

**ESTUDO EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DA ARGAMASSA DE
ASSENTAMENTO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DA
ALVENARIA ESTRUTURAL CERÂMICA**

RAFAEL PICANÇO DE OLIVEIRA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE - UENF

**CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
OUTUBRO-2015**

**ESTUDO EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DA ARGAMASSA DE
ASSENTAMENTO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DA
ALVENARIA ESTRUTURAL CERÂMICA**

RAFAEL PICANÇO DE OLIVEIRA

"Dissertação apresentada ao Centro de Ciência e Tecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil".

Orientador: Prof. Jonas Alexandre
Coorientador: Prof.^a Rita de Cássia Silva Sant'Anna Alvarenga

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
OUTUBRO-2015

ESTUDO EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DA ARGAMASSA DE
ASSENTAMENTO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DA
ALVENARIA ESTRUTURAL CERÂMICA

RAFAEL PICANÇO DE OLIVEIRA

"Dissertação apresentada ao Centro de Ciência e Tecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense, como parte das exigências para obtenção de título de Mestre em Engenharia Civil".

Aprovada em 08 de outubro de 2015

Comissão Examinadora:

Prof. Carlos Maurício Fontes Vieira (Doutor, Engenharia Civil) - UENF

Prof. José Carlos Lopes Ribeiro (Doutor, Engenharia Civil) - UFV

Prof. Leonardo Gonçalves Pedroti (Doutor, Engenharia Civil) - UFV

Prof.^a Rita de Cássia Silva Sant'Anna Alvarenga (Doutora, Eng. Civil) -
UFV (coorientador)

Prof. Jonas Alexandre (Doutor, Engenharia Civil) - UENF (orientador)

Dedico esta dissertação

Ao Deus de toda a criação, que com sua graça e majestade me tornou um
Engenheiro Civil, e agora me fez mestre.

Aos meus avós Dercy Benedito de Oliveira e
Claudomira Laia de Oliveira, e
Claudomiro de Paula Cruz e
Hilda Picanço,

Aos meus pais, José de Paula Oliveira e
Claudionícia Picanço Cruz Oliveira,

Ao meu irmão, Michel Picanço Oliveira,

A minha noiva, Walquíria Sanches da Silva,

Que são as luzes que me iluminam.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao criador, Deus. A Jesus Cristo, Teu filho, que me salvou e deu sentido a minha vida. Ao Espírito Santo, que me consola e me traz paz. A trindade perfeita, agradeço por terem me capacitado, por terem me dado resistência às grandes dificuldades que encontrei em minha caminhada, por terem me inspirado, por me darem direcionamento, e pelo amor tão grande que têm por mim.

A minha família agradeço por mais dois anos e seis meses que com demonstrações comprovaram o tão imenso amor por mim. Agradeço a minha mãe pelo carinho, pelos abraços e palavras de conforto, pelo amor incondicional dedicado a mim. Meu pai agradeço pela dedicação, apoio fundamental, heroísmo que transmite a mim e a sua amizade. A meu irmão dou graças por ser meu melhor amigo, meu companheiro, e por tanto que se dedicou e se empenhou neste trabalho junto comigo, por ter compartilhado suas experiências comigo, ajudando-me crescer e me tornar melhor.

Walquíria, minha noiva, teve papel fundamental nesta longa jornada. Agradeço pela compreensão, cuidado, amor e carinho, por participar tão de perto das minhas buscas, acertos, falhas e conquistas. Agradeço pelas surpresas, palavras, conversar, distrações, sorrisos, correções, lágrimas, diversões, carinhos, que doaste a mim.

A meus avós agradeço pelo amor, carinho, sorrisos, pela paz que me transmitem, pela herança que me foi dada – a sabedoria da experiência de longa vida. Uma honra é tê-los ao meu lado e poder nos olhos ver a sinceridade de um amor puro.

Aos meus familiares agradeço pelo carinho e sábios conselhos, e por sempre prezarem por minhas conquistas. Alguns neste tempo se foram, e hoje deixam saudades, boas lembranças, de pessoas que com simplicidades demonstravam grande afeto e carinho por mim.

Agradeço aos meus amigos, que são peças fundamentais no meu jogo da vida. Agradeço pelo companheirismo, pelos momentos de alegrias e distração que me proporcionam. Um agradecimento especial àqueles que tiveram diretamente presentes nesta caminhada, aqueles que fizeram parte da minha turma, aqueles que me ajudaram nas atividades.

Agradeço ao meu professor orientador, à banca da defesa desta dissertação, que com excelência deram contribuições que refletirão para meu crescimento. Um agradecimento especial à professora Rita, minha co-orientadora, que com sua

experiência e sabedoria, não mediu esforços em me ajudar e me conduzir para que eu fizesse um bom trabalho.

Um agradecimento de carinho aos meus alunos, desde os meus primeiros, lá de 2014, da turma de Licenciatura em Matemática da UENF, depois os da Redentor, e hoje os do IFF Pádua, que me instigam na vida acadêmica. Agradeço aos professores da UENF, do IFF Pádua, agradeço aos servidores, as tias e os tios.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	III
LISTA DE TABELAS	VI
LISTA DE EQUAÇÕES	VIII
RESUMO.....	IX
ABSTRACT.....	X
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Considerações iniciais	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo Geral.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos.....	2
1.3 Hipóteses.....	2
1.4 Justificativa	3
1.5 Estrutura do Trabalho.....	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1 Termos e definições	6
2.2 Tipos de elementos de alvenaria estrutural.....	7
2.3 Resistência à compressão da alvenaria	7
2.3.1 Influência dos componentes na resistência à compressão.....	8
2.3.2 Estimativa da resistência à compressão da alvenaria	10
2.4 Estudos sobre a influência da argamassa de assentamento na resistência da alvenaria	15
2.4.1 Influência da espessura da argamassa	15
2.4.2 Influência da resistência da argamassa.....	18
2.4.3 Influência conjunta da espessura e da resistência da argamassa.....	32
3 EXPERIMENTAÇÃO	34
3.1 Análise proposta.....	34
3.2 Materiais	36
3.2.1 Bloco.....	36
3.2.2 Argamassa.....	50
3.2.3 Prismas.....	62
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	78

4.1	Fator 1: espessura da argamassa	80
4.1.1	Análise de regressão linear	81
4.1.2	Análise de variância para o Fator 1	83
4.1.3	Método de comparações múltiplas para o Fator 1	85
4.2	Fator 2: resistência da argamassa	87
4.2.1	Inferência estatística para uma única amostra: o bloco	88
4.2.2	Inferência estatística para as duas amostras do Fator 2	89
4.3	Análise dos resultados separadamente.....	90
4.4	Módulo de deformação longitudinal.....	91
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	93
5.1	Conclusões.....	93
5.2	Sugestões para trabalhos futuros	94
	REFERÊNCIAS.....	95
	APÊNDICE.....	102
	APÊNDICE I.....	103
I	ANÁLISE DOS RESULTADOS	104
I.1	Fator 1: espessura da argamassa	104
I.2	Fator 2: resistência da argamassa	109
I.3	Módulo de deformação longitudinal dos prismas.....	112
	ANEXO	114
	ANEXO A.....	115
A	ASPECTOS HISTÓRICOS	116
A.1	Alvenaria Estrutural no Mundo	116
A.2	Alvenaria Estrutural no Brasil.....	120

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Parede em alvenaria estrutural com os valores das juntas horizontais...4	
Figura 2.7 – Estado de tensões atuantes nos blocos e nas juntas de argamassa. (Garcia, 2000)	12
Figura 2.8 – Distribuição das tensões verticais e horizontais nos materiais. (Mohamad <i>et al.</i> , 2011)	13
Figura 2.9 – Fator de variação da resistência à compressão da alvenaria pela espessura de argamassa. (adaptado de Camacho, 1995).....	16
Figura 2.10 – Vista superior dos Blocos A e D. (RIZZATTI <i>et al.</i> , 2011).	19
Figura 2.11 – Acréscimo de resistência da argamassa pelo acréscimo de resistência à compressão dos prismas de 2 blocos com paredes vazadas. (SANTOS, 2008) ...	22
Figura 2.12 – Acréscimo de resistência da argamassa pelo acréscimo de resistência à compressão dos prismas de 2 blocos com paredes maciças. (SANTOS, 2008)....	22
Figura 2.13 – Modo de ruptura de prismas de 2 blocos. (MACHADO <i>et al.</i> , 1999 <i>apud</i> GARCIA e RAMALHO, 2007).....	24
Figura 2.14 – Vista superior e perspectiva do bloco de estudo. (GARCIA, 2000).	25
Figura 2.15 – Instrumentação do meio bloco e bloco para obtenção do módulo de elasticidade. (GARCIA, 2000)	26
Figura 2.16 – Instrumentação do prisma de três blocos. (GARCIA, 2000).....	27
Figura 2.17 – Blocos estruturais cerâmicos de paredes vazadas e maciças. (PASQUALI, 2007)	28
Figura 2.18 – Demonstrativo da pequena parede de blocos vazados, argamassa plena, com canaletas "u" e furos da primeira fiada grauteados. (PASQUALI, 2007)	29
Figura 2.19 – Dispositivos de ensaios para determinar a deformação. (PASQUALI, 2007).	31
Figura 2.20 – Dimensões dos blocos utilizados. (RIGÃO, 2012).....	32
Figura 3.1 – Bloco estrutural cerâmico de paredes vazadas.....	37
Figura 3.2 – Blocos da amostragem do bloco desta pesquisa.	38
Figura 3.3 – Medição da faces do bloco: largura, altura e comprimento.	39
Figura 3.4 – Planta do bloco estrutural.....	41
Figura 3.5 – Etapas de capeamento dos corpos-de-prova.....	47
Figura 3.6 – Exemplo do bloco após a ruptura.....	48
Figura 3.7 – Curva da distribuição granulométrica do componente areia.	52

Figura 3.8 – Procedimento de determinação do índice de consistência.	55
Figura 3.9 – Corpos-de-prova de argamassas submetidos à tração na flexão.	57
Figura 3.10 – Corpo-de-prova de argamassa submetido à compressão axial.	58
Figura 3.11 – Sistema de filtração forçada com um funil de Büchner. (UDESC JOINVILLE, 2015)	60
Figura 3.12 – Preparo do prisma: (1) posicionamento das taliscas; (2) espalhamento da argamassa; (3) acomodação do bloco superior; (4) verificação do prumo; (5) verificação do nível.....	64
Figura 3.13 – Prisma P10504 com instrumentação para a determinação do módulo de deformação (E_p).....	66
Figura 3.14 – Exemplo de um prisma P05 após a ruptura.	69
Figura 3.15 – Exemplo de um prisma P10 após a ruptura.	70
Figura 3.16 – Exemplo de um prisma P15 após a ruptura.	71
Figura 3.17 – Exemplo de um prisma P20 após a ruptura.	72
Figura 3.18 – Exemplo de um prisma P25 após a ruptura.	74
Figura 3.19 – Exemplo de um prisma P210 após a ruptura.	75
Figura 4.1 – Diagrama de caixa para a resistência à compressão dos prismas em função da espessura da junta com a Argamassa 1.....	80
Figura 4.2 – Resistência à compressão do prisma pelo o inverso da espessura da junta com a Argamassa 1.	81
Figura 4.3 – Fator de variação da resistência à compressão da alvenaria	83
Figura 4.4 – ICs de Fisher de 95% para as diferenças entre as médias das resistências dos diferentes prismas segundo a espessura da junta.	87
Figura 4.5 – Diagrama de caixa para os dados da resistência à compressão dos componentes e dos elementos prismas com junta de 10 mm de espessura.	88
Figura I.1 – Tabela de entrada do Minitab com os valores da resistência dos prismas com Argamassa 1.	104
Figura I.2 – Tabela de entrada do Minitab com os valores do inverso da espessura da argamassa e com a resistência dos prismas com Argamassa 1.....	105
Figura I.3 – Gráfico de saída do Minitab para as comparações emparelhadas de Fisher.	109
Figura I.4 – Tabela de entrada do Minitab com os valores das resistências dos corpos-de-prova do bloco, argamassas e prismas com junta de 10 mm.	110

Figura I.5 – Tabela de entrada do Minitab com os valores do módulo de deformação dos prismas.....	112
Figura A.1 – Pirâmide de Quéops. (IMC, 2015a)	116
Figura A.2 – Zigurate de Ur. (IMC, 2015b)	117
Figura A.3 – Farol de Alexandria. (LIGHTHOUSE OF ALEXANDRIA, 2015).....	118
Figura A.4 – Coliseu. (VIAJANDO NO MUNDO, 2015).....	118
Figura A.5 – Catedral de Reims. (MONUMENTO MEDIEVAL EN FRANCIA, 2015)	119
Figura A.6 – Edifício Monadnock. (FLICKR, 2015).....	119
Figura A.7 – Hotel Excalibur. (HOLIDAY E HOTEL REVIEWS, 2015)	120
Figura A.8 – Edifício de blocos de concreto, de 1966. (ORIGINAL BLOCOS, 2015)	121
Figura A.9 – Central Parque Lapa, de 1972. (ORIGINAL BLOCOS, 2015).....	121
Figura A.10 – Edifício Barão Il Barras, de 1990. (ORIGINAL BLOCOS, 2015)	122
Figura A.11 – Edifício The Gift. (EVEN, 2015)	123
Figura A.12 – Interior de um apartamento do The Gift. (EVEN, 2015)	123
Figura A.13 – Condomínio Fit Vivai. (RALPH BRAZ, 2015)	124
Figura A.14 – Condomínio Residencial Constelações III.	124

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Valores da eficiência parede-bloco. (RAMALHO e CORRÊA, 2003).	9
Tabela 2.2 – Fator de variação da resistência à compressão da alvenaria (adaptado de Camacho, 1995).....	16
Tabela 2.3 – Fator de variação da resistência à compressão da alvenaria. (adaptado de Gross <i>et al.</i> , 1980 <i>apud</i> Sabbatini, 1984).....	17
Tabela 2.4 – Resistência dos prismas em função da espessura. (MOTA <i>et al.</i> , 2012).....	18
Tabela 2.5 – Resistência à compressão das argamassas. (RIZZATTI <i>et al.</i> , 2011)..	19
Tabela 2.6 – Resistência à compressão dos elementos de alvenaria com o bloco A. (RIZZATTI <i>et al.</i> , 2011)	19
Tabela 2.7 – Resistência à compressão dos elementos de alvenaria com o Bloco D. (RIZZATTI <i>et al.</i> , 2011)	20
Tabela 2.8 – Eficiência dos elementos de alvenaria. (RIZZATTI <i>et al.</i> , 2011).....	20
Tabela 2.9 – Traços de argamassas de. (SANTOS, 2008).	21
Tabela 2.10 – Resistências das argamassas, blocos e prismas.	23
Tabela 2.11 – Desvio padrão da média das resistências da argamassa, bloco e prismas.....	23
Tabela 2.12 – Resistência das argamassas, blocos e prismas.....	25
Tabela 2.13 – Desvio padrão da média da resistência dos componentes e do elemento prisma.	25
Tabela 2.14 – Características mecânicas dos blocos sem graute.....	27
Tabela 2.15 – Resistência da argamassa, blocos e prismas com graute.....	28
Tabela 2.16 – Resistências mecânicas das argamassas. (PASQUALI, 2007).....	30
Tabela 2.17 – Resistência dos componentes e da pequena parede com blocos de paredes vazadas. (PASQUALI, 2007).....	30
Tabela 2.18 – Módulo de deformação para pequenas paredes com blocos cerâmicos de paredes vazadas. PASQUALI (2007).....	31
Tabela 3.1 – Dimensões efetivas e área da amostragem do bloco.....	40
Tabela 3.2 – Espessura das paredes externas e dos septos da amostragem do bloco.	42
Tabela 3.3 – Desvio em relação ao esquadro e planeza das faces da amostragem do bloco.....	43

Tabela 3.4 – Massa seca e o índice de absorção d'água da amostragem do bloco.	44
Tabela 3.5 – Absorção de água inicial da amostragem do bloco.	46
Tabela 3.6 – Caracterização mecânica da amostragem do bloco.	49
Tabela 3.7 – Valores de ϕ em função do número de corpos-de-prova da amostra. (ABNT NBR 15270-2, 2005, p. 8).....	50
Tabela 3.8 – Características de argamassas de cimento, cal ou mistas. (Parsekian e Soares, 2010, p.35).....	51
Tabela 3.10 – Traços de argamassas.	53
Tabela 3.11 – Massa unitária dos componentes das argamassas.....	53
Tabela 3.12 – Designação da argamassa.....	53
Tabela 3.13 – Índice de consistência das argamassas.	54
Tabela 3.14 – Resistência mecânica da Argamassa 1.....	59
Tabela 3.15 – Resistência mecânica da Argamassa 2.....	59
Tabela 3.16 – Resistências mecânicas das argamassas.....	60
Tabela 3.17 – Retenção de água das argamassas.	61
Tabela 3.18 – Resultados dos prismas com argamassa I e espessura de 5 mm.....	68
Tabela 3.19 – Resultados dos prismas com argamassa I e espessura de 10 mm....	70
Tabela 3.20 – Resultados dos prismas com argamassa I e espessura de 15 mm....	71
Tabela 3.21 – Resultados dos prismas com argamassa I e espessura de 20 mm....	72
Tabela 3.22 – Resultados dos prismas com argamassa I e espessura de 25 mm....	73
Tabela 3.23 – Resultados dos prismas com argamassa II e espessura de 10 mm...	75
Tabela 3.24 – Resistência dos prismas.....	76
Tabela 4.1 – Fator de variação da resistência à compressão dos prismas.....	82
Tabela 4.2 – Dados típicos para um experimento com um único fator. (MONTGOMERY e RUNGER, 2012)	84
Tabela 4.3 – Resistência dos prismas com variação da junta de argamassa.	85
Tabela 4.4 – Intervalos de confiança para os pares de médias de tratamentos dos prismas.....	86
Tabela 4.5 – Intervalos de confiança para as diferenças das médias entre as argamassas e os prismas de junta de 10 mm.	90
Tabela 4.6 – Intervalos de confiança para as médias populacionais dos componentes e prismas, para o caso de uma única amostra.....	91
Tabela 4.7 – Intervalos de confiança para médias dos módulos de deformação dos prismas.....	91

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 2.1 – Fator de variação da resistência à compressão da alvenaria.....	6
Equação 2.2 – Eficiência da alvenaria.....	8
Equação 2.3 – Função da resistência à compressão do prisma em função da espessura e resistência da argamassa. (LIMA, 2010).....	33
Equação 3.1 – Área bruta do bloco.....	39
Equação 3.2 – Área líquida do bloco. (ABNT NBR 15270-3, 2005, p. 13).....	39
Equação 3.3 – Índice de absorção de água. (ABNT NBR 15270-3, 2005, p. 16).....	44
Equação 3.4 – Índice de absorção de água inicial. (ABNT NBR 15270-3, 2005, p. 27).....	45
Equação 3.5 – É a resistência característica estimada da amostra, em MPa. (ABNT NBR 15812-2, 2010, p. 10).....	49
Equação 3.6 – Resistência à tração na flexão. (ABNT NBR 13279, 2005, p. 3).....	55
Equação 3.7 – Resistência à compressão da argamassa. (ABNT NBR 13279, 2005, p. 3).....	56
Equação 3.8 – Retenção de água da argamassa. (ABNT NBR 13277, 2005, p. 2).....	61
Equação 3.9 – Fator água por argamassa fresca. (ABNT NBR 13277, 2005, p. 2).....	61
Equação 3.10 – Resistência à compressão individual dos prismas.....	65
Equação 3.11 – Deformação longitudinal do corpo-de-prova.....	67
Equação 3.12 – Módulo de deformação longitudinal do corpo-de-prova.....	67
Equação 4.1 – Teste de Grubbs.....	79
Equação 4.2 – Função da resistência à compressão do prisma em função da espessura da junta com a Argamassa 1.....	82
Equação I.1 – Intervalo de confiança para a inclinação da linha de regressão. (MONTGOMERY e RUNGER, 2012).....	106
Equação I.2 – Intervalo de confiança para o coeficiente linear da equação. (MONTGOMERY e RUNGER, 2012).....	106
Equação I.3 – Denominador da relação que determina o valor de β_1 . (MONTGOMERY e RUNGER, 2012).....	107
Equação I.4 – Média das n observações. (MONTGOMERY e RUNGER, 2012).....	108

RESUMO

Buscando minorar custo e tempo de execução de edifícios, umas das alternativas construtivas que tem sido empregada no Brasil é a alvenaria estrutural. Neste sistema, a parede, que é formada por blocos unidos por argamassa de assentamento, desempenha a função de estrutura da construção. Dos tipos de produção de blocos, a cerâmica se destaca em Campos dos Goytacazes – município localizado na região Norte do estado do Rio de Janeiro. A argamassa de assentamento é avaliada em inúmeros estudos quanto a sua influência na resistência da parede. Nesta temática, propôs-se uma pesquisa com blocos estruturais cerâmicos de Campos dos Goytacazes, com objetivo de avaliar a influência da variação da espessura da junta de argamassa e da sua resistência à compressão, tomando como base variações ocorrentes em obras. Analisou-se a influência da argamassa na resistência da alvenaria por meio de prismas de dois blocos. A espessura da junta foi variada em cinco níveis: 5, 10, 15, 20 e 25 mm. E sua resistência em dois níveis: 2,72 e 7,41 MPa. A unidade utilizada foi o bloco cerâmico estrutural de paredes vazadas de dimensões de 14x19x29 cm, com resistência à compressão de 7,66 MPa. Após os 28 dias de idade dos prismas, determinaram-se as suas resistências à compressão simples e os módulos de deformação longitudinal. Segundo os resultados das médias das resistências das amostras, a resistência do prisma é inversamente proporcional à espessura da argamassa. No entanto, após testes de análise de variância, concluiu-se que a resistência do prisma para as espessuras de 10, 15 e 20 mm são significativamente iguais; o mesmo concluiu-se para o agrupamento das espessuras de 15, 20 e 25 mm. A influência da resistência da argamassa na resistência da alvenaria foi comprovada. Um aumento de 173% na resistência da argamassa gerou na resistência do prisma um acréscimo de 110%. O valor do módulo obtido por meio de ensaio foi significativamente igual ao valor estimado pela norma – 600 vezes a resistência característica do prisma.

