

Larissa de Almeida Miranda

**Estudo do efeito do não preenchimento das juntas
verticais e eficiência do graute na resistência da alvenaria
estrutural de blocos cerâmicos**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Engenharia de Estruturas.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Roberto Silva Corrêa

VERSÃO CORRIGIDA

A versão original encontra-se na Escola de Engenharia de São Carlos

São Carlos
2012

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

M671e Miranda, Larissa de Almeida
 Estudo do efeito do não preenchimento das juntas
verticais e eficiência do graute na resistência da
alvenaria estrutural de blocos cerâmicos. / Larissa de
Almeida Miranda; orientador Márcio Roberto Silva Corrêa.
São Carlos, 2012.

Dissertação - Mestrado (Programa de Pós-Graduação e
Área de Concentração em Engenharia de Estruturas)--
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São
Paulo, 2012.

1. Alvenaria estrutural. 2. Bloco cerâmico. 3. Junta
vertical não preenchida. 4. Grauteamento. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenheira **LARISSA DE ALMEIDA MIRANDA**.

Título da dissertação: "Estudo do efeito do não preenchimento das juntas verticais e eficiência do graute na resistência da alvenaria estrutural de blocos cerâmicos".

Data da defesa: 31/10/2012

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Associado **Márcio Roberto Silva Corrêa (Orientador)** APROVADA
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Prof. Dr. **Vladimir Guilherme Haach**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADA

Prof. Dr. **Guilherme Aris Parsekian**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

APROVADA

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Engenharia de Estruturas):

Profa. Associada **Ana Lucia Homce de Cresce El Debs**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Titular **Denis Vinicius Coury**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, por tudo que sou e tenho.

Agradeço aos meus pais, Kátia e Luiz pelo apoio incondicional em tudo que faço em minha vida, pela força e confiança. Agradeço à minha irmã Camila pela amizade e carinho em todos os momentos.

Agradeço ao Eduardo pelo carinho, confiança e força dedicados a mim, sua presença em minha vida foi fundamental na conclusão deste trabalho.

Agradeço ao meu amigo Rodrigo Miranda que não deixou a distância atrapalhar a amizade, sempre presente em todos os momentos disposto a me ajudar.

Agradeço ao professor Márcio Corrêa pela orientação dada para desenvolver o trabalho.

Agradeço ao professor Vladimir que prontamente colaborou para o desenvolvimento deste trabalho compartilhando suas experiências.

Agradeço aos meus colegas de classe que tornaram muito mais agradável o período que estive em São Carlos: Aduari (amigo de longa data), Alessandra, Alexandre, Arnaldo, Danieli, David, Enio, Fábio, Gisele (amiga de longas conversas), Olívia, Patrícia, Vinícius e Wagner.

Agradeço às minhas companheiras de trabalho, Marcela, Orieta e Indara que foram fundamentais no meu processo de aprendizado compartilhando comigo todas as suas experiências.

Agradeço aos profissionais do Laboratório de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos que colaboraram com os experimentos realizados no trabalho.

Agradeço à CAPES pela bolsa concedida.

Agradeço à Cerâmica CITY pela doação dos blocos utilizados em todo o trabalho.

Agradeço à Universidade Federal de Viçosa, em especial à professora Rita de Cássia, que me proporcionou toda a base acadêmica e motivação necessária para que eu seguisse essa área.

Agradeço à todos os meus colegas de trabalho de Piracicaba. Principalmente ao Rafael pela paciência e ensinamentos, fundamentais para o início da minha carreira profissional. Ao Michel por sempre estar disposto a me auxiliar, compartilhando suas experiências no trabalho. E à Andrea, que além de compartilhar comigo toda a sua experiência, fundamental também no meu aprendizado profissional, sua confiança e carinho foram essenciais em minha vida.

*“Não se pode ensinar coisa alguma a alguém;
pode-se apenas auxiliá-la a descobrir por si mesmo.”*

Galileu Galilei

RESUMO

MIRANDA, L. A. **Estudo do efeito do não preenchimento das juntas verticais e eficiência do graute na resistência da alvenaria estrutural de blocos cerâmicos.** 2012. 206p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

No contexto do crescimento do processo construtivo em alvenaria estrutural, destaca-se o uso do bloco cerâmico consolidado com a criação de sua norma específica de projeto, execução e controle de obras, a NBR 15812, partes 1 e 2 (ABNT, 2010). Desde a difusão da alvenaria estrutural, mudanças nas técnicas construtivas vêm ocorrendo, como por exemplo, o não preenchimento das juntas verticais de assentamento dos blocos. Outra prática que tem sido utilizada é o grauteamento da alvenaria. No entanto, ainda não está estabelecido se o não preenchimento da junta vertical compromete o desempenho da alvenaria ou qual a resistência necessária ao graute para aumentar a resistência da alvenaria. Diante disto, o trabalho objetiva contribuir com o estudo do não preenchimento das juntas verticais avaliando o seu efeito na resistência à compressão e ao cisalhamento de pequenas paredes e também pesquisar a influência do graute em prismas e pequenas paredes submetidos à compressão. Com as análises dos resultados pode-se concluir que o não preenchimento das juntas verticais não exerceu influência nos valores de resistência à compressão e também nos módulos de elasticidade longitudinal das pequenas paredes ensaiadas. No entanto, influenciou significativamente os resultados do ensaio de compressão diagonal para avaliar a resistência ao cisalhamento, apesar do módulo de deformação transversal ter sido considerado equivalente. Os resultados do estudo preliminar em prismas mostraram que a média da resistência à compressão em relação à área bruta do prisma grauteado, utilizando o Graute A e o Graute C, foi equivalente à média do prisma oco. Assim, foi escolhido o Graute A para a confecção de pequenas paredes e prismas. Pode-se concluir com os resultados das pequenas paredes grauteadas que houve um aumento significativo da resistência à compressão em relação à área bruta, mas em relação à área líquida, os valores encontrados foram equivalentes às pequenas paredes ocas. Portanto o aumento na resistência à compressão na pequena parede foi proporcional ao ganho de área dado pelo grauteamento de seus vazios, diferentemente do comportamento observado nos prismas.

Palavras-chave: Alvenaria estrutural, bloco cerâmico, junta vertical não preenchida, grauteamento.

ABSTRACT

MIRANDA, L. A. **Study of the effect of unfilled vertical joints and efficiency of grout in the strength of structural masonry of clay bricks.** 2012. 198p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

In the context of growth of structural masonry construction process, it highlight the use of the ceramic block consolidated with the creation of its specific standard of design, execution and control, the NBR 15812, Parts 1 and 2 (ABNT, 2010). Since the propagation of structural masonry, changes have occurred in the construction techniques, such as don't fill the vertical joints of the masonry wall. Another technique that has been used is the grouted masonry. However, it is not yet established if the unfilled vertical joints compromise the performance of masonry or which strength is necessary to the grout to increase the strength of the masonry. Therewith, the paper aims to contribute to the study of unfilled vertical joints by analyzing its effect on compressive strength and shear strength of small walls and also investigate the influence of grout in prisms and small walls under compression. With the analysis of the results we can conclude that do not fill the vertical joints had no influence on the values of compressive strength and elastic modulus of the small walls tested. However, it significantly affects the results of the diagonal compression test to evaluate shear strength, despite the shear elastic modulus being considered equivalent. The results of the preliminary study in prisms showed that the average of the compressive strength in relation to the gross area of the grouted prism using the Grout A and the Grout C were equivalent to the average of hollow prism. Thus, small walls and prisms with the Grout A were made. It can be concluded with the results of grouted small walls that there was a significant increase in compressive strength with respect to the gross area, but in relation to the net area, were similar to the hollow small wall. Therefore the increase in the compressive strength in a small wall is proportional to the gain of the area given by the grout, unlike the behavior observed in the prisms.

Keywords: Structural masonry, clay brick, unfilled vertical joints, grouted masonry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Métodos de ensaios para avaliar a resistência ao cisalhamento.....	26
Figura 2.1	Bloco cerâmico estrutural de paredes vazadas.....	29
Figura 2.2	Bloco cerâmico estrutural com paredes maciças.....	29
Figura 2.3	Bloco cerâmico estrutural perfurado.....	30
Figura 2.4	Planta do bloco estrutural de paredes vazadas.....	32
Figura 2.5	Planta do bloco estrutural vazado com paredes maciças.....	32
Figura 2.6	Critério de ruptura na junta.....	38
Figura 2.7	Tripleta mostrando a ordem da colocação dos blocos e as juntas na moldagem.....	42
Figura 2.8	Geometria dos corpos de prova.....	43
Figura 2.9	Métodos de ensaio.....	48
Figura 2.10	Projeto de experimentos para avaliar a resistência ao cisalhamento em pequenas paredes.....	49
Figura 2.11	Projeto de experimentos para avaliar a resistência ao cisalhamento em paredes.....	50
Figura 2.12	Elevação e planta das estruturas estudadas.....	52
Figura 2.13	Situações da superfície da alvenaria com graute preenchido.....	59
Figura 2.14	Esquema da área grauteada da primeira e segunda etapa.....	60
Figura 2.15	Gráfico tensão x deformação típicos – Argamassas e Grautes.....	62
Figura 2.16	Gráfico tensão x deformação típicos – Prismas com argamassa (1:0,25:3)	64
Figura 2.17	Gráfico tensão x deformação típicos – Prismas com argamassa (1:1:6)....	64
Figura 2.18	Modelos de prismas utilizados.....	65
Figura 2.19	Seção transversal dos prismas, com representação dos vazados grauteados.....	66
Figura 2.20	Modelos de prismas com diferentes porcentagens de grauteamento.....	68
Figura 3.1	Esquema da pequena parede construída conforme a 1ª série.....	78
Figura 3.2	Esquema da pequena parede construída conforme a 2ª série.....	78
Figura 3.3	Esquema da pequena parede construída conforme a 3ª série.....	79
Figura 3.4	Esquema da pequena parede construída conforme a 4ª série.....	79
Figura 3.5	Esquema da pequena parede construída conforme a 5ª série.....	80
Figura 3.6	Esquema do prisma construído para as 1ª e 2ª séries.....	80
Figura 3.7	Esquema do prisma construído para a 3ª série.....	81

Figura 3.8	Esquema com o número de corpos de prova das séries de compressão.....	82
Figura 3.9	Esquema com o número de corpos de prova das séries de cisalhamento...	82
Figura 3.10	Armazenamento do lote dos blocos.....	83
Figura 3.11	Determinação das dimensões do bloco: (a) largura, (b) altura e (c) comprimento.....	85
Figura 3.12	Determinação das espessuras: (a) septos e (b) paredes externas.....	86
Figura 3.13	Determinação: (a) desvio em relação ao esquadro e (b) planeza das faces.	88
Figura 3.14	Determinação da massa aparente (m_a) do bloco.....	89
Figura 3.15	Determinação da massa saturada (m_u) do bloco.....	90
Figura 3.16	Bloco seco em estufa e determinação de sua massa seca.....	92
Figura 3.17	Bloco submerso em água para determinação da massa úmida (m_u).....	92
Figura 3.18	Ensaio de determinação do AAI – índice de absorção inicial.....	94
Figura 3.19	Instrumentação utilizada no bloco inteiro e no meio bloco.....	95
Figura 3.20	Regularização da superfície do bloco através de uma retífica.....	96
Figura 3.21	Ruptura típica do bloco cerâmico submetido ao ensaio de resistência à compressão.....	98
Figura 3.22	Determinação do teor de umidade da areia com o Frasco de Chapman....	99
Figura 3.23	Procedimento de preparo da argamassa.....	100
Figura 3.24	Ensaio do corpo de prova de argamassa.....	100
Figura 3.25	Ensaio de determinação do índice de consistência da argamassa.....	102
Figura 3.26	Preparo do graute.....	103
Figura 3.27	Ensaio de consistência do graute – NBR NM 67 (ABNT, 1998).....	103
Figura 3.28	Instrumentação do corpo de prova de graute no ensaio de resistência à compressão.....	104
Figura 3.29	Moldagem e extração dos corpos de prova de graute prismático.....	105
Figura 3.30	Ensaio de resistência à compressão de corpos de prova prismáticos de graute.....	105
Figura 3.31	Determinação da massa específica por meio do frasco de Le Chatelier....	106
Figura 3.32	Determinação da massa unitária no estado compactado seco.....	107
Figura 3.33	Curva granulométrica da areia.....	108
Figura 3.34	Curva granulométrica da brita.....	109
Figura 3.35	Procedimento de execução das paredes.....	111
Figura 3.36	Cuidados e verificações na execução dos prismas.....	111
Figura 3.37	Execução das pequenas paredes da 3ª série utilizando isopor.....	112
Figura 3.38	Detalhe do uso do forro no contato entre a parede e o suporte metálico....	113

Figura 3.39	Detalhe do grauteamento do bloco em uma parede ensaiada.....	113
Figura 3.40	Detalhe com as juntas verticais que foram preenchidas.....	114
Figura 3.41	Instrumentação do prisma.....	115
Figura 3.42	Esquema de instrumentação para o ensaio de resistência à compressão.....	116
Figura 3.43	Esquema de instrumentação para o ensaio de resistência ao cisalhamento	117
Figura 4.1	Modo de ruptura dos prismas das 1 ^a , 2 ^a e 3 ^a séries.....	121
Figura 4.2	Fator de eficiência prisma/bloco das 1 ^a , 2 ^a e 3 ^a séries – resistência à compressão média.....	122
Figura 4.3	Fator de eficiência prisma/bloco das 1 ^a , 2 ^a e 3 ^a séries – resistência à compressão característica.....	123
Figura 4.4	Resistência à compressão média – área bruta.....	124
Figura 4.5	Resistência à compressão média – área líquida.....	125
Figura 4.6	Gráfico tensão <i>versus</i> deformação dos CP's das 1 ^a e 2 ^a séries.....	127
Figura 4.7	Modo de ruptura das pequenas paredes da 1 ^a série.....	128
Figura 4.8	Modo de ruptura das pequenas paredes da 2 ^a série.....	129
Figura 4.9	Fator de eficiência pequena parede/prisma das 1 ^a e 2 ^a séries – resistência à compressão média.....	130
Figura 4.10	Fator de eficiência pequena parede/prisma das 1 ^a e 2 ^a séries – resistência à compressão característica.....	130
Figura 4.11	Resistência média à compressão das 1 ^a e 3 ^a séries – área bruta.....	132
Figura 4.12	Resistência média à compressão das 1 ^a e 3 ^a séries – área líquida.....	133
Figura 4.13	Gráfico tensão <i>versus</i> deformação dos CP's das 1 ^a e 3 ^a séries.....	134
Figura 4.14	Modo de ruptura das pequenas paredes da 3 ^a série.....	135
Figura 4.15	Fator de eficiência pequena parede/prisma das 1 ^a e 3 ^a séries – resistência à compressão média.....	136
Figura 4.16	Fator de eficiência pequena parede/prisma das 1 ^a e 3 ^a séries – resistência à compressão característica.....	136
Figura 4.17	Gráfico tensão cisalhante <i>versus</i> distorção das pequenas paredes das 4 ^a e 5 ^a séries.....	139
Figura 4.18	Ruptura da pequena parede da 4 ^a série.....	140
Figura 4.19	Ruptura da pequena parede da 5 ^a série.....	140
Figura A.1	Assentamento dos prismas: (a) prisma oco e (b) prisma grauteado.....	154
Figura A.2	Resistência média à compressão (MPa) – graute A e graute C.....	158
Figura A.3	Resistência média à compressão (MPa) – prismas grauteados (graute A e graute C).....	158
Figura A.4	Resistência média à compressão (MPa) – prismas ocos com argamassamento na lateral (14 e 28 dias) e prismas grauteados (grauteA)	159

Figura A.5	Resistência média à compressão (MPa) – prismas ocos com argamassamento total (14 e 28 dias) e prismas grauteados (graute A).....	159
Figura A.6	Resistência média à compressão (MPa) – prismas ocos com argamassamento na lateral (14 e 28 dias) e prismas grauteados (graute C)	160
Figura A.7	Resistência média à compressão (MPa) – prismas ocos com argamassamento total (14 e 28 dias) e prismas grauteados (graute C).....	161
Figura A.8	Ruptura típica dos prismas grauteados.....	164
Figura C.1	Gráfico tensão versus deformação dos blocos.....	173
Figura C.2	Gráfico tensão <i>versus</i> deformação dos prismas da 1ª série.....	177
Figura C.3	Gráfico tensão <i>versus</i> deformação dos prismas da 2ª série.....	181
Figura C.4	Gráfico tensão <i>versus</i> deformação dos prismas da 3ª série.....	185
Figura C.5	Gráfico tensão <i>versus</i> deformação das pequenas paredes da 1ª série.....	188
Figura C.6	Gráfico tensão <i>versus</i> deformação das pequenas paredes da 2ª série.....	190
Figura C.7	Gráfico tensão <i>versus</i> deformação das pequenas paredes da 3ª série.....	192
Figura C.8	Gráfico tensão <i>versus</i> deformação das pequenas paredes da 4ª série.....	194
Figura C.9	Gráfico tensão <i>versus</i> deformação das pequenas paredes da 5ª série.....	195

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Dimensões de fabricação de blocos cerâmicos estruturais.....	31
Tabela 2.2	Tolerâncias dimensionais individuais relacionadas à dimensão efetiva....	31
Tabela 2.3	Tolerâncias dimensionais relacionadas à média das dimensões efetivas...	31
Tabela 2.4	Tolerância dimensional.....	32
Tabela 2.5	Exigências mecânicas e reológicas para argamassa.....	34
Tabela 2.6	Argamassas e blocos usados no ensaio de <i>Bond Wrench</i> e média de resultados de resistência de aderência aos 7 dias.....	39
Tabela 2.7	Traço e resistência à compressão dos grautes.....	59
Tabela 2.8	Resumo das resistências médias à compressão axial dos prismas.....	66
Tabela 2.9	Resultados da resistência à compressão dos prismas (área bruta).....	68
Tabela 2.10	Resultados da resistência à compressão dos prismas (área líquida).....	69
Tabela 2.11	Resistência à compressão de prismas.....	71
Tabela 3.1	Número de elementos da amostra dos ensaios de caracterização.....	84
Tabela 3.2	Média de duas leituras da largura, altura e comprimento.....	84
Tabela 3.3	Leitura das espessuras dos septos.....	87
Tabela 3.4	Leitura das espessuras das paredes externas.....	87
Tabela 3.5	Leitura do desvio em relação ao esquadro e da planeza das faces.....	88
Tabela 3.6	Massa do bloco saturado, massa aparente, altura, área líquida, área bruta e relação entre áreas.....	91
Tabela 3.7	Massa do bloco saturado, massa do bloco seco e índice de absorção de água.....	93
Tabela 3.8	Massa do bloco seco (m_s), massa do bloco após o ensaio (m_1), variação de massa obtida (Δp), área líquida (A_l) e índice de absorção inicial de água (AAI).....	94
Tabela 3.9	Resistência à compressão e módulo de elasticidade do bloco inteiro – área bruta e área líquida.....	96
Tabela 3.10	Resistência à compressão e módulo de elasticidade do meio bloco – área bruta e área líquida.....	97
Tabela 3.11	Resistência à compressão da argamassa das séries de compressão.....	101
Tabela 3.12	Resistência à compressão da argamassa das séries de cisalhamento.....	101
Tabela 3.13	Resultados de carga de ruptura, tensão de ruptura e módulo de elasticidade dos corpos de prova cilíndricos.....	104
Tabela 3.14	Resultados de resistência à compressão dos corpos de prova prismáticos	106

Tabela 3.15	Valores encontrados para massa específica e massa unitária em estado compactado seco do cimento e cal.....	107
Tabela 3.16	Valores encontrados para massa específica, massa unitária em estado compactado seco, absorção, dimensão máxima característica e módulo de finura.....	108
Tabela 4.1	Resultados de caracterização dos blocos.....	119
Tabela 4.2	Resultados de caracterização da argamassa.....	120
Tabela 4.3	Resultados de caracterização do graute.....	120
Tabela 4.4	Resultados obtidos com os prismas das 1ª, 2ª e 3ª séries.....	122
Tabela 4.5	Resultados obtidos com os prismas das 1ª e 3ª séries em relação à área bruta e área líquida.....	124
Tabela 4.6	Comparação entre os resultados da presente pesquisa e do Apêndice A...	126
Tabela 4.7	Resultados obtidos com as pequenas paredes das 1ª e 2ª séries.....	126
Tabela 4.8	Resultados obtidos com as pequenas paredes das 1ª e 3ª séries.....	131
Tabela 4.9	Resultados obtidos com as pequenas paredes das 1ª e 3ª séries em relação à área bruta e área líquida.....	132
Tabela 4.10	Resultados obtidos com as pequenas paredes da 4ª série.....	137
Tabela 4.11	Resultados obtidos com as pequenas paredes da 5ª série.....	137
Tabela A.1	Resistência à compressão simples de corpos de prova de argamassa.....	155
Tabela A.2	Resistência à compressão simples de corpos de prova de Graute A.....	155
Tabela A.3	Resistência à compressão simples de corpos de prova de Graute C.....	155
Tabela A.4	Resistência à compressão dos prismas ocos assentados com argamassamento lateral, aos 7, 14 e 28 dias.....	156
Tabela A.5	Resistência à compressão dos prismas ocos assentados com argamassamento total, aos 14 e 28 dias.....	156
Tabela A.6	Resistência à compressão, aos 28 dias, de prismas grauteados – Graute A e Graute C.....	157
Tabela A.7	Resistência à compressão e módulo de elasticidade dos blocos.....	161
Tabela A.8	Cálculo do módulo de elasticidade do graute A e C a partir dos resultados de tensão.....	163
Tabela A.9	Cálculo do módulo de elasticidade do prisma oco assentado com argamassamento total – 28 dias.....	164
Tabela B.1	Resultados do ensaio de resistência à compressão em prismas da 1ª série	165
Tabela B.2	Resultados do ensaio de resistência à compressão em prismas da 2ª série	165
Tabela B.3	Resultados do ensaio de resistência à compressão em prismas da 3ª série	166
Tabela B.4	Resultados do ensaio de resistência à compressão em pequenas paredes da 1ª série.....	166

Tabela B.5	Resultados do ensaio de resistência à compressão em pequenas paredes da 2ª série.....	167
Tabela B.6	Resultados do ensaio de resistência à compressão em pequenas paredes da 3ª série.....	167
Tabela B.7	Resultados do ensaio de resistência ao cisalhamento em pequenas paredes da 4ª série.....	168
Tabela B.8	Resultados do ensaio de resistência ao cisalhamento em pequenas paredes da 5ª série.....	168
Tabela D.1	Resultados da análise estatística de resistência média à compressão dos grautes ensaiados para a empresa Cerâmica City.....	197
Tabela D.2	Resultados da análise estatística de resistência média à compressão dos prismas grauteados com o Graute A e Graute C ensaiados para a empresa Cerâmica City.....	198
Tabela D.3	Resultados da análise estatística de resistência média à compressão dos prismas assentados com argamassamento na lateral (14 dias) e grauteados com o Graute A ensaiados para a empresa Cerâmica City.....	198
Tabela D.4	Resultados da análise estatística de resistência média à compressão dos prismas assentados com argamassamento na lateral (28 dias) e grauteados com o Graute A ensaiados para a empresa Cerâmica City.....	199
Tabela D.5	Resultados da análise estatística de resistência média à compressão dos prismas assentados com argamassamento total (14 dias) e grauteados com o Graute A ensaiados para a empresa Cerâmica City.....	199
Tabela D.6	Resultados da análise estatística de resistência média à compressão dos prismas assentados com argamassamento total (28 dias) e grauteados com o Graute A ensaiados para a empresa Cerâmica City.....	200
Tabela D.7	Resultados da análise estatística de resistência média à compressão dos prismas assentados com argamassamento lateral (14 dias) e grauteados com o Graute C ensaiados para a empresa Cerâmica City.....	201
Tabela D.8	Resultados da análise estatística de resistência média à compressão dos prismas assentados com argamassamento lateral (28 dias) e grauteados com o Graute C ensaiados para a empresa Cerâmica City.....	201
Tabela D.9	Resultados da análise estatística de resistência média à compressão dos prismas assentados com argamassamento total (14 dias) e grauteados com o Graute C ensaiados para a empresa Cerâmica City.....	202
Tabela D.10	Resultados da análise estatística de resistência média à compressão dos prismas assentados com argamassamento total (28 dias) e grauteados com o Graute C ensaiados para a empresa Cerâmica City.....	202
Tabela D.11	Resultados da análise estatística de resistência à compressão de prismas das 1ª e 3ª séries.....	203
Tabela D.12	Resultados da análise estatística de resistência média à compressão das pequenas paredes das 1ª e 2ª séries.....	204
Tabela D.13	Resultados da análise estatística do módulo de elasticidade das pequenas paredes das 1ª e 2ª séries.....	204

Tabela D.14	Resultados da análise estatística de resistência média ao cisalhamento das pequenas paredes das 4ª e 5ª séries.....	205
Tabela D.15	Resultados da análise estatística do módulo de deformação transversal das pequenas paredes das 4ª e 5ª séries.....	205
Tabela D.16	Resultados da análise estatística de resistência média à compressão das pequenas paredes das 1ª e 3ª séries.....	206

LISTA DE SÍMBOLOS

Letras romanas minúsculas

d	diâmetro do misturador
$f_{b(1)}, f_{b(2)}, \dots, f_{b(i)}$	valores de resistência à compressão individual dos corpos-de-prova da amostra
$f_{bk, est}$	resistência característica estimada da amostra
f_{bm}	média das resistências obtidas no ensaio
f_{ck}	resistência característica do concreto
f_{pk}	resistência característica do prisma
i	coeficiente obtido em função do número de corpos-de-prova da amostra
m_a	massa aparente do bloco
m_s	massa do bloco seco
m_u	massa do bloco saturado
m_1	massa do bloco após o ensaio de índice de absorção inicial de água
n	quantidade de blocos da amostra

Letras romanas maiúsculas

$AA(\%)$	índice de absorção de água
AAI	índice de absorção inicial de água
A_{liq}	área líquida do bloco
E_a	módulo de elasticidade do prisma
E_c	módulo de elasticidade do concreto
H	altura do bloco

Letras gregas minúsculas

Δp	diferença de massa obtida no ensaio de índice de absorção inicial de água
γ	massa específica da água
ϕ	coeficiente no cálculo estatístico dado por uma tabela da norma de acordo com o número de corpos de prova da amostra

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	25
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS E JUSTIFICATIVA.....	25
1.2 OBJETIVO.....	27
1.2.1 OBJETIVO GERAL.....	27
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	28
1.3 HIPÓTESES.....	28
1.4 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS.....	28
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	29
2.1 DEFINIÇÃO DOS COMPONENTES DA ALVENARIA ESTRUTURAL.....	29
2.1.1 BLOCO CERÂMICO.....	29
2.1.2 ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO.....	33
2.1.3 GRAUTE.....	35
2.2 FATORES QUE AFETAM A RESISTÊNCIA DA ALVENARIA.....	37
2.2.1 INTERFACE BLOCO-ARGAMSSA.....	37
2.2.2 NÃO PREENCHIMENTO DA JUNTA VERTICAL.....	45
2.2.3 GRAUTEAMENTO DOS BLOCOS.....	57
2.3 COMENTÁRIOS DO CAPÍTULO.....	74
3 PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	77
3.1 METODOLOGIA.....	77
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS.....	83
3.2.1 BLOCOS.....	83
3.2.1.1 Propriedades Geométricas.....	84
3.2.1.2 Propriedades Físicas.....	91
3.2.1.3 Propriedades Mecânicas.....	95
3.2.2 ARGAMASSA.....	99
3.2.3 GRAUTE.....	102
3.2.4 CIMENTO E CAL.....	106

3.2.5 AREIA.....	107
3.2.6 BRITA.....	108
3.3 PROCEDIMENTOS DE EXECUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	109
3.3.1 PRISMAS E PEQUENAS PAREDES – SÉRIES DE COMPRESSÃO.....	109
3.3.2 PEQUENAS PAREDES – SÉRIES DE CISALHAMENTO.....	113
3.4 INSTRUMENTAÇÃO E PROCEDIMENTOS DE ENSAIO DOS CORPOS DE PROVA.....	114
3.4.1 PRISMAS.....	114
3.4.2 PEQUENAS PAREDES.....	115
4 RESULTADOS E ANÁLISES.....	119
4.1 INTRODUÇÃO.....	119
4.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	120
4.2.1 PRISMAS.....	120
4.2.2 PEQUENAS PAREDES.....	126
4.2.2.1 <i>Influência do não preenchimento das juntas verticais na alvenaria.....</i>	126
4.2.2.2 <i>Influência do grauteamento dos vazios da alvenaria.....</i>	131
4.3 RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO.....	137
5 CONCLUSÕES.....	143
5.1 INFLUÊNCIA DO NÃO PREENCHIMENTO DAS JUNTAS VERTICAIS.....	143
5.2 INFLUÊNCIA DO GRAUTEAMENTO DOS VAZIOS DA ALVENARIA.....	145
REFERÊNCIAS.....	147
APÊNDICE A.....	153
A.1 DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES.....	153
A.2 METODOLOGIA.....	153
A.3 RESULTADOS.....	154
A.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	157
APÊNDICE B	165
B.1 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	165

B.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO.....	168
APÊNDICE C	169
C.1 BLOCOS.....	169
C.2 PRISMAS.....	173
C.3 PEQUENAS PAREDES.....	186
APÊNDICE D	197
D.1 PRISMAS.....	197
D.2 PEQUENAS PAREDES.....	203
<i>D.2.1 EFEITO DO NÃO PREENCHIMENTO DAS JUNTAS VERTICAIS.....</i>	<i>203</i>
<i>D.2.2 EFEITO DO GRAUTEAMENTO.....</i>	<i>206</i>

1

CAPÍTULO

INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS E JUSTIFICATIVA

O processo construtivo em alvenaria estrutural tem-se consagrado no Brasil principalmente como solução para construção de habitações de interesse popular e para a classe média, uma vez que o déficit habitacional ainda é grande no país e o governo desenvolve programas de incentivo à aquisição da casa própria.

A alvenaria estrutural é uma opção interessante nesse aspecto, pois proporciona eficiência construtiva, ou seja, é uma técnica que exige menos tempo de construção, se comparada ao processo construtivo tradicional em concreto armado, apesar de demandar uma mão-de-obra mais cuidadosa. Além disto, o processo construtivo em si se torna mais econômico e, portanto, vantajoso em relação às outras práticas construtivas, principalmente para o tipo de construção em que está sendo empregada.

Nesse contexto do crescimento do processo construtivo em alvenaria estrutural, ocorreu o crescimento da utilização de blocos cerâmicos estruturais, principalmente pelo desenvolvimento e incentivos de seus fabricantes, o que ocasionou a criação da norma de projeto, execução e controle de obras de alvenaria estrutural específica para bloco cerâmico, colocada em vigor em 2010. Isso fez com que o bloco cerâmico estrutural se consolidasse como uma alternativa na construção em alvenaria estrutural.

Desde a difusão da alvenaria estrutural no país mudanças em seu processo construtivo vem ocorrendo. Dentre elas a técnica do não preenchimento da junta vertical que segundo Vilató (2004) foi introduzida no mercado por um convênio entre a USP e a construtora ENCOL, denominado EPUSP-ENCOL, no ano de 1991. Segundo o autor o objetivo dessa nova prática construtiva era minimizar problemas provenientes de movimentações inerentes à alvenaria de origem térmica e higroscópica, benefícios estes observados durante o decorrer da pesquisa. Além disto, nessa pesquisa constatou-se que o não preenchimento das juntas verticais não causava comprometimento no desempenho à compressão, mas poderia prejudicar a resistência ao cisalhamento e também à flexão, no entanto, o emprego dessa técnica estava limitada à edifícios de apenas oito pavimentos onde a resistência à compressão

é a sollicitação predominante. Com o decorrer dos anos outros pesquisadores avaliaram a influência do não preenchimento das juntas verticais na alvenaria. No entanto, as poucas pesquisas existentes sobre o assunto mostram resultados conflitantes, principalmente quando se refere ao efeito na resistência ao cisalhamento. Esta diferença encontrada nos resultados de resistência ao cisalhamento pode ser atribuída à diversidade de ensaios existentes. Como exemplo de ensaios para determinar a resistência ao cisalhamento Roman (1993) apresenta o ensaio de compressão diagonal, que consiste em aplicar a carga nas extremidades de uma pequena parede inclinada a 45° como mostrada a Figura 1.1 (a). Este é o ensaio normatizado pela ABNT para determinação da resistência ao cisalhamento no Brasil. Outro ensaio também encontrado na literatura apresentado pelo autor é o *racking test*. Este ensaio é considerado por muitos pesquisadores o mais similar ao comportamento de uma parede de alvenaria real. A Figura 1.1 (b) representa as configurações deste ensaio. Por último, o autor apresenta também o ensaio de painéis de alvenaria carregados como vigas submetidas à flexão como mostra a Figura 1.1 (c).

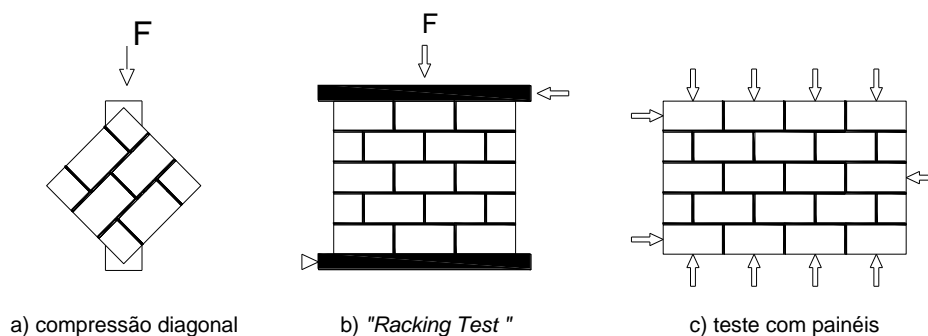


Figura 1.1 – Métodos de ensaios para avaliar a resistência ao cisalhamento
Fonte: Roman (1993)

De forma geral, os estudos mostram que a técnica do não preenchimento das juntas verticais não prejudica o desempenho à compressão da alvenaria, mas pode comprometer a resistência ao cisalhamento. No entanto, quando empregada em edifícios de poucos pavimentos esta prática pode ser utilizada e o seu principal benefício é o aumento da velocidade na construção, fator predominante para utilização dessa técnica, uma vez que o mercado exige rapidez para se obter maior lucratividade.

Outra prática construtiva adotada nas obras de alvenaria estrutural é o grauteamento dos vazios das paredes. Essa prática visa aumentar a resistência da alvenaria com a inserção de um concreto fluido, o graute, nos vazios da alvenaria mantendo os mesmos materiais,

bloco e argamassa, utilizados na obra. No entanto a resistência do graute necessária para gerar um ganho efetivo de resistência na alvenaria ainda não está bem estabelecida pelos pesquisadores, principalmente quando se trata da alvenaria de bloco cerâmico, por ser o graute um material diferente da composição do bloco.

Em geral, é de se esperar que quanto maior a resistência do graute utilizado, maior também será a resistência da alvenaria. Pesquisadores como Gomes (1983), Camacho (1995) e Garcia (2000), chegaram à conclusão de que a resistência mínima do graute deve ser a resistência do bloco em relação à sua área líquida. No entanto, pesquisadores como Mendes (1998) e Grohmann (2006) chegaram a resultados em que o graute estudado de maior resistência gerou prismas com resistências inferiores. Desta forma entende-se que não somente a resistência do graute deve ser levada em consideração, mas também outras propriedades como, por exemplo, seu módulo de elasticidade.

Portanto, é justificável uma pesquisa que colabore com o estudo dos temas apresentados, principalmente quando empregados na alvenaria de bloco cerâmico, uma vez que os estudos existentes são insuficientes para se estabelecer uma regra geral de uso tanto do não preenchimento das juntas verticais como também do grauteamento da alvenaria de bloco cerâmico. Assim, são necessárias informações adicionais que contribuam para um melhor entendimento do funcionamento estrutural da alvenaria, para que os critérios de projeto adotados segundo as novas práticas construtivas, estejam fundamentados em pesquisas científicas garantindo um dimensionamento seguro e ao mesmo tempo econômico.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo avaliar, na alvenaria estrutural de blocos cerâmicos, o efeito do não preenchimento das juntas verticais, considerando o seu desempenho à compressão e ao cisalhamento e, além disto, estudar a eficiência à compressão do preenchimento dos vazios da alvenaria com graute.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Comparar a resistência à compressão e ao cisalhamento, bem como os respectivos módulos de elasticidade, entre pequenas paredes assentadas com juntas verticais preenchidas e não preenchidas.
- b) Determinar entre dois grautes com diferentes resistências o mais eficiente para preenchimento da alvenaria.
- c) Comparar a resistência à compressão e o módulo de elasticidade de prismas e pequenas paredes grauteados e ociosos, sempre com o graute de melhor desempenho.

1.3 HIPÓTESES

O não preenchimento das juntas verticais de assentamento em paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos não exerce influência na resistência à compressão, mas prejudica o seu desempenho em relação à resistência ao cisalhamento. Com relação ao preenchimento dos vazios da alvenaria com graute, é esperado que a sua resistência à compressão aumente em relação à alvenaria não grauteada. E quanto mais resistente for o graute utilizado, é esperado um maior aumento na resistência à compressão da alvenaria.

1.4 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS

No capítulo 1 são descritas as considerações iniciais decorrentes do trabalho e a justificativa do mesmo, contextualizando o tema estudado com a prática adotada nas obras de alvenaria estrutural no país. São apresentados também os objetivos do trabalho, tanto geral como específico e a hipótese esperada na obtenção dos resultados. No capítulo 2 estão descritas as pesquisas estudadas com os resultados e conclusões obtidos pelos autores sobre os temas relacionados com o presente trabalho. No capítulo 3 o programa experimental é proposto através da metodologia utilizada para atingir os objetivos do trabalho. A caracterização dos materiais empregados na pesquisa, bem como os procedimentos de execução dos corpos de prova e a instrumentação utilizada nos mesmos, também fazem parte deste capítulo. No capítulo 4 os resultados obtidos no programa experimental são apresentados e também analisados. Por fim, no capítulo 5 são definidas as conclusões obtidas no trabalho de acordo com os objetivos específicos propostos. Recomendações para trabalhos futuros também estão relacionadas neste capítulo.

2 CAPÍTULO

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DEFINIÇÃO DOS COMPONENTES DA ALVENARIA ESTRUTURAL

2.1.1 BLOCOS CERÂMICOS

A norma brasileira NBR 15270-2 (ABNT, 2005) define bloco cerâmico estrutural como um componente da alvenaria estrutural no qual seus furos se apresentam perpendiculares à face que os contém e são assentados com estes vazios na vertical. A norma os subdivide em bloco cerâmico estrutural: de paredes vazadas, com paredes maciças e perfurado. Tanto os blocos cerâmicos estruturais de paredes vazadas como os de paredes maciças são empregados na alvenaria estrutural não armada, armada e ainda protendida. A diferença é que o primeiro apresenta todas as suas paredes vazadas, já no segundo, as paredes externas são maciças e as internas podem ser paredes maciças ou vazadas. O bloco cerâmico estrutural perfurado é empregado apenas na alvenaria estrutural não armada, pois seus vazados são distribuídos em toda a sua face de assentamento. As Figuras 2.1, 2.2, e 2.3 apresentam uma ilustração destas definições.

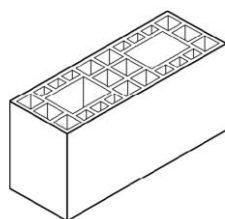
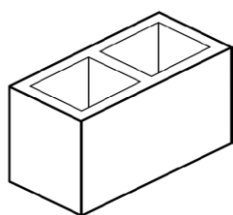
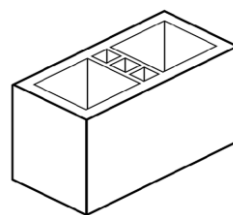


Figura 2.1 – Bloco cerâmico estrutural de paredes vazadas
Fonte: NBR 15270-2 (2005)



Com paredes internas maciças



Com paredes internas vazadas

Figura 2.2 – Bloco cerâmico estrutural com paredes maciças

Fonte: NBR 15270-2 (2005)

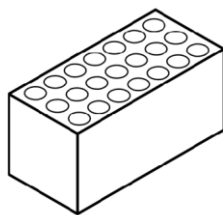


Figura 2.3 – Bloco cerâmico estrutural perfurado
Fonte: NBR 15270-2 (2005)

A NBR 15270-2 (ABNT, 2005) estabelece requisitos para a identificação dos blocos e o não atendimento destes em qualquer corpo de prova da amostragem é suficiente para a rejeição de todo o lote. Desta forma, os blocos são marcados contendo no mínimo: identificação da empresa; dimensões de fabricação na sequência: largura (L), altura (H) e comprimento (C) em centímetros (podendo ser suprimida esta unidade); as letras EST indicando que se trata de um componente estrutural e por fim indicação da rastreabilidade, que possibilita ao fabricante identificar o lote ao qual o bloco pertence. Além deste requisito de identificação, o bloco não deve apresentar defeitos como quebras, superfícies irregulares ou deformações que impeçam o seu emprego na função especificada.

A determinação das características geométricas como: dimensão efetiva, planeza das faces, desvio em relação ao esquadro, espessura dos septos e paredes externas, são obrigatórias para a avaliação de conformidade e determinam as características da parede. Assim, se a largura do bloco for menor do que o esperado, a parede também terá uma largura menor e, portanto, menos resistente do que o especificado em projeto. Da mesma forma, se as faces dos blocos não estiverem bastante planas, a parede poderá não ficar no prumo correto e ocorrerão esforços laterais devido ao desaprumo. As espessuras dos septos e paredes externas também são importantes, pois qualquer variação pode gerar perda na área efetiva do bloco e consequente perda de capacidade resistente da alvenaria.

No que se refere às características geométricas, a Tabela 2.1 apresenta as dimensões de fabricação dos blocos de acordo com sua modulação ou família ao qual ele pertence. Em seguida, as Tabelas 2.2 e 2.3 mostram os requisitos de tolerâncias dimensionais individuais e relacionados à média das dimensões dos blocos, respectivamente.

Tabela 2.1 – Dimensões de fabricação de blocos cerâmicos estruturais

DIMENSÕES L x H x C	DIMENSÕES DE FABRICAÇÃO (cm)					
	LARGURA (L)	ALTUR A (H)	COMPRIMENTO (C)			
Módulo Dimensional M= 10 cm			Bloco Principa l	½ Bloco	Amarraçã o (L)	Amarraçã o (T)
(5/4)Mx(5/4)Mx(5/2) M	11,5	11,5	24	11,5	-	36,5
(5/4)Mx(2)Mx(5/2)M		19	24	11,5	-	36,5
(5/4)M x (2)M x (3)M			29	14	26,5	41,5
(5/4)M x (2)M x (4)M			39	19	31,5	51,5
(3/2)M x (2)M x (3)M	14	19	29	14	-	44
(3/2)M x (2)M x (4)M			39	19	34	54
(2)M x (2)M x (3)M	19	19	29	14	34	49
(2)M x (2)M x (3)M			39	19	-	54

Bloco L – bloco para amarração em paredes em L.

Bloco T – bloco para amarração em paredes em T.

Fonte: NBR 15270-2 (2005)

Tabela 2.2 – Tolerâncias dimensionais individuais relacionadas à dimensão efetiva

Grandezas controladas	Tolerância (mm)
Largura (L)	± 5
Altura (H)	
Comprimento (C)	

Fonte: NBR 15270-2 (2005)

Tabela 2.3 – Tolerâncias dimensionais relacionadas à média das dimensões efetivas

Grandezas controladas	Tolerância (mm)
Largura (L)	± 3
Altura (H)	
Comprimento (C)	

Fonte: NBR 15270-2 (2005)

A Tabela 2.4 apresenta o limite de tolerância para a planeza das faces e o desvio em relação ao esquadro.

Tabela 2.4 – Tolerância dimensional

Grandezas controladas	Tolerância (mm)
Planeza das faces	≤ 3
Desvio em relação ao esquadro	

Fonte: NBR 15270-2 (2005)

A Figura 2.4 mostra as dimensões da espessura das paredes externas e dos septos, para o bloco cerâmico de paredes vazadas. A norma recomenda que a espessura mínima para os septos seja de 7 mm e para as paredes externas seja de 8 mm.

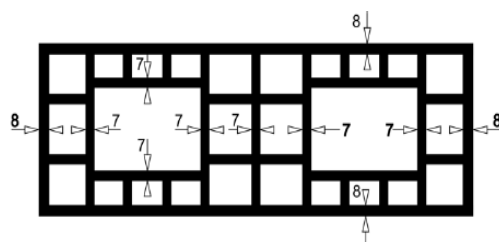


Figura 2.4 – Planta do bloco estrutural de paredes vazadas
Fonte: NBR 15270-2 (2005)

Para o bloco cerâmico de parede maciça, a norma estabelece que as dimensões mínimas das paredes sejam de 20 mm e as paredes internas podem apresentar vazados, desde que sua dimensão seja igual ou superior a 30 mm conforme ilustra a Figura 2.5. A espessura do septo deve ser no mínimo 8 mm.

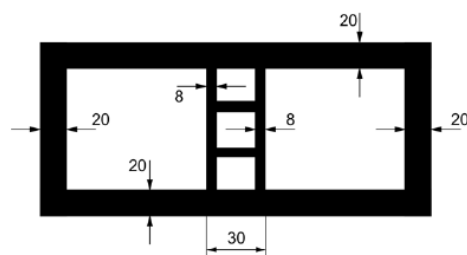


Figura 2.5 – Planta do bloco estrutural vazado com paredes maciças
Fonte: NBR 15270-2 (2005)

Para os blocos cerâmicos perfurados, a espessura mínima recomendada pela norma para as paredes e septos é de 8 mm.

No que se refere à determinação das características físicas, a NBR 15270-3 (ABNT, 2005) estabelece como obrigatório para avaliação de conformidade o índice de absorção de água do bloco. Esta é uma propriedade importante, pois blocos que apresentam baixa absorção de água são mais resistentes e duráveis. Além disto, o surgimento de patologias na

alvenaria está muito ligado a esta propriedade. Portanto, a NBR 15270-2 (ABNT, 2005) estabelece que o índice de absorção deva estar no intervalo entre 8% e 22%.

A característica mecânica de um bloco é dada pela sua resistência à compressão. Através de um cálculo estatístico apresentado na NBR 15270-2 (ABNT, 2005) com um conjunto de valores obtidos individualmente em uma amostragem, geralmente de 13 blocos, determina-se a resistência característica do bloco. Esta norma estabelece como resistência característica mínima exigida para o bloco cerâmico estrutural 3 MPa referida à área bruta.

O Anexo D da NBR 15270-3 (ABNT, 2005) estabelece diretrizes para seleção de ensaios que determinam as características especiais dos blocos cerâmicos. Dentre elas pode-se citar a absorção de água inicial. Esta propriedade determina se é necessário molhar o bloco no instante da execução, uma vez que ela mede o quanto de água o bloco absorve por capilaridade no instante em que foi molhado. O controle desta característica é importante para não prejudicar a aderência entre o bloco e a argamassa. Uma vez que a absorção inicial do bloco é elevada, em contato com a argamassa de assentamento, este rapidamente absorve parte da água que serviria para hidratação do cimento diminuindo a resistência da argamassa. Portanto, antes da execução da alvenaria é necessário molhar o bloco. Por outro lado, uma baixa absorção inicial prejudica a aderência da argamassa ou graute no bloco, já que este não absorverá por capilaridade a pasta de cimento que promove a sua aderência à argamassa ou graute. A norma recomenda que para valores de absorção de água inicial maiores que 30 g/193,55cm²/min os blocos devem ser umedecidos antes do assentamento e para valores menores os blocos podem não ser umedecidos antes de assentá-los.

Pode-se perceber que além da resistência à compressão, todas as outras propriedades dos blocos contribuem para um bom desempenho da alvenaria, sendo necessário, portanto, avaliar o lote de blocos antes do início da execução.

2.1.2 ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO

Segundo Ramalho e Corrêa (2003), a argamassa de assentamento tem como função unir os blocos, transmitir e uniformizar as tensões atuantes entre estes e absorver pequenas deformações impostas nas paredes.

Para desempenhar bem suas funções, a NBR 15812-1 (ABNT, 2010), responsável pelos requisitos de projeto para alvenaria estrutural de bloco cerâmico, estabelece que a argamassa deva atender aos requisitos estabelecidos pela NBR 13281 (ABNT, 2005). Na

Tabela 2.5 são apresentadas as exigências para a argamassa e também os métodos de ensaios para a obtenção destes parâmetros.

Tabela 2.5 – Exigências mecânicas e reológicas para argamassa

Características	Identificação	Limites	Método
Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	I	$\geq 0,1$ e $< 4,0$	NBR 13279
	II	$\geq 4,0$ e $\leq 8,0$	
	III	$> 8,0$	
Capacidade de retenção de água (%)	Normal	≥ 80 e ≤ 90	NBR 13277
	Alta	> 90	
Teor de ar incorporado (%)	a	< 8	NBR 13278
	b	≥ 8 e ≤ 18	
	c	> 18	

Fonte: NBR 13281 (2005)

A NBR 15812-1 (ABNT, 2010) estabelece que o menor valor para a resistência à compressão da argamassa deva ser 1,5 MPa e o máximo é limitado a 70% da resistência característica à compressão do bloco, referida à área líquida. A resistência à compressão da argamassa não é tão significativa na resistência à compressão final da parede. A capacidade de retenção de água é necessária quando o bloco possuir alto índice de absorção de água, pois caso a argamassa perca parte da sua água de hidratação do cimento, a sua resistência à compressão e aderência será comprometida. A cal presente na argamassa é excelente retentor de água por ter elevada superfície específica (maior que a do cimento). Segundo Parsekian e Soares (2010) as argamassas tradicionais geralmente apresentam teor de ar incorporado menor que 8%. Já as industrializadas podem apresentar valores maiores que devem ser determinados, pois valores elevados de teor de ar incorporado, além de prejudicar a aderência, podem fazer com que a argamassa perca capacidade de sustentar adequadamente o bloco.

Além disto, a argamassa deve reunir características de trabalhabilidade e capacidade de aderência. A trabalhabilidade medida em laboratório através do ensaio de índice de consistência (NBR 13276, 2005) é determinada pela experiência do pedreiro. Parsekian e Soares (2010) recomendam que os valores obtidos nesse ensaio estejam entre 255 ± 10 mm. A aderência da argamassa no bloco cerâmico é uma importante propriedade que muito influencia a resistência da alvenaria. Ocorre pela penetração da argamassa no bloco e, portanto, depende das características desses dois componentes. Devido à grande importância desta propriedade, mais adiante ela será retratada com maior riqueza de detalhes.

A espessura da junta também interfere na resistência da alvenaria, pois se a espessura é grande, o confinamento no qual a argamassa se encontra diminui; por outro lado, se a

espessura é pequena, eventualmente pode ocasionar o encontro entre blocos em pontos localizados, onde a tensão se elevaria prejudicando a resistência da parede de alvenaria. Assim, a NBR 15812-2 (ABNT, 2010) estabelece como espessura das juntas horizontais e verticais 10 mm com tolerâncias de 3 mm para mais ou para menos. Para as juntas horizontais de assentamento dos blocos da primeira fiada, a referida norma permite um mínimo de 5 mm e máximo de 20 mm.

No que se refere à produção da argamassa de assentamento, a NBR 15812-2 (ABNT, 2010) menciona que, para garantir maior homogeneidade da mistura, esta deve ser preparada com auxílio de misturador mecânico sendo vetada sua mistura manual. O tempo recomendado para este procedimento depende do eixo do misturador empregado no preparo da argamassa. Se o eixo do misturador for inclinado, horizontal ou vertical, o tempo de mistura é dado em segundos por $240\sqrt{d}$, $120\sqrt{d}$ e $60\sqrt{d}$, respectivamente, sendo “d” o diâmetro do misturador em metros. Mesmo durante o transporte, a argamassa não deve sofrer segregação e nem perda de elementos constituintes, sendo que a norma recomenda a remistura manual no local de sua aplicação. Para garantir uma apropriada uniformidade das suas características durante o seu preparo, é necessário estabelecer um limite para a dispersão avaliado pelo coeficiente de variação dos resultados obtidos de resistência à compressão axial. A norma destaca ainda que o teor de umidade e inchamento dos agregados deve ser levado em consideração na dosagem. E permite a utilização de aditivos na argamassa, desde que estes atendam às especificações de normas brasileiras ou suas propriedades sejam verificadas experimentalmente.

O tempo máximo estabelecido para a utilização da argamassa é de duas horas e meia; após este prazo, ela deve ser descartada. São necessários cuidados durante a sua armazenagem para impedir a perda de água, mas caso isto ocorra, a sua consistência pode ser ajustada com adição de água no máximo duas vezes.

2.1.3 GRAUTE

Segundo Ramalho e Corrêa (2003), o graute é um concreto fluido, com agregados de pequenas dimensões, utilizado para promover a solidarização dos blocos com as armaduras posicionadas em seus vazios. Segundo Romagna (2000), o graute pode ser classificado em dois tipos. “O graute fino, que é o graute cujo agregado possui dimensão máxima inferior ou

igual a 4,8 mm e o graute grosso, cujo agregado possui dimensão superior a 4,8 mm até 1/3 da menor dimensão dos furos a serem preenchidos.”

A NBR 15812-1 (ABNT, 2010) menciona que quando o graute é especificado, sua influência na resistência à compressão da alvenaria deve ser avaliada em laboratório através de ensaios com prismas que utilizem o mesmo graute produzido na obra.

A NBR 15812-2 (ABNT, 2010) não estabelece uma relação entre a resistência do graute com a do bloco, apenas ressalva que sua resistência seja tal que o prisma produzido com ele atinja o valor de resistência especificado pelo projetista. Esta norma faz referência às características do graute no estado fresco, pois o método de adensamento utilizado deve ser compatível para garantir o completo preenchimento dos vazios dos blocos, sem que haja sua segregação ou apresente retrações que ocasionariam seu descolamento das paredes dos blocos. Parsekian e Soares (2010) recomendam um mínimo de 15 MPa para a resistência do graute em caso de estruturas armadas, e resultados de trabalhabilidade no ensaio de abatimento de tronco de cone entre 20 e 28 cm.

A referida norma permite a utilização de aditivos, desde que estes sigam as mesmas recomendações citadas anteriormente para a argamassa. Estabelece, também, que a dosagem do graute leve em consideração a absorção dos blocos e das juntas de argamassa, pois pode ocasionar uma redução na quantidade de água. Caso seja utilizada cal na composição do graute, esta não deve superar o volume de cimento em 10%.

Obrigatoriamente produzido por um misturador mecânico com tempo de mistura seguindo as mesmas prescrições da argamassa descritas anteriormente, o graute deve ser utilizado no período de uma hora e meia após a adição de água em sua composição. Uma exceção é permitida caso contenha aditivos retardadores de pega, desde que sejam seguidas as recomendações do fabricante do aditivo. O graute deve ser transportado sem que haja segregação e perda de componente, não sendo aconselhável o uso de depósitos intermediários.

A NBR 15812-2 (ABNT, 2010) estabelece que as dimensões dos agregados presentes na composição do graute sejam inferiores a 1/3 da menor dimensão dos furos a serem preenchidos. Para blocos vazados de dimensão mínima de 50 mm, as dimensões dos agregados devem ser limitadas ao máximo de 10 mm ou 20 mm, respectivamente de acordo com o cobrimento da armadura de 15 mm ou 25 mm.

No que diz respeito à operação de grauteamento, a norma estabelece que, antes do lançamento do graute, os vazios se encontrem perfeitamente desobstruídos, ou seja, recomenda-se a limpeza das rebarbas de argamassa e devem ser umedecidos. Os postos de visita dos vazios a grautear devem ter dimensões mínimas de 1 cm de largura por 10 cm de

altura estando também cuidadosamente limpos. A altura máxima permitida para o lançamento do graute é de 1,6 m. Para os pés-direitos convencionais de 2,80 m, é necessária a concretagem em duas etapas, com a primeira camada definida pela altura das contravergas das janelas. No entanto, com a utilização adequada de aditivos que impeçam a segregação do graute e garantem sua coesão, é permitido seu lançamento a uma altura máxima de 2,8 m. À medida que o graute é lançado, este deve ser compactado com haste de comprimento que atinja o fundo do vazio a ser preenchido. A armadura presente na estrutura de alvenaria não deve ser utilizada como ferramenta de compactação, para que não seja comprometida a aderência entre o graute e armadura.

A referida norma estabelece ainda o preenchimento dos vazios após 24 horas da execução das paredes, a menos que estes sejam preenchidos com a própria argamassa de assentamento. A substituição do graute pela argamassa de assentamento utilizada na obra pode ser feita apenas nos elementos de alvenaria não armada, desde que os ensaios com os prismas preenchidos com a argamassa apresentem a resistência especificada pelo projetista.

2.2 FATORES QUE AFETAM A RESISTÊNCIA DA ALVENARIA ESTRUTURAL

2.2.1 INTERFACE BLOCO-ARGAMASSA

Além das propriedades individuais do bloco e da argamassa, a interação entre esses componentes é de fundamental importância para garantir o bom desempenho da alvenaria estrutural. Para que seja garantida uma boa resistência de aderência, as propriedades do bloco e da argamassa devem ser compatibilizadas. Assim, se o bloco apresentar um índice de absorção inicial elevado (limite já apresentado no item 2.1.1) suas faces deverão ser umedecidas no instante da execução e uma argamassa de maior capacidade de reter água será desejada, pois, caso a argamassa perca parte significativa da água de hidratação do cimento para o bloco, sua resistência à compressão será prejudicada. Por outro lado, se a sucção do bloco for baixa, ou a argamassa possuir elevado poder de retenção de água, dificultará a penetração da pasta de cimento que forma cunhas dentro dos blocos que garantem a aderência. É fundamental, portanto, buscar um equilíbrio entre as propriedades dos materiais quando forem escolhidos para o uso na alvenaria estrutural.

O mecanismo de aderência deve ser capaz de resistir tanto às tensões normais de tração como também às tensões cisalhantes impostas na estrutura. Ao longo dos anos pesquisadores foram desenvolvendo diversos ensaios para medir esta resistência de aderência.

A principal dificuldade é garantir que nos ensaios ocorra uma uniformidade de tensões aplicadas nas juntas. Dentre os ensaios utilizados para medir a resistência de aderência à tração podem ser citados o *Bond Wrench* (EN 1052-5, 2005) e o ensaio de tração na flexão (EN 1052-2, 1999). E para medir a resistência de aderência ao cisalhamento tem-se o ensaio de cisalhamento direto (EN 1052-3, 2002) e o de compressão diagonal (NBR 14321, 1999).

Para representar o comportamento das juntas de argamassa quando submetidas à compressão e ao cisalhamento, existe um consenso entre os pesquisadores que o critério de Mohr-Coulomb é o mais adequado para tensões de compressão até 2 MPa. A curva de Mohr-Coulomb pode ser obtida através do ensaio de cisalhamento direto variando-se os níveis de pré-compressão, em que a coesão é obtida quando não é aplicada a pré-compressão (τ_0) e o ângulo de atrito (μ) é o ângulo obtido através de uma aproximação linear de pontos obtidos no gráfico tensão cisalhante *versus* pré-compressão. A equação 2.1 apresenta a equação de Coulomb, em que τ_u é a tensão cisalhante e σ_c a tensão de pré-compressão.

$$\tau_u = \tau_0 + \mu\sigma_c \quad (2.1)$$

Riddington e Ghazali (1990) *apud* Holanda Júnior (2002)¹ observaram que para valores de pré-compressão maiores que 2 MPa, o aumento da pré-compressão aumenta a resistência ao cisalhamento de forma menos pronunciada. Nesse ponto a ruptura deixa de ser por cisalhamento na junta e passa a ser por tração na argamassa. E, a partir de níveis mais elevados de pré-compressão, a ruptura passa a ser por compressão da alvenaria. A Figura 2.6 mostra esse critério de ruptura na junta.

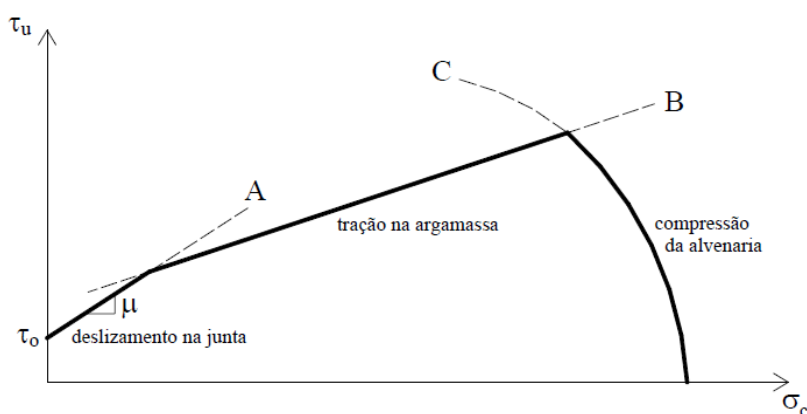


Figura 2.6 – Critério de ruptura na junta
Fonte: Holanda Júnior (2002)

¹ RIDDINGTON, J. R.; GHAZALI, M. Z. (1990). Hypothesis for shear failure in masonry joints. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, Part 2, v. 89, p. 89-102.

A fim de entender melhor o mecanismo da aderência Lawrence e Cao (1988) estudaram a microestrutura da interface bloco cerâmico e argamassa com alguns fatores que podem influenciá-la. Foi realizada, também, uma comparação entre resistência de aderência da interface através do ensaio *Bond Wrench* e a microestrutura da interface. As variáveis consideradas foram: umidade inicial do bloco, fator água/cimento, efeito da adição de cal e agentes incorporadores de ar na argamassa. Desta forma, foram ensaiados quatro misturas de argamassa e um tipo de bloco com três teores de umidade inicial. A Tabela 2.6 apresenta os resultados obtidos no ensaio *Bond Wrench* para as diferentes combinações apresentadas. Os valores se referem à média de cinco corpos de prova ensaiados aos sete dias.

Tabela 2.6 – Argamassas e blocos usados no ensaio de *Bond Wrench* e média de resultados de resistência de aderência aos 7 dias

Modelo n°	Argamassa			Umidade inicial bloco (%)	Resist. <i>Bond Wrench</i> (MPa)
	Traço(*)	a/c	Abatimento (%)		
1	1:0:6	1,01	106	6	0,78
2	1:1:6	1,17	98	6	0,56
3	1:0:6**	0,81	106	6	0,45
4	1:1:6***	1,36	108	6	0,32
5	1:0:6	1,01	106	11	0,62
6	1:1:6	1,17	98	11	0,30
7	1:0:6**	0,81	106	11	0,43
8	1:1:6***	1,36	108	11	0,25
9	1:0:6	1,01	106	14	0,29
10	1:1:6	1,17	98	14	0,29
11	1:0:6**	0,81	106	14	0,18
12	1:1:6***	1,36	108	14	0,12

(*) Cimento:Cal:Areia (em volume)

(**) com agentes incorporadores de ar 0,7% do peso do cimento

(***) com agentes incorporadores de ar 1,5% do peso do cimento

Fonte: Lawrence e Cao (1988)

Os resultados do estudo mostram que, em geral, a microestrutura da interface dos blocos mais secos (6% a 8% de umidade inicial) e argamassas tanto de cimento apenas como de cimento e cal apresentam a formação de camadas de compostos de cimento hidratados na superfície e poros dos blocos. O efeito da cal na microestrutura da superfície é facilitar a formação inicial dos compostos de cimento hidratados, aumentando a quantidade de hidróxido de cálcio na superfície, o que é vantajoso quando se espera resistência em longo prazo e durabilidade devido à carbonatação do hidróxido de cálcio. A desvantagem seria uma possível perda na resistência inicial da interface devida a um elevado teor de hidróxido de

cálcio. Com relação aos blocos com umidade mais elevada é esperada uma menor resistência na interface em relação aos blocos mais secos devido à porosidade existente nessa estrutura. Considerando a argamassa com teor de ar incorporado, é esperada menor resistência para este tipo de microestrutura, pois foi possível perceber uma quantidade de vazios na interface, que nesse caso se torna menos contínua.

