



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE PAREDES DE  
ALVENARIA ESTRUTURAL: BLOCO CERÂMICO DE 44CM**

**Autora:** Maria Aparecida Nessralla  
**Orientador:** Humberto Ramos Roman, Ph.D

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

**Belo Horizonte, 06 de Março de 2013**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC

Nessralla, Maria Aparecida

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE PAREDES DE ALVENARIA  
ESTRUTURAL: BLOCO CERÂMICO DE 44 CM / Maria Aparecida

Nessralla; orientador, Humberto Ramos Roman –  
Florianópolis, SC, 2013.

136 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro  
Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. alvenaria estrutural. 3. Bloco cerâmico. 4.  
argamassa, resistência à compressão. I. Roman, Humberto Ramos. II.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil. III. Título.

**RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE PAREDES DE  
ALVENARIA ESTRUTURAL: BLOCO CERÂMICO DE 44CM**

**MARIA APARECIDA NESSRALLA**

Dissertação julgada adequada para a obtenção do Título de MESTRE em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.

Florianópolis, março de 2013.

---

Prof. Roberto Caldas de Andrade Pinto, PhD  
Coordenador do Programa

---

Prof. Humberto Ramos Roman, PhD.  
Orientador

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

Prof. Humberto Ramos Roman, PhD. –  
Moderador - ECV/UFSC

---

Prof. Dr<sup>a</sup>. Aline da Silva Ramos Barboza  
UFAL

---

Prof. Dr. Antônio Edésio Jungles  
ECV/UFSC

---

Prof. Dr. Luís Alberto Gómez  
UFSC



“Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo, qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim.”

Chico Xavier



## **DEDICO**

Aos meus pais Miguel e Ilka, pela  
compreensão e respeito à conclusão  
deste trabalho, e aos filhos amados,  
Patrícia e Thiago, pelo incentivo,  
confiança e amizade.





## AGRADECIMENTOS

A Deus pela eterna presença em minha vida;

Ao CEFET-MG, na presença do senhor ex-diretor Prof. Dr. Flávio Antônio dos Santos pelo reconhecimento de anos de trabalhos dos docentes desta instituição nos proporcionando o MINTER, e seu sincero apoio na realização desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Humberto Ramos Roman, pela orientação, amizade e confiança. Obrigada pela paciência e compreensão durante todos estes anos.

À minha irmã de coração Tina, por todo amor e paciência, a qual caminhou dedicadamente ao meu lado e foi determinante para que este trabalho fosse realizado. O meu muito obrigada.

À amiga Maria Estânia pelo carinho e apoio.

Ao Augusto Bezerra por toda a ajuda dispensada, meu sincero agradecimento.

Aos bolsistas Fernando e Polyana, dos funcionários Mateus, Leandro e “baixinho”, ao pedreiro José Mário, e ao professor Joel, pela contribuição de todos.

A Cerâmica Jacarandá que colaborou no desenvolvimento desta pesquisa cedendo os blocos e outros custos para a construção dos protótipos.

Ao Departamento de Engenharia Civil pela infraestrutura fornecida.

Às amigas Suzana Zatti e Janaína pela constante preocupação, prontidão e comprometimento durante a pesquisa.

Aos colegas do MINTER pelo companheirismo que tornou mais agradáveis as horas de estudo que passamos juntos.

A todos os meus familiares e amigos.

Obrigada



## RESUMO

A obtenção de processos construtivos mais econômicos é um objetivo permanente em engenharia. A necessidade de novos processos construtivos para atender a demanda por habitações fez com que a alvenaria estrutural superasse a etapa artesanal e fosse reconhecida como uma opção de tecnologia moderna, eficiente e econômica. O processo construtivo em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos vazados, preenchidos ou não com graute, vem sendo cada vez mais utilizado no Brasil e em diversos países. Um parâmetro básico para o dimensionamento em alvenaria estrutural é a resistência uniaxial à compressão. Neste trabalho, foram realizados ensaios de resistência à compressão em unidades de prismas, pequenas paredes e paredes com blocos cerâmicos de 29 e 44 cm de comprimento. O preenchimento dos blocos foi realizado com a mesma argamassa utilizada no assentamento dos blocos. Analisando-se a influência das dimensões dos blocos na resistência à compressão dos primas, pequenas parede e paredes verificou-se que os elementos com blocos de 44cm apresentaram resultados ligeiramente inferiores aos obtidos em elementos com blocos de 29cm. Quanto à resistência para os prismas, pequenas paredes e paredes preenchidos resultados significativamente superiores à resistência com os elementos não preenchidos foram obtidos.

**Palavras-chave:** alvenaria estrutural, bloco cerâmico, argamassa, resistência à compressão.



## ABSTRACT

A permanent aim of the engineering is to obtain cheaper construction processes. The use of structural masonry to meet the demand for housing was due to changes in the process, with adoption of a modern technology, more efficient and economic. The hollow clay block structural masonry, filled with grout or not, is being increasingly used in Brazil and many other countries. A basic parameter for dimensioning in structural masonry is the uniaxial compressive strength. In this study, laboratory tests were performed to establish the compressive strength of block units, prisms, wallets and walls with both 29 and 44 cm length blocks. The block hollows were filled with the same mortar used for laying of the blocks. The test results have shown that the specimens made with 44 cm length blocks presented slightly lower compressive strength than the results obtained with 29 cm blocks. Regarding to the results for filled hollows of prisms, wallets and walls, these were significantly higher comparing with the resistance of unfilled elements.

**Keywords:** structural masonry, clay block, mortar, compressive strength



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Blocos cerâmicos estruturais (Fonte:NBR 15270-1).....	37
Figura 2 - Tensões nos componentes de alvenaria.....	49
Figura 3 - Tensões nos componentes de alvenaria grauteada.....	50
Figura 4 - Locais para medições da largura (a) altura (b) e comprimento (c) dos blocos (NBR 15270-3).....	52
Figura 5 - Posições esquemáticas para as medições da espessura das paredes externas e septos (NBR, 15270-3).....	52
Figura 6 - Representação esquemática do desvio em relação ao esquadro (NBR 15270-3).....	53
Figura 7 - Representação esquemática da planeza das faces (NBR, 15270-3).....	53
Figura 8 - Compressão axial de bloco estrutural (NBR 15270-3)...	60
Figura 9 - Forma de ruptura do Bloco de 29 e Bloco de 44 – respectivamente.....	61
Figura 10 - Curva granulométrica da areia.....	64
Figura 11 - Prisma junta prumo.....	70
Figura 12 - Vista frontal da geometria final dos Prismas.....	71
Figura 13 - Rompimento do PrSE29.....	72
Figura 14 - Rompimento do PrSE44.....	73
Figura 15 - Vista frontal da geometria final das pequenas paredes.74	
Figura 16 - Rompimento da PadSE29.....	76
Figura 17 - Rompimento da PadCE44.....	77
Figura 18 - Posicionamento dos relógios comparadores R1, R2 e R3.....	77
Figura 19 - Posicionamento do relógio comparador R4.....	78
Figura 20 - Vista frontal da geometria final das paredes moldagem.....	80
Figura 21 - Posicionamento dos relógios comparadores R1, R2, R5, R6.....	82
Figura 22 – Pórtico utilizado nos ensaios de compressão.....	82
Figura 23 - Relógio comparador utilizado nos ensaios.....	83

Figura 24 - Controle de resistência à compressão das argamassas utilizadas.....	85
Figura 25 - Comparativo da resistência à compressão dos primas, pequenas paredes e paredes.....	102
Figura 26 - Posicionamento dos relógios comparadores R1, R2, R5, R6.....	102
Figura 27 - Posicionamento dos relógios comparadores R3 e R4.....	103
Figura 28 - Gráfico tensão x deformação PCE29 referente à R1-R3 e R2-R4.....	104
Figura 29 - Gráfico tensão x deformação PSE29 referente à R1-R3 e R2-R4.....	105
Figura 1 - Gráfico tensão x deformação PCE44 referente à R1-R3 e R2-R4.....	105
Figura 31 - Gráfico tensão x deformação PCE44 referente à R1-R3 e R2-R4.....	106
Figura 32 - Rompimento e surgimento de fissura vertical da PSE44.....	109
Figura 33 - Rompimento do Pr44CE.....	108
Figura 34 - Surgimento de fissuras da PCE29.....	108



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de blocos utilizados na pesquisa.....	51
Tabela 2 - Determinações dimensionais dos blocos.....	55
Tabela 3 - Resumo da medida de planeza das faces.....	56
Tabela 4 - Resumo da medida de desvio de esquadro.....	56
Tabela 5 – Valores do ensaio de absorção de água.....	58
Tabela 6 - Resultados dos ensaios de área líquida.....	59
Tabela 7 - Resistência à compressão dos blocos.....	61
Tabela 8 - Materiais utilizados na argamassa.....	62
Tabela 9 - Características físicas da areia.....	63
Tabela 10 - Composição granulométrica da areia.....	63
Tabela 11 - Massa Unitária e Específica dos Materiais.....	64
Tabela 12 - Tabela de traços da argamassa.....	65
Tabela 13 - Resistência à compressão da argamassa de assentamento.....	66
Tabela 14 – Resistência à compressão de prismas sem enchimento.....	71
Tabela 15 – Resistência à compressão de prismas com enchimento.....	72
Tabela 16 - Dimensões efetivas das pequenas paredes.....	73
Tabela 17 - Resistência à compressão em pequenas paredes sem preenchimento.....	75
Tabela 18 - Resistência à compressão em pequenas paredes com preenchimento.....	76
Tabela 19 - Módulo de elasticidade de pequenas paredes (MPa)....	79
Tabela 20 - Dimensões efetivas das paredes.....	80
Tabela 21 - Resumo das resistências à compressão do prisma sem enchimento com bloco de 29 cm.....	86
Tabela 22 - Resumo das resistências à compressão do prisma sem enchimento com bloco de 44 cm.....	87
Tabela 23 - Resumo das resistências à compressão do prismas com enchimento de argamassa com bloco de 29 cm.....	88

Tabela 24 - Resumo das resistências à compressão do prisma com enchimento de argamassa com bloco de 44 cm.....	89
Tabela 25 - Resumo das resistências à compressão de pequenas paredes sem enchimento com bloco de 29 cm.....	90
Tabela 26 - Resumo das resistências à compressão de pequenas paredes sem enchimento com bloco de 44 cm.....	90
Tabela 27- Resumo das resistências à compressão da pequena parede com enchimento de argamassa com bloco de 29 cm.....	92
Tabela 28 - Resumo das resistências à compressão da pequena parede com enchimento de argamassa com bloco de 44 cm.....	92
Tabela 29 - Resumo das resistências à compressão da parede sem enchimento com bloco de 29 cm.....	93
Tabela 30 - Resumo das resistências à compressão da parede sem enchimento com bloco de 44 cm.....	94
Tabela 31- Resumo das resistências à compressão da parede com enchimento de argamassa com bloco de 29 cm.....	95
Tabela 32 - Resumo das resistências à compressão da parede com enchimento de argamassa com bloco de 44 cm.....	95
Tabela 33 - Consumo de argamassa das paredes com blocos de 29 e 44cm.....	96
Tabela 34 - Relação entre carga de ruptura e carga de fissuração para PadSE29.....	97
Tabela 35 - Relação entre carga de ruptura e carga de fissuração para PadCE29.....	98
Tabela 36 - Relação entre carga de ruptura e carga de fissuração para PadCE44.....	98
Tabela 37- Relação entre carga de ruptura e carga de fissuração para PadSE44.....	99
Tabela 38 - Resistência média do bloco e das estruturas sem enchimentos.....	100
Tabela 39 - Eficiência do bloco sem enchimento.....	100
Tabela 40 - Resistência média do bloco e das estruturas com enchimentos.....	101
Tabela 41 - Eficiência do bloco com enchimento.....	101

Tabela 42 - Módulo de elasticidade das paredes de bloco de 29 cm.....	103
Tabela 43 - Módulo de elasticidade das paredes de bloco de 44 cm.....	104
Tabela 44 - Determinações dimensionais do bloco de 29 cm.....	126
Tabela 45 - Determinações dimensionais do bloco de 44 cm.....	128
Tabela 46 - Determinações dimensionais do meio bloco.....	129
Tabela 47 - Absorção do Bloco de 29 cm.....	130
Tabela 48 - Absorção do Bloco de 44 cm.....	130
Tabela 49 - Absorção do Meio Bloco.....	131
Tabela 50 - Área Líquida do Bloco de 29.....	131
Tabela 51 - Área Líquida do Bloco de 44.....	132
Tabela 52 - Área Líquida do Meio Bloco.....	132
Tabela 53 - Compressão do Bloco de 29.....	133
Tabela 54 - Compressão do Bloco de 44.....	134
Tabela 55 - Compressão do Meio Bloco.....	135



## LISTA DE ABREVIATURAS

- $A_{líq}$  - Igual à área líquida (cm<sup>2</sup>);
- $m_a$  - massa aparente do bloco (g);
- $m_u$  - massa do bloco saturado (g);
- AA - Absorção de água (%);
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas;
- ASTM - American Society for Testing and Materials;
- BS - British Standards;
- C.V. - Coeficiente de Variação;
- D.P. - Desvio Padrão;
- $H$  - altura do bloco (cm);
- kN - Kilonewton;
- L - Largura;
- MPa - Megapascal;
- $M_s$  - Massa do bloco seco (kg);
- $M_u$  - Massa do bloco saturado (kg);
- NCMA - National Concrete Masonry Association;
- P - Parede;
- P29 - Parede com bloco de 29 cm;
- P44 - Parede com bloco de 44 cm;
- Pad - Pequena Parede;
- Pad29 - Pequena Parede com bloco de 29 cm;
- Pad44 - Pequena Parede com bloco de 44 cm;
- PadCE - Pequena parede com enchimento ;
- PadCE29 - Pequena parede com enchimento bloco de 29 cm;
- PadCE44 - Pequena parede com enchimento bloco de 44 cm;
- PadSE - Pequena parede sem enchimento;

PadSE29 - Pequena parede sem enchimento bloco de 29 cm;  
PadSE44 - Pequena parede sem enchimento com bloco de 44 cm;  
PCE - Parede com enchimento;  
PCE29 - Parede com enchimento bloco de 29 cm;  
PCE44- Parede com enchimento com bloco de 44 cm;  
Ppm - Partículas por milhão;  
Pr - Prisma;  
Pr29 - Prisma com bloco de 29 cm;  
Pr44 - Prisma com bloco de 44 cm;  
PrCE - Prisma com enchimento;  
PrCE29 - Prisma com enchimento com bloco de 29 cm;  
PrCE44 - Prisma com enchimento com bloco de 44 cm;  
PrSE - Prisma sem enchimento;  
PrSE29 - Prisma sem enchimento com bloco de 29 cm;  
PrSE44 - Prisma sem enchimento com bloco de 44 cm;  
PSE - Parede sem enchimento;  
PSE29 - Parede sem enchimento com bloco de 29 cm;  
PSE44 - Parede sem enchimento com bloco de 44 cm;  
 $Q_{fiss}$  - Carga de fissuração;  
 $Q_{rup}$  - Carga de ruptura;  
R - Relógio comparador;  
 $\gamma$  - Massa específica da água, tomada igual a 1 ( $\frac{g}{cm^3}$ ).

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO .....</b>	<b>27</b>
1.1. Considerações iniciais .....	27
1.2. Justificativa do trabalho .....	29
1.3. Objetivos.....	30
1.3.1. Objetivo principal .....	30
1.3.2. Objetivos específicos .....	31
1.4. CARACTERIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS .....	31
1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	31
<b>2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>33</b>
2.1. Referencial teórico .....	33
2.2. Blocos.....	36
2.3. Fator de Eficiência na Alvenaria Estrutural.....	38
2.4. Argamassas .....	39
2.5. Graute.....	41
2.5.1. Utilização do graute no aumento da Resistência da Alvenaria.....	42
2.6. Prismas .....	44
2.7. Índice de Esbeltez .....	45
2.8. Desempenho Estrutural e Fatores que Interferem na Resistência à Compressão. ....	47
2.9. Modos de Ruptura.....	48
<b>3.CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS E COMPONENTES DAS PAREDES .....</b>	<b>51</b>
3.1. Introdução .....	51
3.2. Blocos Cerâmicos .....	51
3.2.1. Ensaio de Análise Dimensional .....	52
3.2.2. Ensaio de Absorção de Água (AA).....	57
3.2.3. Determinação da Área Líquida .....	58
3.2.4. Resistência à Compressão .....	59
3.2.5. Resultado do Ensaio de Resistência à Compressão de Blocos .....	60

3.3	Argamassas de Assentamento e Preenchimento .....	61
3.3.1	Especificações dos Materiais .....	62
3.3.2	Resistência à Compressão da Argamassa .....	65
<b>4</b>	<b>PROGRAMA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>69</b>
4.1	Introdução.....	69
4.2	Prismas .....	69
4.2.1	Moldagem dos Prismas .....	69
4.2.2	Resistência à Compressão.....	70
4.2.3	Resultado do ensaio de Resistência à Compressão dos Prismas.....	71
4.3	Pequenas Paredes.....	73
4.3.1	Moldagem .....	73
4.3.2	Resistência à Compressão.....	74
4.3.3	Resultado do Ensaio de Resistência à Compressão para Pequenas Paredes .....	75
4.3.4	Módulo de Elasticidade .....	77
4.3.5	Resultado do Módulo de Elasticidade.....	78
4.4	Paredes .....	79
4.4.1	Resistência à Compressão.....	81
<b>5</b>	<b>APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>85</b>
5.1	Resultado do Ensaio de Resistência à Compressão da Argamassa de Assentamento.....	85
5.2	Resultado do Ensaio de Resistência à Compressão dos Prismas....	86
5.2.1	Prismas sem Enchimentos .....	86
5.2.2	Prismas com Enchimento.....	88
5.3	Resultados do Ensaio de Resistência à Compressão de Pequenas Paredes.....	90
5.3.1	Pequenas Paredes sem enchimento .....	90
5.3.2	Pequenas Paredes com Enchimento.....	91
5.4	Resultados do Ensaio de Resistência à Compressão das Paredes...	93
5.4.1	Parede sem Enchimento .....	93
5.4.2	Parede com Enchimento .....	95
5.5	CONSUMO DE ARGAMASSA .....	96
5.6	Fissuração.....	97



5.7	Fator de Eficiência .....	99
5.7.1	Blocos sem Enchimento.....	99
5.7.2	Blocos com Enchimento .....	100
5.8	Comparativo entre as Resistências à Compressão.....	101
5.9	Módulo de Elasticidade .....	102
5.9.1	Parede.....	102
5.10	Modo de Ruptura .....	106
5.11	Análise Estatística.....	109
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>115</b>
<b>7</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>117</b>
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>119</b>
<b>9</b>	<b>APÊNDICE.....</b>	<b>127</b>



# 1 Introdução

## 1.1. Considerações Iniciais

Os processos construtivos tradicionais têm sido substituídos pelo processo construtivo em alvenaria estrutural de forma ampla e em grande parte do mundo. Uma das principais causas dessa substituição se deve ao fato de a alvenaria estrutural ser executada de forma mais racional. Ao invés de vigas e pilares como parte da estrutura, as paredes assumem a função estrutural, sendo projetadas e dimensionadas de acordo com modelos matemáticos disponíveis em normas específicas.

O ressurgimento da alvenaria estrutural, de acordo com Sinha (2002), ocorreu na Suíça por volta dos anos 60, pois havia ausência de indústrias de aço na região. Hendry (2002) completa a afirmação e considera que, nas décadas seguintes, o retorno do interesse na alvenaria estrutural ocorreu em outros países da Europa como a Inglaterra.

Dos processos construtivos introduzidos no Brasil, o que melhor adaptou-se à realidade brasileira foi o da alvenaria estrutural, pois trata-se de um processo altamente racionalizado e que permite combinar construções mais econômicas e com bom desempenho. Além do mais, as paredes que constituem a estrutura da edificação desempenham várias funções simultaneamente, tais como subdivisão do espaço, isolamento térmico e acústico, proteção ao fogo e adequação às condições climáticas.

A principal vantagem da alvenaria estrutural está na simplificação do processo construtivo, reduzindo etapas, mão de obra e tempo de execução, sendo que a primeira etapa para a racionalização é a aplicação da técnica de coordenação modular, a qual se baseia em estabelecer todas as dimensões da edificação como múltiplos ou submúltiplos da unidade básica (bloco), evitando cortes, desperdícios e improvisações. Segundo Machado e Roman (2001) uma ação de racionalizar é especificar componentes da mesma “família” de blocos.

Todo este processo de racionalizar o método construtivo é parte de um fenômeno mais geral, que se consubstancia na valorização do capital investido. Ao incorporar tecnologia inovadora, e consequentemente, diminuir o tempo necessário à produção no canteiro, aumenta-se a produtividade e as empresas se tornam mais competitivas, reduzindo o número de horas/homem.

Para Hendry (2001) a qualidade de obras em alvenaria estrutural pode ser alcançada sem projetos caros, pois dependendo da habilidade do

trabalhador e do padrão da construção, a produtividade pode ser mantida com o uso de unidades grandes.

Segundo Gehbauer et. al. (2002) a utilização de blocos de grandes formatos é uma forma de racionalizar, pois esta ação promove ao mesmo tempo o aumento de produtividade e a redução do consumo de argamassa.

Nesta mesma linha, Hooker (2009) completa afirmando que basta a aplicação de unidades maiores, pois com o aumento do tamanho o número de blocos para construir uma determinada área diminui e também reduz o número de juntas requeridas fazendo com que o custo com argamassa também diminua, e assim havendo aumento da produtividade e redução de custos sem necessariamente aumentar a velocidade de trabalho. O autor ainda cita estudos em 1987 e 1988, pela NCMA (National Concrete Masonry Association), para determinar o efeito de produtividade em diversos fatores, entre eles o tamanho do bloco, e concluiu-se que o bloco de 60,9 cm gerou um aumento de produtividade entre 24% e 51% se comparado ao de 40,7 cm, considerando blocos da mesma classe de espessura. Esses testes provam que o aumento do tamanho do bloco realmente gera uma melhor produtividade.

Apesar disso a produtividade depende de uma adequação dos materiais utilizados ao processo construtivo: blocos, argamassa, projetos e mão de obra. Todavia muitas vezes não há esta adequação, principalmente na tipologia construtiva na qual a alvenaria estrutural com blocos cerâmicos pertence, pois se apresentam, com projetos mal elaborados, materiais incompatíveis, improvisações no canteiro de obras e equipes mal treinadas, gerando conseqüente consumo excessivo de mão de obra e tempo de execução, sujeitos à imprevistos por falta de investimento no conhecimento do processo.

Segundo Richter (2007) os principais problemas das construções em alvenaria no Brasil são:

- falta de qualificação técnica das empresas construtoras;
- ineficácia dos sistemas da qualidade adotados pela empresa;
- falta de treinamentos de mão de obra;
- falhas no processo de avaliação da qualidade adotado pela Caixa Econômica Federal.

É neste contexto que este trabalho se insere. Nele foi avaliado o comportamento do bloco cerâmico de 14x19x44 cm como elemento principal na alvenaria estrutural, buscando nova alternativa construtiva,

com a finalidade de contribuir para a melhoria da qualidade, redução dos desperdícios, custos e aumento de produtividade, competitividade tanto para o setor cerâmico quanto para o da construção.

A aplicação do bloco de 44cm se comparada à do de 29cm, de acordo com Navarini (2010), naturalmente reduz o número de blocos e de juntas verticais, e ainda, quando aliada à coordenação modular, seguida das diretrizes de módulo e paginação, reduz resíduos e aumenta a produtividade do processo. Como consequência há maior construtibilidade e racionalização da obra.

