria inferior.

Antes de lançar o graute, os furos devem estar perfeitamente desobstruídos através da limpeza das rebarbas de argamassa.



4.5 CINTA DE AMARRAÇÃO OU RESPALDO

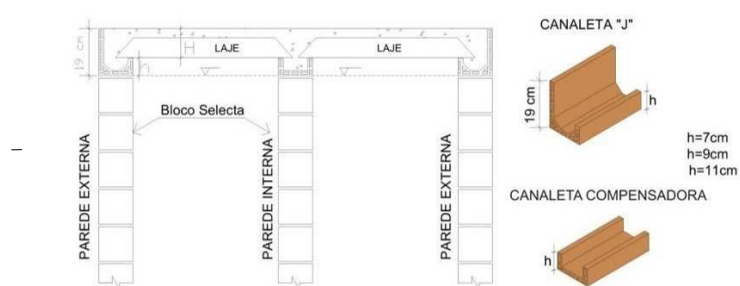
Para Prudêncio, Oliveira e Bedin (2002) a principal função da cinta de amarração é a de consolidar as paredes para facilitar a transmissão de esforços horizontais provenientes das lajes, e verticais, oriundos das paredes dos pavimentos superiores.

De acordo com Melo (2008), na finalização das paredes do pavimento, deve ser executada uma cinta de respaldo contínua, solidarizando todas as paredes. Esta cinta pode ser executada com blocos canaletas tipo “U” ou com canaletas “J” e canaletas “compensadoras”, de acordo com o especificado no projeto; no primeiro caso, as paredes externas e internas terminam com a canaleta “U”. Desta forma, a distância piso a teto é trabalhada em múltiplos de 20 cm e é necessário o uso de

tabeiras para a concretagem das lajes. A outra opção, a distância piso a piso, irá variar de acordo com a espessura da laje adotada. Dispensa-se o uso de tabeiras para a concretagem das lajes.

Estas canaletas terão armaduras contínuas, com traspasse adequado de acordo com o diâmetro da barra de aço especificada, para garantir a amarração das paredes. Antes do grauteamento desta cinta é imprescindível a verificação se todos os pontos de passagens de elétrica foram feitos adequadamente.

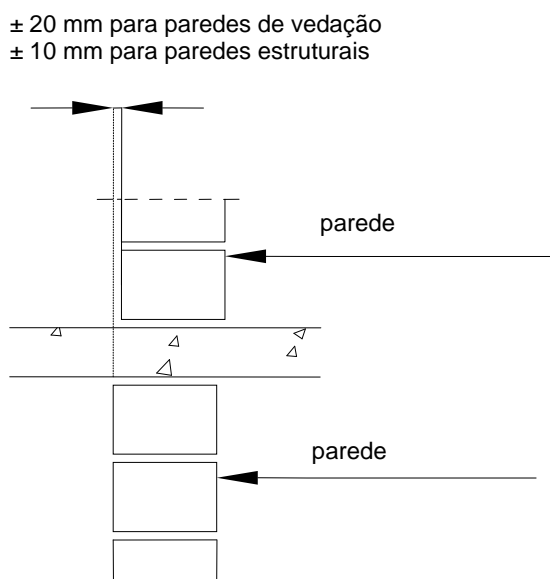
Figura 91 – Uso de canaleta “J” e canaleta compensadora



Fonte: Cortesia Selecta Blocos

A descontinuidade vertical de paredes de um andar para outro pode ser no máximo de 10mm, conforme ilustrado na figura 92.

Figura 92 – Descontinuidade máxima das paredes entre os andares



Fonte: NBR 15812-2 (ABNT, 2010)

4.6 CUIDADO COM A LAJE DE COBERTURA

De acordo com Parsekian (2010), para evitar fissuras nas paredes do último pavimento, provocadas pela movimentação térmica da laje, devem ser adotados os seguintes procedimentos:

Isolamento da última laje da parede de apoio com manta asfáltica, borrachas apropriadas, neoprene, etc. conforme figura 93

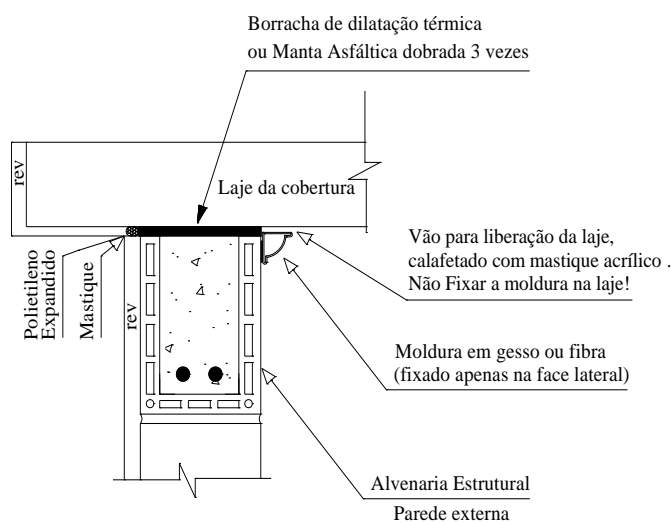
Divisão das lajes em partes menores;

Previsão de beiral na laje de cobertura;

Proteção térmica;

Ventilação do telhado;

Figura 93 – Detalhe de isolamento da laje de cobertura



Fonte: PARSEKIAN (2010)

5 CONTROLE DE EXECUÇÃO DA ALVENARIA ESTRUTURAL DE ACORDO COM A NBR 15812-2

5.1 CONTROLE DA RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS

A NBR 15812-2 (ABNT, 2010) exige que, antes do início da obra, seja feita a caracterização da resistência à compressão dos materiais e da alvenaria a serem usados na construção.

Devem ser empregados, na execução da alvenaria, os materiais definidos na fase de caracterização, em função das especificações do projeto estrutural.

Para garantir as tolerâncias dimensionais especificadas, é recomendado o emprego de equipamentos e ferramentas adequadas que permitam verificações garantindo a qualidade da alvenaria durante sua execução a cada pavimento.

5.1.1 Caracterização prévia dos materiais e da alvenaria

Para a caracterização da resistência à compressão de argamassas, grautes e blocos, estes devem ser ensaiados conforme amostragens e métodos especificados nas respectivas normas.

A caracterização da alvenaria pode ser feita através de prismas, conforme método de ensaio especificado no anexo A da NBR15812-2 (ABNT, 2010); de pequenas paredes, conforme anexo B da mesma norma; ou de paredes, conforme NBR 8949 (ABNT, 1984). Todos os corpos-de-prova em alvenaria, serão executados com materiais de mesmas características dos que serão usados na obra. A quantidade mínima de corpos-de-prova está descrita no Quadro 24.

Quadro 24 - Número mínimo de corpos-de-prova por tipo de elemento de alvenaria

Tipo de elemento de alvenaria	Número de corpos-de-prova
Prisma	12
Pequena parede	6
Parede	3

Fonte: NBR 15812-2 (ABNT, 2010)

No caso do fornecedor dos materiais já ter realizado a caracterização no prazo de 180 dias que antecedem o início da obra, podem ser utilizados os resultados do fornecedor para esta prévia caracterização.

5.1.2 Controle dos materiais e alvenaria em obra

De acordo com a NBR 15812-2 (ABNT, 2010), o controle de produção é o conjunto de operações que, corrigindo distorções no processo, permite ao produtor manter a qualidade do produto dentro de padrões pré-estabelecidos. Deve se fazer controle sistemático da resistência do bloco, da argamassa, do graute e do prisma. Os blocos serão controlados no recebimento, as argamassas e grautes serão controlados durante a produção.

A resistência da alvenaria será controlada também durante a produção, através de ensaios de prismas (usual) ou pequenas paredes (não usual). Em obras de menor vulto, é possível o controle apenas da resistência do bloco. A forma de controle das resistências dependerá da probabilidade relativa de ruptura da alvenaria em função da razão entre a resistência característica especificada em projeto e a resistência característica obtida nos ensaios de caracterização.

5.1.2.1 Controle dos blocos

Os blocos cerâmicos devem atender integralmente às especificações da NBR 15270-2 (ABNT, 2005), além das resistências especificadas no projeto estrutural no ato do recebimento.

Para o controle de resistência à compressão dos blocos, os lotes devem ter no máximo 20.000 blocos, ou o número de blocos necessários para a construção de dois pavimentos. Este controle deve ser feito no recebimento dos blocos.

Os blocos devem ser estocados em superfície plana e nivelada. No caso de armazenamento em lajes, estas deverão estar adequadamente cimbradas. As pilhas devem conter a indicação das resistências, com o número de lote de obra e local de sua aplicação, e devem ser empregados preferencialmente na ordem do recebimento.

5.1.2.2 Controle da argamassa

A definição prévia da argamassa de assentamento deve ser feita por meio de ensaios, com antecedência adequada e em laboratório, com os materiais dos mesmos fornecedores selecionados para a obra, comprovando o atendimento dos requisitos estabelecidos no projeto estrutural. É definitivo para a aprovação da argamassa o ensaio de prisma e, especialmente, o de resistência de aderência à flexão. Uma vez aprovado o traço, o controle da argamassa pode se feito pela resistência à compressão, a base do controle é a uniformidade. No recebimento de materiais para argamassas dosadas em canteiro, deve-se assegurar que os agregados atendam às prescrições da ABNT NBR 7211/2009, armazenados sobre superfície resistente, provida de drenagem e evitando contato com o solo.

É necessário armazenar o cimento e cal em espaços cobertos, com pisos argamassados ou de concreto e mantidos secos e protegidos da umidade do solo.

A produção da argamassa deve ser feita de forma a garantir adequada uniformidade de suas características.

Em obras de menor exigência estrutural, usualmente ensaios de caracterização da argamassa são suficientes para o controle de obra.