Os resultados do ensaio *Bond Wrench*, com corpos de prova com sete dias de cura mostram que a resistência da interface foi menor quando os blocos tinham 14% de umidade e maior quando tinham 6% de umidade inicial. Segundo o autor, os resultados estão de acordo com pesquisadores que estudaram a influência do teor de umidade do bloco, pois afirmam que a resistência da interface aumenta com a umidade do bloco, no entanto, há um ponto ótimo a partir do qual, o aumento da umidade do bloco causa uma perda de resistência de aderência. A presença da cal na argamassa diminuiu a resistência de aderência em idades iniciais (sete dias de cura). Os autores atribuem ao aumento da relação água/cimento, para manter a consistência, como a causa provável para a perda de resistência quando a cal foi utilizada na argamassa comparando-se com a argamassa de cimento apenas. A argamassa com ar incorporado também causou uma perda na resistência, mesmo com a diminuição da relação água/cimento em comparação com a argamassa utilizando apenas cimento. E quando a argamassa era composta por ar incorporado e cal, a resistência também diminuiu, mas nesse caso foi necessária uma relação água/cimento ainda maior comparando-se com a argamassa composta apenas por cal.

Com base nos resultados da análise da microestrutura e do ensaio de resistência de aderência, o autor concluiu que a microestrutura da interface bloco argamassa é afetada pela composição da argamassa e pela umidade inicial do bloco. Blocos mais secos (com umidade em torno de 6% a 8%) fornecem valores elevados de resistência de aderência devido à formação de hidratos mais finos e menos porosidade na interface. A adição de cal apesar de melhorar a extensão da ligação, aumenta a demanda de água da argamassa. Assim, a resistência de aderência da argamassa com cal tende a ser menor, devido a esse aumento da relação água/cimento. A interface entre bloco e argamassa com ar incorporado contém um número elevado de vazios nos quais podem ter um efeito prejudicial nos resultados de resistência de aderência.

Candia (1994) avaliou a resistência de aderência ao cisalhamento através de ensaios de compressão diagonal e cisalhamento direto. No primeiro, executado de acordo com a ASTM E519 (1993), foram ensaiados três tipos de pequenas paredes com dimensões 1200 x 1200 mm, 750 x 800 mm e 600 x 600 mm. O segundo baseou-se em estudos realizados por outros

pesquisadores e consistiu em ensaios de corpos de prova do tipo tripletas (prismas moldados com três blocos).

No referido trabalho foram utilizados blocos cerâmicos de dimensões 290 x 140 x 190 mm e resistência à compressão de 17,1 MPa. Com o objetivo de avaliar a influência da argamassa, foram utilizados três tipos de argamassa denominados A, B e C, respectivamente, com traços 1:0,5:4,5; 1:1:6 e 1:2:9 (cimento:cal:areia) e resistência à compressão de 6,03 MPa, 3,26 MPa e 1,47 MPa, respectivamente.

No total foram moldadas 90 pequenas paredes e 60 tripletas. As pequenas paredes foram denominadas de P1 as de dimensões 600 x 600 mm, P2 as de dimensões 750 x 800 mm e P3 as de dimensões 1200 x 1200. Dependendo do tipo de apoio para aplicação da carga, as tripletas foram classificadas em T1 e T2. T1 se refere às tripletas apoiadas diretamente em chapas de aço, mas devido às imperfeições geométricas dos blocos, o corpo de prova não se apoiou devidamente causando concentrações de tensões e desuniformidade em sua distribuição. Desta forma o autor optou por colocar tiras de papelão sob os apoios para melhorar a distribuição dos esforços na série T2.

Com relação aos resultados obtidos referentes às propriedades dos materiais utilizados, o autor fez algumas considerações. O índice de absorção inicial de água do bloco é a característica que mais influencia a resistência de aderência. Segundo o autor, o valor obtido, 1,28 kg/m².min, se encontra um pouco abaixo do recomendável para se obterem boas resistências de aderência, entre 1,5 e 2,0 kg/m².min. A resistência à compressão do bloco não exerce grande influência na resistência de aderência ao cisalhamento, dependendo do tipo de ruptura apresentado. Para as pequenas paredes P3 ocorreu na interface bloco-argamassa, no entanto, nas do tipo P2 e P1 moldadas com argamassa A e B, a ruptura ocorreu envolvendo o bloco e também a junta de argamassa. Com relação à argamassa, o autor observou que a trabalhabilidade foi superior às de outras pesquisas. O autor explica que uma maior quantidade de água foi demandada, pois no trabalho utilizou-se binaça para espalhar a argamassa. A retenção de água e retenção de consistência foram superiores a 70%, como já encontrado por outros pesquisadores. Da mesma forma que a trabalhabilidade, à medida que a quantidade de cal na argamassa era maior, estas propriedades foram melhoradas propiciando uma maior aderência entre o bloco e a argamassa. Desta forma, a cal presente na argamassa contribuiu de forma indireta para melhorar a resistência de aderência ao cisalhamento. Quanto à resistência à compressão da argamassa, segundo o autor, várias pesquisas apontam para uma reduzida influência na resistência à compressão da alvenaria, sendo que o mesmo não pode ser dito para a resistência de aderência ao cisalhamento.

No que se refere aos resultados de corpos de prova submetidos ao cisalhamento direto, o autor fez algumas constatações. Considerando as tripletas do tipo T1 o autor observou que em 70% dos casos a ruptura ocorreu na junta 2 conforme a Figura 2.7. Isto fez com que nas tripletas do tipo T2, após o assentamento do último bloco, outro fosse colocado sobre a triplaleta para verificar a influência da pressão na junta de argamassa, durante a execução.

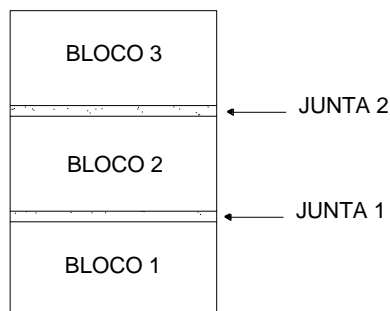


Figura 2.7 – Triplaleta mostrando a ordem da colocação dos blocos e as juntas na moldagem
Fonte: Candia (1994)

Após os ensaios, o autor observou que aproximadamente metade do número de tripletas romperam na junta 1 e outra metade na junta 2, constatando a eficiência do procedimento adotado. Os resultados de resistência de aderência ao cisalhamento das tripletas T2 foram superiores aos da T1 para todos os tipos de argamassa utilizados. Segundo o autor, possivelmente estes resultados estão ligados à incorporação das tiras de papelão nos apoios que melhoraram a distribuição de tensões ao longo da junta de argamassa. Analisando os resultados o autor constatou que o aumento na resistência da argamassa levou a um ganho na resistência de aderência ao cisalhamento. A ruptura se deu de forma frágil e repentina com o rompimento da interface bloco-argamassa.

Os resultados dos ensaios de compressão diagonal mostraram que o aumento das dimensões das pequenas paredes fez diminuir a resistência de aderência ao cisalhamento, para todos os tipos de argamassa utilizados. O autor atribui este fenômeno ao fato de que nas pequenas paredes P1 ocorre maior influência da resistência do bloco, já que a ruptura ocorreu com maior frequência no bloco nesse tipo de pequena parede do que no tipo P2. E no tipo P3 foi menor a influência do bloco, pois a ruptura sempre ocorreu nas juntas. Observou-se, também, através desse ensaio que a resistência da argamassa exerceu influência na resistência de aderência ao cisalhamento, comprovando a importância da argamassa.

Comparando-se os dois métodos estudados o autor concluiu que o ensaio de compressão diagonal forneceu valores de resistência de aderência ao cisalhamento mais

confiáveis do que o ensaio de cisalhamento direto, devido aos menores coeficientes de variação dos resultados obtidos nesse método.

Araujo (2002) em seu trabalho experimental objetivou avaliar o desempenho de diferentes configurações de prismas para determinar a resistência de aderência ao cisalhamento e propor o melhor ensaio. A Figura 2.8 mostra os corpos de prova utilizados pelo autor, bem como as respectivas condições de carregamento.

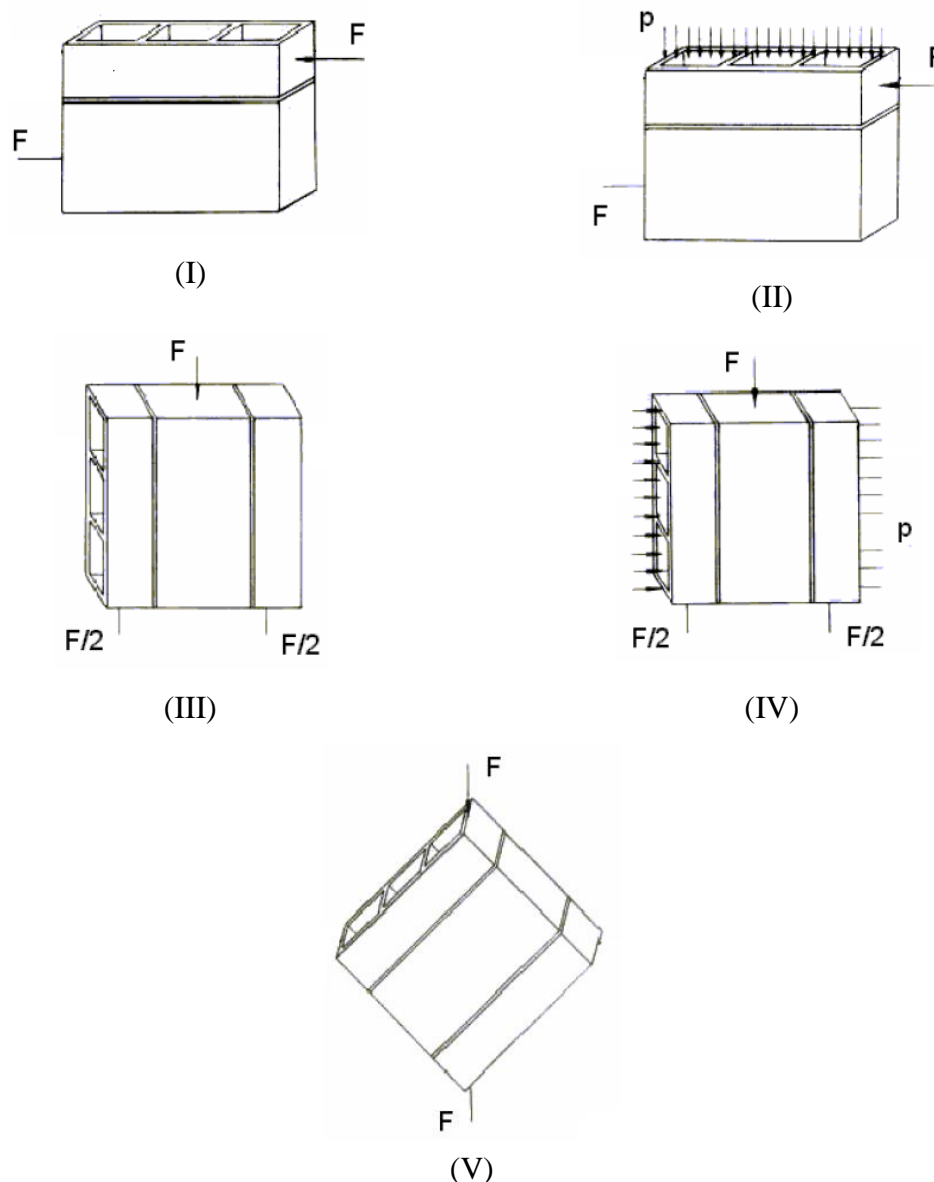


Figura 2.8 – Geometria dos corpos de prova
Fonte: Araujo (2002)

O primeiro corpo de prova mostra um prisma com um bloco na base e meio bloco cortado assentado por cima com carregamento aplicado paralelo à junta horizontal. O segundo corpo de prova foi construído da mesma forma que o anterior, porém o carregamento aplicado

consiste, além dos esforços paralelos à junta de assentamento, em um carregamento de pré-compressão. O terceiro corpo de prova foi montado com duas metades de meio bloco, uma assentada em cada extremidade de um bloco inteiro, com uma carga central conforme mostra a Figura 2.8. E da mesma forma o quarto corpo de prova, porém com carga de pré-compressão. Por último, o quinto corpo de prova foi moldado da mesma forma descrito anteriormente, porém submetido a uma carga concentrada em sua diagonal.

O autor trabalhou tanto com bloco de concreto autoclavado de dimensões 60cm x 30cm x 12,5cm (comprimento, altura e largura) como também com bloco cerâmico de dimensões 39cm x 19cm x 11,5cm (comprimento, altura e largura). As argamassas utilizadas foram as de traços em volume de 1:3:7,5 e 1:0,5:4,5 denominadas argamassa A e B, respectivamente.

Com o bloco de concreto autoclavado e argamassa A o autor ensaiou as configurações I, II, III e V. Chegando em resultados de resistência ao cisalhamento, respectivamente, de 0,074 MPa, 0,219 MPa, 0,090 MPa e 0,317 MPa. Com base nesses resultados o autor observou que para a configuração I o resultado poderia ser superior, uma vez que não foi possível diminuir a influência da flexão na junta de argamassa. Quando ensaiada a configuração II, o efeito da pré-compressão diminuiu a influência da flexão na junta de argamassa que trabalhou mais confinada. Com relação ao resultado da configuração III o autor observou um acréscimo na resistência em relação ao primeiro, pois o corpo de prova foi apoiado nas duas extremidades, o que fez diminuir a influência da flexão na junta de argamassa. Já o ensaio com corpo de prova submetido à compressão diagonal o autor constatou que em relação aos ensaios anteriores (cisalhamento direto) a resistência de aderência aumentou significativamente.

Com o bloco cerâmico e argamassa B o autor ensaiou a configuração III, IV e V. No entanto só foi possível obter resultados com a configuração III e IV, visto que na configuração V, corpo de prova submetido à compressão diagonal, ocorreu esmagamento do bloco na região de contato com a prensa impedindo a distribuição do carregamento. Os resultados foram 0,12 MPa e 0,067 MPa, respectivamente para o corpo de prova III e IV. Para esses resultados foi observada uma incoerência, pois a tendência é de melhorar a resistência quando o corpo de prova está submetido à pré-compressão. O autor justifica este resultado ao elevado coeficiente de variação existente e afirma que dos seis corpos de prova ensaiados, três poderiam ter seus resultados descartados, desta forma, os resultados da configuração IV ficaram um pouco superior aos da configuração III.

Com base nesses resultados o autor concluiu que apesar do ensaio de cisalhamento direto sem pré-compressão ser mais simples de execução, se comparado ao ensaio de compressão diagonal, os resultados obtidos no último foram melhores do que os obtidos no primeiro devido a um menor coeficiente de variação, sendo, portanto, mais confiável.

Para avaliar a resistência ao cisalhamento, na presente pesquisa foi escolhido o ensaio de compressão diagonal. Além de ser o ensaio especificado por normas brasileiras, como a finalidade da pesquisa é avaliar a influência do não preenchimento das juntas verticais através de comparações com corpos de prova de juntas preenchidas, ficaria inviável a utilização de prismas em ensaios de cisalhamento direto, uma vez que estes só apresentam juntas horizontais. Além disto, o ensaio de compressão diagonal para determinar a resistência ao cisalhamento se mostrou nos estudos citados anteriormente o mais representativo.

Portanto, como no presente trabalho serão avaliadas as resistências de pequenas paredes, tanto à compressão como ao cisalhamento, para verificar a influência do não preenchimento das juntas verticais, pode-se perceber pela importância do mecanismo de interação da interface bloco-argamassa que a ausência de juntas verticais pode comprometer o desempenho da alvenaria principalmente no que diz respeito à resistência ao cisalhamento.

2.2.2 NÃO PREENCHIMENTO DA JUNTA VERTICAL

Existem poucos trabalhos que tratam da influência do não preenchimento das juntas verticais na resistência à compressão e ao cisalhamento da alvenaria estrutural. Apesar disto, esta técnica construtiva vem sendo empregada nos últimos anos no Brasil muitas vezes sem que as implicações decorrentes de seu uso sejam consideradas nos projetos.

Os resultados obtidos pelos autores que estudaram o efeito do não preenchimento das juntas verticais da alvenaria, tanto no que se refere à resistência à compressão e ao cisalhamento, se divergem. Isto se deve ao fato da alvenaria ser constituída por diferentes componentes, sendo que a mudança das propriedades destes componentes e as condições dos ensaios realizados em laboratório podem afetar o seu modo de ruptura e os resultados finais alcançados.

A partir dos resultados obtidos, Vilató (2004) concluiu que o fator tipo de junta vertical utilizado não foi significativo na resistência à compressão da alvenaria em nenhum dos casos estudados. O autor ensaiou pequenas paredes com dois blocos de concreto no comprimento e quatro fiadas de altura (80 cm de comprimento e altura) utilizando argamassamento apenas na lateral. A resistência à compressão do bloco variou em 4,5, 8 e 12

MPa utilizando, respectivamente, argamassa de traço em volume (cimento:cal:areia) de 1:2:9, 1:1:6 e 1:0,5:4,5. O autor observou que à medida que se aumentou a resistência do bloco, o fator tipo de junta se fez ainda menos significativo.

O módulo de deformação das pequenas paredes construídas com blocos de 4,5 MPa diminuiu em 6% quando não preenchidas as juntas verticais. Da mesma forma, para as construídas com blocos de 8,0 MPa a redução chegou a 37%. No entanto, para pequenas paredes com blocos de 12 MPa houve um incremento de 15% no módulo de deformação quando esta foi construída com as juntas verticais não preenchidas. Os corpos de prova com junta vertical preenchida apresentaram um modo de ruptura caracterizado nos primeiros estágios de carregamento por uma menor quantidade de fissuras, mas de maior largura, se comparado com aqueles com juntas secas. Observou-se essa diferença no modo de ruptura em pequenas paredes construídas com blocos de 4,5 e 8 MPa, sendo que para os corpos de prova construídos com blocos de 12 MPa essa diferença não foi evidenciada. Através destes resultados, o autor concluiu que o não preenchimento das juntas verticais aparentemente permite redistribuir as tensões num maior número de fissuras aumentando a capacidade de absorver deformações para as pequenas paredes construídas com blocos de até 8 MPa, uma vez que o módulo de deformação diminuiu com o uso dessa técnica. Para pequenas paredes construídas com blocos de resistência maiores que esta, sua resistência não foi comprometida quando utilizada a junta seca, e a sua rigidez não diminuiu.

Passos, Santos e Carvalho (2002) também ensaiaram à compressão simples seis paredes com blocos de concreto (resistência média à compressão de 9 MPa), mas em escala natural, com comprimento de 120 cm e altura de 260 cm. Os autores executaram três com juntas verticais preenchidas e outras três sem o argamassamento na junta vertical, verificando que o modo de ruptura apresentado foi o mesmo, para os dois tipos de paredes construídas. Assim, observou-se a fissuração inicial na direção do carregamento, acompanhando a linha da junta vertical. Houve também fissuração, para ambos os casos estudados, nas faces laterais dos blocos, na direção do carregamento aplicado. Os resultados indicaram uma perda de 17% da resistência à compressão da parede quando se considera o não preenchimento das juntas verticais. Vale ressaltar que nesse caso as paredes foram assentadas com juntas horizontais totalmente preenchidas e construídas em escala natural, diferentemente do estudo feito por Vilató (2004). No entanto, os autores apresentaram apenas uma comparação entre os valores de resistência média obtidos nos ensaios, não analisando estatisticamente a influência do tipo de junta.

Como exemplo de trabalho que trata do uso de juntas secas em alvenaria de bloco cerâmico tem-se o de Santos (2001). O autor utilizou blocos de resistência média à compressão de 16 MPa em escala reduzida de 1/3, que corresponde às dimensões em escala natural de 290 x 190 x 140 mm para o comprimento, altura e largura, respectivamente. Ensaaiaram-se pequenas paredes à compressão com dois blocos de largura e cinco fiadas, três com juntas verticais preenchidas e outras três com juntas não preenchidas. Em todo o trabalho utilizou-se a argamassa de traço 1:1:6. No caso das pequenas paredes construídas com juntas verticais preenchidas, as fissuras iniciais ocorreram no bloco, propagando-se para a junta vertical, em ambas as faces, até a ruptura. Para pequenas paredes construídas com juntas secas, as fissuras iniciais também ocorreram nos blocos, sob a junta não preenchida e se propagaram na direção do carregamento aplicado. Para ambos os casos foi observada também fissuração nas faces laterais da parede. O autor concluiu que houve perda de 21% na resistência média à compressão das pequenas paredes e de 38% no módulo de elasticidade quando as juntas verticais não foram preenchidas. Apesar de utilizado nesse trabalho o bloco cerâmico e em escala reduzida, pode-se perceber que as mesmas conclusões foram obtidas no trabalho de Passos, Santos e Carvalho (2002), do qual o autor também fez parte. E da mesma forma, embora a perda de resistência à compressão tenha sido expressiva, os autores apresentaram apenas os valores de resistência média, não tendo realizado um estudo estatístico para avaliar se o fator tipo de junta foi ou não significativo.

Com relação à determinação da resistência ao cisalhamento em paredes de alvenaria, encontram-se disponíveis na literatura diversos ensaios. Um estudo desenvolvido na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) para a construtora ENCOL que produziu dois relatórios técnicos foi um dos primeiros trabalhos experimentais a avaliar o efeito do não preenchimento da junta vertical na resistência ao cisalhamento. Nesse estudo, utilizaram-se blocos de concreto com dimensões 295 x 145 x 195 mm para comprimento, largura e altura, respectivamente, e resistência média à compressão de 6,6 MPa. No primeiro trabalho Roman (1993) recomendou como métodos de ensaio, já desenvolvidos por diversos autores, os ilustrados na Figura 2.9.

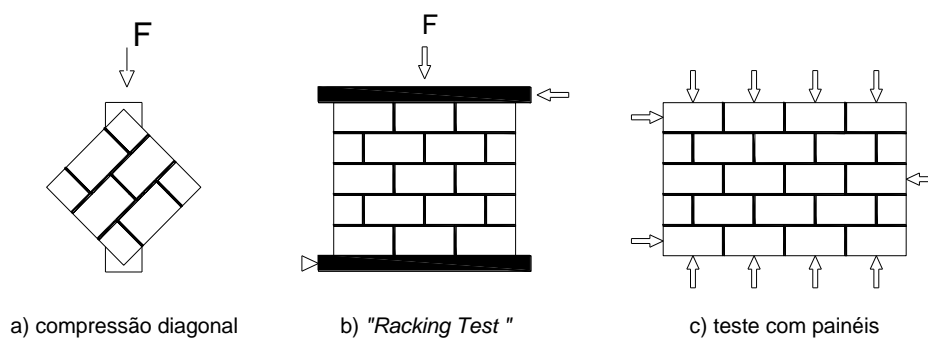


Figura 2.9 – Métodos de ensaio
Fonte: Roman (1993)

O “*racking test*” foi considerado pelo autor o ensaio que mais se aproxima do comportamento real de uma parede na estrutura no que se refere às tensões cisalhantes. Porém, quando utilizado este ensaio, os corpos de prova não apresentaram ruptura por cisalhamento. Como o autor não obteve os resultados esperados, optou por ensaiar as pequenas paredes como vigas de grande altura sem pré-compressão.

Com base nos resultados e no modo de ruptura das paredes ensaiadas como viga, observou-se que inicialmente o comportamento das paredes com juntas verticais preenchidas foi diferente das paredes com juntas não preenchidas. No entanto, após determinado nível de carregamento, a ausência de argamassa na junta foi compensada por um rearranjo das tensões e os dois tipos de paredes passaram a apresentar um mesmo comportamento. Outra observação feita pelo autor foi que os resultados indicaram que dificilmente as tensões de cisalhamento serão o ponto crítico de ruptura da estrutura, pois antes que isto ocorra, a ruptura se dará por compressão, mesmo que os resultados encontrados para as carregadas como viga de grande altura tenham sido pelo menos 23% maior no caso das com junta vertical preenchida em relação às com juntas não preenchidas.

Dando continuidade ao trabalho anterior, R. Roman e F. Roman (1998) avaliaram a resistência ao cisalhamento quanto ao preenchimento das juntas verticais, tendo como base estudos experimentais e teóricos, de pequenas paredes ensaiadas como vigas de grande altura. Os resultados da parte experimental se referem ao mesmo trabalho realizado pela UFSC em parceria com a construtora ENCOL e já foram anteriormente mencionados. Com relação à análise teórica, os modelos foram criados considerando-se a alvenaria um material heterogêneo e isotrópico. No que se refere às paredes com juntas verticais não preenchidas foi observado um aumento na concentração de tensões na região em torno das juntas verticais e de assentamento. Com relação à distribuição de tensão cisalhante na junta vertical, foi

observada uma descontinuidade próxima às juntas verticais e horizontais, embora para os autores, essa não pareça ser a causa principal da perda de resistência ao cisalhamento nas paredes com juntas verticais secas. Atribuíram à distribuição de tensões principais nas juntas a causa da perda de resistência, pois os corpos de prova com juntas verticais não preenchidas apresentaram maiores níveis de tensão, do que as com juntas preenchidas, variando de compressão para tração nessa região.

Vilató (2004) também optou por submeter os corpos de prova a um esforço lateral para obter a resistência ao cisalhamento por considerar o mais representativo das situações usuais na qual a parede está submetida. Assim, o autor realizou uma série de testes em pequenas paredes e paredes com juntas verticais preenchidas e não preenchidas para avaliar a resistência ao cisalhamento. A pequena parede possuía as mesmas dimensões mencionadas anteriormente para o ensaio de compressão. Já a parede foi construída com três blocos no comprimento e treze fiadas de altura.

Com a pequena parede, o autor avaliou a influência do não preenchimento das juntas verticais considerando um mesmo nível de pré-compressão para as diferentes resistências à compressão dos blocos com os respectivos traços de argamassa a eles relacionados. A Figura 2.10 apresenta um esquema com o projeto de experimentos para avaliar a resistência ao cisalhamento em diferentes tipos de pequenas paredes (PA). Já com a parede, o autor avaliou a influência do não preenchimento das juntas verticais considerando diferentes níveis de pré-compressão (NP-1, NP-2 e NP-3), mas com apenas um tipo de bloco (resistência à compressão 8 MPa) e o tipo de argamassa a ele associado (traço em volume 1:1:6). A Figura 2.11 apresenta um esquema com o projeto de experimento para avaliar a resistência ao cisalhamento em paredes.

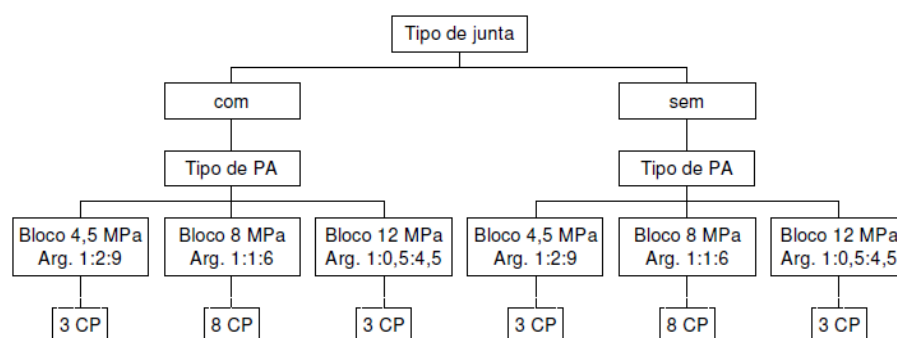


Figura 2.10 – Projeto de experimentos para avaliar a resistência ao cisalhamento em pequenas paredes
Fonte: Vilató (2004)

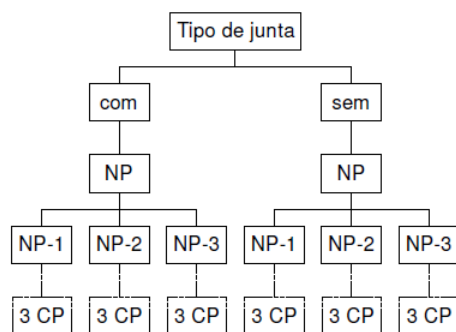


Figura 2.11 – Projeto de experimentos para avaliar a resistência ao cisalhamento em paredes
Fonte: Vilató (2004)

No que se refere à resistência ao cisalhamento Vilató (2004) concluiu que para os resultados obtidos nos ensaios de pequenas paredes, com um nível de pré-compressão correspondente a seis andares e variando a resistência à compressão dos blocos em 4,5, 8 e 12 MPa, num critério geral, na medida em que se aumentou a resistência do material, o fator tipo de junta passou a ser significativo no valor da resistência ao cisalhamento. Nas pequenas paredes construídas com blocos de 12 MPa, a resistência ao cisalhamento chegou a ser 19% maior na pequena parede com junta vertical preenchida. Para os outros casos, a diferença encontrada foi de 7% e 1% para as pequenas paredes com blocos de 4,5 e 8 MPa, respectivamente. E ainda analisando os mesmos resultados, o autor comentou que para o mesmo tipo de junta, quando se variam as características dos materiais, houve um ganho de 45% ao se comparar a resistência ao cisalhamento da pequena parede com junta preenchida construída com blocos de 8 MPa em relação à de 4,5 MPa, ou 53% no caso da junta seca. No entanto, praticamente não foi encontrada diferença quando se comparam os valores de resistência obtidos entre as pequenas paredes com juntas preenchidas de blocos de 8 MPa e 12 MPa, sendo que a resistência das construídas com bloco de 8 MPa chegou a ser maior que as de 12 MPa quando as juntas verticais são secas. Estes resultados mostram que, considerando as condições envolvidas nesses ensaios, a relação entre as resistências dos materiais e a encontrada na alvenaria não é linear. Com relação à ruptura, o autor não observou diferença no tipo e nível de fissuração das pequenas paredes quando o tipo de junta vertical foi variado. De forma geral observou-se que a fissura se iniciava no lado onde a força era aplicada e se propagava para o outro lado pelas faces dos blocos e interfaces bloco-argamassa com uma inclinação de aproximadamente 45° pela diagonal da pequena parede.

Já para os ensaios em paredes, variou-se o nível de pré-compressão e manteve-se o mesmo tipo de bloco (resistência à compressão 8 MPa) e argamassa com traço 1:1:6. O autor concluiu que, considerando o fator tipo de junta vertical, para o menor nível de pré-

compressão (tensão correspondente a aproximadamente 4 andares), a parede com junta vertical preenchida obteve uma resistência 10% maior. Já para uma pré-compressão maior que a anterior (aproximadamente 6 andares), o resultado foi que a parede com junta seca obteve 2% a mais de resistência. E por último, quando foi empregado o maior nível de pré-compressão (aproximadamente 8 andares), a parede com junta vertical preenchida alcançou uma resistência 5% maior. Outra conclusão a que o autor chegou através da análise destes resultados foi que para a junta vertical preenchida, aumentando-se o nível de pré-compressão, pouca influência foi encontrada nos resultados. No entanto, no caso em que as juntas verticais não foram preenchidas, aumentando-se o nível de pré-compressão, aumentou-se a resistência em 5%. Apesar de observada pouca influência da pré-compressão na resistência final da alvenaria, a pré-compressão exerceu grande influência no instante do surgimento da primeira fissura e na magnitude de força (expressa em porcentagem em relação à força que causa ruptura) que causou esta primeira fissura. Desta forma, considerando a pré-compressão e o tipo de junta utilizado, concluiu-se que para a pré-compressão referente a aproximadamente 6 andares de carregamento, o valor da força foi 16% maior para as paredes com juntas verticais preenchidas. E para o nível de pré-compressão referente a 8 andares foi 30%. No entanto, considerando o nível de pré-compressão mais baixo (aproximadamente 4 andares) a parede construída com junta não preenchida absorveu uma força 5% maior que a com junta preenchida. O modo de ruptura foi, portanto, caracterizado como sendo por flexão em que ocorreu o aparecimento das primeiras fissuras no lado tracionado da parede, seguindo para a zona mais comprimida. A ruptura ocorreu em blocos das três primeiras fiadas onde foi atingida a sua capacidade resistente à compressão.

Santos (2001) afirmou que, independente da estrutura ter ou não juntas preenchidas, sua resistência ao cisalhamento depende do nível de pré-compressão ao qual ela está submetida. No seu trabalho, o autor estudou o efeito do não preenchimento das juntas verticais em painéis de contraventamento, também construídos com blocos na escala reduzida de 1/3, nos quais as ações horizontais e verticais foram consideradas simultaneamente. O autor variou a pré-compressão entre as tensões de 0,4 a 2,1 MPa em nove estruturas, dentre estas, estruturas com juntas verticais preenchidas e não preenchidas. A Figura 2.12 mostra a elevação e a planta das estruturas ensaiadas por Santos (2001).

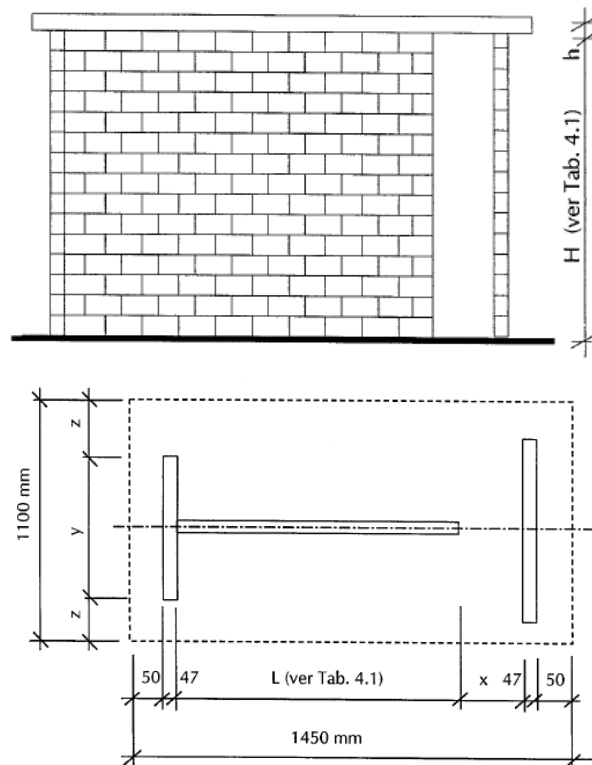


Figura 2.12 – Elevação e planta das estruturas estudadas
Fonte: Santos (2001)

As estruturas com juntas verticais não preenchidas apresentaram resistência ao cisalhamento menor que as com juntas preenchidas. O autor atribuiu esta diferença nos valores de resistência à diferença na aderência inicial, que variou de 25% a 5% à medida que o nível de pré-compressão era aumentado. O modo de ruptura dos painéis foi caracterizado pelo surgimento de fissuras iniciais na diagonal comprimida da parede. Nas estruturas com juntas verticais preenchidas as fissuras propagaram-se através dos blocos e juntas. Já nas estruturas com juntas verticais não preenchidas as fissuras apareceram na junta horizontal e se propagaram através dela. Com relação aos deslocamentos no topo da estrutura, para um mesmo nível de pré-compressão, observou-se nas estruturas com juntas verticais não preenchidas um aumento de 50% nos valores obtidos quando a estrutura possuía a junta vertical preenchida. No entanto, esta diferença é reduzida quando se aumenta o nível de pré-compressão ao qual a estrutura foi submetida. Os resultados apresentados por este autor são importantes, pois mostra a influência da pré-compressão na resistência ao cisalhamento. O autor buscou simular as condições reais dos painéis de contraventamento onde ocorre o cisalhamento. A diferença encontrada de apenas 5% para o maior nível de pré-compressão estudado sugere que o não preenchimento das juntas verticais pode não exercer muita

influência na resistência ao cisalhamento, o que contradiz o esperado por diversos pesquisadores.

Como exemplo de trabalhos em que foi utilizado o ensaio de compressão diagonal para determinar a resistência ao cisalhamento como recomenda a normalização brasileira, NBR 14321 (ABNT, 1999), Cavalheiro, Pozzobon e Santos (2000) estudaram o fator junta vertical no desempenho da alvenaria ao cisalhamento em paredes de blocos de concreto e cerâmico com dimensões de 120 x 120 cm, empregando três argamassas com diferentes resistências. O bloco cerâmico possuía as dimensões 290 x 140 x 190, em mm, para comprimento, largura e altura, respectivamente e resistência à compressão média de 9,5 MPa. Já o bloco de concreto possuía as dimensões 390 x 140 x 190 e resistência média de 8,5 MPa. As argamassas utilizadas foram as de traço 1:1:6, 1:0,5:4,5 e 1:0,25:3,75 e foram classificadas como sendo de baixa, média e alta resistência, respectivamente. Foram ensaiadas 18 paredes para cada tipo de bloco, nove com juntas verticais preenchidas e outras nove sem juntas. Das nove paredes, três eram para cada traço de argamassa estudado. Os autores observaram que mesmo nas paredes em que se utilizaram juntas verticais secas, com o objetivo de reforçar o conjunto para o transporte e posicionamento, as juntas verticais foram preenchidas no contorno da parede. Houve também a necessidade de grautear o bloco que ficou em contato com o suporte da máquina de ensaio, para que a parede não rompesse devido à concentração de tensões nesse local. Com base nos resultados, os autores concluíram que a resistência média ao cisalhamento das paredes com juntas verticais preenchidas foi superior à resistência das paredes com juntas secas, para ambos os blocos estudados. Este aumento observado variou de acordo com a resistência da argamassa utilizada. Portanto, com argamassa de baixa, média e alta resistência, o aumento da resistência ao cisalhamento das paredes de blocos cerâmicos foi de, respectivamente, 82%, 172% e 116%. Já para as paredes de bloco de concreto o aumento foi de 105%, 134% e 212%, respectivamente. Os autores observaram também que para as paredes construídas com junta vertical preenchida e blocos cerâmicos, variando a resistência da argamassa, a resistência da parede aumentava em 40% quando a argamassa variava de baixa para média resistência. E para as argamassas de média e alta resistência, o acréscimo chegou a 7%. Já para as paredes construídas com junta vertical não preenchida, variando a resistência da argamassa de baixa para média, não foi observado ganho de resistência da parede. No entanto, variando a argamassa de média para alta resistência, o ganho foi de aproximadamente 30%. Com base nesses resultados, os autores concluíram que a argamassa correspondente ao traço de 1:0,5:4,5, se mostrou mais eficiente em relação à resistência ao cisalhamento, com exceção apenas ao caso em que a junta vertical não foi

preenchida, pois nesse caso, a argamassa de traço 1:0,25:3,75, representou um ganho de 30% na resistência ao cisalhamento.

Com relação ao modo de ruptura, este se deu com as fissuras ocorrendo ao longo das juntas de assentamento formando uma linha dentada, para as paredes com juntas verticais não preenchidas, tanto para blocos cerâmicos como para os de concreto. Já para paredes com juntas verticais preenchidas, o modo de ruptura se deu seguindo esta mesma configuração, apenas quando foi utilizada a argamassa de menor resistência, para ambos os blocos. Para as paredes com argamassa de média resistência, com ambos os blocos, a ruptura da parede ocorreu com fissura aproximadamente segundo uma linha reta na diagonal da parede que acarretou na ruptura de alguns blocos e juntas de argamassa. Já as paredes com argamassa de elevada resistência, no caso das construídas com blocos cerâmicos, a ruptura se deu com fissura formando uma linha reta na diagonal da parede que acarretou na ruptura por tração de todos os blocos da diagonal comprimida. Já as paredes construídas com blocos de concreto e argamassa de elevada resistência, não foi possível observar o modo de ruptura, pois o ensaio teve que ser interrompido pelo esgotamento da capacidade de carga do equipamento. Os autores comentaram, ainda, que o ensaio usado para avaliar a resistência ao cisalhamento, compressão diagonal, pode não representar a real resistência ao cisalhamento da alvenaria, por ser este um material não isotrópico. As dimensões dos corpos de prova também contribuíram para influenciar os resultados. No entanto, os autores afirmaram que este ensaio é válido para se determinar a tendência do comportamento da alvenaria na resistência ao cisalhamento.

Não há também muitos estudos que avaliam a influência do não preenchimento das juntas verticais no desempenho da alvenaria estrutural no exterior, mas segundo Drysdale et al. (1994), há um consenso geral que o não preenchimento da junta vertical pouco influencia a resistência à compressão, mas no que se refere à resistência ao cisalhamento pode ocasionar perda da capacidade resistente da alvenaria. No entanto, nos últimos anos, pode-se encontrar na literatura trabalhos desenvolvidos no exterior que avaliaram a influência da junta vertical, e muitos destes desenvolvidos em conjunto com pesquisadores brasileiros.

Como exemplo, pode ser citado o trabalho desenvolvido em parceria com a Universidade de Edimburgo que originou a tese de Santos (2001). Nesse trabalho, Santos e Sinha (2002) estudaram oito painéis de alvenaria em formato H com juntas verticais preenchidas e não preenchidas submetidos a ações verticais e laterais combinadas. Nesses, a pré-compressão variou de 0,4 MPa a 2,1 MPa. Da mesma forma como mencionado em Santos (2001), os blocos utilizados nesse trabalho foram cerâmicos com escala reduzida de 1/3. O

traço da argamassa foi 1:1:6, em volume. Antes da construção dos painéis, seis pequenas paredes foram ensaiadas à compressão com juntas verticais preenchidas e outras três com juntas não preenchidas, para determinar os módulos de elasticidade. Com o objetivo de identificar qualquer efeito na distribuição de deformação devido à ausência de junta vertical, foram colocados extensômetros tanto nas pequenas paredes com juntas verticais preenchidas como também nas não preenchidas. Com base nos resultados obtidos, foi observada uma redução de 38% no módulo de elasticidade das pequenas paredes com juntas não preenchidas comparadas com as de juntas preenchidas. O modo de ruptura foi o típico já observado por outros autores, caracterizado pelo surgimento da primeira fissura abaixo da junta vertical na direção do carregamento aplicado com 75% da carga de ruptura.

Com relação aos painéis, os resultados mostraram que quanto maior o nível de pré-compressão aplicado, maior foi a rigidez da estrutura para os dois tipos de juntas estudados. No entanto, quando submetidas ao mesmo nível de pré-compressão, as estruturas com juntas verticais preenchidas apresentaram rigidez superior às de juntas não preenchidas. Com relação aos deslocamentos, os resultados mostraram que o aumento da pré-compressão reduz os deslocamentos para os dois tipos de junta vertical estudado. Porém, para o mesmo nível de pré-compressão, o deslocamento no topo das estruturas com juntas verticais não preenchidas é muito superior ao deslocamento das com juntas preenchidas.

Outro exemplo de estudo que avalia o tipo de assentamento utilizado na alvenaria de bloco cerâmico é o de Capozucca (2002). Nesse trabalho, um dos blocos utilizados foi o de superfície lisa com dimensões de 240 x 300 x 190 para comprimento, largura e altura, respectivamente, em mm, com resistência à compressão de 21 MPa. O objetivo do trabalho foi avaliar a resistência à compressão e ao cisalhamento em pequenas paredes com dimensões de 100 x 100 x 30 cm (comprimento, altura e largura) construídas com todas as juntas de assentamento preenchidas, juntas verticais não preenchidas e argamassamento lateral das juntas horizontais. Para avaliar a resistência ao cisalhamento, o autor, além de considerar pouco representativo o ensaio de compressão diagonal, afirmou que a distribuição de tensões normais e cisalhantes foi pouco uniforme. No entanto, optou-se pela escolha deste ensaio por ser o considerado em alguns países como, por exemplo, o código italiano. No que se refere à resistência à compressão, o autor obteve valores baixos quando as juntas verticais não são preenchidas. Da mesma forma, com relação à resistência ao cisalhamento, houve também uma redução expressiva nos resultados obtidos.

Recentemente, foi realizado um trabalho experimental no Laboratório de Estruturas da Universidade de Minho (LEST) em Portugal pelos pesquisadores Haach, Vasconcelos e

Lourenço (2010). Os autores estudaram a influência do preenchimento das juntas verticais e a geometria de blocos de concreto através da construção de dois tipos de paredes com escala reduzida de 1/2. No primeiro tipo, a alvenaria foi executada de forma tradicional, com o preenchimento de juntas verticais e blocos com dois vazios internos de dimensões 196, 94 e 94 mm para comprimento, largura e altura, respectivamente. No segundo, a alvenaria foi construída sem o argamassamento nas juntas verticais e blocos com três vazios internos de dimensões 201, 100 e 93 mm para comprimento, largura e altura, respectivamente. As juntas utilizadas no assentamento foi de 8 mm para considerar a escala reduzida das unidades e o traço utilizado foi 1:3 (de cimento e areia, em volume). Para os dois tipos de assentamento estudados foram ensaiadas paredes à compressão normal e paralela às juntas horizontais, e compressão diagonal para avaliar a resistência ao cisalhamento.

No ensaio de compressão com carregamento perpendicular à junta horizontal, quatro LVDTs estavam ligados aos corpos de prova para medir as deformações verticais e para o cálculo do módulo de elasticidade da alvenaria. Dois outros LVDTs foram dispostos para medir as deformações horizontais e posicionados na região central da parede englobando uma junta vertical e um bloco, a fim de avaliar a influência do preenchimento das juntas verticais.

Considerando os resultados obtidos, os autores observaram que ambos os tipos de assentamento da alvenaria apresentaram um comportamento similar caracterizado como frágil o que foi confirmado pelos diagramas de tensão-deformação. Assim como observado por Passos, Santos e Carvalho (2002), a fissuração se deu pelo surgimento de fissuras verticais na altura média do corpo de prova, que se propagaram através das juntas verticais e blocos de concreto, como resultado do desenvolvimento de tensões de tração na direção perpendicular à carga aplicada. Os autores destacaram ainda que a principal diferença encontrada no comportamento da estrutura foi que a fissuração se deu com fissuras maiores quando a junta vertical era preenchida. Este comportamento também foi observado por Vilató (2004).

Haach, Vasconcelos e Lourenço (2010) concluíram que houve diferença nos valores de resistência à compressão perpendicular às juntas horizontais nos dois casos estudados, mas o módulo de elasticidade encontrado foi muito semelhante, caracterizando que a presença das juntas verticais exerceu pouca influência em termos de comportamento à compressão.

Os autores também estudaram o comportamento frente à resistência ao cisalhamento, através do ensaio de compressão diagonal da parede. Os resultados mostraram que a presença das juntas verticais exerceu grande influência na resistência ao cisalhamento, pois proporcionou um aumento na área de contato que melhorou a distribuição das tensões. No entanto, pouco influenciou a rigidez da alvenaria, aumentando apenas em 20%. Nos dois

casos estudados, apenas uma fissura apareceu na amostra ao longo da interface bloco-argamassa, indicando maior resistência à tração do bloco. O valor encontrado para a resistência média ao cisalhamento foi três vezes maior no caso em que houve preenchimento das juntas verticais, mas o comportamento da estrutura se apresentou muito mais frágil do que quando não preenchidas as juntas. Com base nos resultados obtidos os autores concluíram que os dois tipos de assentamento de alvenaria avaliados apresentaram um desempenho adequado e, portanto, recomendaram a utilização do não preenchimento das juntas verticais como uma nova tecnologia que simplifica a construção.

2.2.3 GRAUTEAMENTO DOS BLOCOS

Uma das utilizações do graute nas obras de alvenaria estrutural está ligada à necessidade de aumentar a resistência de determinadas paredes dos pavimentos, sem que seja necessário aumentar a resistência do componente usado na sua construção. Desta forma, o preenchimento dos vazios dos blocos, aumentando a sua área líquida, permitiria um ganho de resistência à compressão. No entanto, o quanto que de fato aumentará a resistência na alvenaria de blocos cerâmicos ainda não está bem estabelecido entre os pesquisadores, por serem vários os fatores que podem influenciar a resistência final do conjunto, como aderência entre a interface bloco-graute, módulo de elasticidade dos componentes da alvenaria, dentre outros. Segundo Ramalho e Corrêa (2003), para blocos de concreto é razoável considerar a influência do grauteamento na resistência da alvenaria como sendo o preenchimento de vazios, aumentando a sua área líquida, pois se tratam de materiais semelhantes. Desta forma, a resistência à compressão do bloco dobraria caso se considere que 50% de sua área bruta são vazios. No entanto, os autores ressaltam que para blocos cerâmicos a questão se torna mais complexa. Por se tratarem de materiais distintos, mesmo que suas resistências sejam iguais, o fato das características elásticas serem distintas pode influenciar negativamente o conjunto. Portanto, na presente revisão bibliográfica serão mencionados apenas os trabalhos que tratam do preenchimento com graute em alvenaria de blocos cerâmicos, que é o objetivo deste trabalho.

Alguns pesquisadores que estudaram o efeito do preenchimento do graute na alvenaria estrutural cerâmica chegaram a alguns resultados conflitantes. Estudos mais antigos desenvolvidos por pesquisadores como Gomes (1983), Camacho (1995) e Garcia (2000), chegaram à conclusão de que o preenchimento do graute no interior da alvenaria poderia ser entendido como aumento da área efetiva, o que conseqüentemente aumentava a resistência da

alvenaria desde que o graute apresentasse, como resistência mínima, a resistência do bloco em relação à sua área líquida. No entanto, estudos recentes mostram que não é qualquer tipo de graute que pode trabalhar em conjunto com a alvenaria cerâmica, pois suas propriedades elásticas devem ser compatíveis, independente de sua resistência mecânica.

Uma das explicações para a diferença encontrada nos resultados de pesquisas se deve ao fato da alvenaria ser constituída pela união de mais de um tipo de componente que apresenta variabilidade de propriedades dependendo da região em que for produzida. A inserção de um terceiro componente de características distintas, o graute, aumenta ainda mais esta variabilidade. Portanto, fica difícil a reprodução dos ensaios em diversos laboratórios espalhados pelo Brasil e pelo mundo.

No que se refere ao comportamento do graute no interior da alvenaria, Khalifa e Magzoub (1994) *apud* Mendes (1998)¹ apresentaram as duas diferentes conclusões que pesquisadores chegaram. A primeira se refere ao fato de a resistência à compressão do prisma grauteado ser maior que a resistência individual do bloco e do graute. A justificativa seria que o graute no interior dos blocos provocaria um contraventamento lateral às paredes do bloco impedindo a sua flambagem e ainda o graute teria sua resistência aumentada por estar confinado no interior do bloco. No entanto, outros autores afirmaram que a resistência à compressão do prisma é reduzida pela presença do graute, pois, por se tratarem de materiais distintos, suas deformações também seriam diferentes. Desta forma, grautes muito deformáveis provocariam o aumento de tração nas paredes do bloco, devido ao efeito Poisson, levando ao colapso da estrutura. Portanto, o ideal seria que os módulos de elasticidade do bloco e graute fossem similares.

A superfície da alvenaria com graute preenchido também pode afetar a resistência final do conjunto. A Figura 2.13 apresenta as possíveis situações que podem ocorrer. Na primeira situação, é esperado que tanto o graute como o bloco absorvam o carregamento no instante inicial de sua aplicação e se deformem de maneira semelhante, caso os seus módulos de elasticidades sejam compatíveis. Na segunda situação, apenas o bloco recebe o carregamento inicial e só após a sua deformação é que o graute será solicitado. Desta forma, pode ocorrer a ruptura típica da alvenaria por tração com o desprendimento das paredes do graute, antes mesmo do graute ser solicitado. Na última situação, o graute recebe o carregamento inicial e começa a se deformar antes da alvenaria, sendo que esta deformação

¹ KHALIFA, M. A., e MAGZOUB, A. E. Compressive strength of masonry prisms. In: *12th Congress of the structures*, 1994, EUA, 1994, Proceedings. p. 1100-1105.

pode provocar aumento de tração nas paredes do bloco, provocando a sua ruptura. Assim, é fundamental que haja um controle rigoroso da execução da alvenaria estrutural.

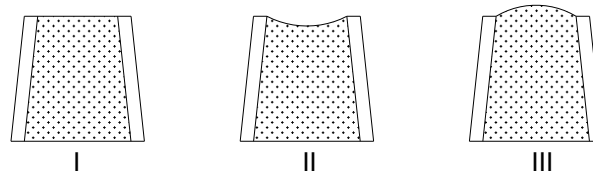


Figura 2.13 – Situações da superfície da alvenaria com graute preenchido

Camacho (1995) estudou as correlações existentes entre protótipos e modelos físicos reduzidos de blocos cerâmicos. Para tanto, foram ensaiados à compressão blocos, prismas de 2, 3 e 4 blocos e pequenas paredes, nas escalas 1:1, 1:3 e 1:5. Foram ensaiados também prismas de três blocos, grauteados com três diferentes tipos de graute. Os resultados aqui apresentados se referem aos ensaios em escala natural (1:1) dos prismas de três blocos grauteados e não grauteados. Os blocos usados no trabalho apresentaram resistência média à compressão de 15,5 MPa. O traço da argamassa foi em peso de 1:1:6 (cimento, cal e areia) com o fator água/cimento de 1,37, tendo como resistência média à compressão 5,45 MPa. Os três tipos de graute estudados foram designados por graute A, B e C. A Tabela 2.7 abaixo apresenta os traços em peso, que se referem respectivamente ao cimento, areia e pedrisco, o fator água/cimento e as resistências à compressão obtidas para cada um.

Tabela 2.7 – Traço e resistência à compressão dos grautes

Graute Tipo	Traço peso (cim, areia, pedrisco)	Fator a/c	Ruptura (MPa)
A	1:3,06:2,94	0,952	13,08
B	1:2,48:2,52	0,822	15,59
C	1:1,90:2,21	0,637	22,60

Fonte: Camacho (1995)

A média dos resultados de resistência à compressão de prismas vazios foi de 5,95 MPa. Já para os prismas preenchidos com graute do tipo A, B e C os resultados foram 8,32 MPa, 10,11 MPa e 12,48 MPa, respectivamente. A ruptura apresentada pelos prismas grauteados se deu pelo desmembramento do conjunto bloco e graute e pelo desprendimento das paredes dos blocos, expondo o graute sem danos aparentes. O autor observou que houve um crescimento de resistência do prisma quando este era preenchido com o graute mais resistente, no entanto este crescimento não foi proporcional ao aumento da resistência do

graute. Ou seja, o aumento da resistência dos prismas preenchidos com o graute do tipo B em relação aos preenchidos com graute do tipo A foi de 14%, aumento este próximo do acréscimo da resistência do graute do tipo B em relação ao A, que é de 16%. No entanto, a utilização do graute tipo C fez com que a resistência dos prismas aumentasse em 33% em relação aos do tipo A, mas o crescimento da resistência do graute C em relação ao A foi de 42%. O módulo de deformação dos prismas também aumentou à medida que estes eram preenchidos com graute mais resistente.

Da mesma forma, estudos realizados por Garcia (2000) mostraram que o grauteamento de paredes de alvenaria de blocos cerâmicos pode ser entendido como um preenchimento de seus vazios, uma vez que a resistência à compressão da parede, em relação à sua área bruta, foi superior à medida que a parede era grauteada. A autora trabalhou com blocos cerâmicos com resistência média à compressão de 12,15 MPa. O módulo de elasticidade foi obtido em relação à área líquida de meio bloco e foi de 8172 MPa. A argamassa utilizada foi a de traço em volume de 1:0,5: 4,5 e foram obtidos valores médios de resistência à compressão entre 11,4 e 13 MPa. O graute com traço também em volume de 1:0,05:2,20:2,40 (cimento:cal:areia:brita0) apresentaram valores médios de resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos entre 26,0 e 31,5 MPa. O módulo de elasticidade do graute foi 27057 MPa, obtido em apenas um dos traços rodados.

O trabalho experimental foi dividido em duas etapas; a primeira etapa correspondeu a uma área de grauteamento de 11,7% da área bruta da parede de alvenaria e a segunda etapa a 17,5% da mesma área bruta, conforme ilustra a Figura 2.14.



Figura 2.14 – Esquema da área grauteada da primeira e segunda etapa
Fonte: Garcia (2000)

O resultado de resistência média à compressão obtido pela autora nas paredes da primeira etapa foi de 6,71 MPa e na segunda etapa 7,39 MPa e os módulos de elasticidade foram, respectivamente, 7044 e 8692 MPa. Já os resultados obtidos com paredes sem grauteamento foi de 4,02 MPa e módulo de elasticidade de 4829 MPa. Comparando-se os

resultados obtidos através de testes estatísticos, a autora concluiu que o aumento na resistência à compressão foi devido ao grauteamento. Ressaltou, ainda, que o aumento da área grauteada das paredes proporcionou maior rigidez aos elementos estruturais aumentando a rigidez do conjunto, o que levou a um ganho na estabilidade da estrutura. O modo de ruptura observado nas paredes grauteadas foi o mesmo tanto na primeira como também na segunda etapa. Observou-se também a ruptura por compressão do graute formando um tronco de cone e também o seu descolamento das faces do bloco cerâmico.

Para cada etapa de ensaio foram construídos prismas com os dois vazios preenchidos com graute. A resistência média obtida para prismas de dois blocos foi de 11,67 e 11,43 MPa para a primeira e segunda etapa, respectivamente. A autora descreveu o modo de ruptura dos prismas com o aparecimento das primeiras fissuras nas faces externas propagando-se até a ruptura do graute e colapso do prisma.

É importante ressaltar que a autora observou a ruptura do graute no interior das paredes e prismas ensaiados. Pesquisadores como Camacho (1995) e outros que serão citados adiante não observaram a ruptura do graute no interior dos prismas, sendo que em alguns casos ocorreu apenas o surgimento de algumas fissuras.

A autora concluiu que em relação à área líquida, a resistência das paredes se manteve constante nas duas etapas de grauteamento. Essa resistência só foi superior quando comparada à parede não grauteada. Desta forma, ao se inserir um material diferente da composição do bloco, desde que tenha a mesma resistência do bloco na área líquida, a resistência final à compressão da alvenaria não foi afetada.

Por outro lado, Mendes (1998) estudou o comportamento de blocos cerâmicos grauteados através de ensaios experimentais e análises teóricas em prismas. Os blocos cerâmicos utilizados no trabalho possuíam elevada resistência mecânica, 43,7 MPa na área líquida e 22,9 MPa na área bruta. O autor estudou o comportamento de prismas com dois tipos de argamassa: o primeiro com o traço em volume de 1:0,25:3 e o segundo com traço 1:1:6. Foram avaliados também três tipos de graute: o primeiro, com maior resistência, foi um graute industrializado, em que foram adicionados brita e água na proporção 1:0,5:0,13, o segundo com traço em massa de 1:1,98:1,98:0,60 e o terceiro com traço 1:3,08:2,72:1,00 ambos se referindo, respectivamente, à proporção de cimento, areia, brita e água. Os valores obtidos de resistência média e módulo de elasticidade para a argamassa foram 20,18 MPa e 20696 MPa para o primeiro traço e 6,64 MPa e 10131 MPa para o segundo. A resistência e o módulo de elasticidade encontrados para o primeiro graute foi 49 MPa e 40230 MPa; já para o

segundo foi 25 MPa e 28698 MPa e para o terceiro 12 MPa e 22748 MPa. A Figura 2.15 mostra o gráfico tensão *versus* deformação dos materiais utilizados pelo autor.

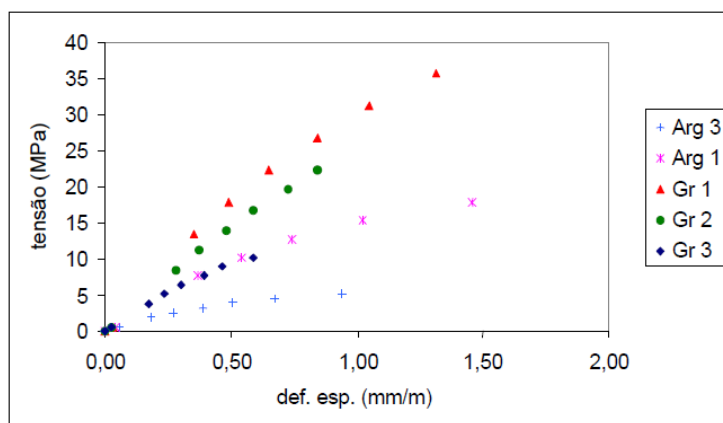


Figura 2.15 – Gráfico tensão x deformação típicos – Argamassas e Grautes
Fonte: Mendes (1998)

No caso do graute, os valores de resistência à compressão mencionados anteriormente se referem aos corpos de prova cilíndricos (10 x 20). No entanto, para verificar o comportamento do graute quando este está em contato com o bloco, o autor extraiu corpos de prova de graute, do tipo um e três, do interior dos blocos cerâmicos. Os resultados mostraram que a variação de resistência encontrada foi muito pequena. O autor comentou que os resultados estão de acordo com alguns pesquisadores que também não obtiveram ganho de resistência no corpo de prova de graute quando este foi extraído do bloco. Porém o próprio autor ainda comenta que estes resultados diferem de outros autores que encontraram um ganho de resistência nessa situação, já que o bloco é capaz de absorver a água presente no graute, diminuindo a relação água/cimento e, conseqüentemente, aumentando a resistência do graute. Esta diferença encontrada pelos pesquisadores pode ser explicada pelas variações existentes de região a região das características dos materiais empregados na alvenaria.

Com relação aos resultados obtidos para os prismas, o autor afirmou que o tipo de argamassa utilizado exerceu influência no comportamento e desempenho do prisma. O modo de ruptura dos prismas não grauteados quando assentados com a argamassa mais fraca foi com o surgimento de fissuras verticais nas faces com aproximadamente 70% da carga de ruptura. A ruptura foi típica ocorrendo por tração próxima à junta de argamassa. O fator de eficiência entre o bloco e o prisma encontrado para esta argamassa foi de 0,35. Já para os prismas com argamassa mais forte, não houve formação de fissura até a ruptura do prisma e esta ocorreu de forma brusca. No entanto, para esta argamassa, o fator de eficiência encontrado foi de 0,55. Desta forma, o autor concluiu que as resistências dos materiais bloco e

argamassa devem ser compatibilizadas, pois dada a elevada resistência à compressão dos blocos utilizados no trabalho, a argamassa de maior resistência forneceu um maior fator de eficiência. Já para os prismas grauteados, o modo de ruptura foi o mesmo independente do tipo de argamassa utilizado e este ocorreu com o aparecimento de fissuras nas arestas e em alguns casos nas faces dos prismas e em seguida ocorrendo o desprendimento de suas faces. O graute aparentemente não rompeu, permanecendo íntegro, com exceção apenas de dois prismas construídos com a argamassa mais forte e graute mais fraco, em que o graute apresentou algumas fissuras. Esta forma de colapso apresentada pelo prisma grauteado também foi observada por Camacho (1995).

O autor observou que para perceber o aumento da carga de ruptura dos prismas grauteados, a resistência à compressão dos prismas deve ser sempre calculada com relação à sua área bruta, independente do prisma ser ou não grauteado. Caso a resistência seja calculada em relação à sua área líquida, como é o caso de pesquisadores norte-americanos influenciados por sua norma, prismas grauteados terão resistência à compressão menor que prismas vazios. Esta afirmação feita pelo autor contradiz os resultados obtidos em paredes grauteadas e não grauteadas por Garcia (2000), uma vez que a resistência à compressão em relação à área líquida das paredes grauteadas permaneceram constantes, para os dois tipos de grauteamento estudados e comparada com as paredes vazias, as últimas apresentaram resistência inferior.

No que diz respeito à resistência à compressão, em relação à área bruta, para os prismas construídos com a primeira argamassa (1:0,25:3) os valores encontrados foram de 12,56 MPa, 20,81 MPa, 19,53 MPa e 21,33 MPa, respectivamente para os prismas sem graute, com graute industrializado, graute com traço 1:1,98:1,98:0,60 e o último com graute de traço 1:3,08:2,72:1,00. Através de uma análise estatística, comparando os prismas grauteados, o autor concluiu que não houve diferença significativa entre estas resistências, ou seja, a resistência à compressão do graute, nesse caso, não exerceu influência na resistência final do prisma. Já para os prismas construídos com a segunda argamassa (1:1:6), as resistências encontradas foram 8,11 MPa, 12,28 MPa, 14,66 MPa, 17,94 MPa, respectivamente para os prismas sem graute, com graute industrializado, graute com traço 1:1,98:1,98:0,60 e graute de traço 1:3,08:2,72:1,00. Através da mesma análise estatística, nesse caso, o autor verificou que entre os prismas grauteados houve influência do graute na resistência dos prismas.