Além do tamanho dos blocos, outro fator que pode ser utilizado para aumentar a produtividade é o preenchimento dos furos para aumentar a resistência, quando necessário, com a própria argamassa de assentamento, ao invés do graute. Para tal, o comportamento da resistência da parede neste caso também deve ser investigado. A análise sobre qual seria o preenchimento mais adequado é de grande importância nos custos, já que a argamassa por possuir um valor econômico menor, reduz os custos da obra.

## **1.2. Justificativa do Trabalho**

A busca por processos construtivos mais econômicos deve ser valorizada, assim como a utilização de materiais, mão de obra e técnicas adequadas para a construção de núcleos habitacionais. Em face disto, através da necessidade do aprimoramento dos processos construtivos, existe uma busca para inovar na alvenaria estrutural, de forma a superar a etapa artesanal tendo assim uma opção de tecnologia moderna, eficiente e econômica.

A alvenaria estrutural tornou-se uma opção de processo construtivo, muito empregado no mundo, pois permite racionalização, flexibilidade, velocidade de construção, economia, produtividade e qualidade, reduzindo custos das construções e desperdícios de materiais.

A importância da alvenaria estrutural, segundo Sabatini (1989), é de um processo que se destaca sobre outras inovações para evolução da construção civil, pois não propõe grandes mudanças na metodologia de produção tradicionalmente empregada, não precisam de tecnologias avançadas, apenas ações que alterem a postura e a forma de trabalhar de todos os envolvidos no processo de construção, proporcionando aumento na produtividade e redução no desperdício de recursos.

A utilização e desenvolvimento de novos produtos cerâmicos para alvenaria estrutural, além de aspectos técnicos favoráveis, tem relevância econômica significativa no contexto brasileiro.

Mohamad (2007) cita mudanças nas estratégias das empresas construtoras que permitem a introdução de melhorias na produção, empregando alternativas que levem a otimização do processo como consequência do aumento gradual da concorrência e dos níveis de exigências construtivas. O momento atual da construção civil revela uma modificação no caráter da industrialização da construção e a necessidade de racionalização. E neste contexto, estudos relacionados à utilização de novos componentes, com maiores dimensões, aparecem como uma possível ferramenta para que as empresas construtoras obtenham ganhos.

Devido à abundância e boa qualidade das jazidas de argila existentes no país, os produtos cerâmicos tornam-se bastante competitivos, contudo é necessário e imprescindível o desenvolvimento de pesquisas específicas para estes componentes.

Esta pesquisa é basicamente ligada à questão da necessidade de habitações de qualidade e baixo custo. A introdução de novos componentes com projetos bem estudados para as dimensões, é uma forma a ser buscada para aumentar a velocidade de execução e ganhos que não podem ser desprezados.

A realização deste trabalho se justifica em si, pelo interesse do conhecimento das vantagens do uso bloco cerâmico de 14x19x44 cm como nova solução construtiva.

Navarini (2010) cita que o bloco mais utilizado atualmente é o bloco de 14x19x29 cm e sua família conta ainda com blocos de 14x19x14 cm e 14x19x44 cm, sendo que, usualmente, o bloco de 44 cm é necessariamente utilizado em amarrações em “X” e “T”, podendo ser utilizado em amarrações do tipo “L”, e o bloco de 29 cm apenas em amarrações em “L”. O bloco de 44 cm seria então, além de maior que o de 29 cm, mais adequado quando se trata de padronização, pois reduz a necessidade de blocos complementares. Sendo assim, o estudo do comportamento do bloco de 44 cm no preenchimento de paredes com função estrutural se torna de interesse para se ter melhor desempenho estrutural.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo principal**

Avaliar o comportamento de paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos de 44 cm quando solicitadas à esforços de compressão.

### 1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar a resistência à compressão de blocos cerâmicos, prismas, pequenas paredes e paredes e seus módulos de elasticidade.
- Estudar o modo de ruptura de blocos, prismas, pequenas paredes e paredes;
- Estudar as correlações de resistência à compressão entre unidades, prismas, pequenas paredes e paredes executados com blocos cerâmicos de 29 e 44 cm de comprimento;
- Avaliar a influência do uso da argamassa de assentamento no preenchimento dos vazios dos blocos.
- Comparar o consumo de argamassa de assentamento nas paredes de blocos de 44 cm e paredes de blocos de 29 cm.

### 1.4. Caracterização das Variáveis

As principais variáveis analisadas foram:

- Geometria do bloco,
- Preenchimento ou não dos vazios dos blocos.

### 1.5. Estrutura do Trabalho

A dissertação foi estruturada em seis capítulos, os quais detalham a sequência da pesquisa.

A revisão da literatura, no **capítulo 2**, abrange uma investigação sobre construtibilidade, racionalização, modulação, comportamento da alvenaria frente aos esforços de compressão.

O **capítulo 3** apresenta a caracterização dos materiais e componentes incluindo:

- Análise dimensional dos blocos;
- Absorção d'água (imersão) dos blocos;
- Sucção inicial dos blocos;
- Área líquida dos blocos;
- Resistência à compressão da argamassa de assentamento;
- Módulo de elasticidade da argamassa de assentamento.

- Resistência à compressão dos blocos;
- Resistência à compressão de prismas;
- Módulo de elasticidade longitudinal de prismas;

Prosseguindo, o **capítulo 4** é a descrição detalhada do programa experimental desenvolvido, incluindo equipamentos, instrumentação e procedimentos de ensaios empregados.

No **capítulo 5** são apresentados os resultados obtidos, assim como as comparações entre os resultados para cada tipo de geometria.

Por fim, as conclusões são apresentadas no **capítulo 6** assim como sugestões para trabalhos futuros.



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Referencial Teórico

Dentre os materiais utilizados para alvenaria estrutural no Brasil, merece destaque o bloco cerâmico, pelo potencial que apresenta.

Para Fonseca (1994) e Roman (1983) existe uma demanda cada vez maior para a utilização de produtos da cerâmica vermelha, como blocos e tijolos cerâmicos, em virtude de algumas vantagens como:

- menor carga nas fundações do que a de outros componentes de alvenaria;
- encontrados facilmente no país, em abundância e em variedade de tipos;
- facilidade na qualificação de mão de obra;
- elementos de fácil transporte, fácil manuseio para o pedreiro e não exigem cuidados especiais de armazenagem, podendo ser deixados ao ar livre;
- boa aderência às argamassas e colas, permitindo o uso de qualquer tipo de revestimento;
- boas características de isolamento térmico e acústico;
- alta resistência à chama, sendo mais refratários que outros materiais de construção, como concreto armado comum, pedra granítica, madeira e aço;
- excelente durabilidade, exigindo pequena ou nenhuma manutenção;
- podem ser utilizados em diversos usos funcionais, são versáteis, dando liberdade criativa aos projetistas.

Apesar de todo potencial no uso de componentes cerâmicos, a estagnação da indústria da construção civil forçou o setor de cerâmica vermelha a melhor se organizar para enfrentar um mercado cada vez mais competitivo e exigente. Dessa forma boas parcelas das empresas têm seus produtos compatíveis com as exigências das normas técnicas da ABNT.

Entre os blocos cerâmicos disponíveis, destacam-se o de dimensões (14x19x29)cm, que é tradicionalmente utilizado na maioria das construções, e o de (14x19x44)cm, que por ser maior possui vantagens,

como maior produtividade, facilidade de modulações e menor geração de resíduos.

Para assegurar resultados satisfatórios de desempenho da alvenaria, as construtoras que utilizam o sistema construtivo devem realizar ensaios de avaliação de seus componentes, pois como em qualquer outro produto a caracterização dos fornecedores é marcada por uma grande variação no que diz respeito à qualidade e resultados de desempenho.

Este fator tem incentivado estudos relacionados ao desenvolvimento de novos materiais, visando à busca de alternativas aos produtos e processos tradicionais utilizados na construção civil. No entanto, uma questão relevante que se coloca neste campo é a de como avaliar estes novos produtos oferecidos (SOUZA, 1988). É possível se obter uma estimativa do provável comportamento, ou seja, estimar o comportamento potencial de novos materiais e processos, através da realização de ensaios e medidas em protótipos, e também através da utilização de modelos matemáticos que simulam o comportamento do edifício.

As etapas de projeto, fabricação de materiais e componentes, e execução constituem o processo de produção da construção, onde se observa gargalos tecnológicos com repercussões negativas na fase de uso e manutenção da construção, notadamente nos aspectos relacionados ao seu desempenho e ao seu custo global (SOUZA, 1988). No empenho de modernização tecnológica deste setor, alguns passos já começam a ser realizados, como a melhoria da qualidade dos produtos finais, a modernização tecnológica via racionalização de processos e o desenvolvimento de inovações tecnológicas. Estas inovações ao serem empregadas devem estar respaldadas por estudos de desempenho.

Para avaliar o desempenho da alvenaria, Hendry (1984) descreve o ensaio de resistência à compressão necessário para obtenção de maiores conhecimentos sobre o comportamento das paredes quando submetidas a tensões de carregamento. Segundo Franco (1998), a propriedade que melhor define o desempenho estrutural das paredes é a resistência à compressão.

Existem quatro formas básicas normatizadas de se encontrar a resistência à compressão da alvenaria:

- ensaios em unidades;

- ensaios em prismas;
- ensaios em pequenas paredes na escala natural;
- ensaios em paredes na escala natural.

Para a realização destes ensaios devem-se levar em conta a disponibilidade de equipamentos, exigências quanto à precisão dos resultados, e principalmente o custo x benefício. No que se refere às paredes em alvenaria estrutural é necessário controlar os materiais aplicados, bem como se ter mão de obra treinada, para se obter um ótimo resultado.

Os ensaios com elementos de parede em tamanho real, geralmente são difíceis de serem executados, pois é necessária uma grande estrutura laboratorial, com grandes aparatos para montagem, prensas hidráulicas com capacidade de carga elevadas, grandes alturas e mão de obra treinada. São usados geralmente em grandes projetos de pesquisa. Em alguns casos, apresenta-se ainda, a necessidade de introdução de fatores de correção devido à esbelteza das paredes.

A mão de obra treinada é um fator importante para a construção das paredes em alvenaria estrutural, de forma que fiquem bem alinhadas, apumadas e com a disposição dos elementos de acordo com o projeto executivo. Hendry (1990) coloca alguns fatores relativos à mão de obra que influenciam no desempenho estrutural da alvenaria, tais como:

- proporção e mistura incorretos da argamassa de assentamento;
- ajuste incorreto da taxa de sucção dos blocos e tijolos;
- execução incorreta das juntas horizontais e verticais de argamassa de assentamento;
- vibração das unidades (blocos) após o assentamento;
- prumo, nivelamento e alinhamento incorreto das paredes estruturais;
- proteção incorreta da alvenaria recém-construída.

Narayanan (1986) avaliou a importância da qualidade do projeto e a concepção correta da alvenaria estrutural e recomenda observar os seguintes aspectos:

- estabilidade global do edifício;
- verticalização da alvenaria;
- continuidade dos carregamentos verticais;
- riqueza de detalhamento;

- análise das cargas acidentais.

O aprimoramento do processo construtivo se dá claramente a partir do somatório da contribuição de vários pesquisadores, de forma a sedimentar conhecimentos e minimizar custos. Desta forma são cada vez mais realizados estudos que permitam correlacionar resultados para o acompanhamento executivo das alvenarias.

## 2.2. Blocos

As unidades básicas para a formação de paredes são os blocos, sendo os mais utilizados de concreto, cerâmica, e sílico-calcário, e portanto são os responsáveis pelas características das mesmas.

Para Hendry (2001) as seguintes características físicas e propriedades mecânicas são relevantes nos blocos e construções de parede:

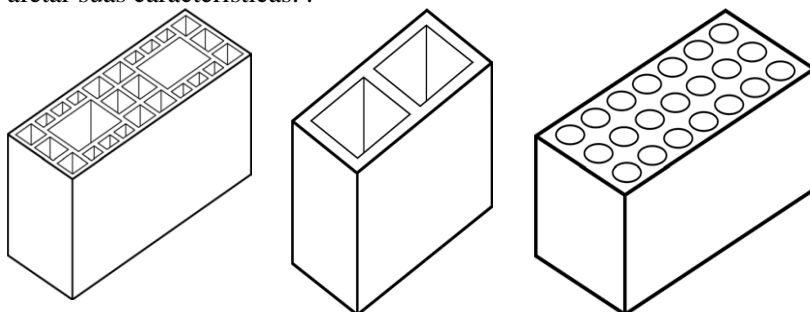
- cor;
- textura da superfície;
- peso;
- absorção e poros;
- condutividade térmica;
- resistência ao fogo;
- resistência à compressão e tração.

Segundo a NBR 15270-2 (2005) os blocos cerâmicos devem ser classificados como blocos para alvenaria estrutural ou alvenaria de vedação.

A NBR 15270-2 (2005) define bloco cerâmico de alvenaria estrutural como “*Componente da alvenaria estrutural que possui furos prismáticos perpendiculares às faces que os contêm.*” E ainda os divide em três categorias: blocos cerâmicos estrutural de paredes vazadas (Figura 1), bloco cerâmico estrutural com paredes maciças (figura 2), e bloco cerâmico estrutural perfurado (figura 3). O bloco de vedação é definido pela NBR 15270-1 (2005) como “*Componente da alvenaria de vedação que possui furos prismáticos perpendiculares às faces que os contêm*”.

Ambos são produzidos através da queima da argila podendo, ou não, conter aditivos, e fabricados de forma controlada, pois de acordo com

Rizzatti (2003) a composição do bloco e modo de produção, podem afetar suas características. .



Bloco cerâmico estrutural com parede vazada

Bloco cerâmico estrutural paredes maciças

Bloco cerâmico estrutural perfurado

**Figura 2 – Blocos cerâmicos estruturais (Fonte:NBR 15270-1)**

Santos (2008) concluiu que diferentes comportamentos são observados na estrutura quando submetida à compressão, o que é resultado do tipo de bloco utilizado na composição das paredes, pois cada tipo dispõe de diferentes formas, dimensões e material utilizado. Assim a escolha do tipo de bloco é de suma importância para a alvenaria estrutural, o que justifica a necessidade ainda de uma padronização dos blocos. A NBR 15270-2 (2005) afirma que a forma do bloco deve ser de um prisma reto. Outras normas definem ensaios específicos para o bloco cerâmico, os quais têm por objetivo determinar as características críticas da padronização. Para Medeiros e Sabatini (1993) um controle de fabricação rigoroso deve ser realizado para garantir que se atinja a resistência adequada a cada tipo de projeto, bem como sua geometria, afinal o bloco é o componente principal e mais resistente do conjunto.

O bloco cerâmico por ser o componente principal e mais resistente de paredes e prismas dentre os fatores que mais alteram a resistência de paredes e prismas, é exatamente o mais relevante, e sua resistência tem grande influência sobre os resultados. Logo, esta propriedade é usada como referência para controle de qualidade.

Hendry (2001) cita a resistência à compressão como a principal propriedade mecânica dos blocos, que tem grande relevância à resistência da parede e é fundamental para caracterizar a unidade.

Roman (1991) afirma que com ensaios de compressão realizados em unidades encontra-se a resistência do material, e os resultados obtidos auxiliam no controle de qualidade de produção, pesquisa, e em projetos estruturais. Sendo o bloco a unidade formadora e em abundância em paredes e prismas, obtém-se correlações com a resistência da parede.

As alvenarias são primeiramente submetidas à compressão, o que faz do ensaio de compressão um grande meio de definir a resistência dos materiais, claro que através de uma normalização, que pode variar de país para país, já que, segundo Page e Shrive (1988), cada país possui uma extensa variedade de unidades e práticas de construção. Devido à variação das normas, os métodos de ensaios variam conforme a norma a ser utilizada. Existem normas modernas que apresentam um detalhamento extenso, incluindo outras propriedades do bloco, como a BS 3921/85 *clay bricks and blocks*, que detalham o tipo de bloco, resistência a compressão, resistência ao frio, absorção de umidade, conteúdo de sais solúveis e grau de eflorescência.

Apesar das normatizações, a ideia básica de um ensaio de compressão é a relação de quanto maior a altura do bloco em relação à espessura de junta, maior a resistência da parede, pois os blocos de menor altura permitem maior influência do confinamento produzido pelos pratos da máquina de ensaio.

### **2.3. Fator de Eficiência na Alvenaria Estrutural**

Como é de se esperar, a resistência do bloco cerâmico interfere na resistência da parede de alvenaria, o que justifica estudar esta correlação. O fator de eficiência é a razão entre as resistências à compressão da parede e do bloco, e pode ser ainda em relação à resistência do prisma.

É importante ressaltar que a resistência do bloco cerâmico é geralmente maior que a da parede, sendo assim o fator de eficiência será menor que 1. Isso se dá pelo fato da parede receber outros componentes em sua estrutura e com resistência menor que a do bloco fazendo esta diferenciação. Segundo Corrêa e Ramalho (2003) para paredes em blocos cerâmicos no Brasil tem um fator de eficiência entre 0,2 a 0,5 e entre 0,3 e 0,6 para prismas. Medeiros (1993) ainda indica que, no Brasil, este valor pode variar entre 25% e 70% para a alvenaria de blocos de concreto.

Alguns fatores interferem no valor da eficiência da parede, entre eles o tipo de argamassa utilizado, afinal uma argamassa mais resistente eleva a resistência da alvenaria e conseqüentemente aumenta também a sua eficiência. Garcia (2000) afirma que variando a resistência da argamassa encontrou fatores de eficiência entre 0,33 e 0,58, e apenas para prismas de 2 fiadas a argamassa de menor resistência obteve um maior fator de eficiência. Santos (2008) encontrou variando a resistência da argamassa valores de eficiência entre 21,3% e 48,7%. A utilização do graute ao invés da argamassa pode aumentar bastante o fator de eficiência por causar elevado aumento na resistência da parede. Garcia (2000) comprovou este fato, ensaiando blocos, prismas e paredes grauteadas.

A resistência à compressão da parede não é proporcional ao aumento da resistência do bloco separadamente, assim, o fator de eficiência tende a diminuir com o aumento da resistência da unidade.

Os furos de diferentes tipos e presentes em diferentes blocos têm interferência igual tanto em blocos quanto em paredes e prismas, e por isso não afetam a eficiência da alvenaria, portanto seria errôneo pensar que a influência de perfurações e vazios em blocos pode interferir no fator de eficiência.

O que efetivamente aumenta o fator de eficiência, segundo Camacho (1995), é o aumento da relação altura do bloco e espessura da junta, pois assim a resistência do bloco seria um fator mais relevante para se definir a resistência da parede.

Há necessidade de entender o processo para uma escolha adequada do bloco e de outras incógnitas, com finalidade de se obter uma resistência que atenda o projeto e com um índice de eficiência adequado. Isto se deve ao fato de que são diversos os fatores que podem influenciar o fator de eficiência da alvenaria e não unicamente a resistência do bloco.

## **2.4. Argamassas**

Argamassa é uma mistura que contém cimento, cal, areia e água, podendo ou não conter aditivos. Tem por finalidade melhorar algumas propriedades desejadas e com as diversas variações da quantidade de cada elemento é fácil determinar importantes e diferentes características da mistura, por isso as proporções devem ser bem dosadas, obedecendo-se o traço característico para cada aplicação.

Hendry (2001) cita que a argamassa corresponde a 7% do volume total da construção, todavia sua influência nas características finais são mais significativas do que este valor. A norma BS 5628/78 classifica a argamassa em 4 tipos, tipo I ao tipo IV, conforme sua resistência à compressão e proporção de cada elemento.

A NBR 8798 (1985) define que a argamassa é “*elemento utilizado na ligação entre os blocos de concreto, garantido distribuição uniforme de esforço*” e trata o bloco de concreto, com análise semelhante à feita para blocos cerâmicos.

A norma BS 5628: parte 3 descreve quais são as funções da argamassa sendo:

- Unir as unidades de alvenaria e ajudá-las a resistir a esforços laterais;

- Distribuir uniformemente toda carga atuante na parede, por toda área resistente do bloco;

- Absorver as deformações naturais a que a alvenaria estiver sujeita;

- Selar as juntas contra penetração da água da chuva.

Sabbatini (1984) salienta a diferença entre o concreto, que oferece maior resistência aos esforços mecânicos e a argamassa, que tem trabalhabilidade, aderência e deformabilidade. E suas funções também são diferentes, pois a principal função do graute é aumentar a resistência da estrutura. Pozzobon (2003) afirma que as funções de ambos são bem diferentes, apesar dos materiais constituintes serem basicamente os mesmos.

Argamassas contribuem na resistência das paredes, apesar da resistência da argamassa ser bem menor que a do bloco. Santos (2008) realizou ensaios com blocos de diferentes geometrias e concluiu que utilizar argamassa de assentamento com maiores resistências pode ser a mais relevante técnica para a alvenaria de blocos cerâmicos, mas tudo dependerá das formas e dimensões dos blocos adotados, e ainda das dimensões dos prismas e pequenas paredes ensaiadas.

As principais propriedades físicas que se esperam das argamassas incluem trabalhabilidade, coesão, endurecimento, aderência, resistência à penetração da chuva, capacidade de retenção de água, durabilidade e compressão. Para Roman e Mohamad (1999) se ocorrer a perda de água



da argamassa, a ligação entre a mesma e os blocos será mais fraca do que o previsto.

Já uma argamassa trabalhável, segundo Carasek (1996), é aquela que se espalha facilmente por toda área de assentamento do componente de alvenaria, onde sua consistência e plasticidade são os principais fatores que alteram a trabalhabilidade. A consistência pode ser alterada pela variação do teor de água e a plasticidade pode ser alterada pelos tipos e quantidades de aglomerantes, agregados e pela presença de determinados aditivos.

Deve-se atentar também que diversas pesquisas indicam que o valor ideal para espessura da junta é de 1 cm, pois a espessura da junta pode interferir nas propriedades da parede, e valores menores são capazes de aumentar a resistência, apesar de não conseguir absorver as imperfeições que ocorrem nas unidades.

É importante ressaltar que a resistência à compressão também é um fator relevante a ser estudado, pois argamassas menos resistentes e não irão suportar condições severas de trabalho e argamassas mais fortes terão menor capacidade de acomodar deformações, e geralmente as mesmas serão capazes de resistir a pequenos movimentos da estrutura. Segundo Gomes (1983) argamassas fortes são capazes de aumentar à resistência a compressão da parede, todavia o seu rompimento ocorre de maneira frágil, pois a mesma não possuirá ductilidade suficiente para a acomodação da estrutura. Cavalheiro (2009) afirma que a junta do bloco só irá compensar as irregularidades geométricas, absorver as deformações por movimentações de origem térmica, higroscópica e possíveis recalques se forem preenchida corretamente de argamassa.

## **2.5. Graute**

A NBR 8798(1985), define graute como “*elemento que tem por finalidade preencher os vazios dos blocos e canaletas*”. O graute é uma mistura composta por cimento, areia, pedriscos e água em proporções variadas dependendo da aplicação. E em alguns casos pode-se adicionar também a cal hidratada com o objetivo de aumentar a coesão da mistura, outros plastificantes também podem ser adicionados com o mesmo objetivo. Observa-se então que há uma semelhança entre os constituintes do graute e do concreto, entretanto os agregados utilizados no graute possuem uma granulometria menor do que os presentes em concreto, e a proporção de cimento Portland pode ser até 5 vezes maior que a presente em concretos. Cunha (2001) diz que o graute consiste em um concreto fino. Vale ressaltar que o tamanho dos agregados também

interfere nas propriedades presentes nos grautes. Kingsley, Tulin e Noland (1984), através de suas pesquisas, observaram que grautes com agregados maiores apresentam maior aderência ao bloco e menor retração, todavia sua resistência à compressão não aumenta.