Em obras de maior exigência estrutural, a uniformidade deve ser verificada pelo estabelecimento de um limite para a dispersão dos resultados de ensaios de resistência à compressão axial. Sugere-se que o lote de controle seja o menor dos limites:

- 500m² de área construída em planta (por pavimento);
- Dois pavimentos;
- Argamassa fabricada com matéria-prima de mesma procedência e mesma dosagem.

A amostra deve ser de seis corpos-de-prova. A moldagem dos corpos-de-prova pode ser feita empregando-se moldes metálicos de 4 cm x 4 cm x 4 cm, com adensamento manual, em duas camadas, com 30 golpes de soquete. O ensaio é realizado de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005).

A amostra será aceita se o coeficiente de variação desta for inferior a 20% e o valor médio for maior ou igual ao especificado no projeto

A trabalhabilidade da argamassa deve ser compatível com as características dos materiais constituintes da alvenaria e com os equipamentos a serem empregados na mistura, transporte e aplicação. Durante o período de uso, a argamassa poderá ter a consistência ajustada mediante a adição de água, no máximo duas vezes. O volume de argamassa inicialmente dosado deve ser consumido no prazo máximo de 2h30min. Em climas quentes ou com ventos acentuados, é recomendável que a perda de água seja amenizada cobrindo-se o recipiente da argamassa com um pano úmido.

A dosagem dos materiais deve ser feita levando-se em consideração o cimento e cal hidratada, que devem ser medidos em massa com tolerância de 3%, quando usado a granel; quando ensacado, pode ser considerado o peso nominal da embalagem.

A água deve ser medida em volume ou massa com tolerância de 3%.

Os agregados miúdos serão medidos em massa ou volume, com tolerância de 3% e levando em conta o inchamento por influência da umidade.

Aditivos líquidos podem ser medidos em massa ou volume com tolerância de 5% e dissolvidos em água antes da mistura com os demais materiais.

Os aditivos em pó devem ser medidos em massa com tolerância de 5%.

Em função da absorção dos blocos, podem ser necessárias argamassas com maiores retenções de água.

Para garantir uma mistura homogênea de todos os materiais, a argamassa deve ser misturada com misturador mecânico.

Durante o transporte, a argamassa não pode sofrer perda de elementos ou segregação, devendo ser re-misturada manualmente no local de aplicação.

No caso de argamassas industrializadas, os mesmos cuidados com armazenamento devem ser considerados e a mistura deve obedecer à prescrição do fabricante.

Recomenda-se o uso de misturadores de eixo horizontal (argamassadeira), especialmente para o caso de uso de argamassa industrializada.

5.1.2.3 Controle do graute

O graute deve ter a resistência à compressão, de modo que a resistência do prisma grauteado atinja a resistência especificada pelo projetista.

As características no estado fresco devem garantir o completo preenchimento dos furos e não apresentar retração que provoque o descolamento do graute das paredes dos blocos.

A consistência do graute deve ser compatível com o método de adensamento utilizado.

O graute deve ser utilizado dentro de 1h30min, tempo contado a partir do momento da adição de água, e produzido obrigatoriamente com misturador mecânico.

A dosagem deve levar em conta a absorção dos blocos e das juntas de argamassa.

As medidas dos materiais devem seguir os mesmos critérios citados para as argamassas.

Caso seja utilizada cal, o teor não deve ser superior a 10% em volume.

Para blocos com vazados de dimensão mínima de 50 mm, os agregados devem ter dimensão máxima de 10 mm ou 20 mm, conforme o cobrimento mínimo da armadura de 15 mm ou 25 mm, respectivamente. Os agregados devem ter dimensão inferior a 1/3 da menor dimensão dos furos a serem preenchidos.

Em obras de menor exigência estrutural, usualmente, os ensaios de caracterização do graute são suficientes para o controle de obra.

Em obras de maior exigência estrutural, o lote de controle é, de maneira semelhante ao controle de argamassa, o menor dos limites:

- 500m² de área construída em planta (por pavimento);
- Dois pavimentos;
- Graute fabricado com matéria prima de mesma procedência e mesma dosagem.

A amostra é composta por seis corpos-de-prova moldados de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2003) e ensaiados conforme NBR 5739 (ABNT, 2003).

A amostra será aceita se a resistência característica for superior a especificada no projeto.

Deve-se destacar que o resultado de prisma cheio prevalece sobre o resultado do graute e da argamassa. Se eventualmente o graute resulta em valor inferior ao de projeto, mas o resultado do prisma cheio esta de acordo com o projeto, a alvenaria pode ser aceita.

5.1.3 Resistência característica estimada

A resistência característica do elemento de alvenaria obtida nos ensaios deve ser igual ou superior à resistência característica especificada pelo projetista estrutural. Para amostragem menor do que 20 e maior do que 6 corpos-de-prova, a resistência característica é calculada conforme Quadro 25.

Quadro 25 - Cálculo de f_{pk}

NOTAÇÃO / PARÂMETROS

$f_{pk,est.}$ = resistência característica estimada da amostra, expressa em MPa
 fp_1, fp_2, \dots, fp_i = valores dos resultados individuais dos ensaios de resistência à compressão dos corpos-de-prova da amostra, ordenados em ordem crescente $fp_1 < fp_2 < \dots < fp_i$
 $i = n/2$, se n for par
 $i = (n - 1)/2$, se n for ímpar
 n é igual à quantidade de blocos da amostra

Quantidade de blocos	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18
\emptyset	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,04

$$f_{pk1} = f_{pk,est.} = 2 \left[\frac{fp_1 + fp_2 + \dots + fp_{i-1}}{i - 1} \right] - fp_i$$

$$f_{pk2} = 0,85 \times f_{pm} \text{ (média dos resultados)} = 0,85 \times \left(\frac{fp_1 + \dots + fp_n}{n} \right)$$

$$f_{pk3} = \emptyset \times fp_1 \text{ (}\emptyset \text{ depende de } n, \text{ de acordo com a tabela acima)}$$

$$f_{pk4} = \text{maior valor entre } f_{pk1} \text{ e } f_{pk3}$$

$$f_{pk} = \text{menor valor entre } f_{pk2} \text{ e } f_{pk4}$$

Fonte: NBR 15812-2 (ABNT, 2010)

Para ensaios com número de elementos maior ou igual a 20:

$$f_{ek} = f_{em} - 1,65 S_n$$

Sendo:

f_{em} = resistência média dos exemplares

S_n = desvio padrão da amostra

5.1.4 Controle para obras de menor exigência estrutural

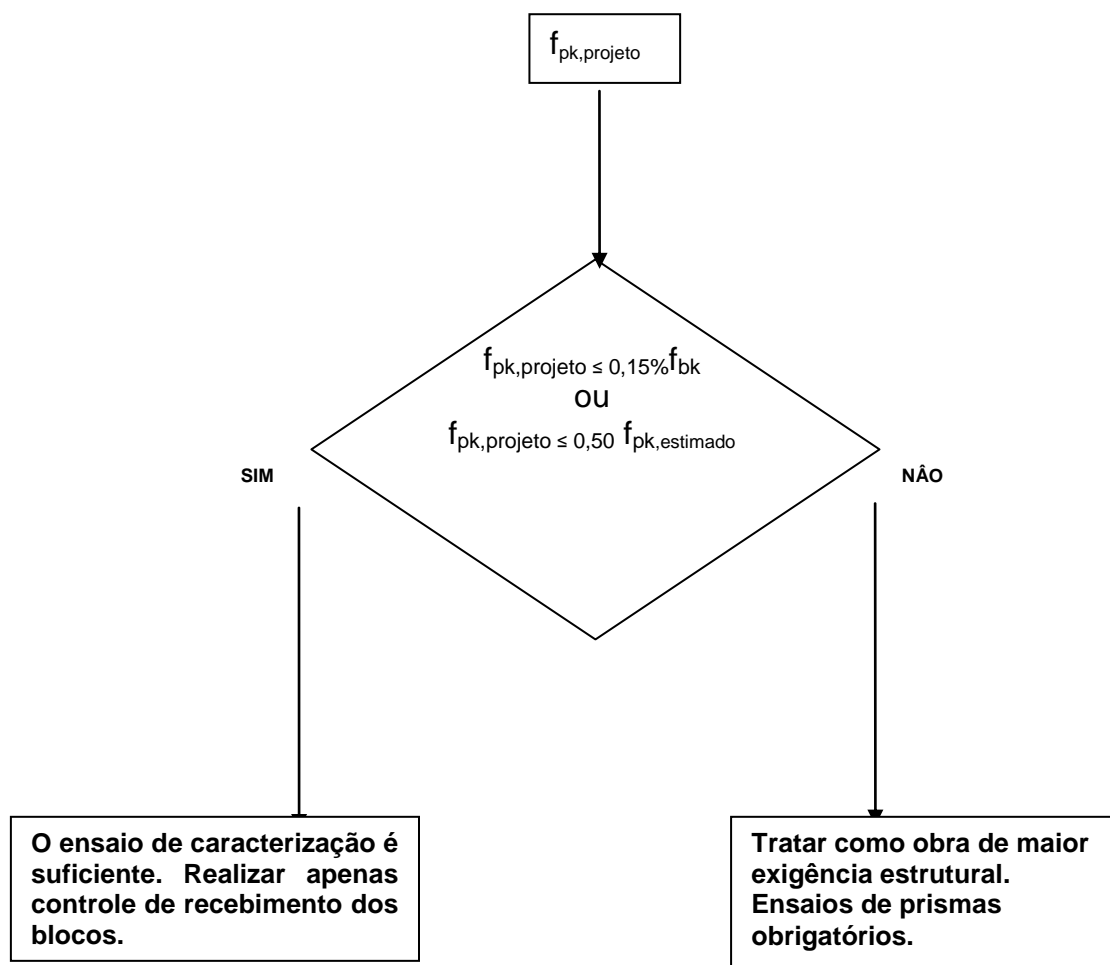
Conforme a NBR 15812-2 (ABNT, 2010), obras de menor exigência estrutural são aquelas em que a maior resistência característica especificada para o prisma no projeto é menor ou igual a 15% da resistência característica do bloco, ou menor do

que 50% da resistência característica do prisma, e não é prescrito o preenchimento dos furos dos blocos (grauteamento) para aumentar a resistência à compressão da alvenaria. Neste caso, os ensaios de caracterização e de recebimento dos blocos são suficientes.