Desta forma, analisando os resultados obtidos com a argamassa mais rígida, traço 1:0,25:3, como já foi mencionado anteriormente, o preenchimento de prismas com grautes de diferentes resistências parece não influenciar na resistência final à compressão como mostra a

Figura 2.16. Assim, o comportamento dos prismas é o mesmo independente do graute utilizado.

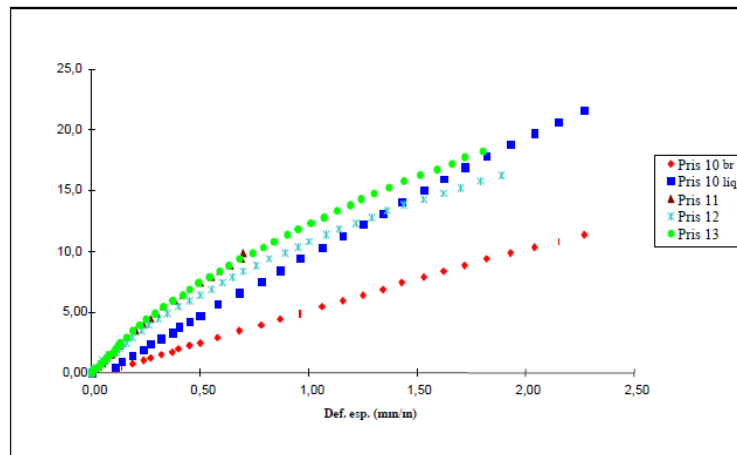


Figura 2.16 – Gráfico tensão x deformação típicos – Prismas com argamassa (1:0,25:3)
Fonte: Mendes (1998)

Já com os resultados de prismas construídos com a argamassa de traço 1:1:6, o autor constatou que os melhores resultados foram aqueles em que o módulo de deformação do graute era mais próximo do módulo de deformação da argamassa e consequentemente do prisma não grauteado em relação à sua área líquida. A Figura 2.17 mostra o gráfico para este tipo de argamassa com os grautes ensaiados. O autor afirmou que outros pesquisadores também observaram decréscimo na resistência à compressão do prisma com o aumento da resistência do graute. Com o aumento do módulo de deformação do graute, aumenta também a parcela de carga por ele absorvida, e como os coeficientes de Poisson de todos os grautes utilizados foram próximos, o graute submetido à maior parcela de carregamento vertical causará maiores tensões de tração no bloco, diminuindo a resistência do prisma.

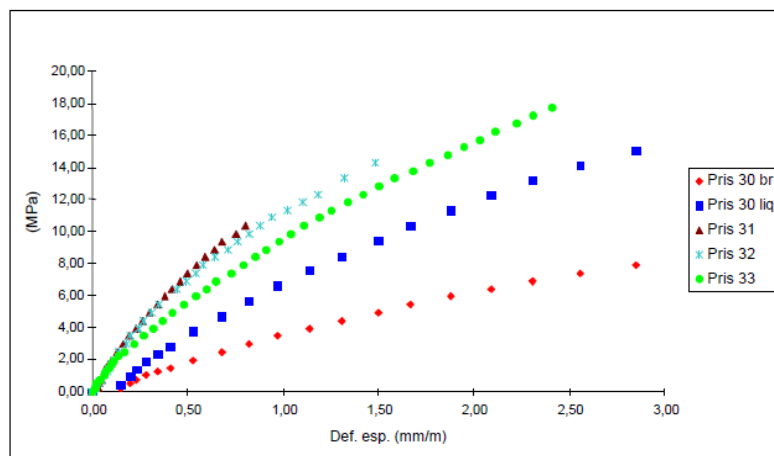


Figura 2.17 – Gráfico tensão x deformação típicos – Prismas com argamassa (1:1:6)
Fonte: Mendes (1998)

Portanto, o autor concluiu que a resistência da argamassa exerceu influência na resistência dos prismas não grauteados e grauteados. A relação que obteve melhor resistência foi aquela em que foi utilizada a argamassa mais rígida (resistência à compressão em torno de 20 MPa e módulo de elasticidade de 20,7 GPa) com o graute menos resistente (resistência à compressão em torno de 14 MPa e módulo de elasticidade de 22,7 GPa). Os resultados, portanto, não estão de acordo com os obtidos por Garcia (2000) que afirmou que a resistência do graute deve ser pelo menos igual à resistência do bloco em relação à sua área líquida. Assim, o autor afirmou que o melhor resultado foi obtido compatibilizando o módulo de elasticidade do graute com o módulo de elasticidade da argamassa. E a resistência ótima do graute é aquela próxima à do prisma em relação à sua área líquida.

Arantes (2003), também com o objetivo de avaliar a influência do graute na resistência à compressão da alvenaria, ensaiou 120 prismas conforme modelo apresentado na Figura 2.18 e com diferentes áreas de preenchimento conforme a Figura 2.19. A resistência média à compressão do bloco foi de 13,08 MPa e foram utilizados dois tipos de argamassa, uma considerada relativamente fraca (6,5 MPa) de traço 1:1:6 (A1) e a outra forte (18,8 MPa) de traço 1:0,25:3,75 (A2), ambos em volume. Foram estudados três tipos de grautes de resistência baixa (8,93 MPa), média (15,36 MPa) e alta (26,66 MPa) em comparação à resistência do bloco. Os traços, em volume, dos grautes estudados no trabalho foram 1:0,05:4,10:4,00 (G1), 1:0,05:3,06:2,70 (G2) e 1:0,10:1,90:1,93 (G3), de cimento, cal, areia e pedrisco, respectivamente.

As resistências da argamassa e do graute foram obtidas aos 14 dias de cura, uma vez que os prismas foram ensaiados também nessa idade. Nesse trabalho o autor fez uso do cimento portland de alta resistência inicial (CPV-32) por ser este encontrado mais facilmente no comércio local.



Figura 2.18 – Modelos de prismas utilizados
Fonte: Arantes (2003)

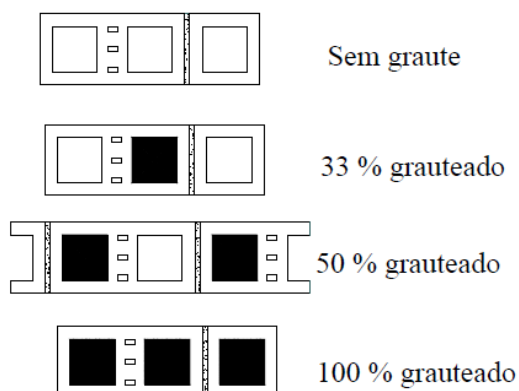


Figura 2.19 – Seção transversal dos prismas, com representação dos vazados grauteados
Fonte: Arantes (2003)

A Tabela 2.8 apresenta os resultados obtidos para a resistência à compressão dos prismas.

Tabela 2.8 – Resumo das resistências médias à compressão axial dos prismas

Resistência média dos prismas à compressão axial f_p (MPa) - área bruta									
% grauteamento		0		33		50		100	
Argamassa fa, 14 (MPa)		A1 6,50	A2 18,80	A1 6,50	A2 18,80	A1 6,50	A2 18,80	A1 6,50	A2 18,80
GRAUTE	G1 fg,14 = 8,93 MPa	7,35 (9,19)	7,66 (12,94)	8,07 (8,49)	8,65 (9,00)	8,04 (16,44)	9,34 (6,87)	11,58 (5,14)	13,30 (5,81)
	G2 fg,14 = 15,36 MPa	7,35 (9,19)	7,66 (12,94)	8,85 (11,87)	8,48 (6,34)	8,81 (9,35)	9,47 (7,25)	12,61 (5,38)	13,74 (4,74)
	G3 fg,14 = 26,66 MPa	7,35 (9,19)	7,66 (12,94)	8,67 (8,43)	8,93 (10,16)	8,33 (16,41)	10,06 (12,76)	13,59 (9,23)	15,25 (8,19)

Observações:

- Os valores entre parêntese correspondem aos coeficientes de variação dos prismas, em percentual;
- fa,14 = resistência à compressão da argamassa aos 14 dias;
- fg,14 = resistência à compressão do graute aos 14 dias.

Fonte: Arantes (2003)

De forma geral, o autor observou o efeito do confinamento pelos pratos da máquina nos prismas, uma vez que o sentido do deslocamento ocorreu do centro para as extremidades do prisma. Observou-se também a ocorrência da aderência do bloco no graute em vários prismas rompidos. E próximo às juntas de argamassa, entre o bloco e o graute, observaram-se vazios e fissuras.

Com base nos resultados, o autor concluiu que independente do tipo de graute utilizado, a influência da argamassa na resistência do prisma foi pequena, com aumento máximo de 21%, sendo que a argamassa era três vezes mais resistente que a outra. Mas o aumento na resistência da argamassa causou um ganho de rigidez no prisma, levando a uma ruptura explosiva.

Já o aumento na resistência do graute de 8,93 MPa para 26,66 MPa gerou um acréscimo cerca de 6% na resistência dos prismas parcialmente grauteados e 16% em prismas totalmente grauteados.

A maior resistência ocorreu em prismas com a argamassa mais forte (A2) e completamente preenchidos com o graute mais resistente (G3), com a resistência à compressão mais próxima da resistência do bloco na área líquida.

O próprio autor fez algumas considerações dos seus resultados comparando-os com os resultados encontrados por Mendes (1998). Assim, comparando os valores dos prismas construídos com a argamassa 1:1:6 utilizada por Mendes (1998), similar à sua argamassa A1, o autor observou uma inversão nos resultados. O aumento da resistência à compressão do graute de 13,94 MPa para 49,87 MPa no trabalho de Mendes (1998) acarretou no decréscimo de resistência à compressão dos prismas preenchidos com estes grautes, 17,94 MPa para 12,28 MPa. Já no trabalho de Arantes (2003), o aumento da resistência à compressão do graute, de 8,96 MPa para 26,66 MPa, fez com que a resistência à compressão dos prismas com 100% dos vazios preenchidos também aumentasse, de 11,58 MPa para 13,59 MPa. No entanto, para a argamassa de traço 1:0,25:3, similar à argamassa A2 utilizada por Arantes (2003), Mendes (1998) observou que não houve diferença significativa na resistência dos prismas grauteados, variando no máximo em 12%. E da mesma forma, o trabalho de Arantes (2003) obteve uma variação máxima de 15% na resistência à compressão dos prismas quando estes foram grauteados com grautes de diferentes resistências. O autor atribuiu a elevada resistência à compressão do bloco utilizado por Mendes (1998) como a causa da divergência encontrada nos valores na primeira argamassa.

Analisando o efeito do grauteamento dos blocos, Arantes (2003) observou que não houve diferença entre os resultados de prismas parcialmente preenchidos concluindo que a célula não grauteada dos prismas pode governar a ruptura dos mesmos.

Da mesma forma, recentemente Grohmann (2006) ensaiou 120 prismas de três fiadas variando os parâmetros área grauteada, argamassa e graute. A Figura 20 apresenta o esquema dos prismas com as áreas grauteadas.

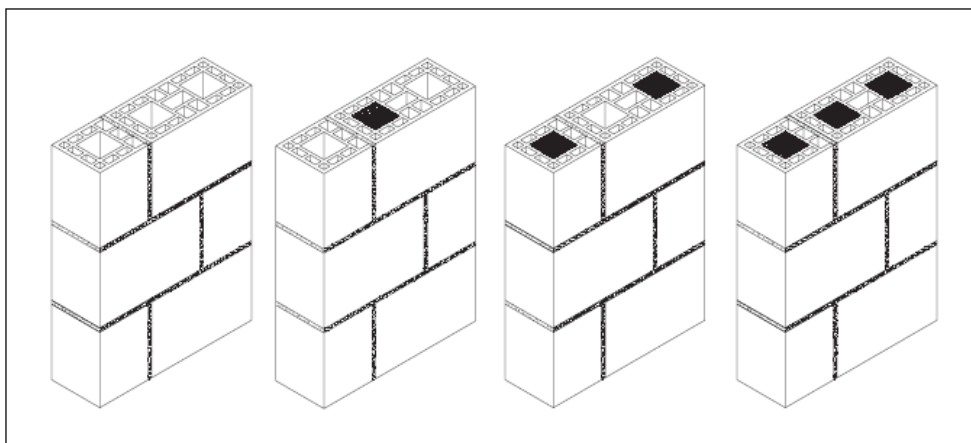


Figura 2.20 – Modelos de prismas com diferentes porcentagens de grauteamento
Fonte: Grohmann (2006)

A resistência média à compressão determinada para o bloco foi de 13,25 MPa. Os dois tipos de argamassa usados no trabalho foi com traço em massa de 1:0,51:6,86 e 1:0,13:4,12 tendo como resistência média à compressão 8,31 MPa e 18,35 MPa, respectivamente. Foram usados três tipos de graute com traços se referindo à proporção em massa de cimento, cal, areia e pedrisco escolhidos devido à grande diferença de suas resistências. Os traços foram 1:0,025:4,458:3,695, 1:0,025:3,086:2,639 e 1:0,025:1,714:1,847 com resistência à compressão, respectivamente de 7,98 MPa, 16,47 MPa e 24,38 MPa. Para cada tipo de graute, área grauteada e argamassa foram ensaiados seis corpos de prova.

Os resultados se referindo tanto à área bruta como também à área líquida se encontram nas Tabelas 2.9 e 2.10 abaixo.

Tabela 2.9 – Resultados da resistência à compressão dos prismas (área bruta)

	Oco		33%		66%		100%	
	A1 8,31	A2 18,35	A1 8,31	A2 18,35	A1 8,31	A2 18,35	A1 8,31	A2 18,35
G1 7,98			5,26 (12,72)	5,92 (22,06)	5,43 (13,47)	6,70 (8,22)	7,03 (6,35)	8,29 (13,13)
G2 16,47	5,56 (14,50)	6,44 (11,76)	5,49 (13,21)	7,23 (13,82)	5,48 (20,86)	7,15 (20,78)	6,29 (12,01)	8,25 (12,94)
G3 24,38			6,26 (9,85)	7,50 (16,30)	6,16 (14,42)	7,89 (17,20)	6,21 (17,41)	8,44 (18,37)

Observação: Os valores apresentados na tabela são as resistências médias (MPa) para a série de prismas e os valores entre parênteses são os coeficientes de variação (%)

Fonte: Grohmann (2006)

Tabela 2.10 – Resultados da resistência à compressão dos prismas (área líquida)

	Oco		33%		66%		100%	
	A1 8,31	A2 18,35	A1 8,31	A2 18,35	A1 8,31	A2 18,35	A1 8,31	A2 18,35
G1 7,98			10,54 (12,72)	11,87 (22,06)	8,54 (13,47)	10,64 (8,22)	9,11 (6,35)	10,74 (13,13)
G2 16,47	15,35 (14,50)	17,78 (11,76)	11,02 (13,21)	14,51 (13,82)	8,61 (20,86)	11,24 (20,78)	8,15 (12,01)	10,68 (12,94)
G3 24,38			12,56 (9,85)	15,05 (16,30)	9,68 (14,42)	12,41 (17,20)	8,04 (17,41)	10,93 (18,37)

Observação: Os valores apresentados na tabela são as resistências médias (MPa) para a série de prismas e os valores entre parênteses são os coeficientes de variação (%)

Fonte: Grohmann (2006)

Conforme observado por Mendes (1998) e contradizendo os resultados encontrados em paredes por Garcia (2000), a resistência em relação à área líquida de prismas grauteados é menor do que prismas ocos.

Com base nos resultados o autor chegou à conclusão que o tipo de argamassa usado na confecção dos prismas exerceu influência na resistência final destes. E à medida que os prismas eram preenchidos com grautes mais fortes, esta influência foi mais visível. O modo de ruptura dos prismas quando utilizada a argamassa mais fraca, na maioria das vezes foi de forma mais lenta, uma vez que esta tem maior capacidade de absorver deformações. Já quando utilizada argamassa mais forte, a ruptura ocorreu de forma brusca e explosiva. No caso de prismas grauteados, o autor observou que a ruptura sempre se deu através da expansão do graute que gerou tensões de tração na interface bloco/argamassa. Quando o graute era mais resistente, os prismas eram mais influenciados por estas tensões. De acordo com o autor, esta situação era ainda mais agravada quando todos os vazios eram preenchidos por causa do confinamento do graute.

Comparando os resultados dos prismas grauteados, a resistência à compressão dos grautes não foi muito significativa na resistência à compressão dos prismas, uma vez que o grande ganho de resistência entre os grautes gerou pouco acréscimo na resistência do prisma para ambas as argamassas utilizadas. No caso dos prismas em que todos os vazios foram preenchidos por graute, houve uma pequena perda na resistência dos prismas quando estes foram preenchidos com grautes mais resistentes para a argamassa mais fraca. No caso da argamassa mais forte, este comportamento não foi evidenciado. Como já foi mencionado, o autor explica que quando se preenchem todos os vazios do prisma, este é mais influenciado pelos estados de tensões causados pelo graute confinado no interior do prisma.

Em geral, considerando os prismas parcialmente grauteados o aumento das células grauteadas não foi significativo no aumento da resistência à compressão do prisma. O ganho efetivo de resistência ocorreu quando 100% dos vazios foram preenchidos com graute.

A série de ensaios que apresentou o melhor desempenho foi aquela em que os prismas foram totalmente preenchidos com o graute de maior resistência e assentados com argamassa de maior resistência.

Outros pesquisadores que estudaram a influência do grauteamento na resistência à compressão de prismas compostos por quatro blocos de concreto e cerâmico foram Scrivener e Backer (1998). Foram dois os tipos de prismas construídos, um com juntas amarradas e o outro com juntas a prumo. O bloco cerâmico tinha as seguintes dimensões: 150 x 127 x 263 mm (altura, largura e comprimento), com dois vazados de 68 x 83 mm e resistência à compressão, referida à área bruta, de 15,3 MPa. Foram ensaiados prismas com quatro tipos de graute designados por A, B, C e D. Para verificar a resistência à compressão, os autores ensaiaram corpos de prova de graute cilíndricos e extraídos do bloco. Como resultado, obtiveram os valores de resistência à compressão de corpos de prova cilíndrico de 0,3 MPa, 3,0 MPa, 16,4 MPa e 22 MPa, respectivamente, e para os corpos de prova extraídos 0,3 MPa, 3,1 MPa, 17,7 MPa e 20,3 MPa. É possível observar que os autores ensaiaram prismas preenchidos com graute de baixa resistência. A argamassa de traço 1:1:6 foi usada em todo o trabalho e sua resistência à compressão variou entre 6,3 e 7,6 MPa.

O modo de ruptura foi predominantemente por fendilhamento na vertical nos dois blocos centrais com ocasional descascamento das unidades adjacentes, ocorrendo nas laterais na maioria dos prismas. No entanto, naqueles preenchidos com grautes mais resistentes, ocorreu fissuração nas faces. Nos prismas cerâmicos, a primeira fissura ocorreu a partir de 80% da carga de ruptura. A Tabela 2.11 apresenta os resultados de resistência à compressão.

Tabela 2.11 – Resistência à compressão de prismas

Tipo de bloco	Arranjo do prisma	Resistência do graute em cilindro (MPa)	Carga de ruptura do prisma (kN)	Coef. Variação (%)	Módulo de Elasticidade (MPa x 10 ³)
Cerâmico	À prumo	-	350	12	-
		0,3	286	10	6
		3,0	393	6	7
		16,4	360	20	7
		22,0	464	12	7
	Com amarração	-	360	7	-
		16,4	392	3	8
		22,0	402	7	8

O módulo de elasticidade medido corresponde ao módulo secante da origem até o ponto da curva tensão deformação em que o coeficiente deixa de ser linear.

Fonte: Scrivener e Backer (1998)

Com relação aos resultados de resistência à compressão, os autores concluíram que apenas uma parcela da resistência do graute é que contribui para a resistência à compressão do prisma. Foi observado que, independente da resistência à compressão do graute, sua presença no interior do prisma fez com que caísse a resistência deste, pois altas tensões de tração foram desenvolvidas nas faces dos blocos. E quanto mais resistente for o graute menor é a sua contribuição percentual na resistência do prisma. A resistência à compressão dos corpos de prova de graute extraídos foi próxima aos corpos de prova moldados em cilindros, mas não para todos os tipos de graute. O fato de não ter causado ganho na resistência, quando os corpos de prova foram extraídos dos blocos, foi um resultado inesperado, pois seria natural que as unidades, ao absorverem água do graute, reduzindo a relação água/cimento, produziram aumento na resistência à compressão. Foi observada apenas uma pequena diferença entre as resistências dos prismas construídos com juntas amarradas e os construídos a prumo.

Kingsley, Tulin e Noland (1985) estudaram como as propriedades do bloco cerâmico, a técnica de assentamento e a composição do graute podem influenciar a qualidade do graute na alvenaria.

Estudou-se a composição do graute, variando o teor de água/cimento da mistura, o tipo de agregado utilizado, graúdo e miúdo, e também o uso de aditivos. A técnica de lançamento foi estudada variando o método e o tempo de vibração do graute. A propriedade do bloco estudada foi sua absorção de água.

O programa experimental consistiu no estudo em que foram variadas a composição e a técnica de assentamento do graute até que um procedimento de assentamento resultasse em

um graute no interior da alvenaria sem fissuras de retração. A qualidade do graute foi avaliada visualmente, sendo que eram cortados verticalmente os blocos com o graute em seu interior para a inspeção. Uma vez definido o procedimento de assentamento, os autores objetivaram uma posterior etapa de estudos em que este procedimento fosse mantido constante e fosse avaliado o efeito da variação da relação água/cimento e da absorção do bloco na resistência do graute e também na resistência de aderência da interface graute e alvenaria.

Os autores concluíram que a vibração mecânica foi a mais satisfatória. Para blocos com alta taxa de absorção ou grautes com baixa quantidade de água, o graute pode se tornar rapidamente muito rígido dificultando seu processo de vibração logo após o seu lançamento. Os autores comentam que este procedimento pode destruir o graute uma vez realizado na hora errada.

Os aditivos que melhor diminuíram a fissuração do graute tanto eliminaram a sua causa permitindo um decréscimo na quantidade inicial de água sem a perda da trabalhabilidade do graute como também a neutralizaram causando uma ligeira ação expansiva no graute. O aditivo de melhor desempenho foi a combinação de pó de alumínio, plastificante e um agente de retenção de água chamado *graut aid*. Aditivos que melhoram a retenção de água ou a trabalhabilidade do graute tiveram pouco efeito na sua retração. A absorção do bloco teve pouco efeito na dimensão e no número de fissuras de retração no graute. No entanto, bloco com elevado poder de sucção, por retirarem rapidamente água do graute, afetaram o tempo disponível para a vibração.

A quantidade de água absorvida do graute pelo bloco aparentemente é função da quantidade inicial de água do graute e não da propriedade de absorção do bloco. Assim, quanto mais água contiver o graute, mais água será absorvida pela alvenaria, ocorrendo mais retração. Grautes com agregados graúdos mostraram menor retração do que grautes com agregados finos. E por fim, valores mais realísticos de resistência à compressão podem ser obtidos removendo graute de prismas.

Outro fator que exerce grande influência na resistência da alvenaria grauteada é a interação entre o bloco e o graute. Esta aderência depende das propriedades tanto do bloco como do graute, como absorção de água do bloco, índice de absorção inicial e quantidade de água presente no graute. Apesar da importância deste fenômeno, existem poucas pesquisas que tratam do assunto. Desta forma, serão relatadas as pesquisas encontradas, independente do material do bloco utilizado, concreto ou cerâmico.

Oliveira (1994) estudou a interação bloco-graute em blocos de concreto e concluiu que na dosagem do graute deve-se levar em consideração a resistência de aderência do conjunto e não apenas a sua resistência à compressão.

Considerando a ruptura da interface bloco-graute, o autor concluiu que esta se dá pelo deslizamento desse plano, pois são originadas tensões internas devido às propriedades de deformações distintas quando a estrutura é solicitada. É fortemente influenciada pelas irregularidades, a níveis microscópicos e macroscópicos, da superfície de contato, pois são estas irregularidades que impossibilitam o deslizamento e uma vez que elas não existem ou foram rompidas, ocorre a ruptura da aderência. O autor aponta também a retração inicial como fator que interfere na resistência de aderência, pois os vazios que surgem na interface favorecem o deslizamento.

Uma vez no interior do bloco, o graute se torna heterogêneo, pois, além da exsudação, ocorre a sucção de água pelo bloco provocando aumento da relação água/cimento no graute, na região de contato com o bloco. Este aumento da porosidade nessa região favorece a ocorrência de fissuras e sua propagação.

O autor desenvolveu uma metodologia de ensaio e propôs um modelo empírico capaz de avaliar a resistência de aderência entre o bloco e o graute levando em consideração os principais fatores ligados ao graute que interferem nessa interação: a relação água/cimento e a granulometria dos agregados. Assim, os grautes foram preparados com agregados de diferentes granulometrias mantendo sempre a relação 1:2,5:2,5 (Cimento, areia e pedrisco). Foi mantido no ensaio de abatimento de tronco de cone um slump fixo de $210 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ e, para tanto, foram utilizados fatores de água/cimento de 0,55 – 0,60 – 0,75 – 0,85. A relação água/cimento de 0,55 e 0,60 foi possível com a utilização de aditivo fluidificante. Foram preenchidos 3 blocos, resultando em 6 valores individuais de cada mistura, já que o trabalho foi dividido em duas séries, variando-se as condições de cura de cada uma.

O autor observou que houve diferença nos resultados encontrados para as diferentes misturas estudadas e, portanto, um modelo que represente a resistência de aderência deve considerar a influência tanto da relação água/cimento, da granulometria dos agregados utilizados como também da interação destas duas variáveis.

Assim, o autor concluiu que a resistência de aderência aumenta até um máximo para, em seguida, diminuir com o aumento da área específica dos agregados. O aumento da relação água/cimento, por um lado permite ao graute uma quantidade de água suficiente para hidratar o cimento, mesmo após a perda de água para o bloco, mas o excedente causa uma retração plástica que muito influencia na resistência de aderência. A redução da relação água/cimento,

apesar de minimizar a retração plástica, pode causar insuficiência de água para hidratação do cimento nas proximidades da interface. Apesar disto, o autor concluiu que a diminuição da relação água/cimento melhora a resistência de aderência, uma vez que a retração plástica é um fenômeno bem mais importante no prejuízo à aderência.

2.3 COMENTÁRIOS DO CAPÍTULO

Este capítulo teve como objetivo levantar o estado da arte dos temas relacionados com a presente pesquisa. Inicialmente julgou-se importante avaliar as características individuais dos componentes da alvenaria: bloco, argamassa e graute para entender melhor a influência de cada um separadamente no desempenho da alvenaria estrutural. Em seguida foi estudada a interação existente entre o bloco e argamassa para entender os efeitos que a ausência da argamassa na parede de alvenaria pode causar em sua resistência. Como de fato ocorre uma aderência entre a argamassa e o bloco e uma resistência relacionada a esta interação, é de se esperar que o não preenchimento da junta vertical possa comprometer parte da resistência da alvenaria, principalmente em sua resistência ao cisalhamento.

Considerando os trabalhos desenvolvidos para estudar o não preenchimento da junta vertical os resultados se mostraram conflitantes. Com relação ao comportamento da alvenaria considerando sua resistência à compressão Passos, Santos e Carvalho (2002) e Santos (2001) que concluíram que houve perda da resistência à compressão quando não preenchidas as juntas verticais apresentaram comparações entre as médias sem desenvolver um estudo estatístico com os resultados. Já Vilató (2004) fez uma análise estatística com os seus resultados e concluiu que a diferença encontrada não foi significativa, ou seja não houve influência na resistência à compressão quando não preenchidas as juntas verticais. Com relação à resistência ao cisalhamento Vilató (2004) avaliou a influência da junta vertical variando a resistência do bloco em pequenas paredes e a pré-compressão em paredes. O autor concluiu que na medida em que aumentou a resistência do material o fator tipo de junta passou a ser significativo na resistência ao cisalhamento para um mesmo nível de pré-compressão. Com relação à variação da pré-compressão empregada nas paredes, considerando a formação da primeira fissura como o estado limite, o não preenchimento da junta vertical passou a ser significativo com o aumento do nível de pré-compressão. Já Santos (2001) afirmou que a pré-compressão exerceu influência na diferença encontrada nos valores de resistência e que para o maior nível de pré-compressão empregado, o não preenchimento da junta vertical pouco influenciou na resistência ao cisalhamento, contradizendo os resultados

de Vilató (2004). Cavalheiro, Pozzobon e Santos (2000) estudaram o não preenchimento da junta vertical em relação à resistência ao cisalhamento através de ensaios de compressão diagonal e concluíram que o fator tipo de junta utilizado exerceu influência. Assim, dependendo dos materiais utilizados na pesquisa e das condições do ensaio, os autores chegaram a diferentes conclusões.

Pesquisadores como Gomes (1983), Camacho (1995) e Garcia (2000) que avaliaram a influência do graute na alvenaria de bloco cerâmico concluíram em seus estudos que a resistência do graute deveria ser no mínimo a resistência do bloco em relação à sua área líquida. No entanto, Mendes (1998), Arantes (2003) e Grohmann (2006) concluíram que um aumento significativo da resistência do graute não gerou acréscimo na resistência dos prismas quando utilizada uma argamassa forte. Mendes (1998) e Grohmann (2006) obtiveram como resultados em prismas confeccionados com argamassa fraca que o acréscimo de resistência do graute acarretou em uma perda da resistência do prisma grauteado.

Os resultados conflitantes obtidos pelos pesquisadores ao longo dos anos mostram que as propriedades dos materiais bloco, argamassa e graute, bem como a interação existente entre elas devem ser pesquisadas para o melhor entendimento do comportamento da alvenaria.

3 CAPÍTULO

PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 METODOLOGIA

O programa experimental consistiu em avaliar a influência do não preenchimento das juntas verticais, no que se refere à resistência à compressão e ao cisalhamento. Objetivou também estudar o efeito do grauteamento na resistência à compressão da alvenaria de blocos cerâmicos. Para tanto foram construídos prismas e pequenas paredes que foram ensaiados no Laboratório de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos – USP. Para averiguar a influência dos parâmetros estudados e estabelecer uma comparação entre os resultados de resistência final obtida nos prismas e nas pequenas paredes foi feita uma análise estatística, utilizando o Teste F e o Teste T, que será detalhada no capítulo de resultados.

Os modelos experimentais foram divididos em cinco séries, das quais as três primeiras correspondem às séries de compressão e as outras duas correspondem às séries de cisalhamento em pequenas paredes. Assim as cinco séries foram:

- 1ª série – determinação da resistência à compressão em pequenas paredes assentadas com juntas verticais preenchidas;
- 2ª série – determinação da resistência à compressão em pequenas paredes assentadas com juntas verticais não preenchidas;
- 3ª série – determinação da resistência à compressão em pequenas paredes assentadas com juntas verticais preenchidas e grauteamento dos blocos;
- 4ª série – determinação da resistência ao cisalhamento em pequenas paredes assentadas com juntas verticais preenchidas;
- 5ª série – determinação da resistência ao cisalhamento em pequenas paredes assentadas com juntas verticais não preenchidas;

As Figuras 3.1, 3.2 e 3.3 mostram um esquema detalhado do assentamento das pequenas paredes das séries de compressão e as Figuras 3.4 e 3.5 das séries de cisalhamento. A diferença das dimensões das pequenas paredes das séries de compressão com as das séries de cisalhamento se deve pela primeira estar de acordo com a NBR 15812-2 (ABNT, 2010), que traz a metodologia de ensaio para determinar a resistência à compressão da alvenaria de

bloco cerâmico, e com relação ao ensaio de resistência ao cisalhamento, a metodologia é especificada pela NBR14321 (ABNT,1999). A normalização brasileira apresenta o ensaio de compressão diagonal para avaliar a resistência ao cisalhamento.

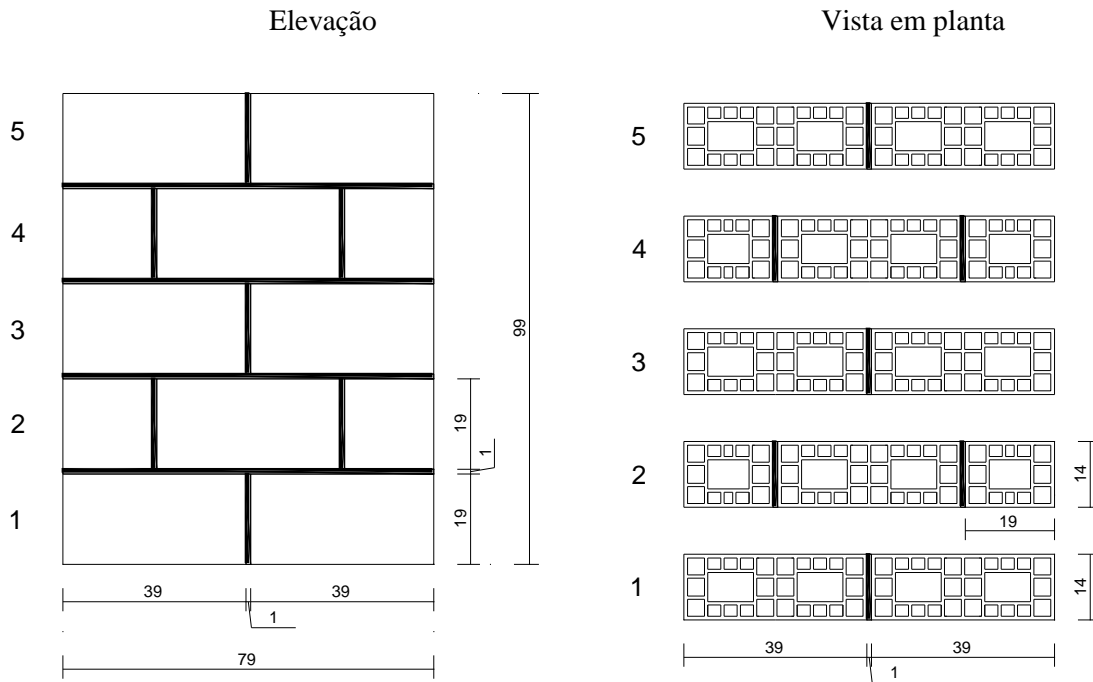


Figura 3.1 – Esquema da pequena parede construída conforme a 1ª série

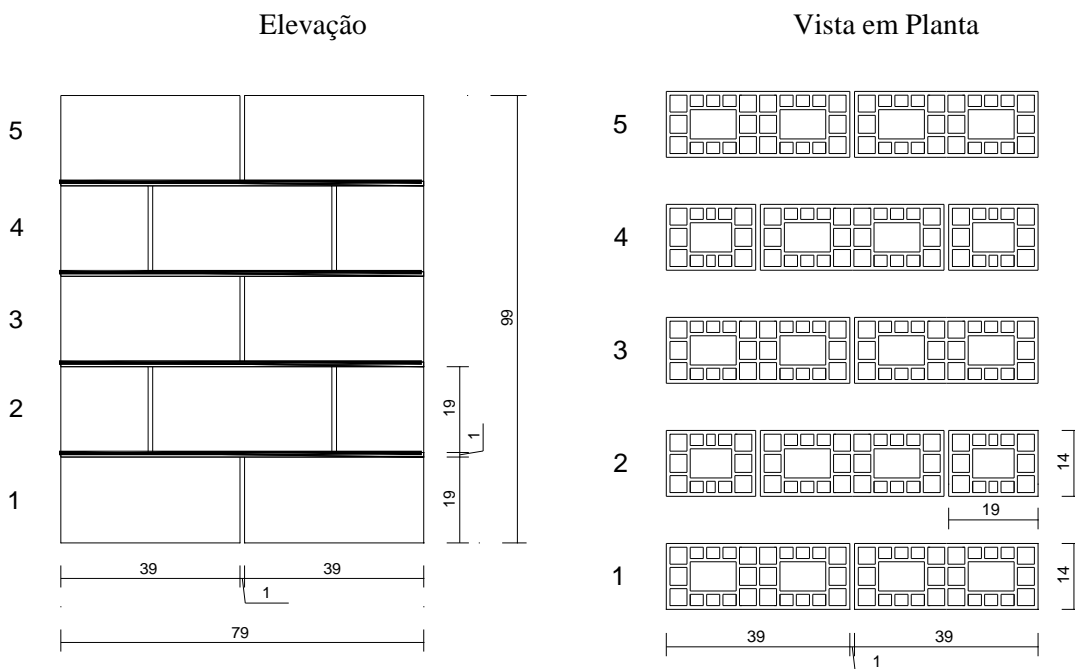


Figura 3.2 – Esquema da pequena parede construída conforme a 2ª série

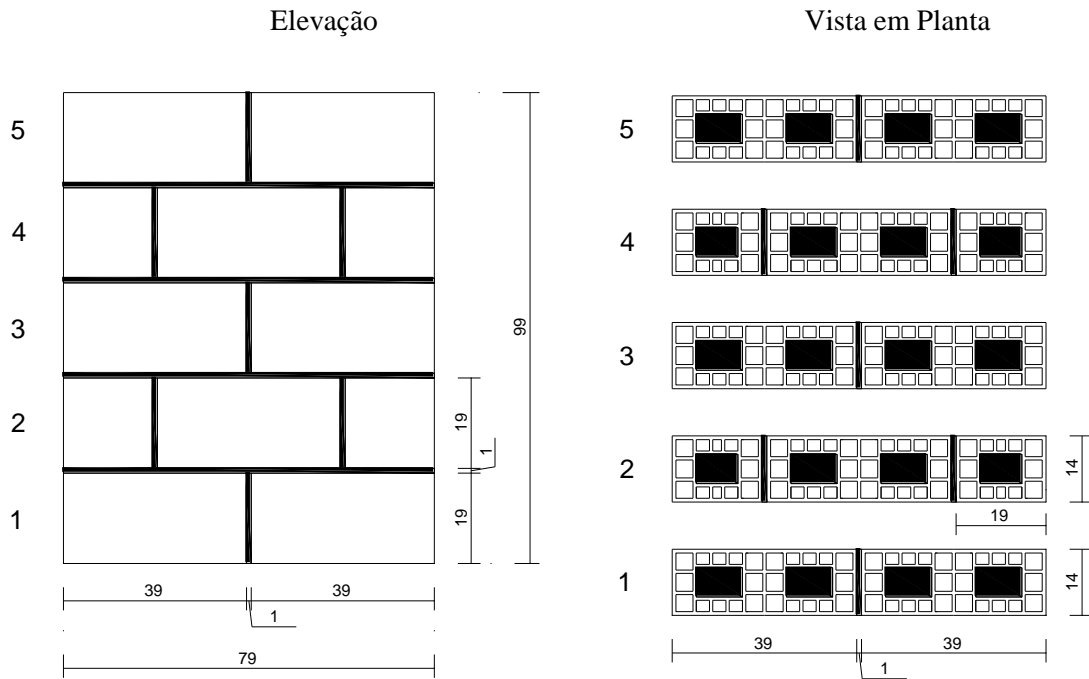


Figura 3.3 – Esquema da pequena parede construída conforme a 3ª série

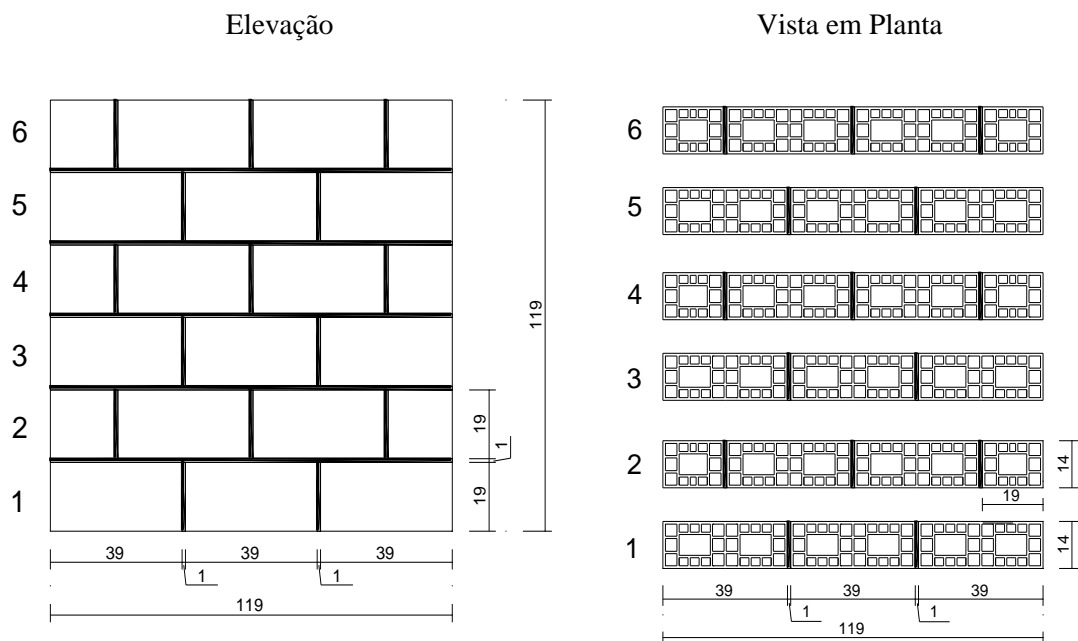


Figura 3.4 – Esquema da pequena parede construída conforme a 4ª série

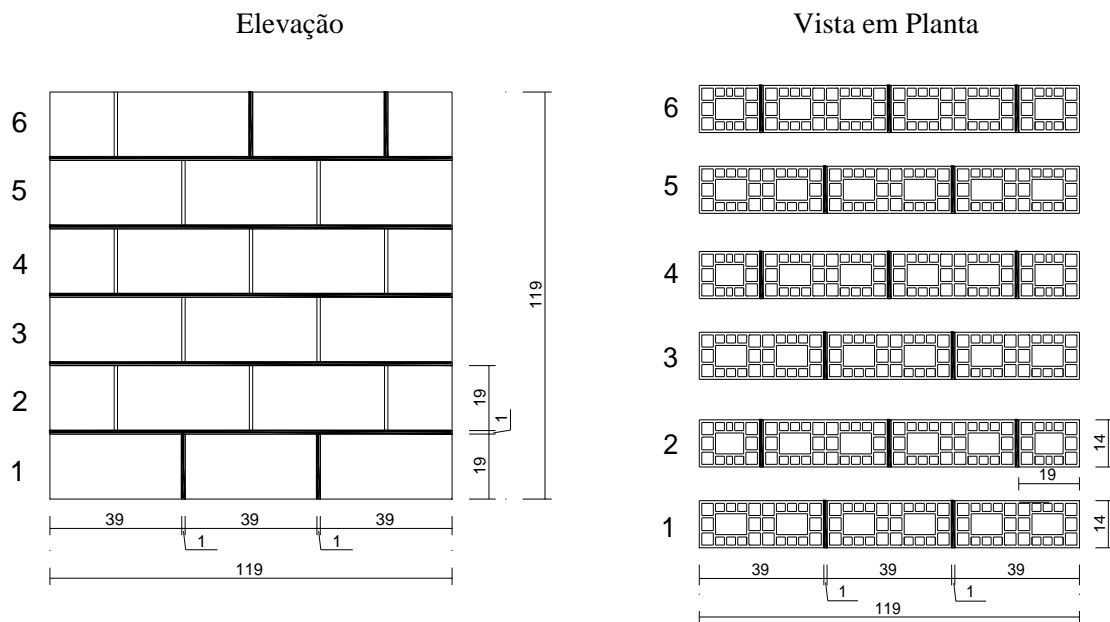


Figura 3.5 – Esquema da pequena parede construída conforme a 5ª série

Nas séries que avaliaram a resistência à compressão foram moldados prismas constituídos de dois blocos. A opção por este tipo de prisma se deu por ser este o estabelecido pela norma brasileira para determinar e controlar a resistência da alvenaria. Desta forma, os prismas das duas primeiras séries foram construídos da mesma forma. Apenas o prisma da terceira série apresentou como diferencial o preenchimento dos seus vazios com graute. As Figuras 3.6 e 3.7 mostram um esquema detalhado dos prismas de cada série ensaiados à compressão.

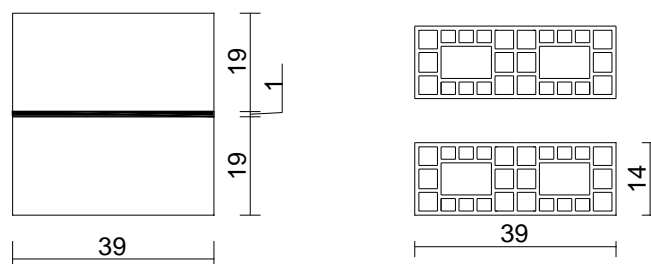


Figura 3.6 – Esquema do prisma construído para as 1ª e 2ª séries

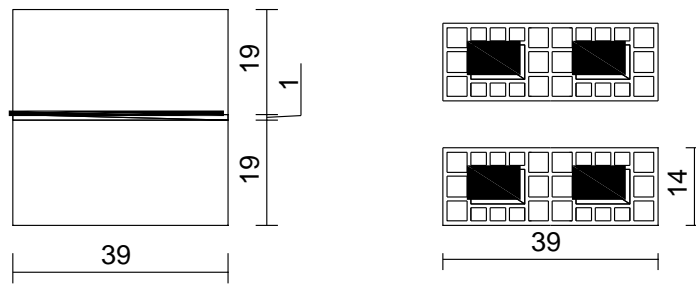


Figura 3.7 – Esquema do prisma construído para a 3ª série

O graute escolhido para a execução da 3ª série seria, inicialmente, aquele dentre os dois apresentados no Apêndice A, que ao preencher os vazios dos prismas fornecesse a maior resistência para o mesmo. No entanto, os dois grautes forneceram prismas com resistências equivalentes como mostra os resultados no Apêndice A. Sendo assim, foi escolhido o graute A, o de menor resistência à compressão, por ter menos cimento em sua composição e, portanto o mais econômico para ser investigado mais detalhadamente com a construção das pequenas paredes.

Para obter a resistência à compressão e o módulo de elasticidade do graute foram ensaiados corpos de prova cilíndricos de dimensões 10 x 20 (diâmetro x altura, em cm). E para avaliar a influência da perda de água do graute para o bloco, foram moldados corpos de prova prismáticos de graute utilizando o bloco como forma, que posteriormente foram extraídos e ensaiados.

Em todas as séries foram moldados corpos de prova cilíndricos de dimensões 5 x 10 (diâmetro x altura, em cm) de argamassa para controle de sua resistência à compressão.

A Figura 3.8 abaixo apresenta um esquema com o número de corpos de prova utilizado nas séries de compressão.

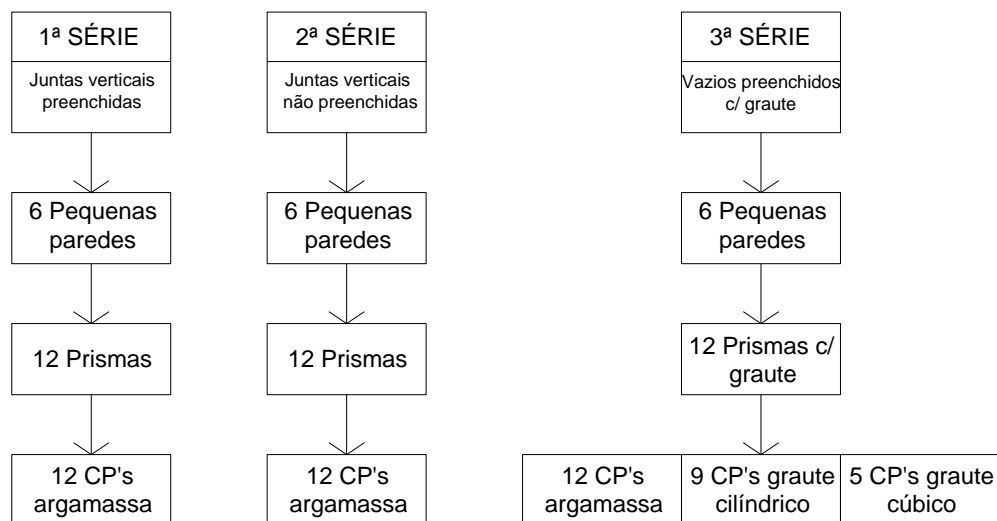


Figura 3.8 – Esquema com o número de corpos de prova das séries de compressão

Da mesma forma, a Figura 3.9 apresenta o número de corpos de prova utilizado em cada série de cisalhamento.

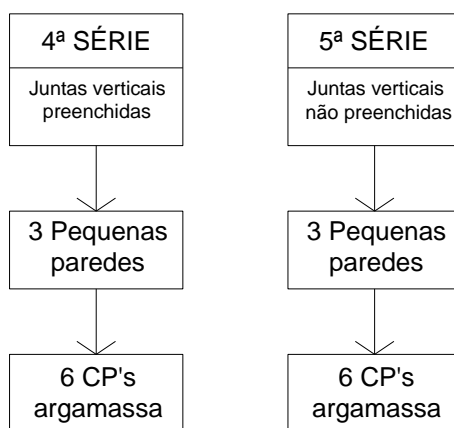


Figura 3.9 – Esquema com o número de corpos de prova das séries de cisalhamento

Os ensaios dos prismas e pequenas paredes, bem como do graute foram feitos na máquina universal de ensaios mecânicos, servo-hidráulica da marca INSTRON e modelo 8506, com o sistema de aquisição de dados SYSTEM 5000. Já as argamassas de controle foram ensaiadas na ELE com exceção das argamassas das séries de cisalhamento (4ª e 5ª série), que também foram ensaiadas na INSTRON.

O tempo de cura de todos os corpos de prova respeitou o limite mínimo de 28 dias. Os corpos de prova de argamassa e graute foram armazenados na câmara úmida do laboratório

até o dia do ensaio. Já as pequenas paredes e prismas foram curados em ambiente coberto do laboratório.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS

3.2.1 BLOCOS

Os blocos utilizados em todo o programa experimental foram doados pela empresa Cerâmica City. O lote dos blocos foi recebido no dia 04 de fevereiro de 2011 e foram armazenados em um galpão coberto sobre suportes de madeira como apresenta a Figura 3.10.



Figura 3.10 – Armazenamento do lote dos blocos

O bloco foi classificado como estrutural de paredes vazadas. Como é estabelecido pela NBR 15270-2 (ABNT, 2005), no instante do recebimento do lote, os blocos foram inspecionados e não apresentaram defeitos como quebras e superfícies irregulares. Além destas características visuais, requisitos de identificação como nome da empresa, rastreabilidade do lote, as letras EST, que indicam a condição de bloco estrutural, e também as dimensões de fabricação foram observados em todo o lote. Feita esta avaliação inicial, para determinar as características dos blocos, eles foram ensaiados de acordo com a NBR 15270-3 (ABNT, 2005). Assim avaliaram-se suas propriedades geométricas como: dimensões efetivas, espessuras dos septos e das paredes externas, desvio em relação ao esquadro, planeza das faces, área bruta e área líquida; suas propriedades físicas: absorção de água e massa seca, como também suas propriedades mecânicas: resistência à compressão. Além destas

características, a referida norma em seu Anexo E traz a metodologia para determinar o índice de absorção inicial do bloco. Através do ensaio de resistência à compressão, determinou-se também o seu módulo de elasticidade. As propriedades dos blocos foram verificadas de acordo com os requisitos de tolerância estabelecidos pela NBR 15270-2 (ABNT, 2005). A Tabela 3.1 a seguir traz o número de elementos utilizados na amostragem do lote para cada ensaio realizado.

Tabela 3.1 – Número de elementos da amostra dos ensaios de caracterização

PROPRIEDADE	Nº DE ELEMENTOS DA AMOSTRA
Propriedades Geométricas	13
Propriedades Físicas	6
Propriedades Mecânicas	13
Índice de Absorção inicial	6

3.2.1.1 Propriedades Geométricas

A metodologia utilizada para determinação das propriedades geométricas dos blocos se encontra no Anexo A da NBR 15270-3 (ABNT, 2005).

a) Dimensões efetivas

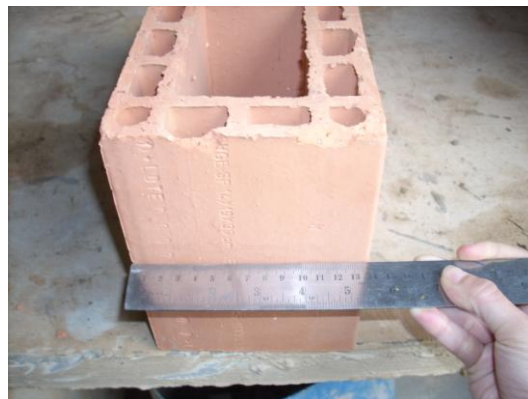
A Tabela 3.2 apresenta o resultado da média de duas leituras feita para a largura, altura e comprimento na amostra de blocos. Utilizou-se como instrumento para obter estas medidas a régua metálica com sensibilidade de 0,5 mm como mostra a Figura 3.11 abaixo.

Tabela 3.2 – Média de duas leituras da largura, altura e comprimento

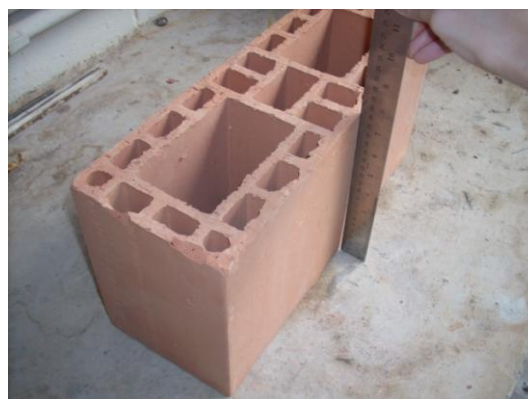
CP	LARGURA (mm)	ALTURA (mm)	COMPRIMENTO (mm)
CP 01	139,50	190,75	388,25
CP 02	139,90	191,50	390,45
CP 03	139,00	191,00	388,50
CP 04	138,50	190,50	388,00
CP 05	138,50	189,50	388,50
CP 06	138,75	190,50	389,00
CP 07	138,25	190,75	389,50
CP 08	139,00	189,75	390,00
CP 09	137,75	190,50	388,00

Continua

CP	LARGURA (mm)	ALTURA (mm)	Conclusão
			COMPRIMENTO (mm)
CP 10	139,00	189,50	388,25
CP 11	138,00	190,25	388,75
CP 12	139,25	190,75	389,75
CP 13	138,50	189,25	389,00
MÉDIA	138,76	190,35	388,92



(a) Largura



(b) Altura



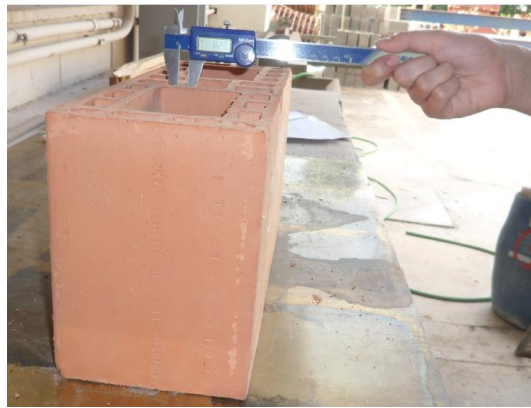
(c) Comprimento

Figura 3.11 – Determinação das dimensões do bloco: (a) largura, (b) altura e (c) comprimento

Conforme estabelecido pela NBR 15270-2 (ABNT, 2005) a tolerância para as leituras individuais é de ± 5 mm e para a média total da amostragem é de ± 3 mm. Assim, considerando que as dimensões nominais dos blocos utilizados no trabalho são 140 x 190 x 390 mm, os resultados mostram a conformidade do lote neste requisito.

b) Espessuras dos septos e das paredes externas

As medições das espessuras dos septos e das paredes externas se deram utilizando o paquímetro de sensibilidade de 0,05 mm em quatro pontos conforme recomenda a NBR 15270-3 (ABNT, 2005). A Figura 3.12 mostra o procedimento realizado.



(a) Espessura dos septos



(b) Espessura das paredes externas

Figura 3.12 – Determinação das espessuras: (a) septos e (b) paredes externas

As Tabelas 3.3 e 3.4 apresentam, respectivamente, os resultados obtidos para as leituras das espessuras dos septos e das paredes externas.

Tabela 3.3 – Leitura das espessuras dos septos

CP	1ª Medida (mm)	2ª Medida (mm)	3ª Medida (mm)	4ª Medida (mm)
CP 01	8,18	7,26	8,64	7,90
CP 02	8,28	7,64	9,17	8,30
CP 03	7,20	9,56	7,75	8,62
CP 04	7,59	7,55	7,45	8,27
CP 05	7,26	9,68	7,69	8,59
CP 06	7,62	7,77	7,05	8,69
CP 07	7,33	9,01	8,33	8,10
CP 08	7,60	8,47	7,79	7,64
CP 09	7,54	8,13	7,64	8,45
CP 10	7,02	8,78	8,19	8,04
CP 11	8,14	9,11	7,20	8,81
CP 12	8,76	8,96	7,66	8,18
CP 13	8,35	9,08	7,3	8,59

Tabela 3.4 – Leitura das espessuras das paredes externas

CP	1ª Medida (mm)	2ª Medida (mm)	3ª Medida (mm)	4ª Medida (mm)
CP 01	9,36	8,13	8,58	8,56
CP 02	8,80	8,18	9,28	8,76
CP 03	8,88	8,28	9,05	8,34
CP 04	8,59	8,53	8,76	9,60
CP 05	9,04	8,23	9,14	8,56
CP 06	8,68	8,07	9,05	8,96
CP 07	8,40	8,26	8,39	8,20
CP 08	8,74	8,53	8,35	8,55
CP 09	9,26	9,40	9,36	8,11
CP 10	8,99	8,50	8,06	8,52
CP 11	8,93	8,14	8,30	9,20
CP 12	8,69	8,45	8,68	8,94
CP 13	9,24	8,24	8,72	9,18

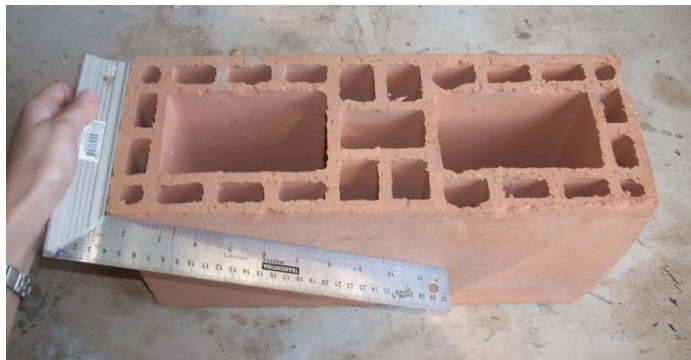
A NBR 15270-2 (ABNT, 2005) estabelece como espessura mínima dos septos 7 mm e para as paredes externas 8 mm, desta forma todos os resultados estão de acordo com os requisitos da norma.

c) Desvio em relação ao esquadro e planeza das faces

Para a determinação destas medidas utilizou-se o esquadro metálico de 90° e o paquímetro com sensibilidade de 0,05 mm conforme apresenta a Figura 3.13.



(a) Desvio em relação ao esquadro



(b) Planeza das faces

Figura 3.13 – Determinação: (a) desvio em relação ao esquadro e (b) planeza das faces

A Tabela 3.5 apresenta os valores do desvio em relação ao esquadro e da planeza das faces.

Tabela 3.5 – Leitura do desvio em relação ao esquadro e da planeza das faces

CP	Desvio em relação ao esquadro (mm)	Planeza das faces (mm)
CP 01	2,98	1,53
CP 02	1,91	2,62
CP 03	1,57	1,61
CP 04	1,84	1,14
CP 05	1,06	1,52
CP 06	2,45	1,11
CP 07	1,62	1,45
CP 08	2,97	1,00
CP 09	2,48	1,95

Continua

CP	Desvio em relação ao esquadro (mm)	Conclusão
		Planeza das faces (mm)
CP 10	1,45	1,05
CP 11	2,83	1,74
CP 12	2,43	1,33
CP 13	2,31	0,92

A NBR 15270-2 (ABNT, 2005) coloca como valor máximo tanto para o desvio em relação ao esquadro e a planeza das faces o limite de 3 mm. Desta forma, todos os valores obtidos atendem à norma.

d) Área bruta e área líquida

Obteve-se a área bruta dos blocos pelo produto entre a largura e o comprimento. Uma vez feita estas medições, os blocos foram imersos em água na temperatura ambiente por 24 h. Após este período os blocos foram pesados imersos em água para obter o valor da sua massa aparente m_a , como apresenta a Figura 3.14.



Figura 3.14 – Determinação da massa aparente (m_a) do bloco

Em seguida, foram retirados, secos superficialmente e pesados na balança para obter a massa saturada m_u conforme ilustra a Figura 3.15.



Figura 3.15 – Determinação da massa saturada (m_u) do bloco

A área líquida foi então calculada de acordo com a Equação 3.1 abaixo.

$$A_{liq} = \frac{(m_u - m_a)}{\gamma \times H} \quad (3.1)$$

Em que,

A_{liq} – área líquida do bloco, em centímetros quadrados;

m_u – massa do bloco saturado, em gramas;

m_a – massa aparente do bloco, em gramas;

H – altura do bloco, em centímetros;

γ – massa específica da água, tomada como 1, em gramas por centímetro cúbico.

A Tabela 3.6 abaixo apresenta os valores obtidos para a massa do bloco saturado, a massa aparente, sua altura, a área líquida, área bruta e também a relação entre as áreas.

Tabela 3.6 – Massa do bloco saturado, massa aparente, altura, área líquida, área bruta e relação entre áreas

CP	m_u (g)	m_a (g)	H (cm)	A_{liq} (cm ²)	A_{bruta} (cm ²)	A_{liq} / A_{bruta}
CP 01	7734	4105,1	19,075	190,24	541,57	0,351
CP 02	7827	4740,5	19,150	161,17	546,20	0,295
CP 03	7737	4084,5	19,100	191,23	540,02	0,354
CP 04	7765	4109,5	19,050	191,89	537,38	0,357
CP 05	7725	4075,2	18,950	192,60	538,07	0,358
CP 06	7740	4082,4	19,050	192,00	539,74	0,356
CP 07	7844	4121,3	19,075	195,16	538,48	0,362
CP 08	7818	4149,7	18,975	193,32	542,10	0,357
CP 09	7781	4149,2	19,050	190,65	534,47	0,357
CP 10	7800	4140,3	18,950	193,12	539,67	0,358
CP 11	7788	4119,6	19,025	192,82	536,48	0,359
CP 12	7741	4090,0	19,075	191,40	542,73	0,353
CP 13	7759	4116,9	18,925	192,45	538,77	0,357
MÉDIA	7774	4160,3	19,035	189,85	539,67	0,352

A NBR 15270-2 (ABNT, 2005) não menciona valores limites para a relação entre a área líquida e a área bruta, no entanto a literatura apresenta outros autores que também obtiveram área líquida como 35% da área bruta.

3.2.1.2 Propriedades Físicas

A metodologia utilizada para determinação das propriedades físicas dos blocos se encontra no Anexo B da NBR 15270-3 (ABNT, 2005).

a) Massa seca e índice de absorção de água

Para a determinação do índice de absorção de água foi necessário primeiramente determinar a massa seca de cada bloco. Desta forma os blocos foram colocados em estufa por 24 h e após este período foram pesados, em intervalos de 1h, até que sua massa não diferisse em mais de 0,25%. A Figura 3.16 apresenta os passos do procedimento adotado.



Figura 3.16 – Bloco seco em estufa e determinação de sua massa seca

Uma vez determinada a massa seca, os blocos foram imersos em água a temperatura ambiente por 24 h como mostra a Figura 3.17.



Figura 3.17 – Bloco submerso em água para determinação da massa úmida (m_u)

Com o excesso de água removido de sua superfície, utilizando-se um pano úmido, obteve-se a massa úmida ou saturada pesando-se o bloco. O índice de absorção de água foi então calculado pela Equação 3.2. A Tabela 3.7 abaixo apresenta os valores da massa úmida, massa seca e do índice de absorção de água do bloco.

$$AA(\%) = \frac{(m_u - m_s)}{m_s} \times 100 \quad (3.2)$$

Em que,

$AA(\%)$ – índice de absorção de água, em porcentagem;

m_u – massa do bloco saturado, em gramas;

m_s – massa do bloco seco, em gramas.