O graute é utilizado para preencher os furos presentes nos blocos, com os objetivos de integrar a armadura ao bloco, promovendo aderência no caso da alvenaria armada, e de aumentar a resistência da parede para alvenaria estrutural. Sendo assim o graute pode ser usado para preencher locais onde haja concentração de tensões, que necessite de uma resistência mais elevada. De acordo com Cunha (2001), é necessário que haja boa aderência entre o bloco e o graute, pois só assim eles poderão trabalhar como estrutura homogênea e a transferência de tensão seja de maneira mais eficaz.

Entre as características desejadas para o graute destacam-se a consistência e a fluidez, já que o mesmo terá de ser capaz de preencher completamente uma coluna de bloco. Não deve apresentar retração, caso contrário, poderá ocorrer a separação do bloco preenchido. O graute deve ter boa resistência à compressão, caso o mesmo seja utilizado em alvenaria estrutural no intuito de aumentar a sua resistência. Todavia estas características devem ser controladas, pois peças muito resistentes irão apresentar também alta rigidez, o que faz com que a estrutura não suporte impactos, e nem possa se deformar, favorecendo a ruptura. São importantes propriedades o tempo de pega, a evolução da resistência em função do tempo, taxa de absorção do bloco e, se necessário, resistência a agentes químicos.

É importante salientar a importância de se efetuar a mistura corretamente, atendendo à proporção adequada para se obter as características desejadas, e para isso tem-se optado pela compra de grautes pré-misturados, nos quais o fabricante já especifica os traços e as propriedades que o mesmo irá desenvolver afinal um erro ao preparar a mistura poderá diminuir a fluidez ou até mesmo a resistência à compressão da mistura.

### **2.5.1. Utilização do graute no aumento da Resistência da Alvenaria**

Segundo Gomes (1983) o graute pode ser utilizado em alvenaria, com o fim de aumentar a rigidez de paredes submetidas a esforços de cargas horizontais. O mesmo autor, após ter realizado testes em paredes grauteadas e não grauteadas, afirmou que para haver o aumento da resistência, o graute deve possuir resistência igual ou superior a do

bloco utilizado. Além disso, a absorção de água na superfície de contato entre o bloco e o graute pode diminuir a resistência do conjunto, pois irá causar uma retração do graute, gerando vazios e fissura na estrutura, e este efeito pode ser minimizado utilizando-se uma mistura adequada em sua preparação.

De acordo com a pesquisa realizada por Scrivener e Baker (1988), há uma queda na resistência de prismas de quatro blocos, com a utilização de grautes com baixa resistência, quando comparada com a resistência do bloco, devido ao surgimento de tensões de tração nas faces do bloco. Outros autores como Khalaf (1996) ensaiando prismas de concreto apontou um crescimento não proporcional na resistência do prisma com o aumento da resistência do graute. O mesmo autor obteve o melhor resultado quando as características do bloco e do graute eram semelhantes. Logo a utilização de um graute de baixa resistência não irá garantir o aumento da resistência da parede. Muito pelo contrário, irá fragilizar ainda mais a estrutura, e a aplicação de um graute com resistência muito elevada não irá gerar um aumento proporcional na resistência da parede.

Mendes (1998) pesquisando a interferência da argamassa e do graute em prismas, constatou que o melhor desempenho é obtido quando o módulo de deformação do graute, do bloco, e da argamassa são próximos. Camacho (1999) também constatou este fato e afirmou que a adoção de grautes mais resistentes elevam os custos e não contribuem para o aumento da resistência. Mendes (1998) afirma que ensaiando prismas com argamassa e graute, concluiu que o melhor resultado era obtido quando o módulo de elasticidade da argamassa fosse de 50% do módulo de elasticidade do graute.

Arantes (2003) veio comprovar que o aumento da resistência do graute tem como consequência o aumento da resistência da alvenaria e assim, como os outros autores, constatou que a melhor combinação de grautes com blocos é com resistências semelhantes. Utilizando-se prismas de blocos cerâmicos Grohmann (2006) obteve um aumento máximo de 52% na resistência de prismas grauteados em relação aos prismas ociosos, portanto, para este resultado ele teve que elevar a resistência da argamassa em 121% e o graute com resistência de 24,38 MPa, considerado de alta resistência, e o mesmo chegou à conclusão semelhantes aos outros autores. Garcia (2000) encontrou um aumento de 67% para paredes grauteadas em relação a parede sem o graute, para

blocos cerâmicos com 4 furos e um aumento de 84% para o bloco cerâmico com 6 furos.

Utilizar o graute com objetivo de aumentar a resistência mostrou-se uma técnica eficaz, entretanto deve-se tomar cuidado para a escolha das características do mesmo, para que possa se obter um aumento que irá atender a necessidade da construção. Neste trabalho será utilizada argamassa de assentamento como preenchimento dos prismas, das paredes, e das pequenas paredes no mesmo intuito de aumentar a resistência à compressão, pois a mesma tem um valor de mercado menor que o graute.

## **2.6. Prismas**

A NBR 8215 (1983) diferencia dois tipos de prisma sendo o prisma oco *“Conjunto composto da justaposição de dois blocos de concreto unidos por junta de argamassa, destinado ao ensaio de compressão axial”* e o prisma cheio *“Conjunto composto da justaposição de dois blocos de concreto unidos por junta de argamassa, tendo seus vazios preenchidos por graute destinado ao ensaio de compressão axial.”* Apesar de a definição abranger apenas blocos de concreto a mesma definição pode ser aplicada a blocos cerâmicos e ainda o número de blocos unidos pode variar.

Os prismas são componentes da alvenaria muito utilizados em ensaios, devido às vantagens como fácil manuseio, menor tempo de fabricação, menor tempo e recursos laboratoriais, se comparados às paredes em escala real, e o mesmo é capaz de fornecer resultados satisfatórios, e uma boa estimativa, a respeito da resistência de uma parede. De acordo com Mendes (1998) os prismas são uma simulação mais simples e economicamente viável para realização de ensaios. Segundo Hendry (1984) para se obter as propriedades estruturais da alvenaria, de modo prático e economicamente viável, testes em pequenas amostras de alvenaria são uma boa opção e frequentemente feitos, e ainda dão um resultado razoável em termos de representação da alvenaria.

Os prismas podem ter formas, tamanhos e modos de assentamentos diferentes (pode ser feito com amarração ou com junta à prumo), argamassa de assentamento somente nas faces externas longitudinais do bloco ou em toda sua superfície, ser ocos ou preenchidos com graute. Há também variações no número de fiadas, o que irá interferir no

resultado devido ao efeito de confinamento dos pratos da prensa. Diversos autores como Sabbatini (1984) e Colville & Wolde-tinsae (1991) afirmam que para que os resultados obtidos sejam satisfatórios os prismas devem possuir 3 fiadas, pois assim o efeito do confinamento seria minimizado.

Dentre outros fatores que podem interferir na resistência do prisma estão as resistências do bloco e da argamassa, a mão de obra, o tipo de material utilizado, a geometria do bloco, o capeamento, as condições laboratoriais, entre outros. Segundo Drysdale et. al (1993), a geometria dos furos tem grande influência na resistência à compressão dos prismas, notadamente no que diz respeito à área de assentamento. Deve-se atentar ao efeito de confinamento dos pratos da prensa, pois de acordo com Foster e Bridgman (1973), o efeito do confinamento pode dar um valor alto para estimativa da resistência à compressão do prisma e seu uso para projetos é perigoso.

Na construção de prismas de alvenaria, o efeito da mão de obra é muito importante na resistência à compressão, pois uma junta mal preenchida pode mascarar ou acentuar a influência de determinada variável investigada. É aconselhável o uso de aparatos, na construção dos prismas, para que os mesmos possibilitem a máxima homogeneidade do preenchimento e espessura das juntas.

A norma brasileira NBR 8215 (1983) apresenta dois tipos de ensaios: o método A, no qual os blocos são moldados em laboratórios com temperatura entre 20°C e 40°C e umidade de 40% a 90 % e ensaiar no mínimo 3 prismas; e o método B, onde o ensaio é realizado em obras e assim representam as condições da obra, tais como, mão de obra, tipo de materiais empregados, e condições atmosféricas.

## **2.7. Índice de Esbeltez**

O Índice de esbeltez é a razão entre, a altura e a espessura de uma parede e está relacionado com o desempenho da parede, pois avalia o efeito de esmagamento do bloco devido ao próprio peso e quanto mais esbelto for à parede maior será a dificuldade de deixá-la no prumo. Por isto deve se avaliar o efeito do índice de esbeltez em construções e em estudos na alvenaria, a fim de descobrir sua relação com a resistência à compressão, buscando um valor que possibilite um desempenho adequado.

Alguns autores avaliaram os efeitos do índice de esbeltez no estudo de paredes. Monk (1967), por exemplo, afirma que o índice de esbeltez é um dos fatores que interferem na resistência da alvenaria. Ainda completa dizendo que o mesmo é mais atuante em prismas, do que nas paredes.

De acordo com Foster e Bridgman (1973), pelo menos 4 fiadas são aconselháveis para blocos cerâmicos e de concretos, ou então um índice de esbeltez de 5 para 2 ou 3 fiadas, pois a utilização de valores menores pode introduzir incertezas consideráveis.

Drysdale & Hamid (1979) realizaram ensaios em prismas de duas fiadas e concluíram que os mesmos não fornecem resultados satisfatórios, pois eles superestimam a resistência da alvenaria, devido ao efeito de confinamento dos pratos da prensa. Para que os resultados sejam coerentes ao encontrado em paredes, devem ser utilizados prismas com no mínimo três fiadas, desta forma o bloco central estaria livre de qualquer efeito da prensa, que possa interferir em seus resultados.

Para Roman (1991) o índice de esbeltez para ensaios de prisma deve ser maior ou igual a 5, de forma a limitar os efeitos de restrição devido aos pratos da prensa. E os prismas não devem ter altura que permitam o rompimento por flambagem. As normas sugerem que as unidades e juntas não sujeitas ao efeito da prensa, sejam suficientes para representação da alvenaria.

A norma ASTM E 447-84 (1987) diz que o índice de esbeltez deve ser igual a 2 para blocos de concreto e 5 para blocos cerâmicos.

Para se ter uma ideia da diferença entre os prismas de duas fiadas e prismas com 3 fiadas Colville & Wolde-tinsae (1991) e Romagna (2000), chegaram a desenvolver uma estimativa para calcular a resistência de alvenaria baseado na resistência do prisma. Utilizando três fiadas o valor encontrado para o prisma é de 90% do valor esperado para a parede, já utilizando prisma com duas fiadas este valor cai para 66%. O que justifica a utilização de prismas de 3 fiadas.

## **2.8. Desempenho Estrutural e Fatores que Interferem na Resistência à Compressão.**

É possível obter estimativas do comportamento de paredes e dos elementos estruturais, através de ensaios e modelos matemáticos que são capazes de simular as forças atuantes em uma construção, devido aos efeitos naturais ou à sua própria utilização. Um edifício deve ser capaz de suportar as cargas exigidas e também possuir outras características desejáveis, para que o mesmo possa cumprir sua função durante sua vida útil. Franco (1998) cita alguns exemplos de requisitos de desempenho como segurança estrutural, isolamento térmico e acústico, estabilidade, estética e economia. Somente atendendo a estes requisitos, um edifício residencial ou comercial, terá a qualidade e segurança necessária para sua utilização.

O ensaio de compressão torna-se assim de ampla importância para avaliação do desempenho estrutural, pois a principal sollicitação nas paredes é a compressão devido ao peso da laje, das próprias paredes, e se necessário de andares superiores. Estes ensaios devem levar em conta fatores como, tensão de ruptura, medidas de deformações e surgimento de fissuras. Então após realizar os testes de acordo com as normas adotadas por cada país, têm-se resultados que auxiliarão na fase de projeto, para que a estrutura atenda às especificações pré-estabelecidas. De acordo com Hendry (1984) ensaios de resistência ao cisalhamento e ensaios de flexão também são importantes na avaliação do desempenho, todavia estes não serão foco do trabalho.

Existem três componentes normalizados que podem ser ensaiados à compressão. O bloco cerâmico que segue a norma NBR 15270-3 (2005), o prisma que deve ser de acordo com a norma NBR 8215 (1983) e em paredes na escala real seguindo a norma NBR 8949 (1985). Lembrando-se que cada tipo de ensaio requer um tipo de estrutura, e investimento econômico diferente devido às suas dimensões, portanto nem sempre é viável ensaiar paredes em escala real.

Muitos são os fatores que podem influenciar a resistência à compressão, segundo alguns autores, podemos destacar:

- Resistência à compressão do bloco, a resistência da argamassa de assentamento e se utilizado a resistência do graute;
- Geometria, dimensões e tipo de material do bloco;
- Tipo de assentamento;

- Espessura da junta;
- Mão de obra.

Alguns autores citam que o fator mais importante para determinação da resistência à compressão da alvenaria é a resistência do bloco. No entanto o crescimento da resistência da alvenaria, não é proporcional ao aumento da resistência do bloco. Quanto ao tipo de bloco podemos citar Pasqualli (2007), que encontrou um valor de resistência média de 10,7 MPa para blocos vazados e de 15,3 MPa para blocos de parede maciça, mostrando que este é um fator que pode interferir na resistência.

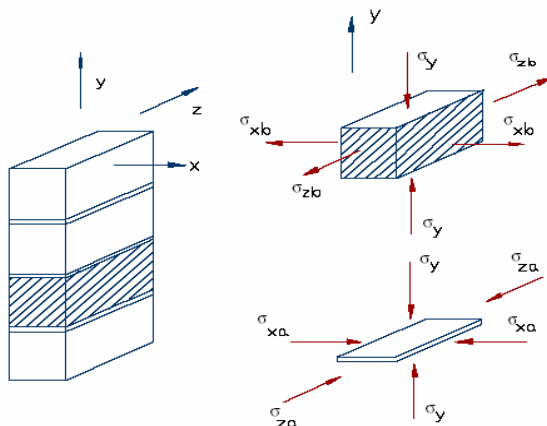
Já quanto à resistência da argamassa, é possível variações consideráveis na resistência ou de prismas ou de pequenas paredes, apenas variando a resistência da argamassa. Pinheiro (2009) conseguiu um aumento de até 31% na resistência de prisma e de 32% na resistência de pequenas paredes, que conforme cálculo para conferência se deu a partir de um aumento em torno de 82% sob a resistência da argamassa.

Neste estudo foram utilizados blocos de 29cm e 44cm de comprimento, e analisando os resultados obtidos de forma a verificar a diferença de comportamento em função da dimensão do bloco. Outra variável é o preenchimento, pois alguns blocos foram preenchidos com a argamassa de assentamento substituindo o graute, a fim de avaliar sua interferência na resistência da parede.

## **2.9. Modos de Ruptura**

Alguns autores estudaram o modo de ruptura de paredes de alvenaria submetidas a esforços de compressão axial. O modelo proposto por Hilsdorf (1967) sugere que a argamassa, por ter módulo de deformação menor que a do bloco, tende a se expandir lateralmente em relação ao bloco, isso gera um estado de tensão triaxial de tração no bloco, devido à ligação bloco/argamassa, o bloco tenta dificultar a expansão da argamassa, surgindo tensões triaxiais de compressão na argamassa. A figura abaixo mostra as forças nas quais o bloco e as argamassas estão submetidas.

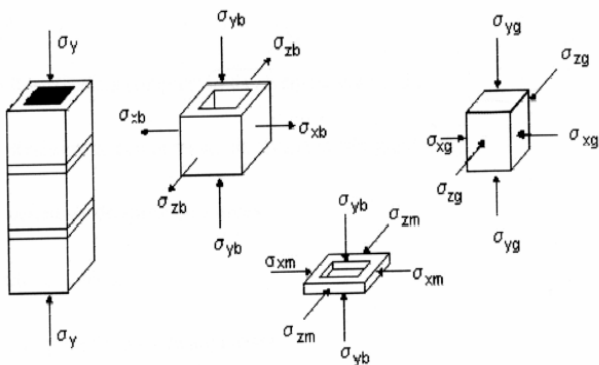




**Figura 3 - Tensões nos componentes de alvenaria.**

Neste modelo irá ocorrer a ruptura quando a tensão de tração no bloco for superior ao seu limite de resistência a tração, sendo assim a parede irá romper devido às forças de tração quando submetida a um ensaio de compressão.

Entretanto, Hilsdorf (1967) não explicou o comportamento de paredes com enchimentos submetidas à compressão, porém mais tarde Hamid e Drysdale (1979) através de ensaios de prismas de bloco de concreto grauteados, observaram que o rompimento ocorre com o surgimento de fissuras verticais no bloco. As mesmas eram formadas devido a maior deformação lateral do graute e da argamassa em relação ao bloco e poderiam acarretar o desprendimento de uma das faces do bloco e o rompimento do graute. Assim como no caso discutido acima o graute e o bloco têm módulos de deformação diferentes e o graute tende a deformar lateralmente, quando submetido a esforços de compressão, e por ter um módulo de deformação menor o bloco tende a restringir esta deformação confinando o graute. Temos então o surgimento de tensões no graute e na parede do bloco como mostrado na figura abaixo. Lembrando que neste modelo continuam existindo as tensões entre o bloco e a argamassa já explicados anteriormente.



**Figura 4 - Tensões nos componentes de alvenaria grauteada.**

Desta forma a parede poderá se romper por trações geradas devido à aderência da argamassa e do bloco, ou devido a trações geradas pelo graute nas faces do bloco, dependendo das características dos seus componentes.

### 3. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS E COMPONENTES DAS PAREDES




#### 3.1. Introdução

Este capítulo descreve a caracterização dos materiais e componentes empregados na execução das paredes. As características físicas e mecânicas dos blocos cerâmicos, argamassa de assentamento e preenchimento, assim como os procedimentos de moldagem dos prismas, das pequenas paredes e das paredes são avaliados.

#### 3.2. Blocos Cerâmicos

O material cerâmico foi produzido e fornecido por uma indústria de cerâmica vermelha, localizada na Grande Belo Horizonte - MG. Para realização da pesquisa foram recebidos dois lotes de 610 (blocos de 29) e 400 blocos (bloco de 44). A tabela 01 mostra como os blocos utilizados neste estudo foram denominados.

**Tabela 1 - Tipos de blocos utilizados na pesquisa**

Tipo de Bloco	Dimensões Nominais (LxHxC)	Geometria
Bloco de 29	14x19x29 cm	
Bloco de 44	14x19x44 cm	
Meio bloco	14x19x14	

### 3.2.1. Ensaio de Análise Dimensional

Para a determinação das características geométricas do bloco cerâmico estrutural foram realizados os seguintes ensaios conforme a NBR 15270-3:

**Medidas das faces** – dimensões efetivas: os valores da largura (L), altura (H) e comprimento (C) foram obtidos como indicado na Figura 6. Neste ensaio as dimensões foram verificadas uma a uma em cada bloco por meio de um paquímetro digital, realizando 3 medições para cada direção, adotando-se a média das mesmas.

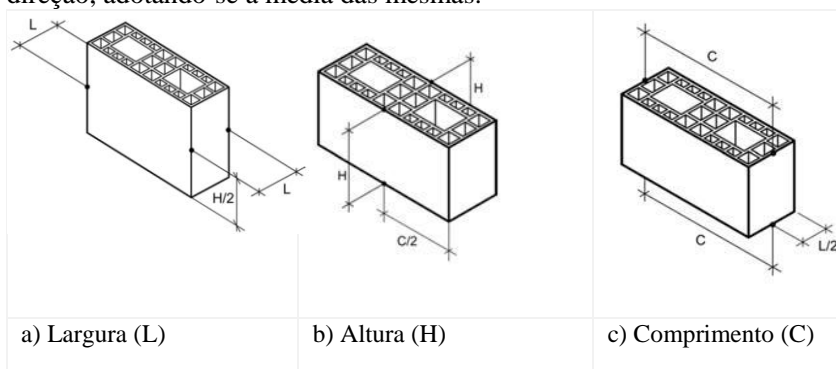


Figura 5 - Locais para medições da largura (a) altura (b) e comprimento (c) dos blocos (NBR 15270-3)

**Espessura das paredes externas e septos dos blocos** – a espessura das paredes externas foi medida nos pontos indicados na Figura 6.

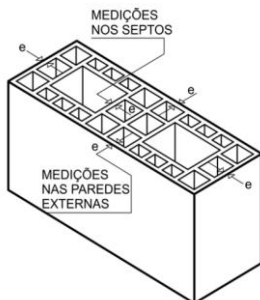
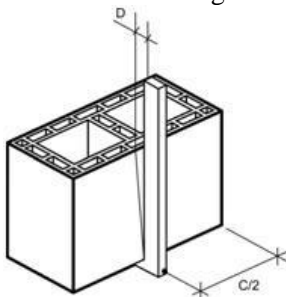


Figura 6 - Posições esquemáticas para as medições da espessura das paredes externas e septos (NBR, 15270-3)

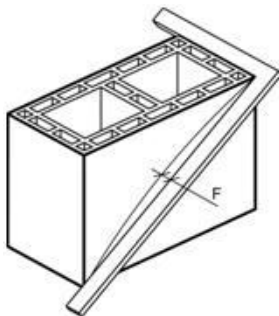
Em relação aos parâmetros das paredes externas foram realizadas medidas nos pontos indicados na Figura 7, buscando o ponto onde a parede apresenta menor espessura. Conforme a NBR 15270 determina foram verificadas a medição da espessura dos septos na região central.

**Desvio em relação ao esquadro (D):** o desvio em relação ao esquadro entre uma das faces destinadas ao assentamento e a maior face destinada ao revestimento do bloco foi realizado conforme a Figura 6, empregando-se o esquadro metálico e a régua metálica.



**Figura 7 - Representação esquemática do desvio em relação ao esquadro (NBR 15270-3)**

**Planeza das faces (F):** a determinação da planeza de uma das faces destinadas ao revestimento foi medida através da flecha formada na diagonal, conforme a Figura 07 empregando-se o esquadro metálico e a régua metálica.



**Figura 8 - Representação esquemática da planeza das faces (NBR, 15270-3)**

Conforme a NBR 15270-3, para cada tipo de bloco empregado foram utilizados 13 unidades para determinação das propriedades dimensionais. Segundo a norma a tolerância dimensional relacionada à média é de  $\pm 3$  mm. (Tabelas 63,64 e 65, localizadas no apêndice).

### 3.2.1.1 Resultado da Análise Dimensional

Para a determinação das propriedades dimensionais foram utilizados 13 unidades de cada bloco. Observando os dados obtidos na tabela 63, 64 e 65 e comparando com as dimensões nominais dos blocos observou-se que ocorreu uma diminuição de largura, que variou de 0,50 mm até 1,89 mm. Em relação a altura houve também uma diminuição e a variação de 0,3 mm até 1,16 mm. No comprimento, assim como nas demais dimensões ocorreu uma diminuição das dimensões sendo a menor variação encontrada para o Meio Bloco de 1,16 mm e a maior variação para o Bloco de 44 que foi de 2,10 mm.

Em relação a média das dimensões nominais nenhum valor ultrapassou a tolerância de  $\pm 3$  estabelecida pela norma NBR 15270-3, demonstrando a estabilidade dimensional dos blocos. O resultado do ensaio é apresentado resumidamente na tabela 02, a seguir, e o resultado completo encontra-se no apêndice.