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

ABSTRACT

In order to minimize cost and time of execution of buildings, one of the constructive alternatives that have been employed in Brazil is the structural masonry. In this system the wall, composed by blocks joined by mortar joints, is the supporting element of the building structure. Among the types of production blocks, the ceramic one is widely used in Campos dos Goytacazes – a city located in the northern region of the state of Rio de Janeiro. The settling mortar is analysed in numerous studies regarding its influence on wall strength. On this theme, it was proposed a survey of structural ceramic blocks from Campos dos Goytacazes to evaluate the influence of variation in the thickness of the mortar joint and its compressive strength, based on variations occurring in constructions. It was analyzed the influence of the mortar on the compressive strength of masonry through two-block prisms. The gasket thickness varied in five levels: 5, 10, 15, 20 and 25 mm. And the gasket strength was varied in two levels: 2.72 and 7.41 MPa. The unit used was the structural hollow ceramic block of dimensions 14x19x29 cm, with compressive strength of 7.66 MPa. After 28 days, the axial compressive strength and longitudinal strain modules of the prisms were determined. According to the mean values of the strengths of the samples, the prism strength is inversely proportional to the thickness of the mortar. However, after the analysis of variance tests, it was concluded that the strength of the prism for thicknesses of 10, 15 and 20 mm are substantially equal; the same was concluded for group of thicknesses of 15, 20 and 25 mm. The influence of the compressive strength of the mortar on the compressive strength of the masonry was proven. An increase of 173% in mortar strength generated an increase of 110% on the strength of the prism. The longitudinal strain modules of the test was significantly equal to the value estimated by the standard – 600 times the characteristic strength of the prism.

Keywords: structural masonry, ceramic block, mortar, prism, compressive strength.

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Desde o início da história, o homem procura diversas formas de se construir abrigos. As edificações criadas pelo homem, além de ter como objetivo um ambiente para se morar, muitas são construídas a fim de se obter um espaço de trabalho ou lazer. Pode-se enunciar ainda, os monumentos que contemplam a criação puramente artística. Um dos sistemas construtivos utilizados para diferentes fins é a alvenaria estrutural, que perdura desde os períodos antigos, e se encontra num processo contínuo de avanço tecnológico.

Na construção de edifícios empregando-se a alvenaria estrutural, o grande diferencial em relação ao sistema convencional em concreto armado é a utilização da parede como estrutura e não apenas como vedação.

Diversos países têm empregado este sistema estrutural. Ramalho e Corrêa (2003, p. 11) citam como principais vantagens da alvenaria estrutural, a economia de fôrmas, redução nos revestimentos, redução nos desperdícios de materiais e mãos-de-obra, redução do número de especialidades e flexibilidade no ritmo de execução da obra. Os pontos negativos citados são a dificuldade de se adaptar a arquitetura para um novo uso, a interferência entre os projetos arquitetônico, estrutural e de instalações e a necessidade de uma mão de obra bem qualificada.

O processo de construção em alvenaria estrutural dar-se por meio da superposição de blocos, unidos por junta de argamassa. As unidades são moduladas de maneira que as paredes sejam amarradas umas às outras sem a necessidade de quebra de blocos para adaptação. Além de ser um método racional de utilização dos materiais, é de mais rápida execução, devida principalmente, à inexistência de vigas e pilares.

O sistema em alvenaria estrutural se encontra bem difundido no Brasil, já alicerçado através de normas brasileiras de projetos, tanto para blocos de concreto, quanto para blocos cerâmicos, que são os principais blocos disponíveis no mercado brasileiro. Também são produzidos blocos sílico-calcário e blocos de concreto celular auto-clavados, porém em uma pequena escala. Uma região que se destaca como grande produtora de blocos cerâmicos é a região Norte Fluminense, como já observou Ramos (2006) e Miller (2008).

Muitos estudos tem contribuído para o avanço deste sistema. Com finalidade de contribuir ainda mais para este avanço, esta dissertação apresenta um trabalho cuja temática é o estudo da influência da junta de argamassa na resistência da parede, para um caso real de obra em alvenaria estrutural, em Campos dos Goytacazes – município localizado na região Norte do estado do Rio de Janeiro.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Este estudo tem como objetivo avaliar a influência da espessura e da resistência da argamassa de assentamento na resistência à compressão da alvenaria. Além disto, objetiva-se estudar o módulo de deformação longitudinal de um elemento de alvenaria.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a. comparar a resistência da alvenaria, por meio da resistência de prismas, para diferentes níveis de espessura e de resistência da junta de argamassa;
- b. determinar o módulo de deformação longitudinal do prisma.

1.3 HIPÓTESES

- a. o aumento na espessura da junta de argamassa gera um decréscimo na resistência da alvenaria;
- b. o aumento na resistência da argamassa gera um acréscimo na resistência da alvenaria;
- c. o módulo de deformação longitudinal do prisma pode ser estimado como sendo 600 vezes a resistência característica do prisma.

1.4 JUSTIFICATIVA

Apesar do completo acervo de normas brasileiras que contempla desde o projeto até a execução da alvenaria, observa-se em alguns dos processos construtivos, práticas incompatíveis com as normas. Estas incompatibilidades podem gerar efeitos no comportamento mecânico da parede, e na durabilidade e/ou segurança estrutural da edificação. No assentamento dos blocos, por exemplo, é comum juntas de argamassa com espessuras além da estabelecida por norma. Outro fator variante em obra, também relacionado à argamassa, é a sua resistência, cuja variação ocorre indiretamente pela alternância da mão-de-obra, baixo controle das proporções dos componentes na mistura, alterações no clima e alterações de seus componentes.

Em avaliação em uma parede (Figura 1.1), escolhida aleatoriamente, de uma obra de alvenaria estrutural cerâmica, em Campos dos Goytacazes-RJ, verificou-se que suas juntas horizontais variavam de 8 a 25 mm, mesmo a norma prevendo que as juntas devem ser de 7 a 13 mm.



Figura 1.1 – Parede em alvenaria estrutural com os valores das juntas horizontais.

Após a avaliação das obras de alvenaria, propôs-se um estudo com foco na variação da argamassa que foi diagnosticada na parede apresentada na Figura 1.1. Além de analisar a variação da espessura da argamassa, propôs-se investigar a interferência do acréscimo de resistência da argamassa na resistência do prisma e determinar o módulo de deformação longitudinal da alvenaria por meio deste elemento. Deste modo, é possível obter clara compreensão do caso específico.

Os componentes analisados no presente trabalho não foram estudados em outra ocasião. Portanto, apesar de na literatura ser possível encontrar diversas pesquisas que abordaram um tema geral próximo ao deste estudo e ainda ter percorrido um caminho semelhante para se chegar a um resultado, este se diverge das demais, principalmente no que diz respeito aos materiais utilizados. Em algumas, ou em todas as propriedades geométricas, físicas ou mecânicas de um bloco que é produzido por uma indústria há diferenças de um produzido por outra indústria. A argamassa que, tem por função principal a união dos blocos, também varia de uma obra para outra e até em um mesmo canteiro de obra é variada indiretamente. Sendo

assim, a alvenaria, que é o conjunto de blocos unidos por argamassa, pode variar de acordo com o arranjo destes dois componentes.

Visto isto, o presente trabalho tem grande relevância, pois apresenta um estudo de um caso real. Também, poderá contribuir para o uso mais racional dos materiais, pois confirmada a hipótese de que juntas mais espessas minoram a resistência da alvenaria, justifica-se ter controle mais rigoroso no processo de assentamento dos blocos, de modo a propiciar menor gasto com material e, ainda, maior segurança da construção.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em 5 capítulos. No Capítulo 1 é apresentada uma introdução sobre o tema da pesquisa, sua justificativa, os objetivos e hipóteses admitidas.

O Capítulo 2 inicia com definições de conceitos e termos relevantes ao claro entendimento desta dissertação, define os tipos de sistemas em alvenaria estrutural, apresenta alguns aspectos da alvenaria em função da sua resistência à compressão, e ao final, apresenta uma revisão bibliográfica com estudos referentes ao tema do presente trabalho.

O Capítulo 3 explica a proposta de análise do trabalho, discorre sobre os materiais e seus ensaios de caracterização, apresenta os métodos e os resultados da experimentação.

O Capítulo 4 discute e analisa os resultados da experimentação, por meio de análises estatística.

O Capítulo 5 discorre sobre as conclusões que foram propiciadas pela pesquisa e dirige sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo está dividido em quatro seções, onde na primeira seção é retratado sobre os conceitos e termos relevantes ao trabalho, na segunda seção definem-se os tipos de elementos de alvenaria estrutural, na terceira seção estão apresentados alguns aspectos da alvenaria em função da sua resistência à compressão e, na última seção são apresentadas é discorrido o tema do estudo sobre colaborações de outras pesquisas.

2.1 TERMOS E DEFINIÇÕES

As definições para compreensão do presente trabalho são encontrados nas normas brasileiras de alvenaria estrutural cerâmica, a ABNT NBR 15270 (2005) e a ABNT NBR 15812 (2010). Sendo aqui descrita somente a definição de fator de variação da resistência à compressão da alvenaria.

O fator de variação da resistência à compressão da alvenaria é o valor para análise da influência da espessura da argamassa horizontal. Calculado pela divisão da resistência de um elemento de alvenaria pela resistência do elemento de alvenaria cuja a espessura de argamassa é 10 mm (Equação 2.1). Este valor permite verificar em qual proporção a resistência de um prisma, ou de uma pequena parede, ou mesmo uma parede, com espessuras variadas de junta, é maior ou menor para o mesmo elemento com a espessura de junta de 10 mm – espessura tomada pela norma como ideal para assentamento da alvenaria.

$$k = \frac{f_e}{f_{e,10mm}} \quad 2.1$$

onde: k é o fator de variação da resistência;

f_e é a resistência do elemento de alvenaria;

$f_{e,10mm}$ é a resistência do elemento de alvenaria cuja a junta de argamassa é de 10 mm.

2.2 TIPOS DE ELEMENTOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL

Existem três tipos de elementos de alvenaria estrutural: elemento não armado, elemento armado e elemento protendido. Como a alvenaria é muito resistente à compressão e muito pouco à tração, elementos não armados resistem muito bem a cargas de compressão, no entanto, o seu uso está limitado a carregamentos que geram as tensões de tração, tais como forças sísmicas e ações do vento. Para condicionar à estrutura melhor desempenho a esforços de tração e ductilidade são utilizados elementos estruturais armados. Nesse tipo de elemento, armações de aço são posicionadas nos furos dos blocos, que são preenchidos por graute para solidarizar o aço ao bloco.

Como destacam Parsekian *et al.* (2013) os elementos armados de alvenaria são utilizados principalmente em países com probabilidade de ações sísmicas, como Índia, Japão e Estados Unidos. Uma obra de destaque com este tipo de alvenaria é o Hotel Excalibur, em Las Vegas, construído em 1989, com blocos de concreto de 30 cm de espessura e resistência de 27,5 MPa na área líquida (cerca de 15 MPa na área bruta).

Já os elementos de alvenaria estrutural protendidos são utilizados em estruturas com predominância de esforços de flexão, como: arrimos, galpões, vigas, paredes corta-fogo e barreira acústica. A protensão da alvenaria é feita aplicando-se forças de protensão através de cabos de aço. Esta força aplicada nos cabos transfere carga de compressão para a estrutura, que por sua vez é melhorada no sentido de resistir a esforços de flexão.

Devido ao fato de o Brasil estar localizado em uma região de baixa atividade sísmica e nele a técnica de se construir em alvenaria estrutural ser empregada em sua grande maioria para obras de baixa e média altura, dos tipos de elementos, o não armado é o mais utilizada no país.

2.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DA ALVENARIA

O parâmetro mais estudado, e colocado por muitos como o mais importante é a resistência à compressão da alvenaria. Esta resistência pode ser afetada por alguns fatores e sua estimativa dá-se por meio de ensaios com os elementos de alvenaria.

2.3.1 Influência dos componentes na resistência à compressão

Gomes, I. (2001) destaca que a alvenaria é influenciada pelas formas, dimensões e anisotropia das unidades, arranjos verticais e horizontais das juntas, propriedades mecânicas dos componentes, qualidade da mão de obra e as condições de cura.

Na sequência será apresentado como cada componente pode atuar aumentando ou diminuindo a resistência da alvenaria.

2.3.1.1 Bloco

O bloco é o componente que mais interfere na resistência da alvenaria. Em geral, a resistência da parede aumenta à medida que aumenta a resistência do bloco.

Um conceito muito importante usado para os cálculos da resistência da parede é a relação entre a resistência da parede e a resistência do bloco que a compõe. Esta relação é denominada eficiência da parede. Por vezes, determina-se também a eficiência da parede em relação ao prisma, e a eficiência do prisma em relação ao bloco. A Equação 2.2 exprime esta relação para a eficiência da parede em relação ao bloco. Quanto para as duas outras determinações, basta-se adaptar esta equação.

$$\eta = \frac{f_{par}}{f_b} \quad 2.2$$

onde: η é a eficiência da alvenaria;

f_{par} é a resistência da parede;

f_b é a resistência do bloco.

Ramalho e Corrêa (2003) destacam que quanto mais resistente for o bloco menor será a eficiência da alvenaria; menores valores de eficiência são encontrados para blocos cerâmicos que para blocos de concreto; e as características da argamassa, graute e armadura também podem influenciar na eficiência da alvenaria. Segundo a análise destes autores, a Tabela 2.1 é uma estimativa para os casos mais

comuns de alvenaria no Brasil: paredes executadas com blocos vazados de concreto ou cerâmicos com resistência entre 4,5 e 20 MPa, não-grauteados e com argamassas usuais.

Tabela 2.1 – Valores da eficiência parede-bloco. (RAMALHO e CORRÊA, 2003).

Bloco	Valor mínimo	Valor máximo
Concreto	0,40	0,60
Cerâmico	0,20	0,50

2.3.1.2 Argamassa

A argamassa em sua função de unir os blocos tem uma propriedade muito importante para o conjunto da alvenaria, que é a sua diferenciada ductilidade em relação à unidade. Portanto, este componente além de promover a união dos blocos, age na distribuição de cargas com absorção das tensões impostas à parede. De acordo com Oliveira (2004 *apud* Mota *et. al*, 2012) 70% das deformações na alvenaria ocorrem na argamassa.

Oliveira (2001) destaca a importância da junta horizontal quanto à espessura e resistência da argamassa. A espessura deve ser limitada a um mínimo, tal que não ocorra um contato de um bloco com o outro, e um máximo, tal que haja o estado de confinamento necessário – estado que impede a ruptura prematura da argamassa. O confinamento, ou estado de compressão triaxial, na argamassa é provocado pelo estado biaxial de tração no bloco quando ele é submetido a um carregamento de compressão axial. Portanto, se a espessura de argamassa for alta, as tensões de tração no bloco não condicionarão tensões de compressão em toda a faixa de espessura da argamassa, provocando-se assim, a ruptura da argamassa para cargas mais baixas, que quando submetida ao confinamento.

Tanto para a espessura quanto para a resistência da argamassa, a norma de alvenaria estabelece limites. A sua faixa de espessura é de 7 mm a 13 mm. A sua faixa de resistência deve ser de 1,5 MPa a um valor máximo correspondendo a 70% da resistência à compressão característica do bloco, em relação a sua área líquida. Os dois limites são estabelecidos para que a ruptura da alvenaria seja de forma dúctil

e para que a parede tenha resistência suficiente para suportar as solicitações de compressão.

Mais adiante serão apresentados resultados de estudos sobre estes dois fatores de influência da argamassa: espessura e resistência.

2.3.1.3 Graute

O graute, em linhas gerais, aumenta a área líquida dos blocos, aumentando portanto, a resistência do conjunto. Quando o bloco é o de concreto esta consideração se faz pertinente, no entanto, para o bloco cerâmico, apesar de estudos como o de Garcia (2000) mostrar ser razoável considerar que o graute atua aumentando a área líquida da unidade, como afirma Ramalho e Corrêa (2003), é necessário que seja feita com cuidado, de modo a evitar a redução significativa do nível de confiança. É simples entender a atuação do graute no bloco de concreto, visto que os materiais que os compõem são semelhantes, portanto o que ocorrerá será um aumento na área resistente da unidade quando é grauteada. Já para o bloco cerâmico o que ocorrerá será o preenchimento dos vazios do bloco por um material com propriedades distintas do que ele é composto, principalmente suas propriedades elásticas.

2.3.2 Estimativa da resistência à compressão da alvenaria

A resistência da alvenaria à compressão é estimada através de ensaios dos elementos de alvenaria: parede, pequena parede e prisma. Sendo este último o elemento mais utilizado para esta estimativa. A escolha do prisma para ser usado como medidor da resistência da alvenaria se dá pela facilidade de se trabalhar com este elemento. Visto que, também, estudos apontam boa correlação da resistência do prisma com a parede. A saber, a norma técnica brasileira de projeto em alvenaria estrutural, ABNT NBR 15812-2 (2010), adota o prisma como o corpo-de-prova de aferição da resistência em obra de alvenaria estrutural, assim como a ABNT NBR 6118 (2014), adota o corpo-de-prova cilíndrico de concreto para obras de concreto.

De acordo com a ABNT NBR 15812-1 (2010, p. 10) a resistência característica à compressão simples da alvenaria (f_k) deve ser estimada com base no ensaio de

parede segundo a ABNT NBR 8949 (1985) ou ser estimada como 70% da resistência característica de compressão simples do prisma (f_{pk}) ou 85% da de pequena parede (f_{ppk}). A resistência de pequena parede ou prisma deve ser determinada de acordo com a ABNT NBR 15812-2 (2010), sendo descrito nesta dissertação, em seu terceiro capítulo, somente os procedimentos para determinação da resistência do prisma. A norma recomenda que o corpo-de-prova da pequena parede tenha no mínimo um comprimento equivalente a dois blocos e uma altura equivalente a 5 vezes a espessura do bloco e não inferior a 70 centímetros.

2.3.2.1 Modelos de ruptura de prismas à compressão

Após alguns estudos chegaram-se a modelos que definem bem a distribuição de tensões na alvenaria quando submetida a carregamentos de compressão. Ramalho e Corrêa (2003) destacam os modelos desenvolvidos por Hilsdorf (1969 *apud* Müller, 1989) e Francis *et al.* (1971) para blocos maciços; e Hamid e Drysdale (1979) para blocos vazados preenchidos com graute. A apresentação desses modelos nesta dissertação é importante para entender, principalmente, o comportamento do principal componente estudado – a argamassa.

Em seu modelo teórico de ruptura de prismas sob compressão, Francis *et al.* (1971) supuseram a ocorrência de tensões de tração nas unidades (Figura 2.1), em virtude da elevada deformação da argamassa. Esta deformação da argamassa distinta da deformação da unidade se dá pela diferença entre os módulos de deformação destes dois componentes que formam o prisma. Para fundamentar o seu modelo Francis *et al.* (1971) embasaram-se na deformação unitária dos materiais, enquanto Hilsdorf nos esforços resistidos pelos materiais. Apesar dessa diferença, adotaram iguais hipóteses para as formulações das suas teorias:

- a. tijolos maciços;
- b. relação linear de Coulomb entre o valor da resistência à tração biaxial e a resistência à compressão uniaxial, definindo a envoltória de ruptura do tijolo submetido ao carregamento triaxial;
- c. esforços de tração laterais uniformes na altura da unidade;
- d. esforços de tração laterais iguais nas direções x e z;
- e. aderência perfeita entre os componentes: tijolo e argamassa.