O primeiro valor (15% da resistência característica do bloco) foi determinado admitindo uma relação prisma-bloco bastante baixa, igual a 0,30, e impondo a ideia de limitar a resistência de cálculo a até 50% da resistência de prisma, para que não seja necessário controle de prisma.

A Figura 94 mostra um fluxograma de controle para obras de menor exigência estrutural.

Figura 94 – Fluxograma de controle para obras de pequena exigência estrutural



Para ilustrar o controle de obras de acordo com a norma NBR 15812-2 (ABNT, 2010) serão listados alguns exemplos de situações de obras com os seus respectivos tipos de controle:

EXEMPLO – Uma residência térrea com $f_{pk,projeto} = 1,5$ MPa (máximo valor calculado no projeto)

Usando bloco cerâmico de 6 MPa, que tenha eficiência de 50%, espera-se encontrar um prisma de $f_{pk}=3,0$ MPa. (Esta informação vem do ensaio de caracterização feito anteriormente.)

$$f_{pk,projeto} \leq 0,15 f_{bk} \rightarrow 0,15 * 6\text{MPa} = 0,90\text{ MPa (falso)} \rightarrow 1,5 > 0,9$$

$$f_{pk,projeto} \leq 0,5 f_{pk,carac.} \rightarrow 0,5 * 3\text{ MPa} = 1,5\text{ MPa (ok!)} \rightarrow 1,5 = 1,5$$

Portanto, a obra é de menor exigência estrutural e não há necessidade de fazer os ensaios de prismas, apenas os ensaios de recebimentos dos blocos e o controle de produção da argamassa.

5.1.5 Controle para obras de maior exigência estrutural

Quando a obra não se enquadra na característica de obra de menor exigência estrutural, o controle pode ser padrão ou otimizado. Deve ser feito através de ensaio de prisma, da argamassa e do graute e também do ensaio de recebimento dos blocos.

Os prismas devem ser moldados, armazenados e transportados de acordo com os procedimentos especificados no Anexo A da NBR 15812-2 (ABNT, 2010).

O controle deve ser feito separadamente para paredes não grauteadas e paredes grauteadas, com objetivo de aumentar a resistência à compressão.

5.1.5.1 Controle padrão

Neste tipo de controle, cada pavimento de cada edificação representa um lote para coleta de amostras. O número de amostras de cada pavimento é sempre constituído de, no mínimo, 12 prismas, sendo 6 para ensaio e 6 para eventual contraprova.

O resultado do ensaio de prismas das 6 amostras retiradas deve ser maior ou igual ao especificado no projeto (valores característicos).

5.1.5.2 Controle otimizado

O controle otimizado pode ser feito para edificação isolada ou para conjunto de edificações iguais. São consideradas edificações iguais aquelas que atendem às seguintes condições:

- ✓ Fazem parte de um único empreendimento.
- ✓ Têm o mesmo projetista estrutural.
- ✓ Têm especificadas as mesmas resistências de projeto.
- ✓ Utilizam os mesmos materiais e procedimentos para a execução.

5.1.5.3 Controle otimizado para edificação isolada

Conforme a descrição da norma de execução e controle NBR 15812-2 (ABNT, 2010), cada pavimento representa um lote.

O número de amostras do primeiro lote é sempre constituído de, no mínimo, 12 prismas, dos quais 6 são moldados para eventual contraprova. Para efeito de controle, considera-se como primeiro lote o primeiro pavimento do edifício e aqueles em que ocorram mudanças de materiais ou procedimentos de execução. Por exemplo, se os dois primeiros pavimentos de um edifício de 6 andares tiverem f_{bk} especificado igual a 8 MPa e os quatro últimos de 6 MPa, o primeiro e o terceiro andar são caracterizados como “primeiro lote” (moldar 12 prismas, 6 para prova e 6 para contraprova).

Após os ensaios do primeiro lote de alvenaria, deve ser calculado o coeficiente de variação da amostra. O coeficiente de variação (CV) é o valor de desvio-padrão dividido pela média. Este coeficiente de variação é utilizado para definir o número de amostras do lote subsequente.

O número de prismas a serem ensaiados para os pavimentos subsequentes deve ser extraído do Quadro 26, usando o coeficiente de variação atualizado e a razão entre a resistência característica especificada em projeto para o pavimento e a resistência característica encontrada no ensaio.

A cada novo lote ensaiado (cada novo andar superior não caracterizado como “primeiro lote”), deve-se recalcular o coeficiente de variação e a resistência característica estimada, adicionando-se os resultados dos lotes anteriores que tenham sido executados com os mesmos materiais e procedimentos. O número de prismas a serem ensaiados no andar superior é calculado com esses resultados.

Ao chegar a um andar do tipo “primeiro lote”, o procedimento é reiniciado.

**Quadro 26 – Número mínimo de prismas a serem ensaiados
(redução de acordo com a probabilidade relativa de ruína)**

CV	$f_{pk,projeto}/f_{pk,estimado}$				
	$\leq 0,15\%$	$>0,15 \leq 0,30$	$> 0,30 \leq 0,50$	$> 0,50 \leq 0,75$	$> 0,75$
>25%	6	6	6	6	6
$\leq 25\%$ e $\geq 20\%$	0	2	4	6	6
$< 20\%$ e $\geq 15\%$	0	2	2	2	4
$< 15\%$ e $\geq 10\%$	0	0	2	2	2
$<10\%$	0	0	0	0	0

Fonte: NBR 15812-2 (ABNT, 2010)

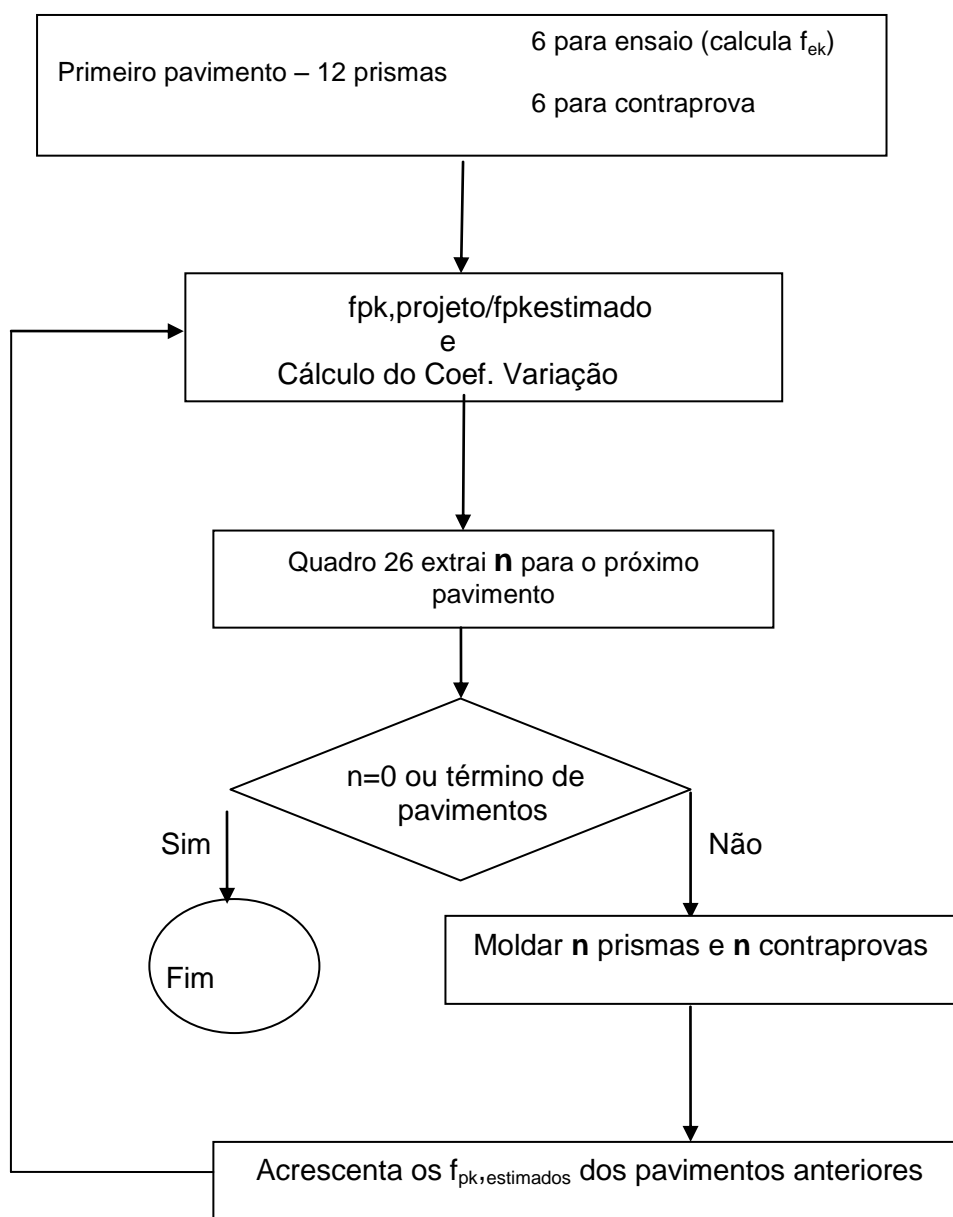
Deve ser moldado número adicional de prismas ao que será ensaiado para eventual contraprova.

Em uma eventual indisponibilidade dos resultados dos prismas do lote anterior, o pavimento deve ser considerado como primeiro lote.