**Tabela 2 - Determinações dimensionais dos blocos**

Tipo de bloco (cm)	Dimensões									
	Largura			Altura			Comprimento			
	Média (mm)	D.P.	C.V. (%)	Média (mm)	D.P.	C.V. (%)	Média (mm)	D.P.	C.V. (%)	C.V. (%)
Bloco de 29	139,43	0,68	0,49	188,84	1,51	0,80	288,65	2,03	0,70	0,70
Bloco de 44	138,21	1,09	0,79	189,70	0,22	1,16	437,90	0,32	0,73	0,73
Meio Bloco	139,50	1,45	1,04	189,24	1,84	0,97	138,84	1,53	1,10	1,10

Em relação à planeza das faces apenas o Meio Bloco apresentou um valor acima da tolerância de 3mm de média estabelecido pela NBR15270-3. Todavia a diferença foi de apenas 0,09mm o que não deve interferir nos ensaios posteriores. Já para o desvio de esquadro todas as medidas encontram-se dentro da tolerância de 3mm estabelecida pela norma. Abaixo são mostradas tabelas que resumem os valores de planeza das faces e desvio de esquadro para os blocos ensaiados neste trabalho.

**Tabela 3 - Resumo da medida de planeza das faces**

Tipo de bloco (cm)	Planeza das faces (mm)				CV(%)
	Mínimo (mm)	Média (mm)	Máximo (mm)	D.P	
Bloco de 29	1,00	1,93	2,70	0,57	29,67
Bloco de 44	0,00	1,46	3,00	1,39	95,20
Meio Bloco	0,00	3,09	5,70	1,27	44,04

**Tabela 4 - Resumo da medida de desvio de esquadro**

Tipo de bloco (cm)	Desvio de esquadro (mm)				CV(%)
	Mínimo (mm)	Média (mm)	Máximo (mm)	D.P	
Bloco de 29	0,75	1,50	2,00	0,38	25,60
Bloco de 44	0,00	1,85	4,00	1,06	57,11
Meio Bloco	1,50	2,89	5,90	1,70	55,01



### 3.2.2. Ensaio de Absorção de Água (AA)

A realização deste ensaio é feita conforme a norma NBR 15270-3 (2005). O índice de absorção de água não deve ser inferior a 8% nem superior a 22% e é definido como o peso de água, expressado como uma porcentagem da massa seca do bloco, que é absorvida durante a imersão em água num tempo que normalmente é de 5 horas em água fervente ou 24 horas em água fria.

Para realização dos ensaios foram utilizados 10 unidades para compor a amostra. Primeiramente foi feita uma análise visual para observar a integridade das unidades. Logo após foi feita uma limpeza com o objetivo de eliminar pós e outras partículas soltas. Os blocos foram colocados em estufa à temperatura de  $105 \pm 5^\circ$  para determinação da massa seca ( $m_s$ ).

Após a determinação da massa seca os blocos foram imersos em um recipiente de água na temperatura ambiente que foi aquecida gradativamente até atingir o ponto de ebulição da água, tendo os corpos ficados imersos por 2 horas em água fervente. Após ser retirado da água, foi removido o excesso da mesma com o uso de um pano. Os blocos foram então pesados novamente, obtendo-se a massa do bloco saturado ( $m_{sat}$ ).

Os valores de absorção para cada tipo de corpo-de-prova é determinado pela expressão:

$$AA(\%) = \frac{(m_{sat} - m_s)}{m_s} \times 100$$

Onde:

AA = absorção de água, em %

$m_s$  = massa do bloco seco, em Kg

$m_{sat}$  = massa do bloco saturado, em Kg

#### 3.2.2.1 Resultados do Ensaio de Absorção de água

No ensaio verificou-se que os valores de absorção de água encontram-se entre 18% e 19% estando assim de acordo com a NBR 15270-2. A

seguir é mostrada uma tabela com os valores do ensaio de absorção de água. O resultado completo é apresentado no apêndice.

**Tabela 5 – Valores do ensaio de absorção de água**

Tipo de bloco	Média Absorção inicial (%)	Desvio padrão (%)	C.V (%)
Bloco de 29	19,00	2,69	14,16
Bloco de 44	19,00	1,20	6,32
Meio Bloco	18,00	1,17	6,50

### 3.2.3. Determinação da Área Líquida

A NBR15270-3 (2005) define área líquida como área da seção de assentamento, delimitada pelas arestas do bloco, com desconto das áreas dos furos, quando houver. Para determinação da área líquida, foram adotados os critérios estabelecidos pela NBR15270-3 (2005). Os procedimentos estão descritos abaixo:

- a. Após a determinação da área bruta ( $L \times C$ ), os blocos foram submersos em água à temperatura ambiente por 24 h;
- b. Após saturados, os blocos foram pesados imersos em água à temperatura de  $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ ; obtendo a sua massa aparente ( $m_a$ );
- c. Pesando os blocos imersos em água, obteve-se a sua massa saturada ( $m_{sat}$ );
- d. Área líquida, expressa em centímetros quadrados, foi calculada para cada bloco pela expressão:

$$A_{liq} = \frac{(m_{sat} - m_a)}{\gamma \times H}$$

Onde:

$A_{liq}$  igual à área líquida ( $\text{cm}^2$ ),

$m_{sat}$  igual à massa do bloco saturado (g);

$m_a$  é igual à massa aparente do bloco (g);

$H$  é igual à altura do bloco (cm);

$\gamma$  é igual à massa específica da água, tomada igual a 1,  $\left(\frac{g}{cm^3}\right)\frac{g}{cm^3}$ ;

### 3.2.3.1 Resultados da Área Líquida

Abaixo é mostrada uma tabela com os valores de área líquida e área bruta encontrada. O resultado completo é apresentado no apêndice.

**Tabela 6 - Resultados dos ensaios de área líquida**

Tipo de bloco	Média área bruta (cm <sup>2</sup> )	Desvio Padrão Área Bruta (cm <sup>2</sup> )	C.V. Área bruta (%)	Média Área Líquida (cm <sup>2</sup> )	Desvio Padrão Área Líquida (cm <sup>2</sup> )	C.V. Área Líquida (%)	Área líquida / Área bruta (%)
Bloco de 29	401,86	4,84	1,20	168,09	4,47	3,54	41,83
Bloco de 44	605,23	8,8	1,45	259,57	9,18	3,54	42,89
Meio Bloco	193,58	3,03	1,57	139,4	13,09	9,39	72,01

### 3.2.4. Resistência à Compressão

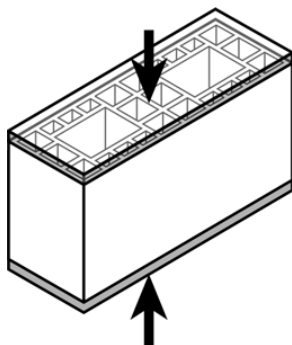
É a principal característica da unidade para uso em alvenaria estrutural. Deve atingir os requisitos mínimos prescritos pela NBR 15270 (2005), e ao mesmo tempo às exigências do projeto estrutural.

De acordo com Roman (1999) o aumento da resistência do bloco leva a um aumento da resistência da parede, todavia esta relação não é linear. E esta relação pode ser vista através do fator de eficiência e segundo o mesmo autor, o fator de eficiência diminui com o aumento da resistência da unidade.

A norma brasileira NBR 15270-3 (2005) prescreve o procedimento para verificação da resistência à compressão em blocos cerâmicos de vedação e estruturais. Esta resistência é calculada pela relação entre a carga de ruptura pela área bruta do bloco.

Em alguns casos estes resultados podem ser apresentados em relação à área líquida, dependendo da finalidade desejada, como por exemplo, nas

análises numéricas onde se considera o bloco como vazado. A figura abaixo mostra o esforço de compressão aplicado no bloco cerâmico.



**Figura 9 - Compressão axial de bloco estrutural (NBR 15270-3)**

Para a realização do ensaio de compressão foram utilizadas 13 unidades para comporem as amostras de cada tipo de bloco, conforme prescrito na NBR 15270-2, para amostras de até 100.000 blocos.

A execução dos ensaios tiveram as seguintes etapas: Realização do capeamento uniforme dos blocos. Depois de capeados os corpos de prova foram imersos em água por 6 horas, logo após foram secos superficialmente e submetidos ao ensaio de compressão. A taxa de carregamento aplicada na prensa foi na razão de  $(0,05 \pm 0,01)$  MPa/s.

### **3.2.5. Resultado do Ensaio de Resistência à Compressão de Blocos**

O Bloco de 29 apresentou um maior valor de resistência na área bruta e na área líquida, em relação ao Bloco de 44. Esta diferença foi de 2% na área bruta e 5% na área líquida.

A tabela a seguir apresenta os valores de resistência à compressão na área líquida e na área bruta dos blocos. A tabela completa encontra-se no apêndice.

**Tabela 7 - Resistência à compressão dos blocos**

Tipo de bloco	Resistência à compressão						Média da carga de ruptura (kN)
	Resistência à compressão (área bruta)			Resistência à compressão (área líquida)			
	Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	C.V (%)	Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	C.V (%)	
Bloco de 29	6,51	1,70	26,13	15,61	4,27	27,36	260,87
Bloco de 44	6,37	1,09	17,18	14,89	2,64	17,73	384,68
Meio Bloco	6,92	0,78	11,25	9,68	1,39	14,39	133,82

A figura abaixo mostra a forma de ruptura do Bloco de 29 e do Bloco de 44 , respectivamente.



**Figura 10 - Forma de ruptura do Bloco de 29 e Bloco de 44 – respectivamente**

### 3.3 Argamassas de Assentamento e Preenchimento

Um dos objetivos deste trabalho foi verificar a resistência de paredes preenchidas com argamassa ao invés do graute, então se torna de suma importância o estudo da resistência à compressão e as características da argamassa, que são apresentadas neste capítulo.

A norma brasileira NBR 8798 (1985) define argamassa de assentamento como “*elemento utilizado na ligação entre os blocos de concreto, garantindo distribuição uniforme de esforços, composta de: cimento, agregado miúdo, água e cal ou outra adição destinada a conferir plasticidade e retenção de água à mistura*”.

O presente trabalho não avalia todas as combinações de elementos e argamassas possíveis e por isto, a argamassa escolhida para a pesquisa foi à base de cimento, cal hidratada, areia média e água, utilizando-se apenas um traço de argamassa, o qual é recomendado pela norma britânica (BS 5628) e usualmente empregado em obra. Com traço em volume 1:1:6.

### 3.3.1 Especificações dos Materiais

**Este trabalho** foi realizado com a argamassa prescrita pela BS 5628: Part. 1 (1992) tipo iii, traço em volume 1:1:6. Os materiais a serem utilizados podem ser vistos na Tabela 8:

**Tabela 8 - Materiais utilizados na argamassa**

Materiais	Descrição	Marca
Aglomerante hidráulico	Cimento Portland II E 32	Holcim
Aglomerante aéreo	Cal Hidratada tipo III	Tradicional
Agregado miúdo	Areia natural quartzosa lavada	-

Antes da preparação da argamassa de assentamento foi caracterizada a areia natural quartzosa lavada. Para a realização do teor de material pulverulento, seguiu-se a prescrição da NBR-7219/87.

Na determinação de impurezas orgânicas e húmicas na areia, utilizou-se a orientação da NBR-7220/87 e para os demais as recomendações da NBR 7217/87.

Os resultados das características físicas da areia encontram-se na tabela 9.

**Tabela 9 - Características físicas da areia.**

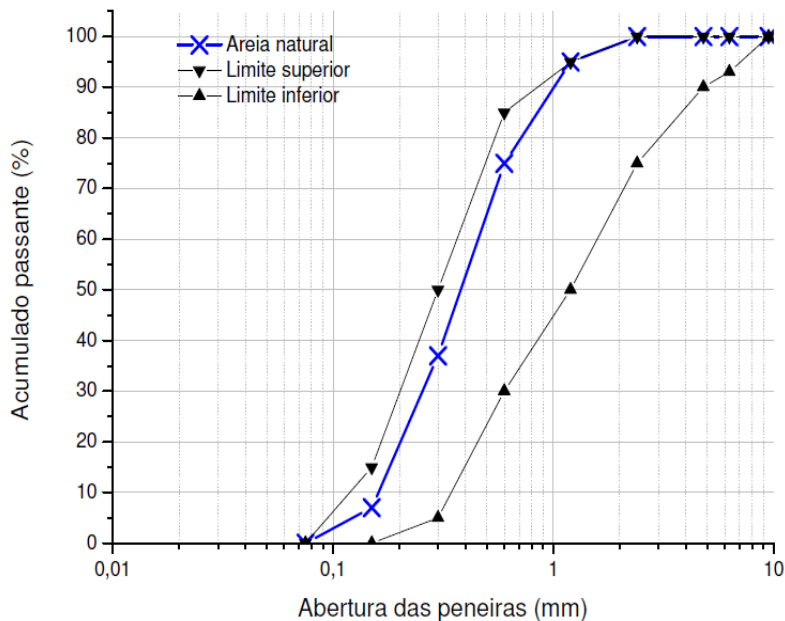
Ensaio	Resultado	Limites	Normas
Material pulverulento	2,25%	≤ 3%	NBR 7219-87
Matéria orgânica	< 300 ppm	≤ 300 ppm	NBR 7220-87
Massa unitária	1,41 kg/dm <sup>3</sup>	-	NBR 7251-82
Massa específica	2,61 kg/dm <sup>3</sup>	-	NBR 9776-87
Módulo de finura	1,87	-	NBR 7217-87
Dimensão máxima	1,2 mm	-	NBR 7217-87

De acordo com os valores apresentados na Tabela 9, conclui-se que a areia atendeu às especificações das normas utilizadas. O módulo de finura se enquadra na faixa recomendada por Sabbatini (1984), que é de 1,8 a 2,8. A composição granulométrica da areia segundo a NBR-7217 (1987) é apresentada na Tabela 10.

**Tabela 10 - Composição granulométrica da areia**

Peneira (mm)	Material Retido (g)		Porcentagem Retida (%)			Porcentagem Acumulada (%)
	M1	M2	M1	M2	Média	
4,8	0	0	0	0	0	0
2,4	0,27	0,61	0,05	0,12	0	0
1,2	25,29	26,05	5,10	5,21	5	5
0,6	96,82	105,49	19,41	21,11	20	25
0,3	180,63	194,37	36,20	38,90	38	63
0,15	155,15	141,46	31,10	28,31	30	93
Fundo	40,78	31,72	8,17	6,35	7	100
Módulo de finura: 1,87			Dimensão máxima: 1,20			

Na figura 10 é apresentada a curva granulométrica passante da areia. Na mesma figura são apresentados os limites inferiores e superiores da granulometria de agregados miúdos para concreto prescritos pela NBR7211/2005. Observando a figura percebe-se que areia encontra-se dentro dos limites granulométricos estabelecidos pela ABNT.



**Figura 11 - Curva granulométrica da areia**

Além dos ensaios acima, foram determinadas as massas unitárias e específicas do cimento, cal e areia. Para a realização desses ensaios adotou-se os critérios estabelecidos pelas normas NBR-7251(1982) e NBR-9776 (1987), respectivamente. Os valores obtidos encontram-se na Tabela 11.

**Tabela 11 - Massa Unitária e Específica dos Materiais.**

Material	Massa Unitária (Kg/dm <sup>3</sup> )	Massa Específica (Kg/dm <sup>3</sup> )
Cimento Portland II E 32	1,41	-
Cal Hidratada CHIII	0,66	-
Areia	1,41	2,61

Antes da preparação da argamassa a areia foi seca e acondicionada em sacos plásticos e devidamente fechados dentro do laboratório para não



adquirir umidade do ar. Após a conclusão da caracterização dos materiais, elaborou-se o traço da argamassa a ser utilizada de acordo com a tabela 12.

**Tabela 12 - Tabela de traços da argamassa**

Tipo	Traço Volume	Traço Massa	Água/cimento	Consistência (mm)	Resist. Comp. 28 dias (MPa)
Única	1:1:6	1:0,61:7,83	1,91	260,4	4,52

### 3.3.2 Resistência à Compressão da Argamassa

Para avaliar a resistência à compressão da argamassa, foram produzidos corpos de provas cilíndricos 5x10cm conforme NBR7215 (1996) os quais eram curados em ambiente laboratorial, capeados com enxofre e em seguida rompidos. Os testes foram realizados com os seguintes tempos de cura: 1 dia; 7dias; 14dias; e 28dias, e para cada tempo de cura foram utilizados 4 corpos de prova. Os dados de tensão de ruptura e módulo de elasticidade eram fornecidos pelo próprio equipamento. Abaixo é mostrada uma tabela com os valores de resistência obtidos para a argamassa:

**Tabela 13 - Resistência à compressão da argamassa de assentamento**

Argamassa de assentamento					
C.P.	Diâmetro (mm)	Carga (KN)	Tensão (MPa)		
1	50	17,00	0,87		
2	50	16,29	0,83	Média (MPa)	0,84
3	50	16,29	0,83	D.P.(MPa)	0,02
4	50	16,29	0,83	C.V.(%)	2,38
1	50	45,66	2,33		
2	50	77,62	3,95	Média (MPa)	3,32
3	50	68,55	3,49	D.P.(MPa)	0,70
4	50	68,86	3,51	C.V.(%)	21,08
1	50	75,35	3,84		
2	50	84,73	4,32	Média (MPa)	3,81
3	50	75,87	3,87	D.P.(MPa)	0,44
4	50	63,60	3,24	C.V.(%)	11,55
1	50	87,10	4,44		
2	50	90,13	4,59	Média (MPa)	4,52
3	50	88,86	4,53	D.P.(MPa)	0,08
4	50	88,86	4,53	C.V.(%)	1,77

É possível observar, como já era esperado, que a resistência da argamassa aumentou com o tempo de cura evidenciando uma resistência média de 4,52 MPa com 28 dias de cura.

### 3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

#### 3.4.1 Análise de variância (ANOVA)

As situações experimentais envolvem muitos fatores, nem sempre totalmente controlados, além dos tratamentos que se deseja testar. Um tratamento é uma condição imposta ou objeto que se deseja medir ou avaliar em um experimento. Normalmente, em um experimento, é utilizado mais de um tratamento. Como exemplos de

tratamentos, podem-se citar: equipamentos de diferentes marcas, diferentes tamanhos de peças, etc. No presente estudo os tratamentos são para os diferentes tipos de blocos (tamanho e enchimento) e protótipos (primas, pequenas paredes e paredes) (SAMPAIO,2010).

O propósito da análise de variância é o domínio dos efeitos de fontes de variação de modo que o valor estimado como variância entre condições testadas ( $s^2$ ) corresponde à sua própria natureza, sem o concurso de fatores estranhos que poderiam superestimá-las. A análise de variância baseia-se na decomposição da variação total da variável resposta em partes que podem ser atribuídas aos tratamentos (variância entre) e ao erro experimental (variância dentro) (SAMPAIO,2010).

Algumas premissas deverão ser expressas para que a implantação de uma análise de variância seja adequada:

- a) A resposta que está sendo analisada deve ser uma variável com distribuição normal.
- b) Os tratamentos onde esta resposta está sendo medida devem apresentar variâncias iguais. Este princípio, conhecido como homocedasticidade, reconhece que a instabilidade de uma variável não depende do grupo experimental onde ela está sendo medida.

Uma variável é qualquer característica que apresenta variação, por exemplo, a altura de pessoas, o peso de animais, o comprimento de uma peça, o número de microrganismos em um litro de leite, etc. Quando o valor de uma variável não pode ser determinado antes da realização de um experimento, tem-se então uma variável aleatória. As variáveis que assumem valores enumeráveis são denominadas variáveis aleatórias discretas. Por exemplo, o número de sementes germinadas, o número de microrganismos em um litro de leite. As variáveis que assumem valores em um intervalo são denominadas variáveis aleatórias contínuas. Por exemplo, o peso de animais, o teor de umidade em um alimento. Em um experimento, podem ser medidas muitas variáveis, mas devem-se considerar somente aquelas que possam contribuir para a explicação da hipótese formulada. A hipótese formulada para este estudo foi se haveria diferença da resistência à compressão (variável contínua) dentre os diferentes elementos estruturais (tratamentos) (SAMPAIO,2010).

De forma geral, a análise de variância é baseada no cálculo das variâncias dos tratamentos e dos resíduos. A fim de avaliar se há

diferença entre as médias dos tratamentos, ou seja, testar a hipótese do estudo é utilizado o teste F. Se  $F_{\text{calculado}} (\text{variância tratamento/variância do resíduo}) > F_{\text{tabelado}}$ , rejeita-se a hipótese de nulidade, ou seja, existem evidências de diferença significativa entre pelo menos um par de médias de tratamentos, ao nível  $\alpha$  (5% para o presente estudo) de significância e vice-versa. Outra maneira de avaliar a significância da estatística F é utilizando o p-valor. Se o p-valor  $< \alpha$ , rejeita-se hipótese de nulidade e vice-versa (SAMPAIO,2010).

#### 3.4.2 Teste de *Tukey*

Após concluir que existe diferença significativa entre tratamentos, por meio do teste F, há interesse em avaliar a magnitude destas diferenças utilizando um teste de comparações múltiplas. O teste de *Tukey* permite testar qualquer contraste, sempre, entre duas médias de tratamentos, ou seja, não permite comparar grupos entre si. O teste baseia-se na Diferença Mínima Significativa (DMS) (SAMPAIO,2010).

No presente estudo foi utilizado teste de *Tukey*, pois o coeficiente de variação foi  $< 15\%$  e tem-se menos de cinco tratamentos. Esse teste é mais rigoroso para evitar o erro tipo I (atribuir uma significância quando ela realmente não existir) (SAMPAIO,2010).

## **4 PROGRAMA EXPERIMENTAL**

### **4.1 Introdução**

Para o melhor entendimento do comportamento dos componentes de 44 cm de comprimento foram realizados ensaios de resistência à compressão de prismas, pequenas paredes e paredes. Nos ensaios de resistência à compressão avaliou-se 2 tipos de geometrias de unidades de alvenaria cerâmica, descritos no capítulo anterior. O programa experimental abrange o ensaio de um total de 20 prismas, 20 pequenas paredes e 12 paredes, sendo:

- a. Ensaio de paredes de cada tipo de bloco, de 29 ou 44, submetidas a ensaios de resistência à compressão até a ruptura, sendo 03 para cada geometria de blocos;
- b. Ensaio de paredes preenchidas com a mesma argamassa de assentamento para cada tipo de unidade, submetidas a ensaios de resistência à compressão até a ruptura, sendo 03 para cada geometria de blocos;
- c. Ensaio de 05 pequenas paredes sem preenchimento e 05 preenchidas com a mesma argamassa de assentamento, para cada tipo de bloco.

Durante os ensaios foram avaliados os deslocamentos, deformações, tensões e os modos de ruptura. Esta etapa do trabalho foi realizada no LabMEC (Laboratório de Materiais, Estruturas e Componentes) do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG.