Tabela 3.7 – Massa do bloco seco, massa do bloco saturado e índice de absorção de água

CP	m_s (g)	m_u (g)	AA (%)
CP 01	6699	7776	16,08
CP 02	6724	7763	15,45
CP 03	6752	7825	15,89
CP 04	6673	7748	16,11
CP 05	6715	7779	15,85
CP 06	6749	7820	15,87
MÉDIA	6719	7785	15,87

A NBR 15270-2 (ABNT, 2005) estabelece que o índice de absorção de água do bloco não deva ser inferior a 8% e nem superior a 22%, desta forma, todos os resultados estão de acordo com o estabelecido por norma.

b) Índice de absorção inicial de água

O índice de absorção inicial, também é uma propriedade física do bloco. Apesar de apresentado na NBR 15270-3 (ABNT, 2005) apenas como uma determinação informativa, neste trabalho optou-se por executar este ensaio para definir a necessidade de umedecer os blocos no instante da sua execução. Para tanto, seguiu-se os procedimentos estabelecidos pelo anexo E desta norma. Os blocos foram secos em estufas até constância de massa. Uma vez determinada a massa seca m_s , iniciou-se o ensaio. O bloco foi submergido em água a uma altura de $3,0 (\pm 0,2)$ mm durante $60 (\pm 1)$ s conforme a Figura 3.18 (a). Após este período foi removido da água e o excesso de água foi retirado da face ensaiada utilizando um pano umedecido. O bloco foi então pesado (m_1) com mostra a Figura 3.18 (b).



(a) Bloco submerso em água

(b) Pesagem do bloco

Figura 3.18 – Ensaio de determinação do AAI – índice de absorção inicial

A Equação 3.3 abaixo apresenta o cálculo do índice de absorção inicial.

$$AAI = 193,55 \times \frac{\Delta p}{A_{liq}} \quad (3.3)$$

Em que,

AAI – é o índice de absorção inicial de água da face ensaiada do bloco, expresso em $(g/193,55cm^2)/min$;

Δp – é a variação de massa obtida no ensaio $(m_1 - m_s)$;

A_{liq} – é a área líquida do bloco ensaiado

O valor da área líquida utilizado foi a média dos valores obtidos no ensaio que determinou esta propriedade geométrica. A Tabela 3.8 abaixo apresenta os valores encontrados para o índice de absorção inicial de água.

Tabela 3.8 – Massa do bloco seco (m_s), massa do bloco após o ensaio (m_1), variação de massa obtida (Δp), área líquida (A_l) e índice de absorção inicial de água (AAI)

CP	m_s (g)	m_1 (g)	Δp (g)	A_l (cm ²)	AAI
CP 01	6741,00	6710,00	31,00	189,85	31,60
CP 02	6704,00	6674,00	30,00	189,85	30,58
CP 03	6713,00	6687,00	26,00	189,85	26,51
CP 04	6718,00	6693,00	25,00	189,85	25,49
CP 05	6771,00	6743,00	28,00	189,85	28,55
CP 06	6767,00	6736,00	31,00	189,85	31,60
MÉDIA	6735,67	6707,17	28,5	189,85	29,06

De acordo com o Anexo D da NBR 15270-3 (ABNT,2005), caso o índice de absorção inicial seja superior a 30 (g/193,55cm²)/min, os blocos devem ser umedecidos antes do seu assentamento, mas se o valor for menor, os blocos podem ser assentados sem serem previamente umedecidos. Portanto, apesar da média dos valores obtidos resultar menor que 30 (g/193,55cm²)/min, foi feita a opção por umedecer as faces dos blocos antes de seu assentamento, uma vez que a experiência do pedreiro também influenciou esta decisão.

3.2.1.3 Propriedades Mecânicas

a) Resistência à compressão e módulo de elasticidade

A resistência à compressão foi determinada tanto no bloco inteiro como também em meio bloco com amostragem constituída por 13 blocos. No ensaio de resistência à compressão os blocos foram instrumentados de forma a obter o gráfico tensão *versus* deformação para então calcular o seu módulo de elasticidade.

A instrumentação utilizada no trabalho seguiu como mostra a Figura 3.19. Foram utilizados quatro *clip gages*, dois posicionados em cada face do bloco e também foram colocados quatro transdutores para obter o deslocamento do prato. No Apêndice C estão apresentados os gráficos tensão *versus* deformação dos blocos obtidos com os transdutores e com os *clip gages*. Os resultados para o módulo de elasticidade do bloco inteiro e do meio bloco foram obtidos pelo gráfico dos transdutores.

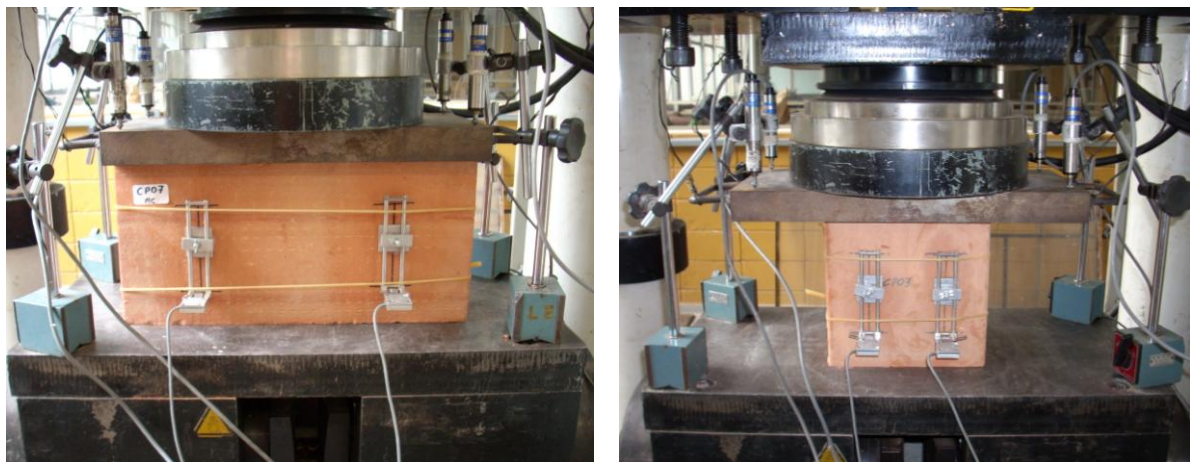


Figura 3.19 – Instrumentação utilizada no bloco inteiro e no meio bloco

Os blocos foram ensaiados à compressão com controle de deslocamento a uma velocidade de 0,005 mm/s. Antes do início do ensaio foi feito escorvamento do bloco, em dois ciclos, até 10% de sua carga última. Para a regularização de sua superfície, todos os blocos foram retificados conforme mostra a Figura 3.20.



Figura 3.20 – Regularização da superfície do bloco através de uma retífica

A Tabela 3.9 apresenta os resultados obtidos de resistência à compressão e módulo de elasticidade dos blocos inteiros se referindo tanto à área bruta como também à área líquida. Para o cálculo da área líquida foi utilizado a média da relação área líquida / área bruta obtida quando determinada esta propriedade. Já a Tabela 3.10 apresenta os resultados obtidos de resistência dos meio blocos se referindo à área bruta e o módulo de elasticidade de cada um. Cabe ressaltar que tanto os blocos inteiros como os meio blocos não foram saturados para o ensaio de resistência à compressão.

Tabela 3.9 – Resistência à compressão e módulo de elasticidade do bloco inteiro – área bruta e área líquida

CP	Carga (kN)	Área bruta (cm ²)	Tensão A _{bruta} (MPa)	Mód. de elast. A _{bruta} (MPa)	Área líquida (cm ²)	Tensão A _{líquida} (MPa)	Mód. de elast. A _{líquida} (MPa)
CP01	701,98	536,76	13,08	3892,60	188,94	37,15	11059,00
CP02	612,02	542,10	11,29	3333,80	190,82	32,07	9471,00
CP03	621,26	542,03	11,46	3364,20	190,79	32,56	9557,40
CP04	489,86	541,54	9,05	2780,60	190,62	25,70	7899,50
CP05	404,00	541,13	7,47	-	190,48	21,21	-
CP06	511,53	538,55	9,50	3492,20	189,57	26,98	9921,10
CP07	655,82	535,44	12,25	3829,20	188,47	34,80	10878,00
CP08	545,94	540,84	10,09	2677,50	190,38	28,68	7606,70

Continua

CP	Carga (kN)	Área bruta (cm ²)	Tensão A _{bruta} (MPa)	Mód. de elast. A _{bruta} (MPa)	Conclusão		
					Área líquida (cm ²)	Tensão A _{líquida} (MPa)	Mód. de elast. A _{líquida} (MPa)
CP09	595,92	539,80	11,04	3541,30	190,01	31,36	10061,00
CP10	630,95	537,79	11,73	3656,10	189,30	33,33	10387,00
CP11	592,03	537,79	11,01	3414,20	189,30	31,27	9699,50
CP12	658,26	536,13	12,28	3824,70	188,72	34,88	10865,00
CP13	606,00	537,79	11,27	3911,60	189,30	32,01	11112,00
Média	586,58	539,05	10,89	3476,50	189,75	30,92	9876,43
D. P.	80,38	2,31	1,52	405,01	0,81	4,31	1150,48
C. V. (%)	13,70	0,43	13,94	11,65	0,43	13,94	11,65

Tabela 3.10 – Resistência à compressão e módulo de elasticidade do meio bloco – área bruta e área líquida

CP	Carga (kN)	Área bruta (cm ²)	Tensão (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)
CP02	402,65	266,61	15,10	3696,10
CP03	383,72	267,58	14,34	3758,80
CP04	395,17	268,06	14,74	3919,10
CP05	437,67	266,32	16,43	3613,60
CP06	374,42	266,79	14,03	3716,80
CP07	378,69	265,65	14,26	4256,90
CP08	329,17	266,53	12,35	3942,10
CP09	367,40	265,23	13,85	3694,10
CP10	393,11	265,71	14,79	3541,80
CP11	342,83	266,88	12,85	4418,20
CP12	341,91	266,40	12,83	2999,10
Média	376,98	266,52	14,14	3777,87
D. P.	31,24	0,83	1,17	373,28
C. V. (%)	8,29	0,31	8,28	9,88

A NBR 15270-2 (ABNT, 2005) traz a equação, apresentada abaixo como equação 3.4, para o cálculo da resistência característica à compressão do bloco.

$$f_{bk,est} = 2 \times \left[\frac{f_{b(1)} + f_{b(2)} + \dots + f_{b(i-1)}}{i-1} \right] - f_{bi} \quad (3.4)$$

Em que,

$f_{bk,est}$ – resistência característica estimada da amostra, em MPa;

$f_{b(1)}, f_{b(2)}, \dots, f_{b(i)}$ – valores de resistência à compressão individual dos corpos-de-prova da amostra, ordenados crescentemente, em MPa;

$i = (n - 1)/2$, para n ímpar;

n – é a quantidade de blocos da amostra.

Para uma amostragem com 13 elementos, tem-se:

$$f_{bk,est} = 2 \times \left[\frac{f_{b(1)} + f_{b(2)} + f_{b(3)} + f_{b(4)} + f_{b(5)}}{6-1} \right] - f_{b(6)} = 2 \times \left[\frac{7,47 + 9,05 + 9,50 + 10,09 + 11,01}{5} \right] - 11,04 = 7,81 \text{ MPa}$$

No entanto, antes de se concluir o valor da resistência característica é necessário realizar as seguintes análises:

- Se $f_{bk,est} \geq f_{bm}$, em que f_{bm} é a média das resistências obtidas no ensaio, assume-se f_{bm} como resistência característica.
- Se $f_{bk,est} < \phi \times f_{b(1)}$, em que ϕ é dado por uma tabela da norma de acordo com o número de corpos de prova da amostra ($\phi = 0,99$), assume-se $\phi \times f_{b(1)}$ como resistência característica.

Como $f_{bk,est}$ esteve no intervalo entre $\phi \times f_{b(1)}$ e f_{bm} , tem-se que $f_{bk} = f_{bk,est} = 7,81 \text{ MPa}$.

A ruptura dos blocos cerâmicos se deu de forma brusca e explosiva, sem aviso prévio, como é possível observar nos gráficos de resistência à compressão apresentados no Apêndice C. Através da Figura 3.21 observa-se que as fissuras caracterizam o confinamento existente no bloco pela prensa da máquina.



Figura 3.21 – Ruptura típica do bloco cerâmico submetido ao ensaio de resistência à compressão

3.2.2 ARGAMASSA

A argamassa utilizada em todo o trabalho foi a de traço, em volume, de 1:0,5:4,5 que corresponde à proporção em cimento, cal e areia. No entanto, para a sua produção, o traço em volume foi transformado em massa utilizando a massa unitária de seus componentes, determinada conforme será apresentado em itens seguintes. Considerou-se que o traço se refere aos materiais secos. Assim, o cimento, a cal e areia foram pesados de acordo com o traço em massa de 1:0,33:6,38. A relação água/cimento foi determinada pelo pedreiro responsável pela construção das pequenas paredes e prismas de acordo com a consistência desejada e se manteve entorno de 1,31.

Buscando manter sempre a mesma relação água/cimento, para determinar o teor de umidade da areia no instante do preparo da argamassa, utilizou-se o Frasco de Chapman de acordo com a NBR 9776 (ABNT,1987), desta forma a água já presente na areia foi descontada da quantidade de água a ser acrescentada na argamassa. Para a confecção dos corpos de prova da primeira série, foi possível determinar o teor de umidade através do Frasco de Chapman, pois a areia ainda se encontrava úmida. No entanto, no decorrer do trabalho, à medida que a areia perdia umidade, devido à imprecisão do método, este passou a indicar um teor de umidade de 0%, mesmo a areia não se encontrando completamente seca. Mesmo assim, seguiu-se este procedimento em todo o trabalho experimental. A Figura 3.22 mostra o ensaio utilizando-se o Frasco de Chapman.

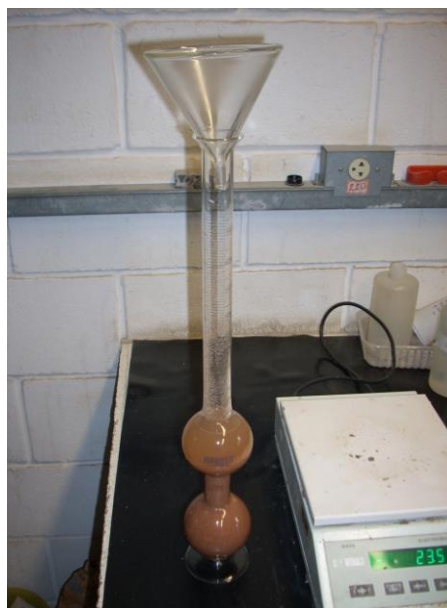


Figura 3.22 – Determinação do teor de umidade da areia com o Frasco de Chapman

No preparo da argamassa utilizou-se um misturador mecânico com tempo de mistura, em segundos, superior a $240\sqrt{d}$, sendo d o diâmetro do misturador com eixo inclinado, conforme recomenda a NBR 15812-2 (ABNT, 2010). A Figura 3.23 ilustra o procedimento de preparo da argamassa.



Figura 3.23 – Procedimento de preparo da argamassa

Em cada série foram confeccionados corpos de prova cilíndricos de dimensões 5 x 10 (diâmetro x altura, em cm) para o controle da resistência à compressão da argamassa. Os corpos de prova foram moldados em três camadas e adensados com aplicação de 30 golpes por camada. A data do ensaio de resistência à compressão do corpo de prova de argamassa seguiu a data de ensaio da sua série correspondente. Até o dia do ensaio, os corpos de prova foram curados na câmara úmida. No ensaio, a aplicação do carregamento se deu através do controle de força a uma velocidade de 0,50 kN/s. Como forma de regularização de suas superfícies, os corpos de prova foram retificados. A Figura 3.24 apresenta o ensaio realizado no corpo de prova de argamassa.



Figura 3.24 – Ensaio do corpo de prova de argamassa

As Tabelas 3.11 e 3.12 a seguir apresentam os resultados obtidos para a resistência à compressão dos corpos de prova de argamassa das séries de compressão e cisalhamento, respectivamente, bem como também a relação água/cimento para cada corpo de prova. Nas 4ª e 5ª séries os corpos de prova de argamassa foram ensaiados com idade superior aos 90 dias, o que explicaria a diferença encontrada nas médias com as 1ª, 2ª e 3ª séries.

Tabela 3.11 – Resistência à compressão da argamassa das séries de compressão

CP	1ª série (MPa)	Relação a/c	2ª série (MPa)	Relação a/c	3ª série (MPa)	Relação a/c
CP 01	6,62	1,34	5,19	1,34	5,65	1,30
CP 02	6,11	1,34	5,14	1,34	6,57	1,30
CP 03	6,57	1,33	3,46	1,32	5,96	1,34
CP 04	4,53	1,33	4,28	1,32	5,35	1,34
CP 05	6,11	1,34	4,74	1,30	5,50	1,30
CP 06	6,26	1,34	5,76	1,30	5,91	1,30
CP 07	6,21	1,34	5,81	1,30	6,82	1,34
CP 08	4,53	1,34	4,89	1,30	5,91	1,34
CP 09	5,25	1,34	5,65	1,27	5,14	1,32
CP 10	4,89	1,34	3,57	1,27	6,52	1,32
CP 11	5,81	1,33	4,33	1,30	5,86	1,30
CP 12	5,60	1,33	3,77	1,30	-	-
MÉDIA	5,71	1,337	4,72	1,305	5,93	1,317
D. P.	0,75		0,84		0,53	
C. V. (%)	13,08		17,77		8,90	

Tabela 3.12 – Resistência à compressão da argamassa das séries de cisalhamento

CP	4ª série (MPa)	Relação a/c	5ª série (MPa)	Relação a/c
CP 01	8,28	1,26	8,95	1,29
CP 02	8,28	1,26	8,21	1,29
CP 03	10,49	1,26	9,42	1,34
CP 04	7,51	1,26	5,35	1,34
CP 05	10,68	1,26	9,70	1,34
CP 06	9,81	1,26	8,11	1,34
CP 07	9,58	1,30	9,05	1,34
CP 08	9,93	1,30	5,35	1,34
CP 09	9,16	1,28	8,98	1,32
CP 10	9,07	1,28	9,21	1,32
CP 11	10,09	1,27	9,65	1,34
CP 12	10,12	1,27	9,84	1,34
MÉDIA	9,42	1,272	8,48	1,328
D. P.	0,98		1,56	
C. V. (%)	10,42		18,38	

Além disto, para caracterizar a argamassa em seu estado fresco, realizou-se o ensaio de determinação do seu índice de consistência, de acordo com a NBR 13276 (ABNT, 2005). Os resultados mantiveram-se no intervalo de 275 ± 15 mm. A Figura 3.25 mostra o ensaio realizado.



Figura 3.25 – Ensaio de determinação do índice de consistência da argamassa

3.2.3 GRAUTE

Conforme apresentado no Apêndice A, o graute escolhido para o desenvolvimento do trabalho foi aquele que, ao ser utilizado no preenchimento dos vazios de prismas cerâmicos, fez com que o conjunto apresentasse melhor desempenho à compressão. Os resultados mostraram que apesar da diferença significativa de resistência à compressão do graute, a diferença de resistência à compressão dos prismas preenchidos com os mesmos não foi significativa, sendo os prismas preenchidos com o graute de menor resistência os que obtiveram o maior valor de resistência média.

Desta forma o traço do graute utilizado no trabalho foi em massa de 1:3,96:2,94 (cimento:areia:brita0) com relação água/cimento de 0,91. O graute foi preparado em um misturador mecânico conforme apresentado na Figura 3.26 com tempo de mistura superior a $240\sqrt{d}$, sendo d o diâmetro do misturador com eixo inclinado, como recomenda a NBR 15812-2 (ABNT, 2010). A consistência obtida no ensaio de abatimento de tronco de cone, NBR NM 67 (ABNT, 1998), foi de 24 cm e é apresentada na Figura 3.27.



Figura 3.26 – Preparo do graute



Figura 3.27 – Ensaio de consistência do graute – NBR NM 67 (ABNT, 1998)

Para determinar suas propriedades mecânicas, resistência à compressão e módulo de elasticidade, foram confeccionados 09 corpos de prova cilíndricos de dimensões 10 x 20 (diâmetro x altura, em cm). Os corpos de prova foram moldados com adensamento manual e a cura se deu em câmara úmida até a data do ensaio. Da mesma forma que a argamassa, as superfícies dos corpos de prova de graute foram retificadas para o ensaio de resistência à compressão.

No ensaio, a aplicação do carregamento se deu através do controle de deslocamento a uma velocidade de 0,005 mm/s. Foi feito o escorvamento do corpo de prova, em três ciclos,

com aplicação de 20% da carga de ruptura. Como instrumentação, foram utilizados dois *clips gages* conforme a Figura 3.28.



Figura 3.28 – Instrumentação do corpo de prova de graute no ensaio de resistência à compressão

Uma vez determinada a curva tensão *versus* deformação, o módulo de elasticidade foi determinado pela inclinação de uma linha de tendência traçada sobre a parte linear do gráfico. A Tabela 3.13 apresenta os resultados da carga de ruptura, da tensão de ruptura e do módulo de elasticidade obtido nos corpos de prova cilíndricos.

Tabela 3.13 – Resultados de carga de ruptura, tensão de ruptura e módulo de elasticidade dos corpos de prova cilíndricos

CP	Carga de ruptura (kN)	Tensão de ruptura (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)
CP01	97,20	12,38	20289,00
CP02	106,81	13,60	20731,00
CP04	110,98	14,13	20357,00
CP05	113,31	14,43	25475,00
CP06	99,03	12,61	18264,00
CP07	95,50	12,16	20314,00
CP08	104,34	13,28	18592,00
CP09	98,98	12,60	23573,00
CP10	100,95	12,85	22223,00
MÉDIA	103,01	13,12	21090,89
Desv. Padrão	6,25	0,80	2313,37
C. V. (%)	6,07	6,07	10,97

Além dos corpos de prova cilíndricos, foram moldados também corpos de prova prismáticos com dimensões 12 x7x19 cm, para comprimento, largura e altura, utilizando o próprio bloco como forma. Três dias após a moldagem dos mesmos, os corpos de prova foram extraídos do interior do bloco e colocados em câmara úmida. A Figura 3.29 mostra o procedimento de moldagem e extração dos corpos de prova prismáticos.



Figura 3.29 – Moldagem e extração dos corpos de prova de graute prismático

O objetivo da moldagem desses corpos de prova foi avaliar o possível ganho de resistência à compressão do graute, uma vez que este perde água para o bloco. O ensaio de resistência à compressão se deu também utilizando o controle de deslocamento a uma velocidade de 0,005 mm/s. A Figura 3.30 apresenta o ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova prismáticos.



Figura 3.30 – Ensaio de resistência à compressão de corpos de prova prismáticos de graute

Os resultados de resistência à compressão dos corpos de prova prismáticos estão apresentados na Tabela 3.14.

Tabela 3.14 – Resultados de resistência à compressão dos corpos de prova prismáticos

CP	Carga de ruptura (kN)	Tensão de ruptura (MPa)
CP01	138,86	16,53
CP02	105,94	12,61
CP03	169,21	20,14
CP04	149,98	17,86
CP05	175,16	20,85
MÉDIA	147,83	17,60
Desv. Padrão	27,59	3,28
C. V. (%)	15,75	15,75

Desta forma, aplicando-se a análise estatística a um nível de significância de 5% é possível verificar que houve diferença entre as médias dos valores de resistência à compressão. Portanto, além do formato do corpo de prova, entende-se que a perda de água que o graute sofreu no interior do bloco influenciou a sua resistência à compressão.

3.2.4 CIMENTO E CAL

O cimento utilizado em toda a pesquisa foi do tipo CPII Z 32 da marca Itaú e a cal utilizada foi do tipo CH III também da marca Itaú.

Para caracterizar o cimento e a cal foi feito o ensaio para determinar suas massas específicas por meio do frasco volumétrico de Le Chatelier de acordo com a NBR NM 23 (ABNT, 2001) como mostra a Figura 3.31.

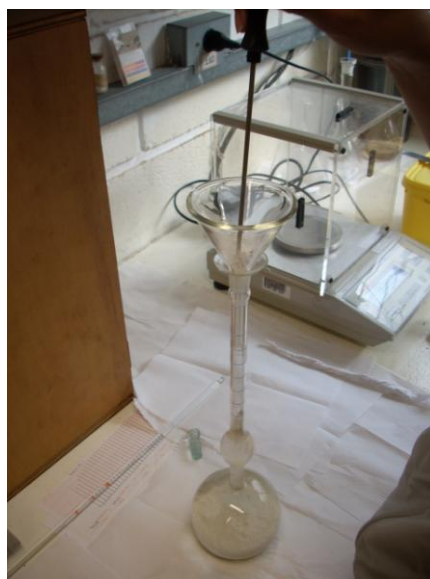


Figura 3.31 – Determinação da massa específica por meio do frasco de Le Chatelier

Para transformar o traço em volume no traço em massa foi feito o ensaio para determinar a massa unitária em estado compactado seco de acordo com a NBR 7810 (ABNT, 1983) como mostra a Figura 3.32.



Figura 3.32 – Determinação da massa unitária no estado compactado seco

Os resultados encontram-se na Tabela 3.15 a seguir.

Tabela 3.15 – Valores encontrados para massa específica e massa unitária em estado compactado seco do cimento e cal

PROPRIEDADE	CIMENTO	CAL
Massa Específica (g/cm³)	3,07	2,45
Massa Unitária (g/cm³)	1,17	0,77

3.2.5 AREIA

Para caracterizar a areia foram feitos os seguintes ensaios: massa específica por meio do Frasco de Chapman (NBR 9776, ABNT 1987), massa unitária em estado compactado seco (NBR 7810, ABNT 1983) e composição granulométrica (NBR NM 248, ABNT 2003). Com os resultados do ensaio de granulometria foi possível também determinar a dimensão máxima característica do agregado e o seu módulo de finura. A Tabela 3.16 abaixo apresenta os resultados dos ensaios e a Figura 3.33 apresenta a curva granulométrica da areia utilizada no trabalho.

Tabela 3.16 – Valores encontrados para massa específica, massa unitária em estado compactado seco, absorção, dimensão máxima característica e módulo de finura

PROPRIEDADE	AREIA
Massa Específica (g/cm ³)	2,61
Massa Unitária (g/cm ³)	1,66
D _{máx} (mm)	0,6
Módulo de Finura	1,79

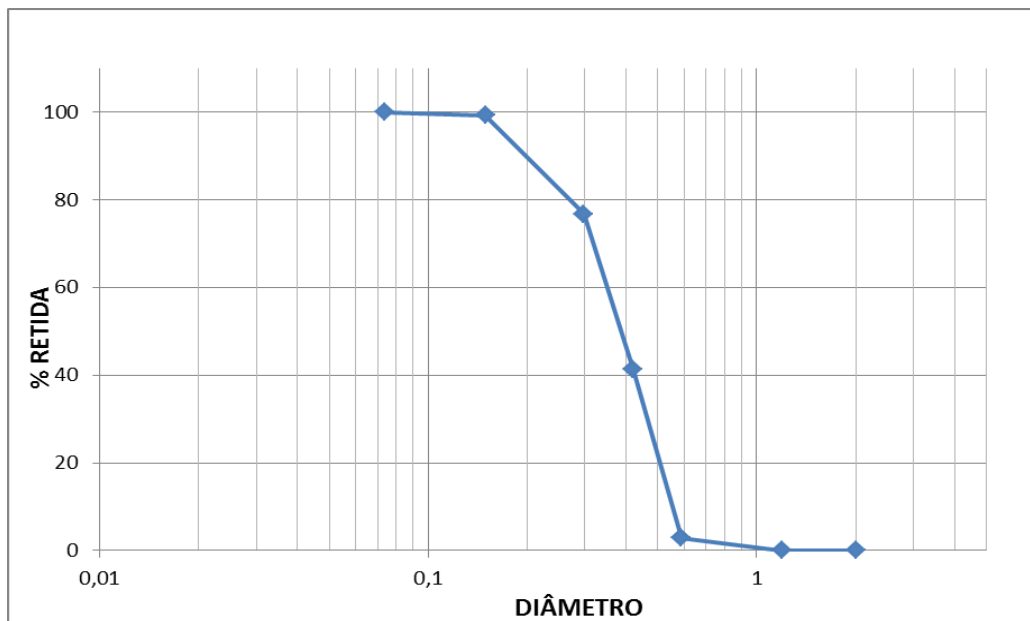


Figura 3.33 – Curva granulométrica da areia

3.2.6 BRITA

Como o traço do graute já foi dado em massa, a brita foi caracterizada apenas com a determinação da sua curva granulométrica. A Figura 3.34 apresenta a curva granulométrica da brita utilizada no trabalho.

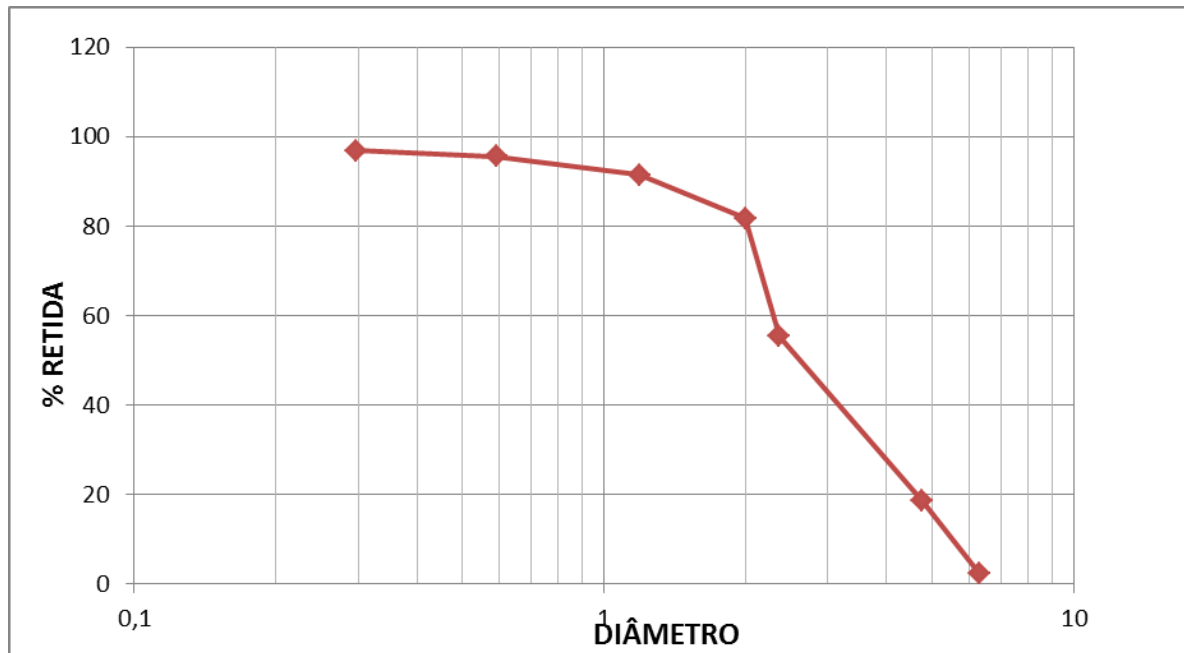


Figura 3.34 – Curva granulométrica da brita

3.3 PROCEDIMENTOS DE EXECUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

A construção das pequenas paredes e prismas de todas as séries foi feita por um pedreiro experiente, contratado durante todo o trabalho experimental. Esse pedreiro foi o mesmo que trabalhou na confecção dos prismas nos ensaios realizados para a empresa Cerâmica City apresentado no Apêndice A.

Como haveria a necessidade de transporte das pequenas paredes para o local de ensaio, estas foram construídas em suportes de madeira confeccionados de acordo com suas dimensões.

Após a sua construção, todas as pequenas paredes e prismas, mesmo aqueles que tiveram seus vazios preenchidos com graute, permaneceram em ambiente de laboratório por um período mínimo de cura de 28 dias até a data do ensaio.

3.3.1 PRISMAS E PEQUENAS PAREDES – SÉRIES DE COMPRESSÃO

A produção dos corpos de prova nas séries de compressão se deu de forma que em cada turno de trabalho sempre foi construído uma pequena parede, dois prismas e também dois corpos de prova de argamassa. Seguiu-se este procedimento no decorrer da confecção de todas as pequenas paredes das séries.

Para regularizar as superfícies dos prismas e pequenas paredes foi utilizado um forro deformável (forro pacote), da empresa Eucatex. Este tipo de capeamento já foi amplamente utilizado com sucesso em outros trabalhos desenvolvidos pelo Departamento de Estruturas da EESC-USP.

A construção da pequena parede iniciou-se com a verificação do nivelamento do suporte de madeira e do forro. Feito isto, os blocos da primeira fiada foram posicionados. É importante ressaltar que antes de assentar os blocos nas fiadas, umedecia-se a sua superfície, conforme já detalhado anteriormente. A cada fiada, o prumo, o nivelamento da superfície, a altura da fiada e a espessura das juntas foram observados.

A Figura 3.35 abaixo apresenta os passos executados para a confecção das pequenas paredes.





Figura 3.35 – Procedimento de execução das paredes

Da mesma forma que nas pequenas paredes, no decorrer da execução dos prismas foi verificado o nível, o prumo e a espessura das juntas como mostra a Figura 3.36 abaixo.



Figura 3.36 – Cuidados e verificações na execução dos prismas

Em cada turno de trabalho, a argamassa foi produzida em quantidade suficiente para a construção de todos os corpos de prova (uma pequena parede, dois prismas e dois CP's de argamassa). Procurou-se sempre moldar um corpo de prova de argamassa no início da execução da pequena parede e outro no fim. O uso da argamassa não ultrapassou o tempo limite de 2,5 horas. Em alguns casos, dependendo do clima do dia da execução, foi feita a correção de sua umidade apenas uma vez, procedimento este permitido pela NBR 15812-2 (ABNT, 2010). É importante ressaltar que quando foi necessária a adição de água na argamassa, o segundo corpo de prova de argamassa foi moldado após esta correção de

umidade e conforme resultados já apresentados, não houve grandes variações nos valores de resistência à compressão da argamassa em cada série.

Com relação à série em que as pequenas paredes e prismas foram grauteados (3ª série), a única diferença na forma de execução das pequenas paredes foi a necessidade de executá-las com o auxílio de uma peça de isopor, que foi posicionada no interior dos vazios dos blocos para evitar o excedente e o depósito de argamassa no fundo. Com a utilização dessa peça foi possível construir as pequenas paredes e grauteá-las sem a necessidade de abertura de pontos de visita nos blocos da primeira fiada para remoção do excesso de argamassa. A Figura 3.37 apresenta o procedimento realizado para a construção das pequenas paredes da 3ª série.



Figura 3.37 – Execução das pequenas paredes da 3ª série utilizando isopor

Desta forma, o grauteamento foi feito após a construção de todas as pequenas paredes e prismas da série. O tempo de uso do graute também respeitou o limite estabelecido pela NBR 15812-2 (ABNT, 2010) de 1,5 horas e foi sempre produzido em quantidade suficiente para preencher os vazios de pelo menos uma pequena parede e dois prismas a ela associados. O seu adensamento se deu com haste metálica à medida que era lançado na alvenaria.

3.3.2 PEQUENAS PAREDES – SÉRIES DE CISALHAMENTO

Nas séries de cisalhamento, sempre que uma pequena parede foi construída, dois corpos de prova de argamassa a ela associados também foram moldados. A forma de execução seguiu os mesmos cuidados descritos anteriormente para as séries de compressão.

No ensaio, também foi utilizado o forro no contato entre a parede e o suporte metálico conforme é apresentado na Figura 3.38.



Figura 3.38 – Detalhe do uso do forro no contato entre a parede e o suporte metálico

É importante ressaltar que os vazios dos blocos posicionados na região de contato da parede e o suporte metálico da prensa foram grauteados para que não houvesse uma ruptura localizada nessa região. Através da Figura 3.39 é possível perceber que após o ensaio esta região permaneceu íntegra.



Figura 3.39 – Detalhe do grauteamento do bloco em uma parede ensaiada

Além destes cuidados, nas pequenas paredes construídas sem o preenchimento das juntas verticais (5ª série), foi necessário o preenchimento de algumas juntas verticais para

melhor distribuição de carga, evitando-se uma ruptura localizada. A Figura 3.40 apresenta as juntas que foram preenchidas.



Figura 3.40 – Detalhe com as juntas verticais que foram preenchidas

3.4 INSTRUMENTAÇÃO E PROCEDIMENTOS DE ENSAIO DOS CORPOS DE PROVA

3.4.1 PRISMAS

A caracterização da alvenaria para as três primeiras séries foi feita construindo-se prismas de dois blocos. Para a instrumentação foram utilizados quatro transdutores de deslocamento, dois em cada face, posicionados na vertical conforme se apresenta na Figura 3.41. Os prismas foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão com aplicação do carregamento através de um controle de deslocamento a uma velocidade de 0,02 mm/s. Antes do início do ensaio foi feito o escorvamento, em dois ciclos, com aplicação de aproximadamente 10% da carga de ruptura prevista. Os gráficos de cada prisma das três séries se encontram no Apêndice C.

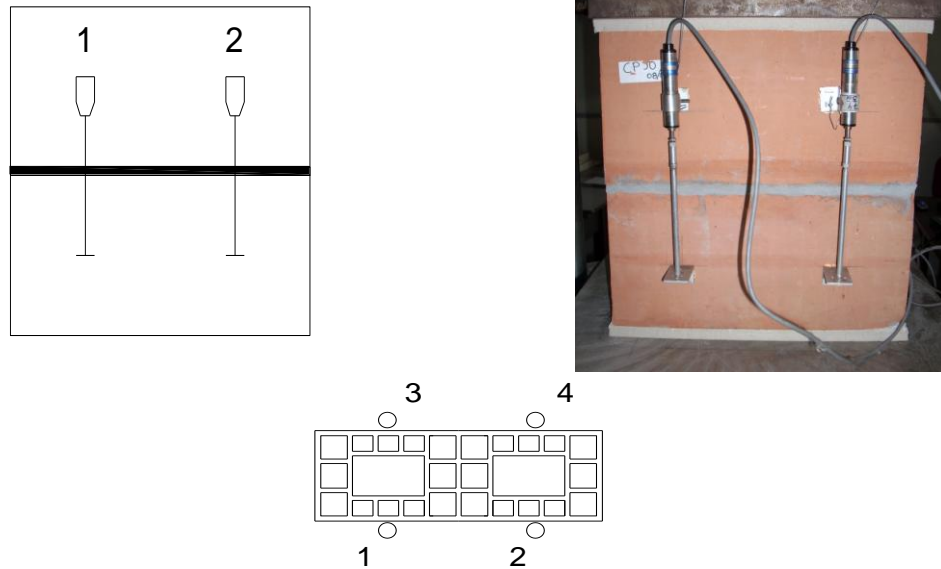


Figura 3.41 – Instrumentação do prisma

3.4.2 PEQUENAS PAREDES

No ensaio de resistência à compressão, foram instalados nas faces maiores das pequenas paredes cinco transdutores de deslocamento, dois posicionados na vertical em cada face da parede e outro posicionado na horizontal apenas em uma das faces, conforme apresenta a Figura 3.42 a seguir. A aplicação do carregamento se deu através de um controle de deslocamento a uma velocidade de 0,01 mm/s. Antes do início do ensaio foi feito um escorvamento de dois ciclos com aplicação de aproximadamente 10% da carga de ruptura prevista.

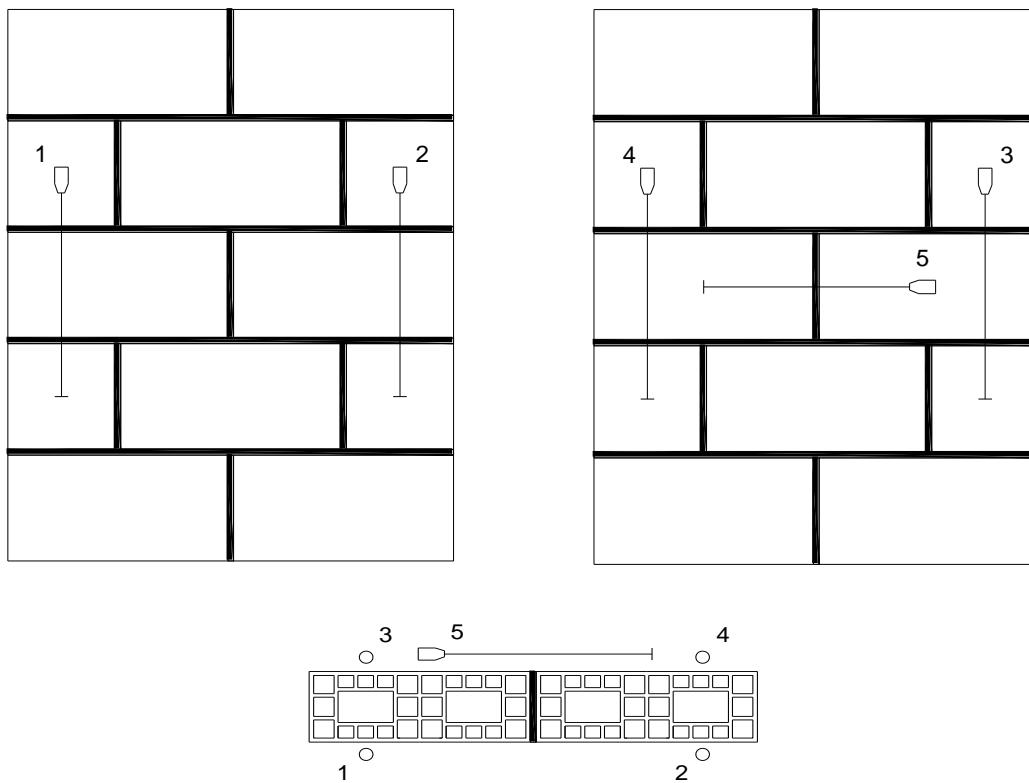


Figura 3.42 – Esquema de instrumentação para o ensaio de resistência à compressão

Já para o ensaio de resistência ao cisalhamento foram instalados quatro transdutores de deslocamento, dois em cada face, posicionados conforme apresenta a Figura 3.43. A aplicação da carga se deu também através do controle de deslocamento com velocidade de 0,01 mm/s. Antes do início do ensaio, foi feito o escorvamento do corpo de prova também em dois ciclos aplicando-se 10% da carga de ruptura prevista.

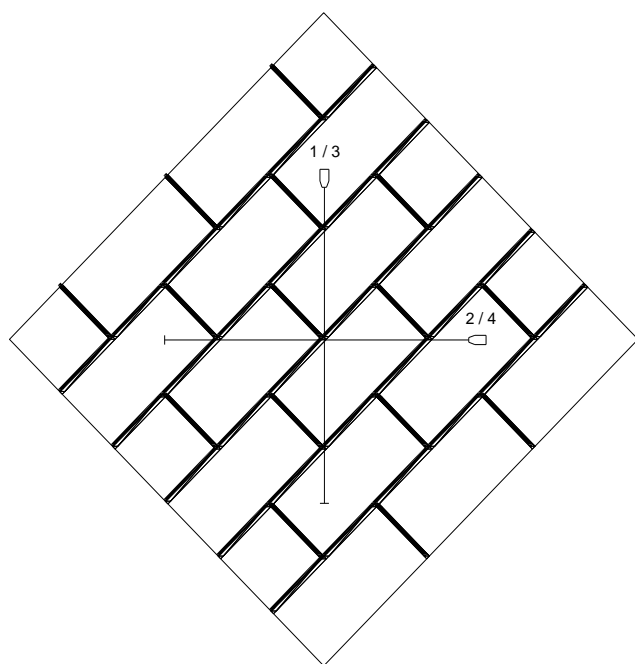


Figura 3.43 – Esquema de instrumentação para o ensaio de resistência ao cisalhamento

Os gráficos de todas as pequenas paredes das séries de compressão e cisalhamento se encontram no Apêndice C.

4 CAPÍTULO

RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como objetivo apresentar os resultados obtidos no programa experimental tendo em vista avaliar a influência do não preenchimento das juntas verticais e do grauteamento da alvenaria. Serão apresentados resultados de resistência à compressão de prismas e pequenas paredes, correspondentes às 1ª, 2ª e 3ª séries, e também os resultados de resistência ao cisalhamento, que correspondem às 4ª e 5ª séries.

Os resultados foram analisados fazendo uso de ferramentas estatísticas no Microsoft Excel¹. Foi utilizado o Teste F para análise das variâncias entre as amostras e com o resultado aplicou-se o Teste T para verificar se as médias diferiram ou não. As tabelas com as análises estatísticas realizadas para cada caso se encontram no Apêndice D. No Teste F foi considerada como hipótese nula que as variâncias entre as amostras não diferem. E da mesma forma, no Teste T a hipótese nula é que as médias entre as amostras não diferem. Em todas as análises foi adotado um nível de significância de 5%.

A Tabela 4.1 traz os resultados de caracterização dos blocos utilizados na pesquisa. Já as Tabelas 4.2 e 4.3 apresentam os resultados encontrados para a argamassa, nas cinco séries ensaiadas, e do graute, respectivamente.

Tabela 4.1 – Resultados de caracterização dos blocos

BLOCO	Resistência média à compressão A_{bruta} (MPa)	Módulo de elasticidade A_{bruta} (MPa)	Resistência característica A_{bruta} (MPa)	Resistência média à compressão $A_{líquida}$ (MPa)	Módulo de elasticidade $A_{líquida}$ (MPa)
MÉDIA	10,89	3476,50	7,81	31,73	9876,43
D. P.	1,52	405,01		3,31	1150,48
C. V. (%)	13,94	11,65		10,44	11,65

¹Microsoft Office Excel 2010

Tabela 4.2 – Resultados de caracterização da argamassa

ARGAMASSA	Resistência média à compressão (MPa)				
	1ª Série	2ª Série	3ª Série	4ª Série	5ª Série
MÉDIA	5,71	4,72	5,93	9,42	8,48
D. P.	0,75	0,84	0,53	0,98	1,56
C. V. (%)	13,08	17,77	8,90	10,42	18,38

Tabela 4.3 – Resultados de caracterização do graute

GRAUTE	Resistência média à compressão (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)
MÉDIA	13,12	21090,89
D. P.	0,80	2313,37
C. V. (%)	6,07	10,97

4.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

4.2.1 PRISMAS

Conforme mencionado anteriormente, apenas as 1ª, 2ª e 3ª séries apresentaram prismas, por corresponderem às séries de resistência à compressão. Com relação aos prismas da 2ª série, estes não se diferenciaram dos prismas da 1ª, pois o objetivo da 2ª série foi avaliar o não preenchimento das juntas verticais e o tipo de prisma adotado nos ensaios foi o modelo padrão com apenas uma junta na horizontal. Já os prismas da 3ª série se diferenciaram dos prismas das 1ª e 2ª séries, pois seus vazios foram preenchidos com graute.

A Figura 4.1 apresenta o modo de ruptura característico das 1ª, 2ª e 3ª séries, respectivamente. Com base na figura é possível observar que a ruptura ocorreu sempre por tração horizontal tanto na parede longitudinal ou transversal do bloco. Isto se deu sempre nos planos de fraqueza existentes devido à presença de furos nas paredes dos blocos. Observa-se também o confinamento sofrido pelo mesmo junto ao topo e à base, como esperado.

Nos prismas grauteados cabe observar que, em alguns casos, houve a preservação da aderência entre o bloco e o graute.



Figura 4.1 – Modo de ruptura dos prismas das 1ª, 2ª e 3ª séries

A Tabela 4.4 traz o resultado médio de carga máxima, resistência à compressão, módulo de elasticidade e o valor obtido no cálculo da resistência característica das 1ª, 2ª e 3ª séries. Os valores apresentados se referem sempre à área bruta. Os resultados individuais se encontram no Apêndice B. As Figuras 4.2 e 4.3 apresentam o fator de eficiência prisma/bloco das três séries estudadas, tanto da resistência média à compressão como também da resistência característica obtida.

Tabela 4.4 – Resultados obtidos com os prismas das 1ª, 2ª e 3ª séries

		Carga máxima (kN)	Resistência média à compressão (MPa)	Resistência característica (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)
1ª Série	Média	315,23	5,77	4,16	3174,69
	D. P.	48,13	0,88		417,58
	C. V. (%)	15,27	15,27		13,15
2ª Série	Média	244,34	4,48	3,57	3497,55
	D. P.	41,62	0,76		469,21
	C. V. (%)	17,03	17,05		13,42
3ª Série	Média	352,90	6,46	3,79	8036,51
	D. P.	90,43	1,66		1234,53
	C. V. (%)	25,63	25,65		15,36

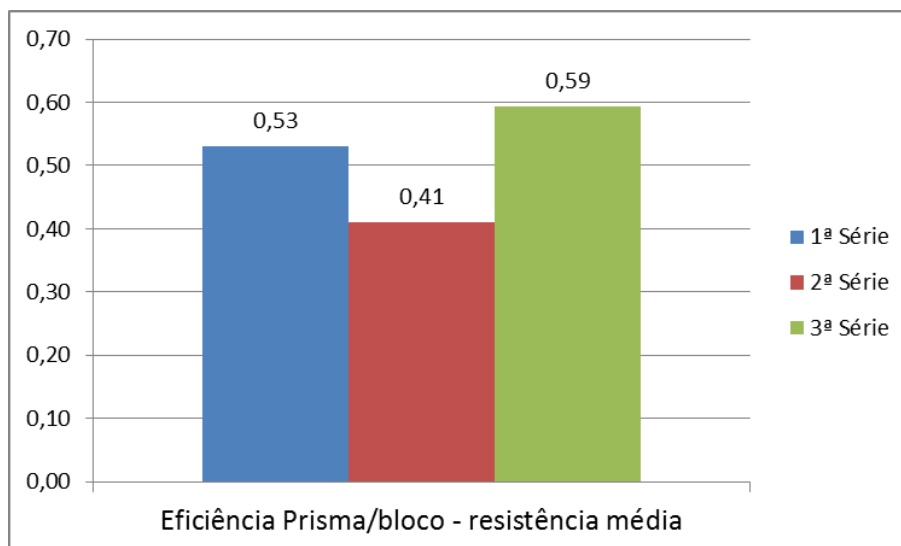


Figura 4.2 – Fator de eficiência prisma/bloco das 1ª, 2ª e 3ª séries – resistência à compressão média

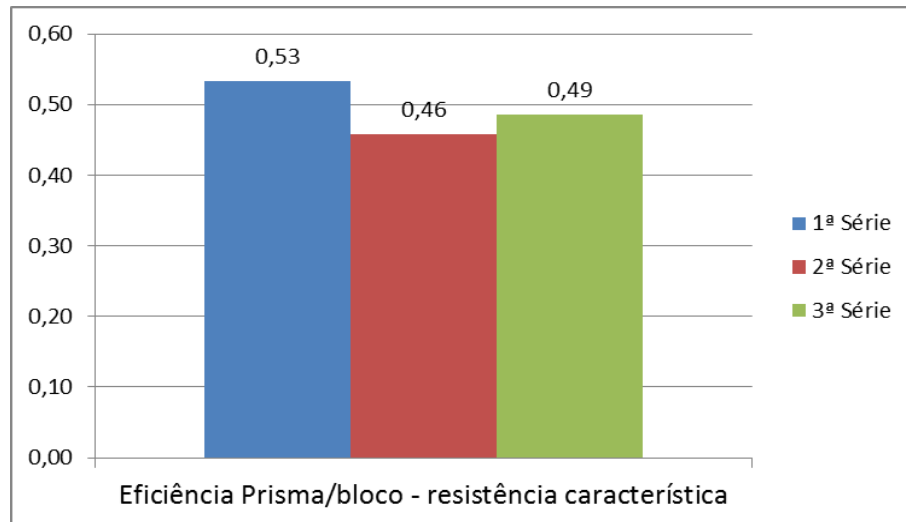


Figura 4.3 – Fator de eficiência prisma/bloco das 1ª, 2ª e 3ª séries – resistência à compressão característica

Na literatura é possível encontrar valores de eficiência entre o prisma e o bloco para o material cerâmico variando entre o valor mínimo de 0,3 e o valor máximo de 0,7. Desta forma, os resultados apresentados anteriormente são consistentes com os valores já estabelecidos.

O valor encontrado para a resistência à compressão característica do prisma grauteado (3ª série) é menor que o do prisma oco (1ª série). O mesmo também pode ser observado pelo fator de eficiência apresentado na Figura 4.3. Isto pode ocorrer devido à existência de um material diferente, o graute, inserido no conjunto prisma, que faz aumentar o coeficiente de variação obtido com os resultados dos ensaios. Sendo assim, como o cálculo da resistência característica envolve os seis menores valores de resistência, ocorreu que a resistência característica foi menor neste caso.

As equações 4.1, 4.2 e 4.3 a seguir apresentam a razão entre o módulo de elasticidade do prisma e sua resistência à compressão característica, das 1ª, 2ª e 3ª séries, respectivamente.

$$E_p = 763,15 \times f_{pk} \quad (4.1)$$

$$E_p = 980,80 \times f_{pk} \quad (4.2)$$

$$E_p = 2122,69 \times f_{pk} \quad (4.3)$$

Para avaliar a influência do graute no interior do prisma, a análise estatística se deu com os resultados obtidos com a resistência à compressão média referida tanto à área bruta como à área líquida nas 1ª e 3ª séries conforme apresentam as Figuras 4.4 e 4.5 a seguir. A

Tabela 4.5 apresenta os valores médios para carga máxima, resistência à compressão e módulo de elasticidade referindo-se à área bruta e também à área líquida.

É através da comparação entre as médias de resistência à compressão dos prismas ocós e grauteados, referidas à área bruta, que é possível avaliar se houve ganho na capacidade resistente do prisma quando grauteado. E para avaliar se este ganho na resistência se deve exclusivamente ao aumento da área líquida do prisma grauteado, comparam-se as médias de resistência à compressão, referidas à área líquida.

Tabela 4.5 – Resultados obtidos com os prismas das 1ª e 3ª séries em relação à área bruta e área líquida

		Carga máxima (kN)	Resistência média à compressão A_{bruta} (MPa)	Módulo de elasticidade A_{bruta} (MPa)	Resistência média à compressão $A_{líquida}$ (MPa)	Módulo de elasticidade $A_{líquida}$ (MPa)
1ª Série	Média	315,23	5,77	3174,69	16,40	9019,01
	D. P.	48,13	0,88	417,58	2,50	1186,31
	C. V. (%)	15,27	15,27	13,15	15,27	13,15
3ª Série	Média	352,90	6,46	8036,51	9,80	12182,21
	D. P.	90,43	1,66	1234,53	2,51	1871,38
	C. V. (%)	25,63	25,63	15,36	25,63	15,36

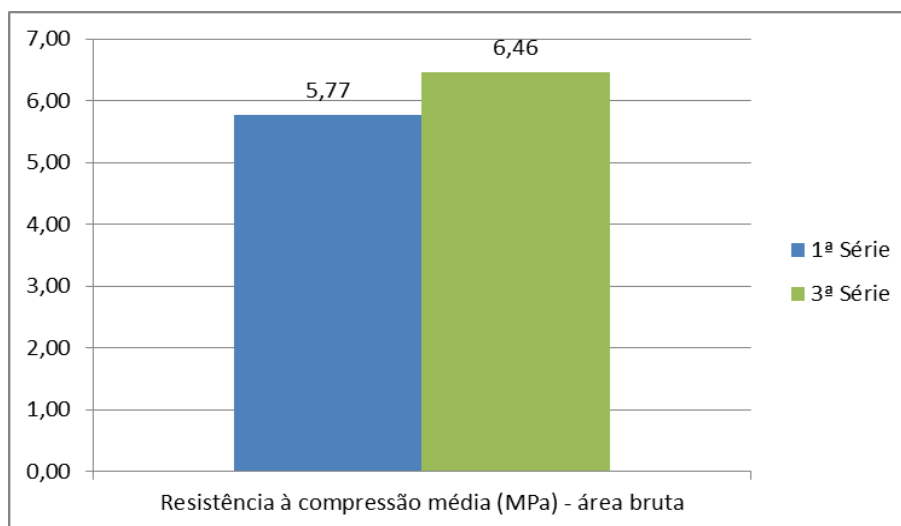


Figura 4.4 – Resistência à compressão média – área bruta

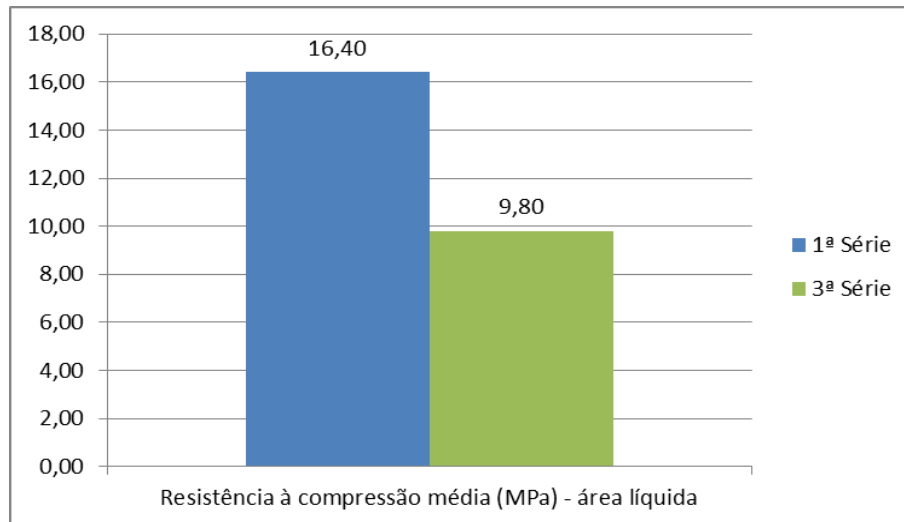


Figura 4.5 – Resistência à compressão média – área líquida

O resultado da análise estatística para a resistência à compressão referida à área bruta mostrou a um nível de significância de 5% que as médias entre as duas amostras foram equivalentes. Já a análise correspondente aos resultados de resistência à compressão em relação à área líquida mostrou que as médias foram consideradas diferentes, também a um nível de significância de 5%.

Pela primeira análise é possível perceber que o prisma grauteado não suportou mais carga que o prisma oco. Com a segunda análise entende-se que o ganho de área líquida do prisma grauteado foi maior que o aumento da carga suportada por ele, assim o graute no interior do prisma fez diminuir a sua resistência à compressão.

Durante o ensaio foi observado que a ruptura do prisma grauteado se deu de forma mais brusca que os prismas ocos, sugerindo que houve uma solitação por parte do graute. Esta análise está de acordo com a conclusão obtida com os resultados dos ensaios para a empresa Cerâmica City apresentados no Apêndice A, uma vez que a resistência à compressão dos prismas grauteados com os dois grautes estudados foi considerada equivalente aos prismas ocos. É possível observar através da Tabela 4.6 que o módulo de elasticidade do bloco de 39 cm utilizado na presente pesquisa foi próximo ao bloco de 29 cm apresentado no Apêndice A, assim como os módulos de elasticidade dos prismas e grautes. Sendo assim, os cálculos considerados no Apêndice A para determinar o módulo de elasticidade do graute e do prisma foram consistentes.

Tabela 4.6 – Comparação entre os resultados da presente pesquisa e do Apêndice A

		Resistência média à compressão (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)
Presente pesquisa	Bloco 39 cm	10,89	3476,50
	Prisma	5,77	3174,69
	Graute A	13,12	21091,00
Apêndice A	Bloco 29 cm	13,65	3282,36
	Prisma	6,13	3676,35
	Graute A	9,88	17595,52

4.2.2 PEQUENAS PAREDES

A análise dos resultados dos ensaios com as pequenas paredes será feita considerando-se a influência do não preenchimento das juntas verticais e o efeito do grauteamento na alvenaria. Assim, serão comparadas as pequenas paredes das 1ª e 2ª séries e, em seguida, os resultados das 1ª e 3ª séries.

4.2.2.1 Influência do não preenchimento das juntas verticais na alvenaria

A Tabela 4.7 apresenta a média dos resultados obtidos para carga máxima, resistência à compressão, módulo de elasticidade e o cálculo da resistência característica das 1ª e 2ª séries. Os resultados individuais encontram-se no Apêndice B. A Figura 4.6 mostra o gráfico tensão *versus* deformação dos seis corpos de prova ensaiados em cada série.

Tabela 4.7 – Resultados obtidos com as pequenas paredes das 1ª e 2ª séries

		Carga máxima (kN)	Resistência média à compressão (MPa)	Resistência característica (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)
1ª Série	Média	435,76	3,94	2,70	3919,18
	D. P.	83,76	0,76		459,15
	C. V. (%)	19,22	19,25		11,72
2ª Série	Média	433,54	3,92	2,48	3592,07
	D. P.	79,47	0,72		248,12
	C. V. (%)	18,33	18,44		6,91

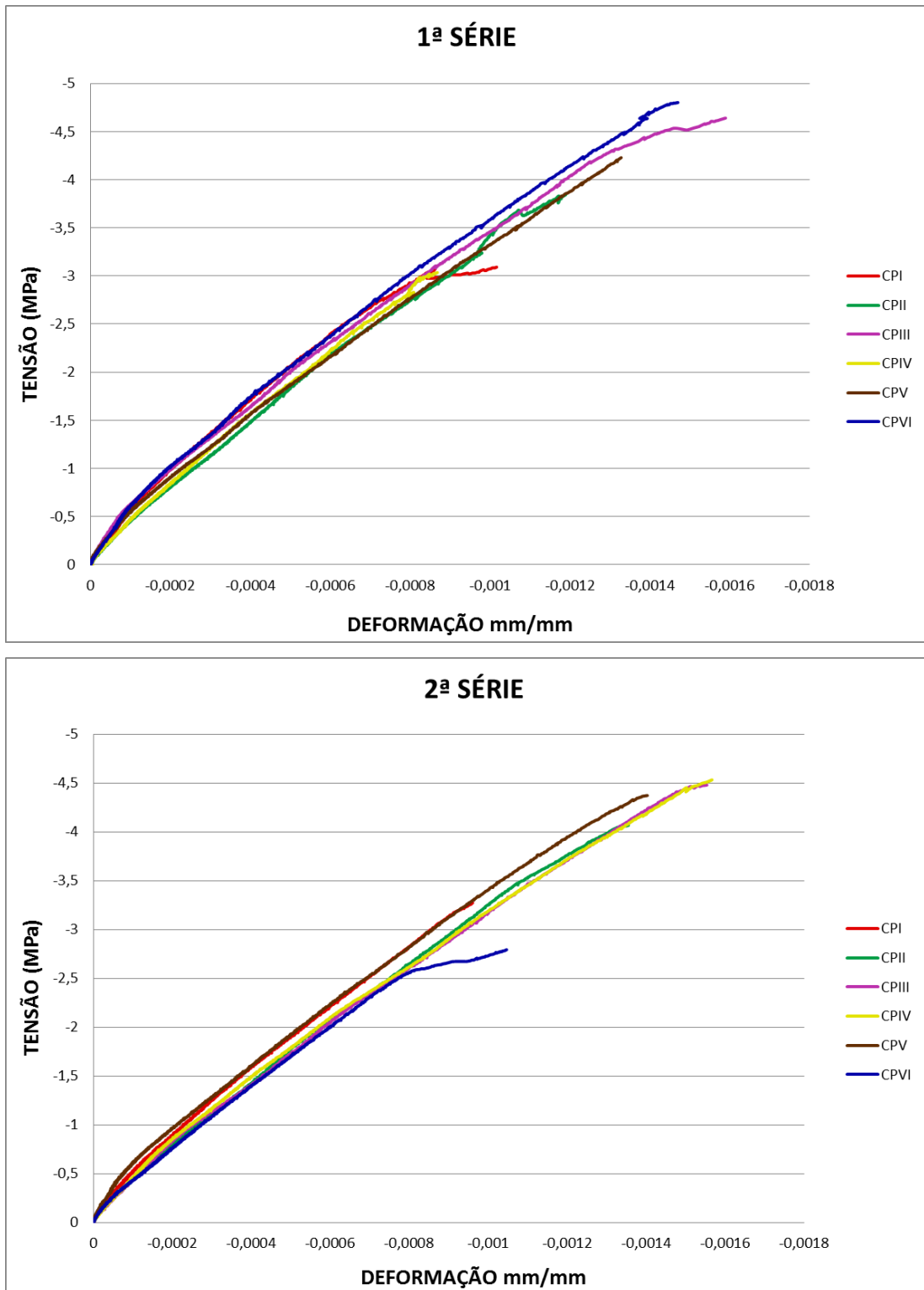


Figura 4.6 – Gráfico tensão *versus* deformação dos CP's das 1ª e 2ª séries

Com a Tabela 4.7 é possível observar que os valores de resistência média à compressão e módulo de elasticidade são próximos. A análise estatística confirmou, a um nível de significância de 5%, que os valores obtidos para esses parâmetros podem ser considerados equivalentes. Portanto, o não preenchimento das juntas verticais nas pequenas

paredes da 2ª série não influenciou essas propriedades. Pelos gráficos da Figura 4.6 é possível observar que as pequenas paredes nas duas séries apresentaram uma ruptura brusca com o colapso ocorrendo de forma repentina.