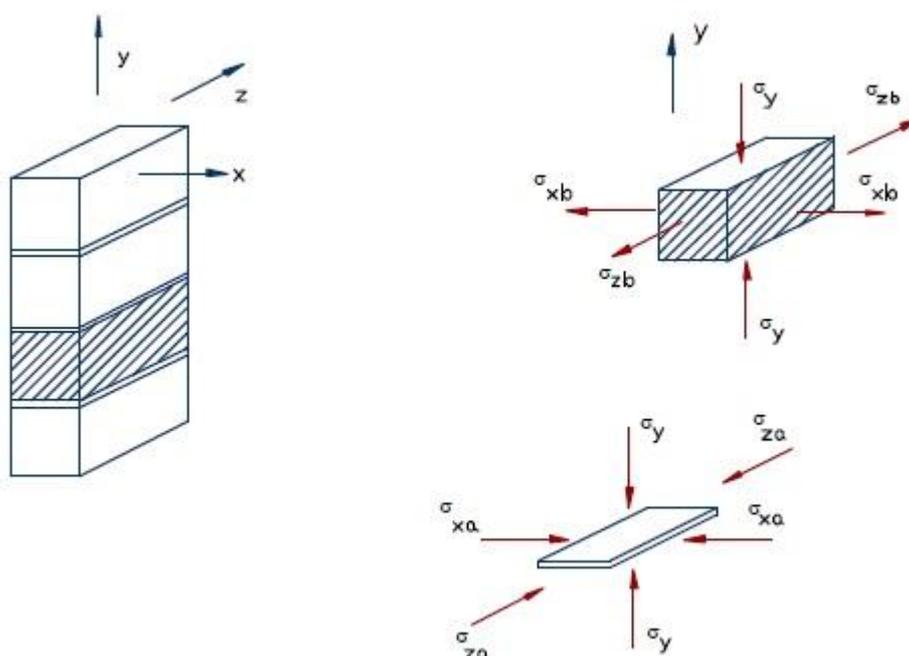


Figura 2.1 – Estado de tensões atuantes nos blocos e nas juntas de argamassa.
(Garcia, 2000)

Concluiu-se através deste modelo que, quando o prisma é comprimido, a argamassa é submetida a um estado de compressão triaxial e o bloco a um estado de compressão uniaxial e tração biaxial. Quando o elemento prisma está sobre compressão a junta de argamassa é submetida ao estado de compressão triaxial, e por este componente ter módulo de deformação menor, deforma-se mais que o bloco, tendendo-se expandir para as laterais, mas é impedida pelo bloco, que é submetido a um estado de tração biaxial. Quando as tensões de tração ultrapassam a resistência à tração do bloco, ocorre a fissuração da peça e conseqüentemente a sua ruptura.

No modelo de Hamid e Drysdale (1979) a argamassa também apresenta-se submetida a um estado de compressão triaxial, levando a unidade a um estado de tração biaxial, que também é influenciado pelo graute, que aparece sob um estado de compressão triaxial (Figura 2.2). Através deste modelo verificou-se que a ruína dos prismas de blocos de concreto grauteados, submetidos à compressão axial, inicia-se com o aparecimento de fissuras verticais nos blocos. Estas fissuras são influenciadas pela expansão do graute e/ou argamassa, devido à maior deformação lateral desses componentes, comparado ao bloco. Na formulação deste modelo os autores tomaram as seguintes hipóteses para o desenvolvimento das suas teorias:

- aderência perfeita nas interfaces bloco-argamassa-graute;
- distribuição proporcional de esforços verticais entre o bloco, a argamassa e o graute, em função do módulo de elasticidade inerente a cada material;
- distribuição uniforme das tensões laterais para cada um dos materiais ao longo da altura (As tensões laterais que surgem nas faces dos blocos devido à deformação do graute seriam, pela adoção dessa hipótese, distribuídas uniformemente ao longo da altura. Entretanto, segundo Garcia (2000), numa análise elástica com a utilização de elementos finitos, verificou-se que, devido à incompatibilidade de deformações entre a argamassa e o bloco, essas tensões não se desenvolvem de maneira uniforme, sendo maiores nas proximidades das juntas de argamassa.);
- teoria de ruptura de Mohr (envoltória de Coulomb) adotada para expressar a ruptura do bloco de concreto submetido a um estado biaxial de tensão (compressão-tração);
- o graute é assumido como tendo as mesmas características de um concreto convencional sob um estado de compressão triaxial.

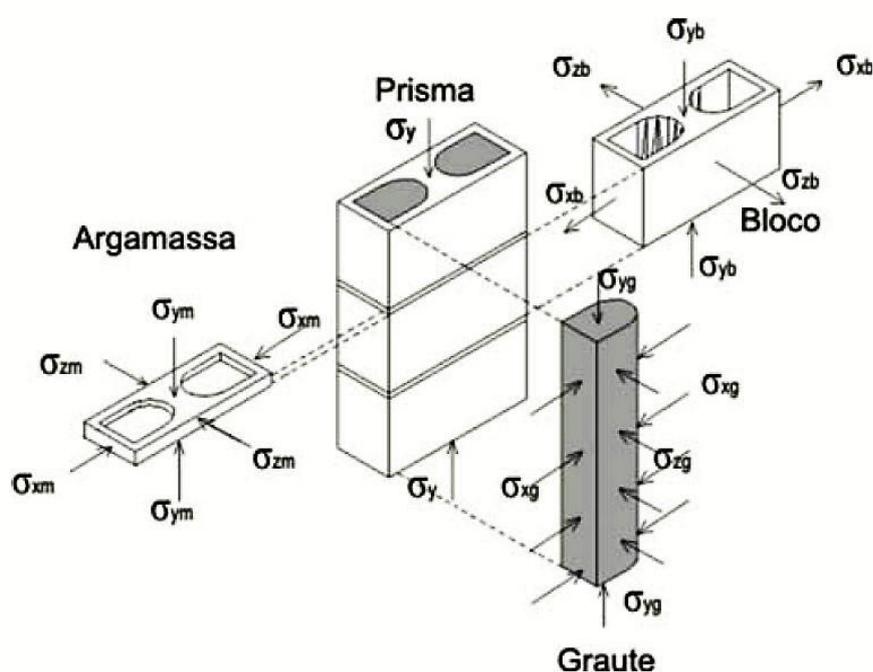


Figura 2.2 – Distribuição das tensões verticais e horizontais nos materiais.

(Mohamad *et al.*, 2011)

Neste modelo são considerados dois casos de ruína do prisma, levando em conta a perda da capacidade resistente dos componentes: graute ou o conjunto bloco-

argamassa. Quando o graute perde a sua capacidade de resistência à compressão inicia-se sua deformação inelástica que causa expansão lateral do material dentro do bloco, que por sua vez tende a inibir esta deformação, confinando o graute, resultando em um estado de tração na unidade. Essas tensões somadas às tensões de tração provocadas pela deformação da argamassa causam a ruptura prematura das faces dos blocos. Já quando o bloco atinge a sua capacidade de resistência à compressão primeiro que o graute, o graute se encontra submetido somente às deformações elásticas. Assim, as faces dos blocos irão restringir apenas às deformações da argamassa e a tensão de ruptura será outra.

Com contribuições de trabalhos anteriores, Lima (2010) destaca quatro formas de ruptura que ocorrem em um prisma, que depende da resistência da ligação argamassa-bloco, resistência à compressão da argamassa e do bloco e a resistência à tração do bloco. De acordo com Mohamad, (2007) a ruptura por tração (abertura da junta) ou cisalhamento (deslizamento entre as superfícies com o atrito) sucede sempre que a resistência de ligação é fraca induzindo à separação entre os componentes. Segundo Cheema e Klingner (1986 *apud* MOHAMAD, 2007) a ruptura por esmagamento da argamassa ocorre no momento que a tensão de compressão alcança a resistência à compressão da argamassa no seu estado confinado. Segundo a este mesmo autor, a ruptura por esmagamento do bloco ocorre no momento que a tensão principal de compressão no bloco alcança a resistência máxima à compressão do bloco. Conforme Mota (2001), se a argamassa é mais fraca a progressão da fissuração é lenta e o elemento se comporta como um material dúctil. E o último caso de ruptura – a ruptura por tração no bloco – ocorre no instante que a tensão principal de tração excede a resistência à tração do bloco, que por sua vez é baixa, normalmente menor que 10% da resistência à compressão. Segundo Steil (2003) esta ruptura é caracterizada pelo aparecimento de fissuras verticais, perpendiculares às tensões de tração nos blocos. Conforme salientado por Barbosa (2008), com argamassa mais resistente, a capacidade resistente do prisma é esgotada em função da ruína dos blocos, decorrente dos esforços internos de tração. A relação da resistência de cisalhamento e de compressão existe até certo valor limitante da compressão vertical, além da qual a falha da junta é substituída pela fissuração através das unidades. Para blocos cerâmicos este limite é de aproximadamente 2,0 MPa. Os prismas com argamassa forte fissuram subitamente e rompem explosivamente no carregamento último.

2.4 ESTUDOS SOBRE A INFLUÊNCIA DA ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO NA RESISTÊNCIA DA ALVENARIA

Dois fatores são destacados quando se pretende analisar a influência da argamassa na resistência da alvenaria: a espessura e a resistência da junta horizontal.

2.4.1 Influência da espessura da argamassa

Trabalhar-se com a espessura da junta horizontal muito pequena pode fazer com que por falha na execução, ou irregularidades geométricas da unidade, haja contato entre pontos das superfícies dos blocos, gerando pontos de concentração de tensões. No entanto, conforme salientaram Ramalho e Corrêa (2003), desde um trabalho pioneiro de Francis (1971), foi atestado que o aumento na espessura de argamassamento horizontal gera um decréscimo na resistência da alvenaria. Conforme será visto adiante, após Francis (1971), diversos pesquisadores estudaram este parâmetro e, em sua maioria, concluiu-se que há perda de resistência com o aumento na espessura da junta. Esta perda de resistência está relacionada ao estado de confinamento que se encontra a argamassa.

Camacho (1995), ao avaliar a influência da espessura da junta horizontal na resistência à compressão da alvenaria, determinou os fatores de resistência à compressão da alvenaria para espessuras de 6 mm a 20 mm (Tabela 2.2). Plotando-se os pontos $(e_a; k)$ em um plano cartesiano cuja a abscissa é a espessura da argamassa e a ordenada é o fator de resistência, observa-se que há uma boa correlação da distribuição do pontos sobre uma curva de uma função linear decrescente (Figura 2.3).

Tabela 2.2 – Fator de variação da resistência à compressão da alvenaria (adaptado de Camacho, 1995).

Espessura da argamassa	Fator de resistência
6	1,12
10	1,00
13	0,84
16	0,70
20	0,54

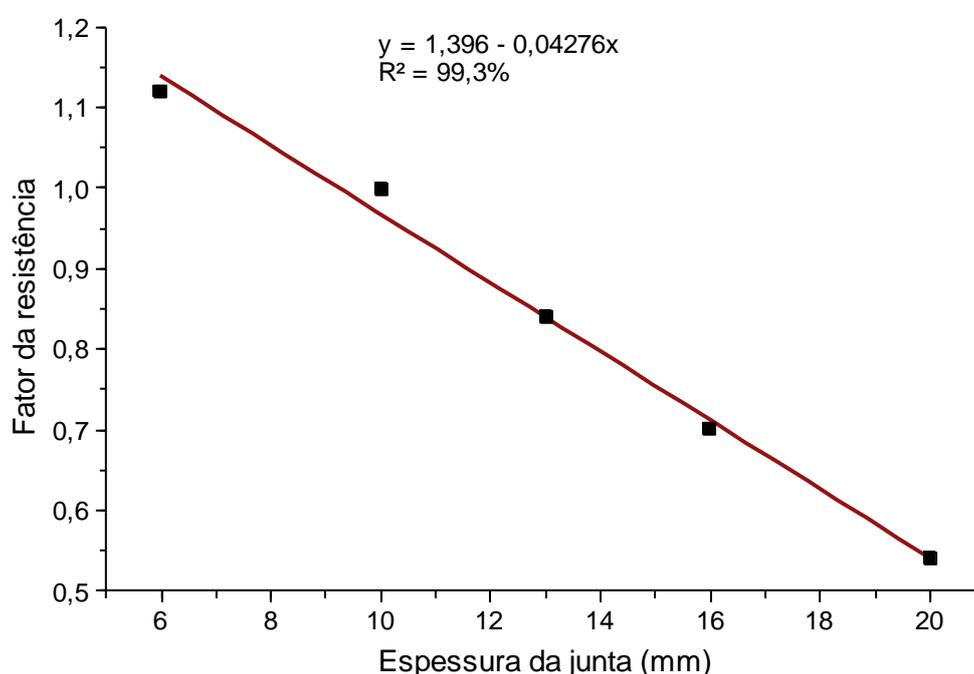


Figura 2.3 – Fator de variação da resistência à compressão da alvenaria pela espessura de argamassa. (adaptado de Camacho, 1995).

Muitos pesquisadores já analisaram a influência da espessura da argamassa na resistência da alvenaria. Segundo Mota *et al.* (2012) os resultados das pesquisas indicaram um decréscimo na resistência quando se aumenta a espessura da junta. Para Sahlin (1971 *apud* Camacho, 1995), a cada aumento de 0,3 centímetros na espessura da junta horizontal uma redução de 15% na resistência da parede foi verificada. Conforme a análise de Gross *et al.* (1980 *apud* Sabbatini, 1984) o aumento de espessura da argamassa de 10 mm para 17 mm gerou um decréscimo de 46%, enquanto ocorreu um acréscimo de 12% quando se diminuiu a espessura de 10 mm

para 6,3 mm (Tabela 2.3). Khalaf (1996) ao estudar prismas de blocos de concreto, verificou que a resistência à compressão do elemento diminuiu 18% quando a espessura foi variada de 5 mm para 20 mm. De acordo com Lordsleem Júnior (2004) as juntas devem ter espessura igual a 10 mm, com uma variação entre 8 a 18 mm, pois para valores abaixo desta faixa a alvenaria perde a sua capacidade de absorção das deformações e acima de 18 mm perde em sua resistência mecânica. Carvalho (2003) não identificou diferença significativa na resistência de prismas, quando se alterou a junta de argamassa, no entanto, analisando-se os valores médios da resistência verificou-se redução mais acentuada quando a variação foi de 10 mm para 25 mm.

Tabela 2.3 – Fator de variação da resistência à compressão da alvenaria. (adaptado de Gross *et al.*, 1980 *apud* Sabbatini, 1984).

Espessura da argamassa (mm)	Fator de resistência
6,3	1,12
10	1,00
17	0,54

Com base nestes estudos dois fatores importantes são apontados: variação de espessura entre juntas com espessuras menores geram maior diferenciação da resistência; apesar de a norma prever a variação da junta de 10 mm para mais ou para menos 3 mm (ou seja, de 7 a 13 mm), junta com valor próximo a 7 mm gera maior resistência e junta de 13 mm menor resistência que junta de 10 mm. Estes fatores podem ser explicados pelo efeito do confinamento da argamassa que é mais saliente em espessuras mais reduzidas.

Mota *et al.* (2012) também avaliaram a influência da espessura da junta horizontal na resistência da alvenaria considerando o seu desempenho à compressão. Neste trabalho, a unidade utilizada foi o bloco estrutural cerâmico de dimensões de 14x19x39 cm, cuja resistência média calculada foi igual a 10,2 MPa e a característica 4,0 MPa. As espessuras das juntas foram variadas em três níveis (Tabela 2.4), chegando-se aos seguintes resultados: a redução da resistência observada à compressão para as juntas de 15 mm e 20 mm, em relação à de 10 mm, foi de aproximadamente 15% e 58%, respectivamente; os valores da eficiência prisma-bloco para as três espessuras foi de 0,5, 0,42 e 0,21.

Tabela 2.4 – Resistência dos prismas em função da espessura. (MOTA *et al.*, 2012).

Espessura da argamassa (mm)	Resistência do prisma (MPa)	Fator de resistência
10	5,05	1,00
15	4,30	0,85
20	2,10	0,42

2.4.2 Influência da resistência da argamassa

Para Ramalho e Corrêa (2003) a influência da resistência da argamassa não ocorreu de forma tão significativa, considerando importante a sua influência somente se a resistência da argamassa for menor que 40% da resistência do bloco. Gomes, N. (1983) em seu estudo utilizando blocos com resistência à compressão igual a 7,5 MPa na execução de paredes, verificou que variando-se a resistência da argamassa em torno de 135%, a resistência da parede aumentou apenas 15%.

Rizzatti *et al.* (2011) ao avaliar a influência da geometria dos blocos no comportamento mecânico da alvenaria, verificaram também a influência da resistência da argamassa na resistência de prisma e de parede. Escolheu-se estudar os prismas de três blocos, para minimizar os possíveis efeitos de confinamento do corpo-de-prova pelos pratos da prensa. Foram confeccionados prismas com três blocos inteiros e prismas com a fiada intermediária com dois meios blocos. Também foram analisadas pequenas paredes de 36 centímetros de largura por 84 centímetros de altura. Os blocos foram produzidos em escala 1:3, para o bloco de dimensões reais de 14 centímetros de largura, 19 de altura e 29 de comprimento. Foram utilizadas duas argamassas, denominadas I e II, tendo os respectivos traços de 1:1:6 e 1:0,5:4 (proporções em volume de cimento, cal e areia). Os componentes da argamassa foram o cimento CP II F-32, cal hidratada tipo CH III e areia natural, com as respectivas massas unitárias de 1,12, 0,64 e 1,33 kg/l. Estudaram-se quatro modelos de blocos, porém aqui será apresentado o resultado para apenas dois modelos (Figura 2.4) – o Bloco A de paredes maciças com parede interna maciça e o Bloco D de paredes maciças com parede interna vazada. As resistências à compressão dos blocos foram de 29,43 MPa e 56,48 MPa para o Bloco A e de 33,57 MPa e 58,11 para o Bloco D, em relação à área bruta e em relação à área líquida respectivamente. Os resultados

dos ensaios de resistência à compressão das argamassas, dos prismas e das paredes são apresentados na Tabela 2.5, Tabela 2.6 e Tabela 2.7.

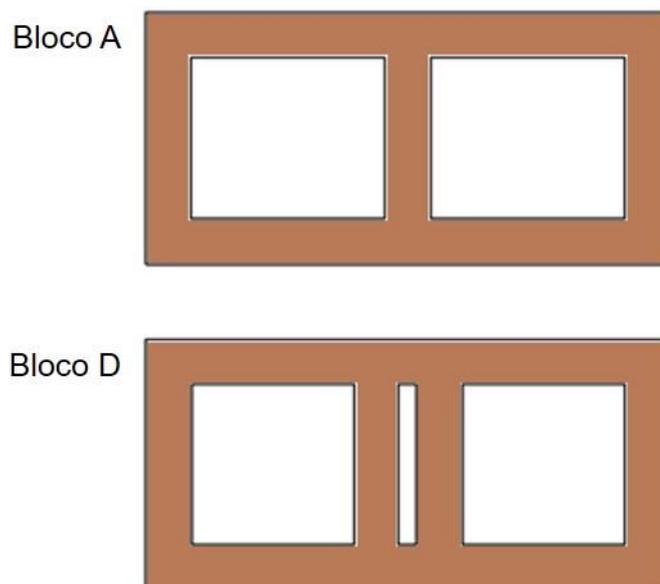


Figura 2.4 – Vista superior dos Blocos A e D. (RIZZATTI *et al.*, 2011).

Tabela 2.5 – Resistência à compressão das argamassas. (RIZZATTI *et al.*, 2011)

Tipo	Resistência à compressão (MPa)	
	Argamassa I	Argamassa II
Elementos com o Bloco A	3,08	5,21
Elementos com o Bloco D	2,56	5,15

Tabela 2.6 – Resistência à compressão dos elementos de alvenaria com o bloco A. (RIZZATTI *et al.*, 2011)

Tipo	Resistência Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de Variação (%)
PA1	20,48	2,10	10,30
PA2	24,50	4,30	17,57
PA1*	24,27	1,29	5,32
PPA1	9,62	0,69	7,20
PPA2	9,72	1,36	13,94

* prisma com fiada intermediária com dois meios blocos

Tabela 2.7 – Resistência à compressão dos elementos de alvenaria com o Bloco D.
(RIZZATTI *et al.*, 2011)

Tipo	Resistência Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de Variação (%)
PA1	20,30	1,42	7,00
PA2	22,99	1,74	7,56
PA1*	26,25	3,34	12,70
PPA1	14,29	1,37	9,50
PPA2	15,48	1,15	7,40

* prisma com fiada intermediária com dois meios blocos

É possível observar que os resultados de Rizzatti *et al.* (2011) apontam uma diferença na resistência do prisma e parede provocada pelo aumento da resistência da argamassa. Para os elementos com o bloco A o acréscimo de 69% na resistência da argamassa gerou 20% de aumento na resistência do prisma e 1% na resistência da parede. Já para o bloco B o aumento de 101% na resistência da argamassa gerou 13% de ganho na resistência do prisma e 8% na resistência da parede. Concluiu-se que este ganho de resistência na parede não é significativo. Por meio dos valores das eficiências da alvenaria (Tabela 2.8) é possível concluir também que, o bloco D apresentou melhor desempenho à compressão no ensaio de parede, o que pode ser devido a sua área líquida, que apresenta maior valor que a do bloco A.

Tabela 2.8 – Eficiência dos elementos de alvenaria. (RIZZATTI *et al.*, 2011)

Tipo	Eficiência da alvenaria	
	Bloco A	Bloco D
PA1	0,36	0,36
PA2	0,43	0,40
PA1*	0,43	0,46
PPA1	0,17	0,25
PPA2	0,17	0,27

* prisma com fiada intermediária com dois meios blocos

Outro trabalho no qual foi verificada a influência da resistência da argamassa na resistência da parede foi Santos (2008). Em sua pesquisa foram utilizados blocos de 14x19x29 para moldar prismas de dois e três blocos e também pequenas paredes de 79 centímetros de altura por 74 centímetros de comprimento, sendo aqui

analisados somente os resultados dos ensaios de prismas constituídos de dois blocos. Foram utilizadas quatro argamassas mistas com o constituinte cimento CII Z 32, a cal hidratada CHII e areia natural (Tabela 2.9). A resistência à compressão da argamassa (R_c) foi determinada, chegando-se aos valores mostrados na Tabela 2.9. As unidades utilizadas foram de dois tipos: BPM (bloco cerâmico estrutural de paredes maciças com paredes internas vazadas) e BPV (bloco cerâmico estrutural de paredes vazadas). As resistências à compressão dos blocos foram de 15,10 MPa e 30,82 MPa para o BPM e de 11,70 MPa e 28,54 para o BPV, em relação à área bruta e em relação à área líquida respectivamente. Os resultados dos ensaios dos prismas indicaram a influência da argamassa na resistência destes elementos. Observou-se uma boa aproximação linear para a variação da resistência do prisma pela variação da resistência da argamassa, mais saliente para os prismas com blocos de paredes vazadas, conforme pode ser analisado nos gráficos apresentados na Figura 2.5 e Figura 2.6. Para o bloco de paredes vazadas 16,3% é uma boa aproximação para a taxa do acréscimo percentual da resistência do prisma em função do acréscimo percentual da resistência da argamassa.