### **4.2 Prismas**

#### **4.2.1 Moldagem dos Prismas**

Os prismas foram moldados sobre uma base nivelada de acordo com a NBR 8215 (1983). Para cada geometria de blocos, foram moldados 10 prismas de 03 fiadas. Sendo que para cada geometria também foram moldados 05 prismas com o preenchimento dos septos com a mesma argamassa do assentamento e 05 sem preenchimento. Todos os prismas foram feitos com junta à prumo conforme figura abaixo:



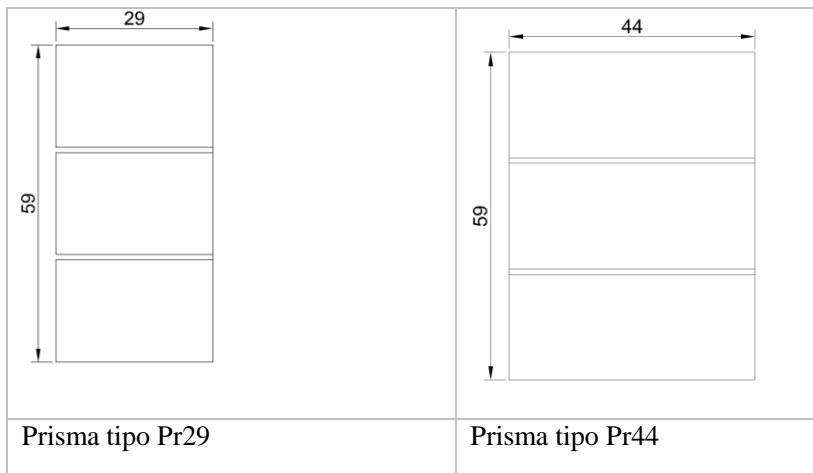
**Figura 12 - Prisma junta prumo**

A opção por prismas com 03 blocos, é devido ao fato de que assim o efeito gerado pelo confinamento do prato da prensa nos blocos da extremidade é amenizado. Nestes prismas, o bloco central, geralmente livre do efeito de confinamento dos pratos da prensa, representa melhor o tipo de ruptura da alvenaria.

Após a confecção dos prismas, todos foram identificados com etiquetas constando o tipo de bloco, o número do corpo-de-prova, a data de moldagem e de rompimento. Todos os prismas curados em ambiente por 28 dias, idade de ensaio.

#### **4.2.2 Resistência à Compressão**

Foram utilizados alguns procedimentos de ensaios utilizados em outras pesquisas em andamento no CEFET-MG, os prismas, compostos de 3 blocos justapostos e duas fiadas de argamassa, mesmo procedimento recomendado pela norma ASTM E 447-84 (1987), uma vez que não existe norma da ABNT (Figura 12).



**Figura 13 - Vista frontal da geometria final dos Prismas**

Para cada prisma foi obtida a resistência à compressão em relação à área bruta e área líquida. O ensaio de compressão dos prismas foi realizado após o capeamento dos mesmos na data prevista para o ensaio. A taxa de carregamento aplicada neste ensaio será de 0,35 kN/s.

#### **4.2.3 Resultado do ensaio de Resistência à Compressão dos Prismas**

As tabelas 14 e 15 a seguir mostram os resultados obtidos nos ensaios de compressão dos prismas com preenchimento e sem preenchimento. Estes resultados são mostrados detalhadamente nos apêndices.

**Tabela 14 – Resistência à compressão de prismas sem enchimento**

	Bloco de 29		Bloco de 44	
	Área bruta	Área líquida	Área bruta	Área líquida
Tensão média (MPa)	2,72	6,58	2,48	5,89
D. Padrão (MPa)	0,68	1,64	0,38	0,91
C.V (%)	24,94	24,94	15,50	15,50

**Tabela 15 – Resistência à compressão de prismas com enchimento**

	Bloco de 29		Bloco de 44	
	Área bruta	Área líquida	Área bruta	Área líquida
Tensão média (MPa)	4,12	9,95	4,15	9,84
D. Padrão (MPa)	0,61	1,32	0,35	0,82
C.V (%)	14,81	13,25	8,34	8,34

Analizando os resultados acima obtidos para prismas, conclui-se que houve um aumento da resistência do prisma com preenchimento em relação ao prisma sem preenchimento. O prisma que foi preenchido com argamassa de assentamento possui em média uma resistência na área bruta 51% maior para o Bloco de 29 e 67% maior para o Bloco de 44, mostrando que a técnica de preenchimento foi eficaz no intuito de aumentar a resistência do prisma. As figuras abaixo mostram o modo de ruptura dos prismas construídos com Bloco de 29 e Bloco de 44 ambos sem preenchimento. Para ambos os prismas observou-se o surgimento de fissuras a partir de 80% da carga de ruptura.

**Figura 14 - Rompimento do PrSE29.**





**Figura 15 - Rompimento do PrSE44.**

### **4.3 Pequenas Paredes**

#### **4.3.1 Moldagem**

Sobre vigas de aço foram construídas pequenas paredes de dimensões 44 cm x 79 cm e 59 cm x 79 cm (comprimento x altura) niveladas no piso do laboratório. Foi utilizado o nível como garantia de verticalidade dos corpos de prova, verificando assim o assentamento dos blocos e o fio de prumo de cada fiada. As dimensões finais das pequenas paredes são apresentadas na Tabela 16 a seguir.

**Tabela 16 - Dimensões efetivas das pequenas paredes**

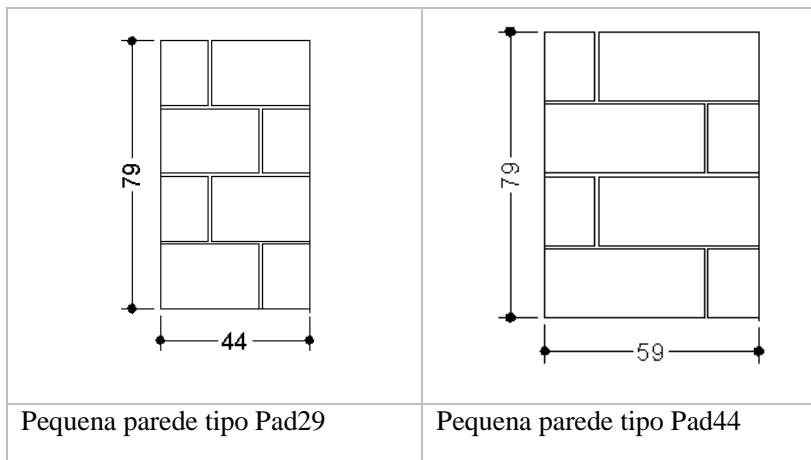
Pequena parede	Denominação	Altura (cm)	Comprimento (cm)	Espessura (cm)
01	PadSE29	79	44	14

02	PadSE44	79	59	14
03	PadCE29	79	44	14
04	PadCE44	79	59	14

Para permitir o nivelamento do topo, as pequenas paredes sofreram um capeamento com argamassa de cimento e areia, na proporção 1:3, respectivamente. Após a secagem e na data de 28 dias, foi colocada uma chapa rígida de aço, devidamente adaptada para futuro transporte das pequenas paredes. O transporte das mesmas até a prensa, no interior do laboratório, foi feito por meio de uma talha, onde as pequenas paredes foram amarradas com cabos de aço, presos nas chapas, inferior e superior, para assegurar que não houvesse choques e esforços suficientes a causar danos à estrutura.

#### 4.3.2 Resistência à Compressão

Os ensaios foram feitos de acordo com a norma NBR 15812-2 (2010). As pequenas paredes foram compostas de 4 fiadas e com as dimensões indicadas na figura abaixo:



**Figura 16 - Vista frontal da geometria final das pequenas paredes.**

Para cada pequena parede foi obtida a resistência na área bruta e na área líquida. E foram ensaiadas 10 pequenas paredes construídas com

Bloco de 29 e 10 pequenas paredes com Bloco de 44, sendo que em ambos os casos, 5 foram preenchidas com argamassa (CE) e 5 não foram preenchidas (SE).

O ensaio de compressão das pequenas paredes foi realizado após 28 dias de cura. A taxa de carregamento foi de 0,05 MPa/s como determina a norma NBR 15812-2 (2010). Ao chegar próximo da carga de ruptura os transdutores foram retirados das pequenas paredes para não serem danificados. Para cada conjunto de pequenas paredes de mesma geometria foi realizado o ensaio de deformação.

### 4.3.3 Resultado do Ensaio de Resistência à Compressão para Pequenas Paredes

As tabelas abaixo mostram os resultados obtidos nos ensaios de compressão das pequenas paredes preenchidas e não preenchidas com argamassa de assentamento. Estes resultados são mostrados detalhadamente no apêndice.

**Tabela 17 - Resistência à compressão em pequenas paredes sem preenchimento**

	Bloco de 29		Bloco de 44	
	Área bruta	Área líquida	Área bruta	Área líquida
Tensão média (MPa)	2,96	5,93	2,42	5,01
D. Padrão (MPa)	0,29	0,58	0,29	0,6
C.V (%)	9,73	9,73	11,87	11,87

**Tabela 18 - Resistência à compressão em pequenas paredes com preenchimento**

	Bloco de 29		Bloco de 44	
	Área bruta	Área líquida	Área bruta	Área líquida
Tensão média (MPa)	4,16	8,33	4,02	8,32
D. Padrão (MPa)	0,29	0,59	0,77	1,59
C.V (%)	7,06	7,06	19,05	19,05

Analisando os resultados acima obtidos para pequenas paredes, conclui-se que houve um aumento da resistência das pequenas paredes com preenchimento em relação às pequenas paredes sem preenchimento. As pequenas paredes que foram preenchidas com argamassa de assentamento possuem em média uma resistência na área bruta 46% maior para o Bloco de 29 e Bloco de 44, mostrando que a técnica de preenchimento assim como nos prismas, foi eficaz no intuito de aumentar a resistência das pequenas paredes. As figuras 16 e 17 mostram o modo de ruptura das pequenas paredes construídas com Bloco de 29 e Bloco de 44.



**Figura 17 - Rompimento da PadSE29.**



**Figura 18 - Rompimento da PadCE44.**

Nas pequenas paredes dos dois tipos de blocos observou-se que em média a partir de 86% da carga de ruptura os blocos começavam a apresentar fissura e pequenos estalos, sem perda de carga.

#### **4.3.4 Módulo de Elasticidade**

Ao realizar o ensaio foram colocados 4 relógios comparadores nas pequenas paredes, indicados aqui por R1, R2, R3 e R4 conforme figuras 18 e 19.



**Figura 19 - Posicionamento dos relógios comparadores R1, R2 e R3.**



**Figura 20 - Posicionamento do relógio comparador R4.**

Percebe-se então que R1 e R3 foram colocados nas laterais das pequenas paredes e R2 e R4 foram colocados na face frontal e na face posterior respectivamente e todos foram posicionados no centro das faces das pequenas paredes.

As deformações foram coletadas até aproximadamente 50% da carga de ruptura e a compressão foi efetuada em pequenos incrementos e mantida constante durante a leitura da deformação. As leituras foram feitas pelo mesmo operador, em 4 relógios comparadores diferentes. Após 50% da carga de ruptura as leituras eram interrompidas por questões de segurança e por meio destas medidas foram confeccionados gráficos tensão x deformação e calculados os módulos de elasticidade.

#### **4.3.5 Resultado do Módulo de Elasticidade**

A seguir é mostrada a tabela com o módulo de elasticidade médio das pequenas paredes.

**Tabela 19 - Módulo de elasticidade de pequenas paredes (MPa)**

	PadSE29	PadCE29	PadSE44	PadCE44
1	1520	6416	2027	3245
2	3186	3515	1165	6701
3	3601	5101	1110	3559
4	2743	4005	777	9680
5	2026	3986	2613	10232
Média (MPa)	2615	4604	1538	6683
D.P (MPa)	845,7	1168,0	757,7	3284,7
C.V. (%)	32,3	25,4	49,2	49,1

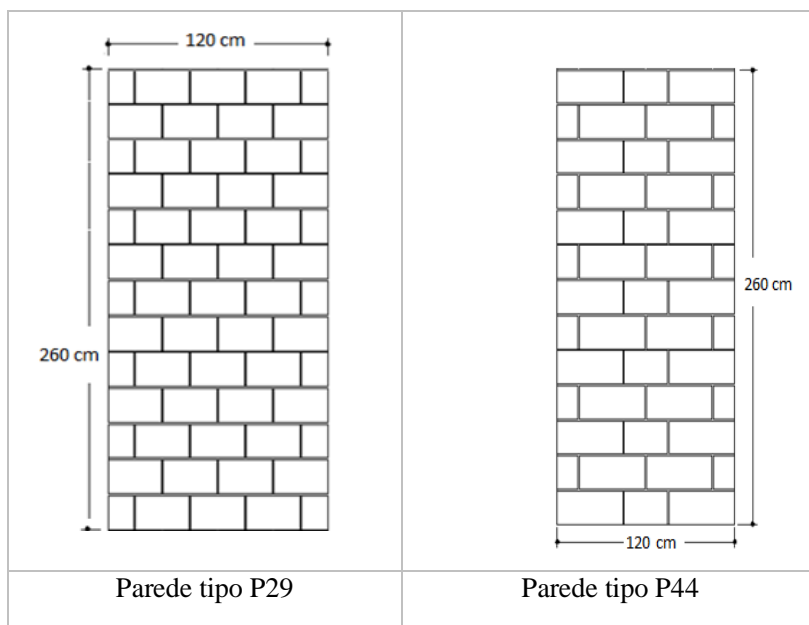
Comparando os valores médios dos módulos de elasticidade de pequenas paredes de Bloco de 29 com enchimento (4604,6 MPa) e sem enchimento (2615,2 MPa) na área bruta observa-se um aumento de 76%. As pequenas paredes de bloco de 44 com preenchimento (6683 MPa) e sem preenchimento (1538 MPa) apresentaram um aumento de 334%. Mostrando assim a eficácia do enchimento com argamassa de assentamento no intuito de aumentar o módulo de elasticidade. Já na comparação entre blocos, a pequena parede com bloco de 44 apresentou um módulo de elasticidade equivalente a 70% do modulo das pequenas paredes de bloco de 29, sem enchimento e de 45% maior para as pequenas paredes com blocos com enchimento.

#### 4.4 Paredes

Para os ensaios de resistência à compressão dois tipos de blocos foram utilizados nos ensaios. A altura e largura das paredes seguiram as dimensões especificadas na BS 5628, a qual especifica que os limites podem ficar em 1,2 a 1,8m de largura e 2,4 a 2,7 m de altura. A amarração da alvenaria foi realizada com a amarração convencional, ou seja, juntas horizontais paralelas e juntas verticais contrafiadas. As paredes ensaiadas à compressão ficaram com a geometria mostrada na Figura 20 e com as dimensões apresentadas na Tabela 20.

**Tabela 20 - Dimensões efetivas das paredes**

Parede	Denominação	Altura (cm)	Comprimento (cm)	Espessura (cm)
01	PSE29	260	120	14
02	PSE44	260	120	14
03	PCE29	260	120	14
04	PCE44	260	120	14

**Figura 21 - Vista frontal da geometria final das paredes moldagem.**

Sobre vigas de aço foram construídas paredes de dimensões 1,20m x 2,60 m, niveladas no piso do laboratório. Foi controlado o nível e o prumo da parede como garantia de verticalidade dos corpos de prova, verificando assim o nível do assentamento dos blocos e o fio de prumo de cada fiada.



Para permitir o nivelamento do topo, as paredes sofreram um capeamento com argamassa de cimento e areia, na proporção 1:3, respectivamente. Após a secagem, pintura com cal hidratada, para facilitar a percepção de qualquer sinal que aparecesse durante o ensaio, e na data de 28 dias, foi colocada uma chapa rígida de aço, devidamente adaptada para futuro transporte das paredes. O transporte das mesmas até a prensa, no interior do laboratório, foi feito por meio de uma talha, onde as paredes foram amarradas com cabos de aço, presos nas chapas inferior e superior, para assegurar que não houvesse choques e esforços capazes de causar danos à estrutura.

#### **4.4.1 Resistência à Compressão**

O ensaio de compressão das paredes foi feito com os seguintes equipamentos:

- uma estrutura de reação constituída por um pórtico metálico;
- um cilindro hidráulico de capacidade nominal de 500 kN, para aplicação das forças aplicadas;
- prensa hidráulica de capacidade para 500 kN;
- cinco relógios comparadores, com sensibilidade de 0,001 mm e curso de 10 mm, sendo 01 para medição da flecha da parede, e os demais para as deformações específicas longitudinais.

Durante a execução das paredes, foram retiradas amostras da argamassa a cada 02 fiadas executadas e foram confeccionados cinco corpos-de-prova para verificação da sua resistência à compressão. Os corpos-de-prova de argamassa foram ensaiados na mesma data de rompimento de cada parede. O procedimento de ensaio seguiu as recomendações da NBR 8949 (1985) – Paredes de Alvenaria Estrutural – Ensaio à Compressão Simples. A norma recomenda que para a aplicação da carga sejam realizados no mínimo dois pré-carregamentos para acomodação da alvenaria e da instrumentação; o primeiro incremento de carga foi de até 10% da carga de ruptura e o segundo incremento de carga foi de até 20% da carga de ruptura.

O tempo de aplicação de cada incremento foi de aproximadamente 5 minutos. Após cada incremento e pausa, a estrutura foi descarregada até zero. Os aparelhos de medição foram retirados a aproximadamente 50% da carga de ruptura ou sempre que houve qualquer indício de proximidade ao colapso. Somente na terceira etapa, as paredes foram

submetidas a incrementos de carga até atingir a ruptura. A velocidade de carregamento foi de aproximadamente  $25 \pm 5$  kN/min.

As figuras 21 e 22 mostram como os seis relógios foram colocados nas paredes



**Figura 22 - Posicionamento dos relógios comparadores R1, R2, R5, R6.**

A partir da leitura dos relógios comparadores foram traçados os gráficos de tensão x deformação que se encontram no item 5.7.1 deste trabalho.



**Figura 23 – Pórtico utilizado nos ensaios de compressão**

Para a medição de deformações nos ensaios de compressão das paredes foram utilizados cinco relógios comparadores, com sensibilidade de 0,0001 mm e curso de 10 mm (Figura 23).



**Figura 24 - Relógio comparador utilizado nos ensaios.**

A partir da leitura dos relógios comparadores são traçados os gráficos de tensão x deformação e tensão x deslocamento.

Para a determinação do módulo de elasticidade da parede são calculadas as deformações a partir da média dos deslocamentos medidos pelos relógios comparadores (R1-R3) e (R2-R4).



## 5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos através do programa experimental. Esses dados possibilitaram realizar algumas comparações entre as amostras em estudo, assim como analisar a influência de cada tipo de bloco na resistência à compressão das mesmas.

### 5.1 Resultado do ensaio de resistência à compressão da argamassa de assentamento

Durante a moldagem de cada tipo de elementos testados (prisma, pequenas paredes e paredes) foram confeccionadas amostras de corpos de prova cilíndricos de 5x10 cm de argamassa usada em diferentes fiadas dos prismas, pequenas paredes e paredes. Antes do rompimento os corpos de prova foram capeados com enxofre e a seguir submetidos a ruptura de acordo com as recomendações da NBR7215(1997). A figura a seguir mostra a resistência média da argamassa de traço 1:1:6 utilizado no assentamento e preenchimento das paredes.

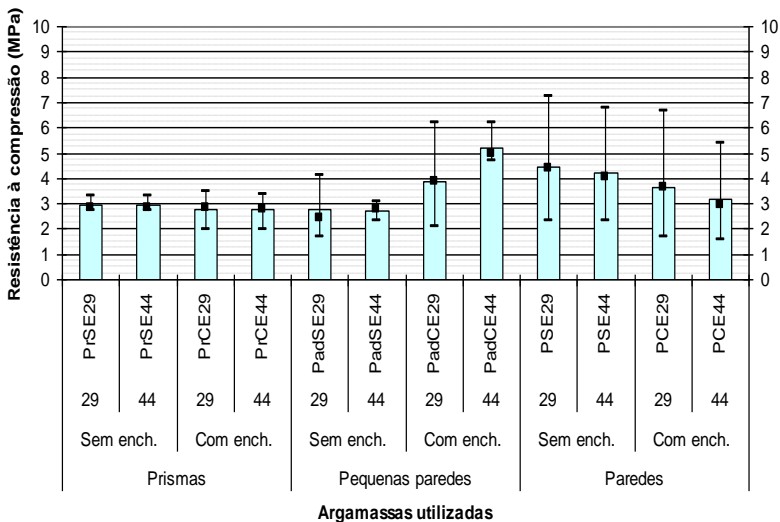


Figura 25 - Controle de resistência à compressão das argamassas utilizadas

## 5.2 Resultado do ensaio de resistência à compressão dos prismas

### 5.2.1 Prismas sem Enchimentos

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão dos prismas sem enchimentos são mostrados nas tabelas 21 e 22 onde Pr01 significa prisma número 01, e assim sucessivamente.

**Tabela 21 - Resumo das resistências à compressão do prisma sem enchimento com bloco de 29 cm**

	Prisma	Carga (kN)	Área Bruta	Área Líquida	Tensão de ruptura (MPa)	
					Área Bruta	Área Líquida
PrSE 29	Pr01	82	406	168,09	2,02	4,88
	Pr02	79	406	168,09	1,95	4,70
	Pr03	128	406	168,09	3,15	7,61
	Pr04	130	406	168,09	3,20	7,73
	Pr05	134	406	168,09	3,30	7,97
				Média	2,72	6,58
				D.P.	0,68	1,64
				C.V.(%)	24,94	24,94

**Tabela 22 - Resumo das resistências à compressão do prisma sem enchimento com bloco de 44 cm**

	Prisma	Carga (kN)	Área Bruta	Área Líquida	Tensão de ruptura (MPa)	
					Área	Área
					Bruta	Líquida
PrSE 44	Pr 01	144	616	259,57	2,34	5,55
	Pr02	168	616	259,57	2,73	6,47
	Pr03	186	616	259,57	3,02	7,17
	Pr04	138	616	259,57	2,24	5,32
	Pr05	128	616	259,57	2,08	4,93
				Média	2,48	5,89
				D.P.	0,38	0,91
				C.V.(%)	15,50	15,50

Os prismas sem enchimento com blocos de 29 cm apresentaram uma tensão de ruptura média na área bruta de 2,72MPa enquanto que para prismas com blocos de 44 cm a resistência foi de 2,48 MPa. Ou seja, o prisma de blocos de 29 cm apresentaram uma resistência 12% maior. Pode-se observar que também a resistência na área líquida foi de 12% maior na parede com bloco de 29.

O coeficiente de variação, que tem por objetivo medir a dispersão dos ensaios realizados, foi de 24,94% para o prisma de blocos de 29 cm e de 15,50% para o prisma de blocos de 44 cm de comprimento. Segundo Astroza, citado por Jaworoski, a dispersão dos ensaios de prismas submetidos à compressão é avaliada pelo coeficiente de variação (CV), sendo valores menores que 10% considerados excelentes, valores entre 10% e 15% bons, sendo limite o valor de 20%. Porém outros autores como Gomes(1983) e Franco (1987) disseram que o coeficiente de

variação pode chegar a 30% para prismas. O que indica que ambas as variações obtidas estão dentro dos padrões esperados.

### 5.2.2 Prismas com Enchimento

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão dos prismas com enchimento são apresentados nas tabelas 23 e 24.

**Tabela 23 - Resumo das resistências à compressão dos prismas com enchimento de argamassa com bloco de 29 cm**

	Prisma	Carga (kN)	Área Bruta	Área Líquida	Tensão de ruptura (MPa)	
					Área Bruta	Área Líquida
PrCE 29	Pr01	176	406	168,09	4,33	10,47
	Pr02	176	406	168,09	4,33	10,47
	Pr03	196	406	168,09	4,83	11,66
	Pr04	158	406	168,09	3,89	9,40
	Pr05	130	406	168,09	3,20	7,73
				Média	4,12	9,95
				D.P.	0,61	1,32
				C.V (%)	14,81	13,25



**Tabela 24 - Resumo das resistências à compressão do prisma com enchimento de argamassa com bloco de 44 cm**

	Prisma	Carga (kN)	Área Bruta	Área Líquida	Tensão de ruptura (MPa)	
					Área Bruta	Área Líquida
PrCE 44	Pr 01	234	616	259,57	3,80	9,01
	Pr02	241	616	259,57	3,91	9,28
	Pr03	268	616	259,57	4,35	10,32
	Pr04	248	616	259,57	4,03	9,55
	Pr05	286	616	259,57	4,64	11,02
				Média	4,15	9,84
				D.P.	0,35	0,82
				C.V (%)	8,34	8,34

O PrCE29 apresentou resistência média de 4,12 MPa na área bruta e o PrCE44 foi de 4,15 MPa, ou seja, a diferença na resistência à compressão entre os dois tipos de bloco foi de apenas 0,78%. O coeficiente de variação também está dentro dos padrões esperados e definidos anteriormente, e foi em média 14,81% para o PrCE29, e de 8,34% para o PrCE44, garantindo que o ensaio foi uniforme.