As Figuras 4.7 e 4.8 ilustram a forma de ruptura típica das pequenas paredes das 1ª e 2ª séries, respectivamente.

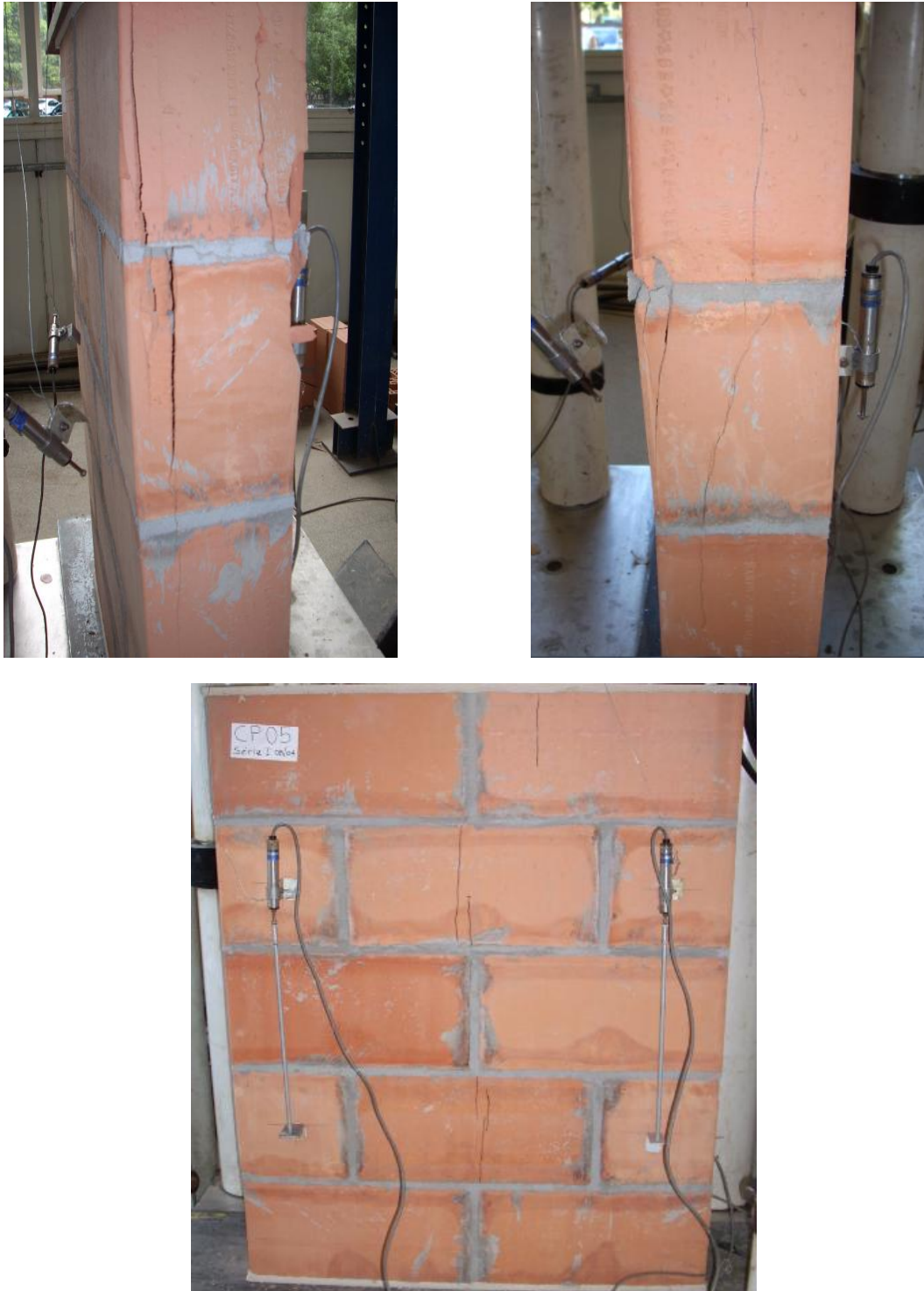


Figura 4.7 – Modo de ruptura das pequenas paredes da 1ª série



Figura 4.8 – Modo de ruptura das pequenas paredes da 2ª série

Conforme apresentado pelas figuras anteriores pode-se perceber que as fissuras se desenvolveram na direção das juntas verticais se propagando pelos blocos nas pequenas paredes das duas séries e a ruptura se deu por tração horizontal com a formação de fissura nas laterais das mesmas. Portanto, não houve diferença na forma de ruptura quando as juntas verticais não foram preenchidas.

As equações 4.4 e 4.5 a seguir apresentam, respectivamente, as razões entre módulo de elasticidade da pequena parede e sua resistência à compressão característica, e entre o módulo de elasticidade da pequena parede e resistência à compressão característica do prisma da 1ª série.

$$E_{ppar} = 1453,33 \times f_{ppark} \quad (4.4)$$

$$E_{ppar} = 942,11 \times f_{pk} \quad (4.5)$$

Da mesma forma também, as equações 4.6 e 4.7 apresentam as razões entre módulo de elasticidade da pequena parede e sua resistência à compressão característica, e entre módulo de elasticidade da pequena parede e resistência à compressão característica do prisma da 2ª série.

$$E_{ppar} = 1446,60 \times f_{ppark} \quad (4.6)$$

$$E_{ppar} = 1007,31 \times f_{pk} \quad (4.7)$$

Pelas equações 4.5 e 4.7 é possível perceber que o valor sugerido pela norma NBR 15812 (ABNT, 2010), para a estimativa do módulo de elasticidade da parede como $600 \times f_{pk}$, está a favor da segurança.

Foi também calculado o fator de eficiência entre a pequena parede e o prisma correspondente em cada série, tanto para a resistência média à compressão como para a resistência característica. As Figuras 4.9 e 4.10 apresentam os valores obtidos.

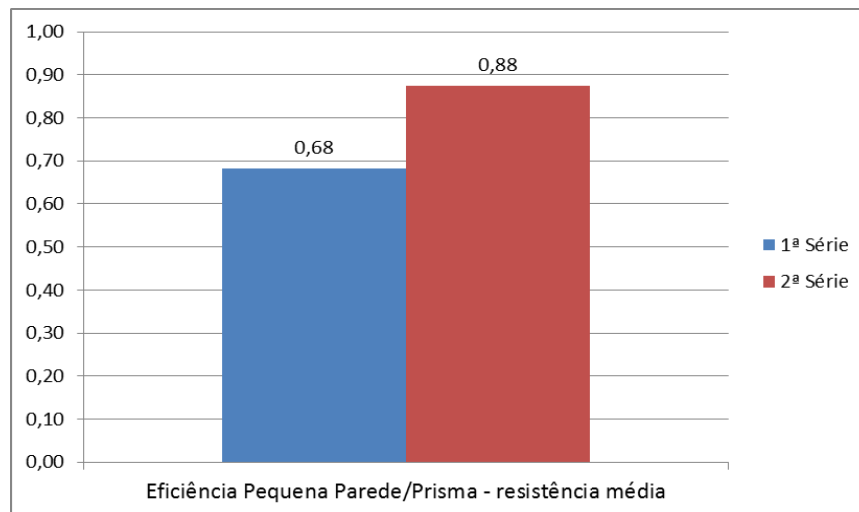


Figura 4.9 – Fator de eficiência pequena parede/prisma das 1ª e 2ª séries – resistência à compressão média

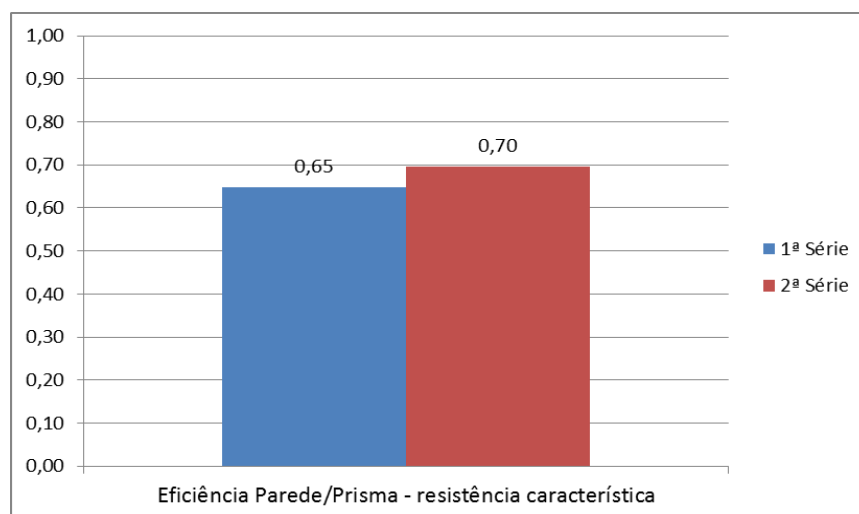


Figura 4.10 – Fator de eficiência pequena parede/prisma das 1ª e 2ª séries – resistência à compressão característica

A diferença encontrada entre os fatores de eficiência quando calculados considerando a resistência à compressão média se deve à própria diferença de resistência dos prismas. Apesar dos prismas das duas séries terem sido confeccionados pela mesma pessoa, utilizando o mesmo processo construtivo e o mesmo traço de argamassa, as médias entre os valores de resistência à compressão se diferenciaram conforme análise estatística apresentada no Apêndice D. Como a média dos prismas da 1ª série foi maior que a dos prismas da 2ª série, a eficiência parede/prisma encontrada foi menor. Já comparando-se a resistência característica, a eficiência das séries se aproxima, uma vez que a diferença entre as resistências características dos prismas é menor.

Com base nas informações apresentadas nesse item entende-se que o não preenchimento das juntas verticais não influenciou as propriedades de resistência à compressão e o módulo de elasticidade da alvenaria.

4.2.2.2 Influência do grauteamento dos vazios da alvenaria

A Tabela 4.8 apresenta a média dos resultados obtidos para carga máxima, resistência à compressão, módulo de elasticidade e o cálculo da resistência característica das 1ª e 3ª séries. Já a Tabela 4.9 apresenta os valores para a resistência média à compressão referida tanto à área bruta como à área líquida. Os resultados individuais se encontram no Apêndice B.

Tabela 4.8 – Resultados obtidos com as pequenas paredes das 1ª e 3ª séries

		Carga máxima (kN)	Resistência média à compressão (MPa)	Resistência característica (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)
1ª Série	Média	435,76	3,94	2,70	3919,18
	D. P.	83,76	0,76		459,15
	C. V. (%)	19,22	19,25		11,72
3ª Série	Média	805,69	7,29	6,15	10250,67
	D. P.	94,66	0,86		1231,37
	C. V. (%)	11,75	11,76		12,01

Tabela 4.9 – Resultados obtidos com as pequenas paredes das 1ª e 3ª séries em relação à área bruta e área líquida

		Carga máxima (kN)	Resistência média à compressão A_{bruta} (MPa)	Módulo de elasticidade A_{bruta} (MPa)	Resistência média à compressão $A_{líquida}$ (MPa)	Módulo de elasticidade $A_{líquida}$ (MPa)
1ª Série	Média	435,76	3,94	3919,18	10,94	10880,50
	D. P.	83,76	0,76	459,15	2,10	1274,71
	C. V. (%)	19,22	19,22	11,72	19,22	11,72
3ª Série	Média	805,69	7,28	10250,67	10,97	15437,75
	D. P.	94,66	0,86	1231,37	1,29	1854,47
	C. V. (%)	11,75	11,75	12,01	11,75	12,01

A análise estatística neste caso permitiu concluir, a um nível de significância de 5%, que as médias dos valores de resistência à compressão são diferentes. Portanto, nas pequenas paredes a presença do graute exerceu influência significativa para aumentar sua resistência, ou seja, a pequena parede grauteada suportou mais carga que a pequena parede oca, diferentemente do que foi apresentado nos prismas. A Figura 4.11 ilustra bem a diferença de resistência média à compressão referida à área bruta.

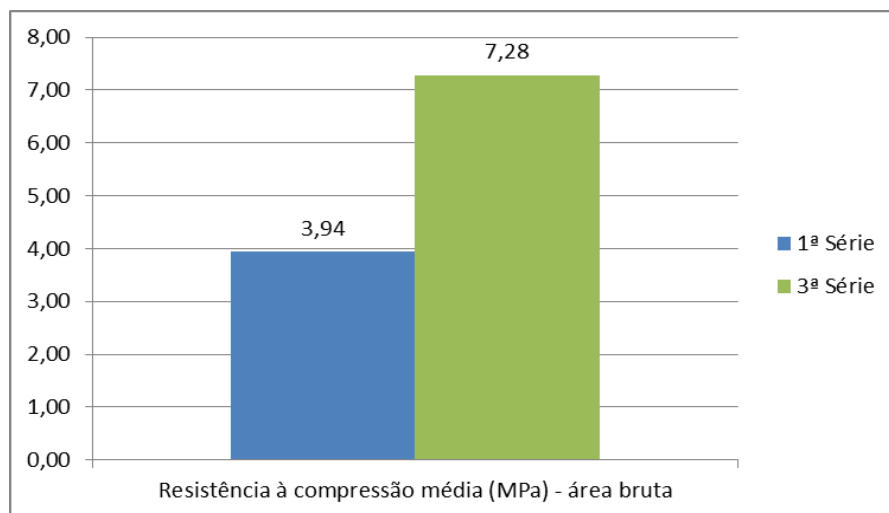


Figura 4.11 – Resistência média à compressão das 1ª e 3ª séries – área bruta

No entanto, quando o cálculo da resistência à compressão leva em consideração a área líquida da alvenaria é possível perceber que no caso das pequenas paredes a resistência à compressão foi a mesma nas duas séries, ou seja, o ganho de área proporcionado pelo preenchimento dos vazios com o graute foi equivalente ao aumento da capacidade de receber carga, desta forma o graute no interior da pequena parede influenciou apenas com o aumento

da área da seção transversal. A Figura 4.12 apresenta os dois valores de resistência à compressão referida à área líquida.

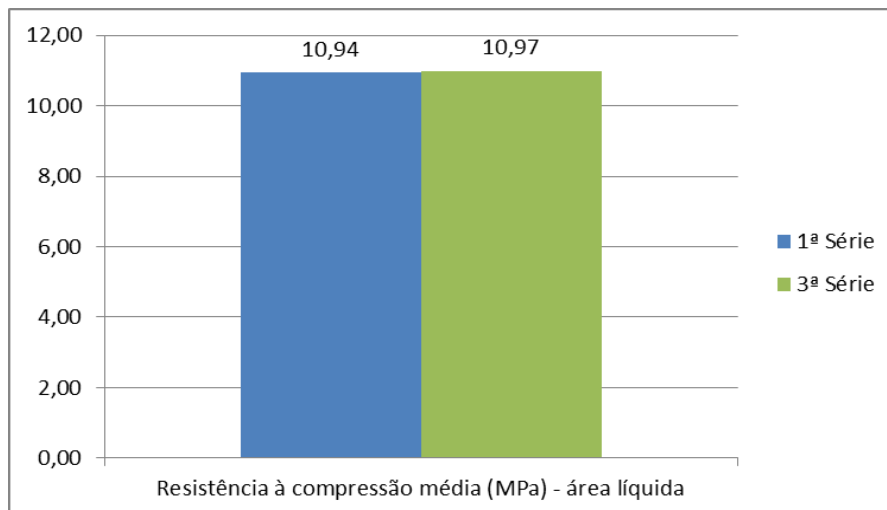
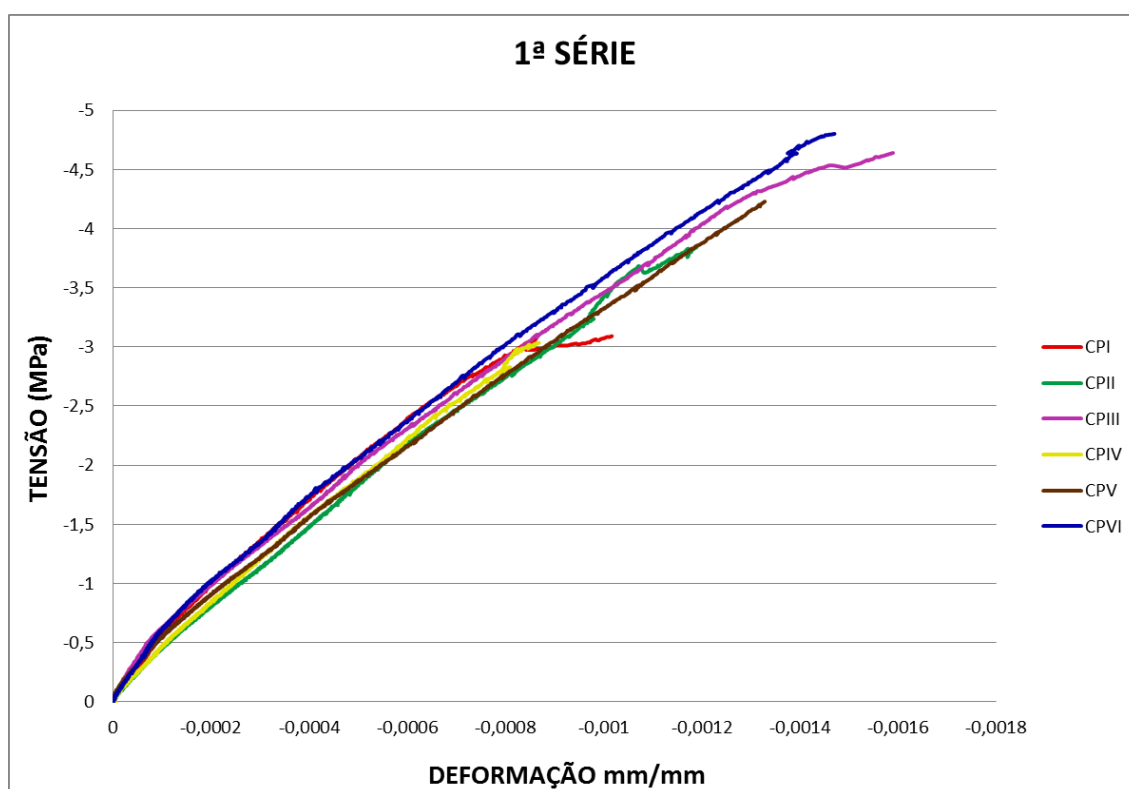


Figura 4.12 – Resistência média à compressão das 1ª e 3ª séries – área líquida

A Figura 4.13 apresenta o gráfico tensão *versus* deformação dos seis corpos de prova ensaiados de cada série.



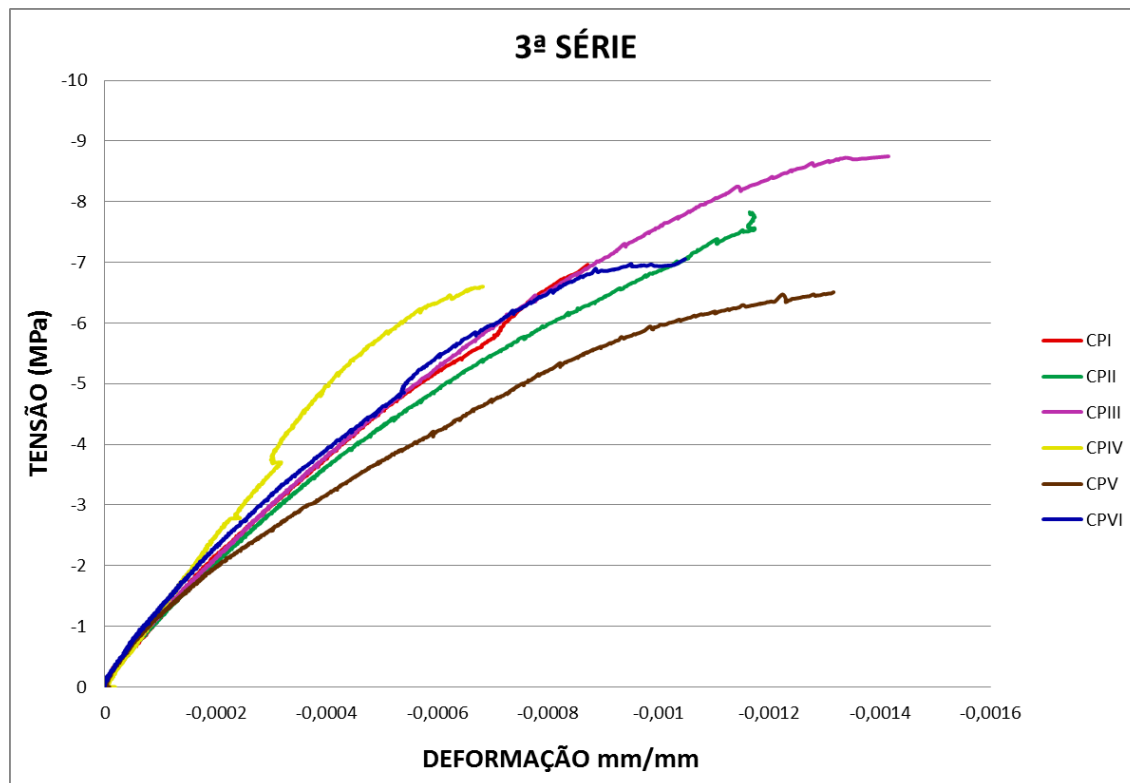


Figura 4.13 – Gráfico tensão *versus* deformação dos CP's das 1ª e 3ª séries

Com o gráfico tensão *versus* deformação da 3ª série, entende-se que o graute no interior das pequenas paredes causa uma variação maior no comportamento dos corpos de prova submetidos ao carregamento por se tratar de um material diferente inserido na alvenaria. Na 1ª série observa-se que as curvas são mais próximas entre si.

A Figura 4.14 a seguir apresenta uma pequena parede grauteada após o ensaio, com o detalhe ao lado de algumas fissuras que ocorreram com a ruptura.

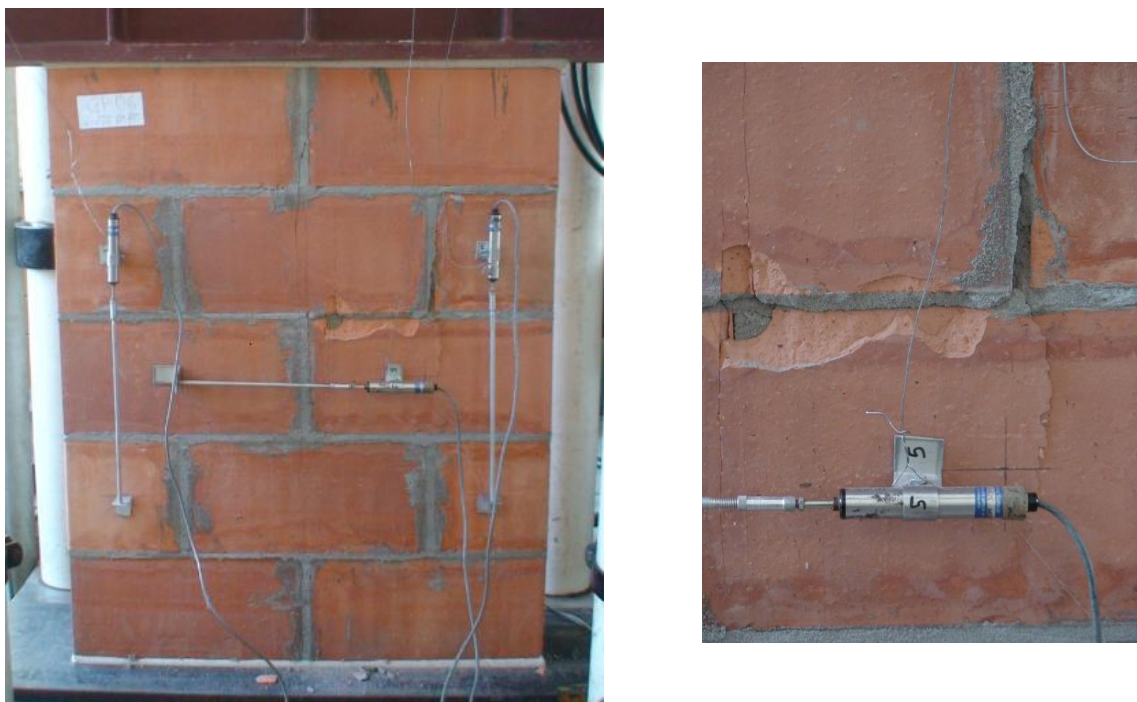


Figura 4.14 – Modo de ruptura das pequenas paredes da 3ª série

Pela figura acima é possível perceber que mesmo com a ruptura da pequena parede poucas fissuras ocorreram, não sendo observado o surgimento da fissura lateral que caracteriza o rompimento típico por tração. No entanto, vale ressaltar que devido ao elevado carregamento suportado pela pequena parede, por razões de segurança durante o ensaio, ao se perceber o início da redução da carga, indicador da ruptura, o ensaio era interrompido.

As equações 4.8 e 4.9 apresentam as razões entre módulo de elasticidade da pequena parede e sua resistência à compressão característica, e entre módulo de elasticidade da pequena parede e resistência à compressão característica do prisma da 3ª série.

$$E_{ppar} = 1666,78 \times f_{ppark} \quad (4.8)$$

$$E_{ppar} = 2707,52 \times f_{pk} \quad (4.9)$$

As Figuras 4.15 e 4.16 apresentam os fatores de eficiência parede/prisma das 1ª e 3ª séries com relação à resistência à compressão média e característica, respectivamente.

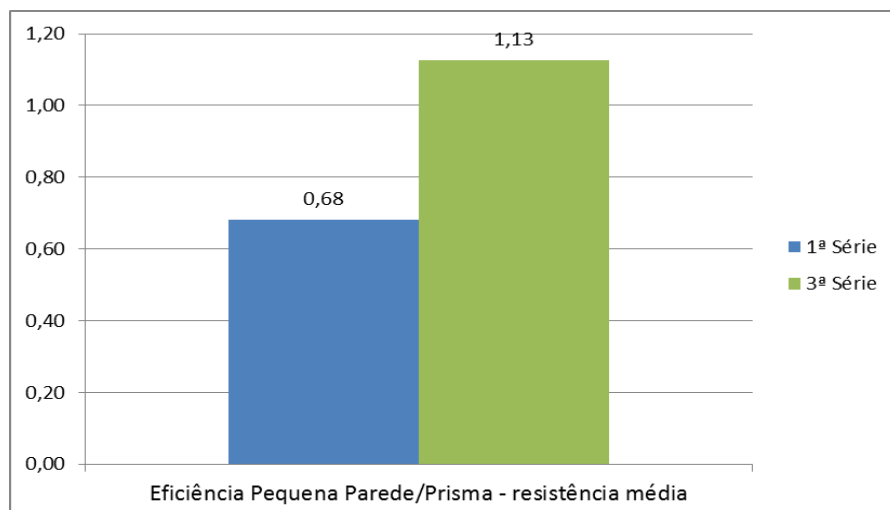


Figura 4.15 – Fator de eficiência pequena parede/prisma das 1ª e 3ª séries – resistência à compressão média

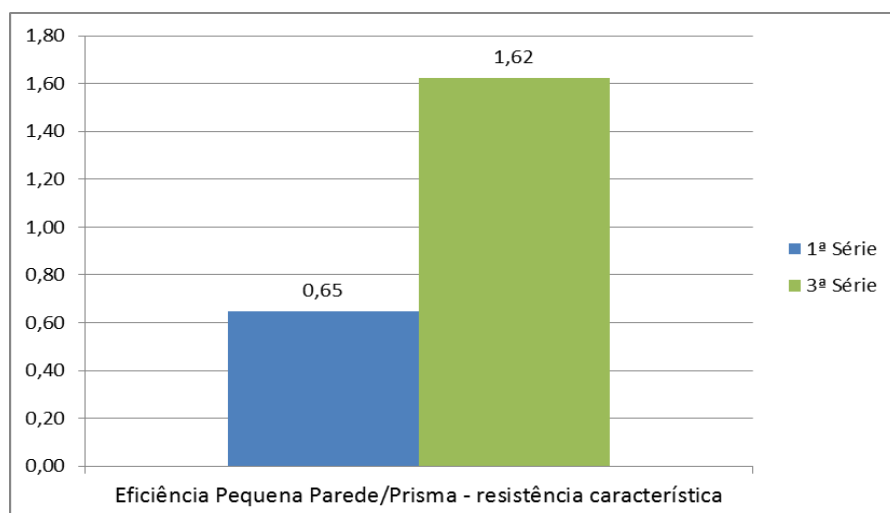


Figura 4.16 – Fator de eficiência pequena parede/prisma das 1ª e 3ª séries – resistência à compressão característica

Com base nas figuras apresentadas acima é possível perceber que no caso das pequenas paredes grauteadas os valores encontrados para resistência à compressão foram ainda maiores que os valores dos prismas. De modo geral a presença do graute produziu aumento da resistência das pequenas paredes, sendo o ganho de resistência proporcional ao acréscimo de área líquida. Tal fato não foi observado nos prismas, que inclusive apresentaram um comportamento diferente das pequenas paredes, como já observado anteriormente. Especula-se sobre a possível influência do confinamento sofrido pelo prisma, acrescido ao fato de as paredes laterais serem vazadas. Isto poderia aumentar a tração horizontal próxima à junta de assentamento, por ser o prisma de altura menor que a pequena parede.

4.3 RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO

Para avaliar a resistência ao cisalhamento da alvenaria foi utilizado o ensaio de compressão diagonal conforme a NBR 14321 (ABNT,1999). Para tanto foram confeccionadas pequenas paredes em duas séries (4ª e 5ª séries), com o objetivo de estudar o efeito do não preenchimento da junta vertical para este tipo de solicitação. A 4ª série refere-se às pequenas paredes com juntas verticais preenchidas e a 5ª série às pequenas paredes sem o preenchimento das juntas verticais. Conforme mencionado anteriormente, para que houvesse a distribuição de carga nas paredes com as juntas verticais não preenchidas, neste ensaio foi necessário o preenchimento de juntas na fiada superior e inferior. Tal procedimento objetivou evitar a ruptura localizada, junto aos pontos de aplicação de carga.

As Tabelas 4.10 e 4.11 a seguir apresentam a média dos resultados encontrados para carga máxima, resistência média ao cisalhamento, resistência característica e módulo de deformação transversal para as 4ª e 5ª séries, respectivamente. Os valores individuais se encontram no Apêndice B. Como a NBR 14321 (ABNT, 1999) não apresenta o cálculo para a resistência característica, foram utilizadas as especificações e coeficientes presentes na NBR 15812-2 (ABNT, 2010).

Tabela 4.10 – Resultados obtidos com as pequenas paredes da 4ª série

CP	Carga máxima (kN)	Resistência média ao cisalhamento (MPa)	Resistência característica (MPa)	Módulo de deformação transversal (MPa)
Média	101,06	0,30	0,20	1185,90
D. P.	14,54	0,04		120,66
C. V. (%)	14,39	14,39		10,17

Tabela 4.11 – Resultados obtidos com as pequenas paredes da 5ª série

CP	Carga máxima (kN)	Resistência média ao cisalhamento (MPa)	Resistência característica (MPa)	Módulo de deformação transversal (MPa)
Média	50,54	0,15	0,11	1016,74
D. P.	4,41	0,01		180,42
C. V. (%)	8,73	8,73		17,75

Com a análise estatística a partir dos dados de resistência média ao cisalhamento é possível afirmar, a um nível de significância de 5%, que houve diferença entre as médias

obtidas. Assim, o não preenchimento das juntas verticais influenciou a resistência ao cisalhamento. Nota-se que tal redução é expressiva, chegando a cair à metade. No entanto com relação ao módulo de deformação transversal, a análise estatística mostrou que não há diferença significativa entre os valores encontrados, ou seja, para este parâmetro o não preenchimento das juntas verticais não exerceu influência. Portanto, ao se preencher as juntas verticais, a alvenaria atingiu uma resistência mais elevada e se deformou mais. Isto se deve à melhor distribuição de tensão na pequena parede neste caso, já que a presença da argamassa nas juntas verticais aumentou a área de contato, disponibilizando mais caminhos para as tensões.

As equações 4.10 e 4.11 apresentam a razão entre o módulo de deformação transversal da pequena parede e a sua resistência característica ao cisalhamento, respectivamente, das 4ª e 5ª séries.

$$E_{ppar} = 6066,18 \times f_{ppark} \quad (4.10)$$

$$E_{ppar} = 9469,55 \times f_{ppark} \quad (4.11)$$

A Figura 4.17 abaixo apresenta o gráfico tensão cisalhante *versus* distorção das pequenas paredes das 4ª e 5ª séries. Com o gráfico da 4ª série observa-se que a alvenaria foi se deformando até atingir o colapso e perder sua capacidade portante. Já para as pequenas paredes da 5ª série, em um dado instante no decorrer do ensaio houve perda parcial de sua capacidade resistente, com posterior retomada da capacidade de suportar mais carga. Aparentemente houve um rearranjo interno, proveniente de acomodação ligada às juntas verticais não preenchidas. Pode-se perceber que, quando isto ocorreu, os transdutores se despregaram da pequena parede, mudando o sentido da distorção.

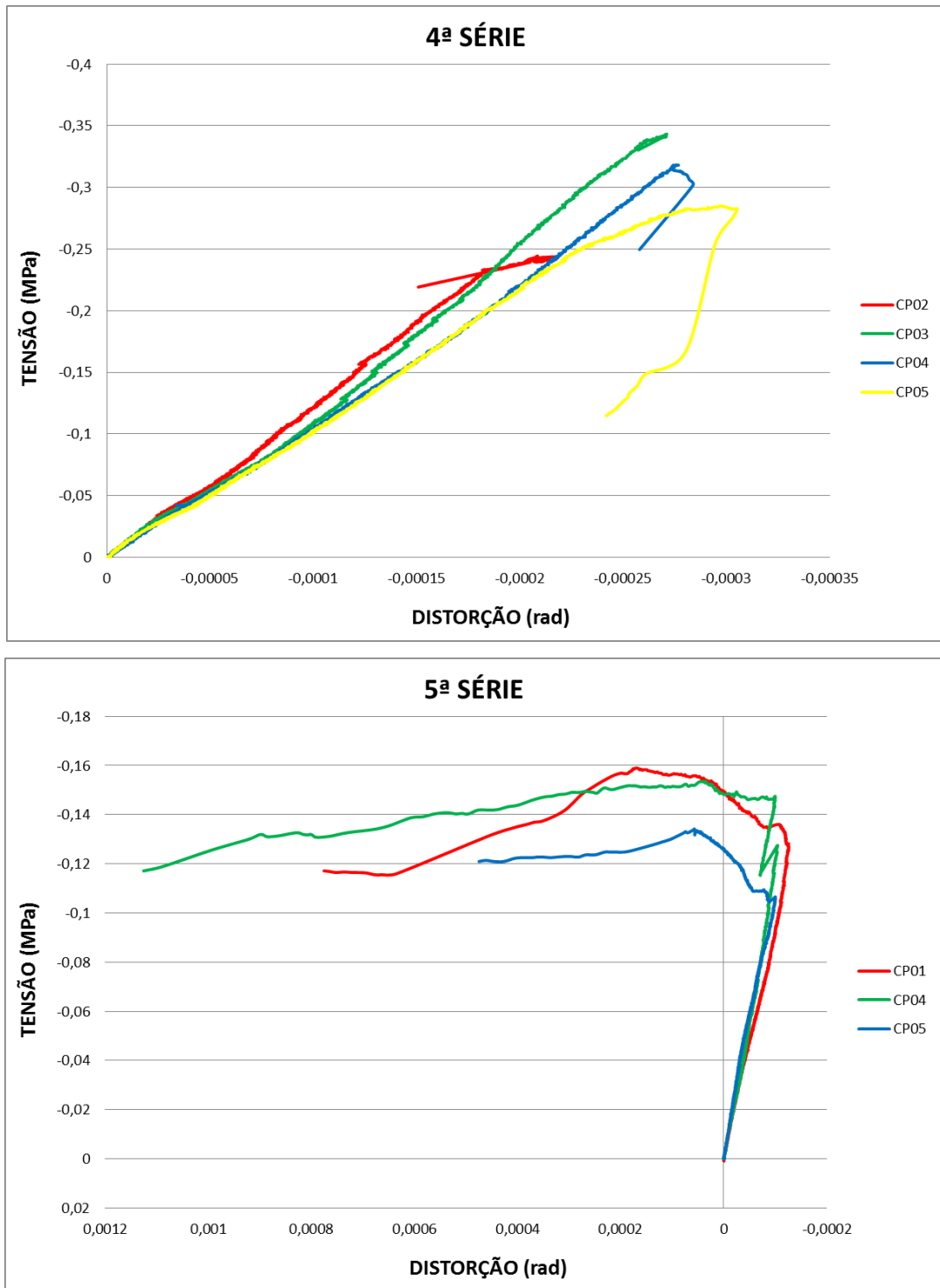


Figura 4.17 – Gráfico tensão cisalhante *versus* distorção das pequenas paredes das 4ª e 5ª séries

As Figuras 4.18 e 4.19 a seguir apresentam a ruptura das pequenas paredes por cisalhamento das séries 4 e 5, respectivamente.

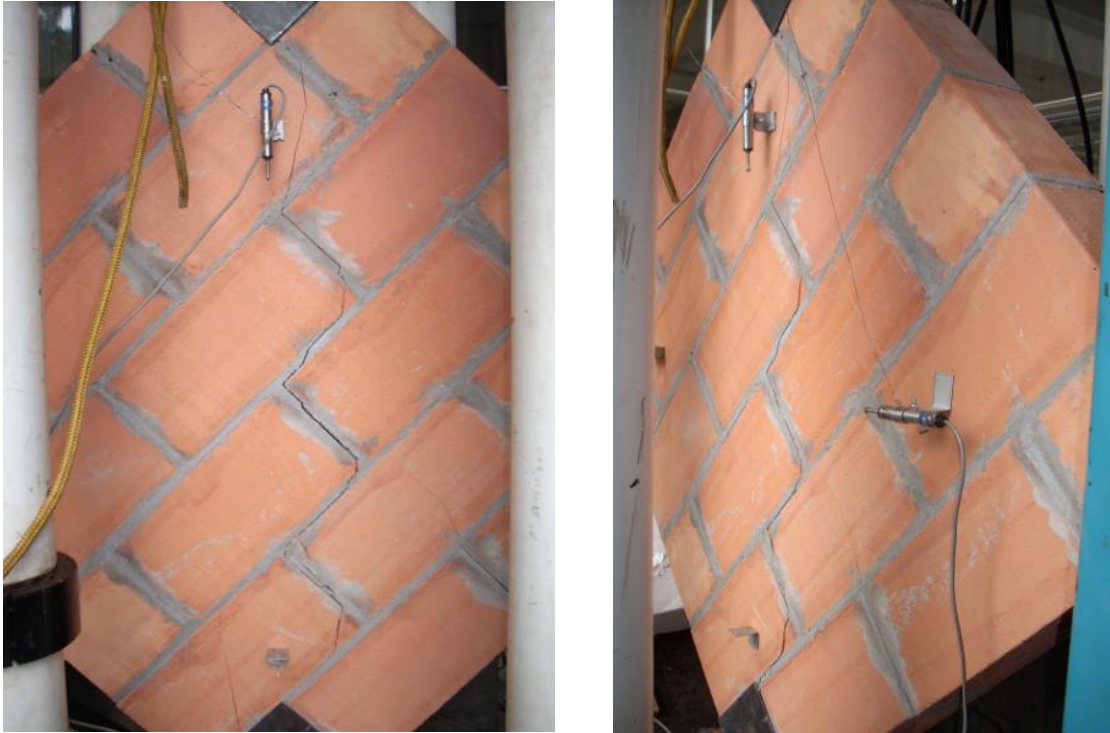


Figura 4.18 – Ruptura da pequena parede da 4ª série

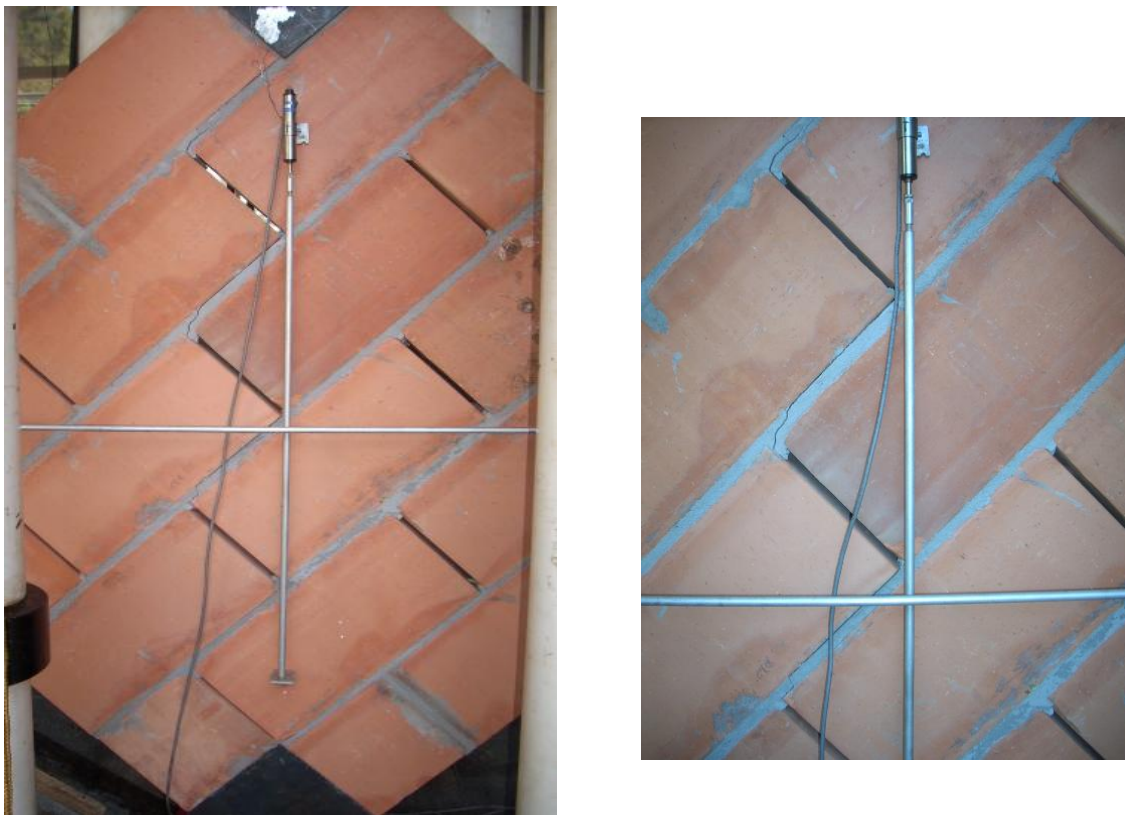


Figura 4.19 – Ruptura da pequena parede da 5ª série

Conforme a Figura 4.18 acima, a ruptura se deu com o surgimento de uma fissura central que percorreu a interface bloco-junta vertical e bloco-junta horizontal, chegando a atravessar os blocos em determinados pontos nas pequenas paredes da 4ª série. Nesta série, algumas paredes romperam com a fissura se propagando apenas pela primeira interface bloco-junta horizontal da parte superior das pequenas paredes. No entanto, para a 5ª série a ruptura sempre se deu na interface bloco-junta horizontal se propagando para o outro ponto de aplicação do carregamento conforme a Figura 4.19. As fissuras sempre acompanharam uma junta vertical não preenchida, como esperado, diferentemente da 4ª série em que algumas cruzaram blocos.

5 CAPÍTULO

CONCLUSÕES

As conclusões serão apresentadas analisando-se primeiramente o efeito do não preenchimento das juntas verticais e em seguida a influência do preenchimento dos vazios com graute na alvenaria. Além das conclusões, também serão apresentadas recomendações para trabalhos futuros.

Antes de discorrer sobre as conclusões obtidas no trabalho, inicialmente é necessário retomar aos objetivos específicos propostos, que se encontram abaixo relacionados.

- Comparar a resistência à compressão e ao cisalhamento, bem como os respectivos módulos de elasticidade entre pequenas paredes assentadas com juntas verticais preenchidas e não preenchidas.
- Determinar entre dois grautes com diferentes resistências o mais eficiente para preenchimento da alvenaria.
- Comparar a resistência à compressão e o módulo de elasticidade de prismas e pequenas paredes grauteados e ocos, sempre com o graute de melhor desempenho.

Desta forma, as conclusões serão comentadas tendo como base os objetivos especificados para cada tema estudado.

5.1 INFLUÊNCIA DO NÃO PREENCHIMENTO DAS JUNTAS VERTICAIS

Neste trabalho, o estudo da influência do não preenchimento das juntas verticais se deu com ensaios para avaliar a resistência à compressão e também a resistência ao cisalhamento de pequenas paredes, conforme descrito na metodologia apresentada no capítulo 3. Apesar de desenvolvido com apenas um tipo de bloco assentado com argamassa de um único traço, o estudo se deu com a construção de um número adequado de corpos de prova para a análise estatística no caso do ensaio de resistência à compressão. Já no caso do ensaio de resistência ao cisalhamento, as dimensões dos corpos de prova e as dificuldades do ensaio no laboratório limitaram o número de amostras ensaiadas.

Com base nas análises dos resultados de resistência à compressão das pequenas paredes apresentadas no capítulo 4, pode-se concluir que o não preenchimento das juntas verticais não influenciou a resistência final da alvenaria. Da mesma forma, o módulo de elasticidade também não foi influenciado e os corpos de prova apresentaram um modo de ruptura semelhante, com o surgimento de fissuras na direção das juntas verticais atravessando os blocos. Nos dois casos houve também a formação de uma fissura vertical nas laterais das pequenas paredes, caracterizando a ruptura por tração horizontal. A razão entre o módulo de elasticidade da pequena parede e a resistência à compressão característica do prisma nas 1ª e 2ª séries foi de, respectivamente, 942,11 e 1007,31. A NBR 15812-1 (ABNT, 2010) estabelece este fator como sendo 600, desta forma, os resultados obtidos mostram que a norma se encontra a favor da segurança.

Já com os resultados do ensaio de compressão diagonal que causa tensão cisalhante na alvenaria, pode-se concluir que o não preenchimento das juntas verticais influenciou significativamente a resistência final da alvenaria, com decréscimo de 50% da capacidade resistente, embora os módulos de deformação transversal tenham sido considerados equivalentes. Desta forma entende-se que, com as juntas verticais preenchidas, as pequenas paredes atingiram uma capacidade resistente maior, apresentando maiores deformações. O modo de ruptura observado foi semelhante nos dois casos com o surgimento de uma fissura se desenvolvendo na interface bloco-junta vertical e bloco-junta horizontal se propagando de um ponto de aplicação da carga para o outro. Destaca-se que no caso em que a junta vertical foi preenchida, algumas fissuras cruzaram blocos, o que não ocorreu quando do não preenchimento, que dirigiu as fissuras exclusivamente para as juntas de assentamento e as verticais não preenchidas. As razões entre o módulo de deformação transversal da pequena parede e a sua resistência característica ao cisalhamento nas 4ª e 5ª séries foram, respectivamente, 6066,18 e 9469,55.

Para trabalhos futuros é sugerida uma análise numérica com os resultados do programa experimental. Como a resistência ao cisalhamento é o ponto em que há maior divergência entre os resultados obtidos pelos pesquisadores, recomenda-se também um trabalho experimental que envolva maior número de parâmetros.

5.2 INFLUÊNCIA DO GRAUTEAMENTO DOS VAZIOS DA ALVENARIA

A influência do grauteamento dos vazios da alvenaria foi avaliada apenas em ensaios de resistência à compressão, utilizando-se prismas e pequenas paredes conforme descrito na metodologia apresentada no capítulo 3.

Para avaliar o efeito do graute na alvenaria, inicialmente foram estudados dois grautes com diferentes resistências: 9,9 MPa (Graute A) e 25,3 MPa (Graute C) para o preenchimento de prismas. Este estudo foi um trabalho realizado para a empresa Cerâmica CITY, sendo os resultados apresentados no Apêndice A. Com este estudo concluiu-se que independente da resistência do graute, a resistência do prisma grauteado foi considerada equivalente à resistência do prisma oco e, portanto, para a confecção das pequenas paredes e de novos prismas do presente trabalho foi escolhido o Graute A.

Com a análise dos resultados dos ensaios de resistência à compressão dos prismas, as conclusões obtidas foram as mesmas do Apêndice A, ou seja, não houve diferença significativa entre a resistência à compressão do prisma oco e do prisma grauteado. A ruptura se deu por tração na horizontal tanto na parede longitudinal ou transversal ocorrendo no plano de fraqueza existente nos vazados das paredes dos blocos. Foi observado que a ruptura do prisma grauteado se deu de forma mais explosiva quando comparada com a ruptura do prisma oco, sugerindo uma possível sollicitação mais intensa no bloco por parte do graute. A resistência do prisma foi calculada, também, em relação à sua área líquida, sendo que a análise estatística mostrou que a resistência do prisma grauteado foi considerada significativamente menor que a resistência em relação à área líquida do prisma oco; houve ganho de área líquida no prisma grauteado, mas não houve aumento na sua resistência à compressão.

Já com as pequenas paredes grauteadas, a análise dos resultados de resistência à compressão mostrou que houve aumento significativo da resistência neste caso. Comparando os valores de resistência à compressão em relação à área líquida, a média dos resultados foi considerada equivalente, ou seja, o ganho de área devido ao preenchimento dos vazios com o graute foi proporcional ao aumento da capacidade de resistir ao carregamento aplicado. Assim, o comportamento observado nas pequenas paredes grauteadas foi diferente do comportamento apresentado pelos prismas grauteados. Uma possível explicação para esta diferença é a influência do confinamento sofrido pelo prisma, acrescido ao fato de as paredes laterais serem vazadas, o que poderia aumentar a tração horizontal próxima à junta de assentamento, uma vez que o prisma tem altura menor que a pequena parede. Desta forma,

como nas pequenas paredes o comportamento com o graute foi diferente do comportamento apresentado pelos prismas, espera-se que a construção de pequenas paredes com o Graute C proporcione aumento na resistência da pequena parede. Como não foi possível a confecção de pequenas paredes com o Graute C no presente trabalho, sugere-se para trabalhos futuros essa investigação. Assim, o objetivo de se determinar dentre os dois grautes o de melhor desempenho foi atendido parcialmente, uma vez que houve diferença entre o comportamento de prismas e pequenas paredes. A razão entre o módulo de elasticidade da pequena parede grauteada e a resistência à compressão característica do prisma grauteado foi de 2707,52.

Para trabalhos futuros, sugere-se também uma análise numérica através de estudos paramétricos para avaliar a diferença nos comportamentos apresentados pelo prisma e pela pequena parede. Com relação ao trabalho experimental, sugere-se estudar um maior número de grautes de diferentes resistências. Além do prisma de dois blocos, sugere-se a confecção de prismas de três blocos e pequenas paredes, mais representativos da alvenaria.

Com base nos resultados alcançados, pode-se concluir que o trabalho atingiu os objetivos específicos propostos, contribuindo para um melhor entendimento dos temas aqui apresentados.

REFERÊNCIAS

ARANTES, C. A. (2003). **Influência do graute na alvenaria estrutural cerâmica**. 175p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

ARAÚJO A. F. (2002). **Metodologia para avaliação da resistência de aderência ao cisalhamento de prismas para alvenaria estrutural**. 148p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1993). **ASTM E519**: Standard test method for diagonal tension (shear) in masonry assemblages. Philadelphia.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2001). **NBR NM 23**: Cimento portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1998). **NBR NM 67**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2003). **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2007). **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1983). **NBR 7810**: Agregado no estado compactado seco – determinação da massa unitária. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987). **NBR 9776**: Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapman – Método de ensaio. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2005). **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2005). **NBR 13277**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2005). **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2005). **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2005). **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1999). **NBR 14321**: Paredes de alvenaria estrutural – Determinação da resistência ao cisalhamento. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2005). **NBR 15270-2**: Componentes cerâmicos parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2005). **NBR 15270-3**: Componentes cerâmicos parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2010). **NBR 15812-1**: Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos parte 1: Projetos. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2010). **NBR 15812-2**: Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos parte 2: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro.

CAMACHO J. S. (1995). **Contribuição ao estudo de modelos físicos reduzidos de alvenaria estrutural cerâmica**. 157p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

CANDIA M. C. (1994). **Resistência de aderência ao cisalhamento da alvenaria estrutural não armada de blocos cerâmicos**. 169p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

CAPOZUCCA, R. (2002). Analysis of block masonry panels built with different jointing techniques subjected to compression and shear. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 7., 2002, Belo Horizonte. **Proceedings...** Belo Horizonte: [s.n.]. p.177-183.

CAVALHEIRO, O. P.; POZZOBON, M. A.; SANTOS M. D. F. (2000). Diagonal tensile and compressive strengths of hollow clay and concrete block specimens. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 6., 2000, Bangalore. **Proceedings...** Bangalore: [s.n.]. p.157-163.

DRYSDALE, R. G.; HAMID, A. A.; BAKER L. R. (1994). **Masonry structures**: Behavior and design. New Jersey: Prentice Hall.

EUROPEAN STANDARD (1999). **EN 1052-2**: Methods of test for masonry: part 2 – Determination of flexural strength. Brussels.

EUROPEAN STANDARD (2002). **EN 1052-3**: Methods of test for masonry: part 3 – Determination of initial shear strength. Brussels.

EUROPEAN STANDARD (2005). **EN 1052-5**: Methods of test for masonry: part 5 – Determination of bond strength by the bond wrench method. Brussels.

GARCIA P. D. (2000). **Contribuições ao estudo da resistência à compressão de paredes de alvenaria de blocos cerâmicos**. 115p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

GOMES N. S. (1983). **A resistência das paredes de alvenaria**. 191p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1983.

GROHMANN L. Z. (2006). **Análise do comportamento de prismas grauteados de alvenaria estrutural cerâmica**. 160p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

HAACH V.G.; VASCONCELOS G.; LOURENÇO P. B. (2010). Influence of the geometry of units and of the filling of vertical joints in the compressive and tensile strength of masonry. **Materials Science Forum**, v. 636-637, p. 1321-1328, Jan. Disponível em: <<http://www.scientific.net>>. Acesso em: 9 Sept. 2010.

HOLANDA JÚNIOR O. G. (2002). **Influência de recalques em edifícios de alvenaria estrutural**. 224p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

KINGSLEY, G. R.; TULIN, L. G.; NOLAND J. L. (1985). Parameters influencing the quality of grout in hollow clay masonry. In: INTERNATIONAL BRICK MASONRY CONFERENCE, 7., 1985, Melbourne. **Proceedings...** Disponível em: <<http://www.klaa.com/Parameters%20Influencing.pdf>>. Acesso em: 10 July 2011.

LAWRENCE, S. J.; CAO, H. T. (1988). Microstructure of the interface between brick and mortar. In: INTERNATIONAL BRICK/BLOCK MASONRY CONFERENCE, 8., 1988, Dublin. **Proceedings...** London: Elsevier Applied Science. p.194-204.

MENDES R. J. K. (1998). **Resistência à compressão de alvenaria de blocos cerâmicos estruturais**. 185p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

OLIVEIRA, L. A. P. (1994). A resistência de aderência como parâmetro de compatibilidade entre o graute de enchimento e as unidades da alvenaria estrutural. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 5., 1994, Florianópolis. **Proceedings...** Florianópolis: [s.n.]. p.214-227.

PARSEKIAN, G. A.; SOARES, M. M. (2010). **Alvenaria estrutural em blocos cerâmicos: projeto, execução e controle**. São Paulo: O Nome da Rosa.

PASSOS, M. E. M.; SANTOS, F. A.; CARVALHO, M. C. R. (2002). Avaliação experimental do comportamento e da resistência à compressão de paredes com juntas verticais não preenchidas. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 7., 2002, Belo Horizonte. **Proceedings...** Belo Horizonte: [s.n.]. p.163-167.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. (2003). **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini.

ROMAGNA R. H. (2000). **Resistência à compressão de prismas de blocos de concreto grauteados e não grauteados**. 195p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

ROMAN, H. R. (1993). **Resistência ao cisalhamento de paredes de alvenaria de blocos de concreto sem junta vertical**. Santa Catarina: UFSC-ENCOL. (Relatório nº1).

R. ROMAN, H. ; F. ROMAN, L. M. (1998). Shear strength of concrete block walls with unfilled vertical joints. In: MEETING OF CIB, 35., 1998, Dresden. **Proceedings...** Dresden: Dresden University of Technology. p.175-182.

SANTOS F. A. (2001). **Efeito do não-preenchimento de juntas verticais no desempenho de edifícios em alvenaria estrutural**. 154 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

SANTOS, F. A.; SINHA, B. P. (2002). Lateral load-deflection relationship of single-storey masonry shear wall structures with filled and unfilled vertical mortar joints. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 7., 2002, Belo Horizonte. **Proceedings...** Belo Horizonte: [s.n.]. p.155-161.

SCRIVENER, J. C.; BACKER, L. R. (1998). Factors influencing grouted masonry prism compressive strength. In: INTERNATIONAL BRICK/BLOCK MASONRY CONFERENCE, 8., 1988, Dublin. **Proceedings...** London: Elsevier Applied Science, v.2. p.874-883.

VILATÓ R. R. (2004). **Influência do preenchimento das juntas verticais entre componentes no comportamento da alvenaria estrutural.** 165p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

APÊNDICE A

Os resultados descritos a seguir fazem parte de uma série de ensaios em prismas realizados no Laboratório de Estruturas da EESC-USP, para a empresa que produziu os blocos, Cerâmica CITY. Esta empresa foi a mesma que doou os blocos utilizados na presente pesquisa.

A.1 DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES

Os blocos cerâmicos utilizados no trabalho para empresa foram recebidos no mesmo dia dos blocos utilizados na presente pesquisa, 04 de fevereiro de 2011, no entanto, pertenciam a lotes diferentes, possuindo inclusive comprimentos diferentes. Assim, os blocos utilizados nos ensaios que serão descritos a seguir possuíam as dimensões nominais especificadas em catálogo: largura – 14 cm; altura – 19 cm e comprimento – 29 cm.

Dentre os dois tipos de argamassa usados, aqui serão apresentados apenas os resultados com argamassa de traço em volume de 1:0,5:4,5:, pois foi a mesma utilizada na presente pesquisa. O traço em volume foi convertido em massa obtendo a proporção de 1:0,30:5,99 com relação água cimento de 1,30.

Foram utilizados dois tipos de graute, denominados A e C. O graute A foi produzido com traço em massa de 1:3,06:2,94 (cimento, areia, brita 0), com relação água/cimento de 0,95. Já o graute C foi produzido com o traço em massa de 1:1,9:2,21 (cimento, areia e brita 0) e relação água/cimento de 0,64.

A.2 METODOLOGIA

O trabalho consistiu em ensaiar à compressão simples prismas ocos e grauteados. Os prismas ocos foram ensaiados aos 7, 14 e 28 dias para verificar o eventual ganho de resistência ao longo do tempo. Já os prismas grauteados, tanto com o graute A como também com o graute C foram ensaiados com idade de 28 dias. Em cada caso foram ensaiados 12 prismas. A pedido da empresa, todos os prismas foram assentados com argamassamento apenas na lateral, no entanto, no caso dos prismas grauteados, foi necessário o fechamento com argamassa nas paredes transversais, não sendo necessário, no entanto, o preenchimento

com argamassa da parede transversal do centro. A Figura A.1 apresenta a posição da argamassa no assentamento para os dois casos: prisma oco (a) e prisma grauteado (b).



Figura A.1 – Assentamento dos prismas: (a) prisma oco e (b) prisma grauteado

Foi feita também uma série complementar de 12 prismas ocos assentados com argamassamento total para efeito de comparação, ensaiados aos 14 dias e outra série com 6 prismas ensaiados aos 28 dias.

Para controle da resistência à compressão da argamassa foram ensaiados 6 corpos de prova cilíndricos de tamanho 5 x 10 (diâmetro e altura, em cm). E da mesma forma, para cada tipo de graute também foram ensaiados 6 corpos de prova cilíndricos de tamanho 10 x 20 (diâmetro x altura, em cm).

Os corpos de prova de argamassa e de graute foram ensaiados na máquina hidráulica para ensaio de compressão da marca ELE, modelo Autotest 2000. Já os prismas foram ensaiados na máquina servo-hidráulica universal marca Instron, modelo 8506 através de um atuador controlando o deslocamento a uma velocidade de 0,03 mm/s.

A.3 RESULTADOS

As Tabelas A.1, A.2 e A.3 apresentam os resultados de resistência à compressão dos corpos de prova de argamassa, graute A e graute C, respectivamente.

Tabela A.1 – Resistência à compressão simples de corpos de prova de argamassa

Argamassa	Força (kN)	Tensão (MPa)
CP 01	11,50	5,86
CP 02	9,90	5,04
CP 03	12,10	6,16
CP 04	13,80	7,03
CP 05	12,60	6,42
CP 06	11,80	6,01
Média	11,95	6,09
D. P.		0,66
C.V. (%)		10,78

Tabela A.2 – Resistência à compressão simples de corpos de prova de Graute A

Graute A	Força (kN)	Tensão (MPa)
CP 01	78,40	9,98
CP 02	77,10	9,82
CP 03	77,90	9,92
CP 04	85,70	10,91
CP 05	69,90	8,90
CP 06	76,64	9,76
Média	77,61	9,88
D. P.		0,64
C.V. (%)		6,5

Tabela A.3 – Resistência à compressão simples de corpos de prova de Graute C

Graute C	Força (kN)	Tensão (MPa)
CP 01	211,10	26,88
CP 02	194,20	24,73
CP 03	199,20	25,36
CP 04	196,10	24,97
CP 05	193,80	24,68
CP 06	198,40	25,26
Média	198,80	25,31
D. P.		0,82
C.V. (%)		3,2

As Tabelas A.4 e A.5 apresentam os resultados de resistência à compressão dos prismas ociosos com argamassamento lateral e total, respectivamente. Já a Tabela A.6 apresenta os resultados de resistência à compressão de prismas grauteados com o graute A e C. Nessas tabelas, a tensão sempre se refere à área bruta dos prismas.