Tabela 2.9 – Traços de argamassas de. (SANTOS, 2008).

Tipo de argamassa	Proporção em volume			R_c (MPa)
	Cimento	Cal	Areia	
T1	1	1,4	5,1	1,9
T2	1	1,2	2,8	3,5
T3	1	1,1	2,0	4,3
T4	1	1,0	1,0	5,1

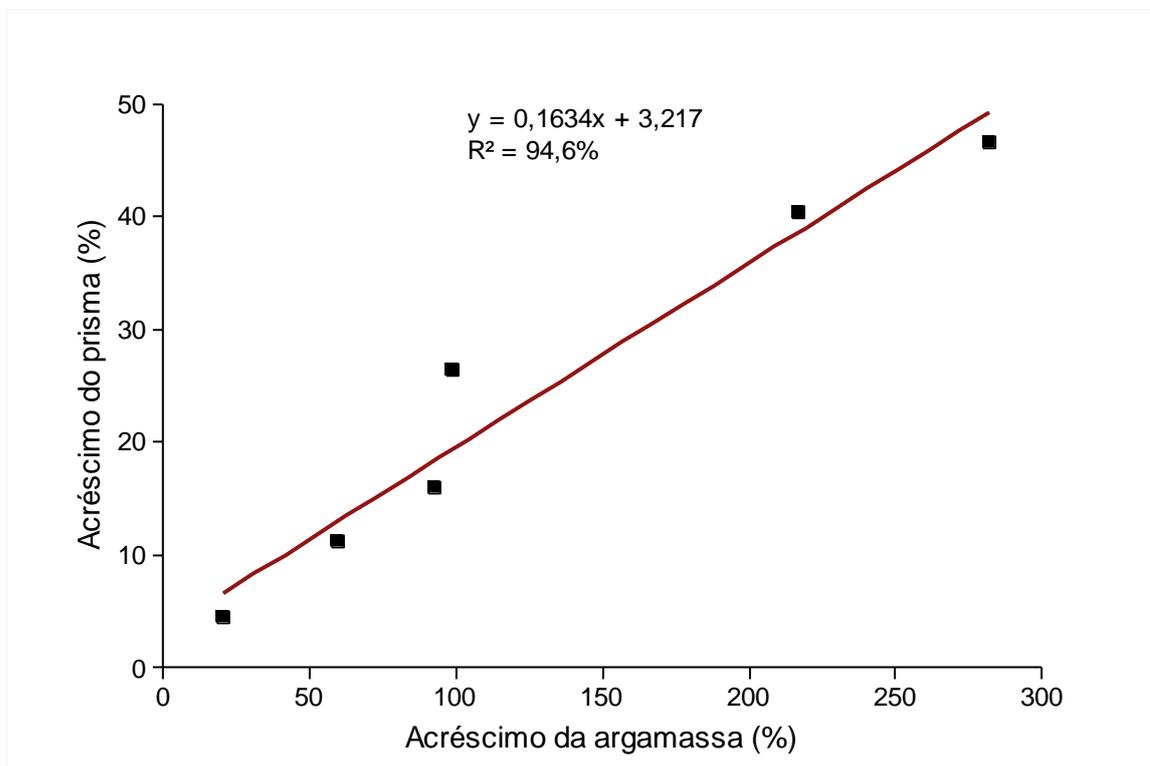


Figura 2.5 – Acréscimo de resistência da argamassa pelo acréscimo de resistência à compressão dos prismas de 2 blocos com paredes vazadas. (SANTOS, 2008)

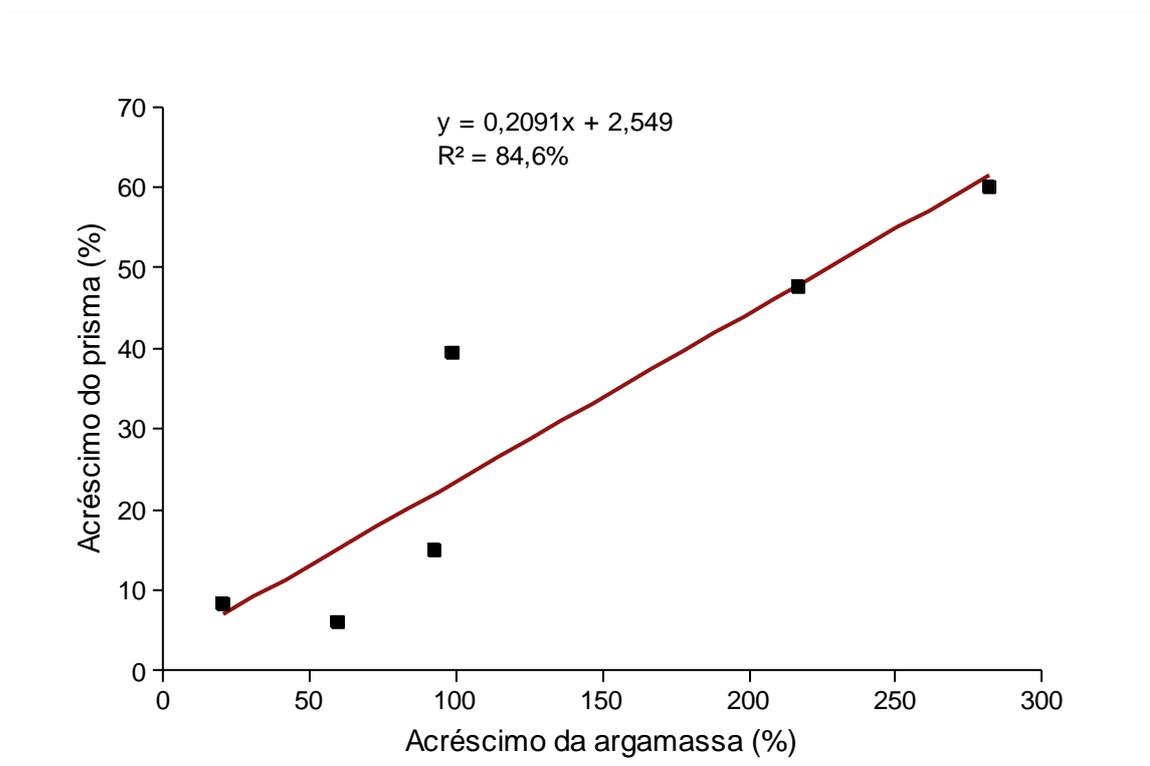


Figura 2.6 – Acréscimo de resistência da argamassa pelo acréscimo de resistência à compressão dos prismas de 2 blocos com paredes maciças. (SANTOS, 2008)

Machado *et al.* (1999 *apud* Garcia e Ramalho, 2007) estudaram uma amostra de blocos estruturais cerâmicos de dimensões 14x19x29, área bruta de 406 cm² e área líquida de 203 cm². Duas argamassas com resistências distintas foram utilizadas na confecção dos prismas, que foram analisados quanto às resistências à compressão. Os corpos-de-prova de argamassa para determinar as suas resistências foram os cilíndricos de 5 centímetros de diâmetro por 10 centímetros de altura. O equipamento de ensaio foi uma prensa servo-hidráulica *Instron mod. 8506*. A taxa de ensaio foi de 0,07 mm por segundo. Os resultados deste trabalho estão apresentados na Tabela 2.10. Esperava-se que o aumento da resistência da argamassa gerasse um aumento na resistência do prisma, porém o inverso ocorreu. A elevada dispersão dos dados da resistência dos blocos cerâmicos e das argamassas pode ter contribuído para este resultado inesperado. É possível verificar na Tabela 2.11 o desvio padrão das amostras de argamassas, blocos e prismas, sendo o número de corpos-de-prova ensaiados iguais a 5, 12 e 6, respectivamente. Apesar do resultado inesperado para prismas de dois blocos, neste mesmo estudo, para o acréscimo de resistência da argamassa foi verificado um acréscimo na resistência de prismas com três blocos e na resistência da parede.

Tabela 2.10 – Resistências das argamassas, blocos e prismas.

Traço	Resistência (MPa)			Eficiência do prisma
	Argamassa	Bloco	Prisma	
1:0,25:3	22,98	12,56	6,39	0,58
1:0,5:4,5	12,83	12,56	7,23	0,51

Tabela 2.11 – Desvio padrão da média das resistências da argamassa, bloco e prismas.

Traço	Desvio Padrão (MPa)		
	Argamassa	Bloco	Prisma
1:1/4:3	3,38	2,53	0,72
1:1/2:9/2	0,39	2,53	0,36

Pode-se observar o modo de ruína dos blocos de Machado *et al.* (1999 *apud* Garcia e Ramalho, 2007), como mostrado na Figura 2.7. Observam-se fissuras verticais descentralizadas em sua face menor e na face maior aparece uma fissura próxima ao eixo central, o que caracteriza um ruptura por tração do bloco.



Figura 2.7 – Modo de ruptura de prismas de 2 blocos. (MACHADO *et al.*, 1999 *apud* GARCIA e RAMALHO, 2007)

Machado e Takeya (1998 *apud* Garcia E Ramalho, 2007) também estudaram o comportamento da alvenaria estrutural cerâmica considerando sua resistência à compressão. Neste trabalho foram utilizados blocos com as mesmas dimensões e igual seção transversal do trabalho descrito anteriormente. O mesmo equipamento também foi utilizado. O traço da argamassa de assentamento foi de 1:0,15:4,83 (proporção em cimento, cal e areia) com o fator a/c igual a 1. Os resultados dos ensaios para as resistências aos sete dias da argamassa e do elemento prisma com dois blocos estão apresentados na Tabela 2.12. A Tabela 2.13 apresenta o desvio padrão das amostras de argamassas, blocos e prismas, sendo o número de corpos-de-prova ensaiados iguais a 6, 12 e 2, respectivamente. Analisando-se os dados apresentados, verifica-se que a eficiência do prisma variou de 0,20 a 0,31. Também é possível ver que o aumento na resistência da argamassa gerou um aumento na resistência do prisma, no entanto, quantificar este aumento pode levar a um valor não significativo, pelo número baixo de corpos-de-prova de prisma.

Tabela 2.12 – Resistência das argamassas, blocos e prismas.

Resistência (MPa)			Eficiência do prisma
Argamassa	Bloco	Prisma	
6,30	20,79	4,16	0,20
7,02	20,79	6,28	0,30
8,34	20,79	6,52	0,31

Tabela 2.13 – Desvio padrão da média da resistência dos componentes e do elemento prisma.

Desvio Padrão (MPa)		
Argamassa	Bloco	Prisma
0,73	2,43	1,34
1,04	2,43	0,62
0,24	2,43	0,23

Em Garcia (2000) as unidades para estudo também foram semelhantes as dos dois trabalhos anteriores. A argamassa utilizada teve traço de 1:0,5:4,5 (proporção em volume de cimento, cal e areia). Os corpos-de-prova de argamassa foram os cilíndricos de 5 centímetros de diâmetro por 10 centímetros de altura. Para análise da resistência à compressão e determinação do módulo de elasticidade foram ensaiados inicialmente bloco e meio bloco sem graute, e na sequência, em duas etapas (primeira e segunda etapa), bloco e prismas de dois e três blocos com graute. O grauteamento ocorreu nos dois furos principais da seção do bloco (Figura 2.8).

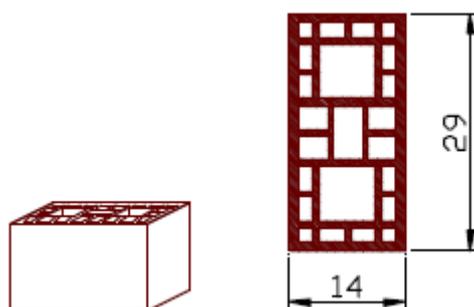


Figura 2.8 – Vista superior e perspectiva do bloco de estudo. (GARCIA, 2000).

No ensaio de compressão os corpos-de-prova foram dispostos entre duas placas metálicas de aproximadamente 1,5 centímetros de espessura. A velocidade de ensaio foi controlada para uma taxa de 0,07 mm por segundo. O equipamento de

ensaio foi uma prensa servo-hidráulica *Instron mod. 8506*. Para determinar o módulo de elasticidade dos blocos foram posicionados transdutores de deslocamento em suas faces menores, possibilitando a medida do deslocamento relativo durante o carregamento. Na Figura 2.9 e Figura 2.10 é possível observar a instrumentação que foi utilizada para monitoramento dos deslocamentos dos meios blocos de 14x19x14 e dos prismas de três blocos. Obteve-se o módulo de elasticidade considerando apenas o trecho linear do gráfico tensão *versus* deformação, que compreendia valores em torno de 30% a 80% da carga de ruptura, sendo o valor do módulo de elasticidade igual a inclinação da reta deste trecho. O Coeficiente de Poisson que seria calculado para os prismas de três blocos não foi apresentado, pois o valor encontrado foi tomado como incoerente.

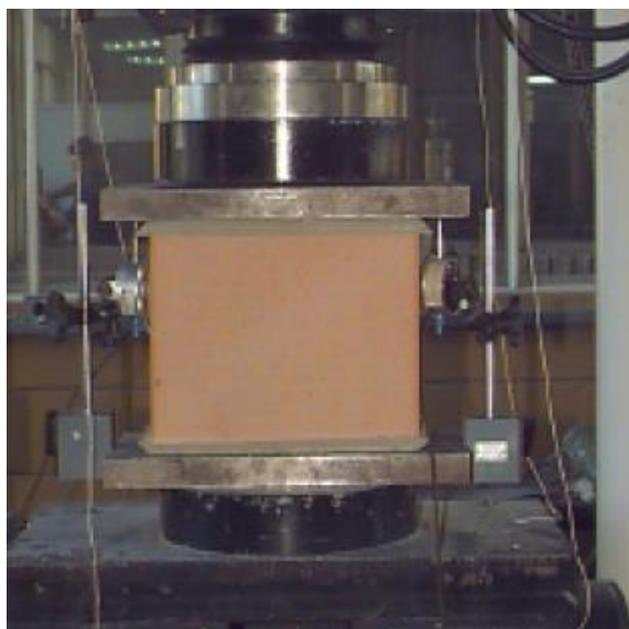


Figura 2.9 – Instrumentação do meio bloco e bloco para obtenção do módulo de elasticidade. (GARCIA, 2000)



Figura 2.10 – Instrumentação do prisma de três blocos. (GARCIA, 2000)

Na Tabela 2.14 e Tabela 2.15 estão apresentados o valor médio e o desvio padrão da resistência e do módulo de elasticidade para cada amostra. Através dos resultados não é possível se fazer uma análise sobre a influência da argamassa na resistência dos prismas, que é o tema do presente trabalho, no entanto, a metodologia experimental deste trabalho contribui para fundamentar o ensaio do módulo de deformação longitudinal.

Tabela 2.14 – Características mecânicas dos blocos sem graute.

Tipo de bloco	Resistência (MPa)		Mód. Elasticidade (MPa)	
	Média	DesvPad	Média	DesvPad
½ bloco	15,89	1,80	4086	561,6
bloco	12,15	1,08	-	-

Onde DesvPad é o desvio padrão amostral.

Tabela 2.15 – Resistência da argamassa, blocos e prismas com graute.

Tipo de bloco	Resistência à compressão (MPa)			
	Primeira etapa		Segunda etapa	
	Média	DesvPad	Média	DesvPad
argamassa	10,97	0,59	13,24	0,94
bloco	17,80	1,11	16,72	1,37
prisma de 2 blocos	11,67	1,52	11,43	1,21
prisma de 3 blocos	11,58	1,56	9,40	1,30

Onde DesvPad é o desvio padrão amostral.

Pasquali (2007) analisou a influência da argamassa na resistência da alvenaria, considerando o tipo de junta, junta plena ou apenas longitudinal, sendo apresentado aqui somente os resultados para o primeiro tipo de junta. Foram utilizados blocos cerâmicos de dimensões nominais de 14x19x29, de dois tipos, o de parede maciça e o de parede vazada (Figura 2.11), sendo aqui mencionados unicamente os resultados para os de paredes vazadas. A argamassa de assentamento foi industrializada, com resistências nominais de 2, 4 e 10 MPa. O elemento de alvenaria estudado foi a pequena parede (Figura 2.12).



Figura 2.11 – Blocos estruturais cerâmicos de paredes vazadas e maciças.
(PASQUALI, 2007)

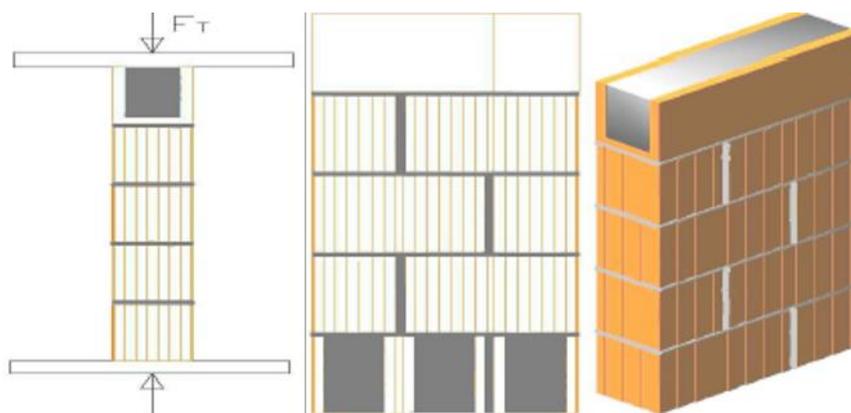


Figura 2.12 – Demonstrativo da pequena parede de blocos vazados, argamassa plena, com canaletas "u" e furos da primeira fiada grauteados. (PASQUALI, 2007)

Foram moldados corpos-de-prova prismáticos para ensaios de compressão de argamassa, com dimensões de 4x4x16 centímetros. O ensaio de compressão axial seguiu o descrito na ABNT NBR 13279 (2005).

Para o ensaio de compressão, as faces de ensaio dos blocos foram regularizadas por um capeamento de pasta de cimento com 5 mm de espessura. Deixado curar este capeamento por 48 horas, os blocos eram imersos em água por 24 horas. Após umedecido, o corpo-de-prova era submetido à compressão por um incremento de carga de 0,5 MPa por segundo.

Os valores encontrados por PASQUALI (2007) estão expostos na Tabela 2.16 e Tabela 2.17. Como foi anunciado pelo autor, as argamassas com menores resistências tendem a ser mais deformáveis, o que explica o decréscimo no valor da relação entre a resistência à tração e à compressão quando se aumenta a resistência da argamassa. É possível verificar a influência da argamassa na resistência da alvenaria, no entanto, comparando as argamassas de 2 e 4 MPa verifica-se que teve um decréscimo de resistência, o que pode ser justificado pela pequena diferença de resistência entre estas duas argamassas. Quando se teve um acréscimo de 208,2% na argamassa o acréscimo na resistência da pequena parede foi de 31,6%. Os valores das eficiências das pequenas paredes ficaram entre 0,35 e 0,46.

Tabela 2.16 – Resistências mecânicas das argamassas. (PASQUALI, 2007)

Tipo de Argamassa	Resistência (MPa)		R_f/R_c
	R_c	R_f	
2 MPa	2,54	1,02	0,40
4 MPa	4,25	1,58	0,37
10 MPa	13,10	4,06	0,31

Tabela 2.17 – Resistência dos componentes e da pequena parede com blocos de paredes vazadas. (PASQUALI, 2007)

Tipo de Argamassa	Resistência (MPa)			f_{pp}/f_b
	R_c	f_b	f_{pp}	
2 MPa	$2,54 \pm 0,18$	$12,3 \pm 0,8$	$4,39 \pm 0,25$	0,36
4 MPa	$4,25 \pm 0,04$	$12,3 \pm 0,8$	$4,34 \pm 0,21$	0,35
10 MPa	$13,10 \pm 0,49$	$12,3 \pm 0,8$	$5,71 \pm 0,81$	0,46

Foi determinado também o módulo longitudinal de cada pequena parede. O dispositivo utilizado foi um relógio comparador digital com resolução de 0,001 mm (Figura 2.13). Os resultados obtidos com o monitoramento da deformação foram plotados em um gráfico, onde se determinou o trecho linear da curva tensão *versus* deformação, obtendo-se os valores descritos na Tabela 2.18.