É importante ressaltar que para ambos os casos houve um aumento de resistência devido ao enchimento com a mesma argamassa utilizada na junta, e que este aumento foi de 51% para o prisma de 29 cm e de 67% para o prisma de 44 cm. Resultado que se mostrou superior ao encontrado por Grohmann (2006) que conseguiu utilizando graute, um aumento máximo de 52%. Os resultados parecem indicar que é possível sim a utilização da argamassa de assentamento, com o objetivo de aumentar a resistência do prisma.

### 5.3 Resultados do Ensaio de Resistência à Compressão de Pequenas Paredes

#### 5.3.1 Pequenas Paredes sem enchimento

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão das pequenas paredes sem enchimentos são mostrados nas tabelas 25 e 26.

**Tabela 25 - Resumo das resistências à compressão de pequenas paredes sem enchimento com bloco de 29 cm**

	Pequenas paredes	Carga (kN)	Área Bruta	Área Líquida	Tensão de ruptura (MPa)	
					Área Bruta	Área Líquida
PadSE 29	Pad 01	188	616	307,49	3,05	6,11
	Pad02	190	616	307,49	3,08	6,18
	Pad03	184	616	307,49	2,99	5,98
	Pad04	198	616	307,49	3,21	6,44
	Pad05	152	616	307,49	2,47	4,94
				Média	2,96	5,93
				D.P.	0,29	0,58
				C.V.(%)	9,73	9,73

**Tabela 26 - Resumo das resistências à compressão de pequenas paredes sem enchimento com bloco de 44 cm**

	Pequenas paredes	Carga (kN)	Área Bruta	Área Líquida	Tensão de ruptura (MPa)	
					Área Bruta	Área Líquida

PadSE44	Pad01	184	826	398,97	2,23	4,61
	Pad02	178	826	398,97	2,15	4,46
	Pad03	206	826	398,97	2,49	5,16
	Pad04	194	826	398,97	2,35	4,86
	Pad05	238	826	398,97	2,88	5,97
				Média	2,42	5,01
				D.P.	0,29	0,60
				C.V.(%)	11,87	11,87

Para a PadSE29 a tensão média de ruptura foi de 2,96 MPa, e o encontrado para a PadSE44 foi de 2,42 MPa. Nos dois casos a tensão é medida na área bruta. Para as pequenas paredes com bloco de 44 cm tem-se uma resistência à compressão, 20% menor do que nas de bloco de 29. Esta diferença nas paredes apresentou-se mais acentuada do que nos prismas onde a diferença foi de 12%. O coeficiente de variação encontra-se dentro do esperado sendo de 9,73% para a PadSE29 e 11,87 % para PadSE44, indicando assim uniformidade nas pequenas paredes ensaiadas.

### 5.3.2 Pequenas Paredes com Enchimento

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão das pequenas paredes com enchimentos são mostrados nas tabelas 27 e 28.

**Tabela 27- Resumo das resistências à compressão da pequena parede com enchimento de argamassa com bloco de 29 cm**

	Pequenas paredes	Carga (kN)	Área Bruta	Área Líquida	Tensão de ruptura (MPa)	
					Área Bruta	Área Líquida
PadCE 29	Pad 01	255	616	307,49	4,14	8,29
	Pad02	278	616	307,49	4,51	9,04
	Pad03	234	616	307,49	3,80	7,61
	Pad04	244	616	307,49	3,96	7,94
	Pad05	270	616	307,49	4,38	8,78
				Média	4,16	8,33
				D.P.	0,29	0,59
				C.V.(%)	7,06	7,06

**Tabela 28 - Resumo das resistências à compressão da pequena parede com enchimento de argamassa com bloco de 44 cm**

	Pequenas paredes	Carga (kN)	Área Bruta	Área Líquida	Tensão de ruptura (MPa)	
					Área Bruta	Área Líquida
PadCE 44	Pad 01	272	826	398,97	3,29	6,82
	Pad02	330	826	398,97	4,00	8,27
	Pad03	438	826	398,97	5,30	10,98
	Pad04	300	826	398,97	3,63	7,52

	Pad05	320	826	398,97	3,87	8,02
				Média	4,02	8,32
				D.P.	0,77	1,59
				C.V. (%)	19,05	19,05

Na PadCE29 a tensão de ruptura foi em média de 4,16 MPa e da PadCE44 foi de 4,02 MPa ambas na área bruta. Houve um aumento da resistência à compressão de apenas 3%, resultado próximo ao obtido em prismas com enchimento. Entretanto nas pequenas paredes o bloco de 29 apresentou um desempenho um pouco melhor. E as dispersões presentes nos ensaios podem ser consideradas satisfatórias sendo de 7,06 % para a PadCE29 e de 19,05 % para a PadCE44.

Assim como ocorreu nos prismas nas pequenas paredes também houve um aumento da resistência devido ao preenchimento dos blocos com argamassa de assentamento. Este aumento foi de 41% para a PadCE29 e de 66% para a PadCE44, evidenciando que assim como no prisma, nas pequenas paredes o aumento de resistência com o preenchimento apresenta um desempenho melhor utilizando-se o bloco de 44cm na moldagem. Também neste caso o desempenho foi superior ao ensaio de prismas grauteado realizado por Grohmann (2006).

## 5.4 Resultados do Ensaio de Resistência à Compressão das Paredes

### 5.4.1 Parede sem Enchimento

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão das paredes sem enchimentos são mostrados nas tabelas 29 e 30.

**Tabela 29 - Resumo das resistências à compressão da parede sem enchimento com bloco de 29 cm**

Parede	Carga (kN)	Área Bruta	Área Líquida	Tensão de ruptura (MPa)	
				Área Bruta	Área Líquida

PSE29	Parede 01	410	1680	672,36	2,44	6,10
	Parede 02	400	1680	672,36	2,38	5,95
	Parede 03	340	1680	672,36	2,02	5,06
				Média	2,28	5,70
				D.P.	0,23	0,56
				C.V.(%)	9,88	9,88

**Tabela 30 - Resumo das resistências à compressão da parede sem enchimento com bloco de 44 cm**

	Parede	Carga (kN)	Área Bruta	Área Líquida	Tensão de ruptura (MPa)	
					Área Bruta	Área Líquida
PSE44	Parede01	310	1680	687,23	1,85	4,51
	Parede02	310	1680	687,23	1,85	4,51
	Parede03	344	1680	687,23	2,05	5,01
				Média	1,91	4,68
				D.P.	0,12	0,29
				C.V.(%)	6,11	6,11

A PSE29 apresentou uma tensão de ruptura na área bruta de 2,28 MPa, e a PSE44 de 1,91 MPa, ou seja, houve uma redução de 15% em relação a PSE29. A variação nos resultados também foi satisfatória, sendo o maior coeficiente de variação o da PSE29 que foi de apenas 9,88%.

A resistência média da parede sem enchimento foi de 84% da resistência obtida para o prisma, quando o bloco utilizado foi o de 29 cm. E de 77% quando se utilizou o bloco de 44 cm. Sendo o prisma um dos fatores utilizados para estimar a resistência de uma parede em alvenaria

estrutural, o prisma construído com o bloco de 29 cm apresentou um melhor fator de eficiência.

#### 5.4.2 Parede com Enchimento

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão das paredes com enchimentos são mostrados nas tabelas 31 e 32.

**Tabela 31- Resumo das resistências à compressão da parede com enchimento de argamassa com bloco de 29 cm**

	Parede	Carga (kN)	Área Bruta	Área Líquida	Tensão de ruptura (MPa)	
					Área Bruta	Área Líquida
PCE29	parede01	520	1680	672,36	3,10	7,73
	parede02	542	1680	672,36	3,23	8,06
	parede03	622	1680	672,36	3,70	9,25
				Média	3,34	8,35
				D.P.	0,32	0,80
				C.V.(%)	9,56	9,56

**Tabela 32 - Resumo das resistências à compressão da parede com enchimento de argamassa com bloco de 44 cm**

	Parede	Carga (kN)	Área Bruta	Área Líquida	Tensão de ruptura (MPa)	
					Área Bruta	Área Líquida
PCE44	Parede01	460	1680	687,23	2,74	6,69
	Parede02	456	1680	687,23	2,71	6,64
	Parede03	490	1680	687,23	2,92	7,13

Média	2,79	6,82
D.P.	0,11	0,27
C.V.(%)	3,97	3,97

Na PCE29 a resistência na área bruta foi de 3,34 MPa a PCE44 a foi de 2,79 MPa, ou seja para as paredes com enchimento de argamassa com bloco de 44 cm os resultados foram 16% menores. O aumento da resistência proporcionado pelo enchimento foi de 46% para a PCE29 e PCE44, ou seja, ambos os tipos de parede apresentaram em média o mesmo aumento de resistência. Mostrando que para paredes o preenchimento teve o mesmo desempenho para o bloco de 29 cm e o bloco de 44 cm. As paredes com enchimentos tiveram uma resistência equivalente a 81% da resistência do prisma no caso da moldagem utilizando o bloco de 29 cm. E um desempenho de 67% do prisma com enchimento, para a moldagem com bloco de 44 cm. Novamente o desempenho da parede utilizando o bloco de 29 cm foi mais próximo do desempenho do prisma utilizando o mesmo bloco.

O coeficiente de variação assim como em todos os outros ensaios se manteve baixo sendo de 9,56% na PCE29 e de apenas 3,97% para PCE44. Em todos os ensaios realizados a variação de cada amostra foi baixa.

### 5.5 Consumo de argamassa

Na tabela 33 são apresentados os consumos de argamassa nas paredes com blocos de 29 e 44cm e é possível observar que a parede com bloco de 44cm consumiu menor volume de argamassa.

**Tabela 33 - Consumo de argamassa das paredes com blocos de 29 e 44cm**

	Volume de argamassa utilizado (cm <sup>3</sup> )	%
Parede 29	32.396	100
Parede 44	28.672	88,5
Redução do volume gasto com o uso do bloco de 44		11,5



## 5.6 Fissuração

Durante os ensaios em pequenas paredes notou-se que a maioria sofria fissuras antes do rompimento. E as cargas de fissuração ficaram em torno de 87% da carga de ruptura para pequenas paredes construídas com bloco de 29cm, e de 86% para pequenas paredes construídas com bloco de 44cm, mostrando que não houve diferenças, ambas apresentam o mesmo comportamento em relação a fissuração.

A tensão mínima na área bruta, que provocou fissuração da estrutura foi de 2,72 MPa para o bloco de 29 cm e de 1,00 MPa para o bloco de 44cm. As relações entre carga e fissuração para as pequenas paredes serão apresentadas na tabelas a seguir.

**Tabela 34 - Relação entre carga de ruptura e carga de fissuração para PadSE29**

	Pequenas Paredes	Carga de ruptura (kN)( $Q_{rup}$ )	Carga de fissuração (kN)( $Q_{fiss}$ )	$Q_{fiss}/Q_{rup}$
PadSE29	Pequena parede 01	188	180	0,96
	Pequena parede 02	190	165	0,87
	Pequena parede 03	184	140	0,76
	Pequena parede 04	220	150	0,68
	Pequena parede 05	152	140	0,92
	Média	186,8	155	0,84
	C.V.(%)	12,93	11,17	13,66

**Tabela 35 - Relação entre carga de ruptura e carga de fissuração para PadCE29**

	Pequenas paredes	Carga de ruptura (kN)( $Q_{rup}$ )	Carga de fissuração (kN)( $Q_{fiss}$ )	$Q_{fiss}/Q_{rup}$
PadCE29	Pequena parede 01	255	196	0,77
	Pequenas parede 02	278	não fissurou	-
	Pequenas parede 03	234	221	0,94
	Pequenas parede 04	244	224	0,92
	Pequenas parede 05	270	200	0,74
	Media	256,2	210,25	0,84
	C.V.(%)	7,06	6,80	12,23

**Tabela 36 - Relação entre carga de ruptura e carga de fissuração para PadCE44**

	Pequenas paredes	Carga de ruptura (kN)( $Q_{rup}$ )	Carga de fissuração (kN) ( $Q_{fiss}$ )	$Q_{fiss}/Q_{rup}$
PadCE44	Pequena parede 01	272	270	0,99
	Pequena parede 02	330	254	0,77
	Pequena parede 03	438	350	0,80
	Pequena parede 04	300	não fissurou	-
	Pequena parede 05	320	240	0,75
	Média	319	278,50	0,83
	C.V.(%)	21,19	21,28	3,20

**Tabela 37- Relação entre carga de ruptura e carga de fissuração para PadSE44**

	Pequenas paredes	Carga de ruptura (kN)( $Q_{rup}$ )	Carga de fissuração (kN) ( $Q_{fiss}$ )	$Q_{fiss}/Q_{rup}$
PadSE44	Pequena parede 01	184	180	0,98
	Pequena parede 02	178	168	0,94
	Pequena parede 03	206	190	0,92
	Pequena parede 04	194	não fissurou	-
	Pequena parede 05	238	230	0,97
	Média	200	192	0,95
	C.V.(%)	11,87	14,00	2,60

## 5.7 Fator de Eficiência

### 5.7.1 Blocos sem Enchimento

Segundo Ramalho e Corrêa (2003) a resistência do bloco é um dos principais fatores que interferem na resistência à compressão de paredes. E a fim de avaliar esta interferência, utiliza-se o fator de eficiência que é dado pela razão entre a resistência da parede e a resistência do bloco.

Fatores tais como, a resistência do bloco, geometria e tipo de materiais fazem com que os resultados obtidos variem bastante. Geralmente o fator de eficiência de blocos cerâmicos é menor do que os de blocos de concreto.

A tabela a seguir mostra os resultados obtidos para a tensão de ruptura dos ensaios realizados para o bloco, o prisma, a pequena parede e a parede sem enchimentos. E posteriormente é outra tabela é apresentada com os respectivos fatores de eficiência.

**Tabela 38 - Resistência média do bloco e das estruturas sem enchimentos**

Resistência utilizando blocos sem enchimento				
	Resistência do bloco (MPa)	Resistência do prisma (MPa)	Resistência da pequena parede (MPa)	Resistência da parede(MPa)
<b>Bloco de 29</b>	6,51	2,72	2,96	2,28
<b>Bloco de 44</b>	6,37	2,48	2,42	1,91

**Tabela 39 - Eficiência do bloco sem enchimento**

Fator de eficiência com blocos sem enchimento			
	Prisma	Pequena parede	Parede
<b>Bloco de 29</b>	0,42	0,45	0,35
<b>Bloco de 44</b>	0,39	0,39	0,30

O maior fator de eficiência foi encontrado para a PadSE29 que foi de 0,45 e o menor foi para a PSE44 que foi de 0,30. E observa-se ainda que o fator de eficiência utilizando o bloco de 29 cm, foi maior em todos os casos. Os resultados obtidos aqui estão em consonância com aqueles apresentados por Correa e Ramalho (2003), para paredes de blocos cerâmicos produzidos no Brasil estão entre 0,2 a 0,5 para paredes e de 0,3 a 0,6 para prismas. Outros autores também encontraram resultados na mesma faixa de valores do que o pesquisado neste trabalho Grohmann (2006), por exemplo, encontrou para prismas sem enchimentos o fator de eficiência de 0,42 e de 0,49 dependendo da argamassa na junta utilizada. Gomes (1983) encontrou fator de eficiência para paredes variando de 16 a 39%.

### 5.7.2 Blocos com Enchimento

A seguir é mostrada uma tabela com a resistência à compressão do bloco, prisma, pequena parede e parede e posteriormente uma tabela com seus respectivos fatores de eficiência.

**Tabela 40 - Resistência média do bloco e das estruturas com enchimentos**

Resistência utilizando blocos com enchimento				
	Resistência do bloco (MPa)	Resistência do prisma (MPa)	Resistência da pequena parede (MPa)	Resistência da parede (MPa)
Bloco de 29	6,51	4,12	4,16	3,34
Bloco de 44	6,37	4,15	4,02	2,79

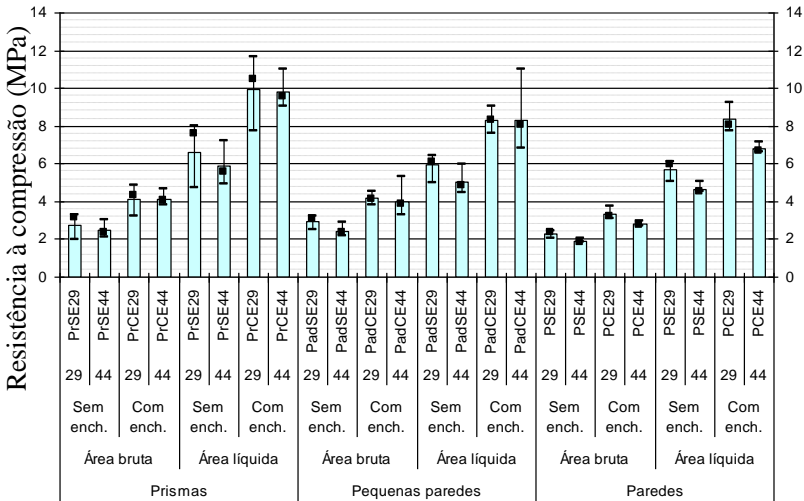
**Tabela 41 - Eficiência do bloco com enchimento**

Fator de eficiência utilizando blocos com enchimento			
	Prisma	Pequena parede	Parede
Bloco de 29	0,63	0,64	0,51
Bloco de 44	0,65	0,63	0,43

O maior fator de desempenho foi encontrado para o PrCE44 que foi de 0,65 e o menor valor foi encontrado para a PCE44 que foi de 0,43. Os resultados para o prisma com enchimento foram próximos do resultado encontrado por Grohmann (2006) que obteve valores entre 0,47 e 0,64 dependendo da resistência da argamassa e do graute utilizado. Garcia(2000), encontrou para paredes grauteadas valores na faixa de 0,37 a 0,47, valores próximos ao encontrado neste trabalho, que utilizou paredes preenchidas com argamassa de assentamento. Logo, a utilização da argamassa para o preenchimento mostrou um desempenho similar ao graute em relação ao fator de eficiência.

## 5.8 Comparativo entre as resistências à compressão

Na figura 25 são apresentados os resultados de resistência à compressão dos primas, pequenas paredes e paredes. Analisando a figura percebe-se que, de certa forma, a resistência à compressão dos primas, pequenas paredes e paredes de blocos de 44 cm tiveram resultados próximos aos primas, pequenas paredes e paredes de blocos de 29 cm.



**Figura 26 - Comparativo da resistência à compressão dos primas, pequenas paredes e paredes.**

## 5.9 Módulo de Elasticidade

### 5.9.1 Parede

No ensaio realizado nas paredes, devido ao fato da mesma ter um porte maior foram usados seis relógios comparadores, indicados no trabalho por R1,R2,R3,R4,R5,e R6 e eles foram distribuídos na parede de acordo com as figuras 26 e 27.



**Figura 27 - Posicionamento dos relógios comparadores R1, R2, R5, R6.**



**Figura 28 - Posicionamento dos relógios comparadores R3 e R4.**

Cada relógio foi colocado na altura média de cada face da parede. A seguir são apresentadas as tabelas 42 e 43 o módulo de elasticidade médio das paredes de 29cm e 44cm. Os resultados mostram os valores de módulo de elasticidade encontrado para as paredes, sendo que o mesmo foi calculado a partir dos gráficos tensão x deformação detalhados nas Figuras 28, 29, 30 e 31.

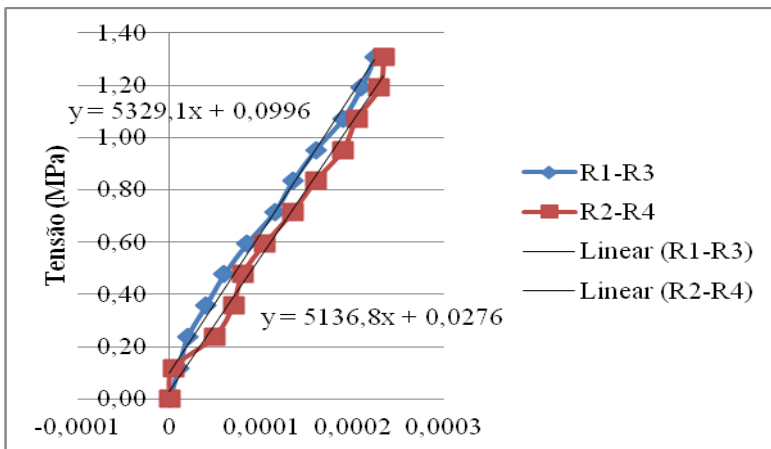
**Tabela 42 - Módulo de elasticidade das paredes de bloco de 29 cm**

Paredes	Módulo de elasticidade (MPa)		Percentual (%)
	PSE29	PCE29	
Parede 01	2416	4555	53,0
Parede 02	2464	4845	50,9
Parede 03	2704	5233	51,7
Média	2528	4877	52

**Tabela 43 - Módulo de elasticidade das paredes de bloco de 44 cm**

Paredes	Módulo de elasticidade (MPa)		Percentual (%)
	PSE44	PCE44	
Parede 01	1161	4119	28,2
Parede 02	1913	3155	60,6
Parede 03	1964	3597	54,6
Média	1679	3623	48

Como ocorreu nas pequenas paredes, nas paredes o preenchimento dos blocos com argamassa de assentamento, fez com que aumentasse o módulo de elasticidade em média de 48% para a parede construída com bloco de 44 cm preenchido, e de 52 % para o bloco de 29 preenchido, sendo que o maior aumento foi de 60,6 % para parede 02 com bloco de 44 cm. Para ambos os casos foram avaliados o módulo de elasticidade observado a partir da deformação média medida em R1-R3 e R2-R4. Abaixo são mostrados gráficos de tensão x deformação, medidos em R1-R3 e em R2-R4, que exemplificam este aumento.