Tabela A.4 – Resistência à compressão dos prismas ociosos assentados com argamassamento lateral, aos 7, 14 e 28 dias

Prisma	Tensão (MPa)		
	7 dias	14 dias	28 dias
CP 01	1,77	2,16	2,52
CP 02	2,24	2,53	1,54
CP 03	1,80	2,05	1,71
CP 04	1,75	0,58*	1,88
CP 05	2,07	1,78	2,22
CP 06	1,43	2,24	1,81
CP 07	1,79	2,24	1,79
CP 08	1,74	1,96	1,68
CP 09	1,40	1,56	1,22
CP 10	1,55	1,47	1,25
CP 11	1,82	1,88	1,89
CP 12	1,82	1,86	2,12
Média	1,76	1,97	1,80
D. P.	0,24	0,31	0,37
C. V. (%)	13,5	15,8	20,7
f_{pk}	1,38	1,43	1,19

*Valor espúrio, não considerado

Tabela A.5 – Resistência à compressão dos prismas ociosos assentados com argamassamento total, aos 14 e 28 dias

Prisma	Tensão (MPa)	
	14 dias	28 dias
CP 01	4,90	6,67
CP 02	5,01	5,86
CP 03	5,90	6,67
CP 04	5,71	6,90
CP 05	4,96	5,91
CP 06	5,83	4,74
CP 07	4,97	-
CP 08	4,66	-
CP 09	3,79	-
CP 10	4,93	-
CP 11	5,00	-
CP 12	6,08	-
Média	5,15	6,13
D. P.	0,64	0,80
C. V. (%)	12,5	13,10
f_{pk}	4,33	4,69

Tabela A.6 – Resistência à compressão, aos 28 dias, de prismas grauteados – Graute A e Graute C

Prisma	Tensão (MPa)	Tensão (MPa)
	Graute A	Graute C
CP 01	7,98	4,72
CP 02	7,79	4,71
CP 03	8,16	6,35
CP 04	7,89	5,26
CP 05	6,03	4,90
CP 06	4,32	6,11
CP 07	6,37	7,21
CP 08	6,41	6,82
CP 09	3,13	6,31
CP 10	4,95	5,85
CP 11	6,28	5,44
CP 12	5,57	6,48
Média	6,24	5,85
D. P.	1,58	0,84
C.V. (%)	25,3%	14,3%
f_{pk}	3,32	4,61

Com base nos resultados de resistência média apresentados pela Tabela A.6 é possível perceber que o preenchimento dos prismas com o graute de maior resistência (graute C) não conferiu resistência superior aos prismas se comparados com os preenchidos com graute A, uma vez que no primeiro caso a média dos valores de resistência foi 5,85 MPa contra 6,24 MPa. Já os resultados de resistência característica obtidos foram, 4,61 MPa para o prisma grauteado com o graute C contra 3,32 MPa para o grauteado com o graute A.

A.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com base na análise estatística aplicando-se o Teste F, a um nível de significância de 5%, os resultados de resistência à compressão do graute A e do graute C apresentaram variâncias equivalentes. Assim com a aplicação do Teste T, presumindo amostras com variâncias equivalentes, é possível concluir que as amostras apresentaram médias de resistência à compressão diferentes. A Figura A.2 mostra a diferença entre as resistências encontradas.

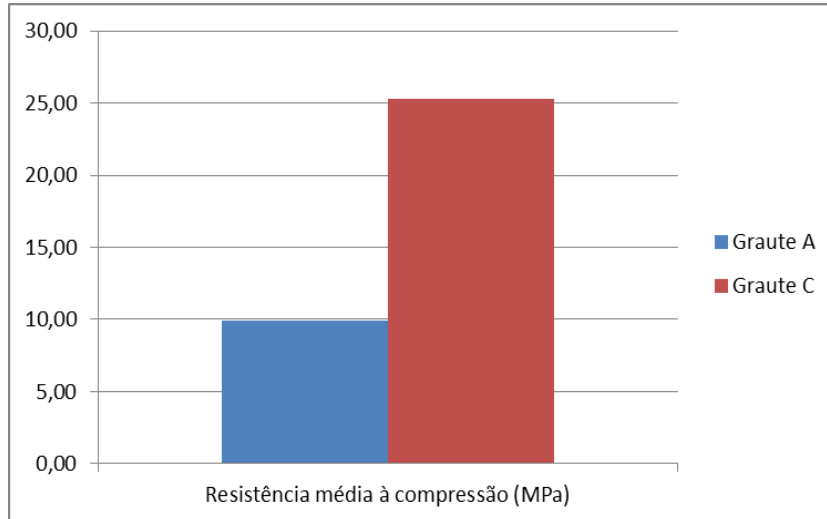


Figura A.2 – Resistência média à compressão (MPa) – graute A e graute C

A análise estatística confirma também que o preenchimento do prisma com grautes de diferentes resistências não influenciou a resistência à compressão do mesmo, pois aplicando-se o Teste T, aceitou-se a hipótese das médias dos valores de resistência serem equivalentes. A Figura A.3 apresenta os resultados de resistência média à compressão dos prismas preenchidos com o graute A e o graute C.

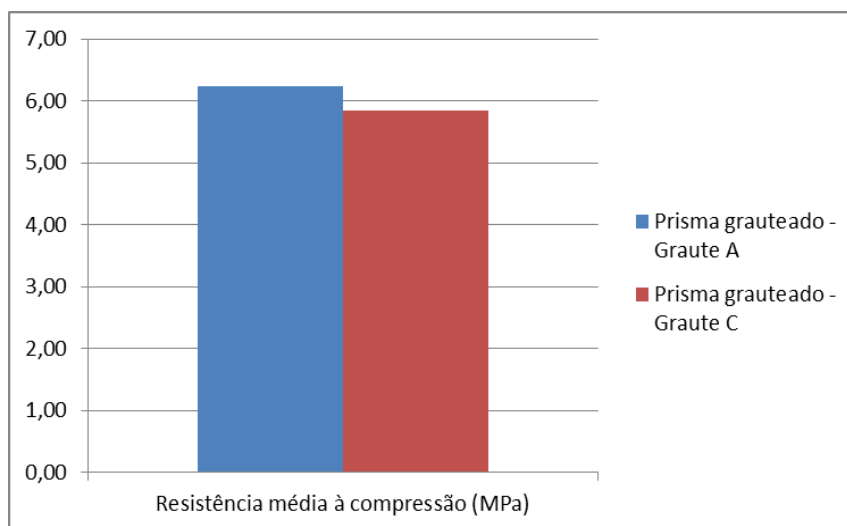


Figura A.3 – Resistência média à compressão (MPa) – prismas grauteados (graute A e graute C)

Com relação aos resultados dos prismas preenchidos com o graute A e os prismas ocios com argamassamento na lateral aos 28 dias, a análise estatística utilizando-se o Teste T mostrou que as médias entre as amostras são diferentes. O mesmo também é válido para os prismas ensaiados aos 14 dias. Desta forma, como é ilustrado pela Figura A.4, a presença do graute no interior do prisma fez com que a resistência do mesmo aumentasse.

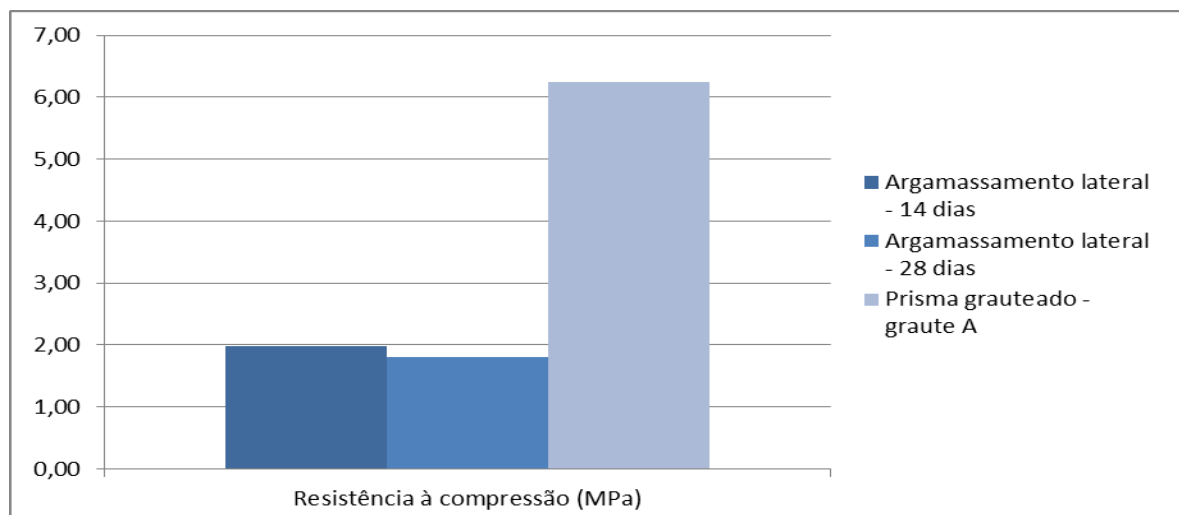


Figura A.4 – Resistência média à compressão (MPa) – prismas ocios com argamassamento na lateral (14 e 28 dias) e prismas grauteados (graute A)

Os prismas preenchidos com o graute A foram comparados agora com os prismas ocios e argamassamento total ensaiados aos 14 dias, aplicando-se o Teste T. O resultado mostrou que as médias entre as duas amostras analisadas são diferentes. Assim, o graute A fez aumentar a resistência do prisma. No entanto, quando se comparam os resultados com os prismas ocios e argamassamento total aos 28 dias a análise mostrou que as médias entre as amostras são equivalentes, ou seja, a presença do graute no interior do prisma não exerceu influência na resistência final do mesmo. Através da Figura A.5 é possível perceber a diferença entre as resistências médias dos prismas.

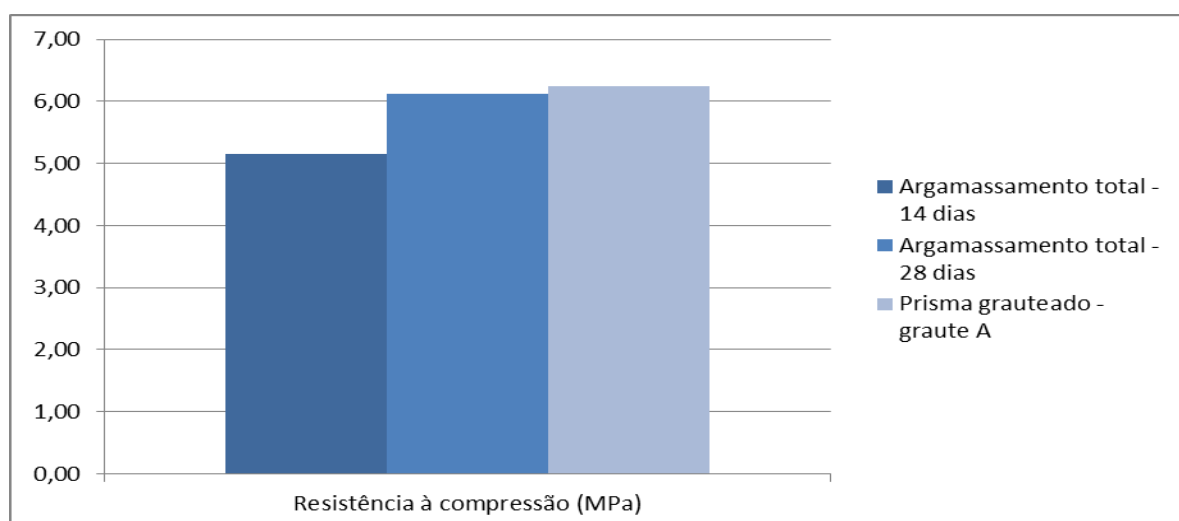


Figura A.5 – Resistência média à compressão (MPa) – prismas ocios com argamassamento total (14 e 28 dias) e prismas grauteados (graute A)

Da mesma forma, também foram feitas análises estatísticas entre os prismas ocos e os prismas grauteados com o graute C e as mesmas conclusões também foram obtidas. A Figura A.6 apresenta os resultados das médias de resistência à compressão entre os prismas ocos assentados com argamassamento na lateral e ensaiados aos 14 e 28 dias e os prismas grauteados. Pela análise utilizando-se o Teste T, a presença do graute no interior do prisma exerceu influência em sua resistência à compressão.

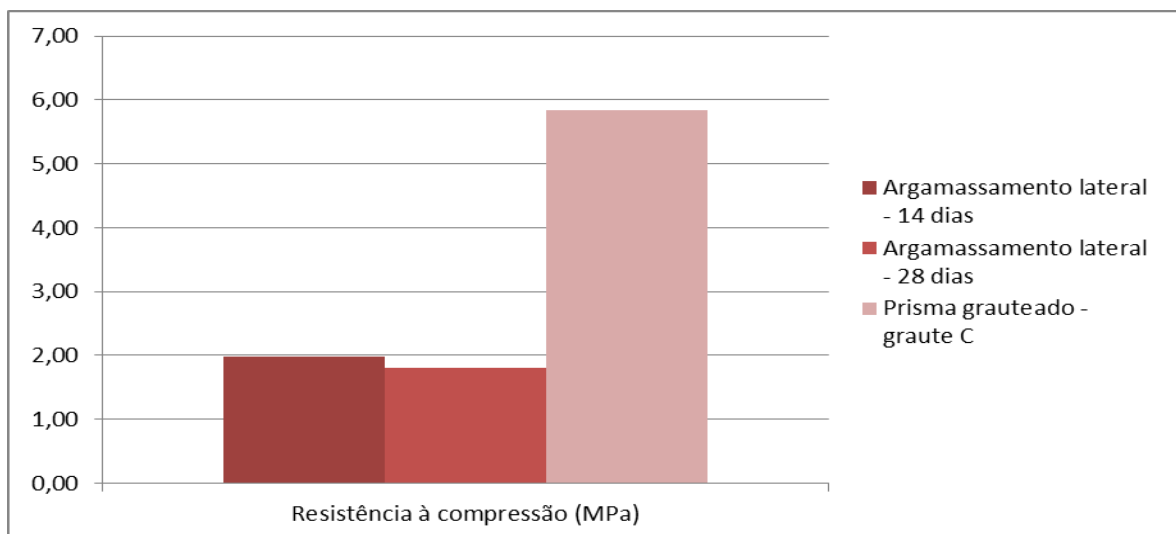


Figura A.6 – Resistência média à compressão (MPa) – prismas ocos com argamassamento na lateral (14 e 28 dias) e prismas grauteados (graute C)

Comparando os prismas assentados com argamassamento total ensaiados aos 14 dias com os prismas grauteados com o graute C a análise confirmou, a um nível de significância de 5%, que a média entre as amostras são diferentes, ou seja, o graute influenciou na resistência à compressão dos prismas. Já comparando os prismas assentados com argamassamento total, porém ensaiados aos 28 dias, o resultado da análise mostrou que as médias podem ser consideradas equivalentes e, assim, o graute C não influenciou na resistência final dos mesmos. A Figura A.7 ilustra a diferença entre as resistências médias dos prismas.

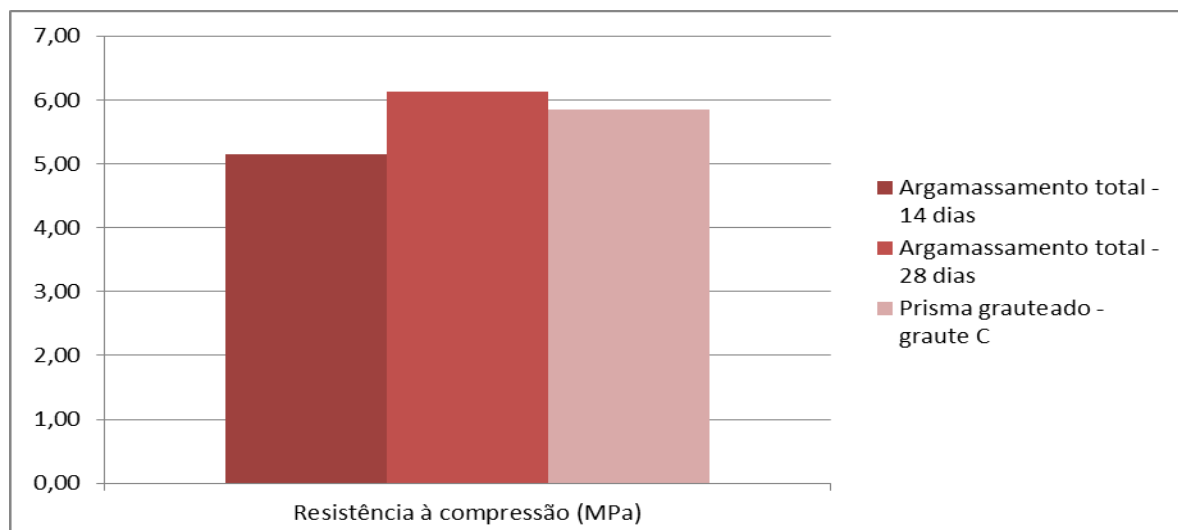


Figura A.7 – Resistência média à compressão (MPa) – prismas ocos com argamassamento total (14 e 28 dias) e prismas grauteados (graute C)

Para o melhor entendimento dos resultados obtidos nos ensaios anteriormente descritos, algumas considerações foram feitas. O módulo de elasticidade do bloco foi determinado através de um conjunto de 13 unidades com as mesmas dimensões dos blocos utilizados no trabalho realizado para a empresa, mas que pertenciam a outro lote. Na instrumentação foram utilizados tanto *clip gages* como transdutores de deslocamentos. No entanto, o módulo de elasticidade foi determinado utilizando-se os resultados apresentados pelos transdutores.

A Tabela A.7 apresenta os resultados de resistência à compressão e módulo de elasticidade dos blocos referindo-se à área bruta e também à área líquida.

Tabela A.7 – Resistência à compressão e módulo de elasticidade dos blocos

CP	Carga (kN)	Área bruta (cm ²)	Tensão (MPa)	Mód. Elast. (MPa)	Área líquida (cm ²)	Tensão (MPa)	Mód. Elast. (MPa)
CP01	502,15	397,99	12,62	3401,90	152,03	33,03	8905,40
CP02	595,62	401,50	14,83	3309,90	153,37	38,83	8664,60
CP03	624,92	399,44	15,65	4010,90	152,59	40,96	10500,00
CP04	496,20	397,26	12,49	3179,50	151,75	32,70	8323,20
CP05	438,89	401,50	10,93	3399,80	153,37	28,62	8899,90
CP06	838,03	397,34	21,09	4880,80	151,78	55,21	12777,00
CP07	410,13	402,19	10,20	2131,30	153,64	26,69	5579,30
CP08	649,64	397,99	16,32	3828,70	152,03	42,73	10023,00
CP09	551,36	400,04	13,78	2654,00	152,82	36,08	6947,70
CP10	565,17	399,36	14,15	3259,70	152,55	37,05	8533,20

Continua

CP	Carga (kN)	Área bruta (cm ²)	Tensão (MPa)	Mód. Elast. (MPa)	Conclusão		
					Área líquida (cm ²)	Tensão (MPa)	Mód. Elast. (MPa)
CP11	599,13	396,49	15,11	3519,80	151,46	39,56	9214,20
CP12	380,29	398,71	9,54	2496,30	152,31	24,97	6534,80
CP13	504,05	396,58	12,71	3258,40	151,49	33,27	8529,70
CP14	467,20	401,89	11,63	2622,00	153,52	30,43	6863,90
Média	544,48	399,16	13,65	3282,36	152,48	35,72	8592,56
D. P.	116,90	2,00	2,96	693,65	0,77	7,75	1815,87
C. V. (%)	21,47	0,50	21,69	21,13	0,50	21,69	21,13

Outro parâmetro também importante para se comparar com os resultados obtidos é o módulo de elasticidade do prisma. Como os prismas ensaiados não foram instrumentados, o módulo de elasticidade de cada um foi calculado pela equação A.1 a seguir. Esta equação está presente na NBR 15812-1 (ABNT, 2010) para determinação do módulo de elasticidade da alvenaria.

$$E_a = 600 \times f_{pk} \quad (\text{A.1})$$

Da mesma forma, para determinar o valor do módulo de elasticidade dos grautes A e C foi utilizada a fórmula da NBR 6118 (ABNT, 2007) a seguir apresentada como equação A.2.

$$E_c = 5600 \times \sqrt{f_{ck}} \quad (\text{A.2})$$

No entanto, apesar das normas estabelecerem o uso da resistência característica para a determinação do módulo de elasticidade, optou-se pelo cálculo com os valores individuais obtidos em cada ensaio de resistência à compressão e em seguida a determinação da média destes resultados. A Tabela A.8 a seguir apresenta os resultados para o graute A e graute C. E a Tabela A.9 apresenta os resultados do módulo de elasticidade dos prismas. Optou-se por determinar o módulo da alvenaria com os prismas ocos assentados com argamassamento total e ensaiados aos 28 dias.

Tabela A.8 – Cálculo do módulo de elasticidade do graute A e C a partir dos resultados de tensão

CP	Graute A		Graute C	
	Tensão (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)	Tensão (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)
CP01	9,98	17692,99	26,88	29032,69
CP02	9,82	17545,68	24,73	27846,31
CP03	9,92	17636,48	25,36	28202,51
CP04	10,91	18498,37	24,97	27982,20
CP05	8,90	16706,35	24,68	27817,62
CP06	9,76	17493,26	25,26	28145,82
MÉDIA	9,88	17595,52	25,31	28171,19
D. P.	0,64	570,94	0,82	449,46
C. V. (%)	6,49	3,24	3,22	1,60

Tabela A.9 – Cálculo do módulo de elasticidade do prisma oco assentado com argamassamento total – 28 dias

CP	Tensão A _{bruta} (MPa)	Modulo de elasticidade (MPa)	Tensão A _{líquida} (MPa)	Modulo de elasticidade (MPa)
CP 01	6,67	4003,45	17,47	10480,23
CP 02	5,86	3517,24	15,35	9207,44
CP 03	6,67	4003,45	17,47	10480,23
CP 04	6,90	4139,41	18,06	10836,15
CP 05	5,91	3548,28	15,48	9288,68
CP 06	4,74	2846,31	12,42	7451,06
MÉDIA	6,13	3676,35	16,04	9623,97
D. P.	0,80	481,48	2,10	1260,41
C. V. (%)	13,10	13,10	13,10	13,10

Como base de comparação entre os módulos do graute e do prisma, é necessário avaliar o módulo de elasticidade do prisma referido à área líquida, por ser este o valor referente ao material.

Comparando os módulos de elasticidade dos dois grautes utilizados no preenchimento dos prismas cerâmicos pode-se perceber que os valores superam o módulo de elasticidade do prisma oco em relação à sua área líquida. Assim, quando ocorre o carregamento sobre um sistema com diferentes materiais, a tendência da carga é solicitar o elemento de maior rigidez, ou seja, o graute no interior do prisma. Entende-se, portando, que o comportamento do graute se difere do comportamento do prisma. Isto pode ser observado nos dois grautes utilizados, pois apesar de um apresentar módulo de elasticidade superior ao outro, ou seja, capacidades diferentes de se deformarem, ambos apresentaram módulo de elasticidade superior ao prisma

oco. A Figura A.8 a seguir apresenta uma ruptura típica dos prismas grauteados com o desprendimento das paredes e ruptura por tração horizontal.



Figura A.8 – Ruptura típica dos prismas grauteados

Comparando agora os resultados de resistências dos prismas grauteados com os prismas ocos assentados com argamassamento total e ensaiados aos 28 dias, a análise estatística mostra que as médias são consideradas equivalentes (com os dois tipos de graute estudados), ou seja, a presença do graute no interior do prisma não faz aumentar a resistência do mesmo, nos casos analisados. Portanto, apesar de inserir um material mais resistente no prisma e de aumentar a sua área líquida, o graute não aumenta a resistência do prisma.

Com base nos resultados apresentados anteriormente, entende-se que a diferença encontrada entre os valores de resistência dos prismas grauteados (tanto com o graute A como também com o graute C) e dos prismas ocos assentados com argamassamento lateral se deve predominantemente pela forma de assentamento, uma vez que a área de argamassamento do prisma grauteado foi maior que a do prisma assentado com argamassa apenas na lateral como ilustra a Figura A.1.

APÊNDICE B

A seguir serão apresentadas as tabelas com os resultados de cada corpo de prova nos ensaios de resistência à compressão em prismas e pequenas paredes e nos ensaios de resistência ao cisalhamento das pequenas paredes. Quando não especificado, a resistência média se refere à área bruta.

B.1 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Tabela B.1 – Resultados do ensaio de resistência à compressão em prismas da 1ª série

PRISMA – 1ª SÉRIE					
CP	Carga (kN)	Tensão A_{bruta} (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)	Tensão A_{líquida} (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)
CP 01	262,19	4,80	2991,40	13,64	8498,30
CP 02	352,29	6,45	3359,20	18,33	9543,18
CP 03	380,49	6,97	3606,70	19,80	10246,31
CP 04	301,93	5,53	3415,20	15,71	9702,27
CP 05	356,14	6,52	3096,20	18,53	8796,02
CP 06	299,60	5,49	3028,20	15,59	8602,84
CP 07	360,62	6,60	2885,50	18,76	8197,44
CP 08	268,60	4,92	3872,90	13,98	11002,56
CP 09	341,35	6,25	2989,00	17,76	8491,48
CP 10	216,32	3,96	2731,00	11,26	7758,52
CP 11	330,68	6,06	2448,20	17,21	6955,11
CP 12	312,51	5,72	3672,80	16,26	10434,09
MÉDIA	315,23	5,77	3174,69	16,40	9019,01
D. P.	48,13	0,88	417,58	2,50	1186,31
C. V. (%)	15,27	15,27	13,15	15,27	13,15

Tabela B.2 – Resultados do ensaio de resistência à compressão em prismas da 2ª série

PRISMA – 2ª SÉRIE			
CP	Carga (kN)	Tensão (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)
CP 01	291,32	5,34	3790,00
CP 02	342,83	6,28	3157,90
CP 03	212,80	3,90	-
CP 04	233,18	4,27	3357,80

Continua

CP	Carga (kN)	Tensão (MPa)	Conclusão
			Módulo de Elasticidade (MPa)
CP 05	208,07	3,81	3349,40
CP 06	222,65	4,08	3146,50
CP 07	275,68	5,05	3166,60
CP 08	247,75	4,54	2711,90
CP 09	253,93	4,65	4338,10
CP 10	197,32	3,61	4065,30
CP 11	217,99	3,99	3730,80
CP 12	228,60	4,19	3658,70
MÉDIA	244,34	4,48	3497,55
D. P.	41,62	0,76	469,21
C. V. (%)	17,03	17,05	13,42

Tabela B.3 – Resultados do ensaio de resistência à compressão em prismas da 3ª série

PRISMA – 3ª SÉRIE					
CP	Carga (kN)	Tensão Abruta (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)	Tensão Alíquida (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)
CP 01	367,22	6,73	8138,50	10,20	12336,81
CP 02	344,24	6,30	9110,40	9,56	13810,07
CP 03	446,74	8,18	8857,70	12,40	13427,02
CP 04	440,97	8,08	9238,00	12,24	14003,50
CP 05	471,23	8,63	9785,60	13,08	14833,58
CP 06	479,38	8,78	9303,90	13,31	14103,39
CP 07	293,23	5,37	5667,60	8,14	8591,28
CP 08	194,62	3,56	7624,90	5,40	11558,27
CP 09	282,25	5,17	7026,60	7,84	10651,33
CP 10	264,30	4,84	7115,50	7,34	10786,09
CP 11	316,86	5,80	7422,30	8,80	11251,15
CP 12	333,75	6,11	7147,10	9,27	10833,99
MÉDIA	352,90	6,46	8036,51	9,80	12182,21
D. P.	90,43	1,66	1234,53	2,51	1871,38
C. V. (%)	25,63	25,65	15,36	25,63	15,36

Tabela B.4 – Resultados do ensaio de resistência à compressão em pequenas paredes da 1ª série

PEQUENA PAREDE – 1ª SÉRIE					
CP	Carga (kN)	Tensão Abruta (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)	Tensão Alíquida (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)
CP 01	341,75	3,09	4760,10	8,58	13215,07
CP 02	425,16	3,84	3468,00	10,67	9627,917

Continua

Conclusão

PEQUENA PAREDE – 1ª SÉRIE					
CP	Carga (kN)	Tensão A_{bruta} (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)	Tensão $A_{líquida}$ (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)
CP 03	513,21	4,64	3764,00	12,88	10449,68
CP 04	335,65	3,03	3884,00	8,43	10782,82
CP 05	467,73	4,23	3597,90	11,74	9988,547
CP 06	531,07	4,80	4041,10	13,33	11218,97
MÉDIA	435,76	3,94	3919,18	10,94	10880,50
D. P.	83,76	0,76	459,15	2,10	1274,71
C. V. (%)	19,22	19,25	11,72	19,22	11,72

Tabela B.5 – Resultados do ensaio de resistência à compressão em pequenas paredes da 2ª série

PEQUENA PAREDE – 2ª SÉRIE			
CP	Carga (kN)	Tensão (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)
CP 01	361,90	3,27	3952,50
CP 02	449,65	4,07	3396,60
CP 03	495,28	4,48	3477,50
CP 04	501,15	4,53	3642,10
CP 05	483,45	4,37	3785,80
CP 06	309,79	2,79	3297,90
MÉDIA	433,54	3,92	3592,07
D. P.	79,47	0,72	248,12
C. V. (%)	18,33	18,44	6,91

Tabela B.6 – Resultados do ensaio de resistência à compressão em pequenas paredes da 3ª série

PEQUENA PAREDE – 3ª SÉRIE					
CP	Carga (kN)	Tensão A_{bruta} (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)	Tensão $A_{líquida}$ (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)
CP 01	770,12	6,96	10181,00	10,49	15332,83
CP 02	865,81	7,83	9374,30	11,79	14117,92
CP 03	967,67	8,75	9719,20	13,18	14637,35
CP 04	730,06	6,60	12375,00	9,94	18637,05
CP 05	720,07	6,51	8977,50	9,81	13520,33
CP 06	780,42	7,06	10877,00	10,63	16381,02
MÉDIA	805,69	7,29	10250,67	10,97	15437,75
D. P.	94,66	0,86	1231,37	1,29	1854,47
C. V. (%)	11,75	11,76	12,01	11,75	12,01

B.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO

Tabela B.7 – Resultados do ensaio de resistência ao cisalhamento em pequenas paredes da 4ª série

PEQUENA PAREDE – 4ª SÉRIE			
CP	Carga (kN)	Tensão (MPa)	Módulo de deformação transversal (MPa)
CP 04	108,04	0,32	1107,50
CP 05	96,75	0,29	1059,00
CP 03	116,51	0,34	1301,80
CP 02	82,94	0,24	1275,30
MÉDIA	101,06	0,30	1185,90
D. P.	14,54	0,04	120,66
C. V. (%)	14,39	14,39	10,17

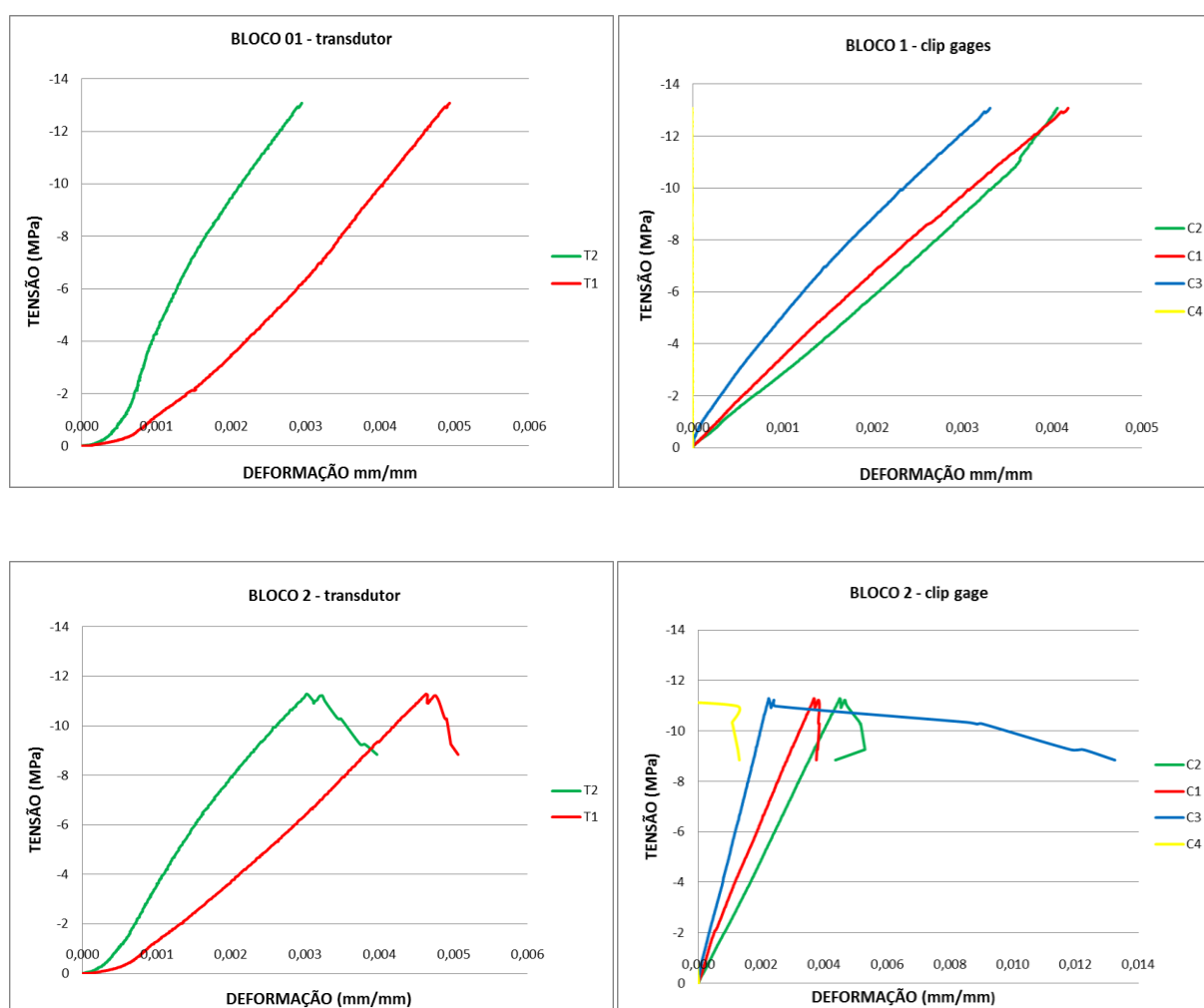
Tabela B.8– Resultados do ensaio de resistência ao cisalhamento em pequenas paredes da 5ª série

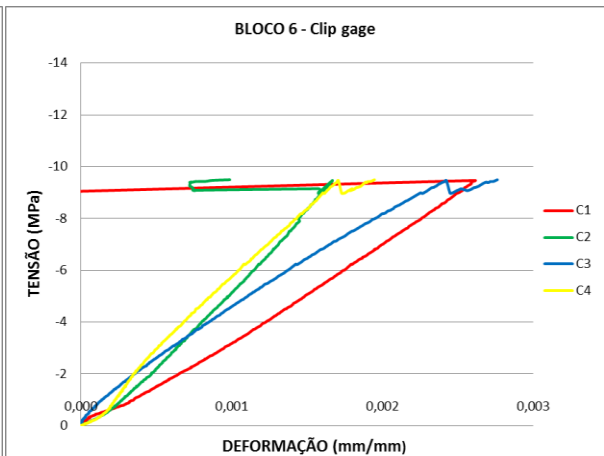
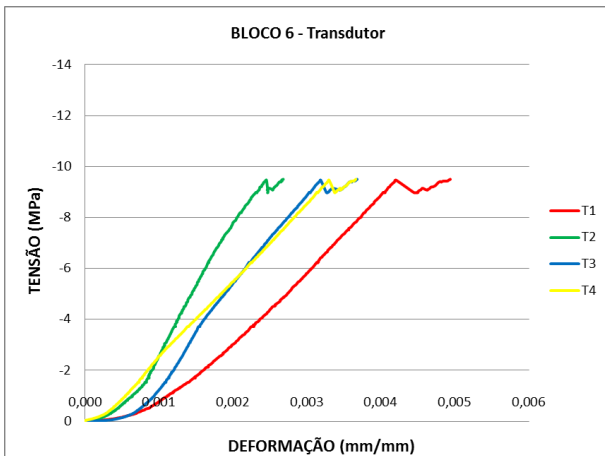
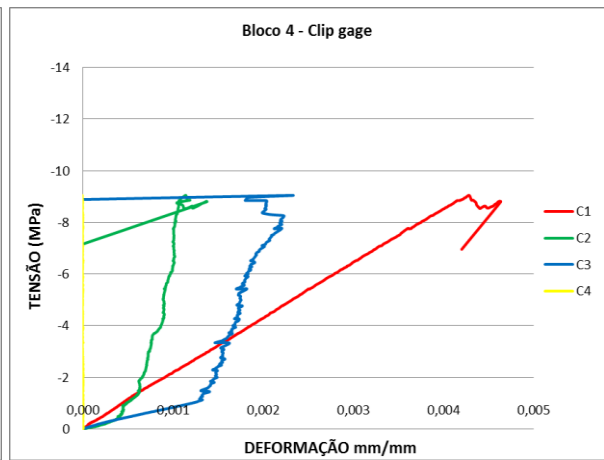
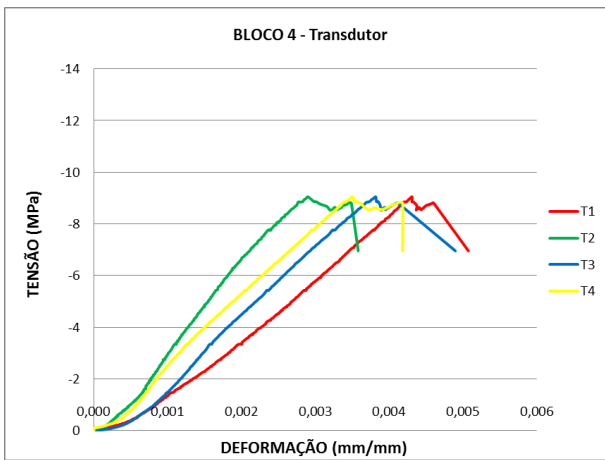
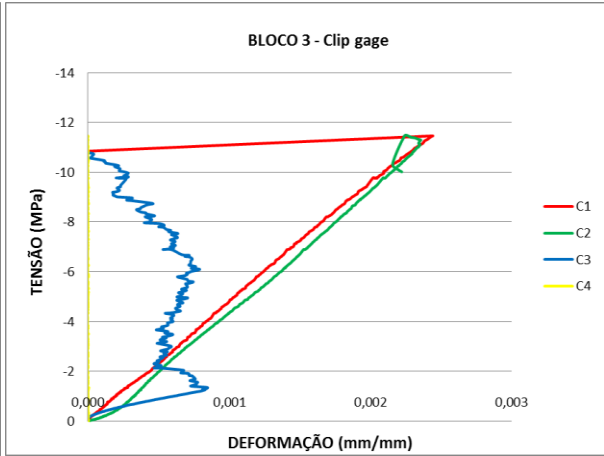
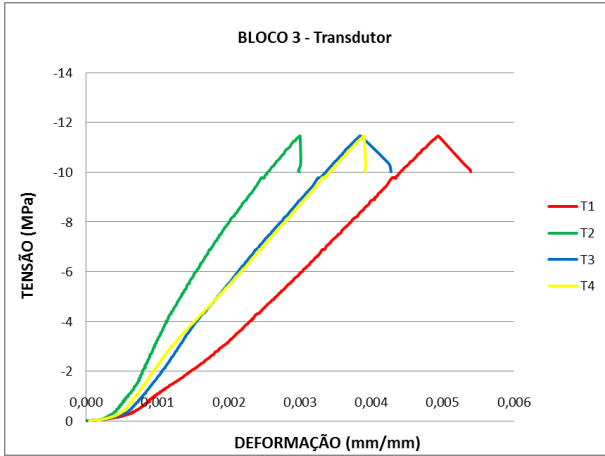
PEQUENA PAREDE – 5ª SÉRIE			
CP	Carga (kN)	Tensão (MPa)	Módulo de deformação transversal (MPa)
CP 01	53,95	0,16	824,82
CP 04	52,12	0,15	1182,9
CP 05	45,55	0,13	1042,5
MÉDIA	50,54	0,15	1016,74
D. P.	4,41	0,01	180,42
C. V. (%)	8,73	8,73	17,75

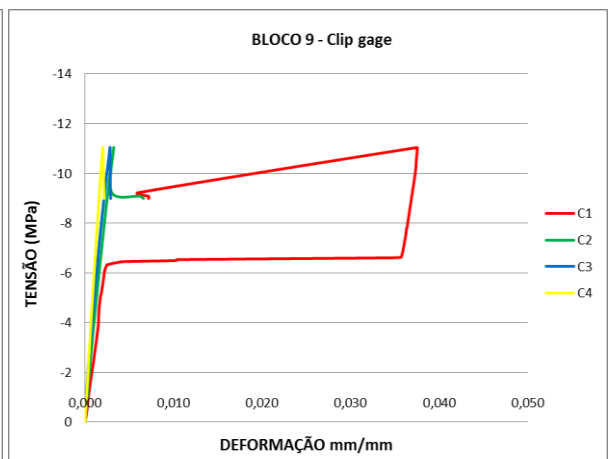
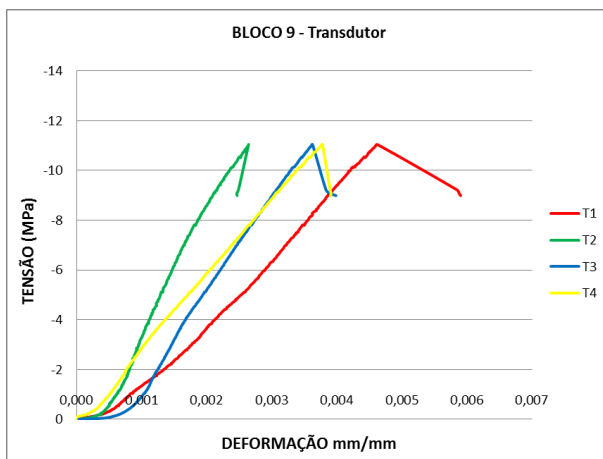
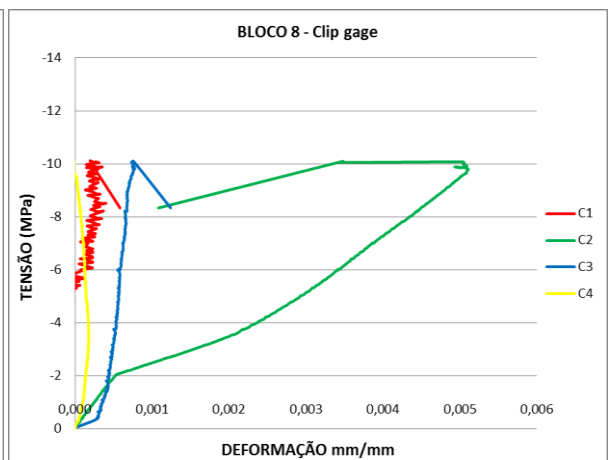
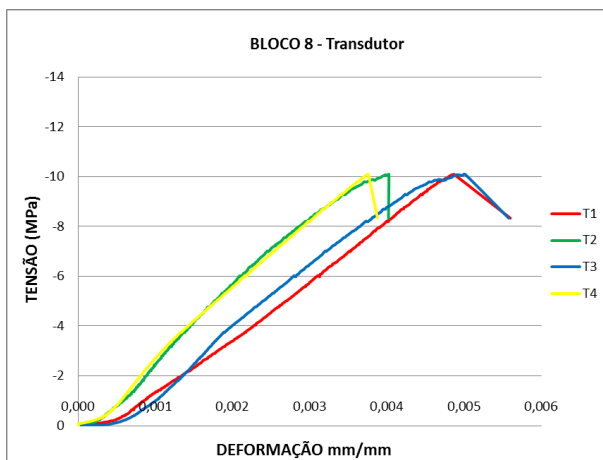
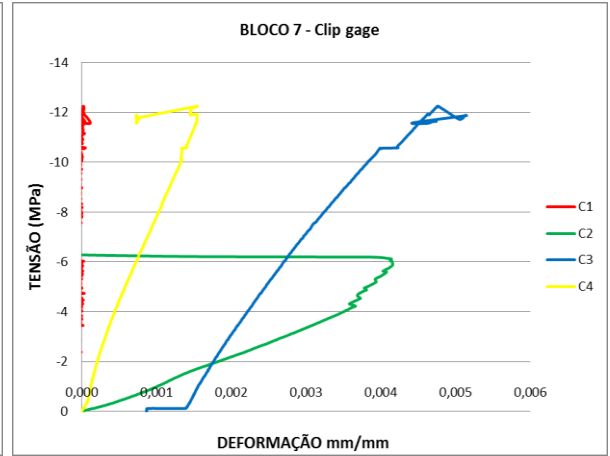
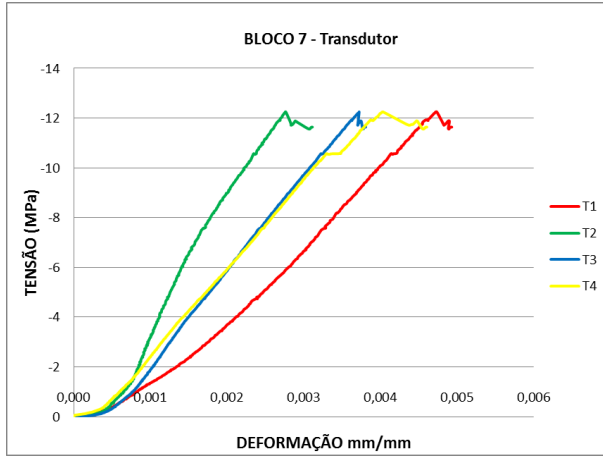
APÊNDICE C

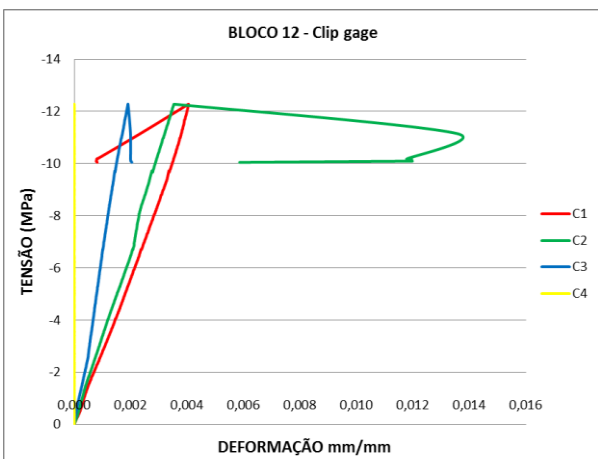
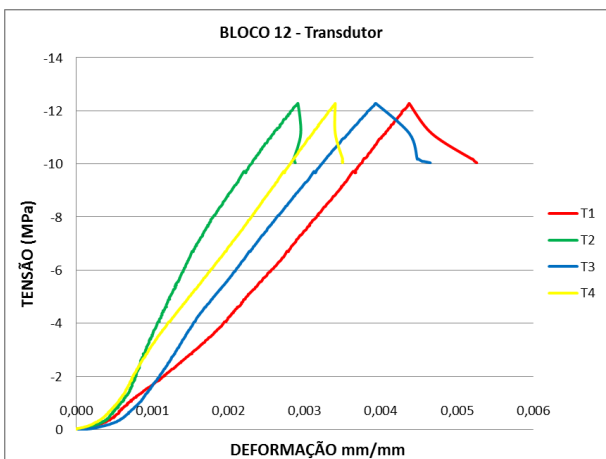
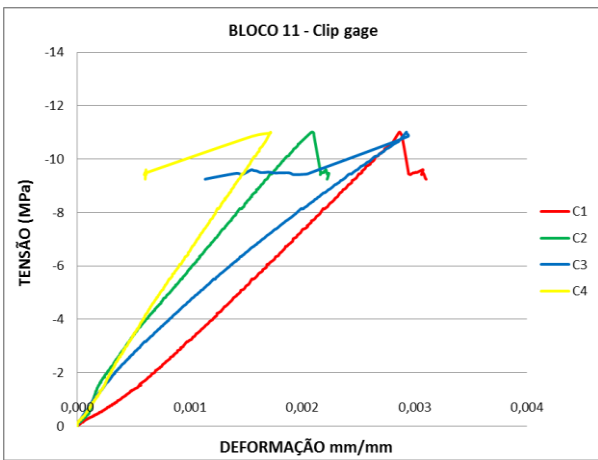
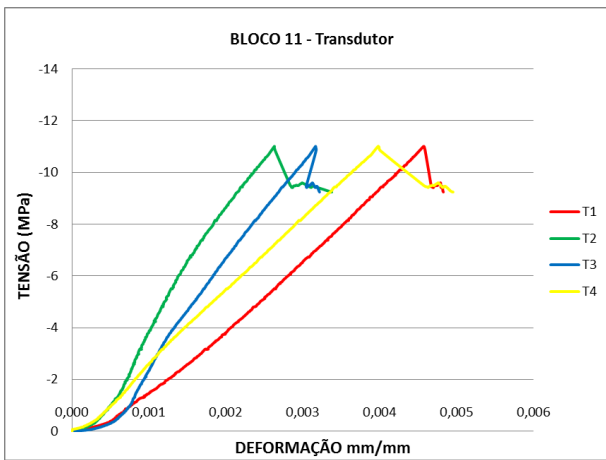
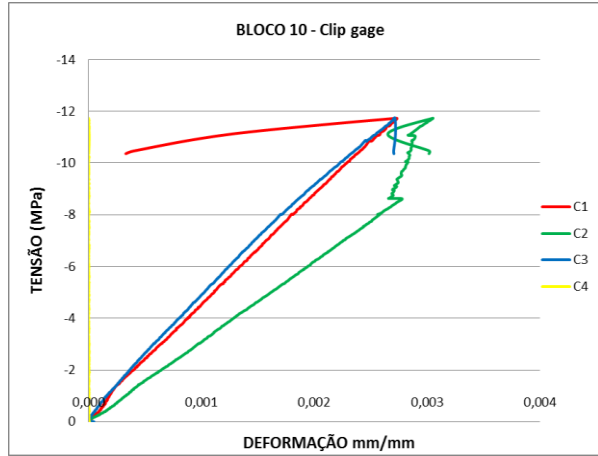
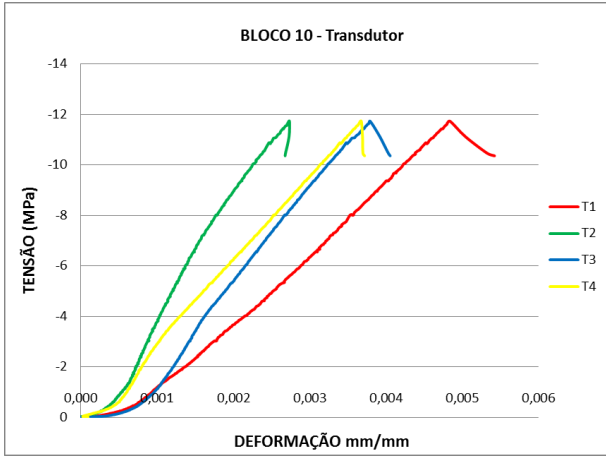
A seguir serão apresentados os gráficos tensão *versus* deformação de cada corpo de prova dos blocos, prismas e pequenas paredes das séries de resistência à compressão e ao cisalhamento.

C.1 BLOCOS









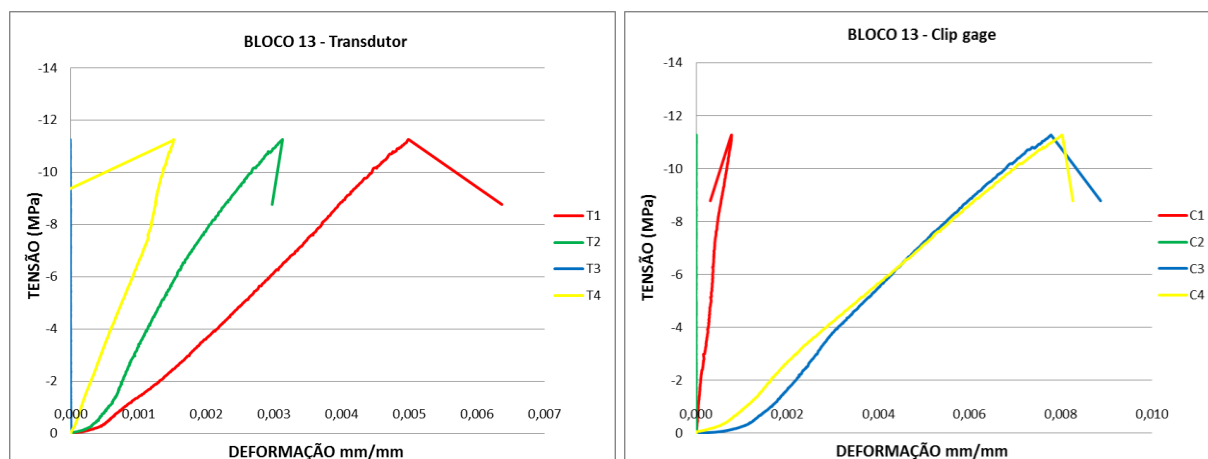
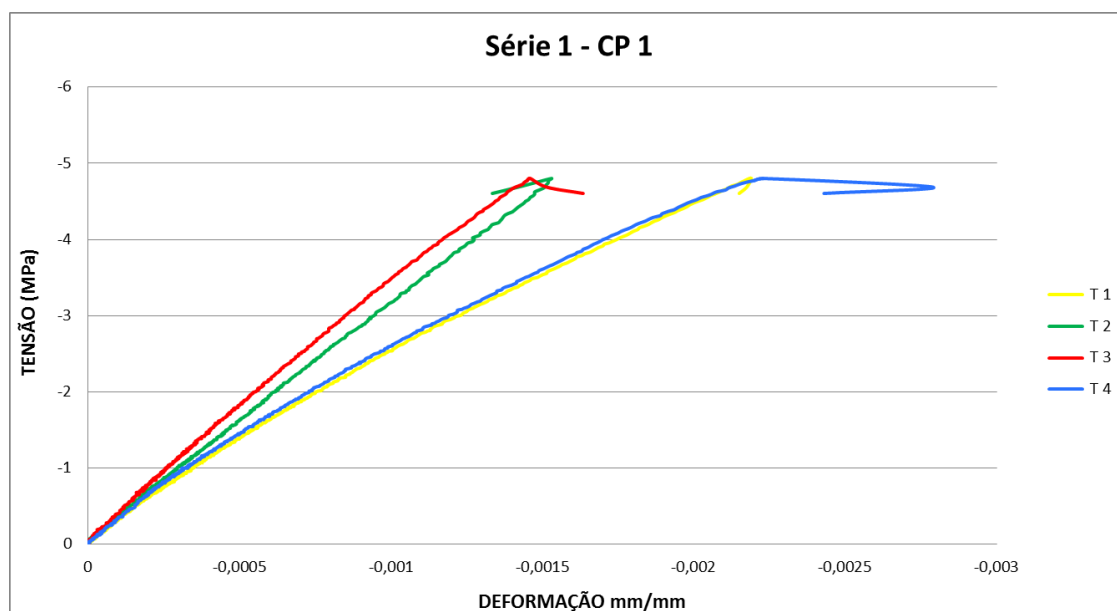
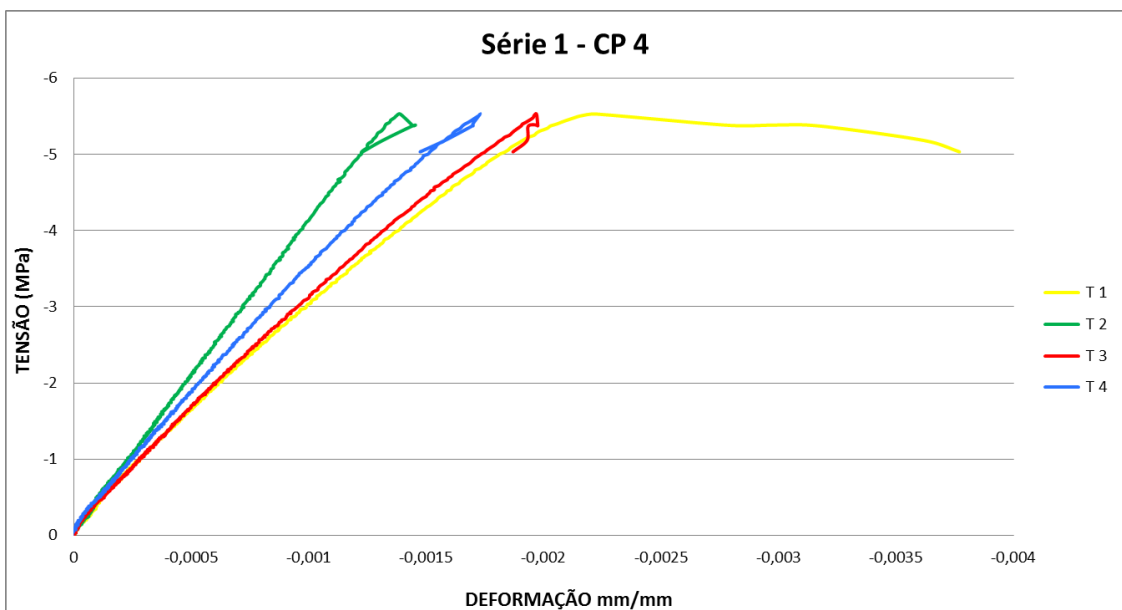
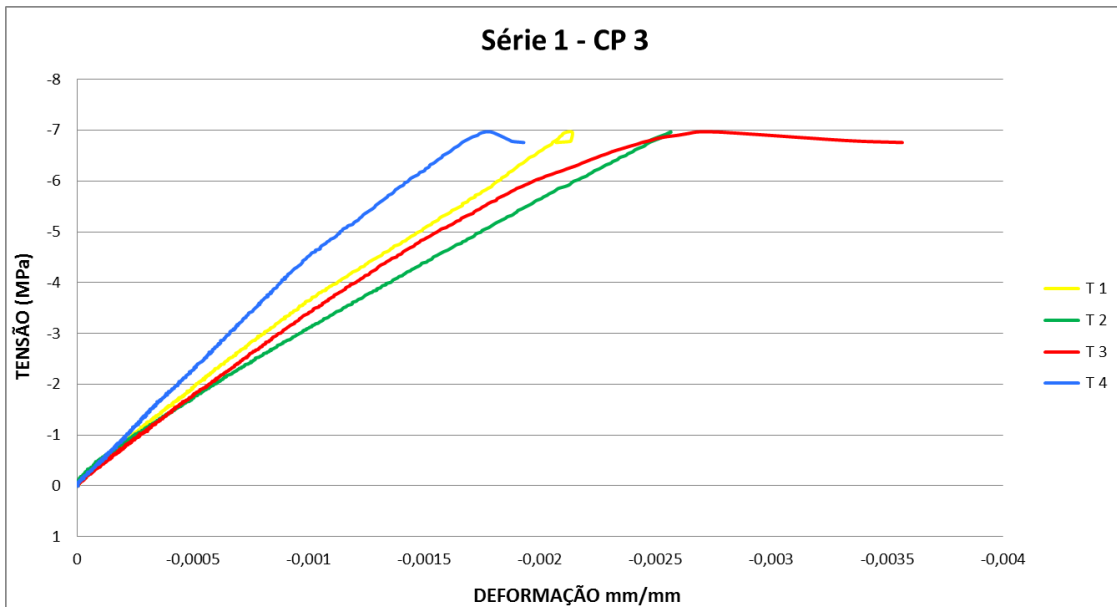
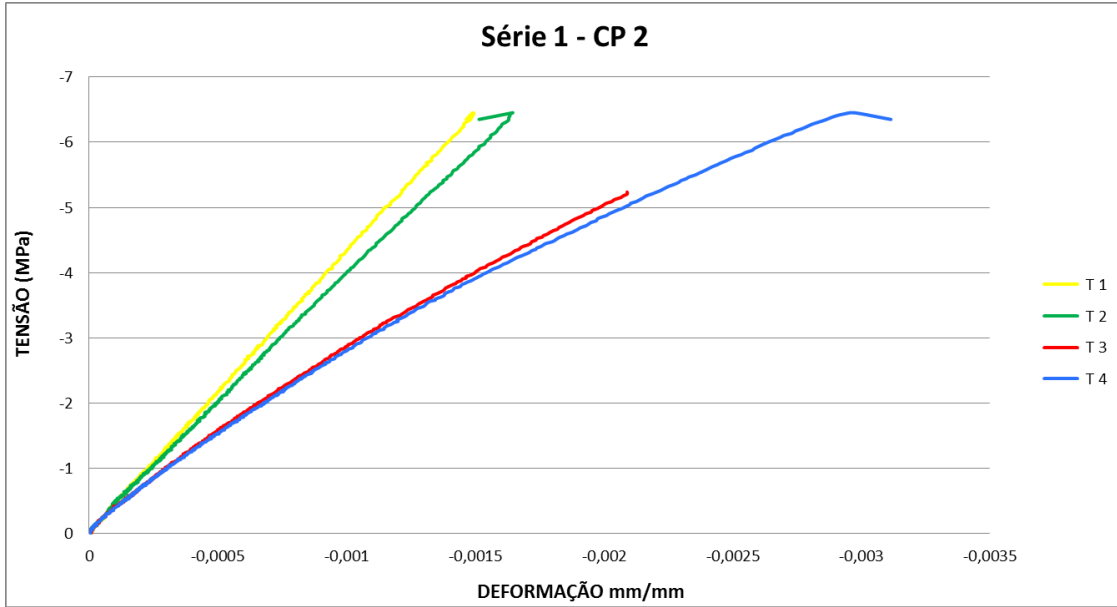