Para edificações com mais de cinco pavimentos, o coeficiente de variação deve ser sempre considerado como, no mínimo, igual a 15%, ou seja, usar pelo menos as prescrições da linha “ $< 20\%$ e $\geq 15\%$ ” ou superior. Ou seja, nesses casos deve-se ensaiar no mínimo dois prismas por pavimento.

A Figura 95 mostra o fluxograma do controle de obras de maior exigência estrutural para edificações isoladas.

**Figura 95 – Fluxograma para obras de maior exigência estrutural
Edificações isoladas**



EXEMPLO 1 – Controle otimizado para edificação isolada.

Considerando um projeto, onde as resistências máximas de prisma calculadas por pavimento estão listadas no Quadro 27.

O bloco adotado para este projeto tem $f_{bk} = 8$ MPa em todos os pavimentos.

Quadro 27 - f_{pk} calculado máximo por pavimento, do exemplo de projeto

grupo	paredes	f _{pk} calculado					
		6	5	4	3	2	1
8	X29, X34, Y15	1,31	1,71	2,11	2,51	2,91	3,31

O controle otimizado, conforme NBR 15812-2 (ABNT, 2010), é descrito a seguir.

Para o primeiro pavimento, é necessário moldar 12 prismas, sendo 6 prismas para ensaio e 6 prismas para contraprova. Considerando que seis prismas foram ensaiados com resultados anotados na tabela abaixo, tem-se:

Resultado amostra 1 em ordem crescente (primeiro pavimento)						
Prisma	fp1	fp2	fp3	fp4	fp5	fp6
Resistência (MPa)	4,8	4,9	5,2	5,6	5,7	5,8

A estimativa da resistência à compressão da amostra 1 do primeiro pavimento é o valor calculado da seguinte forma:

Sendo:

$i = n/2$, se
n for par;

$i = (n-1)/2$, se
n for ímpar
então $i=3$

$$f_{pk1} = 2 \left[\frac{fp_1 + fp_2 + \dots + fp_{i-1}}{i-1} \right] - f_{p_i}$$

$f_{pk1} = 2 * \frac{(4,8+4,9)}{2} - 5,2 = 4,50 \text{ MPa}$

$$f_{pk2} = 0,85 * \frac{(f_{p1} + \dots + f_{pn})}{n}$$

$f_{pk2} = 0,85 * \frac{(4,8+4,9+5,2+5,6+5,7+5,8)}{6} = 4,53 \text{ MPa}$

$$f_{pk3} = \emptyset * fb1$$

$f_{pk3} = 0,89 * 4,8 = 4,27 \text{ MPa}$

$$f_{pk4} = \text{maior valor entre } f_{pk1} \text{ e } f_{pk3} = 4,50 \text{ MPa}$$

$$f_{pk} = \text{menor valor entre } f_{pk2} \text{ e } f_{pk4}$$

Portanto, o valor de $f_{pk,estimado} = 4,50 \text{ MPa}$

Cálculo do coeficiente de variação da amostra

$$\text{Desvio-padrão da amostra (} S_n) = 0,43$$

$$f_{pm} = 5,33 \text{ MPa}$$

$\text{Coeficiente de Variação (CV)} = \frac{S_n}{f_{pm}} = 8,01\%$

Verificação para a quantidade de prismas do segundo pavimento, conforme Quadro 26.

$$f_{pk \text{ calculado}}/f_{pk, \text{ estimado}} = 3,31/4,50 = 0,74$$

$$CV = 8,01\% \text{ (como a edificação tem mais de 5 pavimentos, considerar } CV=15\%)$$

Do Quadro 26, reproduzido abaixo tiramos o número de prismas a serem ensaiados no segundo pavimento $n=2$.

CV	$f_{pk, \text{ projeto}}/f_{pk, \text{ estimado}}$				
	$\leq 0,15\%$	$>0,15 \leq 0,30$	$> 0,30 \leq 0,50$	$> 0,50 \leq 0,75$	$> 0,75$
$>25\%$	6	6	6	6	6
$\leq 25\%$ e $\geq 20\%$	0	2	4	6	6
$< 20\%$ e $\geq 15\%$	0	2	2	2	4
$< 15\%$ e $\geq 10\%$	0	0	2	2	2
$<10\%$	0	0	0	0	0

Admitindo que foram moldados 4 prismas para o segundo pavimento e ensaiados dois, com valores de resultados de resistências de ensaios iguais a 5,3 e 5,4 Mpa.

Adiciona-se os resultados da segunda amostra à primeira, assim $n=8$.

Resultado da somatória primeira e segunda amostra (ordem crescente)								
Prisma	fp1	fp2	fp3	fp4	fp5	fp6	fp7	fp8
Resistência (MPa)	4,8	4,9	5,2	5,3	5,4	5,6	5,7	5,8

$$f_{pk1} = 2 * \frac{(4,8+4,9+5,2)}{3} - 5,3 = 4,63 \text{ MPa}$$

$$f_{pk2} = 0,85 * \frac{(4,8+4,9+5,2+5,3+5,4+5,6+5,7+5,8)}{8} = 4,54 \text{ MPa}$$

$$f_{pk3} = 0,93 * 4,8 = 4,46 \text{ MPa}$$

$$f_{pk, \text{ estimado}} = 4,54 \text{ MPa}$$

Cálculo do coeficiente de variação da amostra

Desvio-padrão da amostra (S_n) = 0,36

$f_{pm} = 5,34 \text{ MPa}$

$$\text{Coeficiente de Variação (CV)} = \frac{S_n}{f_{pm}} = 6,79\%$$

Verificação para a quantidade de prismas do terceiro pavimento, conforme quadro 26 :

$$f_{pk \text{ calculado}}/f_{pk, \text{ estimado}} = 2,91/4,54 = 0,64$$

CV= 6,79% (como a edificação tem mais de 5 pavimentos, considerar CV=15%)

Do Quadro 26, tiramos o número de prismas a serem ensaiados no terceiro pavimento $n=2$.

Considerando resultados dos ensaios iguais a 5,1 e 5,3 MPa, adiciona-se os resultados da terceira amostra as anteriores, assim $n=10$.

Resultado da somatória da primeira, segunda e terceira amostras (ordem crescente)										
Prisma	Fp1	Fp2	Fp3	Fp4	Fp5	Fp6	Fp7	Fp8	Fp9	Fp10
Resistência (MPa)	4,8	4,9	5,1	5,2	5,3	5,3	5,4	5,6	5,7	5,8

Cálculo do coeficiente de variação da amostra

Desvio-padrão da amostra (S_n) = 0,33

$f_{pm} = 5,31$ MPa

$$\text{Coeficiente de Variação (CV)} = \frac{S_n}{f_{pm}} = 6,18 \%$$

Verificação para a quantidade de prismas do quarto pavimento, conforme quadro 26:

$$f_{pk \text{ calculado}}/f_{pk, \text{ estimado}} = 2,51/4,51 = 0,56$$

CV = 6,18 % (como a edificação tem mais de 5 pavimentos, considerar CV=15%)

Do Quadro 26 tiramos o número de prismas a serem ensaiados no quarto pavimento $n=2$. Considerando resultados dos ensaios iguais a 5,0 e 5,1 MPa adiciona-se os resultados da quarta amostra as anteriores, assim $n=12$.

Resultado da somatória da primeira, segunda, terceira e quarta amostras (ordem crescente)												
Prisma	Fp1	Fp2	Fp3	Fp4	Fp5	Fp6	Fp7	Fp8	Fp9	Fp10	Fp11	Fp12
Resistência (MPa)	4,8	4,9	5,0	5,1	5,1	5,2	5,3	5,3	5,4	5,6	5,7	5,8

Cálculo do coeficiente de variação da amostra

Desvio-padrão da amostra (S_n) = 0,31

$f_{pm} = 5,27$ MPa

$$\text{Coeficiente de Variação (CV)} = \frac{S_n}{f_{pm}} = 5,97\%$$

Verificação para a quantidade de prismas do quinto pavimento, conforme Quadro 26:

$$f_{pk \text{ calculado}}/f_{pk, \text{ estimado}} = 1,71/4,47 = 0,38$$

Coeficiente de variação (CV) = 5,97 % (como a edificação tem mais de 5 pavimentos, considerar CV=15%)

Do Quadro 26, tiramos o número de prismas a serem ensaiados no quinto pavimento $n=2$. Considerando resultados dos ensaios iguais a 4,8 e 4,9 MPa adiciona-se os resultados da quinta amostra as anteriores, assim $n=14$.

Adicionam-se os resultados da quinta amostra as anteriores, assim $n=14$.

Resultado da somatória da primeira, segunda, terceira, quarta e quinta amostras (ordem crescente).														
Prisma	Fp 1	Fp 2	Fp 3	Fp 4	Fp 5	Fp 6	Fp 7	Fp 8	Fp 9	Fp1 0	Fp1 1	Fp1 2	Fp1 3	Fp1 4
Resistência (MPa)	4,8	4,8	4,9	4,9	5,0	5,1	5,1	5,2	5,3	5,3	5,4	5,6	5,7	5,8

Cálculo do coeficiente de variação da amostra

Desvio-padrão da amostra (S_n) = 0,33

$f_{pm} = 5,21$ MPa

$$\text{Coeficiente de Variação (CV)} = \frac{S_n}{f_{pm}} = 6,28\%$$

Portanto, o valor de verificação para a quantidade de prismas do sexto pavimento, conforme Quadro 26:

$$f_{pk \text{ calculado}}/f_{pk, \text{ estimado}} = 1,31/4,11 = 0,32$$

Coeficiente de variação (CV) = 6,28 % (como a edificação tem mais de 5 pavimentos, considerar CV=15%)

Ensaiar mais 2 prismas para o sexto pavimento.

TOTAL DE PRISMAS ENSAIADOS = 16

Caso fosse feito o controle padrão, o número de prismas ensaiados seria 36.

EXEMPLO 2 – Controle otimizado para edificação isolada, em obra de 6 pavimentos

Suponha uma obra de 6 pavimentos de blocos cerâmicos, considerando que, para os dois primeiros pavimentos, foi especificado $f_{bk}=8,0$ MPa e, para o restante, $f_{bk} = 6,0$ MPa.