**Figura 29 - Gráfico tensão x deformação PCE29 referente à R1-R3 e R2-R4**



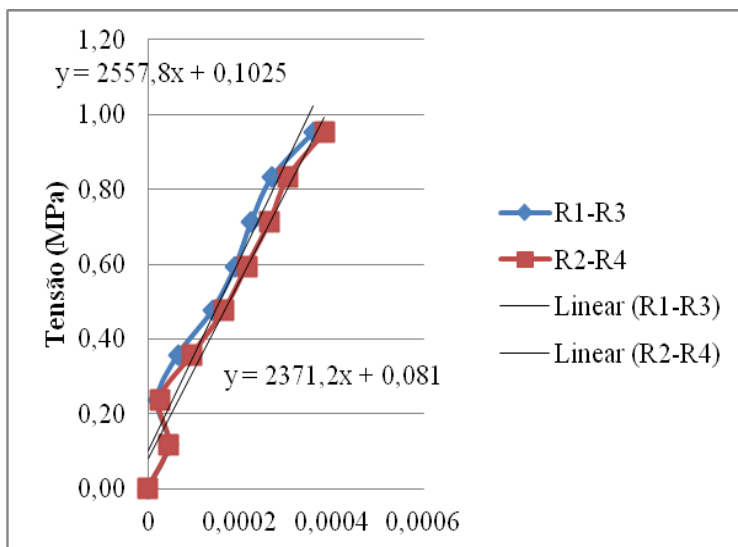


Figura 30 - Gráfico tensão x deformação PSE29 referente à R1-R3 e R2-R4

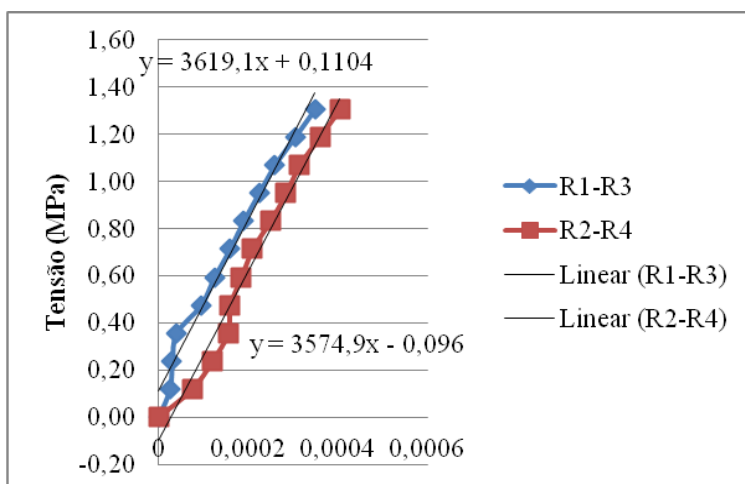


Figura 31 - Gráfico tensão x deformação PCE44 referente à R1-R3 e R2-R4

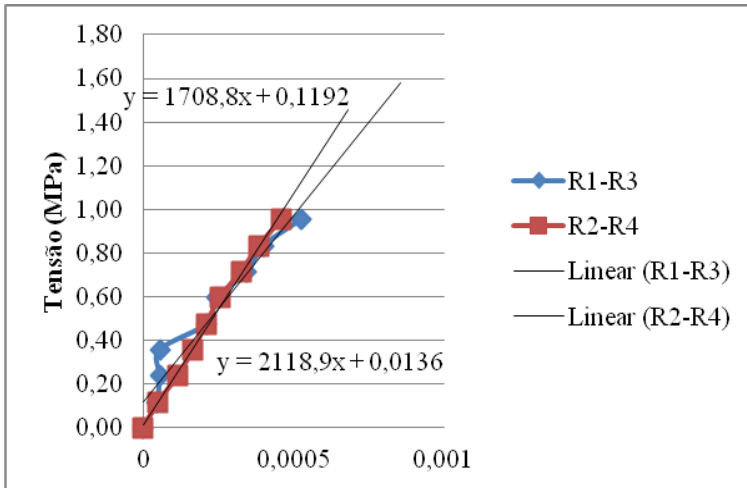


Figura 32 - Gráfico tensão x deformação PSE44 referente à R1-R3 e R2-R4

### 5.10 Modo de Ruptura

Uma análise do comportamento da alvenaria submetida aos esforços de compressão é apresentada, bem como as causas, e o modo de ruptura das estruturas. Para as paredes, pequenas paredes e prismas sem enchimentos como sugere o modelo de Hilsdorf (1967) a argamassa tende a se deformar lateralmente, entretanto, o bloco por ter maior módulo de elasticidade, restringe esta deformação., gerando esforços de tração que levam o bloco à ruptura. Observou-se também durante os ensaios, o surgimento de pequenos estalos e fissuras, antes da ruptura dos prismas das pequenas paredes e das paredes.

A foto abaixo mostra um parede sem enchimento, em que a ruptura da parede se deu por tração no bloco. As demais fotos mostram como ficaram os corpos de prova após o rompimento. E na figura 32 pode ser observado o surgimento de trincas verticais.



**Figura 33 - Rompimento e surgimento de fissura vertical da PSE44.**

Já para os ensaios em paredes, pequenas paredes e prismas preenchidos o modo de ruptura é típica da apresentada na teoria de HAMID e DRYSDALE (1979) que explica a ruptura de blocos de concreto grauteados.

Todavia uma análise similar pode ser estabelecida para blocos cerâmicos preenchidos com a mesma argamassa de assentamento, já que ambos têm a mesma função. Segundo os autores o graute ao ser submetido a forças de compressão tende a se expandir ao atingir sua resistência à compressão, devido ao surgimento de micro fissuras interna. Como o bloco tem características diferentes, deforma-se menos, confinando o graute. Desta forma o rompimento ocorre por tensões de tração no bloco geradas devido às interações bloco/graute, ou no caso deste estudo entre o bloco e a argamassa de preenchimento. Em alguns casos ocorre então a deslocamento do bloco da estrutura. Quando o graute não atinge sua capacidade resistiva o rompimento é devido à tração no bloco exercida pela argamassa de assentamento, semelhante ao que ocorria para as estruturas sem preenchimento. Ocorre a formação de uma zona frágil do graute, onde o graute entra em contato com a junta de argamassa possivelmente por uma alta absorção neste local. Para grautes mais fracos esta zona costuma ser o ponto de ruptura.

Também foi possível durante os ensaios, verificar o surgimento de fissuras e estalos antes de ocorrer à ruptura. Abaixo são mostradas fotos de prisma e parede que caracterizam o rompimento figuras 33 e 34.



**Figura 34 - Rompimento do Pr44CE.**



**Figura 35 - Surgimento de trincas da PCE29.**

## 5.11 Análise Estatística

A análise estatística dos dados foi feita utilizando o programa SPSS (versão 13.0). A normalidade dos dados foi testada pelo método *Shapiro-Wilk*. Uma vez que a distribuição dos dados foi normal fez-se a comparação das médias pela análise de variância (ANOVA) e o teste de *Tukey* como pós-teste para verificar onde se encontravam as diferenças.

Os resultados de resistência à compressão para primas, pequenas paredes e paredes, considerando a área bruta encontram-se representados nas tabelas 44, 45 e 46.

**Tabela 44 - Valores de resistência à compressão para prismas com e sem enchimento considerando a área bruta.**

Prisma	Média	s	p <sup>1</sup>	p <sup>2</sup>	p <sup>3</sup>	p <sup>4</sup>	p <sup>5</sup>	p <sup>6</sup>
PrSE29	2,72	0,68	0,005*	0,896	0,013*	-	-	-
PrCE29	4,12	0,61	-	-	-	0,001*	0,960	-
PrSE44	2,48	0,38	-	-	-	-	-	0,003*
PrCE44	3,95	0,47	-	-	-	-	-	-

PrSE29: Prisma sem enchimento 29; PrCE29: Prisma com enchimento 29; PrSE44: Prisma sem enchimento 44; PrCE44: Prisma com enchimento 44

\* $p < 0,05$ . Os dados paramétricos são apresentados como média e desvio padrão (s) Teste *Tukey*.

p<sup>1</sup>: PrSE29 x PrCE29; p<sup>2</sup>: PrSE29 x PrSE44; p<sup>3</sup>: PrSE29 x PrCE44; p<sup>4</sup>: PrCE29 x PrSE44; p<sup>5</sup>: PrCE29 x PrCE44; p<sup>6</sup>: PrSE44 x PrCE44.

A resistência à compressão para o PrCE29 foi maior quando comparada ao PrSE29 ( $p=0,005$ ). Da mesma forma a média dos valores de resistência à compressão do PrCE44 foi maior em relação ao PrSE29 e PrSE44 ( $p=0,013$  e  $p=0,003$ , respectivamente.). Finalmente, a resistência à compressão para o PrCE29 também foi maior quando comparada ao PrSE44 ( $p=0,001$ ) (Tabela 44).

**Tabela 45 - Valores de resistência à compressão para pequenas paredes com e sem enchimento considerando a área bruta.**

Pequenas Paredes	Média	s	p <sup>1</sup>	p <sup>2</sup>	p <sup>3</sup>	p <sup>4</sup>	p <sup>5</sup>	p <sup>6</sup>
PadSE29	2,96	0,28	0,004*	0,280	0,010*	-	-	-
PadCE29	4,16	0,29	-	-	-	0,000*	0,961	-
PadSE44	2,42	0,29	-	-	-	-	-	0,000*
PadCE44	4,02	0,77	-	-	-	-	-	-

PadSE29: Pequenas Paredes sem enchimento 29; PadCE29: Pequenas Paredes com enchimento 29; PadSE44: Pequenas Paredes sem enchimento 44; PadCE44: Pequenas Paredes com enchimento 44

\*p< 0,05. Os dados paramétricos são apresentados como média e desvio padrão (s) Teste *Tukey*.

p<sup>1</sup>: PadSE29 x PadCE29; p<sup>2</sup>: PadSE29 x PadSE44; p<sup>3</sup>: PadSE29 x PadCE44; p<sup>4</sup>: PadCE29 x PadSE44; p<sup>5</sup>: PadCE29 x PadCE44; p<sup>6</sup>: PadSE44 x PadCE44.

A resistência à compressão da PadCE29 foi maior quando comparada à PadSE29 (p=0,004). Da mesma forma a média dos valores de resistência à compressão da PadCE44 foi maior em relação à PadSE29 e PadSE44 (p=0,010 e p=0,000, respectivamente). Finalmente, a resistência à compressão da PadCE44 também foi maior quando comparada à PadSE44 (p=0,000).

**Tabela 46 - Valores de resistência à compressão para paredes com e sem enchimento considerando a área bruta.**

Parede	Média	s	p <sup>1</sup>	p <sup>2</sup>	p <sup>3</sup>	p <sup>4</sup>	p <sup>5</sup>	p <sup>6</sup>
PSE29	2,28	0,23	0,001*	0,228	0,070	-	-	-
PCE29	3,34	0,32	-	-	-	0,000*	0,049*	-
PSE44	1,92	0,11	-	-	-	-	-	0,004*
PCE44	2,79	0,11	-	-	-	-	-	-

PSE29: Parede sem enchimento 29; PCE29: Parede com enchimento 29; PSE44: Parede sem enchimento 44; PCE44: Parede com enchimento 44.

\*p< 0,05. Os dados paramétricos são apresentados como média e desvio padrão (s) (Teste *Tukey*).

$p^1$ : PSE29 x PCE29;  $p^2$ : PSE29 x PSE44;  $p^3$ : PSE29 x PCE44;  $p^4$ : PCE29 x PSE44;  $p^5$ : PCE29 x PCE44;  $p^6$ : PSE44 x PCE44.

A resistência à compressão para a PCE29 foi maior quando comparada à PSE29 ( $p=0,001$ ). Da mesma forma a média dos valores de resistência à compressão da PCE29 foi maior em relação à PSE44 e PCE44 ( $p=0,000$  e  $p=0,049$ , respectivamente.). Finalmente, a resistência à compressão para a PCE44 também foi maior quando comparada à PSE44 ( $p=0,004$ ) (Tabela 46).

As comparações de resistência à compressão para prisma, pequenas paredes e paredes também foi realizada considerando a área líquida, conforme representa as tabelas 47, 48 e 49, respectivamente.

**Tabela 47 - Valores de resistência à compressão para prismas com e sem enchimento considerando a área líquida.**

Prisma	Média	s	$p^1$	$p^2$	$p^3$	$p^4$	$p^5$	$p^6$
PrSE29	6,58	1,64	0,009*	0,435	0,004*	-	-	-
PrCE29	9,95	1,47	-	-	-	0,001*	0,888	-
PrSE44	5,89	0,91	-	-	-	-	-	0,000*
PrCE44	9,84	0,82	-	-	-	-	-	-

PrSE29: Prisma sem enchimento 29; PrCE29: Prisma com enchimento 29; PrSE44: Prisma sem enchimento 44; PrCE44: Prisma com enchimento 44

\* $p < 0,05$ . Os dados paramétricos são apresentados como média e desvio padrão (s) Teste *Tukey*.

$p^1$ : PrSE29 x PrCE29;  $p^2$ : PrSE29 x PrSE44;  $p^3$ : PrSE29 x PrCE44;  $p^4$ : PrCE29 x PrSE44;  $p^5$ : PrCE29 x PrCE44;  $p^6$ : PrSE44 x PrCE44.

A resistência à compressão para o PrCE29 foi maior quando comparada ao PrSE29 ( $p=0,009$ ). Da mesma forma a média dos valores de resistência à compressão do PrCE44 foi maior em relação ao PrSE29 e PrSE44 ( $p=0,004$  e  $p=0,001$ , respectivamente.). Finalmente, a resistência à compressão para o PrCE44 também foi maior quando comparada ao PrSE44 ( $p=0,000$ ) (Tabela 47).

**Tabela 48 - Valores de resistência à compressão para pequenas paredes com e sem enchimento considerando a área líquida.**

Pequenas Paredes	Média	s	p <sup>1</sup>	p <sup>2</sup>	p <sup>3</sup>	p <sup>4</sup>	p <sup>5</sup>	p <sup>6</sup>
PadSE29	5,93	0,58	0,050	0,039*	0,013*	-	-	-
PadCE29	7,73	1,65	-	-	-	0,009*	0,580	-
PadSE44	5,01	0,60	-	-	-	-	-	0,002*
PadCE44	8,32	1,59	-	-	-	-	-	-

PadSE29: Pequenas Paredes sem enchimento 29; PadCE29: Pequenas Paredes com enchimento 29; PadSE44: Pequenas Paredes sem enchimento 44; PadCE44: Pequenas Paredes com enchimento 44

\* $p < 0,05$ . Os dados paramétricos são apresentados como média e desvio padrão (s) Teste *Tukey*.

p<sup>1</sup>: PadSE29 x PadCE29; p<sup>2</sup>: PadSE29 x PadSE44; p<sup>3</sup>: PadSE29 x PadCE44; p<sup>4</sup>: PadCE29 x PadSE44; p<sup>5</sup>: PadCE29 x PadCE44; p<sup>6</sup>: PadSE44 x PadCE44.

A resistência à compressão da PadSE29 foi maior quando comparada à PadSE44 ( $p=0,039$ ). Da mesma forma a média dos valores de resistência à compressão da PadCE44 foi maior em relação à PadSE29 e PadSE44 ( $p=0,013$  e  $p=0,002$ , respectivamente). Finalmente, a resistência à compressão da PadCE29 também foi maior quando comparada à PadSE44 ( $p=0,009$ ).

**Tabela 49 - Valores de resistência à compressão para paredes com e sem enchimento considerando a área líquida.**

Parede	Média	s	p <sup>1</sup>	p <sup>2</sup>	p <sup>3</sup>	p <sup>4</sup>	p <sup>5</sup>	p <sup>6</sup>
PSE29	5,70	0,56	0,009*	0,048*	0,036*	-	-	-
PCE29	8,34	0,80	-	-	-	0,002*	0,035*	-
PSE44	4,68	0,29	-	-	-	-	-	0,001*
PCE44	6,82	0,27	-	-	-	-	-	-

PSE29: Parede sem enchimento 29; PCE29: Parede com enchimento 29; PSE44: Parede sem enchimento 44; PCE44: Parede com enchimento 44



\* $p < 0,05$ . Os dados paramétricos são apresentados como média e desvio padrão (s) Teste *Tukey*.

$p^1$ : PSE29 x PCE29;  $p^2$ : PSE29 x PSE44;  $p^3$ : PSE29 x PCE44;  $p^4$ : PCE29 x PSE44;  $p^5$ : PCE29 x PCE44;  $p^6$ : PSE44 x PCE44.

A resistência à compressão para a PCE29 foi maior quando comparada à PSE29 ( $p=0,009$ ) e a resistência da PSE29 foi maior quando comparada a PSE44 ( $p=0,048$ ). Da mesma forma a média dos valores de resistência à compressão da PCE29 foi maior em relação à PSE44 e PCE44 ( $p=0,002$  e  $p=0,035$ , respectivamente.). Finalmente, a resistência à compressão para a PCE44 também foi maior quando comparada à PSE29 e PSE44 ( $p=0,036$  e  $p=0,001$ ) (Tabela 49).



## 6 CONCLUSÕES

A partir dos dados obtidos nos ensaios e análise realizada, pode-se concluir que:

- A utilização da família de blocos de 29 não necessita de elementos compensadores, podendo desta forma ser usada em projeto modulado em 15cm (1,5M);

.O bloco de 44 cm, até então tido como elemento de encontros em T, mostrou-se adequado para uso como bloco base para uso em alvenaria estrutural;

- os prismas, pequenas paredes e paredes confeccionados com blocos de 29 cm de comprimento apresentam resistência à compressão ligeiramente superiores aos confeccionados com blocos de 44 e com fator de eficiência também levemente superior;

- o enchimento dos blocos com a argamassa de assentamento aumenta significativamente a resistência à compressão dos prismas, pequenas paredes e paredes. A rigidez da alvenaria e o fator de eficiência também são aumentados com o preenchimento dos blocos;

- o consumo de argamassa na produção de paredes com blocos de 44 cm é reduzido em relação as paredes com blocos de 29 cm;

- é possível, portanto, a utilização dos blocos de 44 cm como bloco base para a execução de paredes de alvenaria estrutural, obtendo-se maior liberdade de amarração, ressaltando-se que deve ser levada em consideração a redução na resistência à compressão da alvenaria para este tipo de bloco.



## **7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

A seguir são apresentados sugestões para trabalhos futuros:

- a. Estudos utilizando-se blocos de concreto preenchidos com argamassa de assentamento, com vistas a analisar a possibilidade de eliminar o graute no processo construtivo da alvenaria estrutural;
- b. Desenvolver estudos para avaliar a produtividade e custos com materiais, de forma a verificar as vantagens financeiras da utilização de blocos maiores, e de preenchimento com argamassa;
- c. Estudar a possibilidade do uso de blocos de maiores dimensões em alvenaria de vedação;
- d. Estudar blocos de outros fabricantes, da RMBH ou mesmo de outras regiões ou estados, com vistas a verificar se teriam o mesmo comportamento.



## 8 BIBLIOGRAFIA

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 530-92: Building Code Requirements for Masonry Structures**. Detroit. 1992.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **ASTM C 1006-84**: Standard test method for splitting tensile strength of masonry units. Philadelphia. 1984.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **ASTM E 447-84: Compressive strength of prisms**. Philadelphia. 1987.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **ASTM C-1072-00a**: Standard test method for measurement of masonry flexural bond strength.. [S.l.]. 2001.

ARANTES, C. A. **Influência do graute na alvenaria estrutural cerâmica**. 2003. 175f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregado em estado solto: Determinação da massa unitária**: Método de ensaio: NBR 7251. Rio de Janeiro. 1982. 3p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman**: Método de ensaio: NBR 9776. Rio de Janeiro. 1987. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**: Método de ensaio: NBR 7215. Rio de Janeiro. 1991. 7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural – Preparo e ensaio à compressão**: Método de ensaio: NBR 8215. Rio de Janeiro. 1983. 4p.

\_\_\_\_\_. **NBR 8798**: Execução e controle de obras em alvenaria estrutural em blocos de concreto: Procedimento. Rio de Janeiro. 1985a.29p.

\_\_\_\_\_. **NBR 15270**: Componentes Cerâmicos - Parte 1: Blocos Cerâmicos para Alvenaria de Vedação – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro. 2005d. 11p.

\_\_\_\_\_. **NBR 15270**: Componentes Cerâmicos - Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro. 2005e. 11p.

\_\_\_\_\_. **NBR 15270**: Componentes Cerâmicos - Parte 3: Blocos cerâmicos para Alvenaria Estrutural e de Vedação – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro. 2005f. 27p.

\_\_\_\_\_. **NBR 15812\_2**: Alvenaria Estrutural: Blocos Cerâmicos. Parte 2: Execução e Controle de Obras. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 8949**: Paredes de alvenaria estrutural: ensaio à compressão simples. Rio de Janeiro, 1985.

ATKINSON, R. H.; NOLAND, J. L. Investigation into the failure theory for brick masonry in compression. Canadian Masonry Symposium, 3., 1985, Edmonton, Canada. **Proceedings**. 1985. p. 5.1-5.17.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. Code of practice for structural use of masonry – Part 1. Unreinforced masonry: BS 5628. London. 1978. 43p.

\_\_\_\_\_. British standard specification for clay bricks: BS 3921. London, 1985.

CAMACHO, J. S.; RODRIGUES, R. O. Utilização do graute na alvenaria estrutural. **Anais do 41º Congresso Brasileiro do Concreto**, Salvador, 1999. Artigo técnico. Salvador, BA. p. 142. 1999.

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

CARASEK, H. 1996. **Aderência de argamassa à base de cimento Portland a substratos porosos**: Avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo de ligação. São Paulo, SP. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 285 p.

CAVALHEIRO, O. P. Princípios básicos de alvenaria estrutural. Santa Maria:UFSM, Notas de Aula. 2009.

COLVILLE, J.; WOLDE-TINSAE, A. M. Compressive strenght of a grouted concrete masonry. In: International Brick/Block Masonry Conference, 9., 1991 b. Berlin, Germany. **Proceedings**... Berlin 1991. v. 1, p. 149-156.

CUNHA, E. H. **Análise experimental do comportamento de prismas grauteados em alvenaria estrutural**. .Goiânia, 2001. 149p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás.

DRYSDALE, G.R., AHMAD, A.H. DRYSDALE, G.R., AHMAD, A.H., Behavior of Concrete Block Masonry Under Axial Compression, **ACI Journal**, Jun-1979



FARAH, Marta Ferreira Santos. Diagnóstico tecnológico da indústria da construção civil: caracterização geral do setor. Tecnologia de edificações, v. 5, n.119, p.1-6, ago. 1988.

FONSECA, J. F.; FERNÁNDEZ, T. H.; BERNARDIN, A. M. Manual para a produção de cerâmica vermelha. Florianópolis: UFSC/SEBRAE, 1994, 81 f.

FOSTER, P.K. BRIDGEMAN, D.O. **Prism Tests for the Design and Control of Brick Masonry**. Tower Hutt, New Zeland Potter and Ceramics Research Association, 1973.

FRANCO, L. S. Desempenho da alvenaria à compressão. **Boletim Técnico da Escola Politécnica de São Paulo**, São Paulo, 1988. n 20,14 p.

FRANCO, L. S. **Parâmetros utilizados nos projetos de alvenaria estrutural**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 17. 1988.

FRANCO, L. S. Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada.. **Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**. , São Paulo, 1992.

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

GEHBAUER, F. et al. **Planejamento e gestão de obras: um resultado prático da Cooperação Técnica Brasil-Alemanha**. Curitiba: Editora CEFET-PR, 2002.

GOMES, N.S. **A resistência das paredes de alvenaria**. 1983. 190p.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo-SP.

GROHMANN, L. Z. **Análise do comportamento de Prismas grauteados de alvenaria estrutural cerâmica**. 2006. 159f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

HENDRY, A. W. **Testing methods for masonry, joints and structural units**. Proceedings of the 3rd International Symposium on Wall Structures. Warsaw: [s.n.]. 1984.

HENDRY, A. W. **Structural brickwork**. London: Macmillan Press, 1990.

HENDRY, A. W. **Masonry Walls: materials and construction**. Elsevier: **Construction and Building Materials**, Edinburgh, v. 15, n. 8, p. 323-330, junho 2001.

HENDRY, A.W. **Engineered design of masonry buildings: fifty years development in Europe**. Prog. Struct. Eng. Mater. 2002; 4:291-300. University of Edinburgh, Scotland

HILSDORF, H.K. Investigation into the failure mechanism of brick masonry loaded in axial compression. In: DESIGNING, engineering and constructing with masonry products. Houston, Gulf, 1969. p.34-40.

HOOKER, K. A. Improving productivity with large masonry units, Masonry Construction Magazine, 2009.

KHALAF, F. M. Factors influencing compressive strength of concrete masonry prisms. **Magazine of Concrete Research**. June, 1996, 48, n 175, p. 95-101.