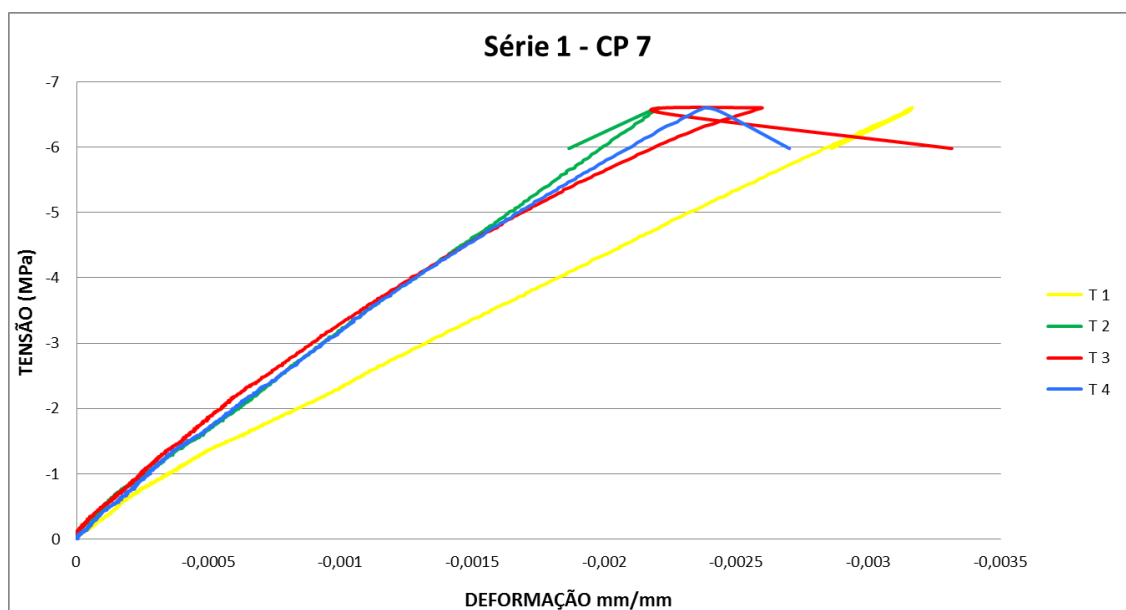
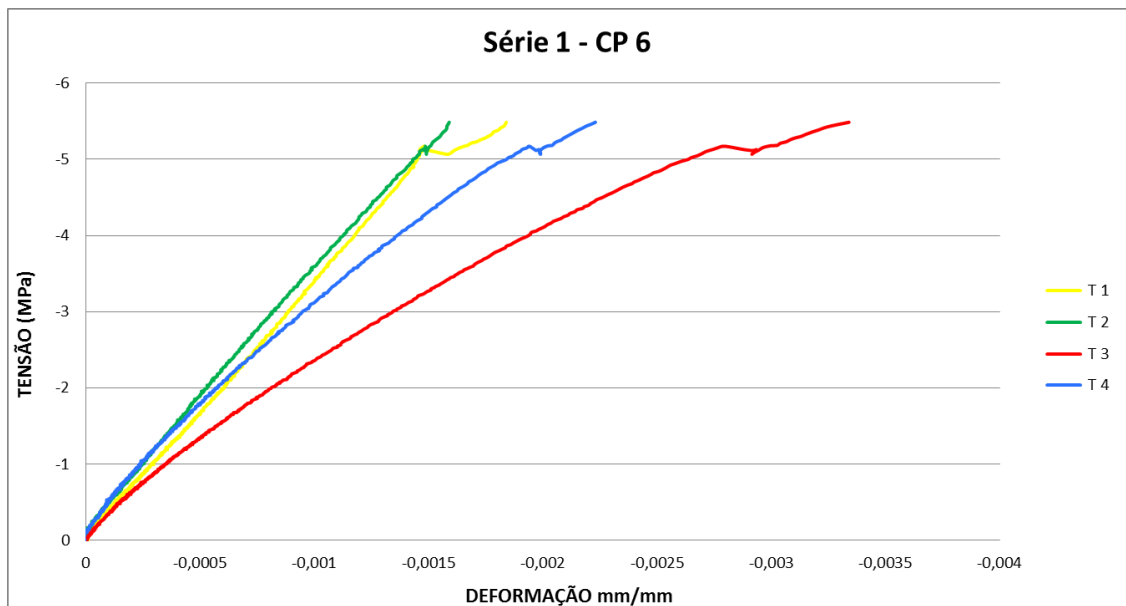
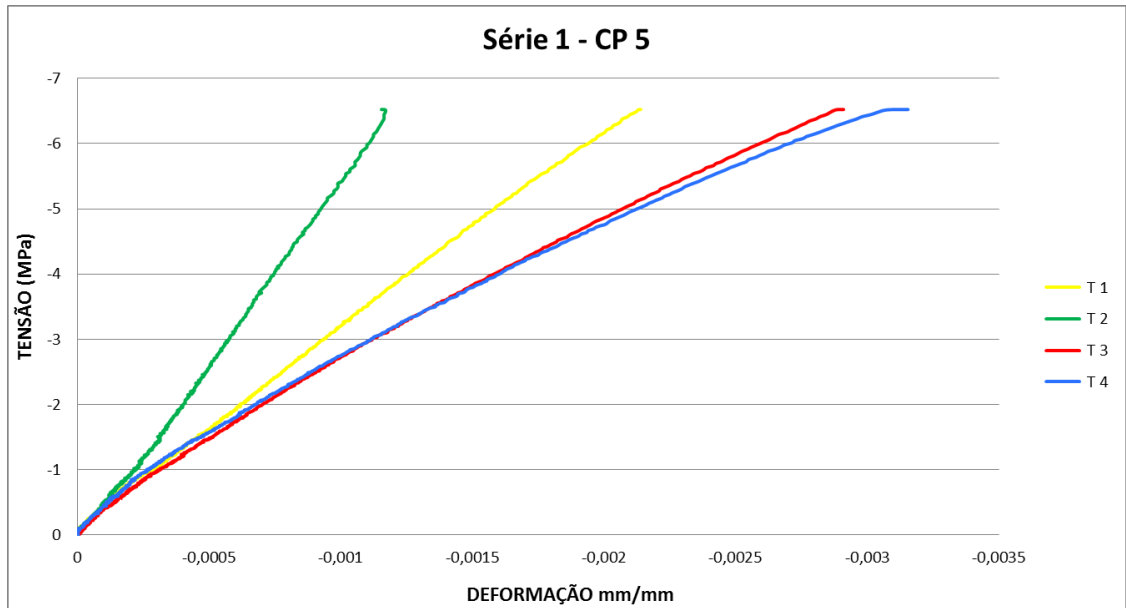
Figura C.1 – Gráfico tensão *versus* deformação dos blocos

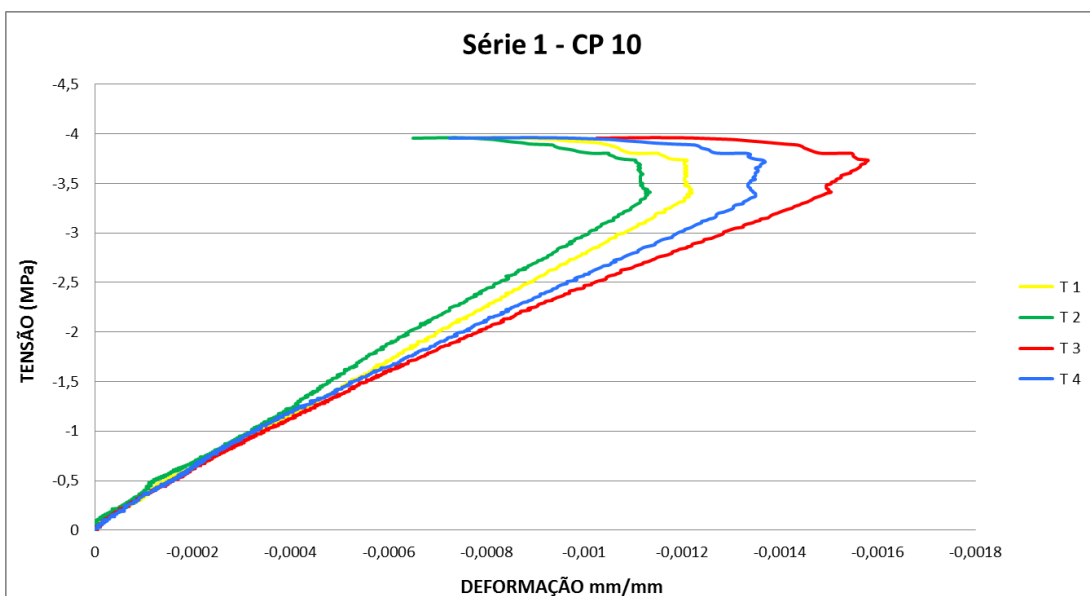
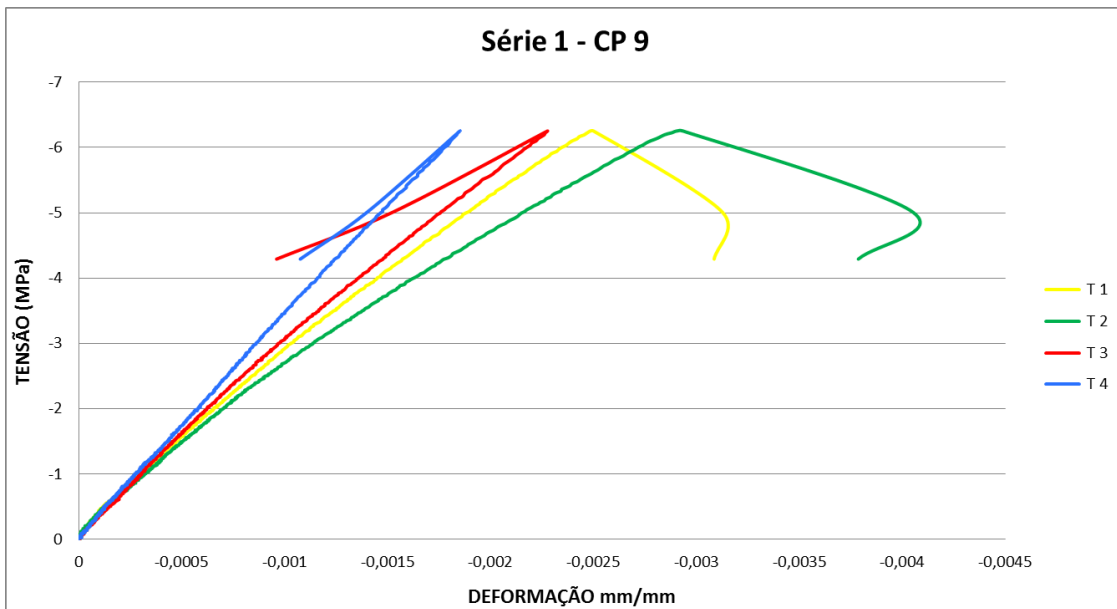
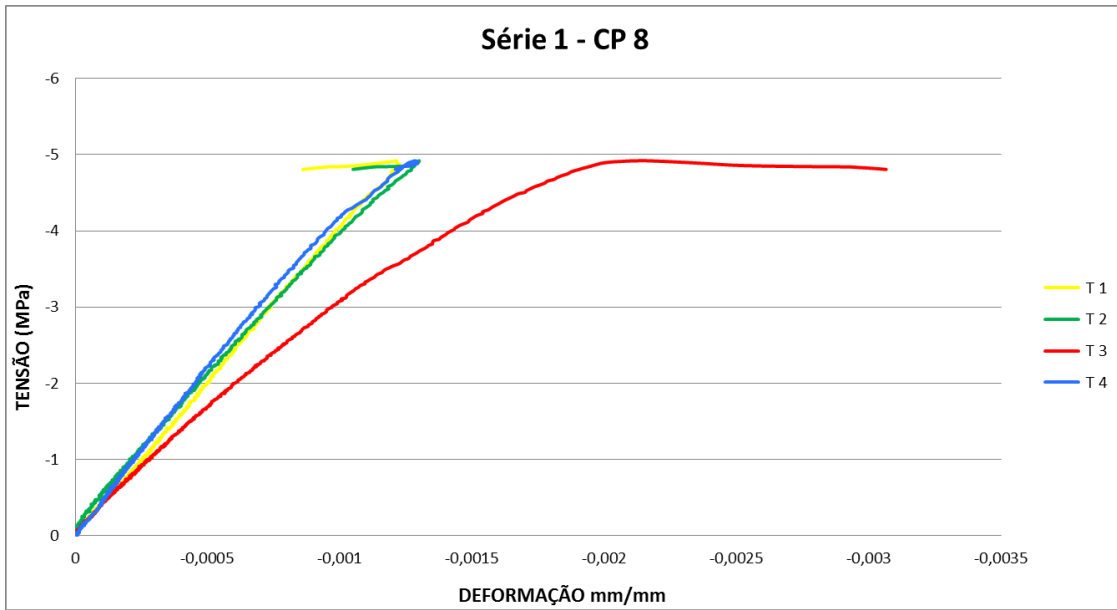
C.2 PRISMAS

A Figura C.1 se refere aos gráficos tensão *versus* deformação dos prismas da 1ª série, assim como as Figuras C.2 e C.3 se referem aos gráficos dos prismas das 2ª e 3ª séries, respectivamente.









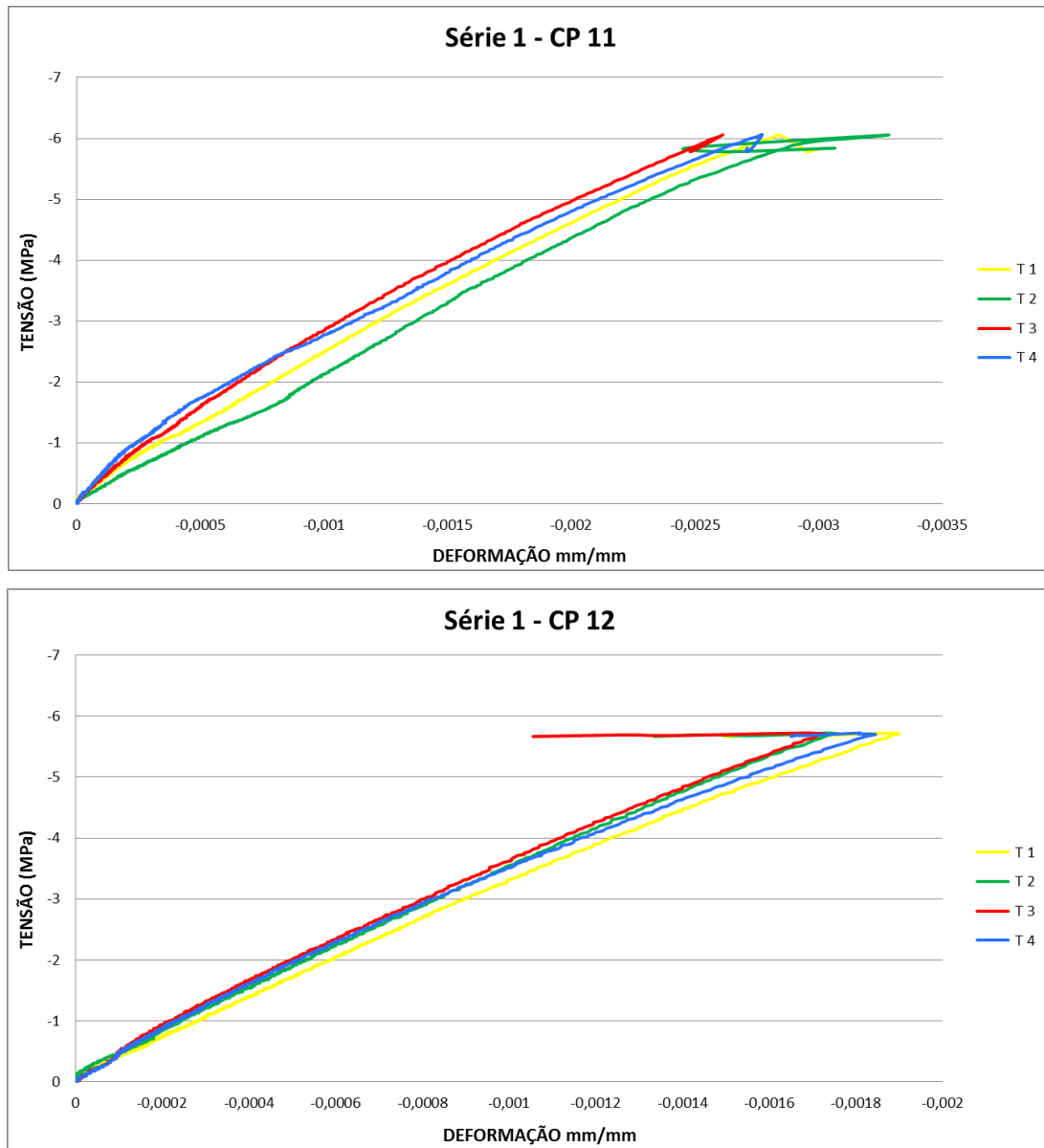
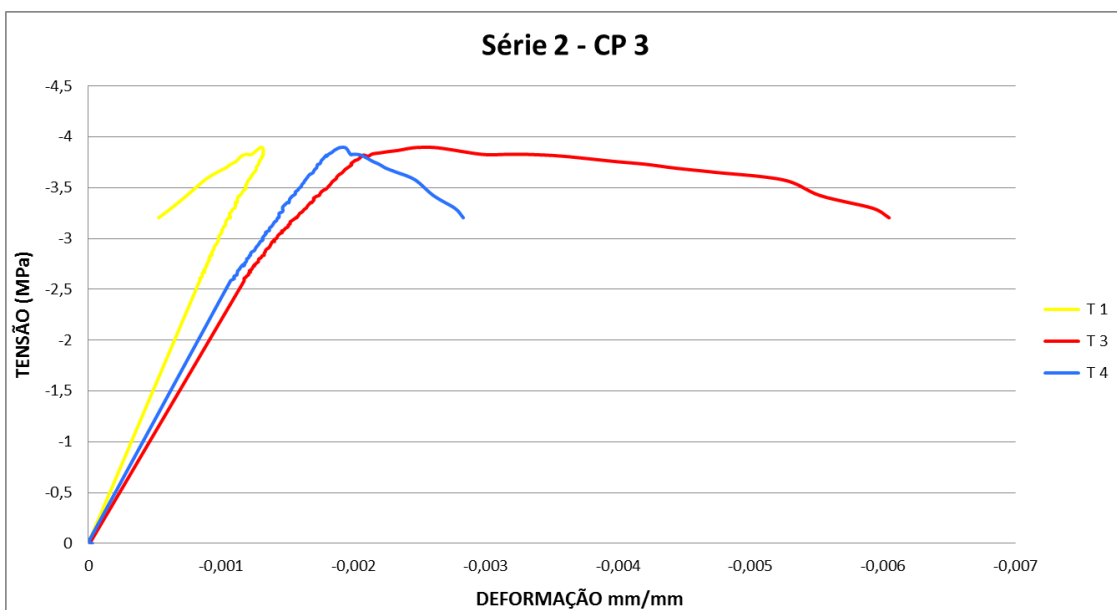
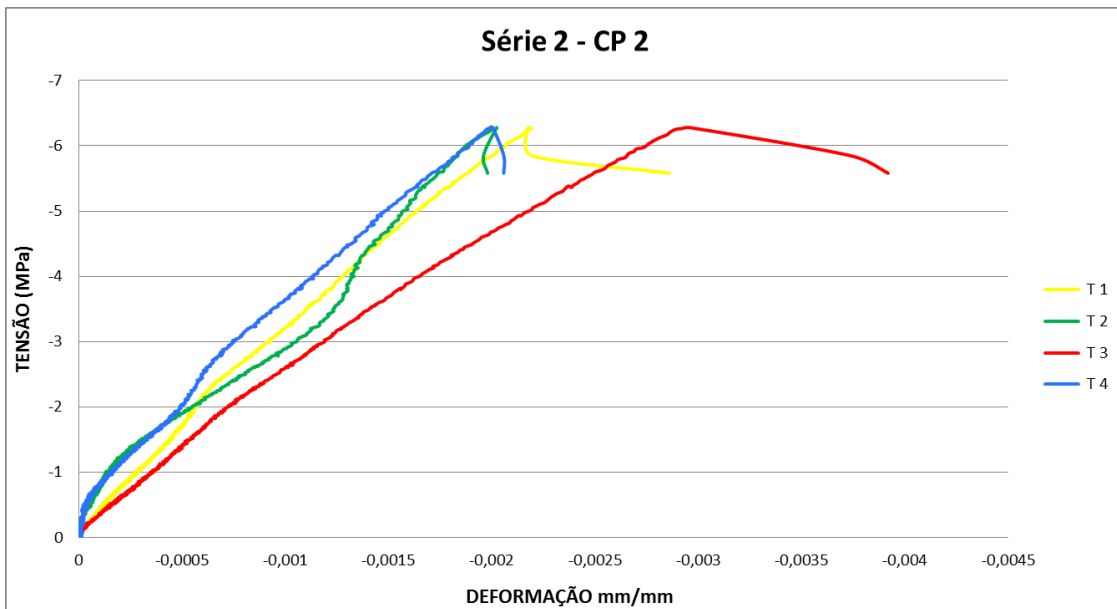
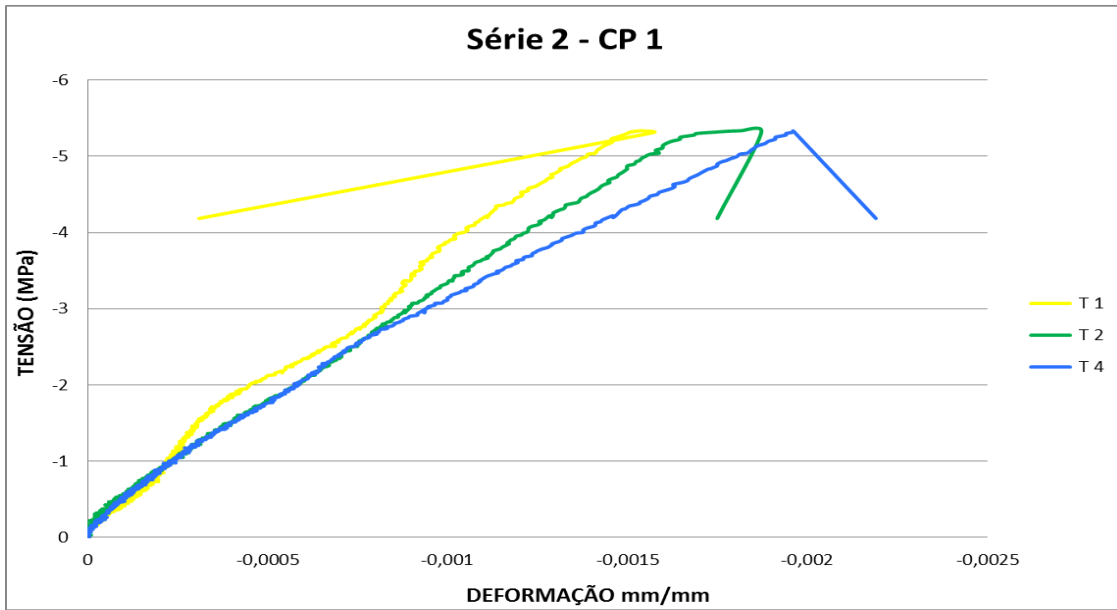
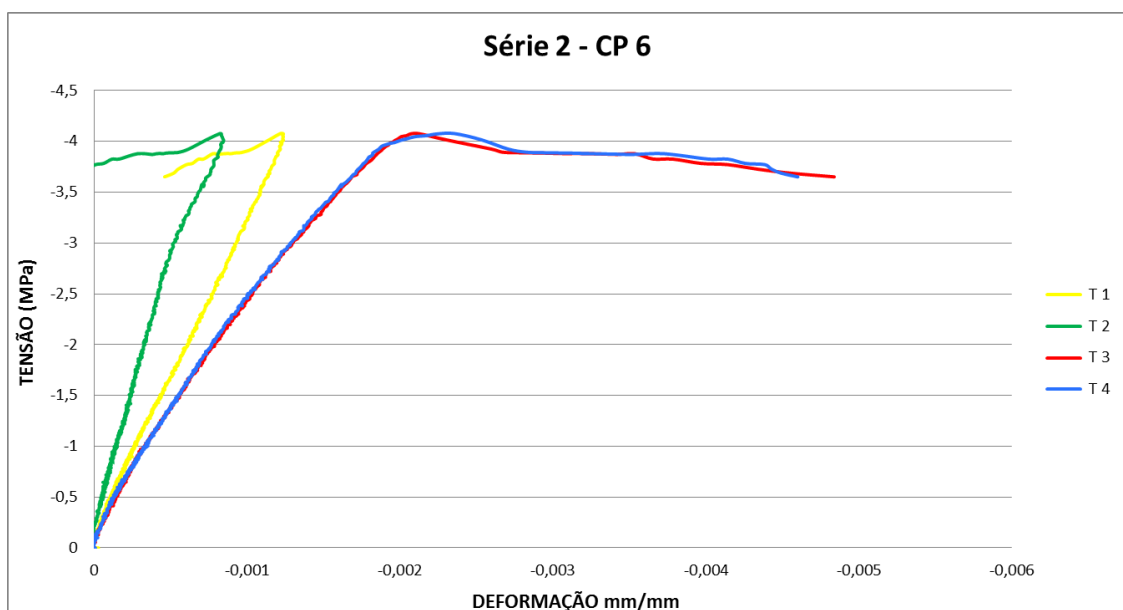
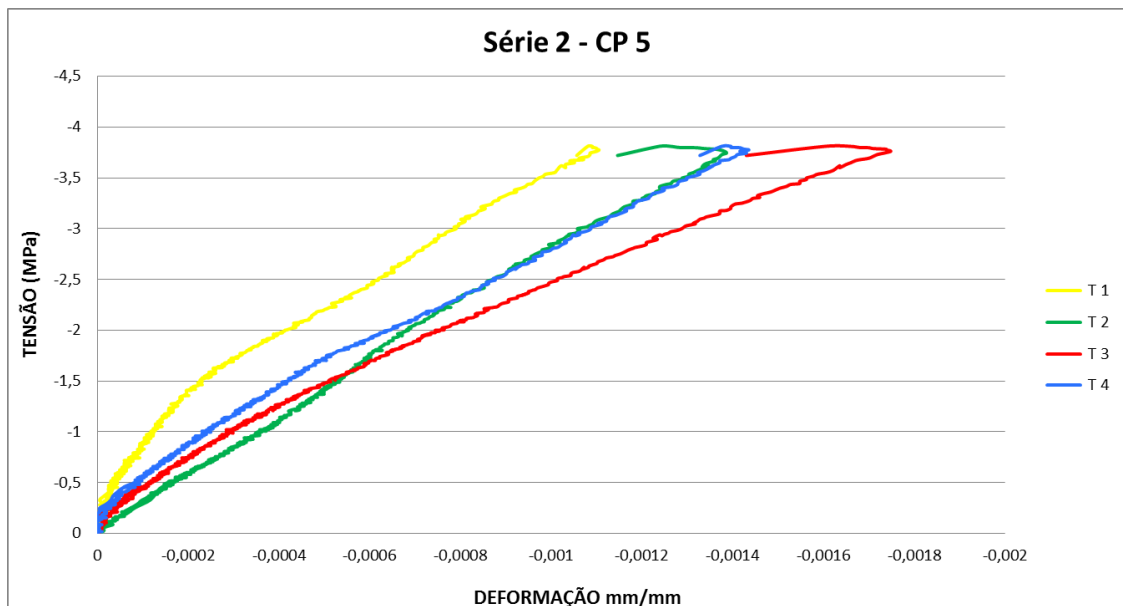
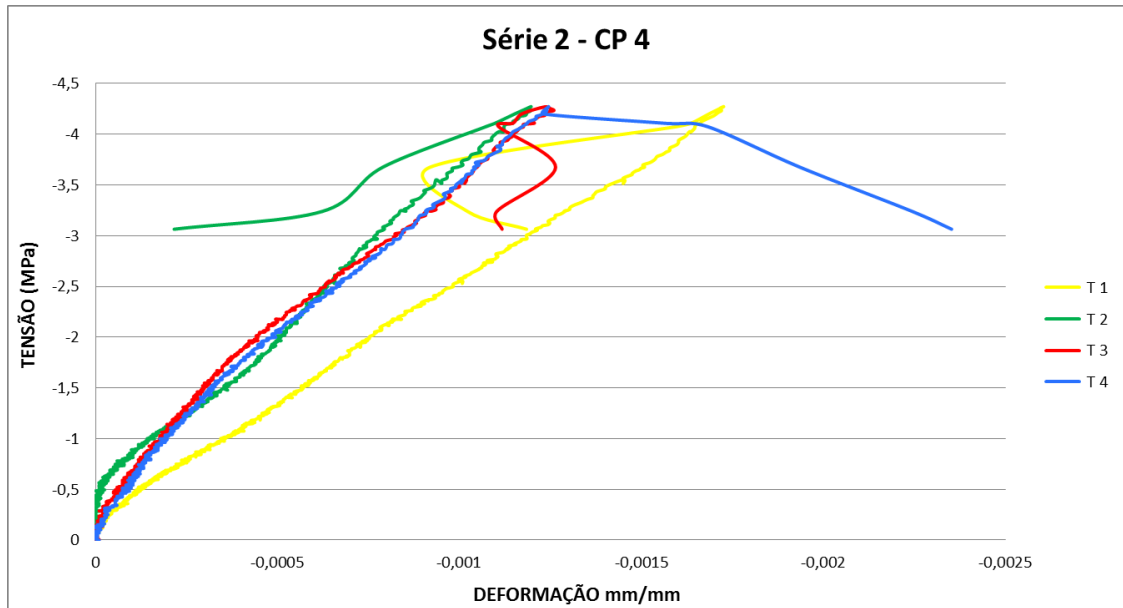
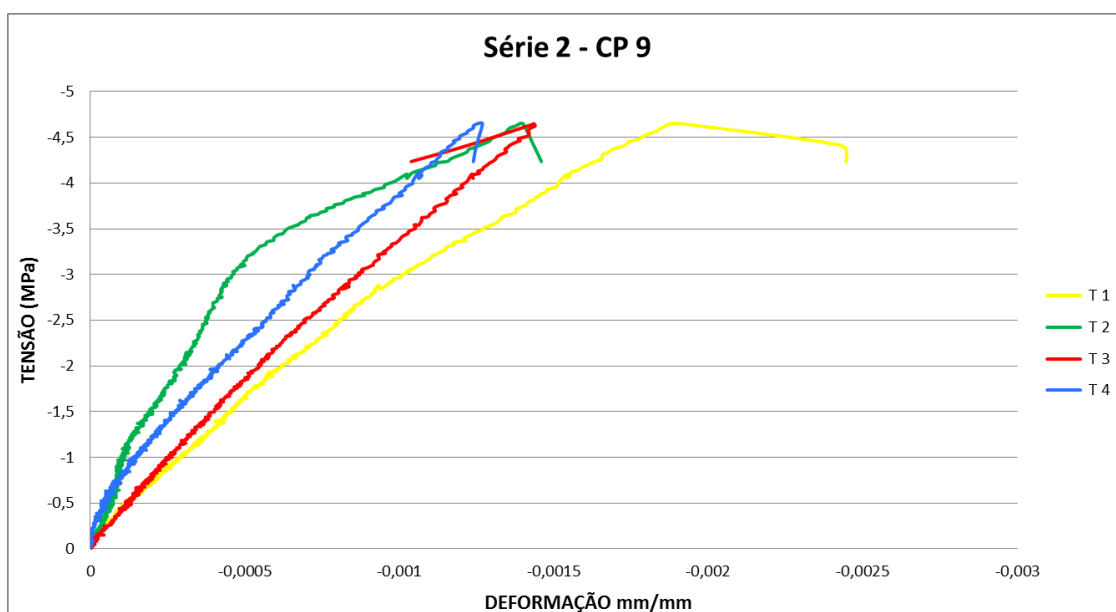
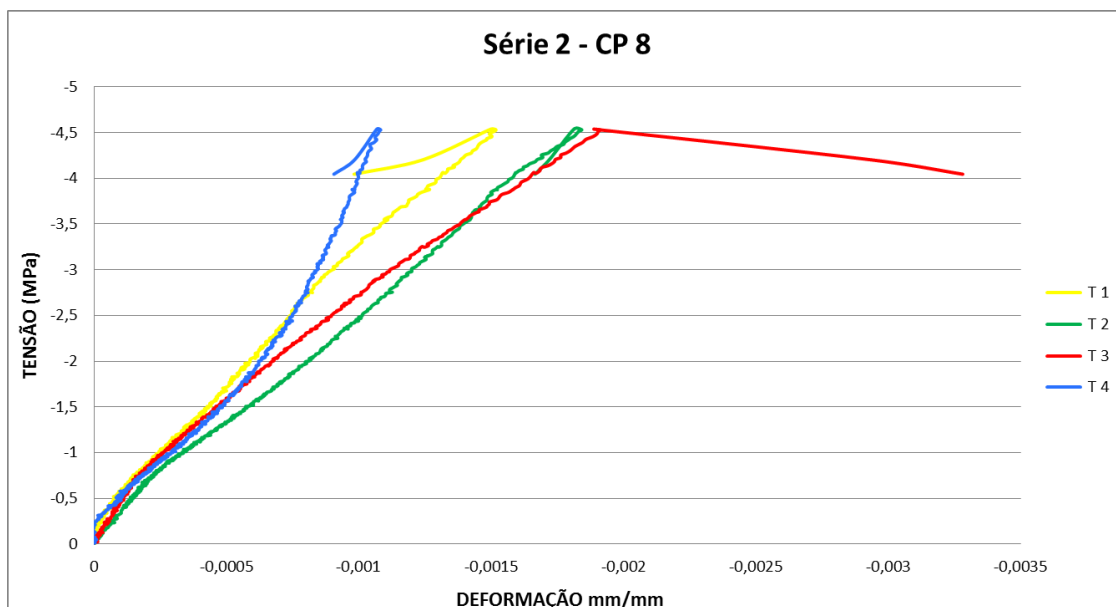
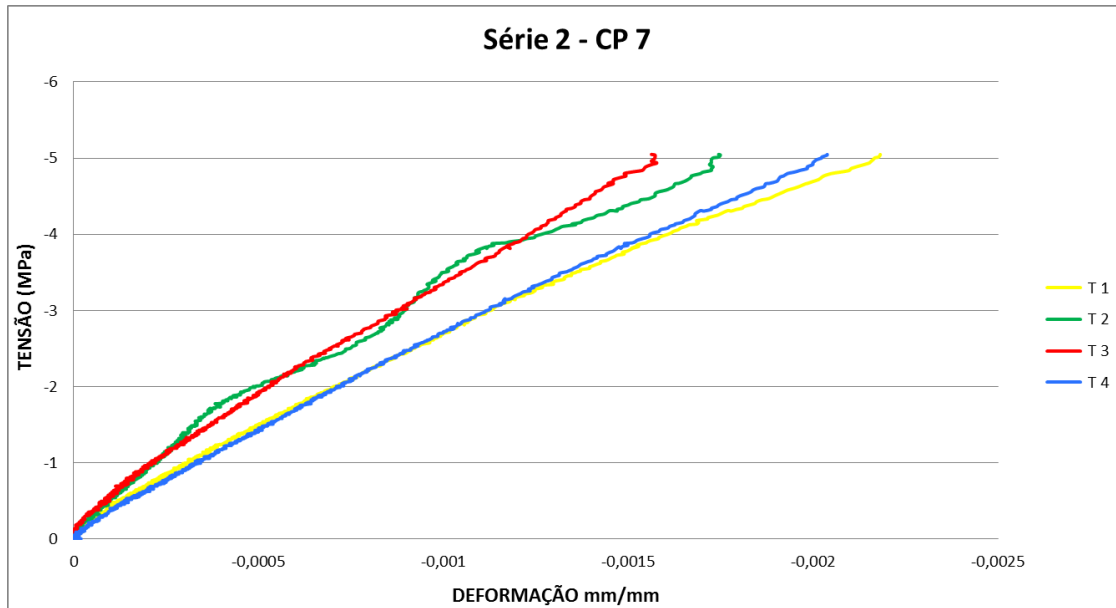


Figura C.2 – Gráfico tensão *versus* deformação dos prismas da 1ª série







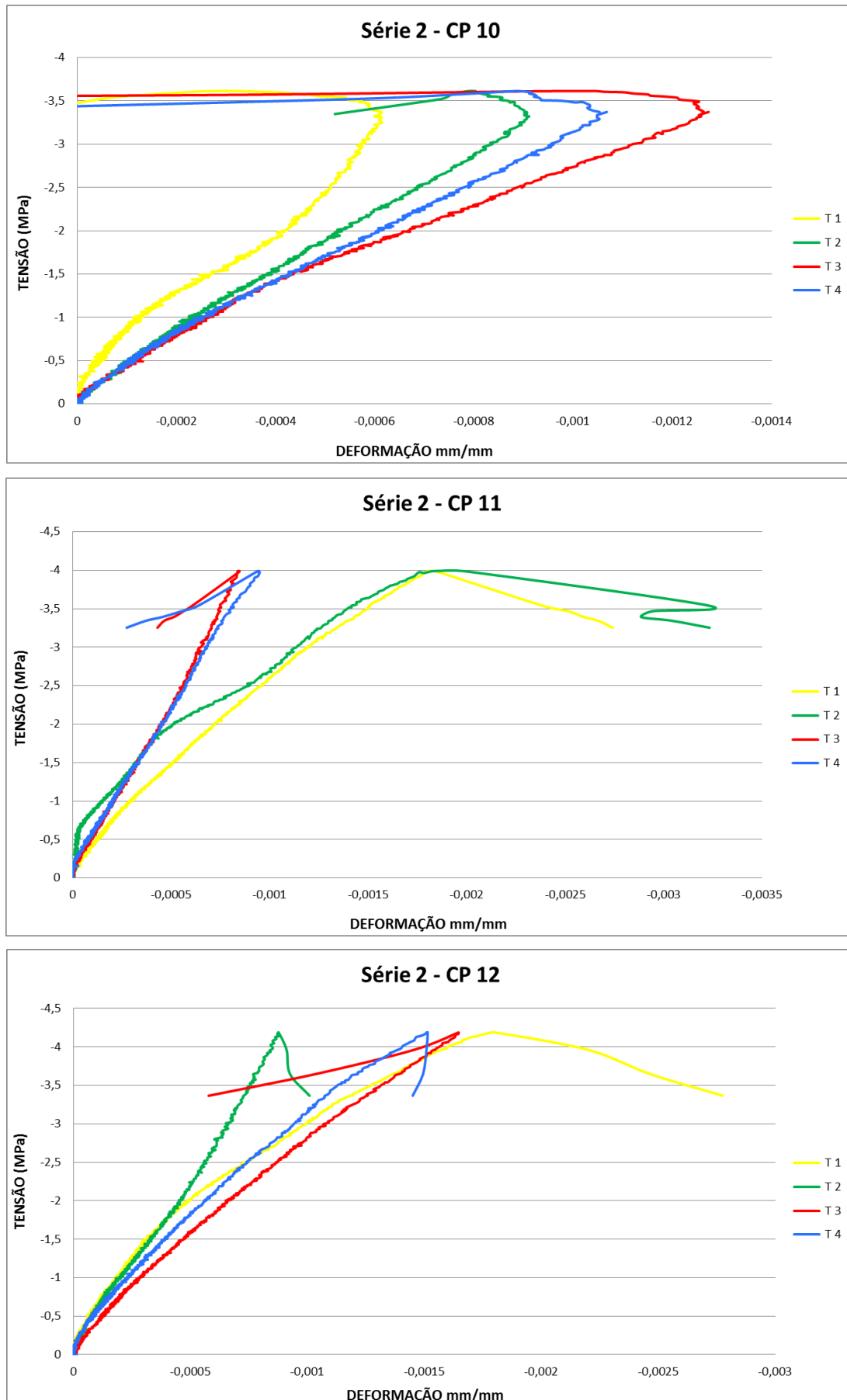
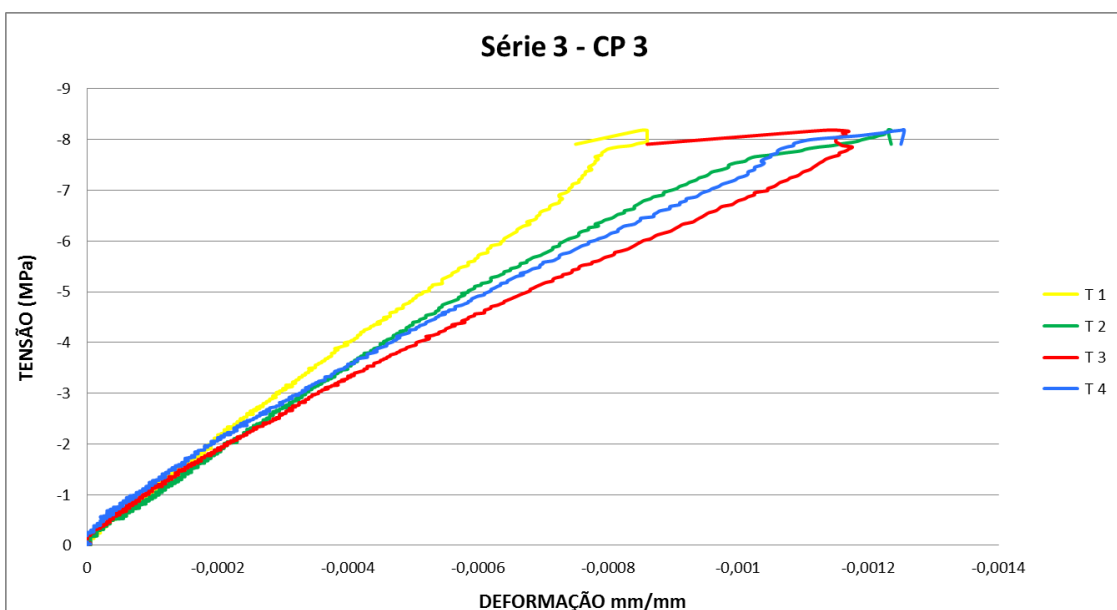
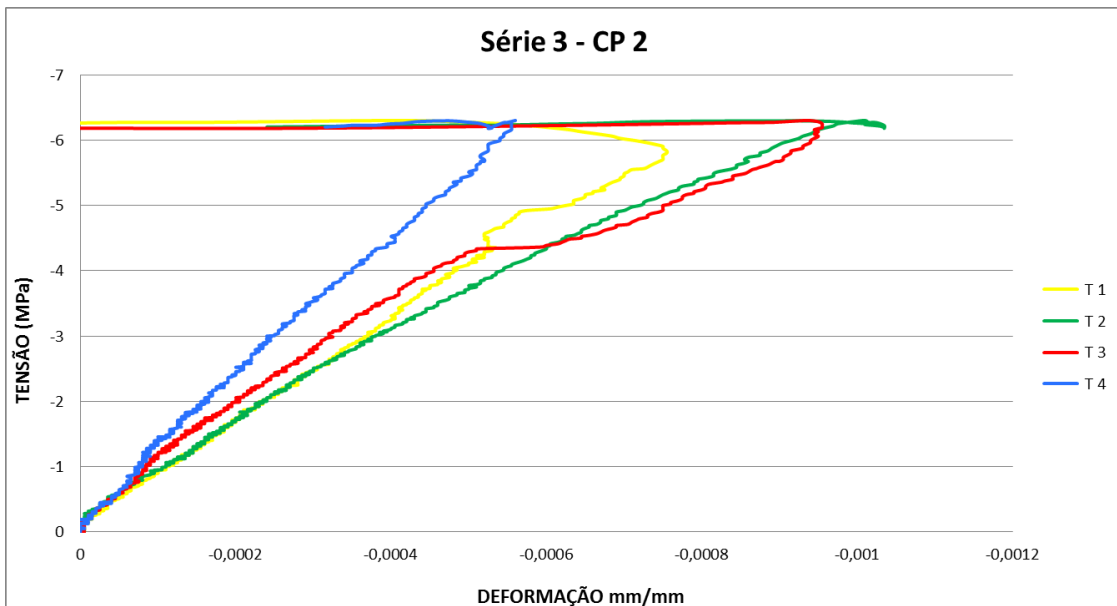
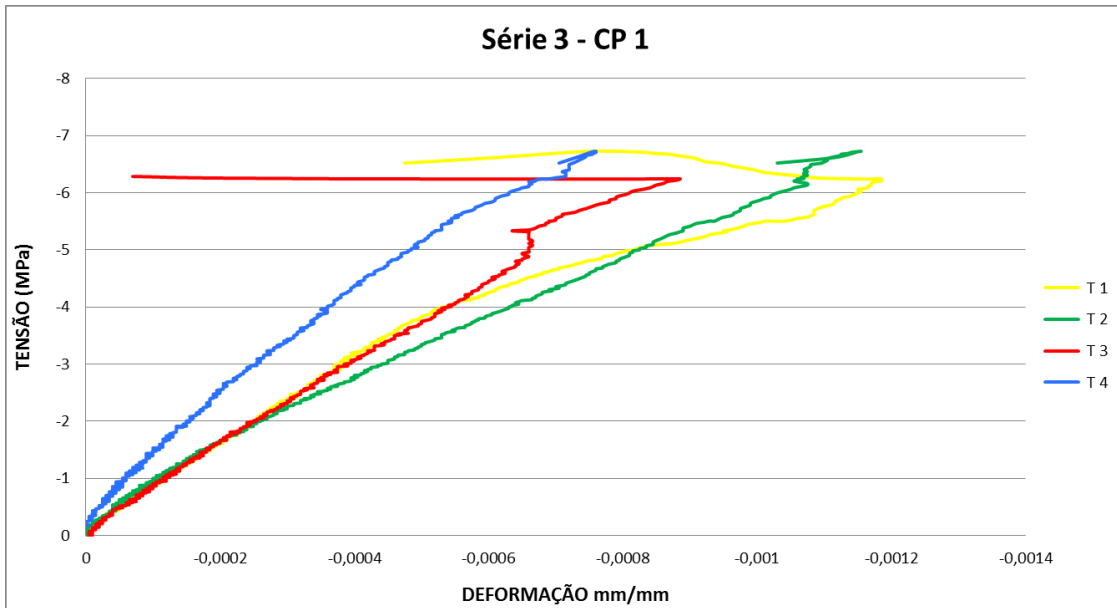
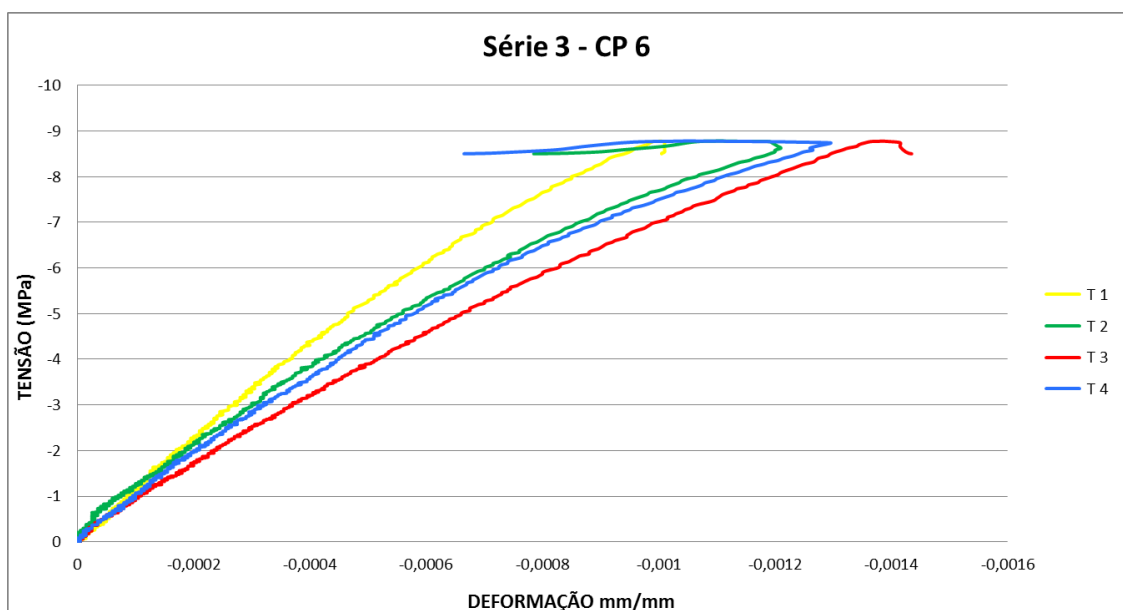
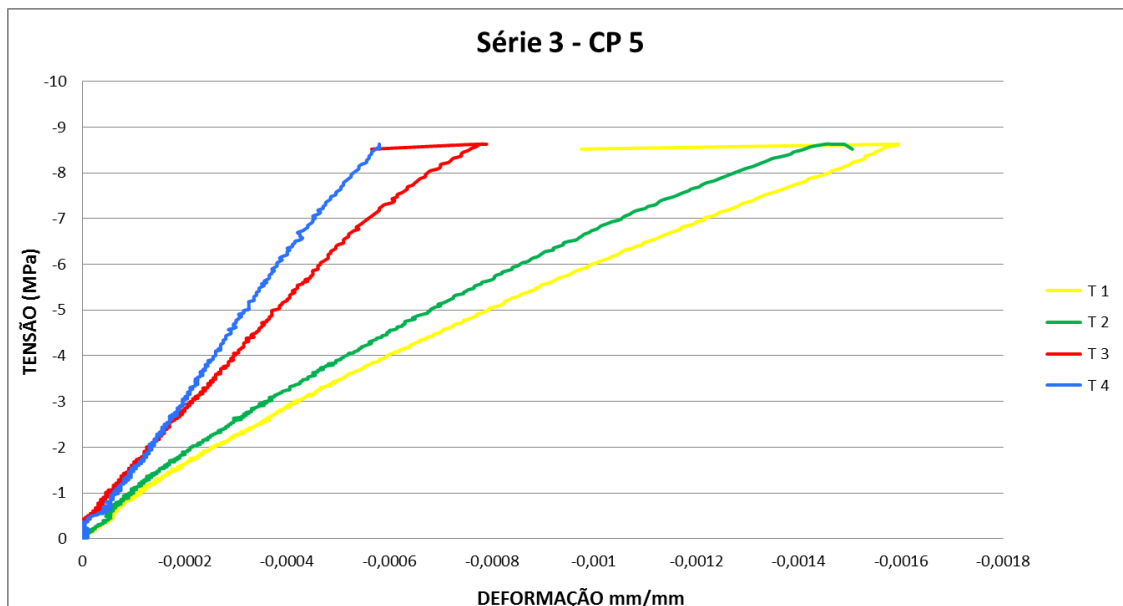
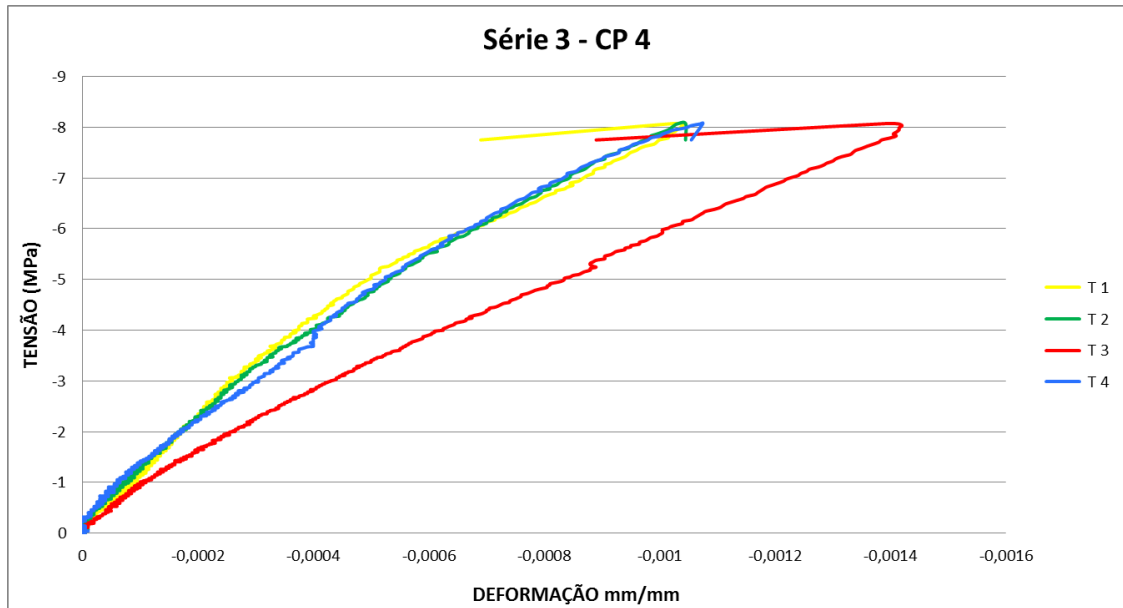
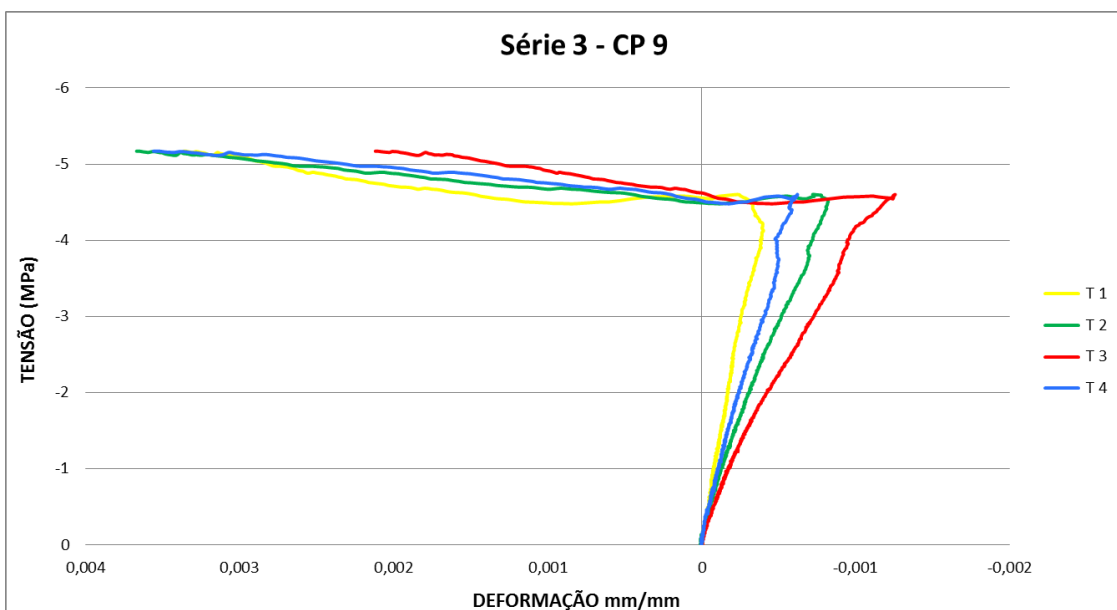
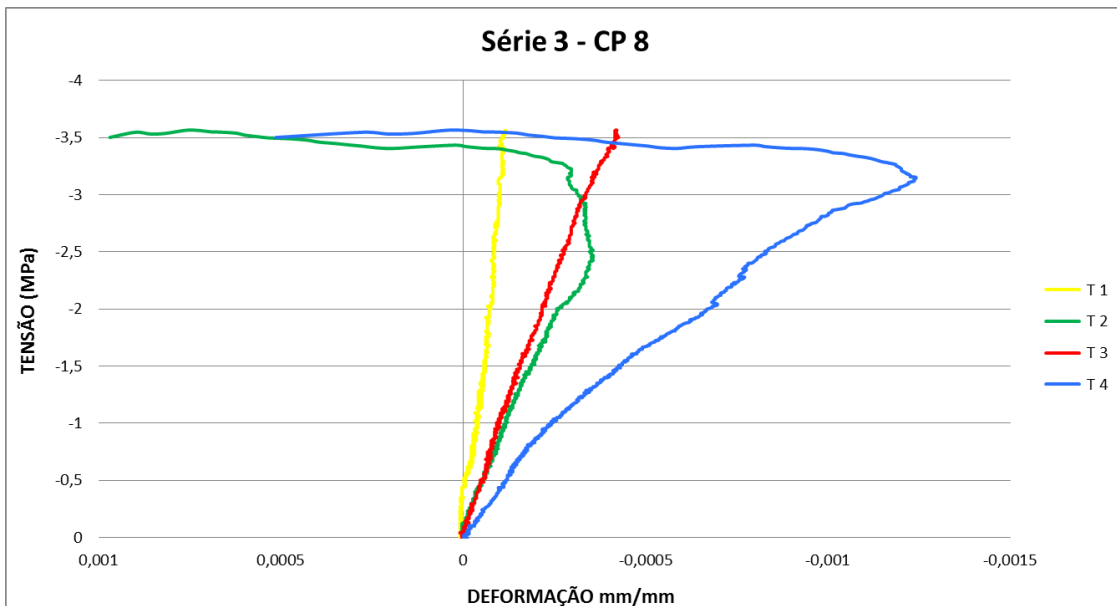
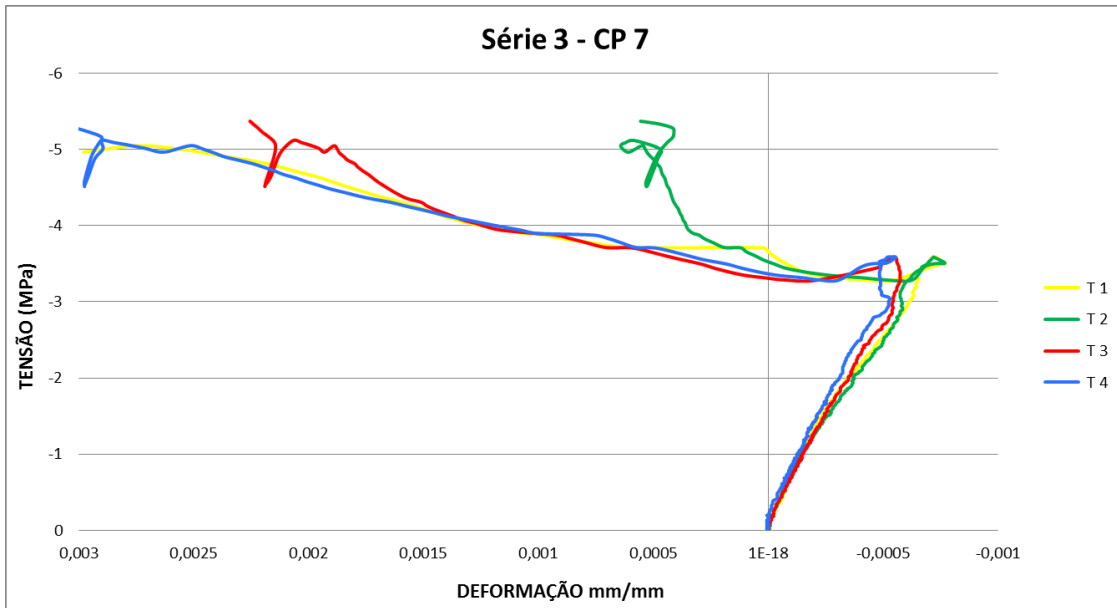


Figura C.3 – Gráfico tensão *versus* deformação dos prismas da 2ª série







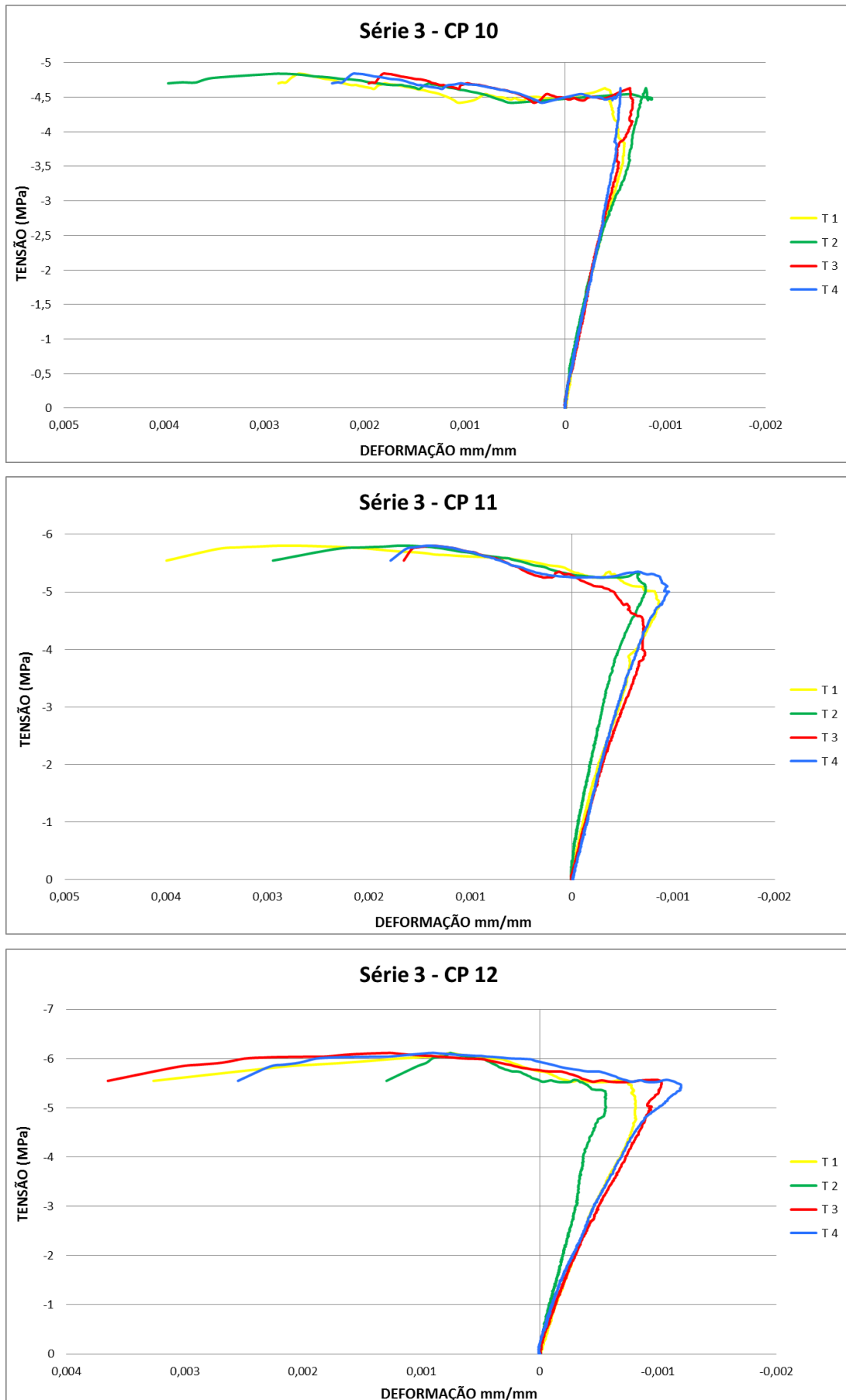
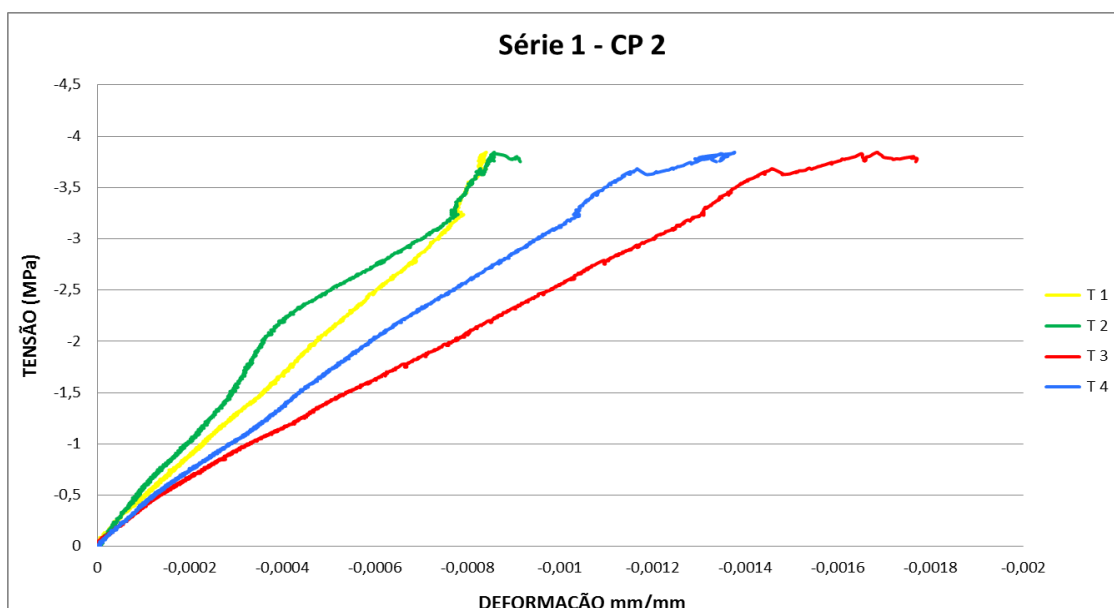
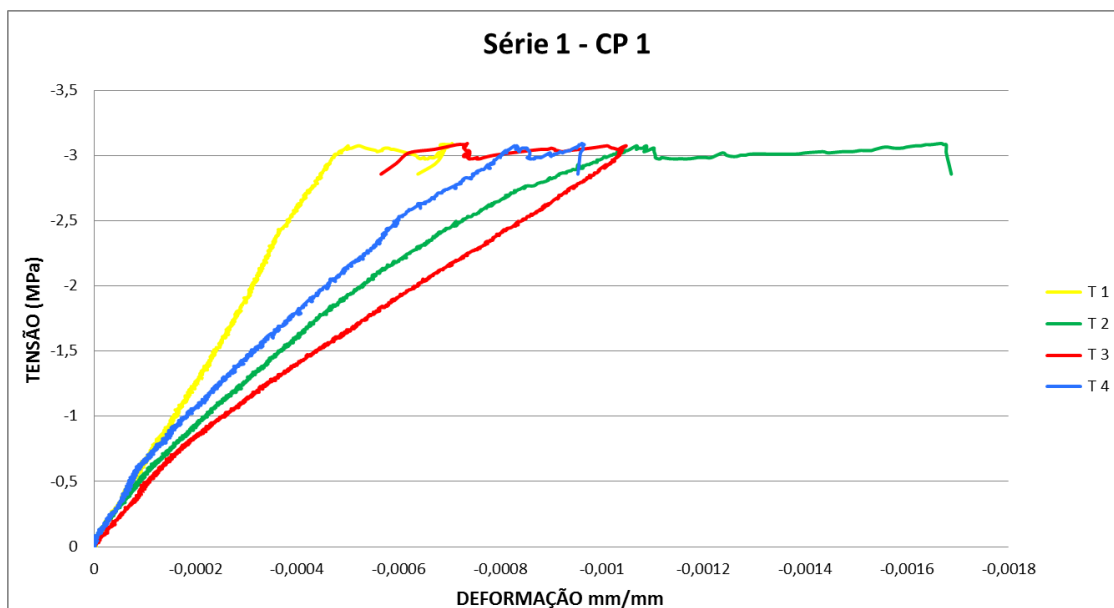
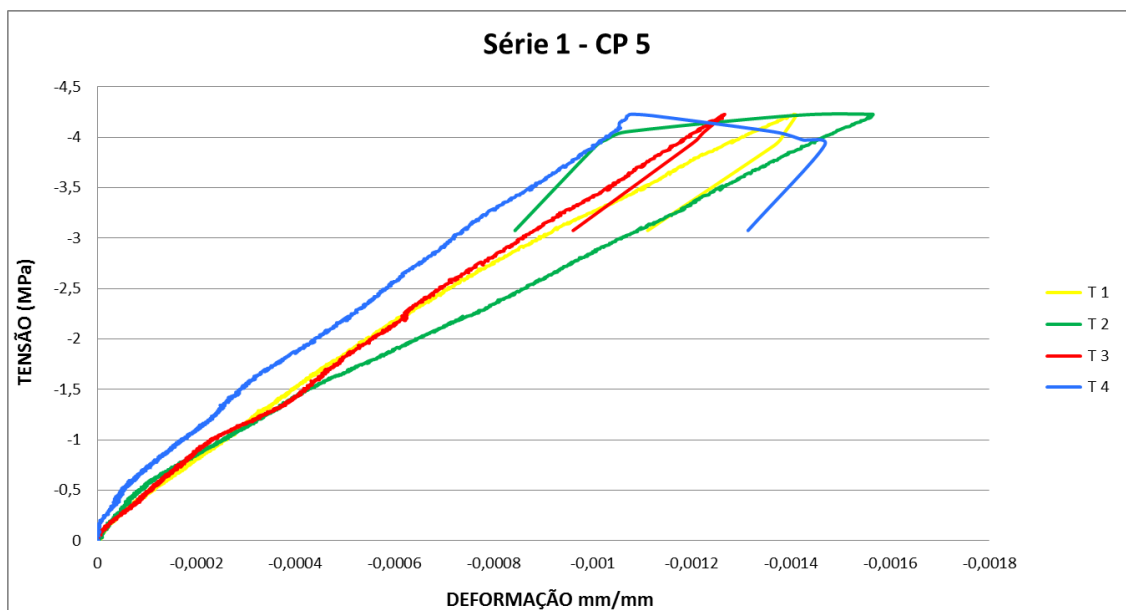
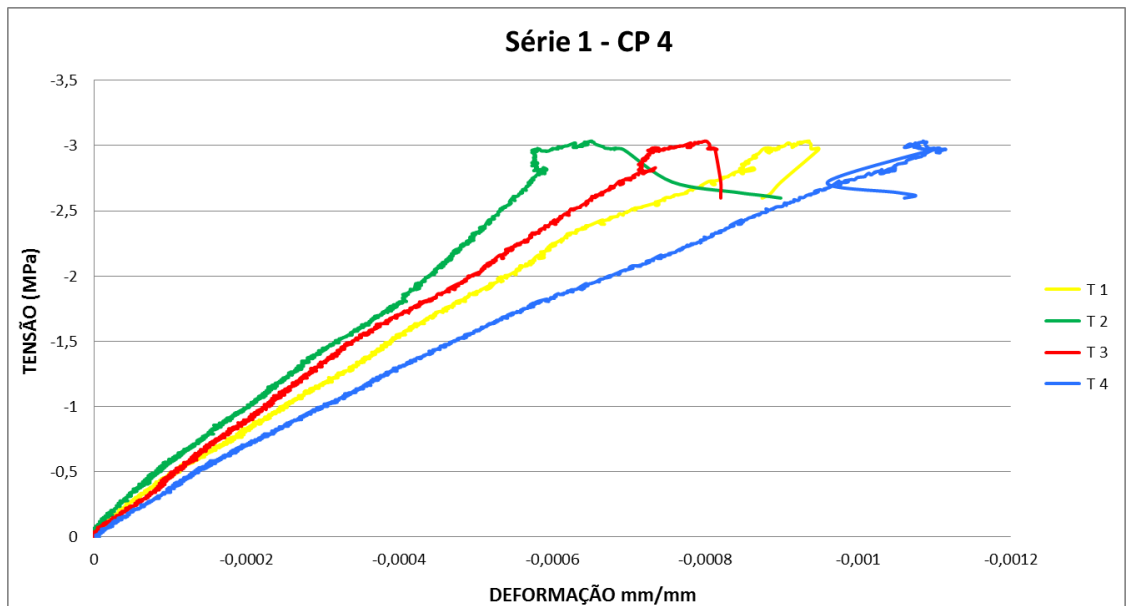
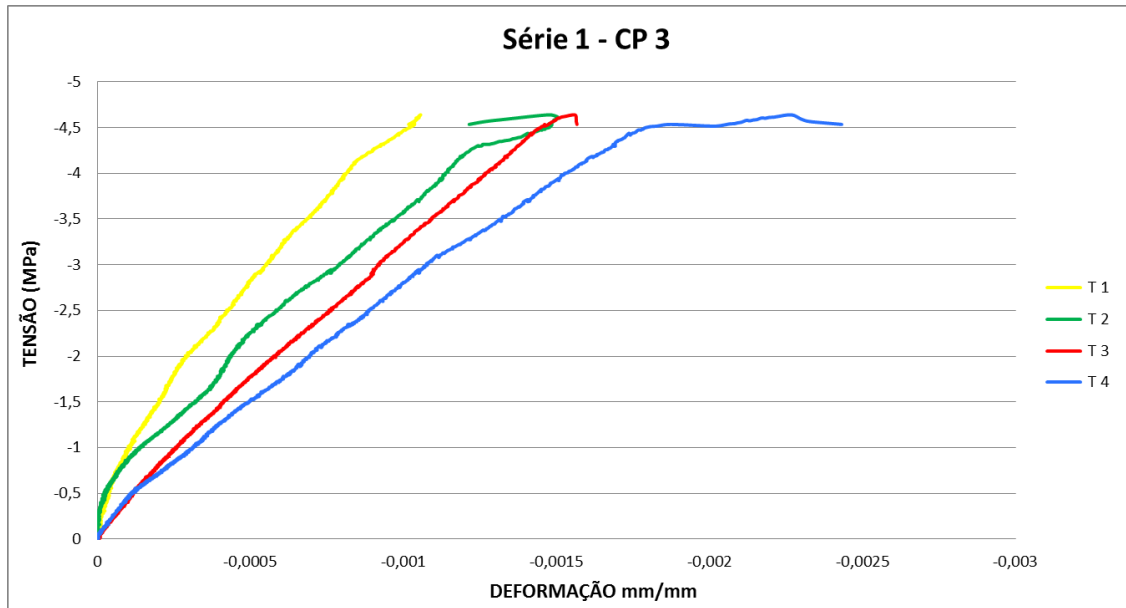


Figura C.4 – Gráfico tensão *versus* deformação dos prismas da 3ª série

C.3 PEQUENAS PAREDES

As Figuras C.4, C.5 e C.6 se referem aos gráficos tensão *versus* deformação das pequenas paredes das 1ª, 2ª e 3ª séries, respectivamente, que correspondem às séries de ensaio de resistência à compressão. Já as Figuras C.7 e C.8 se referem aos gráficos das pequenas paredes das 4ª e 5ª séries, respectivamente, que correspondem às séries de ensaio de resistência ao cisalhamento.