As resistências de prismas calculadas em projeto por pavimento estão listadas conforme o Quadro 28.

Quadro 28 - f_{pk} calculado máximo por pavimento

Grupo	Paredes	f_{pk} calculado					
		6	5	4	3	2	1
9	X25, X35, Y22	1,61	1,75	2,11	2,51	2,91	3,31

Para o primeiro pavimento é necessário moldar 12 prismas, sendo 6 prismas para ensaio e 6 prismas para contraprova. Considerando que 6 prismas foram ensaiados com resultados anotados na tabela a seguir, tem-se:

Resultado da amostra 1 do primeiro pavimento (ordem crescente).						
Prisma	Fp1	Fp2	Fp3	Fp4	Fp5	Fp6
Resistência (MPa)	4,8	4,9	5,2	5,6	5,7	5,8

$$f_{pk, estimado} = 4,50 \text{ MPa}$$

$$\text{Desvio-padrão da amostra (Sn)} = 0,43$$

$$f_{pm} = 5,33 \text{ MPa}$$

$$f_{pk, calculado}/f_{pk, estimado} = 3,31/4,50 = 0,74$$

$$CV = 8,01\% \text{ (como a edificação tem mais de 5 pavimentos, considerar CV=15\%)}$$

Do Quadro 26 tiramos o número de prismas a serem ensaiados no segundo pavimento $n=2$.

Admitindo que foram moldados 4 prismas para o segundo pavimento e ensaiados dois com resultados 5,3 e 5,4 MPa, adiciona-se os resultados da segunda amostra à primeira, assim $n=8$.

Resultado da somatória primeira e segunda amostra (ordem crescente)								
Prisma	Fp1	Fp2	Fp3	Fp4	Fp5	Fp6	Fp7	Fp8
Resistência (MPa)	4,8	4,9	5,2	5,3	5,4	5,6	5,7	5,8

$$f_{pk,estimado} = 4,54 \text{ MPa}$$

$$\text{Desvio-padrão da amostra (} S_n) = 0,36$$

$$f_{pm} = 5,34 \text{ MPa}$$

$$f_{pk,calculado}/f_{pk,estimado} = 2,91/4,53 = 0,64$$

$$CV = 6,79\% \text{ (como a edificação tem mais de 5 pavimentos, considerar } CV=15\%)$$

Para o terceiro pavimento, conforme Quadro 26, o número de prismas seria igual a 2, porém, como no terceiro pavimento a resistência do bloco muda para $f_{bk} = 6 \text{ MPa}$, o terceiro pavimento passa a ser “primeiro lote” e devemos moldar 12 prismas, sendo 6 para ensaio e 6 para contraprova:

Resultado amostra 3 em ordem crescente (terceiro pavimento)						
Prisma	Fp1	Fp2	Fp3	Fp4	Fp5	Fp6
Resistência (MPa)	3,25	3,88	4,09	4,50	4,67	4,82

$$f_{pk,estimado} = 3,04 \text{ MPa}$$

$$\text{Desvio-padrão da amostra (} S_n) = 0,59$$

$$f_{pm} = 4,20 \text{ MPa}$$

$$f_{pk,calculado}/f_{pk,estimado} = 2,51/3,04 = 0,82$$

$$CV = 13,93\% \text{ (como a edificação tem mais de 5 pavimentos, considerar } CV=15\%)$$

Do Quadro 26 tiramos o número de prismas a serem ensaiados no quarto pavimento $n=4$.

Admitindo que foram moldados 8 prismas para o quarto pavimento e ensaiados quatro com resultados iguais a 3,15; 3,60; 4,00 e 4,10 MPa.

Adiciona-se os resultados da quarta amostra a anterior, assim $n=10$.

Resultado da somatória terceira e quarta amostras (ordem crescente)										
Prisma	Fp1	Fp2	Fp3	Fp4	Fp5	Fp6	Fp7	Fp8	Fp9	Fp10
Resistência (MPa)	3,15	3,25	3,60	3,88	4,00	4,09	4,10	4,50	4,67	4,82

$$f_{pk, estimado} = 3,02 \text{ MPa}$$

$$\text{Desvio-padrão da amostra (} S_n) = 0,53$$

$$f_{pm} = 4,01 \text{ MPa}$$

$$f_{pk, calculado}/f_{pk, estimado} = 2,11/3,02 = 0,70$$

$$CV = 14,04 \% \text{ (como a edificação tem mais de 5 pavimentos, considerar } CV=15\%)$$

Do Quadro 26 tiramos o número de prismas a serem ensaiados no quinto pavimento $n=2$. Considerando resistências obtidas nos ensaios iguais a 3,50 e 3,80 MPa, adicionam-se os resultados da quinta amostra a quarta e terceira amostras, assim $n=12$.

Resultado da somatória terceira, quarta e quinta amostras (ordem crescente)												
Prisma	Fp1	Fp2	Fp3	Fp4	Fp5	Fp6	Fp7	Fp8	Fp9	Fp10	Fp11	Fp12
Resistência (MPa)	3,15	3,25	3,50	3,60	3,80	3,88	4,00	4,09	4,10	4,50	4,67	4,82

$$f_{pk, estimado} = 3,09 \text{ MPa}$$

$$\text{Desvio-padrão da amostra (} S_n) = 0,53$$

$$f_{pm} = 3,95 \text{ MPa}$$

$$f_{pk, calculado}/f_{pk, estimado} = 1,75/3,09 = 0,57$$

$$CV = 13,46 \% \text{ (como a edificação tem mais de 5 pavimentos, considerar } CV=15\%)$$

Do Quadro 26 tiramos o número de prismas a serem ensaiados no sexto pavimento $n=2$.

Ensaier mais 2 prismas para o sexto pavimento.

TOTAL DE PRISMAS ENSAIADOS = 22
Caso fosse feito o controle padrão, o número de prismas ensaiados seria 36.

EXEMPLO 3 – Controle otimizado para conjunto de edificações iguais: 4 edifícios de 3 pavimentos

Em um conjunto de edifícios, deve-se escolher um prédio para ser controlado como isolado, podendo os demais fazerem parte de um conjunto tratado como um único prédio para fins de controle de prisma.

Considerando um conjunto de 4 edifícios de 3 pavimentos, resistências de projeto calculadas conforme Quadro 29, considerando $f_{bk} = 6$ MPa em todos os pavimentos.

Quadro 29 - f_{pk} calculado por pavimento

f_{pk} calculado (MPa)		
Pavimento 1	Pavimento 2	Pavimento 3
2,2	1,8	1,0

O primeiro edifício será eleito para ter o controle como isolado. Para o primeiro pavimento deste edifício são moldados 12 prismas, sendo 6 prismas para ensaio e 6 prismas para contraprova.

Resultado amostra 1 em ordem crescente (primeiro pavimento)						
Prisma	fp1	fp2	fp3	fp4	fp5	fp6
Resistência (MPa)	2,9	3,0	3,1	3,1	3,2	3,5

$$f_{pk, estimado} = 2,66 \text{ MPa}$$

$$\text{Desvio-padrão da amostra (} S_n) = 0,21$$

$$f_{pm} = 3,13 \text{ MPa}$$

$$f_{pk, calculado} / f_{pk, estimado} = 2,2 / 2,8 = 0,78$$

$$CV = 6,59\%$$

Do Quadro 26 tiramos o número de prismas a serem ensaiados no segundo pavimento $n=0$. Portanto, não é mais necessário ensaio de prisma neste primeiro prédio.

O segundo e terceiro edifícios serão tratados como conjunto de edifícios.

Para o primeiro andar do segundo edifício deve-se então moldar 12 prismas (6 para contra-prova).

Assumindo que essa amostra de seis exemplares resultou em:

$$f_{pk,estimado} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$\text{Desvio-padrão da amostra (} S_n) = 0,24$$

$$f_{pm} = 3,25 \text{ MPa}$$

$$f_{pk,calculado}/f_{pk,estimado} = 2,2 / 2,9 = 0,76$$

$$CV = 7,4\%$$

Do Quadro 26 tiramos o número de prismas a serem ensaiados no segundo pavimento $n=0$.

Como consequência, os demais pavimentos desse e do terceiro prédio também não precisam de ensaios de prismas adicionais.

TOTAL DE PRISMAS ENSAIADOS = 12
Caso fosse feito o controle padrão, o número de prismas ensaiados seria 72.

Atenção: De acordo com a NBR 15812-2 (ABNT, 2010), sempre que houver mudança de fornecedores ou de tipos de materiais na obra, ou ainda mudança significativa na mão de obra, deverá ser feita nova caracterização dos materiais e da alvenaria.

EXEMPLO 4 – Controle otimizado para conjunto de edificações iguais: 4 edifícios de 6 pavimentos.

Considerando um conjunto de 4 edifícios iguais de 6 pavimentos, com resistências calculadas conforme Quadro 30 e especificado $f_{bk} = 8 \text{ MPa}$ para todos os pavimentos.

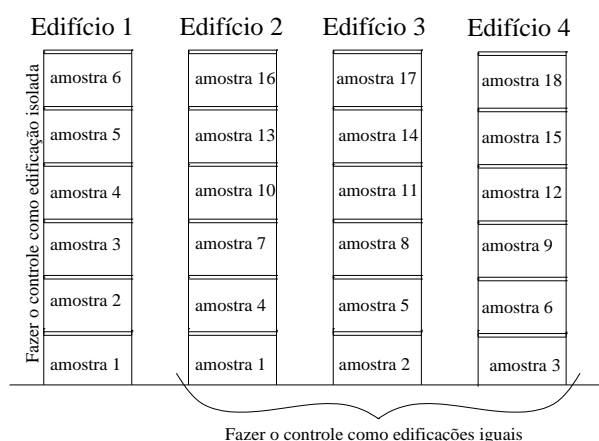
Quadro 30 - f_{pk} calculado máximo por pavimento

Grupo	Paredes	f _{pk} calculado					
		6	5	4	3	2	1
8	X29, X34, Y15	1,31	1,71	2,11	2,51	2,91	3,31

Os edifícios estão sendo construídos simultaneamente com os mesmos materiais e procedimentos. Vamos considerar o edifício 1 com o controle de edificação isolada, conforme a figura 96.