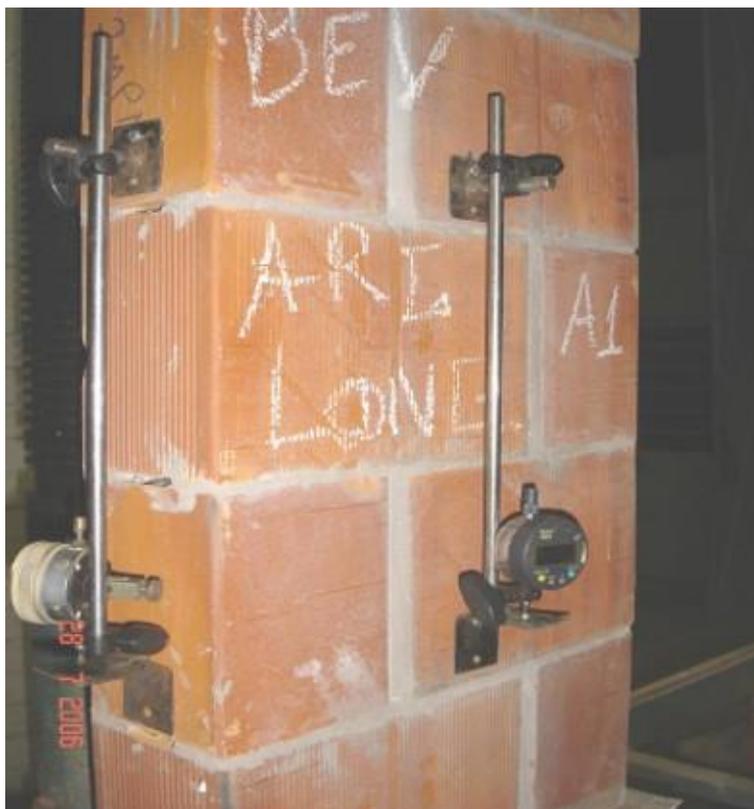


Figura 2.13 – Dispositivos de ensaios para determinar a deformação. (PASQUALI, 2007).

Tabela 2.18 – Módulo de deformação para pequenas paredes com blocos cerâmicos de paredes vazadas. PASQUALI (2007)

f_{pp} (MPa)	E (MPa)	E/f_{pp}	R^2
4,39	4196	956	0,9953
4,34	3665	844	0,9909
5,71	3355	588	0,9998

Rigão (2012) objetivou-se analisar o comportamento da alvenaria estrutural frente a altas temperaturas. A alvenaria foi analisada tanto à temperatura ambiente quanto a elevadas temperaturas, entretanto, os resultados analisados aqui serão somente à temperatura ambiente. As unidades empregadas na composição dos elementos de alvenaria foram blocos cerâmicos de 14x19x29, de paredes maciças (Figura 2.14), com área líquida de 188,4 centímetros quadrados e relação área líquida por área bruta igual a 0,46. A resistência média calculada para a tração da argamassa foi de 1,05 MPa e para a compressão foi de 4,10 MPa, com desvio padrão de 0,10 MPa na tração e 0,33 MPa na compressão. A resistência média calculada para a compressão da unidade foi de 11,5 MPa, com desvio padrão de 1,14 MPa e

coeficiente de variação de 9,94%. Foram moldados seis prismas obtendo-se uma resistência média de ruptura à compressão aos 28 dias de 5,60 MPa, com desvio padrão de 0,34 MPa e coeficiente de variação de 6,02%. O valor para a resistência da pequena parede à compressão foi de 3,77 MPa.

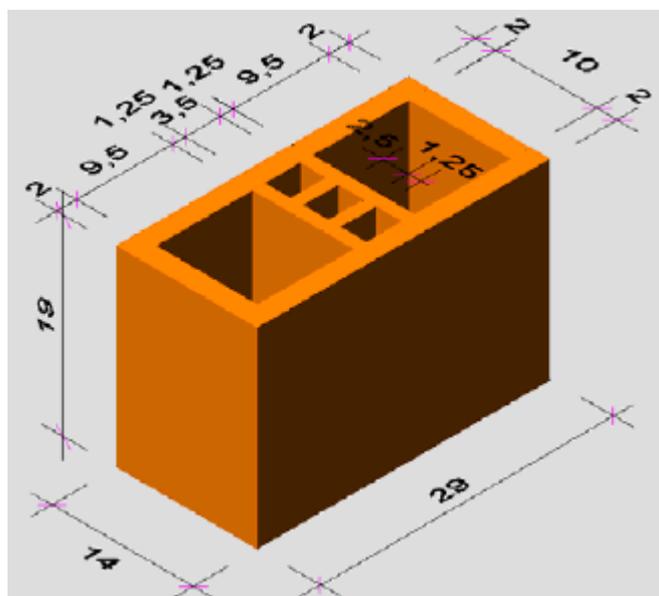


Figura 2.14 – Dimensões dos blocos utilizados. (RIGÃO, 2012)

Os resultados de Rigão (2012) apresentaram uma relação entre a resistência à tração e à compressão da argamassa igual a 0,25; eficiência do prisma igual a 0,49; e eficiência da pequena parede igual a 0,33.

2.4.3 Influência conjunta da espessura e da resistência da argamassa

Lima (2010) estudou a influência da argamassa de assentamento na resistência da alvenaria por meio de um planejamento fatorial 3^2 , cujos dois fatores foram a espessura e a resistência da argamassa, e os três níveis para cada fator foram de 10, 15 e 20 mm para a espessura, e as resistências foram equivalentes a 50%, 100% e 150% da resistência do bloco na área bruta.

Montgomery e Runger (2012) salientam que em um planejamento fatorial de experimentos, tentativas experimentais são feitas em todas as combinações dos níveis dos fatores. Portanto, para o estudo de Lima (2010), foram feitas tentativas experimentais em cada uma das nove combinações possíveis.

O bloco utilizado em Lima (2010) apresentou relação área líquida por área bruta igual a 0,37 e índice de absorção de água igual a 9,4%. Sua resistência à compressão média foi de 10,2 MPa, com um desvio padrão de 1,52 MPa e coeficiente de variação de 15%.

Neste estudo verificou-se que a resistência do prisma aumentou com o incremento da resistência da argamassa e diminuiu com o aumento da junta da argamassa. Observou-se também, que quanto maior a resistência da argamassa, mais acentuada foi esta queda de resistência pelo aumento de espessura da junta.

Encontrou-se um modelo estatístico (Equação 2.3) considerado satisfatório, para a representação da resistência do prisma em função da espessura e da resistência da argamassa.

$$f_p(f_a, e_a) = 4,7 + 2,3 \ln(f_a) - 0,23e_a \pm (0,42) \quad 2.3$$

onde: f_p é a resistência à compressão do prisma em MPa;

f_a é a resistência da argamassa de assentamento em MPa;

e_a é a espessura da argamassa de assentamento em mm.

3 EXPERIMENTAÇÃO

Este capítulo inicia com uma descrição da proposta análise deste trabalho. Por seguinte é descrita a caracterização dos materiais que compõe o elemento prisma. É feita uma abordagem de cada experimentação. E ao final do capítulo são expostos os ensaios e os resultados para os prismas.

3.1 ANÁLISE PROPOSTA

Este trabalho foi proposto após análise de obras de alvenaria estrutural, em que observou a variabilidade na execução das paredes, com destaque no emprego da argamassa. Analisando-se as juntas de argamassa de assentamento de blocos percebeu-se larga variação de sua espessura, sendo praticadas espessuras acima da recomendada por norma. Este tipo de prática é muito comum, visto que não há um controle tão rigoroso de execução dos serviços em obra. Outro fator variante em obra, também relacionado à argamassa, é a sua resistência. Visto isto, se propôs analisar em laboratório a influência da variação da argamassa na alvenaria.

A argamassa de assentamento é o material que tem por função a união dos blocos. Se há variação deste material que une os blocos, variação ocorrerá no conjunto formado pelo bloco e argamassa. Um conjunto de blocos unidos por argamassa pode ser uma parede, uma pequena parede ou, ainda, um prisma, sendo este último o menor elemento composto por argamassa e bloco. Na norma brasileira de alvenaria estrutural e na literatura é possível obter boas correlações entre estes elementos. Em muitas análises, inclusive na presente, o elemento de estudo é o prisma, devida à dificuldade de se trabalhar em laboratório com uma parede em escala natural.

O estudo não somente inclui a experimentação do prisma, mas também uma análise detalhada de seus componentes. Cada componente foi estudado e caracterizado segundo as recomendações das normas técnicas brasileiras.

Os procedimentos de ensaios foram devidamente controlados buscando afastar-se de erros aleatórios. Para cada tratamento foram realizadas no mínimo quatro observações. Para os ensaios de resistência mecânica do bloco, argamassa e prisma, que têm relação direta com o objetivo deste trabalho, aplicou-se a inferência

estatística. Seguiu-se a via da análise estatística para a busca de uma visão global (da população) através da amostragem. Estas análises são apresentadas no Capítulo 4 desta dissertação.

Montgomery e Runger (2012) definem a estatística como sendo a ciência dos dados, a ciência que lida com a coleta dos dados, apresentação, análise e uso dos dados para tomada de decisões. A estatística fornece uma estrutura para descrever a variabilidade de dados. Em toda e qualquer experimentação sempre há variabilidade, pois sucessivas observações de um fenômeno não geram exatamente o mesmo resultado. Estes diferentes valores são resultados de diferentes fatores que fazem parte de um experimento, por exemplo, um experimento com argamassa com objetivo de se verificar sua resistência mecânica pode ser afetado pelo aquecimento do equipamento de ensaio e desnivelamento das faces de ensaios dos corpos-de-prova. Aplicando-se metodologias de análises de variabilidade, a estatística busca fazer determinações sobre uma população de dados apenas com posse de um conjunto de dados, por exemplo, a opinião de um número de pessoas expressando a opinião de uma população.

Nesta pesquisa a experimentação principal é da resistência à compressão do prisma. O resultado deste parâmetro pode ser influenciado pela precisão dimensional do bloco, a precisão na proporção da mistura da argamassa, o prumo e o nível do prisma, o tempo de preparo de cada prisma, temperatura e umidade do ambiente de moldagem do corpo-de-prova, a uniformização do preparo pela mão-de-obra, aquecimento do equipamento de ensaio. Para se afastar dessas condicionantes que podem acumular erros, buscou-se trabalhar em laboratório com a uniformização dos processos de ensaio, e com controle rigoroso sobre estes processos.

Neste estudo está em análise dois fatores relacionados à resistência do prisma – a espessura da junta de argamassa e a resistência da argamassa. A junta de argamassa foi variada em cinco níveis, enquanto a resistência apenas em dois níveis. Para cada nível de cada fator, foram realizadas seis observações, ou repetições. Gerou-se um total de 30 variáveis para o primeiro fator e 12 variáveis para o segundo. A apresentação dos valores destas variáveis está no último item deste capítulo.

3.2 MATERIAIS

Na sequência é mostrada a caracterização da unidade, da argamassa e do prisma, dando enfoque principal aos ensaios e as suas características.

3.2.1 Bloco

Os blocos, ou unidades, são as peças fundamentais da alvenaria, sendo responsáveis por atribuir importantes características à parede: resistência a esforços de compressão, estabilidade e precisão dimensional, resistência ao fogo e vedação e, em conjunto com a argamassa, são determinantes para a resistência ao cisalhamento e à tração e para a durabilidade da edificação. Sendo este componente utilizado em maior proporção volumétrica na formação da parede, representando de 80% a 95% do volume da alvenaria (PARSEKIAN e SOARES, 2010).

As unidades de alvenaria estrutural mais utilizadas no Brasil são as de concreto, seguidas pelas unidades cerâmicas e as sílico-calcárias (RAMALHO e CORRÊA, 2003). Sendo a unidade cerâmica a escolhida para o estudo, devida a sua grande disponibilidade no mercado Norte-Fluminense.

De acordo com a norma brasileira ABNT NBR 15270 (2005, p. 3) o bloco cerâmico estrutural tem a forma de um prisma reto com furos prismáticos na perpendicular, fabricado por conformação plástica de matéria-prima argilosa, podendo conter na sua composição a adição de aditivos, e para adquirir as características mecânicas e físicas é queimado em elevadas temperaturas.

A produção mais comum das unidades cerâmicas passa pelo processo de extrusão (e não por prensagem) da argila com aditivos, e após o bloco ter adquirido o formato é queimado em fornos com temperatura variando entre 800 a 1100 °C (PARSEKIAN e SOARES, 2010).

Existem quatro tipos de blocos cerâmicos estruturais: bloco perfurado, bloco de paredes maciças com paredes internas vazadas, bloco de paredes maciças com paredes internas maciças e o bloco de paredes vazadas. Este último, representado na Figura 3.1, é a unidade do presente estudo. Suas dimensões de fabricação são: 140 mm de largura, 190 mm de altura e 290 mm de comprimento.

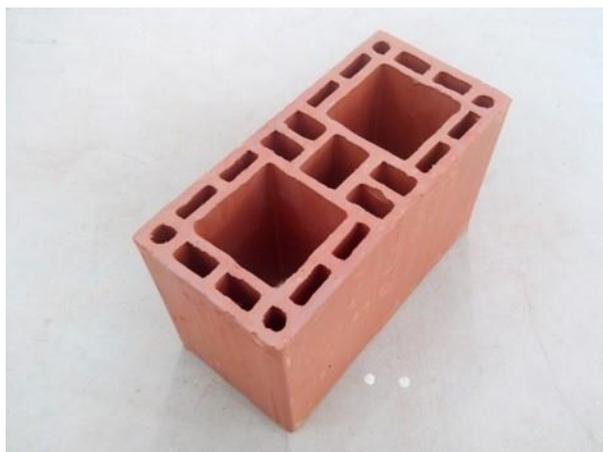


Figura 3.1 – Bloco estrutural cerâmico de paredes vazadas.

O bloco de estudo foi concedido por uma indústria cerâmica de Campos dos Goytacazes, que fornece o produto para a construtora que concedeu os materiais para a produção da argamassa utilizada nesta pesquisa (inclusive a disponibilização do seu traço). Portanto, os componentes em estudo já são utilizados em conjunto em uma obra.

Para a análise dos blocos consultou-se a norma brasileira que determina as diretrizes para os componentes cerâmicos – a ABNT NBR 15270 (2005). A primeira parte desta norma descreve sobre a terminologia e requisitos para os blocos cerâmicos de vedação; a parte dois descreve sobre a terminologia e requisitos para os blocos cerâmicos estruturais; e a parte três apresenta os métodos de ensaios tanto para os blocos cerâmicos de vedação quanto para os estruturais.

O bloco foi analisado quanto às características geométricas, físicas e mecânicas, conforme a norma. Esta análise será detalhada a seguir. Para a caracterização do bloco foi separada aleatoriamente uma amostragem de 13 blocos (Figura 3.2) entre 500 blocos que foram concedidos do lote L0009D050914 (identificado no bloco).



Figura 3.2 – Blocos da amostragem do bloco desta pesquisa.

3.2.1.1 Caracterização Geométrica

As seguintes características geométricas compõem a análise do bloco:

- a. medidas das faces – dimensões efetivas;
- b. área bruta e área líquida;
- c. espessura das paredes externas e dos septos dos blocos;
- d. desvio em relação ao esquadro;
- e. planeza das faces.

As medidas foram feitas nos pontos indicados pela norma, sendo tomadas duas medidas em cada face, conforme ilustrado na Figura 3.3. Por exemplo, ao se medir a face da largura, a medição se faz no ponto médio da altura nas duas faces da largura do bloco. Depois de tomadas as duas medidas, calcula-se a média aritmética entre elas – tem-se, portanto, a dimensão individual.

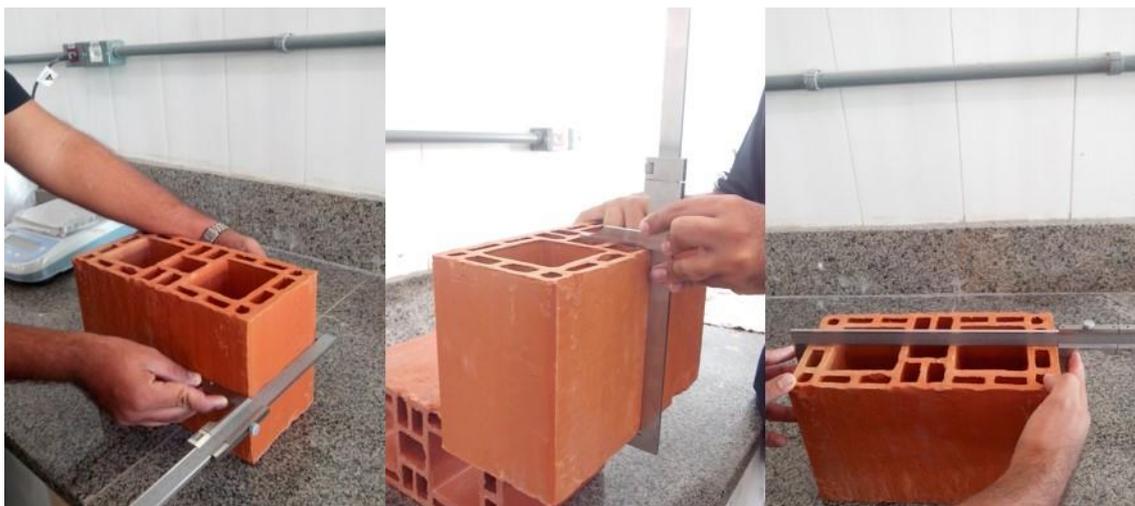


Figura 3.3 – Medição das faces do bloco: largura, altura e comprimento.

Para o cálculo da resistência aos esforços de compressão relaciona-se a força de resistência do bloco pela sua área bruta (Equação 3.1). Portanto para o bloco em estudo, cuja a largura média efetiva determinada foi de 13,86 centímetros e o comprimento de 29,14 centímetros, tem-se que área bruta calculada é de 403,9 centímetros quadrados.

$$A_b = L \times C \quad 3.1$$

onde: A_b é igual à área bruta, em centímetros quadrados, com aproximação decimal;

L é igual à largura do bloco, em centímetros;

C é igual ao comprimento do bloco, em centímetros.

Quando se considera a presença dos vazios no cálculo da área do bloco, está sendo determinada a área líquida. Calcula-se esta área subtraindo da área bruta a área dos vazados. O ensaio padrão é aplicando o Princípio de Arquimedes para o cálculo da massa aparente, procedendo ao cálculo da área líquida através da Equação 3.2.

$$A_{liq} = \frac{(m_u - m_a)}{\gamma \cdot H} \quad 3.2$$

onde: A_{liq} é igual à área líquida, em centímetros quadrados, com aproximação decimal;

m_u é igual à massa do bloco saturado, em gramas;

m_a é igual à massa aparente do bloco, em gramas;

H é igual à altura do bloco, em centímetros;

γ é igual à massa específica da água, tomada igual a 1, em gramas por centímetros cúbicos.

Os valores das medidas das faces, área bruta e área líquida são apresentados na Tabela 3.1. Analisando-se estes valores verifica-se que estão dentro das tolerâncias permitidas. A norma estabelece que as tolerâncias relacionadas à dimensão efetiva são um desvio absoluto de 5 mm para os valores individuais e de 3 mm para a média, quando comparados com as dimensões de fabricação. A relação entre a área líquida pela a área bruta, nesta ordem, é de 35%. Segundo Ramalho e Corrêa (2003) este valor é geralmente em torno de 50%.

Tabela 3.1 – Dimensões efetivas e área da amostragem do bloco.

Corpo-de-prova	Largura (mm)	Altura (mm)	Compr. (mm)	Abruta (cm ²)	Alíq. (cm ²)	Alíq./Abruta
B01	138,9	189,2	291,9	405,4	141,7	0,35
B02	139,2	190,8	292,8	407,6	142,1	0,35
B03	138,4	188,4	290,7	402,3	139,4	0,35
B04	139,0	188,6	292,4	406,4	141,9	0,35
B05	137,8	188,6	290,0	399,6	136,5	0,34
B06	138,9	189,9	292,2	405,9	138,1	0,34
B07	139,2	190,7	292,1	406,6	141,3	0,35
B08	137,7	188,0	289,9	399,2	138,1	0,35
B09	139,8	190,8	293,2	409,9	143,6	0,35
B10	138,2	187,2	290,9	402,0	139,7	0,35
B11	138,0	188,3	290,2	400,5	139,3	0,35
B12	137,2	187,5	288,7	396,1	136,6	0,34
B13	139,6	189,5	293,4	409,6	143,5	0,35
Média	138,6	189,0	291,4	403,9	140,1	0,35

A medição dos septos dos blocos e das suas paredes externas foi executada segundo a norma, tomando-se cinco medidas (como ilustrado na Figura 3.4), buscando-se sempre medir onde era menos espesso. Para o tipo de bloco utilizado a

espessura mínima das paredes internas deve ser 7 mm e das paredes externas deve ser 8 mm. Neste item, o bloco não foi aprovado pela norma, pois tanto para os septos quanto para as paredes externas a espessura está abaixo do valor mínimo, conforme pode ser analisado na Tabela 3.2. Garantir uma espessura mínima das paredes externas e dos septos é importante para assegurar a resistência do bloco, inclusive a resistência a impactos laterais no momento de seu transporte.

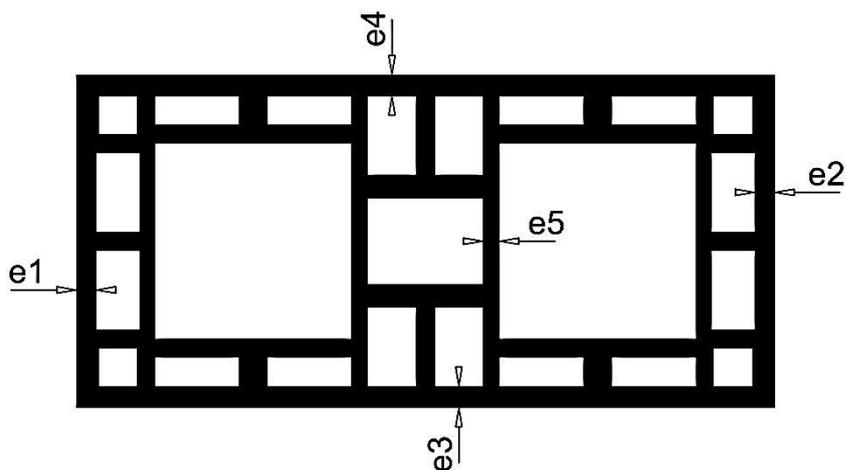


Figura 3.4 – Planta do bloco estrutural.