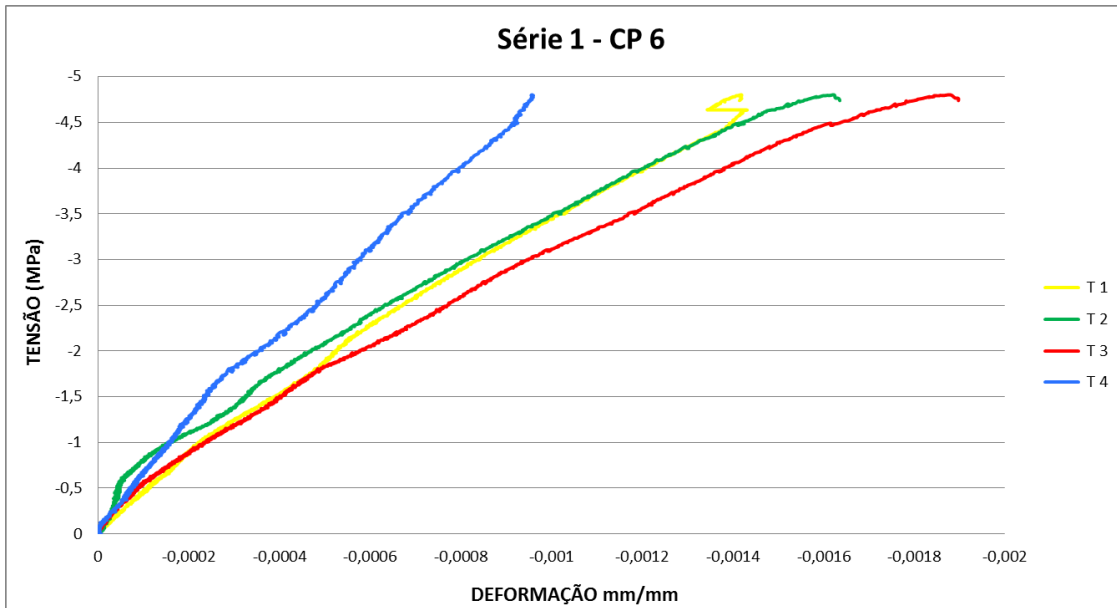
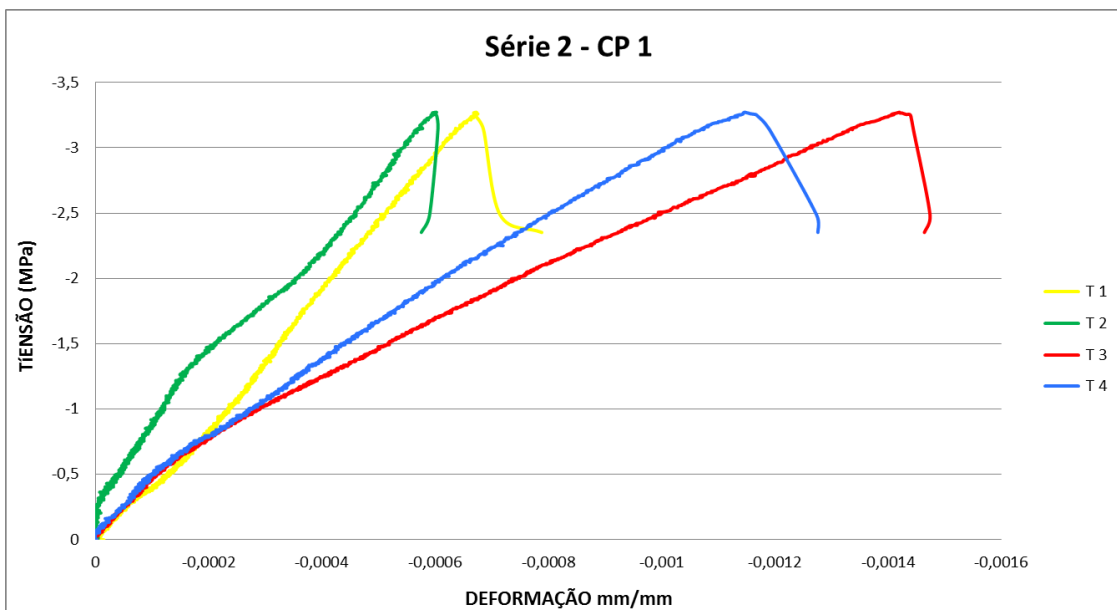
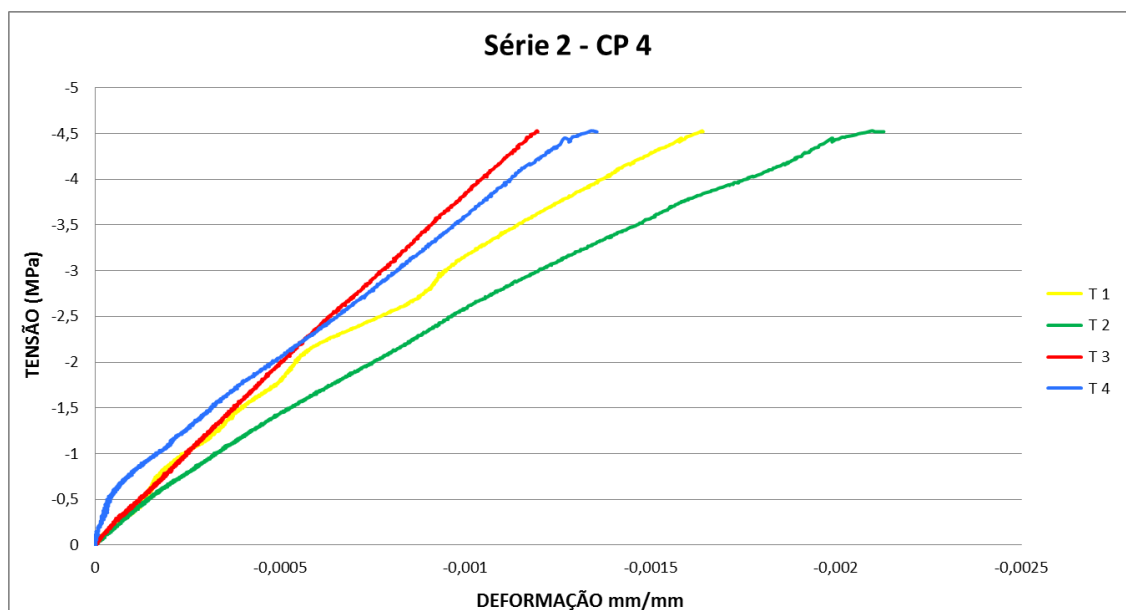
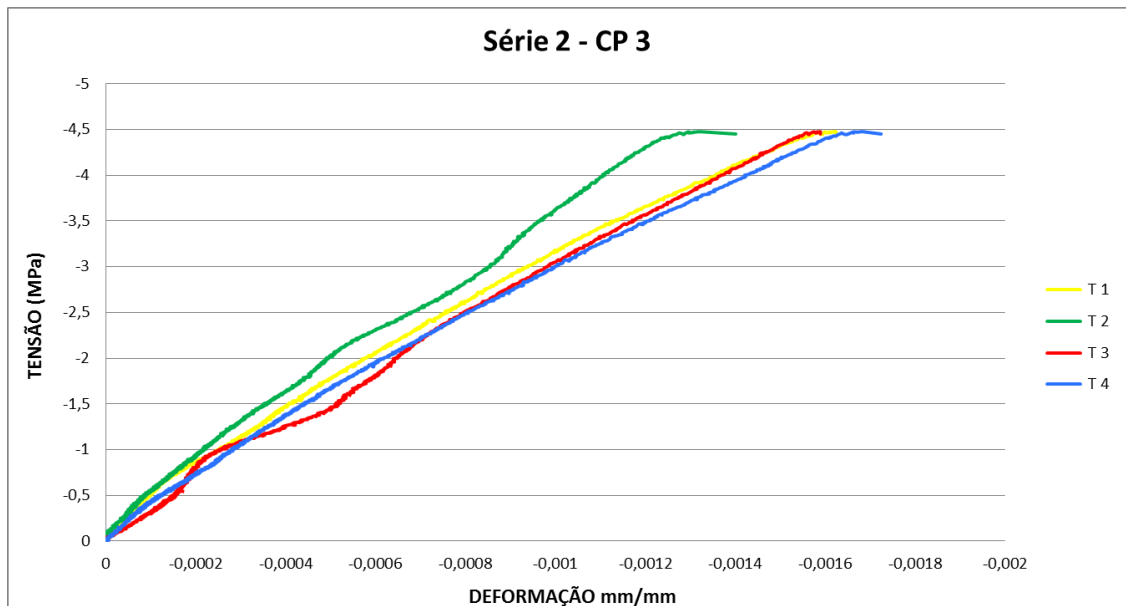
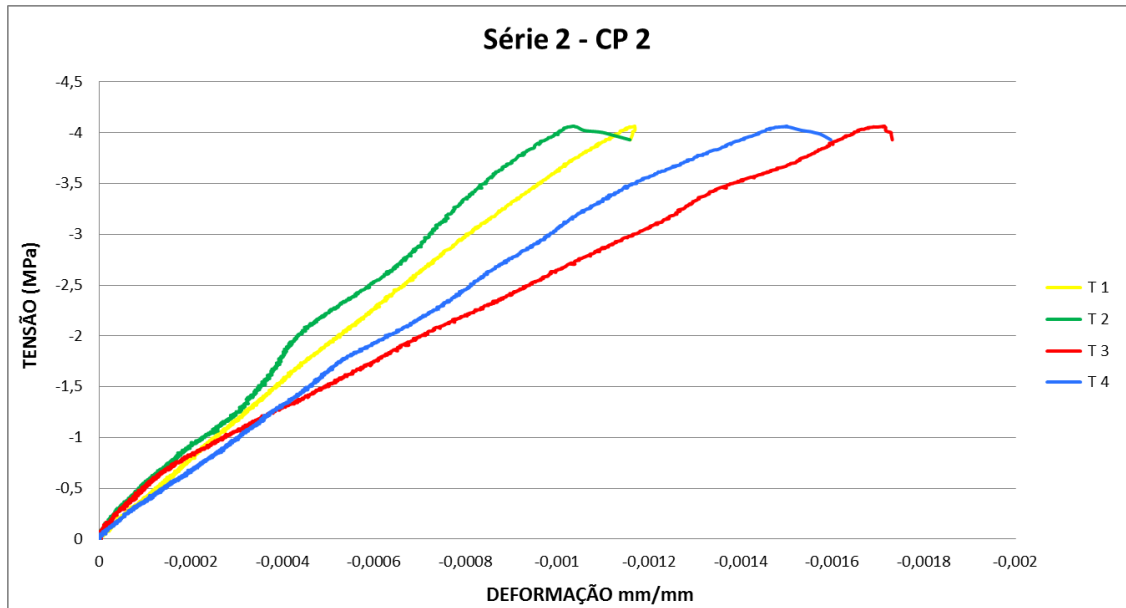


Figura C.5 – Gráfico tensão *versus* deformação das pequenas paredes da 1ª série





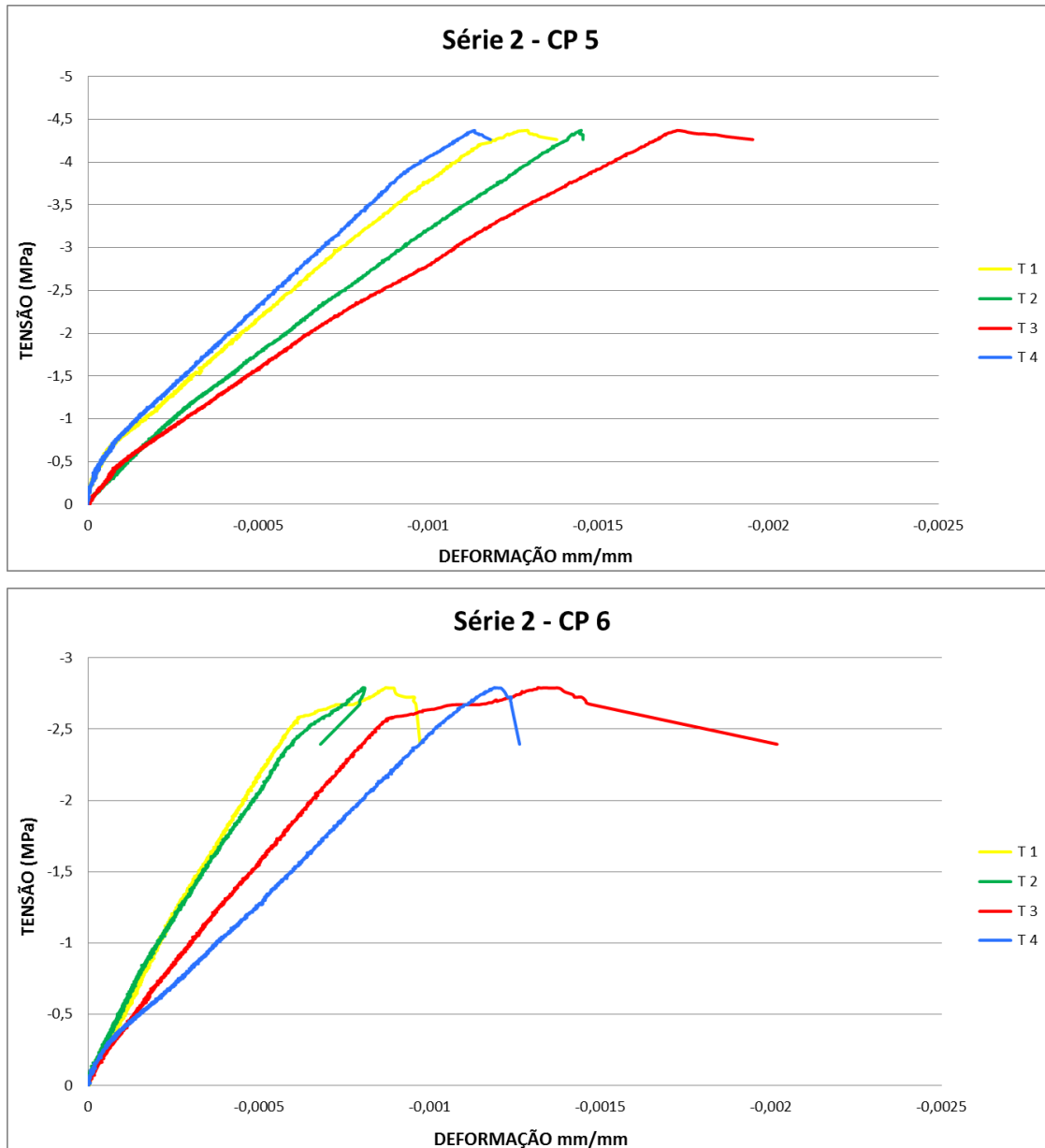
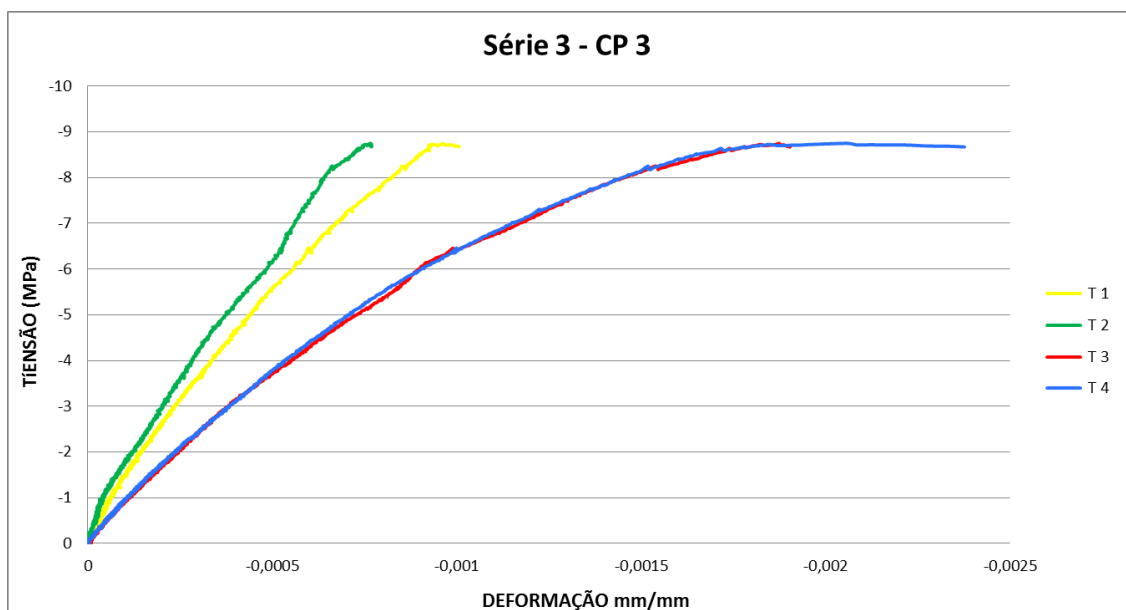
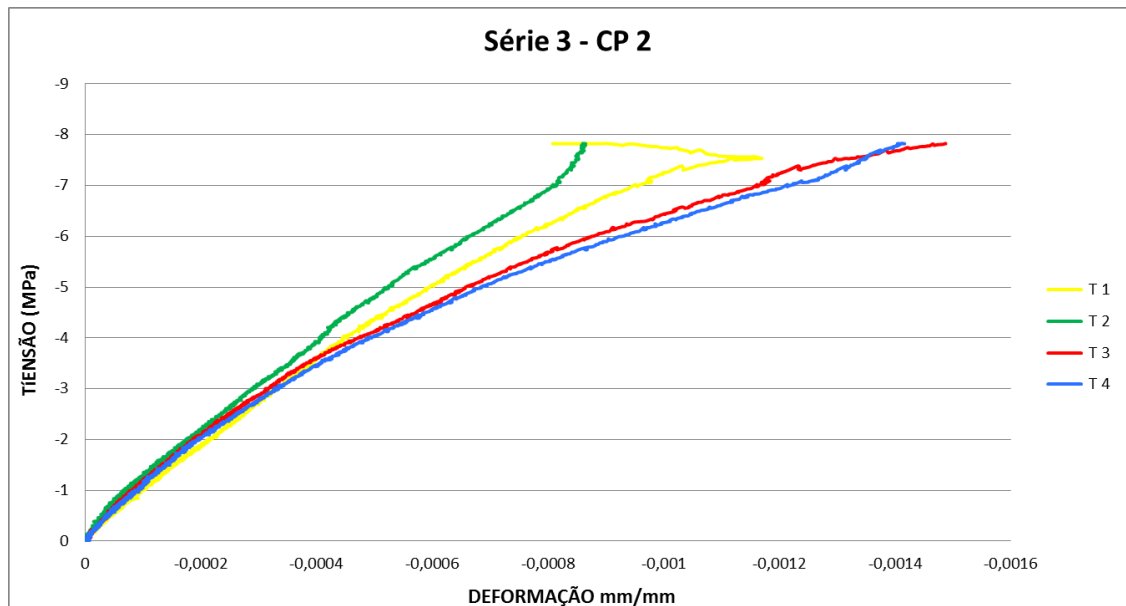
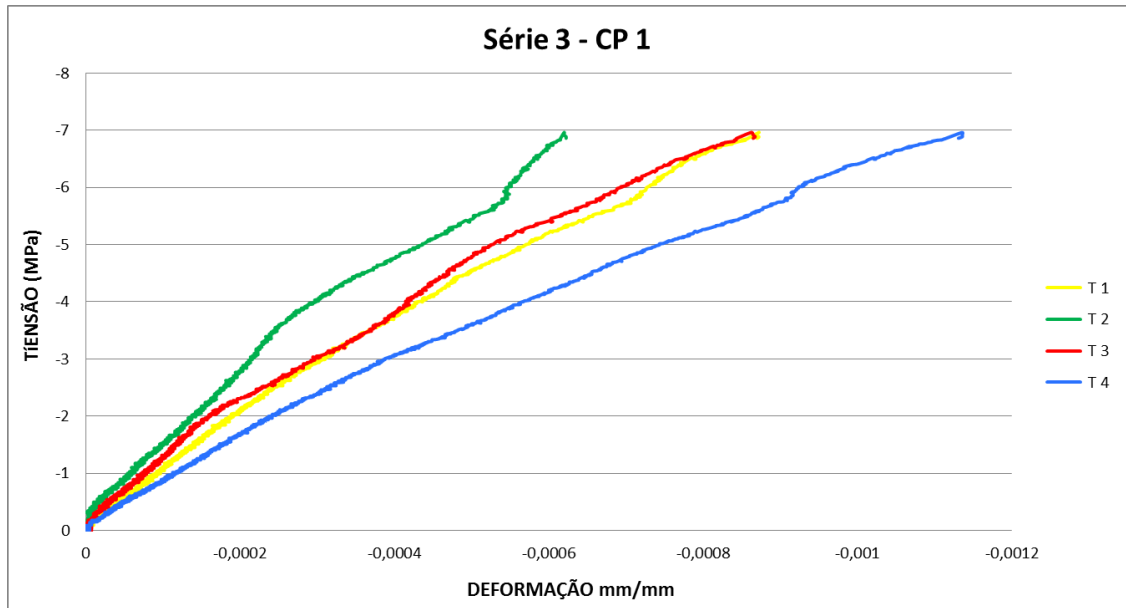
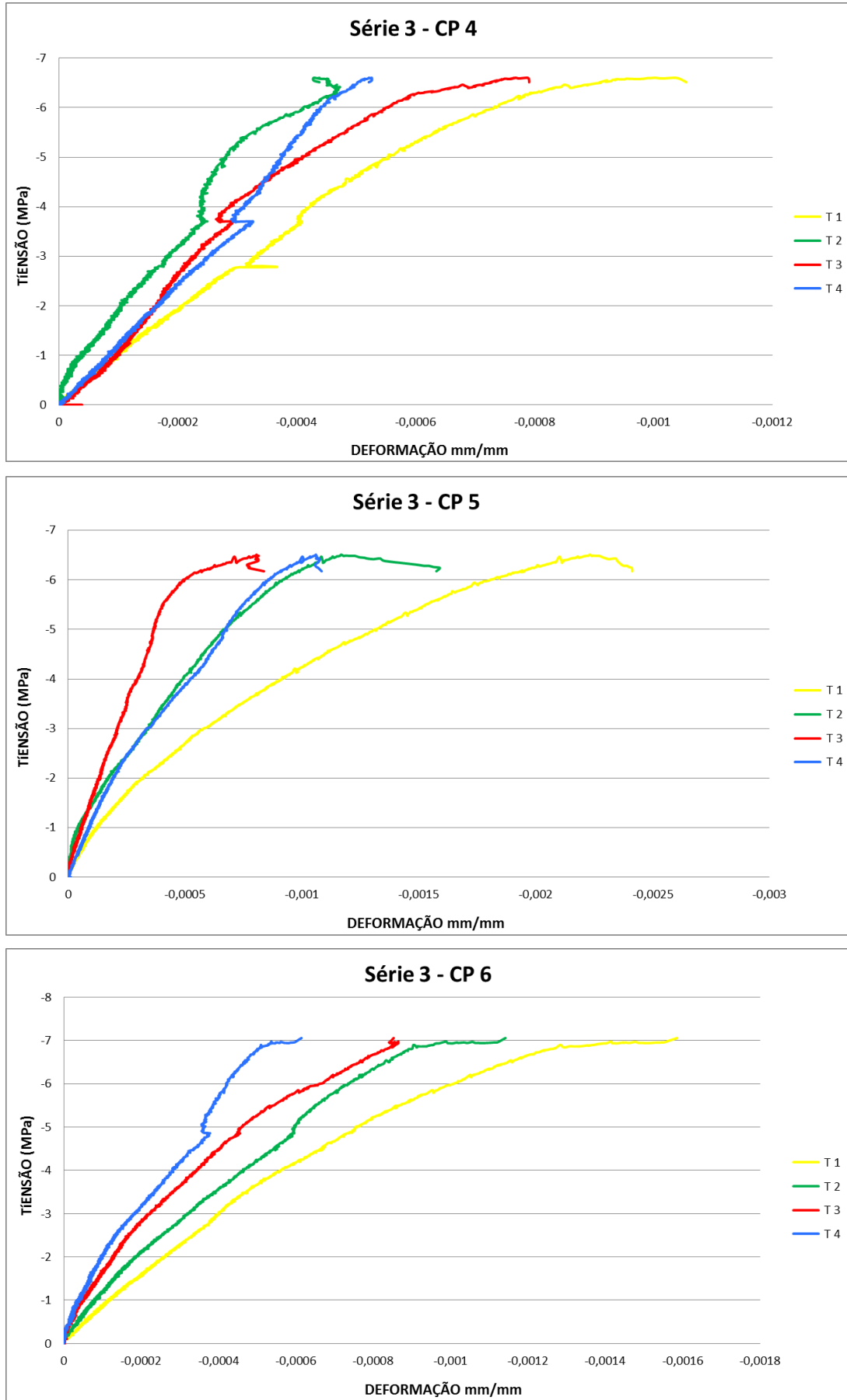
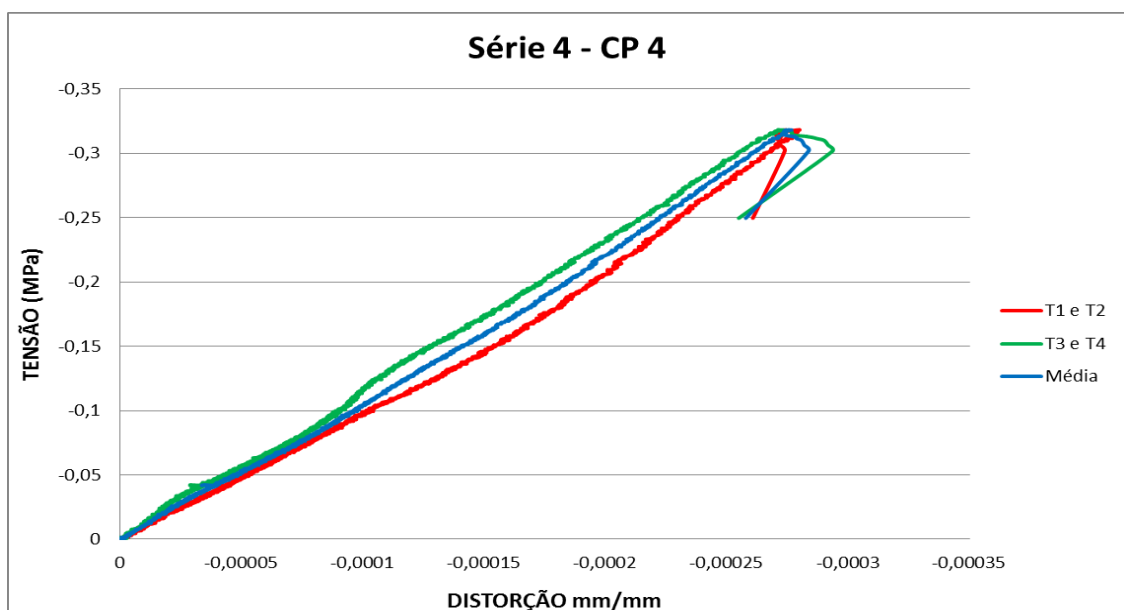
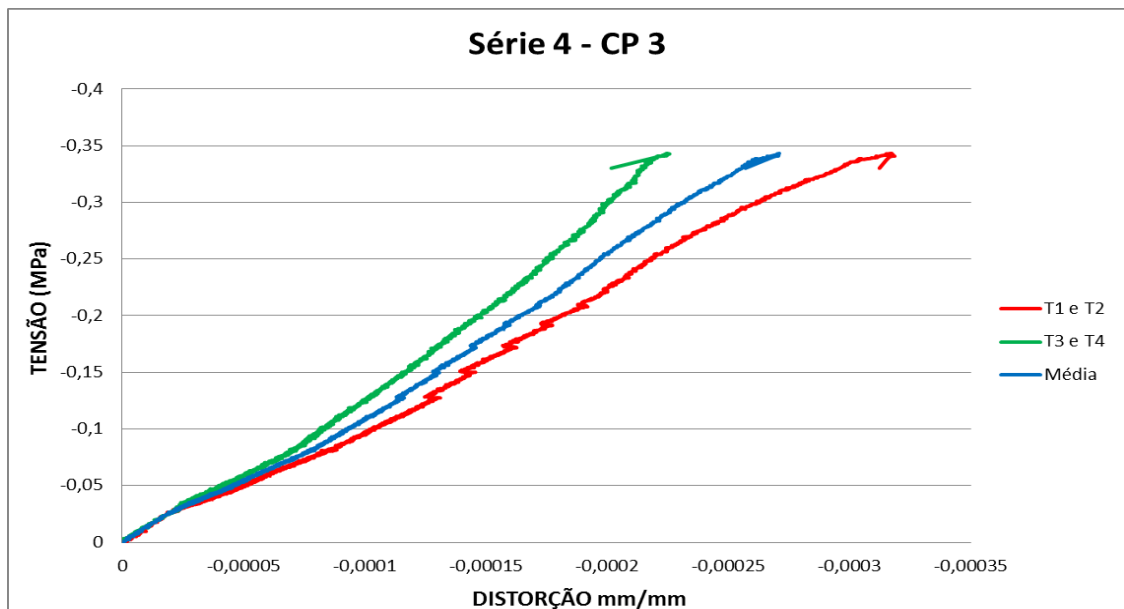
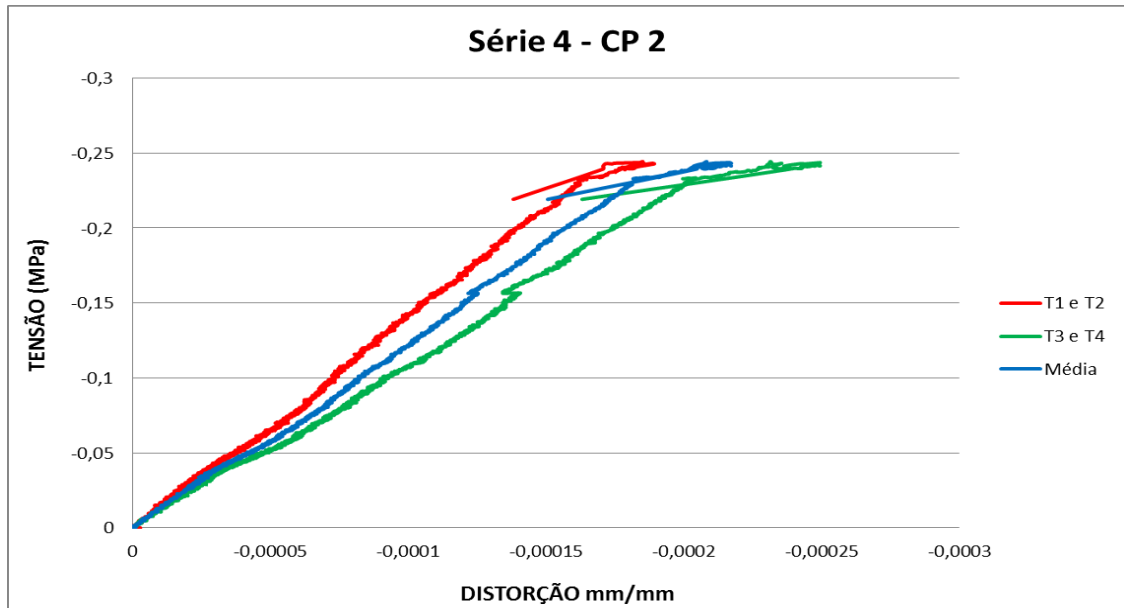
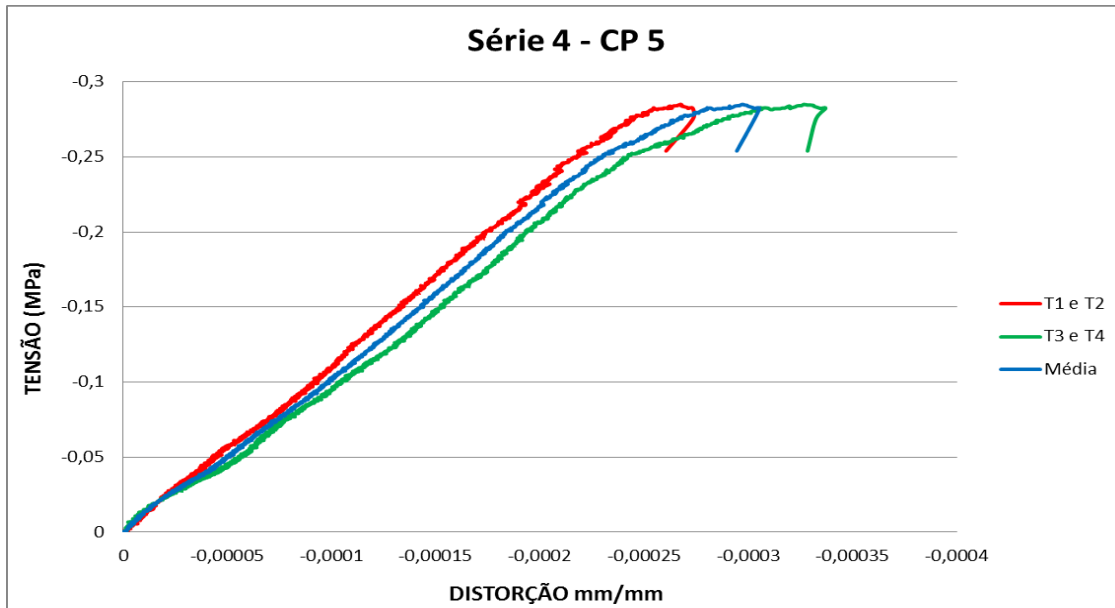
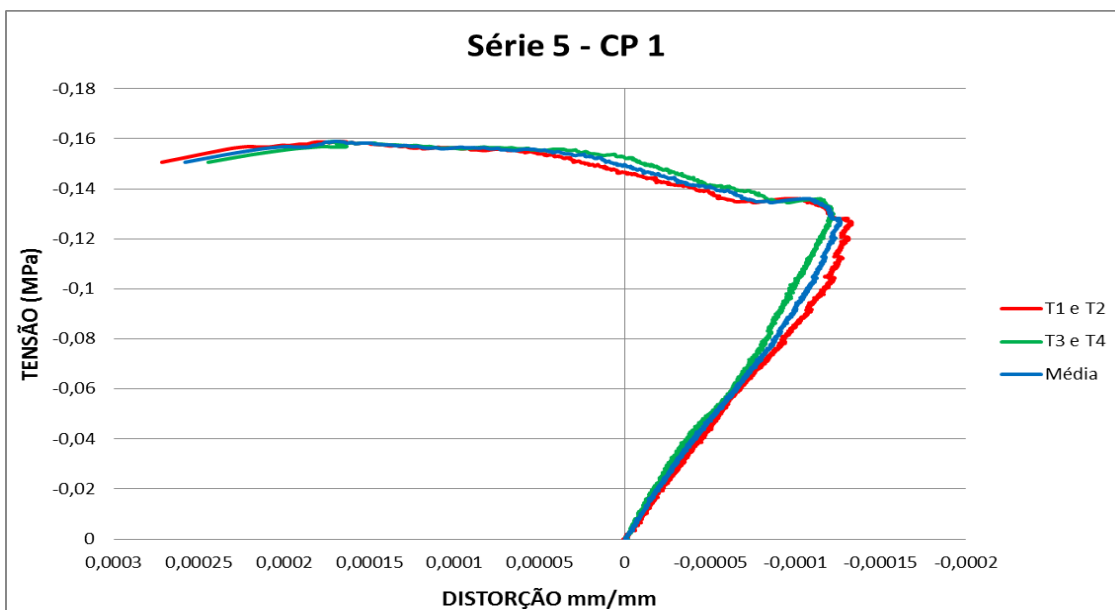


Figura C.6 – Gráfico tensão *versus* deformação das pequenas paredes da 2ª série



Figura C.7 – Gráfico tensão *versus* deformação das pequenas paredes da 3ª série



Figura C.8 – Gráfico tensão *versus* deformação das pequenas paredes da 4ª série

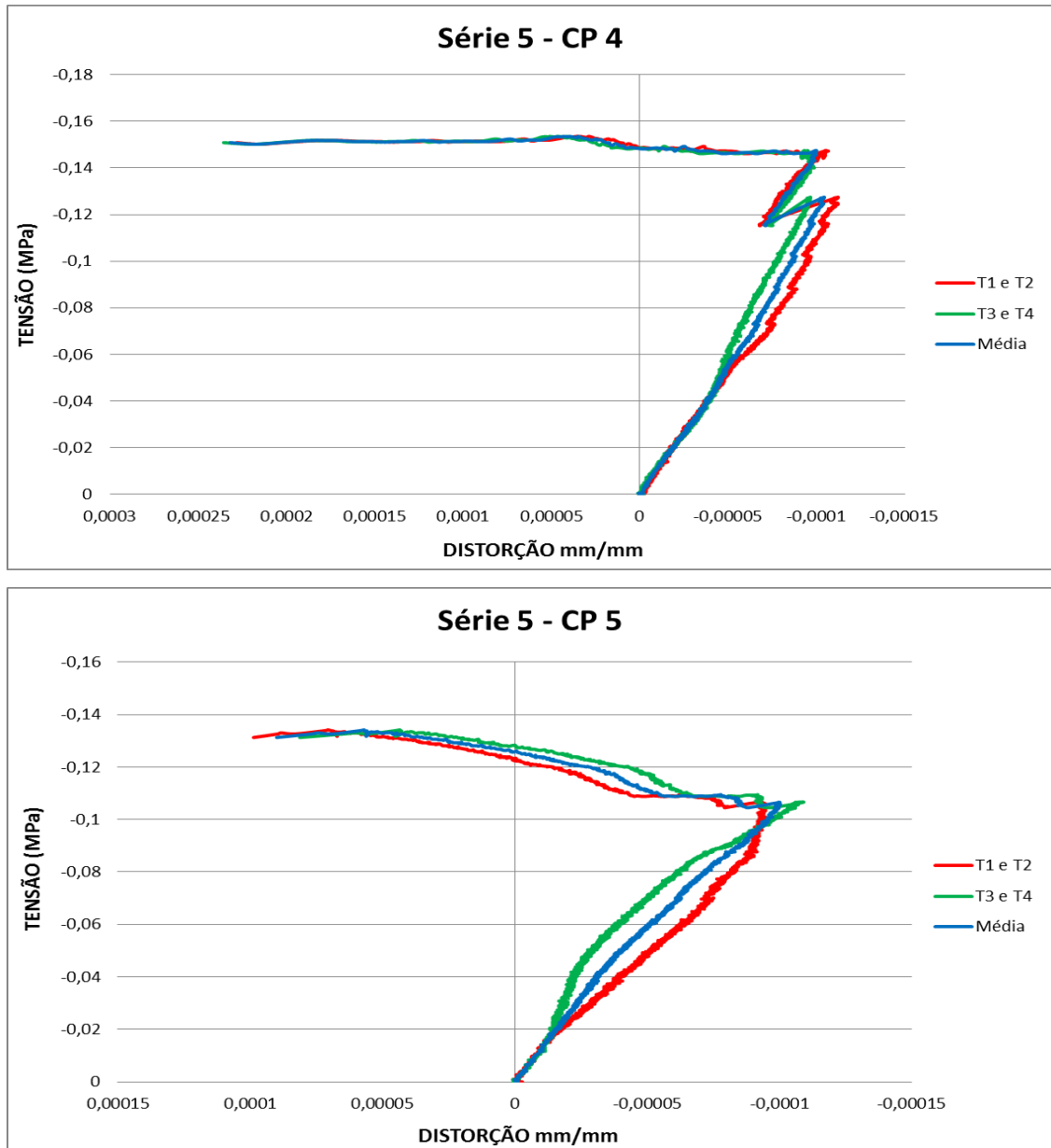


Figura C.9 – Gráfico tensão *versus* deformação das pequenas paredes da 5ª série

APÊNDICE D

A seguir serão apresentados os resultados da análise estatística realizada utilizando-se o Teste F e o Teste T. A hipótese nula considerada foi que não houve diferença entre as médias das amostras.

D.1 PRISMAS

Nos prismas o objetivo da análise estatística foi comparar a resistência à compressão quando não preenchidos e preenchidos os vazios com graute. Em um trabalho preliminar realizado para a empresa Cerâmica City foram estudados dois grautes denominados Graute A e Graute C. A Tabela D.1 a seguir apresenta a análise estatística realizada para comparar a resistência média à compressão entre os dois grautes.

Tabela D.1 – Resultados da análise estatística de resistência média à compressão dos grautes ensaiados para a empresa Cerâmica City

Graute	Número de Observações	Média	Variância	Teste F		
				F	Valor P	F crítico
Graute A	6	9,88	0,411	0,618	0,305	0,198
				Teste T		
Graute C	6	25,31	0,665	T	Valor P	T crítico
				-36,439	2,88E-12	1,812

Com base no resultado do Teste F obteve-se o valor $F < 1$ e $F > F$ crítico, portanto, aceitou-se a hipótese das variâncias serem equivalentes. Assim, aplicando-se o Teste T presumindo amostras com variâncias equivalentes obteve-se $P < 0,05$. Portanto rejeitou-se a hipótese das médias serem equivalentes, ou seja, os valores de resistência à compressão dos grautes podem ser considerados diferentes a um nível de significância de 5%.

A Tabela D.2 a seguir apresenta os resultados da análise estatística para os prismas grauteados com o Graute A e Graute C.

Tabela D.2 – Resultados da análise estatística de resistência média à compressão dos prismas grauteados com o Graute A e Graute C ensaiados para a empresa Cerâmica City

Prisma	Número de Observações	Média	Variância	Teste F		
				F	Valor P	F crítico
Graute A	12	6,24	2,493	3,559	0,023	2,818
				Teste T		
Graute C	12	5,85	0,700	T	Valor P	T crítico
				0,765	0,227	1,740

Conforme observado na Tabela D.2, $F > 1$ e $F > F$ crítico, sendo assim rejeitou-se a hipótese das variâncias entre as amostras serem equivalentes, ou seja, são diferentes. Portanto, a análise estatística utilizando o Teste T, presumindo amostras com variâncias diferentes obteve $P > 0,05$, ou seja, aceitou-se a hipótese das médias das amostras serem equivalentes. Desta forma, pode-se afirmar a um nível de significância de 5% que as médias de resistência à compressão entre os prismas grauteados são equivalentes.

As Tabelas D.3 e D.4 a seguir apresentam a análise estatística com prismas assentados com argamassamento na lateral, ensaiados aos 14 e 28 dias, respectivamente, com os prismas grauteados com o Graute A.

Tabela D.3 – Resultados da análise estatística de resistência média à compressão dos prismas assentados com argamassamento na lateral (14 dias) e grauteados com o Graute A ensaiados para a empresa Cerâmica City

Prisma	Número de Observações	Média	Variância	Teste F		
				F	Valor P	F crítico
Argamassamento lateral – 14 dias	11	1,974	0,097	0,039	7,38E-06	0,340
				Teste T		
Graute A	12	6,240	2,493	T	Valor P	T crítico
				-9,166	4,55E-07	1,782

Tabela D.4 – Resultados da análise estatística de resistência média à compressão dos prismas assentados com argamassamento na lateral (28 dias) e grauteados com o Graute A ensaiados para a empresa Cerâmica City

Prisma	Número de Observações	Média	Variância	Teste F		
				F	Valor P	F crítico
Argamassamento lateral – 28 dias	12	1,802	0,139	0,056	1,86E-05	0,355
				Teste T		
Graute A	12	6,240	2,493	T	Valor P	T crítico
				-9,475	3,20E-07	1,782

De acordo com a análise estatística apresentada pelas Tabelas D.3 e D.4, aplicando-se o Teste F, nos dois casos, $F < 1$ e $F < F$ crítico, sendo assim rejeitou-se a hipótese das variâncias entre as amostras serem equivalentes, ou seja, são diferentes. Assim, com o Teste T presumindo amostras com variâncias diferentes obtiveram-se nos dois casos $P < 0,05$. Portanto rejeitou-se a hipótese das médias entre as amostras serem equivalentes. Assim, os prismas grauteados com o Graute A comparados com os prismas ocos assentados com argamassamento na lateral e ensaiados tanto aos 14 como aos 28 dias possuem valores de resistência à compressão considerados maiores a um nível de significância de 5%.

As Tabelas D.5 e D.6 trazem a análise estatística realizada com os mesmos prismas grauteados com o Graute A mas agora comparados com prismas assentados com argamassamento total e ensaiados aos 14 e 28 dias, respectivamente.

Tabela D.5 – Resultados da análise estatística de resistência média à compressão dos prismas assentados com argamassamento total (14 dias) e grauteados com o Graute A ensaiados para a empresa Cerâmica City

Prisma	Número de Observações	Média	Variância	Teste F		
				F	Valor P	F crítico
Argamassamento total – 14 dias	12	5,145	0,410	0,165	0,0029	0,355
				Teste T		
Graute A	12	6,240	2,493	T	Valor P	T crítico
				-2,226	0,0209	1,753

Tabela D.6 – Resultados da análise estatística de resistência média à compressão dos prismas assentados com argamassamento total (28 dias) e grauteados com o Graute A ensaiados para a empresa Cerâmica City

Prisma	Número de Observações	Média	Variância	Teste F		
				F	Valor P	F crítico
Argamassamento total – 28 dias	6	6,127	0,644	0,258	0,073	0,213
				Teste T		
Graute A	12	6,240	2,493	T	Valor P	T crítico
				-0,163	0,436	1,746

Com a Tabela D.5, $F < 1$ e $F < F$ crítico, assim rejeitou-se a hipótese das variâncias entre as amostras serem equivalentes. Já com a Tabela D.6, $F < 1$ e $F > F$ crítico, assim aceitou-se a hipótese das médias serem equivalentes. Portanto, aplicando-se o Teste T, na Tabela D.5 rejeitou-se a hipótese das médias entre as amostras serem equivalentes, pois $P < 0,05$. Já com a Tabela D.6, $P > 0,05$, assim aceitou-se a hipótese das médias de resistência à compressão entre as amostras serem equivalentes. Portanto, os prismas grauteados com o Graute A comparados com os prismas ocios assentados com argamassamento total e ensaiados aos 14 possuem valores de resistência à compressão diferentes, a um nível de significância de 5%, mas quando comparados com os prismas assentados com argamassamento total e ensaiados aos 28 dias, as médias entre as amostras passaram a ser consideradas equivalentes a um nível de significância de 5%.

Da mesma forma como descrito anteriormente, as Tabelas D.7 e D.8 a seguir apresentam os resultados da análise estatística realizada com os prismas grauteados com o Graute C e prisma ocios com argamassamento na lateral ensaiados aos 14 e 28 dias respectivamente.

Tabela D.7 – Resultados da análise estatística de resistência média à compressão dos prismas assentados com argamassamento lateral (14 dias) e grauteados com o Graute C ensaiados para a empresa Cerâmica City

Prisma	Número de Observações	Média	Variância	Teste F		
				F	Valor P	F crítico
Argamassamento lateral – 14 dias	11	1,974	0,097	0,139	0,002	0,340
				Teste T		
Graute C	12	5,846	0,700	T	Valor P	T crítico
				-14,93	2,70E-10	1,761

Tabela D.8 – Resultados da análise estatística de resistência média à compressão dos prismas assentados com argamassamento lateral (28 dias) e grauteados com o Graute C ensaiados para a empresa Cerâmica City

Prisma	Número de Observações	Média	Variância	Teste F		
				F	Valor P	F crítico
Argamassamento lateral – 28 dias	12	1,802	0,139	0,199	0,0062	0,355
				Teste T		
Graute C	12	5,846	0,700	T	Valor P	T crítico
				-15,286	7,44E-11	1,753

Aplicando-se o Teste F, conforme apresentado pelas Tabelas D.7 e D.8, $F < 1$ e $F < F$ crítico, desta forma rejeitou-se a hipótese das variâncias entre as amostras serem equivalentes, ou seja, são diferentes. Assim, aplicando-se o Teste T presumindo amostras com variâncias diferentes obtiveram-se nos dois casos $P < 0,05$. Portanto rejeitou-se a hipótese das médias entre as amostras serem equivalentes. Sendo assim, os prismas grauteados com o Graute C comparados com os prismas ocios assentados com argamassamento na lateral e ensaiados tanto aos 14 como aos 28 dias possuem valores de resistência à compressão considerados maiores, a um nível de significância de 5%.

As Tabelas D.9 e D.10 apresentam a análise estatística realizada com os mesmos prismas grauteados com o Graute C mas comparados agora com os prismas assentados com argamassamento total e ensaiados aos 14 e 28 dias, respectivamente.

Tabela D.9 – Resultados da análise estatística de resistência média à compressão dos prismas assentados com argamassamento total (14 dias) e grauteados com o Graute C ensaiados para a empresa Cerâmica City

Prisma	Número de Observações	Média	Variância	Teste F		
				F	Valor P	F crítico
Argamassamento total – 14 dias	12	5,145	0,410	0,586	0,194	0,355
				Teste T		
Graute C	12	5,846	0,700	T	Valor P	T crítico
				-2,302	0,0156	1,717

Tabela D.10 – Resultados da análise estatística de resistência média à compressão dos prismas assentados com argamassamento total (28 dias) e grauteados com o Graute C ensaiados para a empresa Cerâmica City

Prisma	Número de Observações	Média	Variância	Teste F		
				F	Valor P	F crítico
Argamassamento total – 28 dias	6	6,127	0,644	0,919	0,496	0,213
				Teste T		
Graute C	12	5,846	0,700	T	Valor P	T crítico
				0,682	0,253	1,746

Com a Tabela D.9, $F < 1$ e $F > F$ crítico, assim aceitou-se a hipótese das variâncias entre as amostras serem equivalentes. Da mesma forma também a Tabela D.10, $F < 1$ e $F > F$ crítico, assim aceitou-se a hipótese das variâncias serem equivalentes. Portanto, aplicando-se o Teste T, presumindo amostras com variâncias equivalentes, na Tabela D.9 rejeitou-se a hipótese das médias entre as amostras serem equivalentes, pois $P < 0,05$. Já com a Tabela D.10, $P > 0,05$, assim aceitou-se a hipótese das médias de resistência à compressão entre as amostras serem equivalentes. Portanto, os prismas grauteados com o Graute C comparados com os prismas ocos assentados com argamassamento total e ensaiados aos 14 possuem valores maiores de resistência à compressão a um nível de significância de 5%, mas quando comparados com os prismas assentados com argamassamento total e ensaiados aos 28 dias, as médias entre as amostras passaram a ser consideradas equivalentes a um nível de significância de 5%.

Após realizado o trabalho experimental para a empresa Cerâmica City, foram moldados para o presente trabalho prismas ocos e prismas grauteados com o graute A, que correspondem, respectivamente, à prismas das 1ª e 3ª séries. A Tabela D.11 a seguir apresentam os resultados obtidos.

Tabela D.11 – Resultados da análise estatística de resistência à compressão de prismas das 1ª e 3ª séries

Prisma	Número de Observações	Média	Variância	Teste F		
				F	Valor P	F crítico
1ª série	12	5,77	0,777	0,283	0,024	0,355
				Teste T		
3ª série	12	6,46	2,747	T	Valor P	T crítico
				-1,273	0,110	1,740

Como no Teste F, $F < 1$ e $F < F$ crítico, rejeitou-se a hipótese das variâncias serem consideradas equivalentes, assim, a análise estatística com o Teste T presumindo amostras com variâncias equivalentes obteve-se $P > 0,05$, com isto, aceitou-se a hipótese das médias serem consideradas equivalentes. Desta forma, a um nível de significância de 5%, o graute no interior do prisma não influenciou na sua resistência à compressão.

D.2 PEQUENAS PAREDES

Nas pequenas paredes a análise estatística avaliou se houve diferença na resistência à compressão e módulo de elasticidade quando não eram preenchidas as juntas verticais tanto com relação à resistência à compressão (1ª e 2ª séries) como também na resistência ao cisalhamento (4ª e 5ª séries). Avaliou também se houve diferença na resistência à compressão da alvenaria quando seus vazios foram preenchidos com graute (1ª e 3ª séries).

D.2.1 EFEITO DO NÃO PREENCHIMENTO DAS JUNTAS VERTICAIS

A seguir apresentam-se os resultados da análise estatística das 1ª e 2ª séries. A Tabela D.12 se refere à resistência média à compressão e a Tabela D.13 ao módulo de elasticidade médio.

Tabela D.12 – Resultados da análise estatística de resistência média à compressão das pequenas paredes das 1ª e 2ª séries

Série	Número de Observações	Média	Variância	Teste F		
				F	Valor P	F crítico
1ª Série	6	3,938	0,575	1,101	0,459	5,050
				Teste T		
2ª Série	6	3,918	0,522	T	Valor P	T crítico
				0,047	0,482	1,812

Tabela D.13 – Resultados da análise estatística do módulo de elasticidade das pequenas paredes das 1ª e 2ª séries

Série	Número de Observações	Média	Variância	Teste F		
				F	Valor P	F crítico
1ª Série	6	3919,183	210822,726	3,425	0,101	5,050
				Teste T		
2ª Série	6	3592,067	61562,979	T	Valor P	T crítico
				1,535	0,078	1,812

Com análise dos resultados do Teste F em ambos os casos observou-se que $F > 1$ e $F < F$ crítico, sendo assim aceitou-se a hipótese das variâncias serem equivalentes. A análise do Teste T se deu então presumindo amostras com variâncias equivalentes. Portanto como o valor de P obtido foi maior que 0,05, aceitou-se a hipótese das médias entre as amostras serem equivalentes. Ou seja, não houve influência do não preenchimento das juntas verticais na resistência à compressão e também no módulo de elasticidade nas pequenas paredes a um nível de significância de 5%.

As Tabelas D.14 e D.15 apresentam, respectivamente, os resultados da análise estatística da resistência média ao cisalhamento e do módulo de deformação transversal das 4ª e 5ª séries.

Tabela D.14 – Resultados da análise estatística de resistência média ao cisalhamento das pequenas paredes das 4ª e 5ª séries

Série	Número de Observações	Média	Variância	Teste F		
				F	Valor P	F crítico
4ª Série	4	0,298	0,00184	10,856	0,086	19,164
				Teste T		
5ª Série	3	0,149	0,00017	T	Valor P	T crítico
				5,701	0,001	2,015

Com a análise do resultado do Teste F observou-se que $F > 1$ e $F < F$ crítico, ou seja, aceitou-se a hipótese das variâncias serem equivalentes. Com a aplicação do Teste T, presumindo amostras com variâncias equivalentes rejeitou-se a hipótese das médias entre as amostras serem equivalentes, pois $P < 0,05$. Desta forma, o não preenchimento das juntas verticais faz diminuir a resistência ao cisalhamento da pequena parede.

Tabela D.15 – Resultados da análise estatística do módulo de deformação transversal das pequenas paredes das 4ª e 5ª séries

Série	Número de Observações	Média	Variância	Teste F		
				F	Valor P	F crítico
4ª Série	4	1185,90	14558,45	0,447	0,254	0,105
				Teste T		
5ª Série	3	1016,74	32553,00	T	Valor P	T crítico
				1,502	0,097	2,015

Já com a análise do resultado do Teste F considerando o módulo de deformação transversal das pequenas paredes observou-se que $F < 1$ e $F > F$ crítico, ou seja, aceitou-se a hipótese das variâncias serem equivalentes. No entanto, com a aplicação do Teste T, presumindo amostras com variâncias equivalentes aceitou-se a hipótese das médias entre as amostras serem equivalentes, pois o valor de $P > 0,05$. Desta forma, o não preenchimento das juntas verticais, a um nível de significância de 5%, não altera o módulo de deformação transversal das pequenas paredes, apesar de alterar sua resistência à compressão.

D.2.2 EFEITO DO GRAUTEAMENTO

A Tabela D.16 a seguir apresenta a análise estatística comparando os valores de resistência média à compressão das pequenas paredes das 1ª e 3ª séries.

Tabela D.16 – Resultados da análise estatística de resistência média à compressão das pequenas paredes das 1ª e 3ª séries

Série	Número de Observações	Média	Variância	Teste F		
				F	Valor P	F crítico
1ª Série	6	3,938	0,575	0,783	0,398	0,198
				Teste T		
3ª Série	6	7,285	0,734	T	Valor P	T crítico
				-7,166	1,52E-05	1,812

Com a análise do resultado aplicando-se o Teste F observou-se que $F < 1$ e $F > F$ crítico, ou seja, aceitou-se a hipótese das variâncias serem equivalentes. Desta forma com a aplicação do Teste T, presumindo amostras com variâncias equivalentes rejeitou-se a hipótese das médias entre as amostras serem equivalentes, pois o valor de $P < 0,05$. Portanto, o grauteamento dos vazios nas pequenas paredes exerceu influência na resistência à compressão das pequenas paredes, a um nível de significância de 5%.