Assumindo os resultados mostrados no exemplo 1 deste capítulo, foram ensaiados 16 prismas neste prédio.

Figura 96 - Exemplo de conjunto de edificações iguais



Os edifícios 2, 3 e 4 serão tratados como um único conjunto.

Para o primeiro pavimento do edifício 2, é necessário moldar 12 prismas, sendo 6 prismas para ensaio e 6 prismas para contraprova. Considerando que seis prismas foram ensaiados com resultados anotados na tabela a seguir, tem-se:

Resultado amostra 1 em ordem crescente (primeiro pavimento do edifício2)						
Prisma	Fp1	Fp2	Fp3	Fp4	Fp5	Fp6
Resistência (MPa)	4,8	4,9	5,2	5,6	5,7	5,8

$$f_{pk, estimado} = 4,50 \text{ MPa}$$

$$\text{Desvio-padrão da amostra (} S_n) = 0,43$$

$$f_{pm} = 5,33 \text{ MPa}$$

$$f_{pk, calculado} / f_{pk, estimado} = 3,31 / 4,50 = 0,74$$

$$CV = 8,06\% \text{ (como a edificação tem mais de 5 pavimentos, considerar } CV=15\%)$$

Do Quadro 26 tiramos o número de prismas a serem ensaiados no primeiro pavimento do edifício 3, $n=2$, moldar 4 prismas e ensaiar 2. Assumindo resultados dos ensaios iguais a 5,5 e 5,8 MPa, adiciona-se os resultados da segunda amostra à primeira, assim $n= 8$.

Resultado da somatória primeira e segunda amostras (ordem crescente)								
Prisma	Fp1	Fp2	Fp3	Fp4	Fp5	Fp6	Fp7	Fp8
Resistência (MPa)	4,8	4,9	5,2	5,5	5,6	5,7	5,8	5,8

$$f_{pk,estimado} = 4,46 \text{ MPa}$$

$$\text{Desvio-padrão da amostra (} S_n) = 0,40$$

$$f_{pm} = 5,41 \text{ MPa}$$

$$f_{pk,calculado}/f_{pk,estimado} = 3,31/4,46 = 0,74$$

CV = 7,35 % (como a edificação tem mais de 5 pavimentos, considerar CV=15%)

Do Quadro 26 tiramos o número de prismas a serem ensaiados no primeiro pavimento do edifício 4, $n=2$, moldar 4 prismas e ensaiar 2.

O procedimento é então repetido a cada amostra. O Quadro 31 ilustra exemplos de resultados obtidos nos pavimentos dos edifícios 2,3 e 4.

Quadro 31 - Resultados obtidos para conjunto de edificações iguais do exemplo 4

Amostra N°	Amostra (Valores em ordem crescente)	$f_{pk,estimado}$ (MPa)	Desvio padrão da amostra (S_n)	f_{pm} (MPa)	$\frac{f_{pk,calculado}}{f_{pk,estimado}}$	CV (%)
1 primeiro pavim. edifício 2	4,8- 4,9- 5,2- 5,6- 5,7- 5,8					
Σ Resultados da primeira amostra, $n=6$	4,8- 4,9- 5,2- 5,6- 5,7- 5,8	4,50	0,43	5,33	0,74	8,06
2 primeiro pavim. edifício 3	5,5 - 5,8					
Σ Resultados da segunda amostra e anteriores, $n=8$	4,8- 4,9- 5,2- 5,5- 5,6- 5,7- 5,8- 5,8	4,46	0,40	5,41	0,74	7,35
3 primeiro pavim. edifício 4	4,8- 5,0					
Σ Resultados da terceira amostra e anteriores, $n=10$	4,8- 4,8- 4,9- 5,0- 5,2- 5,5- 5,6- 5,7- 5,8- 5,8	4,51	0,41	5,31	0,73	7,81
4 Segundo pavim. Edifício 2	5,1 - 5,2					
Σ Resultados da quarta amostra e anteriores, $n=12$	4,8- 4,8- 4,9- 5,0- 5,1- 5,2- 5,2- 5,5- 5,6- 5,7- 5,8- 5,8	4,49	0,38	5,28	0,65	7,21

5 Segundo pavim. Edifício 3	4,9- 5,0					
Σ Resultados da quinta amostra e anteriores, n= 14	4,8- 4,8- 4,9- 4,9- 5,0- 5,0- 5,1- 5,2- 5,2- 5,5- 5,6- 5,7- 5,8- 5,8	4,45	0,37	5,24	0,65	7,09
6 Segundo pavim. Edifício 4	5,1 - 5,2					
Σ Resultados da sexta amostra e anteriores, n= 16	4,8- 4,8- 4,9- 4,9- 5,0- 5,0- 5,1 -5,1-5,2- 5,2- 5,2- 5,5- 5,6- 5,7- 5,8- 5,8	4,44	0,35	5,23	0,66	6,65
7 Terceiro pavim. Edifício 2	5,6 – 5,7					
Σ resultados da sétima amostra e anteriores, n= 18	4,8- 4,8- 4,9- 4,9- 5,0- 5,0- 5,1-5,1-5,2- 5,2-5,2- 5,5- 5,6- 5,6- 5,7- 5,7- 5,8 -5,8	4,48	0,35	5,27	0,56	6,72
A PARTIR DA AMOSTRA 8, n=20, então $f_{pk} = f_{pm} - 1,65 S_n$						
8 terceiro pavimento do edif.3	4,8 – 5,2					
Σ resultados da oitava amostra e anteriores, n= 20	4,8- 4,8- 4,8- 4,9- 4,9- 5,0- 5,0- 5,1-5,1- 5,2- 5,2-5,2- 5,2- 5,5- 5,6- 5,6- 5,7- 5,7- 5,8 -5,8	4,67	0,35	5,24	0,54	6,70
9 terceiro pavimento do edif.4	5,0- 5,8					
Σ resultados da nona amostra e anteriores, n= 22	4,8- 4,8- 4,8- 4,9- 4,9- 5,0- 5,0- 5,0-5,1- 5,1-5,2- 5,2-5,2- 5,2- 5,5- 5,6- 5,6- 5,7- 5,7- 5,8 -5,8-5,8	4,67	0,36	5,26	0,54	6,83
10 quarto pavimento do edif.2	4,0 – 4,8					
Σ resultados da décima amostra e anteriores, n= 24	4,0- 4,8- 4,8- 4,8- 4,8- 4,9- 4,9- 5,0- 5,0- 5,0-5,1-5,1-5,2- 5,2-5,2- 5,2- 5,5- 5,6- 5,6- 5,7- 5,7- 5,8 -5,8-5,8	4,46	0,44	5,19	0,47	8,42
11 quarto pavimento do edif.3	3,0 – 4,8					
Σ resultados da décima primeira amostra e anteriores, n= 26	3,0- 4,0- 4,8- 4,8- 4,8- 4,8- 4,8- 4,9- 4,9- 5,0- 5,0- 5,0-5,1-5,1-5,2- 5,2-5,2- 5,2- 5,5- 5,6- 5,6- 5,7- 5,7- 5,8 -5,8-5,8	4,10	0,60	5,09	0,51	11,83
12 quarto pavimento do edif.4	3,2 – 5,8					

Σ resultados da décima segunda amostra e anteriores, n= 28	3,0- 3,2- 4,0- 4,8- 4,8- 4,8- 4,8- 4,8- 4,9- 4,9- 5,0- 5,0- 5,0-5,1-5,1-5,2- 5,2-5,2- 5,2- 5,5- 5,6- 5,6- 5,7- 5,7- 5,8 -5,8-5,8-5,8	3,89	0,70	5,05	0,54	13,80
13 quinto pavimento do edif.2	3,5 – 4,5					
Σ resultados da décima terceira amostra e anteriores, n= 30	3,0- 3,2- 3,5- 4,0- 4,5- 4,8- 4,8- 4,8- 4,8- 4,8- 4,8- 4,9- 4,9- 5,0- 5,0- 5,0-5,1-5,1-5,2- 5,2-5,2- 5,2- 5,5- 5,6- 5,6- 5,7- 5,7- 5,8 - 5,8-5,8- 5,8	3,77	0,73	4,98	0,45	14,75
14 quinto pavimento do edif.3	4,0 – 4,8					
Σ resultados da décima quarta amostra e anteriores, n= 32	3,0- 3,2- 3,5- 4,0- 4,0- 4,5- 4,8- 4,8- 4,8- 4,8- 4,8- 4,8- 4,9- 4,9- 5,0- 5,0- 5,0-5,1- 5,1-5,2- 5,2-5,2- 5,2- 5,5- 5,6- 5,6- 5,7- 5,7- 5,8 -5,7- 5,8 -5,8-5,8- 5,8	3,74	0,73	4,94	0,46	14,80
15 quinto pavimento do edif. 4	5,0 – 5,8					
Σ resultados da décima quinta amostra e anteriores, n= 34	3,0- 3,2- 3,5- 4,0- 4,0- 4,5- 4,8- 4,8- 4,8- 4,8- 4,8- 4,8- 4,9- 4,9- 5,0- 5,0- 5,0- 5,0- 5,1-5,1-5,2- 5,2-5,2- 5,2- 5,5- 5,6- 5,6- 5,7- 5,7- 5,8 -5,8-5,8- 5,8 -5,8	3,78	0,72	4,97	0,45	14,57
16 sexto pavimento do edif.2	4,0 – 5,0					
Σ resultados da décima sexta amostra e anteriores n= 36	3,0- 3,2- 3,5- 4,0- 4,0- 4,0- 4,5- 4,8- 4,8- 4,8- 4,8- 4,8- 4,8- 4,9- 4,9- 5,0- 5,0- 5,0- 5,0- 5,1-5,1-5,2- 5,2-5,2- 5,2- 5,5- 5,6- 5,6- 5,7- 5,7- 5,8 -5,8-5,8- 5,8 -5,8	3,75	0,72	4,94	0,35	14,60
17 sexto pavimento do edif.3	3,0 – 4,0					
Σ resultados da décima sétima amostra e anteriores, n= 38	3,0- 3,0- 3,2- 3,5- 4,0- 4,0- 4,0- 4,0- 4,5- 4,8- 4,8- 4,8- 4,8- 4,8- 4,8- 4,9- 4,9- 5,0- 5,0- 5,0- 5,0- 5,1-5,1-5,2- 5,2-5,2- 5,2- 5,5- 5,6- 5,6- 5,7- 5,7- 5,8 -5,8-5,8- 5,8 -5,8	3,58	0,78	4,87	0,37	16,08
18 sexto pavimento do edif.4	5,0 – 5,1					
Σ resultados da décima oitava amostra e anteriores, n= 40	3,0- 3,0- 3,2- 3,5- 4,0- 4,0- 4,0- 4,0- 4,5- 4,8- 4,8- 4,8- 4,8- 4,8- 4,8- 4,9- 4,9- 5,0- 5,0- 5,0- 5,0- 5,1-5,1- 5,1- 5,2- 5,2-5,2- 5,2- 5,5- 5,6- 5,6- 5,7- 5,7- 5,8 - 5,8-5,8- 5,8 -5,8	3,63	0,76	4,88		