Tabela 3.2 – Espessura das paredes externas e dos septos da amostragem do bloco.

Corpo-de-prova	Paredes externas (mm)				Septos (mm)
	e1	e2	e3	e4	e5
B01	7,5	8,0	8,0	8,0	7,8
B02	7,4	7,8	9,2	7,9	6,7
B03	7,6	8,3	8,9	7,9	6,9
B04	8,5	8,0	7,2	8,9	6,7
B05	8,0	7,8	7,7	8,4	6,5
B06	7,6	8,7	9,3	7,4	6,7
B07	7,7	8,2	8,7	8,0	7,3
B08	7,8	7,8	9,1	7,3	6,1
B09	7,9	8,3	9,3	8,2	7,1
B10	7,8	7,9	7,9	8,3	6,5
B11	7,6	7,6	8,9	7,6	6,8
B12	7,5	7,5	9,2	7,6	6,6
B13	8,2	7,7	8,5	7,8	7,4
Média	7,8	8,0	8,6	7,9	6,9

Entende-se que quando maior a precisão dimensional do bloco, assegurados também seu esquadro e a planeza de suas faces, maior é a confiabilidade na segurança da estrutura e menos gastos se tem com argamassa de assentamento e de acabamento (emboço e reboco). Assim, a ABNT NBR 15270-3 (2005) também descreve métodos de ensaios para verificação do desvio em relação ao esquadro (D) e a planeza das faces ou flechas (F). Os valores dessas medidas são mostrados na Tabela 3.3. Analisando os resultados verifica-se que para este item a amostragem é aprovada, porquanto nenhum valor foi superior a 3 mm.

Tabela 3.3 – Desvio em relação ao esquadro e planeza das faces da amostragem do bloco.

Corpo-de-prova	Desvio do esquadro (mm)	Planeza das faces (mm)
B01	0,0	1,0
B02	1,5	0,5
B03	0,0	1,0
B04	2,0	1,5
B05	0,0	2,5
B06	1,5	0,5
B07	0,0	1,5
B08	1,5	2,0
B09	0,5	1,0
B10	1,5	0,5
B11	1,0	2,5
B12	1,0	1,5
B13	1,5	1,5
Média	0,9	1,3

3.2.1.2 Caracterização Física

As seguintes características físicas compõem a análise do bloco:

- a. massa seca;
- b. índice de absorção d'água;
- c. índice de absorção inicial.

Para se determinar a massa seca da unidade, é necessário deixá-la em estufa à temperatura de 105 ± 5 graus Celsius, até à estabilização do valor da massa.

O cálculo da absorção de água foi feito com os mesmos blocos que foram submetidos à secagem na estufa. Estes blocos foram saturados até sua massa estabilizar, encontrando-se assim o valor da massa úmida do bloco. A proporção de massa de água que o bloco absorve após saturado, em relação à sua massa seca, define o índice de absorção de água. A expressão para este cálculo é apresentada na Equação 3.3.

$$AA = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100 \quad 3.3$$

onde: AA é o índice de absorção de água, em porcentagem;

m_u é igual à massa do bloco saturado, em gramas;

m_s é igual à massa seca do bloco, em gramas;

Os resultados da massa seca e do índice de absorção d'água da amostragem do bloco são apresentados na Tabela 3.4. Verificou-se que a média de 23,6% para o índice de absorção está acima do que a norma prevê. A norma estabelece que este valor não deva ser inferior a 8% nem superior a 22%.

Tabela 3.4 – Massa seca e o índice de absorção d'água da amostragem do bloco.

Corpo-de-prova	Massa úmida (g)	Massa seca (g)	Índice de absorção d'água (%)
B01	5345,8	4318,2	23,8
B03	5309,4	4329,7	22,6
B05	5245,7	4292,1	22,2
B07	5356,8	4313,0	24,2
B09	5457,6	4417,2	23,6
B11	5305,4	4315,3	22,9
Média	5336,8	4330,9	23,2

Parsekian e Soares (2010) destacam que o ensaio de absorção mede indiretamente a porosidade do bloco, sendo também um indicativo da qualidade do material. Os blocos com menor absorção, em geral, são mais duráveis e resistentes e os de alta absorção podem conduzir a fissuração nos revestimentos. Outro fator negativo é o aumento de peso que uma absorção alta pode causar.

Outro importante dado que foi verificado é a absorção de água inicial do bloco – índice que mede o quanto o bloco absorve água por capilaridade. Neste ensaio, o bloco é imerso 3 mm em água durante um período de 60 segundos. Antes da imersão é feita a determinação da massa do bloco e após à imersão verifica-se a variação de sua massa e calcula-se o índice de absorção em relação à área líquida através da Equação 3.4.

$$AAI = 193,55 \times \frac{\Delta_p}{A} \quad 3.4$$

onde: AAI é o índice de absorção d'água inicial (sucção) da face ensaiada dos blocos, expresso em $(g/193,55cm^2)/min$;

Δ_p é a variação de massa obtida no ensaio, em gramas;

A é a área bruta ou área líquida dos blocos ensaiados, em centímetros quadrados.

É ressaltado por Parsekian e Soares (2010) que esta característica tem influência principal na aderência entre o bloco e a argamassa. Por exemplo, se um bloco tem absorção de água muito elevada pode prejudicar a resistência da argamassa, devido à absorção de água de hidratação do cimento. No entanto, um mínimo de absorção é necessário, pois permite maior aderência entre a argamassa e o bloco através de microligações da pasta de argamassa e dos poros do bloco. Sendo recomendável um índice de absorção inicial entre 5 e 25 $(g/193,55cm^2)/min$. E para blocos com valores acima de 30 $(g/193,55cm^2)/min$ a norma determina que devem ser umedecidos antes do assentamento, para o seu melhor desempenho.

O resultado desta análise (Tabela 3.5) mostrou que o lote de blocos utilizados na pesquisa tem alta absorção inicial d'água, sendo necessário proceder com o seu umedecimento antes do assentamento. No entanto, esta prática não é feita na obra que o utiliza. Assim, para fins de representar uma análise do conjunto materiais e prática de uma obra em alvenaria estrutural, optou-se por proceder também sem umedecer os blocos.

Tabela 3.5 – Absorção de água inicial da amostragem do bloco.

Corpo-de-prova	Absorção de água inicial (g/193,55cm ²)/min
B01	34,8
B03	45,1
B05	52,9
B07	33,7
B09	23,6
B11	45,3
Média	39,2
DesvPad	10,51
CoefVar (%)	26,78

3.2.1.3 Caracterização Mecânica

A resistência à compressão do bloco é a sua principal característica, pois a unidade é o componente resistente da parede de alvenaria, e o que compõe a maior parte de seu volume. A resistência à compressão de uma parede utilizando o bloco cerâmico de paredes vazadas é em média 34% da resistência do bloco. (PARSEKIAN e SOARES, 2010).

Antes do procedimento de ensaio de compressão os blocos foram preparados, suas faces de trabalho foram regularizadas com capeamento de pasta de cimento (Cimento Portland CP II E 32) com relação a/c igual a 0,33. Primeiro uma face era capeada e após um período de 24 horas fazia-se o capeamento da outra face. Neste procedimento, trabalhou-se com as seguintes etapas:

- a. umedecimento da face do bloco a ser capeada;
- b. aplicação da pasta de cimento com o auxílio de desempenadeira sobre um papel filme e entre duas barras chatas com espessura de 1/8”;
- c. posicionamento do bloco sobre a pasta de cimento e verificação do nivelamento do bloco.

O mesmo procedimento adotado para a regularização das faces dos blocos foi também utilizado para os prismas. Na Figura 3.5 pode ser observada a prática das etapas relacionadas anteriormente para um prisma.



Figura 3.5 – Etapas de capeamento dos corpos-de-prova.

No ensaio de resistência à compressão o bloco é submetido a uma carga de compressão axial até a sua ruptura (Figura 3.6). Os ensaios foram realizados no Laboratório de Engenharia Civil da UENF (LECIV). A prensa para aplicação da carga foi uma prensa *Shimadzu Corporation model UH-F500KNI*, com capacidade máxima de 500 kN. Importante ressaltar que este equipamento de ensaio foi usado também para os ensaios de compressão e tração na flexão da argamassa e, compressão dos prismas. Para esses e o ensaio de bloco, a velocidade de ensaio também foi igual, controlada pelo deslocamento da prensa, sendo tomada a taxa de descolamento mínima do equipamento – 0,5 mm por minuto.



Figura 3.6 – Exemplo do bloco após a ruptura.

Os resultados da resistência mecânica para a amostragem de blocos podem ser observados na Tabela 3.6. É importante ressaltar que foi utilizada a mesma amostragem para os ensaios geométricos, físicos e mecânicos. Os blocos foram identificados com numeração cardinal de 1 a 13. Durante o transporte dos blocos para a realização destes ensaios tiveram-se a queda de três corpos-de-prova, os blocos 2, 4 e 9, comprometendo-se assim sua estrutura, então se optou por descartá-los.

Tabela 3.6 – Caracterização mecânica da amostragem do bloco.

Corpo-de-prova	Força (N)	Tensão na área bruta (MPa)	Tensão na área líq. (MPa)
B01	219359	5,41	15,48
B02	-	-	-
B03	289766	7,20	20,79
B04	-	-	-
B05	456750	11,43	33,46
B06	306453	7,55	22,19
B07	209766	5,16	14,85
B08	341531	8,56	24,73
B09	-	-	-
B10	345969	8,61	24,77
B11	265250	6,62	19,04
B12	397453	10,03	29,10
B13	248063	6,06	17,29
Média	308036	7,66	22,17
DesvPad	78850,3	2,020	5,988
CoefVar (%)	25,60	26,37	27,01

A resistência média para o bloco em relação à área bruta foi de 7,66 MPa e à área líquida foi de 22,17 MPa. Em projeto utiliza-se sempre a resistência em relação a área bruta, considerando-se seu valor característico. Para o cálculo da resistência característica se aplica a Equação 3.5.

$$f_{bk,est} = 2 \left[\frac{f_{b(1)} + f_{b(2)} + \dots + f_{b(i-1)}}{i - 1} \right] - f_{bi} \quad 3.5$$

onde: $f_{bk,est}$ é a resistência característica estimada da amostra, em MPa;

$f_{b(1)}, f_{b(2)}, \dots, f_{bi}$ são os valores da resistência à compressão individual dos corpos-de-prova da amostra, ordenados crescentemente;

n é a quantidade de corpos-de-prova da amostra;

$i = n/2$ se n for par; $i = (n - 1)/2$ se n for ímpar.

Após o cálculo do $f_{bk,est}$ deve-se proceder com a seguinte análise:

- a. se o valor do $f_{bk,est} \geq f_{bm}$ (média da resistência à compressão de todos os corpos-de-prova da amostragem), adota-se f_{bm} como a resistência característica do lote (f_{bk});
- b. se o valor de $f_{bk,est} < \emptyset \times f_{b(1)}$ (menor valor da resistência à compressão de todos os corpos-de-prova da amostragem), adota-se a resistência característica à compressão (f_{bk}) determinada pela expressão $\emptyset \times f_{b(1)}$, para os valores de \emptyset indicados na Tabela 3.7;
- c. caso o valor calculado de $f_{bk,est}$ esteja entre os limites mencionados acima ($\emptyset \times f_{b(1)}$ e f_{bm}), adota-se esse valor como a resistência característica à compressão (f_{bk}).

Tabela 3.7 – Valores de \emptyset em função do número de corpos-de-prova da amostra.

(ABNT NBR 15270-2, 2005, p. 8)

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

NOTA Recomenda-se adotar $n \geq 13$ para os ensaios de blocos

Depois de seguidos os procedimentos de cálculo da resistência característica, o valor encontrado foi de 4,95 MPa. Neste parâmetro o bloco é aprovado pela norma, pois o limite mínimo para a resistência característica do bloco estrutural é de 3 MPa.

Dividindo-se o valor da resistência característica em relação à área bruta por 0,35 (relação entre a área líquida pela área bruta) encontra-se o valor de 14,14 MPa, que corresponde à resistência característica em relação à área líquida do bloco. Este valor é importante para a correlação entre a resistência do bloco e a resistência da argamassa de assentamento.

3.2.2 Argamassa

A argamassa de assentamento na alvenaria tem a função de ligar as unidades – solidarizar a estrutura.

Parsekian e Soares (2010, p. 35) apresentam as diferenças entre duas argamassas (Tabela 3.8), uma produzida com areia e somente cimento como

aglomerante e outra com somente a cal como aglomerante, e explica que a união desses dois aglomerantes juntamente com a areia, formando uma outra argamassa, com propriedades ideais para se trabalhar no assentamento dos blocos de alvenaria estrutural – a argamassa mista. A argamassa com adição de cal tem a resistência reduzida, no entanto, tem maior trabalhabilidade, melhor retenção de água e mais capacidade de absorver as deformações da parede, pois é menos rígida, que uma argamassa produzida somente com o cimento.

Tabela 3.8 – Características de argamassas de cimento, cal ou mistas. (Parsekian e Soares, 2010, p.35)

<p style="text-align: center;">Cal + Areia</p> <p>Trabalhabilidade excelente; Retenção de água excelente; Resistência cresce lentamente, com o endurecimento por evaporação da água, sucção da umidade e contato com o ar; Resiliência excelente (capaz de deformar sem fissuras).</p>	<p style="text-align: center;">Cimento + Areia</p> <p>Resistência maior, adquirida mais rapidamente (aglomerante hidráulico); Trabalhabilidade piora com o aumento da a/c; Resiliência pequena (pequenas deformações causam fissuras); Maior retração; Antieconômica.</p>
<p>Não é usada em alvenaria estrutural.</p>	<p>Uso restrito a casos muito excepcionais, com presença de umidade, meio agressivo, ainda assim sendo recomendável pequenas concentrações de cal.</p>
<p style="text-align: center;">Cimento + Cal + Areia</p> <p>Quando bem dosadas, maximizam as vantagens e minimizam as desvantagens dos dois tipos de aglomerantes. Internacionalmente, é a recomendada para a alvenaria estrutural, sempre respeitando a relação: aglomerante (cimento + cal) / agregado (areia) \approx 3.</p>	

Foram utilizadas no presente trabalho duas argamassas mistas. Estas argamassas serão aqui descritas, sendo primeiramente mostrada a caracterização dos materiais que as compõem e, na sequência, será discorrido sobre as características da mistura.

3.2.2.1 Caracterização dos componentes

Os componentes das argamassas foram o cimento CP II E 32, a cal hidratada CH I especial aditivada e a areia natural de rio. A análise granulométrica da areia foi

determinada de acordo com a norma ABNT NBR 7211 (2005) e seu resultado pode ser observado na curva apresentada na Figura 3.7. O módulo de finura calculado para esta distribuição granulométrica foi de 2,48, correspondendo um valor ótimo, segundo a norma.

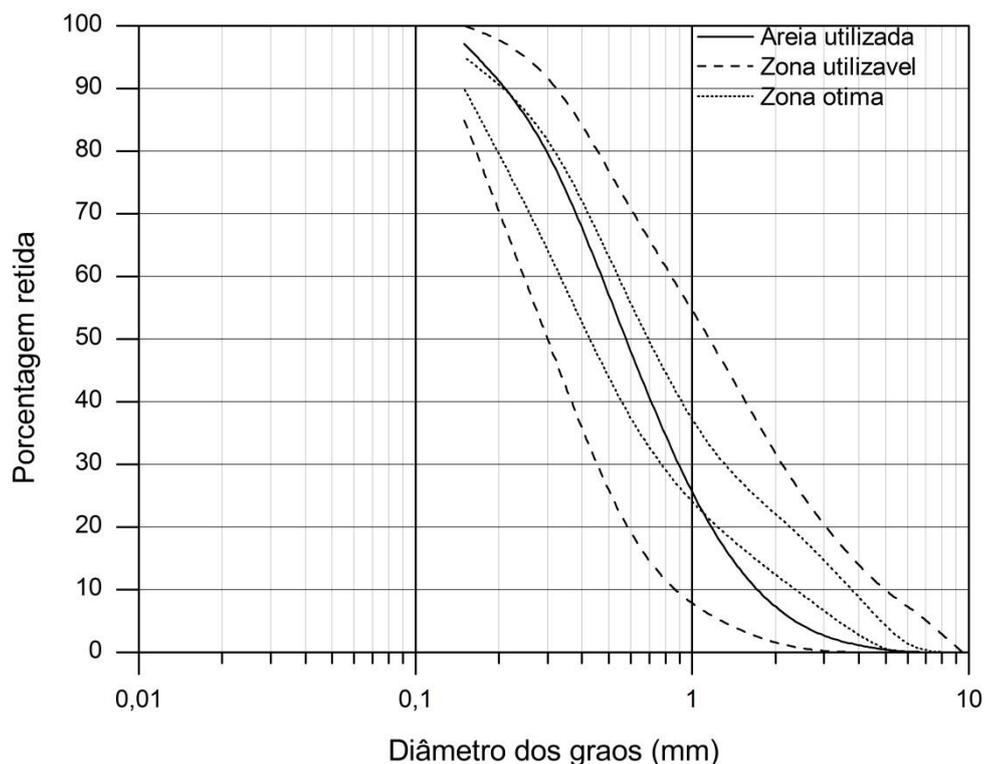


Figura 3.7 – Curva da distribuição granulométrica do componente areia.

Os traços das argamassas são apresentados na Tabela 3.9. A Argamassa 1 é praticada numa obra de alvenaria estrutural e a Argamassa 2 foi dosada em laboratório. A Argamassa 2 foi desenvolvida para se analisar a influência da resistência da argamassa na resistência do prisma com espessura de 10 mm – a espessura que a norma de alvenaria recomenda ser praticada. Nesta argamassa foi reduzida a proporção entre a quantidade de areia e cimento, para que o produto fosse mais resistente, e a quantidade de cal foi dosada de maneira que a massa tivesse uma pega ideal.

Tabela 3.9 – Traços de argamassas.

Tipo de argamassa	Proporção em massa			
	Cimento	Cal	Areia	Água
1	1	0,80	5,67	1,57
2	1	0,35	4,50	1,05

A massa unitária dos componentes foi determinada para o estado solto, conforme o método C da ABNT NBR NM 45 (2006). Com as massas unitárias encontradas (Tabela 3.10), foi possível se trabalhar em laboratório com o traço em massa, sendo o traço em volume o usual em campo. O traço da Argamassa 1, por exemplo, em campo, corresponde a mistura de argamassa feita com 1 saco de cimento de 50 kg, 2 sacos de cal hidratada de 20 kg, 11 latas (18 litros cada) de areia seca e 4 latas mais 1/3 de lata de água.

Tabela 3.10 – Massa unitária dos componentes das argamassas.

Componente	Massa unitária no estado solto (kg/l)
Cimento CP II E 32	1,02
Cal Hidratada CH I	0,49
Areia natural de rio seca	1,43

3.2.2.2 Caracterização da mistura

As argamassas foram caracterizadas quanto a sua consistência, resistência mecânica e retenção de água. Os procedimentos de ensaio para estes parâmetros serão descritos nos próximos subitens. Por meio dos resultados dos ensaios pôde-se designar as duas argamassas segundo a ABNT NBR 13281 (2005), conforme mostrado na Tabela 3.11.

Tabela 3.11 – Designação da argamassa.

Tipo	Designação
1	P3, R1, U4
2	P5, R4, U3

3.2.2.2.1 Índice de Consistência

A trabalhabilidade da argamassa é influenciada pelo seu grau de consistência, que por sua vez é influenciado pela quantidade de água ou de aditivos na mistura. É importante que não tenha água em excesso na argamassa, para que ao final tenha-se uma estrutura resistente. A ABNT NBR 13276 (2005) descreve um parâmetro para se determinar esta quantidade de água ideal para a mistura, denominado índice de consistência da argamassa. O índice de consistência é a medida do diâmetro de espalhamento da argamassa após seu adensamento em um molde cônico sobre a mesa de consistência, pela qual é submetida 30 vezes a uma queda de um centímetro. Neste ensaio, tem-se que quanto maior a proporção de água na mistura maior será o espalhamento da massa. A norma determina que o diâmetro de espalhamento seja de 260 ± 5 mm.

O índice de consistência foi determinado para as duas argamassas (Tabela 3.12), no entanto, para Argamassa 1 a quantidade de água foi previamente dosada em obra. Para a Argamassa 2 foi dosada água até que o índice de consistência estivesse entre 255 mm e 265 mm, conforme prescrito na norma. A Figura 3.8 mostra a execução do ensaio.

Tabela 3.12 – Índice de consistência das argamassas.

Tipo	Consistência (mm)
1	275
2	259



Figura 3.8 – Procedimento de determinação do índice de consistência.

3.2.2.2.2 Resistência Mecânica

A resistência mecânica foi determinada através do carregamento axial até à ruptura do corpo-de-prova de argamassa. Realizou-se o ensaio de resistência à tração na flexão e de resistência à compressão axial. Os corpos-de-prova foram os prismáticos de 40 mm de largura, por 40 mm de altura por 160 mm de comprimento, moldados segundo a ABNT NBR 13279 (2005).

Para preparar os corpos-de-prova seguiu-se o procedimento de mistura da ABNT NBR 13276 (2005), no entanto, não se fez o processo de maturação, pois não é a prática na obra. Foram moldados seis corpos-de-prova para cada argamassa, sendo cada um adensado em duas camadas, com aplicação de 30 golpes na mesa de consistência para cada camada. O ensaio de resistência mecânica foi realizado após os 28 dias de idade da amostra.