KINGSLEY, G. R.; TULIN, L.G.; NOLAND, J.L. **Parameter influencing the properties of grout in hollow clay masonry**. Colorado Masonry Institute, University of Colorado, Colorado, USA, 1984, 110 p.

LUCINI, H. C. **Requalificação urbana e novos assentamentos de interesse social**. 1996. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

MEDEIROS, J. S. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto**. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1993 v1, 239p.

MEDEIROS, J. S.; SABBATINI, F. H. Aderência bloco / argamassa: determinação da resistência à flexão de prismas. **INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES**, Florianópolis, p. 270-277, 1994.

MENDES, R. J. K. **Resistência à compressão de alvenaria de blocos cerâmicos estruturais**. 1998. 185f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pós- Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

MOHAMAD, G. **Comportamento mecânico na ruptura de prismas blocos de concreto**. 1998. 178f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

MOHAMAD, G. **Mecanismo de ruptura da alvenaria de blocos à compressão.** 2007. 290f. Tese (doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia Universidade do Minho, Portugal, 2007.

MONK.C.B.Jr. A Historical Survey and Analysis of the Compressive Strength of Brick Masonry. Structural Clay Products Research Foundation, 1967.

MULLER, M. S. K. Estudo das correlações entre resistências a compressão de paredes e prismas de alvenaria estrutural cerâmica não armada submetidos a esforços de compressão axial. 1989. 269f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

NASCIMENTO NETO, J. A. **Estudo de painéis com abertura constituídos por alvenaria estrutural de blocos.** Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. [S.l.], p. 319. 2003.]

NARAYANAN, R.S. Practical design of load bearing masonry structures. In: PRACTICAL DESIGN OF MASONRY STRUCTURES, London, 1986. Proceedings. London, Thomas Telford, 1986. p. 57-70.

NAVARINI, C. C. Diretrizes da coordenação modular para o uso do bloco 44 cm como elemento principal em projetos arquitetônicos de alvenaria estrutural cerâmica. Florianópolis, 2010.

OLIVEIRA, L. A. **Tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para emprego em fachadas de edifícios.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo , p. 319. 2002.

PASQUALI, I. **Influência do tipo de argamassamento na resistência à compressão de pequenas paredes de alvenaria estrutural cerâmica.**2007.138f. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) - Programa de Pós graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Maria,2007.

PAGE, A. W. e SHRIVE. N. G "A critical assement of compression tests for hollow block mansory". Mansory international journal, 1988, nº2,v2,p.64-70.

PICCHI, F.A. **Sistemas da Qualidade:** uso em empresas de construção de edifícios. São Paulo, 1993. 438p. Tese (Doutorado) Universidade de São Paulo.

PINHEIRO, P. G. **Estudo do comportamento mecânico de blocos cerâmicos com diferentes larguras.** 2009. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Civil)- Pós graduação em Engenharia Civil - – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria,2009.

POZZOBON, M. A. **O processo de monitoramento e controle tecnológico em obras de alvenaria estrutural.** 2003. 305f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

PRUDÊNCIO JR., L.R. **Resistência à compressão da Alvenaria e Correlação entre Resistência de Unidades, Prismas e Paredes.** Porto Alegre, 1986. 123p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grandedo Sul.

RAMALHO, M.A.; CORRÊA.M.R.S. **Projetos de edifícios de alvenaria estrutural.** São Paulo, Pini. 2003.

RICHTER, C. **Qualidade da alvenaria estrutural em habitações de baixa renda: uma análise da confiabilidade e da conformidade.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

RIZZATTI, E. **Influência da geometria do bloco cerâmico no desempenho mecânico da alvenaria estrutural sob compressão.** 2003. 170f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

ROMAGNA, R. H. **Resistência a compressão de prismas de blocos de concreto grauteados e não grauteados.** 2000. 195p.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis.

ROMAN, H.R., **Determinação das Características Físicas e Análise Estatística da Capacidade Resistente de Tijolos Cerâmicos Maciços.** Porto Alegre, 1983. 102p. Dissertação (Mestrado) - escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

ROMAN, H. R. **Características físicas e mecânicas que devem apresentar os tijolos e blocos cerâmicos para alvenaria de vedação e estrutural.** III SIMPÓSIO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL. Florianópolis: [s.n.]. 1991. p. 101-108.

ROMAN, Humberto R.; MUTTI, Cristiane do N.; ARAÚJO, Hércules N. de. **Construindo em Alvenaria Estrutural.** Florianópolis: Editora da UFSC, 1999.

ROMAN, H. R. et al. **Análise de alvenaria estrutural.** Curso Internet preparado para funcionários da Caixa Econômica Federal. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2003.

SABBATINI, F. H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcária**. 1984, 298f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica de Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.

SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos – formulação e aplicação de uma metodologia**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 336. 1989.

SAMPAIO, I.B. **Estatística aplicada à experimentação Animal**. Fundação de Ensino e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia. Belo Horizonte, 2010.

SANTOS, M.J.F. **Análise da resistência de prisma e pequena paredes de alvenaria estrutural cerâmica para diferentes tipos de argamassa**. 2008. 135F. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pós Graduação em Engenharia Civil, UFSM, Santa Maria, 2008.

SCRIVENER, J.C.; BAKER, L.R. Factors influencing grouted masonry prism compressive strength. **8th International Brick/Block Masonry Conference**. 1988. Dublin, Ireland. Proceedings, v. 2, p. 874-883. 1994.

SINHA 2002

SOUZA, R. D. Avaliação de desempenho aplicada a novos componentes e sistemas construtivos para habitação. In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DIVISÃO DE EDIFICAÇÕES DO IPT **Tecnologia de Edificações**. São Paulo: PINI, 1988. p. 529-532.



## 9 APÊNDICE

Tabela 44 - Análises dimensionais do bloco de 29 cm.

TIPO DE BLOCO	CP N°	Comp. 1 (mm)	Comp. 2 (mm)	Média Comp. (mm)	Larg. 1 (mm)	Larg. 2 (mm)	Média Larg. (mm)	Altura 1 (mm)	Altura 2 (mm)	Média Altura (mm)	Desv. Esq. (mm)	Plan. faces (mm)	Septo			
													A	b	c d	
BLOCO DE 29 CM	1	290,80	290,80	290,80	139,70	138,80	139,25	190,30	191,10	190,70	1,40	1,00	9,00	9,00	8,00	8,90
	2	287,50	290,70	289,10	139,50	140,00	139,75	190,00	191,30	190,65	1,80	2,45	8,00	9,00	8,00	8,40
	3	291,00	290,00	290,50	140,00	139,90	139,95	190,00	189,70	189,85	1,65	2,70	9,00	9,00	8,30	8,00
	4	287,00	286,50	286,75	136,80	139,00	137,90	188,30	188,30	188,30	1,45	1,85	9,90	8,90	8,00	8,00
	5	291,80	289,40	290,60	140,00	139,10	139,55	189,10	191,00	190,05	1,00	1,10	8,00	8,30	7,70	8,30
	6	290,20	290,05	290,13	139,40	140,00	139,70	189,50	189,70	189,60	0,75	2,70	10,00	9,20	8,30	8,00
	7	289,50	285,00	287,25	140,90	140,30	140,60	185,60	187,70	186,65	2,00	2,15	9,00	8,00	7,60	8,30
	8	285,50	286,30	285,90	136,00	138,60	137,30	188,80	187,50	188,15	1,70	2,00	8,00	8,40	8,00	8,50
	9	287,50	287,30	287,40	140,20	140,00	140,10	186,70	186,30	186,50	1,90	2,10	10,30	8,60	8,30	8,00
	10	286,30	286,70	286,50	138,30	139,40	138,85	188,30	189,80	189,05	1,60	2,50	8,00	9,30	7,30	8,00
	11	290,00	290,00	290,00	140,40	139,10	139,75	190,00	190,00	190,00	1,20	1,50	8,40	9,00	7,60	8,00
	12	288,60	288,70	288,65	137,30	140,20	138,75	186,20	186,90	186,55	1,15	1,50	9,20	9,00	7,50	8,40
	13	286,80	285,50	286,15	136,50	138,20	137,35	188,90	188,90	188,90	1,90	1,55	7,00	8,70	7,70	7,80

Mé dia	288,65	288,23	288,44	138,85	139,43	139,14	188,59	189,09	188,84	1,50	1,93	8,75	8,80	7,87	8,20
D.P	2,03	2,08	1,85	1,66	0,68	1,05	1,54	1,64	1,51	0,38	0,57	0,96	0,38	0,33	0,30
C.V															
(%)	0,70	0,72	0,64	1,20	0,49	0,76	0,82	0,87	0,80	25,60	29,67	10,99	4,30	4,16	3,66



Tabela 45 - Análises dimensionais do bloco de 44 cm.

TIPO DE BLOCO	CP N°	Comp. 1 (mm)	Comp. 2 (mm)	Média Comp. (mm)	Larg. 1 (mm)	Larg. 2 (mm)	Média Larg. (mm)	Altura 1 (mm)	Altura 2 (mm)	Média Altura (mm)	Desvio de Esq. (mm)	Planeza das faces (mm)	Septo			
													a	b	c	d
BLOCO DE 44 CM	1	43,71	43,79	43,75	139,00	138,69	138,85	18,82	18,79	18,81	2,70	3,00	8,64	9,86	10,03	10,76
	2	43,96	43,86	43,91	138,32	139,14	138,73	18,71	18,71	18,71	2,20	2,00	7,99	9,58	9,98	11,34
	3	43,79	43,75	43,77	137,95	138,35	138,15	18,86	18,86	18,86	1,80	0,00	8,99	11,48	9,83	10,88
	4	44,27	44,15	44,21	138,58	138,84	138,71	19,06	19,06	19,06	1,00	1,00	8,13	10,32	9,50	10,51
	5	43,68	43,40	43,54	137,67	136,14	136,91	18,61	18,67	18,64	1,00	3,00	9,29	10,65	10,02	10,89
	6	43,69	43,66	43,68	136,38	136,59	136,49	18,72	18,81	18,77	1,00	3,00	8,60	10,79	10,26	10,14
	7	44,50	44,45	44,48	141,03	140,52	140,78	19,44	19,18	19,31	2,00	3,00	8,14	10,19	9,87	9,25
	8	43,84	43,63	43,74	138,58	136,88	137,73	19,33	19,20	19,27	2,40	3,00	8,48	10,18	12,46	10,09
	9	43,70	44,00	43,85	136,92	138,76	137,84	19,00	18,97	18,99	3,00	0,00	8,75	10,83	10,90	10,00
	10	43,61	44,35	43,98	138,09	136,93	137,51	19,03	18,94	18,99	1,00	0,00	8,76	10,24	9,90	10,10
	11	43,60	43,69	43,65	139,76	138,49	139,13	19,27	19,29	19,28	4,00	0,00	7,77	10,62	9,89	10,80
	12	43,36	43,60	43,48	137,84	138,93	138,39	18,98	18,80	18,89	0,00	0,00	8,63	9,77	10,62	11,90
	13	43,20	43,25	43,23	137,70	137,35	137,53	19,05	19,06	19,06	2,00	1,00	8,75	9,46	11,13	11,29
Média	43,76	43,81	43,79	138,29	138,12	138,21	18,99	18,95	18,97	1,85	1,46	8,53	10,31	10,34	10,61	
D.P.	0,34	0,35	0,32	1,19	1,25	1,09	0,25	0,20	0,22	1,06	1,39	0,42	0,57	0,79	0,70	
C.V.(%)	0,78	0,79	0,73	0,86	0,90	0,79	1,31	1,04	1,16	57,11	95,20	4,96	5,51	7,61	6,58	

Tabela 46 - Análises dimensionais do meio bloco.

TIPO DE BLOCO	CP N°	Comp. 1 (mm)	Comp. 2 (mm)	Média Comp. (mm)	Larg. 1 (mm)	Larg. 2 (mm)	Média Larg. (mm)	Altura 1 (mm)	Altura 2 (mm)	Média Altura (mm)	Desv. Esq. (mm)	Plan. faces (mm)	Septo			
													A	b	c	d
MEIO BLOCO	1	138,50	137,50	138,00	141,60	140,20	140,90	190,00	190,00	190,00	3,80	2,00	8,60	8,00	9,60	9,20
	2	136,30	136,60	136,45	138,30	138,30	138,30	187,20	187,70	187,45	0,00	1,50	9,00	9,40	9,20	8,40
	3	137,70	137,20	137,45	139,40	139,20	139,30	187,80	187,20	187,50	3,50	2,50	9,20	9,20	8,80	8,30
	4	142,60	141,60	142,10	140,40	140,70	140,55	191,50	189,80	190,65	2,70	3,00	7,90	9,40	8,80	8,30
	5	138,30	139,60	138,95	140,40	137,60	139,00	191,60	190,90	191,25	3,10	2,30	9,00	9,20	9,10	8,60
	6	140,30	140,20	140,25	137,70	138,30	138,00	188,60	186,20	187,40	4,40	2,00	9,00	9,20	9,00	9,40
	7	139,80	139,00	139,40	136,00	137,00	136,50	187,80	185,00	186,40	0,75	4,40	8,30	9,60	9,20	9,00
	8	140,25	139,20	139,73	139,05	140,40	139,73	189,80	186,90	188,35	4,30	3,00	8,80	9,60	9,00	9,40
	9	137,40	138,15	137,78	140,80	141,35	141,08	191,85	190,00	190,93	3,30	1,90	8,40	9,00	9,20	9,50
	10	140,10	139,20	139,65	139,30	139,80	139,55	192,00	193,00	192,50	3,00	2,70	8,60	9,20	9,20	9,60
	11	139,80	140,00	139,90	138,00	138,80	138,40	187,30	189,00	188,15	2,50	5,90	9,20	9,00	8,40	8,60
	12	138,00	138,00	138,00	141,40	140,00	140,70	190,00	188,70	189,35	0,00	4,40	9,00	9,70	8,00	8,60
	13	137,35	137,30	137,33	141,30	141,75	141,53	190,10	190,20	190,15	5,70	2,00	9,20	9,60	9,60	9,00
Média	138,95	138,73	138,84	139,51	139,49	139,50	189,66	188,82	189,24	3,09	2,89	8,78	9,24	9,01	8,92	
D.P.	1,70	1,43	1,53	1,68	1,44	1,45	1,77	2,17	1,84	1,70	1,27	0,40	0,44	0,44	0,47	
C.V. (%)	1,22	1,03	1,10	1,21	1,03	1,04	0,93	1,15	0,97	55,01	44,04	4,57	4,75	4,89	5,32	

**Tabela 47 – Ensaio de Absorção do Bloco de 29 cm.**

ABSORÇÃO BLOCO DE 29 CM						
co Nº	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	Peso 3 (g)	Média Seco (g)	Peso saturado (g)	Absorção (%)
1	5560	5560	5520	5547	6760	22
2	5640	5600	5580	5607	6680	19
3	5520	5520	5460	5500	6700	22
4	5640	5600	5600	5613	6560	17
5	5540	5560	5560	5553	6760	22
6	5560	5560	5500	5540	6700	21
7	5560	5540	5500	5533	6380	15
8	5580	5580	5540	5567	6480	16
9	5560	5540	5540	5547	6480	17
10	5570	5530	5530	5543	6440	16
					Média (%)	19

**Tabela 48 - Ensaio de Absorção do Bloco de 44 cm.**

ABSORÇÃO BLOCO DE 44 CM						
Bloco Nº	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	Peso 3 (g)	Média Seco (g)	Peso saturado (g)	Absorção (%)
1	8760	8720	8720	8733	10440	20
2	8780	8760	8760	8767	10380	18
3	8900	8860	8860	8873	10460	18
4	8900	8860	8860	8873	10540	19
5	8320	8300	8300	8307	9840	18
6	8400	8360	8360	8373	10140	21
7	8780	8740	8740	8753	10500	20
8	8300	8280	8280	8287	9760	18
					Média (%)	19

**Tabela 49 - Ensaio de Absorção do Meio Bloco.**

ABSORÇÃO MEIO BLOCO						
Bloco N°	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	Peso 3 (g)	Média Seco (g)	Peso saturado (g)	Absorção (%)
1	2926	2922	2922	2923	3460	18
2	2874	2874	2874	2874	3340	16
3	2894	2892	2892	2893	3380	17
4	2930	2928	2928	2929	3480	19
5	2936	2936	2936	2936	3480	19
6	2880	2880	2880	2880	3380	17
7	2898	2897	2897	2897	3360	16
8	2930	2928	2928	2929	3460	18
9	2929	2929	2929	2929	3440	17
10	2947	2947	2947	2947	3500	19
					Média (%)	18
					D.P (%)	

**Tabela 50 - Área Líquida do Bloco de 29.**

ÁREA LÍQUIDA BLOCO DE 29 CM				
Bloco N°	Massa do Bloco Saturado (g)	Massa Aparente do Bloco (g)	Altura do Bloco (cm)	Área Líquida (cm²)
1	6760,00	3580,00	19,07	166,75
2	6680,00	3440,00	19,07	169,94
3	6700,00	3400,00	18,98	173,87
4	6560,00	3440,00	18,83	165,69
5	6760,00	3440,00	19,00	174,74
6	6700,00	3420,00	18,96	173,00
7	6380,00	3340,00	18,66	162,92
8	6480,00	3380,00	18,81	164,81
9	6480,00	3380,00	18,65	166,22
10	6440,00	3360,00	18,90	162,96
Média	6594,00	3418,00	18,89	168,09
D.P.	142,06	66,97	0,15	4,47
C.V. (%)	2,15	1,96	0,81	2,66

**Tabela 51 - Área Líquida do Bloco de 44.**

ÁREA LÍQUIDA BLOCO DE 44 CM				
Bloco N°	Massa do Bloco Saturado (g)	Massa Aparente do Bloco (g)	Altura do Bloco (cm)	Área Líquida (cm <sup>2</sup> )
1	10440,00	5440,00	19,00	263,23
2	10380,00	5440,00	18,72	263,89
3	10460,00	5500,00	18,78	264,11
4	10540,00	5500,00	19,15	263,19
5	9840,00	5120,00	19,16	246,35
6	10140,00	5220,00	18,86	260,87
7	10500,00	5420,00	18,78	270,50
8	9760,00	5120,00	18,98	244,47
Média	10257,50	5345,00	18,93	259,57
D.P.	307,88	164,14	0,17	9,18
C.V. (%)	3,00	3,07	0,90	3,54

**Tabela 52 - Área Líquida do Meio Bloco.**

ÁREA LÍQUIDA MEIO-BLOCO				
Bloco N°	Massa do Bloco Saturado (g)	Massa Aparente do Bloco (g)	Altura do Bloco (cm)	Área Líquida (cm <sup>2</sup> )
1	3460	900,00	19,00	134,74
2	3340	780,00	18,75	136,57
3	3380	880,00	18,75	133,33
4	3480	780,00	19,07	141,62
5	3480	880,00	19,13	135,95
6	3380	920,00	18,74	131,27
7	3360	920,00	18,64	130,90
8	3460	840,00	18,83	139,14
9	3440	90,00	19,09	175,46
10	3500	900,00	19,25	135,06
Média	3428,00	789,00	18,92	139,40
D.P.	57,50	250,97	0,21	13,09
C.V. (%)	1,68	31,81	1,09	9,39

Tabela 53 - Compressão do Bloco de 29

COMPRESSÃO BLOCO DE 29 CM									
CP N°	COMPRIM. (cm)	LARGURA (cm)	ÁREA BRUTA (cm <sup>2</sup> )	ÁREA LÍQUIDA (cm <sup>2</sup> )	CARGA (kN)	RESISTÊNCIA ÁREA BRUTA (MPa)	RESISTÊNCIA ÁREA LÍQ. (MPa)		
1	29,08	13,93	404,94	166,75	199,57	4,93	11,97		
2	28,91	13,98	404,02	169,94	254,40	6,30	14,97		
3	29,05	14,00	406,55	173,87	182,07	4,48	10,47		
4	28,68	13,79	395,43	165,69	263,41	6,66	15,90		
5	29,06	13,96	405,53	174,74	215,72	5,32	12,35		
6	29,01	13,97	405,30	173,00	181,39	4,48	10,49		
7	28,73	14,06	403,87	162,92	316,74	7,84	19,44		
8	28,59	13,73	392,54	164,81	351,59	8,96	21,33		
9	28,74	14,01	402,65	166,22	292,03	7,25	17,57		
10	28,65	13,89	397,81	162,96	351,82	8,84	21,59		
Média	28,85	13,93	401,86	168,09	260,87	6,51	15,61		
D. Padrão	0,19	0,10	4,84	4,47	65,80	1,70	4,27		
C.V.(%)	0,67	0,73	1,20	2,66	25,22	26,13	27,36		

Tabela 54 - Compressão do Bloco de 44

COMPRESSÃO BLOCO DE 44 CM							
CP N°	COMPRIM. (cm)	LARGURA (cm)	ÁREA BRUTA (cm <sup>2</sup> )	ÁREA LÍQUIDA (cm <sup>2</sup> )	CARGA (kN)	RESISTÊNCIA ÁREA BRUTA (MPa)	RESISTÊNCIA ÁREA LÍQ. (MPa)
1	43,71	13,90	607,57	263,23	327,56	5,39	12,44
2	43,96	13,83	608,05	263,89	351,14	5,77	13,31
3	43,79	13,80	604,08	264,11	461,78	7,64	17,48
4	44,27	13,86	613,49	263,19	350,99	5,72	13,34
5	43,68	13,77	601,34	246,35	394,40	6,56	16,01
6	43,69	13,64	595,84	260,87	366,09	6,14	14,03
7	44,50	14,10	627,58	270,50	250,19	3,99	9,25
8	43,84	13,86	607,53	244,47	417,91	6,88	17,09
9	43,70	13,69	598,34	259,57	333,94	5,58	12,86
10	43,61	13,81	602,21	260,53	383,54	6,37	14,72
11	43,60	13,98	609,35	262,28	460,65	7,56	17,56
12	43,36	13,78	597,67	259,37	461,63	7,72	17,80
13	43,20	13,77	594,86	249,86	441,05	7,41	17,65
Média	43,76	13,83	605,23	259,09	384,68	6,37	14,89
D. Padrão	0,34	0,12	8,80	7,58	63,60	1,09	2,64
C.V.(%)	0,78	0,86	1,45	2,93	16,53	17,18	17,73

**Tabela 55 - Compressão do Meio Bloco.**

COMPRESSÃO MEIO BLOCO							
cp nº	comprim. (cm)	largura (cm)	área bruta (cm <sup>2</sup> )	área líquida (cm <sup>2</sup> )	carga (kn)	resistência área bruta (mpa)	resistência área líq. (mpa)
1	13,80	14,09	194,44	134,74	125,96	6,48	9,35
2	13,65	13,83	188,71	136,57	148,87	7,89	10,90
3	13,75	13,93	191,47	133,33	136,55	7,13	10,24
4	14,21	14,06	199,72	141,62	128,59	6,44	9,08
5	13,90	13,90	193,14	135,95	113,49	5,88	8,35
6	14,03	13,80	193,55	131,27	148,12	7,65	11,28
7	13,94	13,65	190,28	130,90	156,38	8,22	11,95
8	13,97	13,97	195,23	139,14	129,57	6,64	9,31
9	13,78	14,11	194,37	175,46	131,14	6,75	7,47
10	13,97	13,96	194,88	135,06	119,50	6,13	8,85
Média	13,90	13,93	193,58	139,40	133,82	6,92	9,68
D. Padrão	0,16	0,14	3,03	13,09	13,66	0,78	1,39
C.V.(%)	1,17	1,02	1,57	9,39	10,21	11,25	14,39