TOTAL DE PRISMAS ENSAIADOS = 56

Caso fosse feito o controle padrão, o número de prismas ensaiados seria 108.

5.2 ACEITAÇÃO DA ALVENARIA DO PAVIMENTO

De acordo com a NBR 15812-2 (ABNT, 2010), no caso de obras com menor exigência estrutural, a alvenaria é aceita através da aprovação do recebimento dos blocos e dos ensaios de caracterização.

Para obras de maior exigência estrutural, em pavimentos onde os ensaios de prisma podem ser prescindidos conforme critérios apresentados anteriormente, além dos requisitos do parágrafo anterior, devem ser aprovados o controle da argamassa e graute.

Para obras de maior exigência estrutural, em pavimentos onde ensaios de prisma são necessários a resistência característica estimada de prisma seja maior ou igual à resistência especificada de projeto.

Além desses todos os requisitos de controle geométrico indicados no Quadro 32, devem ser verificados, caso os critérios não sejam atendidos, as seguintes ações corretivas devem ser adotadas:

- Revisar o projeto para determinar se a estrutura, no todo ou em parte, pode ser considerada aceita, considerando os valores obtidos nos ensaios.
- Determinar as restrições de uso da estrutura.
- Providenciar o projeto de reforço.
- Avaliar se deve ser feita demolição parcial ou total.

Quadro 32 - Variáveis de controle da produção da alvenaria, considerando juntas de 10 mm de espessura

FATOR		TOLERÂNCIA
Junta horizontal	Espessura	± 3 mm
	Nível	2 mm/m 10 mm no máximo
Junta vertical	Espessura	± 3 mm
	Alinhamento vertical	2 mm/m 10 mm no máximo
Alinhamento da parede	Vertical	± 2 mm/m ± 10 mm no máximo por piso ± 25 mm na altura total
	Horizontal	± 2 mm/m ± 10 mm no máximo
Superfície superior das paredes portantes	Variação no nível entre elementos de piso adjacentes	± 1 mm/m
	Variação no nível dentro da largura de cada bloco isoladamente	$\pm 1,5$ mm

Fonte: NBR 15812-2 (ABNT, 2010)

5.3 LIMITE PARA DESAPRUMO

De acordo com a NBR 15812-2 (ABNT, 2010), a aceitação definitiva da estrutura, após liberação de todos os controles de produção e aceitação, deve ser feita pela verificação do prumo do edifício. Será exigida uma tolerância de 2 mm/m, limitada ainda a 25 mm na altura total do edifício. No caso de desaprumo maior, devem ser adotadas as mesmas ações corretivas citadas no item 5.2.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse item serão apresentadas as considerações finais do trabalho. Para melhor compreensão optou-se por separar as considerações por subitens descritos a seguir:

6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O PROGRAMA EXPERIMENTAL DESENVOLVIDO

6.1.1 Resistência à compressão das argamassas de assentamento e grautes

O resultado de resistência à compressão da argamassa A1 (traço 1:0,5:4,5) encontrado foi de 8,5 MPa e atende a especificação da NBR 13281 (ABNT, 2005).

Quando este mesmo traço foi dosado com 10% a mais de água, houve uma perda de resistência aproximada de 7,5%. Porém, os resultados dos prismas utilizando os dois traços citados de argamassa e blocos de 8,3 MPa, grupo 5 e grupo 6, tiveram uma queda na resistência à compressão de 45% no ensaio de prisma com a porcentagem maior na relação água/cimento.

O resultado de resistência à compressão da argamassa A2 (traço 1:1:6) encontrado foi de 6,8 MPa e atende a especificação da NBR 13281 (ABNT, 2005).

Quando este mesmo traço foi dosado com 10% a mais de água, houve uma perda de 19% na sua resistência à compressão. Comparando os grupos de prismas com os mesmos traços de argamassa e blocos de 8,3 MPa, grupo 1 e grupo 3, obteve-se uma redução de 6% na resistência à compressão dos prismas com maior porcentagem de água.

Avaliando o ensaio de aderência (tração na flexão) onde no grupo PA1 foi utilizado o traço A2 padrão e no grupo PA2 foi utilizado o traço com mais água, os resultados foram muito próximos, indicando pouca interferência na resistência de aderência. Observando o ensaio de aderência (tração na flexão) do grupo PA5 onde se usou a argamassa industrializada de 4,4 MPa, o resultado de 0,14 MPa, está aquém do mínimo esperado que é de 0,2 MPa.

Nesta bateria de ensaios, o procedimento de molhar levemente os blocos com brocha não aumentou a resistência de aderência quando em comparação com o grupo de mesmas características que não foi molhado.

Em comparação com outros estudos o resultado da resistência à compressão dos grautes pode ser considerado baixo.

A resistência do graute tipo G1 esperada era de 12,9 MPa, foi encontrado no ensaio o resultado de 10,8 MPa.

A resistência do graute G2 esperada era de 19 MPa, foi encontrado no ensaio o resultado de 11,4 MPa.

A resistência à compressão do graute industrializado encontrada de 18,7 MPa, está próximo do informado na embalagem, que é de 20 MPa.

Um dos motivos já citados anteriormente para esta baixa resistência é a granulometria da areia que poderá ter influenciado de forma negativa na resistência à compressão dos grautes.

6.1.2 Fatores de eficiência

Os fatores de eficiência, médios, encontrados nesta bateria de ensaios para os blocos cerâmicos estudados são:

Eficiência prisma oco/bloco - 44%.

Eficiência Prisma grauteado/ bloco - 56%

Eficiência parede oca/ prisma oco – 67%

Eficiência parede grauteada/ prisma grauteado – 71,5%

Eficiência parede oca/ bloco – 28%

Eficiência parede cheia/ bloco – 42%

Observando o resultado de resistência dos prismas e paredes dos grupos grauteados com o graute tipo G1, no caso dos prismas o grupo 12, e no caso das paredes o grupo 4, a eficiência prisma grauteado/bloco foi de 67% e a eficiência parede bloco foi de 42%. Os valores encontrados por outros autores e também a média dos resultados dos fatores de eficiência do fabricante Selecta são de 80% para a eficiência prisma/bloco para os prismas com grautes nos dois furos.

Desta forma, pode-se concluir que a baixa resistência do graute interferiu negativamente na resistência dos prismas.

Observando o resultado de resistência dos prismas dos grupos grauteados com o graute tipo G2, no caso o grupo de prismas 14. A eficiência prisma grauteado/bloco encontrada foi de 53%. Também neste caso, a baixa resistência do graute pode ter influenciado negativamente na resistência do prisma.

Observando o resultado de resistência dos prismas dos grupos grauteados com o graute tipo industrializado, grupo de prismas 17, o resultado da eficiência prisma grauteado/ bloco foi de 48%. Neste caso a eficiência continua abaixo do esperado, mesmo com a resistência do graute estando de acordo com o previsto.

6.1.3 Re-adensamento do graute

Nesta pesquisa o re-adensamento mostrou-se eficiente para diminuir a retração do graute. Pode se observar a diminuição do número de corpos-de-prova sem a trinca na interface graute/bloco, indicando que é um procedimento adequado.

Porém, a experiência com a realização do re-adensamento do graute não se mostrou muito produtiva. Quando tentou-se fazer o re-adensamento após quinze minutos do grauteamento, não houve possibilidade devido ao já endurecimento do graute. Com cinco minutos foi possível se fazer o re-adensamento, mas, este prazo é considerado muito curto para a obra, é como se fosse feito o re-adensamento imediatamente após a colocação do graute e o primeiro adensamento.

6.1.4 Fatores de eficiência dos prismas re-adensados

Na comparação dos grupos 11 e 12, os prismas re-adensados tiveram desempenho 13% maior que os prismas moldados normalmente.

Comparando os grupos 14 e 15 o desempenho do grupo moldado normalmente foi superior em 11% ao grupo onde se fez o re-adensamento.

Devido aos resultados contrários, esta pesquisa não consegue esclarecer se há realmente um aumento na eficiência (prisma/bloco) devido ao re-adensamento.

Com todos os resultados muito próximos, pode se entender que o re-adensamento pouco interferiu na resistência à compressão dos prismas estudados.