Os corpos-de-prova foram submetidos primeiramente ao ensaio de tração na flexão, rompendo-os próximo à seção transversal do meio do vão. Após esse ensaio, uma das metades do corpo-de-prova era escolhida para ser submetida ao ensaio de compressão axial até a sua ruptura. As leituras das cargas de rupturas eram feitas e os seus valores eram lançados na Equação 3.6 e na Equação 3.7, para a determinação da resistência à tração na flexão e à compressão, respectivamente.

$$R_f = \frac{1,5F_f L}{40^3} \quad 3.6$$

onde: R_f é a resistência à tração na flexão, em MPa;

F_f é a carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em newtons;

L é a distância entre os suportes, em mm.

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad 3.7$$

onde: R_c é a resistência à compressão, em Mpa;

F_c é a carga máxima aplicada, em newtons;

1600 é a área da seção considerada quadrada dos dispositivos de carga de 40 mm por 40 mm, em mm².

No ensaio de tração na flexão o corpo-de-prova é posicionado sobre dois suportes cilíndricos, paralelos às faces laterais do corpo-de-prova e distanciados entre si por 100 mm, com distância de 30 mm da face lateral. Sobre o corpo-de-prova posiciona-se outro suporte no seu eixo médio de comprimento. Os três suportes são rígidos e seu diâmetro é de 1 centímetro. Na Figura 3.9 é mostrado um corpo-de-prova instrumentado para o ensaio e dois já rompidos à tração na flexão.



Figura 3.9 – Corpos-de-prova de argamassas submetidos à tração na flexão.

Para a execução do ensaio de compressão axial o corpo-de-prova é posicionado entre duas placas quadradas rígidas com 40 mm de lado e 10 mm de espessura, de maneira que a carga seja aplicada em uma área quadrada do corpo-de-prova de 40 mm por 40 mm. O corpo-de-prova instrumentado para este ensaio pode ser visto na Figura 3.10.

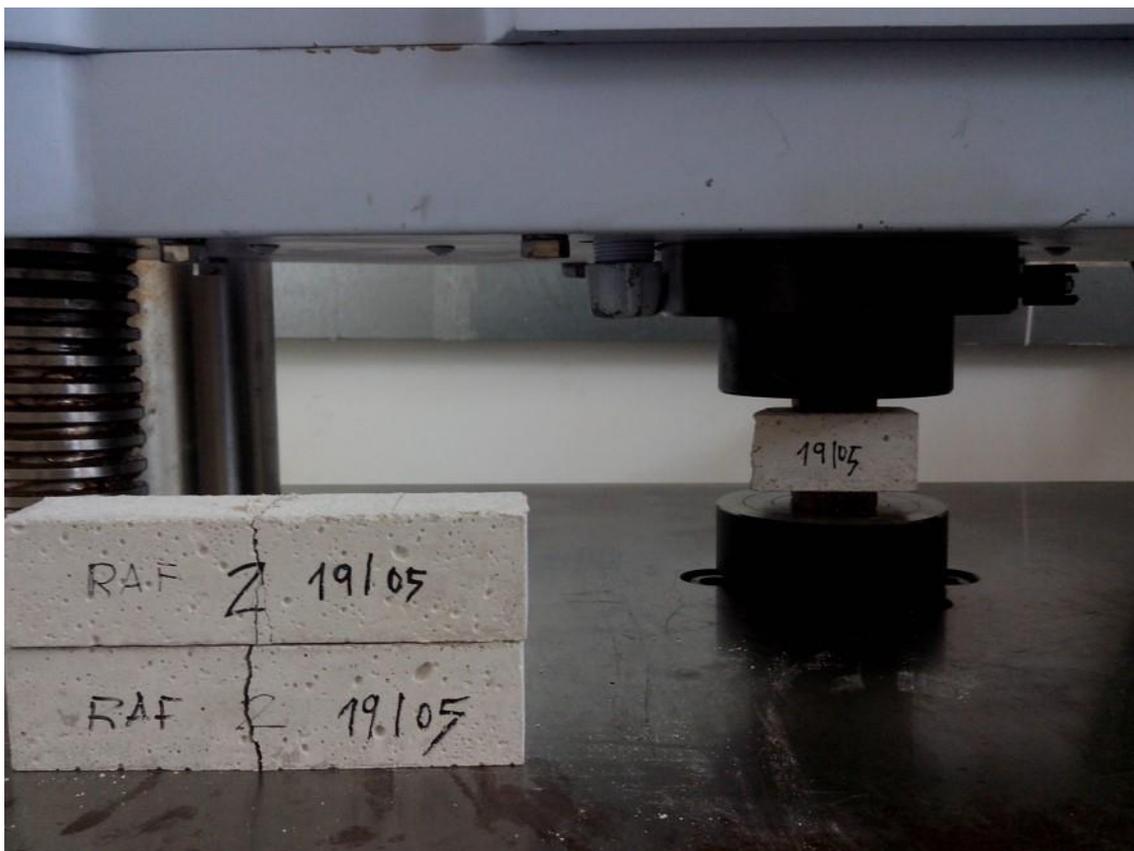


Figura 3.10 – Corpo-de-prova de argamassa submetido à compressão axial.

Com relação à resistência à compressão, deve ser atendido o valor mínimo de 1,5 MPa e o máximo de 70% da resistência característica do bloco referida à área líquida, conforme ABNT NBR 15812-1 (2010, p. 9). Assim, para o bloco utilizado na pesquisa, a resistência da argamassa deve estar compreendida entre 1,5 MPa e 9,9 MPa.

Na Tabela 3.13 e na Tabela 3.14 são apresentadas as resistências das argamassas. Os resultados de compressão mostram que as argamassas utilizadas estão dentro dos limites da norma, sendo a resistência da Argamassa 1 igual a 2,72 MPa e da Argamassa 2 igual a 7,41 MPa, que correspondem a 19% e 52% da resistência característica do bloco referida à área líquida, respectivamente.

Tabela 3.13 – Resistência mecânica da Argamassa 1.

Corpo-de-prova	Resistência (MPa)	
	Compressão axial	Tração na flexão
1	2,75	1,10
2	2,85	1,25
3	2,51	1,17
4	2,71	1,39
5	2,64	1,32
6	2,83	1,28
Média	2,72	1,25
Desvio abs. máximo	0,21	0,15

Tabela 3.14 – Resistência mecânica da Argamassa 2.

Corpo-de-prova	Resistência (MPa)	
	Compressão axial	Tração na flexão
1	7,72	3,22
2	7,29	3,04
3	7,60	2,86
4	7,11	3,37
5	6,21*	3,04
6	7,34	3,11
Média	7,41	3,11
Desvio abs. máximo	0,31	0,26

*valor desconsiderado, por ser discrepante

Foram analisados os resultados dos ensaios de tração na flexão e de compressão axial conforme a ABNT NBR 13279 (2005) e os valores discrepantes foram desconsiderados para o cálculo da média. Os valores são considerados discrepantes quando o desvio absoluto for superior a 0,5 MPa para a resistência à compressão e 0,3 MPa para a resistência à tração.

Um resumo das resistências das duas argamassas pode ser visualizado na Tabela 3.15. Assim como Pasquali (2007), observou-se um decréscimo no valor da relação entre a resistência à tração e à compressão quando se aumentou a resistência da argamassa.

Tabela 3.15 – Resistências mecânicas das argamassas.

Traço da Argamassa	Resistência (MPa)		R_f/R_c
	R_c	R_f	
1:0,80:5,67:1,57	2,72	1,25	0,46
1:0,35:4,50:1,05	7,41	3,11	0,42

3.2.2.2.3 Retenção de água

A retenção de água da argamassa foi determinada segundo os procedimentos da norma ABNT NBR 13277 (2005). O equipamento de ensaio utilizado foi um funil de Büchner com bomba de vácuo, semelhante ao mostrado na Figura 3.11, que permite controlar a sucção no prato com argamassa correspondente à coluna de 51 mm de mercúrio.



Figura 3.11 – Sistema de filtração forçada com um funil de Büchner. (UDESC JOINVILLE, 2015)

Este ensaio é realizado no estado fresco da argamassa, após preparo da mistura segundo a ABNT NBR 13276 (2005). Inicialmente em um prato com diâmetro de 200 mm (apropriado para o ensaio – com furos) coloca-se um papel filtro úmido e aplica-se uma sucção de 51 mm de mercúrio ao conjunto. Adiciona-se argamassa ao conjunto, preenchendo o prato pouco acima da borda, após adensa-se a argamassa com golpes distribuídos uniformemente em toda a sua superfície, assegurando o preenchimento uniforme no prato. Este novo conjunto com argamassa é submetido à

sucção por um período de 15 minutos. Em cada etapa determina-se a massa de cada conjunto e para o cálculo da retenção de água substitui-se os valores encontrados na Equação 3.8, sendo necessário calcular também o fator água por argamassa fresca, segundo a Equação 3.9.

$$R_a = \left[1 - \frac{(m_a - m_s)}{AF(m_a - m_v)} \right] 100 \quad 3.8$$

onde: R_a é a retenção de água da argamassa, em porcentagem;

m_a é a massa do conjunto com argamassa, em gramas;

m_s é a massa do conjunto após a sucção, em gramas;

m_v é a massa do conjunto vazio, em gramas;

AF é o fator água por argamassa fresca.

$$AF = \frac{m_w}{m + m_w} \quad 3.9$$

onde: AF é o fator água por argamassa fresca.

m_w é a massa total de água acrescentada à mistura, em gramas;

m é a soma das massas dos componentes anidros, em gramas.

Os resultados desta análise (Tabela 3.16) apontaram que a Argamassa 1 é mais retentiva que a Argamassa 2. Isto pode ser explicado pela menor proporção de cal na Argamassa 2 que na Argamassa 1. A relação entre a massa de cal e a soma das massas dos componentes anidros é de aproximadamente 0,11 para a Argamassa 1 e 0,06 para a Argamassa 2.

Tabela 3.16 – Retenção de água das argamassas.

Tipo	Retenção de água (%)
1	90,4
2	86,8

Parsekian e Soares (2010, p. 37) frisaram que a capacidade de retenção está ligada à superfície específica (área por unidade de massa) dos componentes da argamassa. Por este motivo, a cal em relação ao cimento é melhor neste aspecto (a cal tem mais superfície específica que o cimento). A cal é um excelente retentor de água, a qual cede água aos poucos.

Ainda, conforme Parsekian e Soares (2010, p. 37), a argamassa pouco retentiva perde água em excesso quando é colocada em contato com blocos com alto poder de sucção (ou seja, AAI elevado). Esta perda de água para o bloco pode tornar a argamassa pulverulenta, menos resistente à compressão e, principalmente, à aderência. A absorção elevada de água pela unidade pode ainda provocar a sua expansão, aumentando o potencial de retração na secagem.

Parsekian *et al.* (2013, p. 208) destacaram três motivos pelos quais uma alta retenção de água da argamassa é importante: primeiro, existe pouca perda de água da argamassa para o bloco; segundo, a argamassa permanece trabalhável até o assentamento; e terceiro, a quantidade de água retida permite a hidratação do cimento para o endurecimento da pasta.

3.2.3 Prismas

O prisma é um corpo-de-prova utilizado para avaliação da resistência mecânica da alvenaria, pois na falta de ensaio de parede ou pequena parede, estima-se a resistência da alvenaria através da resistência do prisma. A ABNT NBR 15812-1 (2010, p. 10) determina que a resistência característica à compressão simples da alvenaria (f_k) pode ser estimada como 70% da resistência característica de compressão simples do prisma (f_{pk}) ou 85% da de pequena parede (f_{ppk}).

Este elemento é um corpo-de-prova obtido pela superposição de blocos unidos por junta de argamassa (ABNT NBR 15812-1, 2010, p. 3). O mais comum é o de dois blocos unidos por uma junta de argamassa, mas na literatura encontram-se estudos com prismas de três blocos, alternativamente, com a fiada do meio com dois meios blocos com uma junta vertical.

O prisma que a norma considera para a estimativa da resistência da alvenaria é o de dois blocos unidos por uma junta de argamassa de 10 mm de espessura, permitindo um desvio absoluto de 3 mm de espessura.

Na presente pesquisa optou-se por trabalhar com o prisma de dois blocos, assim como a norma determina. A espessura de argamassa foi variada, pois percebeu-se este tipo de variação em obra. Para a análise da influência desta variação de espessura na resistência da alvenaria, inicialmente pensou-se trabalhar com as juntas de 10 mm, 15 mm, 20 mm e 25 mm. No entanto, verificou-se a necessidade de se trabalhar também com junta menor que 10 mm, escolhendo-se assim, a junta de 5 mm, o que caracteriza uma diferenciação de 5 mm de espessura entre as juntas trabalhadas na pesquisa. Para esses 5 tipos de prismas usou-se a Argamassa 1. Utilizando a Argamassa 2 uma amostragem de prisma foi estudada – os prismas com junta de 10 mm de espessura – para poder analisar a influência da resistência da argamassa nos prismas com junta de argamassamento de 10 mm de espessura.

A norma de alvenaria estrutural ABNT NBR 15812-2 (2010, p. 12) especifica que devem ser ensaiados um mínimo de seis prismas por amostragem, eventualmente prevê-se outros 6 para contraprova. Neste trabalho, foram confeccionados pelo menos sete corpos-de-prova para cada amostragem, dos quais seis foram escolhidos aleatoriamente para ensaio.

Para se obter precisão das juntas de argamassa foram utilizadas taliscas de madeira com espessuras de 5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm e 25 mm, de acordo com a espessura de argamassa definida para o prisma. Estas taliscas eram apoiadas sobre o bloco antes do espalhamento da argamassa. A argamassa era espalhada com altura um pouco acima da talisca. Após o espalhamento da argamassa um outro bloco era assentado sobre o argamassamento com suas faces laterais aprumadas ao bloco inferior, acomodando-o de maneira que a junta de argamassa obtivesse a espessura da talisca utilizada. Paralelamente a estas etapas era feita a verificação do prumo e do nivelamento do prisma. Estes procedimentos podem ser verificados na Figura 3.12.



Figura 3.12 – Preparo do prisma: (1) posicionamento das taliscas; (2) espalhamento da argamassa; (3) acomodação do bloco superior; (4) verificação do prumo; (5) verificação do nível.

Cada prisma recebeu uma identificação, que possibilitou diferenciá-los quanto ao tipo de argamassa, a espessura da junta e ordem de ensaio. A identificação para os prismas unidos com a Argamassa 1 era PEC, e P2EC para os com a Argamassa 2, sendo E e C as variáveis, que dependiam da espessura da junta do prisma e da ordem de ensaio do corpo-de-prova, respectivamente. Por exemplo, o prisma com a identificação P054 correspondia ao prisma com a Argamassa 1, com junta de 5 mm, sendo o quarto corpo-de-prova da amostragem a ser ensaiado; enquanto o P21006, correspondia ao prisma com a Argamassa 2, com junta de 10 mm, sendo o sexto corpo-de-prova da amostragem a ser ensaiado.

Identificados, eram determinadas as suas dimensões (largura, altura e comprimento) e completados os 28 dias de idade eram submetidos ao ensaio de compressão simples até sua ruptura. A resistência do prisma corresponde à tensão que a carga de ruptura gera sobre a face do prisma, considerando-se sua área bruta, foi calculada individualmente através da Equação 3.10.

$$f_{p(n)} = \frac{F}{A_{bruta}} \quad 3.10$$

onde: $f_{p(n)}$ é a resistência à compressão individual dos corpos-de-prova da amostra, em MPa;

F é a carga de ruptura do corpo-de-prova, em newtons;

A_{bruta} é a área bruta do corpo-de-prova, em mm².

Para o prisma de 5 mm e o prisma de 10 mm com a Argamassa 2, o ensaio de compressão simples foi feito com o monitoramento do deslocamento longitudinal para a determinação do módulo de deformação longitudinal. A instrumentação para este ensaio consistiu no posicionamento de dois relógios comparadores, um em cada face lateral do bloco, fixos a um suporte rígido, que por sua vez era preso à base inferior da prensa por um ímã, conforme pode ser observado na Figura 3.13. O modelo dos relógios usados foi *Kingtools* com autonomia de 10 mm e precisão de 0,005 mm, e o modelo do suporte foi *Mitutoyo Magnetc Stand Série 7010sn*.



Figura 3.13 – Prisma P10504 com instrumentação para a determinação do módulo de deformação (E_p).

A norma ABNT NBR 15812-2 (2010, p. 23) determina que cálculo do módulo de deformação longitudinal seja feito no intervalo correspondente à curva secante entre 5% e 30% da tensão de ruptura do prisma. Nesta pesquisa escolheu-se trabalhar exatamente com estes dois pontos. Assim sendo, foi necessário obter a tensão correspondente a estes pontos e a deformação para as relativas cargas.

Este ensaio foi monitorado com duas câmeras, uma para cada relógio comparador, que permitiu identificar através do tempo a evolução dos deslocamentos laterais do bloco durante o carregamento. Outra ferramenta importante foi o relatório emitido pela prensa, que mostra a evolução do tempo, pela carga e pelo deslocamento da prensa.

Inicialmente calculou-se quanto correspondia 5% e 30% da carga de ruptura. Após este cálculo, encontrou-se qual o tempo a partir do início do ensaio que correspondia à carga de aplicação relativa a 5% (denominado aqui tempo t_5) e 30% (denominado aqui tempo t_{30}) da carga de ruptura. Estes tempos foram encontrados

através do relatório da prensa. A partir dos dados encontrados era feita uma análise na filmagem de cada relógio, e pousava a filmagem exatamente nos tempos t_5 e t_{30} . Assim, foi possível obter a carga e o deslocamento para 5% e 30% da carga de ruptura. As tensões para estas cargas foram calculadas segundo a Equação 3.10 e as deformações conforme a Equação 3.11.

$$\varepsilon = \frac{(H_f - H_i)}{H_i} \quad 3.11$$

onde: ε é a deformação longitudinal do corpo-de-prova;

H_i é a altura inicial do prisma;

H_f é a altura final do prisma, após carregamento.

O módulo de deformação longitudinal foi obtido dividindo-se a variação de tensão pela variação da deformação em relação aos dois pontos da curva secante a 5% e 30% da carga de ruptura, conforme a Equação 3.12.

$$E_p = \frac{(f_{p30} - f_{p5})}{(\varepsilon_{30} - \varepsilon_5)} \quad 3.12$$

onde: E_p é o módulo de deformação longitudinal do corpo-de-prova;

f_{p30} é a tensão de compressão individual do corpo-de-prova, em relação à área bruta, referente a 30% da carga de ruptura, em MPa;

f_{p5} é a tensão de compressão individual do corpo-de-prova, em relação à área bruta, referente a 5% da carga de ruptura, em MPa;

ε_{30} é a deformação longitudinal do corpo-de-prova referente a 30% da carga de ruptura;

ε_5 é a deformação longitudinal do corpo-de-prova referente a 5% da carga de ruptura.

Os resultados do ensaio de compressão dos prismas serão apresentados nas tabelas seguintes. Nestas tabelas, para cada corpo-de-prova são apresentadas sua altura, área bruta, resistência à compressão na área bruta e, se for o caso, o módulo de deformação. Para estes dados são apresentados a média aritmética da amostra, o

desvio padrão e o coeficiente de variação da amostra, obtidos pelo Minitab¹, que são apresentados no Apêndice A. O desvio-padrão é a média de variabilidade dos valores individuais com o valor médio; o coeficiente de variação é um estimador da precisão do experimento, que é determinado pelo percentual do desvio-padrão em relação à média.

A Tabela 3.17 apresenta os resultados para os prismas com espessura de junta de 5 mm utilizando-se a Argamassa 1. A Figura 3.14 exemplifica a ruptura típica dos prismas desta amostra por esmagamento da argamassa, com aparecimento de pequenos deslocamentos das camadas superficiais do bloco.

Tabela 3.17 – Resultados dos prismas com argamassa I e espessura de 5 mm.

Corpo-de-prova	Altura (mm)	A_b (cm ²)	f_p (MPa)	E_p (MPa)
P051	387,1	403,3	2,21	-
P052	388,6	402,9	3,29	-
P053	390,2	403,7	3,37	2.554
P054	391,7	408,9	2,67	1.833
P055	390,9	409,1	2,92	2.041
P056	391,8	407,1	2,28	3.549
Média	390,1	405,8	2,79	2.494
DesvPad	1,86	2,87	0,493	766
CoefVar (%)	0,48	0,71	17,67	30,71

¹ Minitab 17 Statistical Software



Figura 3.14 – Exemplo de um prisma P05 após a ruptura.

A Tabela 3.18 apresenta os resultados para os prismas com espessura de junta de 10 mm utilizando-se a Argamassa 1. A Figura 3.15 exemplifica a ruptura típica dos prismas desta amostra por esmagamento da argamassa e ruptura por tração do bloco. Nesta análise visual são identificadas fissuras verticais e deslocamentos em certos pontos da argamassa.

Tabela 3.18 – Resultados dos prismas com argamassa I e espessura de 10 mm.

Corpo-de-prova	Altura (mm)	A_b (cm ²)	f_p (MPa)
P1001	393,4	405,6	1,72
P1002	396,8	408,9	1,33
P1003	396,8	408,1	1,45
P1004	396,2	398,3	1,8
P1005	390,5	400,6	2,1
P1006	393,0	401,3	1,42
Média	394,5	403,8	1,64
DesvPad	2,57	4,35	0,291
CoefVar (%)	0,65	1,08	17,74



Figura 3.15 – Exemplo de um prisma P10 após a ruptura.