6.1.5 Substituição do graute pela argamassa de assentamento

Avaliando a substituição do graute convencional pela argamassa de assentamento conforme sugerido por Biggs (2005) e também na NBR 15812-2 (ABNT, 2010), de acordo com os resultados do programa experimental, quando os grautes e argamassas usados para enchimentos possuem resistências próximas, os fatores de eficiência encontrados foram muito próximos, indicando que a argamassa poderá proporcionar o mesmo desempenho que o graute convencional em relação a resistência à compressão.

Observando os resultados dos prismas do grupo 2 (4,56 MPa) onde foi usada argamassa de assentamento A2 em substituição ao graute e o resultado do grupo 12 (5,25 MPa) onde foi usado o graute G1, a eficiência prisma cheio/bloco do grupo 2 foi de 55% e a eficiência prisma cheio/bloco do grupo 12 foi de 63%. Desta forma, encontrou-se uma redução de 15% na resistência à compressão dos prismas com argamassa em comparação aos prismas com graute convencional.

Quando se compara os prismas do grupo 2 e grupo 12 com os prismas do grupo 4, onde foi utilizada a argamassa A1, mais resistente em substituição ao graute, a eficiência prisma cheio/bloco passa a ser de 61%.

Pelos resultados apresentados, avaliando a resistência à compressão, pode-se concluir que é possível a substituição do graute convencional por argamassa de assentamento, nos pontos a grautear que não forem utilizados aço. Porém, deve ser avaliado o traço adequado de argamassa que em conjunto com o bloco, proporcionará a mesma resistência de prisma especificada utilizando-se o graute convencional.

No ensaio realizado, quando a mesma argamassa utilizada no assentamento dos blocos foi utilizada para preencher o furo, o resultado da resistência foi ligeiramente menor que no grupo onde se utilizou o graute G1. Nos corpos-de-prova onde se utilizou uma argamassa mais resistente, a eficiência foi muito próxima daqueles onde se utilizou o graute G1. Porém é importante notar que já se

identificou baixas resistências do graute e conseqüentemente baixas eficiências prisma cheio/bloco nesta pesquisa. Devido a este fato as diferenças podem aumentar significativamente, obrigando a uma análise mais elaborada do traço de argamassa adequado para esta substituição.

6.2 EXECUÇÃO DA ALVENARIA ESTRUTURAL DE ACORDO COM A NBR 15812-2

O fato de existir uma norma nacional de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos balizando sua execução, de maneira geral, já irá contribuir para a melhoria no desenvolvimento do sistema, visto que os profissionais de cálculo e execução terão mais embasamento teórico.

O roteiro apresentado poderá contribuir de maneira a simplificar o entendimento da norma e despertar o interesse para que outros profissionais detalhem os procedimentos executivos comprovadamente de bons desempenhos, enriquecendo ainda mais o conhecimento do assunto.

6.3 CONTROLE DE EXECUÇÃO DA ALVENARIA ESTRUTURAL DE ACORDO COM A NBR 15812-2

O controle da forma citada mostrou-se eficiente e econômico, visto que o número de ensaios de prismas serão bastante reduzidos ou até mesmo inexistentes nas obras de menor responsabilidade estrutural.

Nas obras de maior responsabilidade estrutural, a opção pela forma de controle otimizado poderá reduzir o número de ensaios de prismas a serem moldados e ensaiados.

As obras que mantiverem um padrão de qualidade no recebimento dos insumos, na capacitação da mão-de-obra e nos procedimentos de execução terão menos variações nos resultados obtidos nos ensaios de um determinado pavimento, conseqüentemente, menores serão os números de ensaios exigidos nos pavimentos subseqüentes.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 144**: Standard specification for aggregate for masonry mortar. Pennsylvania, 1999.

_____. **ASTM C 404**: Standard specification for Aggregates for Masonry Grout. Pennsylvania, 2007.

_____. **ASTM C 270**: Standard specification for mortar for unit masonry. Pennsylvania, 1997.

_____. **ASTM C 476**: Standard specification for Grout for Masonry. Pennsylvania, 2010.

_____. **ASTM E 518**: Standard Test Methods for Flexural Bond Strength of Masonry. [S.l.], 2000.

_____. **ASTM C 133**: Standard Test Method to Determine Cold Crushing Strength and Modulus of Rupture. Pennsylvania, 2008.

_____. **ASTM C 803**: Standard Test Method Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete. Pennsylvania, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 15812-1**: Alvenaria estrutural- Blocos cerâmicos Parte 1: Projetos. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 15812-2**: Alvenaria estrutural- Blocos cerâmicos Parte2: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 13277**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência a compressão. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo de mistura e determinação do índice de consistência. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

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

_____. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15270-2**: Componentes cerâmicos Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15270-3**: Componentes cerâmicos Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e vedação – Métodos de ensaio-. Rio de Janeiro, 2005.

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

_____. **NBR 8949**: Paredes de alvenaria estrutural - Ensaio à compressão simples. Rio de Janeiro, 1985.

BIGGS, D. T. Grouting masonry using Portland cement-lime mortars. In: INTERNATIONAL BUILDING LIME SYMPOSIUM, 2005. Orlando, Florida. 2005. p. 1-16.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BSI-5628**: Structural use of unreinforced masonry. London, Part 1, 1992.

CARVALHO, J. M.; CESAR, C. G.; ROMAN, H. R. Influência da geometria de blocos cerâmicos no desempenho estrutural de prismas moldados com diferentes traços de argamassa e espessuras de juntas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2006, Florianópolis. Florianópolis: ANTAC, 2006.

CAVALHEIRO, O. P.; GOMES, N. S. Alvenaria estrutural de blocos vazados: resultados de ensaios de elementos e redutores de resistência à compressão. In: JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 30., 2002, Brasília. **Anais...** Brasília: UnB/ASAE, 2002.

CAVALHEIRO, O. P.; ROMAN, H. R.; SINHA, B. P.; PEDRESCHI, R. F. Curso internacional de alvenaria estrutural. [S.l.]: Universidade Federal de Santa Maria, 1997. 145 p.

CORRÊA, M. R. S.; RAMALHO, M. A. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2003.

DRYSDALE, R. G.; HAMID, A. A.; BAKER, L. R. **Masonry structures - behavior and design**. 2nd ed. Boulder: The Masonry Society, 1999.

DUARTE, R. B. **Recomendações para o projeto e execução de alvenaria estrutural**. Porto Alegre: Anicer, 1999.

EVANGELISTA, A. C. J. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos**. 219 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

FRANCO, L. S. **O desenvolvimento de processos construtivos em alvenaria estrutural**. Escola Politécnica da universidade de São Paulo, São Paulo, 1992. 10 p.

FUSCO, P. B.; CAMACHO, J. S. Influência do graute na resistência à compressão de prismas de blocos cerâmicos em diferentes escalas. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 5., 1994, Florianópolis. **Proceedings...** Florianópolis: UFSC, 1994.

GOMES, N. S. **A resistência das paredes de alvenaria**. 190 f. Dissertação (Mestrado)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1983.

GROHMANN; L. Z. **Análise de prismas grauteados de alvenaria estrutural cerâmica**. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

HAN, K. M.; KISHITANI, K. A study on the bond strength of brick masonry mortars. **Journal of the faculty of engineering**, Tóquio, v. 37, n. 4, p. 757-798, 1984.

MELO, M. **Catálogo técnico Selecta blocos**. Itu: [s.n.], 2008.

MENDES, R. J. K.; ROMAN, H. R. Resistência à compressão de prismas de blocos cerâmicos Estruturais. In: QUALIDADE NO PROCESSO CONSTRUTIVO: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: NPC/UFSC, 1998.

MOHAMAD, G; LOURENÇO, P. B.; CAMÕES, A.; ROMAN, H. R. Estudo de caracterização mecânica das argamassas de assentamento para alvenaria estrutural. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 7., 2007, Recife. Recife: [s.n.], 2009.

NASSR, A. A.; EI-DAKHAKHNI, W. W.; SHEDID, M.T. Non-destructive evaluation of ungrouted cells in concrete block walls. In: CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM, 11., 2009, Toronto, Ontario. Toronto: [s.n.], 2009.

NATIONAL CONCRETE MASONRY ASSOCIATION. **TEK 3-2 A**: Grouting concrete masonry walls. [S. I.], 2005.

_____. **TEK 9-2B**: Self Consolidating grout for concrete. [S. I.], 2007.

NIQUES, G.; CARVALHO, J. M.; GLEIZE, P. J. P.; ROMAN, H. R. Avaliação da influência de argamassa de assentamento com fibras na resistência à compressão da alvenaria com bloco cerâmico estrutural. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIAS, 5., 2003, São Paulo. São Paulo: [s.n.], 2003.

PANARESE, W. C; KOSMATKA, S. H.; RANDALL JR, F. A.. **Concrete Masonry Handbook for Architects, Engineers, Builders**. 5th ed. Skokie, Illinois: Portland Cement Association, c1991.

PARSEKIAN, G. A.; **Curso de atualização**: Cálculo de alvenaria estrutural em blocos cerâmicos. Campinas: [s.n.], 2010.

PRUDENCIO JR.; L. R.; OLIVEIRA, A. L.; BEDIN, C. A. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Florianópolis: [s.n.], 2002.

SABBATINI, F. H. Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente. **Boletim técnico**, São Paulo, 26 p., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1986.

SANCHES, E. **Alvenaria estrutural, novas tendências e técnicas de mercado.** Rio de Janeiro: Interciência, 2002.

SANTOS, M. D. F dos. **Técnicas construtivas em alvenaria estrutural: contribuição ao uso.** 1998. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SANTOS , M. J. F dos. **Análise da resistência de prismas e pequenas paredes de alvenaria estrutural cerâmica para diferentes tipos de argamassas.** 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

SELECTA BLOCOS. **Catálogo de produtos.** [S.l.: s.n.], 2010.

SILVA, V. S. **Aderência de chapiscos em concretos Estruturais – melhoria da microestrutura da zona de interface pela adição da sílica da casca de arroz.** 229 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais)-Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.