A Tabela 3.19 apresenta os resultados para os prismas com espessura de junta de 15 mm utilizando-se a Argamassa 1. A Figura 3.16 exemplifica a ruptura típica dos prismas desta amostra por tração do bloco. Nesta análise visual identificam-se fissuras verticais no corpo-de-prova.

Tabela 3.19 – Resultados dos prismas com argamassa I e espessura de 15 mm.

Corpo-de-prova	Altura (mm)	A_b (cm ²)	f_p (MPa)
P1501	396,7	400,8	1,39
P1502	396,4	402,5	1,44
P1503	400,2	406,7	1,44
P1504	398,6	401,9	1,27
P1505	397,0	403,7	1,34
P1506	397,9	399,6	1,49
Média	397,8	402,5	1,40
DesvPad	1,43	2,48	0,080
CoefVar (%)	0,36	0,62	5,71



Figura 3.16 – Exemplo de um prisma P15 após a ruptura.

A Tabela 3.20 apresenta os resultados para os prismas com espessura de junta de 20 mm utilizando-se a Argamassa 1. A Figura 3.17 exemplifica a ruptura típica dos prismas desta amostra por tração do bloco. Nesta análise visual identificam-se fissuras verticais no corpo-de-prova.

Tabela 3.20 – Resultados dos prismas com argamassa I e espessura de 20 mm.

Corpo-de-prova	Altura (mm)	A_b (cm ²)	f_p (MPa)
P2001	403,5	402,8	1,37
P2002	402,4	396,7	1,61
P2003	402,3	408,8	1,22
P2004	403,9	406,4	1,29
P2005	403,4	406,4	1,41
P2006	404,6	406,6	1,34
Média	403,4	404,6	1,37
DesvPad	0,88	4,33	0,133
CoefVar (%)	0,22	1,07	9,71



Figura 3.17 – Exemplo de um prisma P20 após a ruptura.

A Tabela 3.21 apresenta os resultados para os prismas com espessura de junta de 25 mm utilizando-se a Argamassa 1. A Figura 3.18 exemplifica a ruptura típica dos prismas desta amostra por tração do bloco e o esmagamento da argamassa.

Nesta análise visual identificam-se fissuras verticais e diagonais no corpo-de-prova, e apesar de não apresentar deslocamentos da argamassa, após à ruptura, ao retirar o prisma da prensa, observou-se que a argamassa havia se desprendido da junta, portanto, havia rompido.

Tabela 3.21 – Resultados dos prismas com argamassa I e espessura de 25 mm.

Corpo-de-prova	Altura (mm)	A_b (cm ²)	f_p (MPa)
P2501	409,8	407,4	1,33
P2502	409,9	402,8	1,17
P2503	404,2	402,2	1,33
P2504	408,8	407,9	1,24
P2505	402,2	402,2	1,36
P2506	405,4	400,8	1,28
Média	406,7	403,9	1,29
DesvPad	3,24	2,99	0,071
CoefVar (%)	0,80	0,74	5,50



Figura 3.18 – Exemplo de um prisma P25 após a ruptura.

A Tabela 3.22 apresenta os resultados para os prismas com espessura de junta de 10 mm utilizando-se a Argamassa 2. A Figura 3.19 exemplifica a ruptura típica dos prismas desta amostra por tração do bloco. Nesta análise visual identificam-se fissuras verticais no corpo-de-prova, e o deslocamento de sua parede, o que levou ao deslocamento da argamassa. Observa-se uma ruptura mais frágil que para o prisma com a argamassa menos resistente.

Tabela 3.22 – Resultados dos prismas com argamassa II e espessura de 10 mm.

Corpo-de-prova	Altura (mm)	A_b (cm ²)	f_p (MPa)	E_p (MPa)
P2102	394	402,9	3,22	1.884
P2103	394,9	408,4	3,32	-
P2104	395,9	402,7	3,73	2.095
P2105	396,9	406,1	2,95	1.430
P2106	395,5	404	3,57	-
P2107	391,5	394,2	3,84	2.766
Média	394,8	403,1	3,44	2.044
DesvPad	1,88	4,84	0,336	556
CoefVar (%)	0,48	1,20	9,77	27,20



Figura 3.19 – Exemplo de um prisma P210 após a ruptura.

Para cada tipo de prisma foi calculada a sua resistência característica segundo a ABNT NBR 15812-2 (2010, p. 10). Inicialmente encontrou-se um valor estimado desta resistência segundo a Equação 3.5 (alterando f_b por f_p). A análise aplicada para o prisma é semelhante a do bloco, no entanto, o limite superior da

resistência característica do prisma é 85% da resistência média da amostra, enquanto o do bloco é 100%.

Na Tabela 3.23 é mostrado um resumo dos seis tipos de prismas. Nesta tabela é possível visualizar os valores médios, característicos estimados e característicos. Também, nas duas últimas colunas são apresentados os valores da eficiência dos prismas para suas resistências médias e características, dado que a resistência média à compressão do bloco é igual a 7,66 MPa e a característica igual a 4,95 MPa. Segundo Parsekian e Soares (2010), a eficiência do prisma para o tipo de bloco em estudo, vale entre um valor mínimo de 0,3 a um valor médio de 0,5, com alguns resultados de até 0,6. Restringindo-se aqui a análise aos prismas com espessura de argamassa de 10 mm, pois foi a espessura que o autor analisou, percebe-se que a resistência da argamassa interferiu na resistência do prisma, de modo que a eficiência do prisma com a argamassa 1 ficasse abaixo do valor esperado.

Tabela 3.23 – Resistência dos prismas.

Prisma	f_{pm} (MPa)	$f_{pk,est}$ (MPa)	f_{pk} (MPa)	f_{pm}/f_{bm}	f_{pk}/f_{bk}
P05	2,79	1,82	1,97	0,36	0,40
P10	1,64	1,30	1,30	0,21	0,26
P15	1,40	1,22	1,19	0,18	0,24
P20	1,37	1,17	1,16	0,18	0,23
P25	1,29	1,17	1,10	0,17	0,22
P210	3,44	2,85	2,85	0,44	0,58

Os valores de entrada para um cálculo estrutural podem ser os valores característicos das resistências dos prismas. Com estes valores a norma permite fazer correlações com as propriedades elásticas da alvenaria, que também são necessárias para o cálculo da estrutura. A ABNT NBR 15812-1 (2010, p. 9) define que o módulo de deformação longitudinal pode ser adotado como sendo 600 vezes o valor da resistência característica do prisma, limitado a um máximo de 12 GPa. E para o coeficiente de Poisson adota-se o valor de 0,15.

A determinação do módulo longitudinal foi feita apenas para os prismas com a junta de espessura de 5 mm utilizando a Argamassa 1 e com os de 10 mm utilizando a argamassa 2. A correlação que a norma permite se fazer é para o prisma padrão, o qual a espessura de argamassa é 10 mm. Para este tipo de prisma, no presente

estudo, o valor médio do módulo encontrado foi de 2.044 MPa, o que corresponde a aproximadamente 700 vezes o valor da resistência do prisma.

Neste capítulo mostrou-se brevemente um estudo sobre cada componente e ao final, sobre o elemento prisma. Os resultados obtidos para cada experimentação aqui também foram apresentados. A análise estatística para os resultados dos grupos de prismas estudados será mostrada no próximo capítulo.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo será exposta a análise estatística dos dados. Através desta análise serão discutidos os resultados obtidos pela experimentação dos prismas. Dois fatores que influenciam a resistência do prisma foram estudados: a espessura e a resistência da junta de argamassa de assentamento. O primeiro fator foi trabalhado em cinco níveis, enquanto o segundo em dois níveis. Estes fatores foram analisados segundo contribuições de Montgomery e Runger (2012) e fazendo-se uso do Minitab e do Excel².

Para melhor compreensão do comportamento das variáveis de cada experimentação procurou-se fazer uma apresentação dos resultados através de gráficos e diagramas.

O diagrama de caixa trabalha com a divisão dos dados em conjuntos, especificamente, em quatro partes iguais, cujos pontos de divisão são chamados de quartis. O primeiro quartil é um valor que tem aproximadamente um quarto das observações abaixo de seu valor; o segundo, ou mediana, tem aproximadamente 50%; e o terceiro tem aproximadamente três quartos. A faixa interquartil é definida pela diferença dos valores entre o terceiro e primeiro quartil.

O conjunto dos resultados das resistências dos prismas serão primeiramente expostos em um diagrama de caixa, que segundo Montgomery e Runger (2012) é uma ferramenta que possibilita descrever importantes características de um grupo de dados, tais como centro, dispersão, desvio da simetria e identificação das observações não usuais ou *outliers*. Neste diagrama uma caixa inclui a faixa de interquartil, com o canto inferior no primeiro quartil (q_1) e o superior no terceiro quartil (q_3). Um traço representando a mediana é desenhado através da caixa. Uma linha se estende das extremidades da caixa. A linha inferior começa no primeiro quartil indo até o menor valor compreendido a 1,5 interquartil a partir do primeiro quartil. A superior inicia no terceiro quartil indo até o maior valor compreendido a 1,5 interquartil a partir do terceiro quartil. Os pontos que aparecem além dessas linhas e a menos que 3 faixas interquartis da caixa são chamados de *outliers*.

Assim como o diagrama de caixa auxilia na interpretação de resultados, um resumo numérico dos dados tem importante contribuição na análise. Neste trabalho

² Microsoft® Excel® 2013

buscou-se analisar os dados numericamente através, principalmente, do cálculo da média, desvio padrão e coeficiente de variação, conforme apresentado no Capítulo 3. Outra análise quanto à variabilidade dos dados foi a presença de valores considerados discrepantes, valores que podem ter surgido através de erros de manipulação dos dados ou do equipamento de ensaio. O procedimento empregado para esta verificação foi o Teste de Grubbs, que avalia os dados segundo o número de observações da amostra e seu desvio-padrão.

Grubbs estabelece um valor crítico, sendo ele considerado o limite para a razão da diferença entre o valor duvidoso e a média da amostra, e o desvio-padrão da amostra, conforme Equação 4.1.

$$Z = \frac{|x_i - \bar{x}|}{s} \quad 4.1$$

onde: Z é o valor do teste de Grubbs;

x_i é o valor duvidoso;

\bar{x} é o valor da média amostral;

s é o desvio padrão amostral.

Caso o valor de Z encontrado pela Equação 4.1 seja maior do que o valor crítico tabelado (Z_c), para uma significância determinada, o valor é considerado discrepante, ou *outlier*. Esta análise foi aplicada com um nível de significância de 5%, para o conjunto de dados da resistência à compressão do bloco, argamassa e prismas, e o módulo de deformação do prisma. Em nenhum caso foram encontrados valores *outliers*. As entradas e saídas dos dados para esta análise se encontram no Apêndice A.

A apresentação das análises dos resultados e a sua discussão será feita separadamente para os dois fatores. Primeiramente o fator analisado será o efeito da variação da espessura da argamassa, denominado aqui por fator 1. E na sequência será discutido o efeito da resistência da argamassa, fator 2.

4.1 FATOR 1: ESPESSURA DA ARGAMASSA

A Figura 4.1 apresenta o diagrama de caixa da resistência do prisma para os cinco níveis de espessura das juntas com Argamassa 1. A inspeção dessa apresentação revela que a variação da espessura de argamassa de assentamento tem um efeito sobre a resistência à compressão do prisma; especificamente, maiores espessuras produzem menores resistências à compressão. É observada larga variabilidade na espessura de argamassamento de 5 mm, apesar de apresentar razoável simetria em torno do valor central. Esta dispersão pode ser explicada pela variação geométrica entre um bloco e outro. Apesar de as dimensões dos blocos estarem em conformidade com a norma, pouca variabilidade nesta característica pode influenciar na variabilidade da resistência do elemento, quando se trabalha com espessuras muito baixas da junta de argamassa. Como é mencionado por Parsekian e Soares (2010), juntas de espessura muito pequenas devem ser evitadas para que haja melhor possibilidade de acomodação das deformações e correção de pequenos defeitos nas dimensões dos blocos.

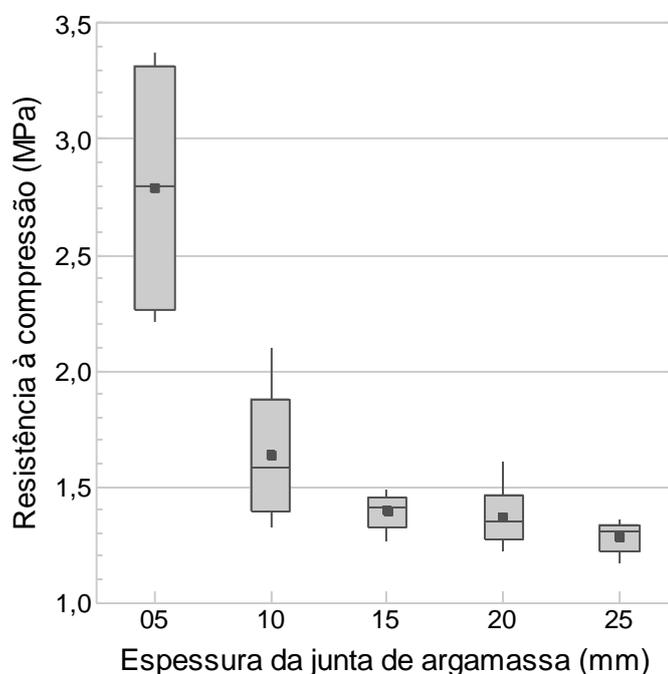


Figura 4.1 – Diagrama de caixa para a resistência à compressão dos prismas em função da espessura da junta com a Argamassa 1.

4.1.1 Análise de regressão linear

No diagrama apresentado anteriormente visualiza-se que os pontos médios da resistência pela espessura da argamassa são distribuídos sobre uma curva de uma hipérbole correspondente a uma função próxima a $f(x) = 1/x$. Para certificação deste comportamento plotou-se em um plano cartesiano os pontos com as coordenadas formadas pelo inverso da espessura da junta de argamassa e a resistência do prisma, correspondendo respectivamente à abscissa e à ordenada. Através do conjunto de pontos fez-se uma regressão linear dos dados, cujo resultado apresentou boa aproximação linear para o crescimento da resistência do prisma pelo inverso da espessura da junta. Esta análise gráfica pode ser observada na Figura 4.2.

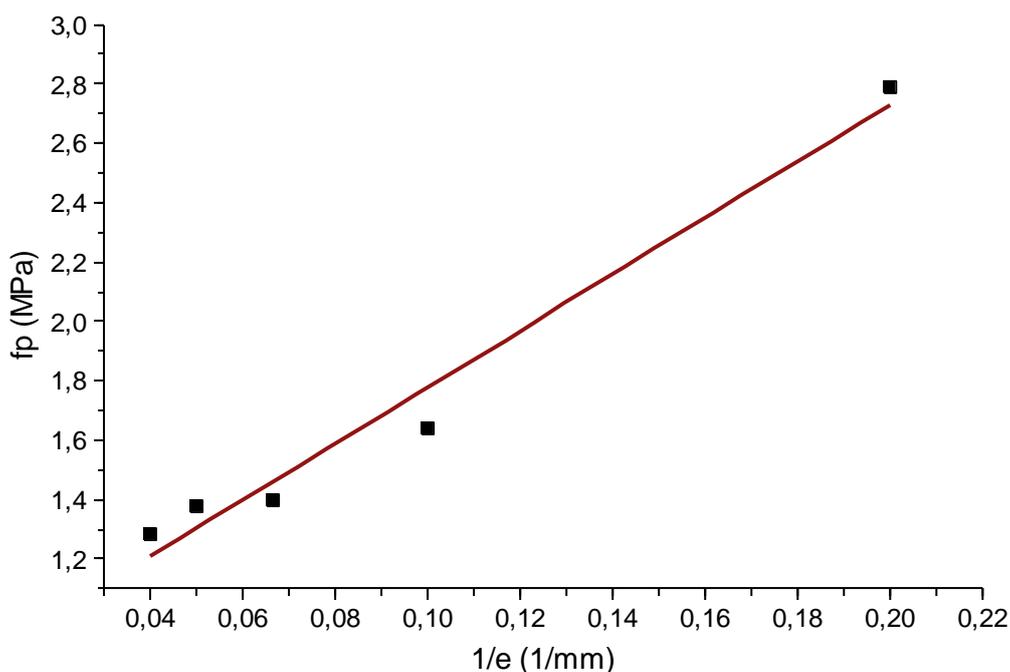


Figura 4.2 – Resistência à compressão do prisma pelo o inverso da espessura da junta com a Argamassa 1.

A equação linear que explica o modelo de distribuição dos pontos é dada pela Equação 4.2. De acordo com o coeficiente de determinação (R^2) o modelo explica 97,51% dos dados.

$$f_p = 0,8268 + 9,517(1/e_a) \quad 4.2$$

onde: f_p é a resistência à compressão do prisma em função da espessura da junta com a Argamassa 1, em MPa;

e_a é a espessura da junta de argamassa em mm.

Na Equação 4.2 o intervalo de confiança para um nível de significância igual a 5% é de $\pm 0,3026$ para o coeficiente linear e $\pm 2,796$ para o coeficiente angular.

Esta equação pode ser usada para uma boa estimativa dos valores da resistência do prisma em função da espessura da argamassa. Importante salientar que as espessuras analisadas estão na faixa de 5 mm a 25 mm e a argamassa utilizada foi a Argamassa 1. Visto isto, para quaisquer outros valores acima ou abaixo da espessura da junta, ou argamassa diferente, uma outra análise deve ser empregada.

As equações para aplicação da análise de regressão linear e os dados de saída são apresentados no Anexo A.

Em uma outra análise, é possível verificar, através do fator de variação da resistência (Tabela 4.1), a proporção em que a resistência do prisma decresce ou cresce com a variação da espessura em relação a espessura de 10 mm.

Tabela 4.1 – Fator de variação da resistência à compressão dos prismas.

Espessura da argamassa	Fator de resistência
5	1,70
10	1,00
15	0,85
20	0,83
25	0,79

O gráfico da Figura 4.3 apresenta em um plano cartesiano o fator de variação da resistência à compressão da alvenaria em função da espessura da argamassa para diferentes pesquisas (incluso a presente). Neste gráfico é possível verificar um decréscimo na resistência quando se aumenta a espessura. Nestes quatro estudos destaca-se: o de Camacho (1995), em que a distribuição dos pontos se aproxima de uma distribuição de uma função linear decrescente; o do presente estudo, que se

diagrama de caixa. Analisando-se esta variabilidade, verifica-se, por exemplo, que há uma faixa de valores que se repete para os prismas com argamassa de espessura de 15 mm, 20 mm e 25 mm. Sendo assim, estes prismas teriam diferentes resistências à compressão ou poderiam ser consideradas iguais? Com o auxílio da estatística é possível ter uma resposta confiável aos resultados encontrados. Esta compreensão será buscada através de comparações entre as médias, aplicando-se a análise de variância (ANOVA), que é um estudo estatístico largamente usado para experimentações semelhantes a deste trabalho, em que um fator é tratado em mais de dois níveis.

A ANOVA trabalha com os dados em um único conjunto formado por todos os níveis do tratamento. Para uma análise conjunta dos dados é importante que a experimentação seja aleatória, de maneira que qualquer efeito que possa influenciar no resultado seja balanceado. Portanto, para o sucesso de aplicação da análise de variância, os 36 prismas que foram ensaiados fizeram parte de um só conjunto, que por sua vez não foi ordenado segundo a sua moldagem nem segundo o seu ensaio de resistência. Em suma, trabalhou-se com uma experimentação aleatorizada.

Para uso desta ferramenta estatística é importante que os dados sejam organizados em uma tabela cujos valores de cada nível do fator (ou tratamento) seja separado por linha e cada coluna represente a ordem de repetição. Nesta tabela é possível se identificar cada resposta para cada variável aleatória de um tratamento. Na mesma tabela apresenta-se o valor total das observações por tratamento e sua média; e na última linha o valor total global de todas as observações e a média global de todas as observações. A Tabela 4.2 é uma representação genérica de uma tabela típica para um experimento com um único fator, a tratamentos e n observações.

Tabela 4.2 – Dados típicos para um experimento com um único fator.

(MONTGOMERY e RUNGER, 2012)

Tratamento	Observações				Totais	Médias
1	y_{11}	y_{12}	...	y_{1n}	$y_{1\cdot}$	$\bar{y}_{1\cdot}$
2	y_{21}	y_{22}	...	y_{2n}	$y_{2\cdot}$	$\bar{y}_{2\cdot}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
a	y_{a1}	y_{a2}	...	y_{an}	$y_{a\cdot}$	$\bar{y}_{a\cdot}$
					$y_{\cdot\cdot}$	$\bar{y}_{\cdot\cdot}$

Para os dados gerados com os resultados dos prismas utilizando-se o modelo da Tabela 4.2 obteve-se a Tabela 4.3. Tem-se uma tabela que apresenta 30 variáveis aleatórias, cujas entradas foram de cinco tratamentos com seis observações cada. Por exemplo, o valor correspondente ao segundo tratamento e a terceira observação é igual a 1,45 MPa. Os totais e as médias são apresentados na oitava e nona coluna, respectivamente.

Tabela 4.3 – Resistência dos prismas com variação da junta de argamassa.

Tratamento	Observações						Totais	Médias
P05	2,92	2,28	3,37	2,67	2,21	3,29	16,74	2,79
P10	1,72	1,33	1,45	1,8	2,1	1,42	9,82	1,64
P15	1,39	1,44	1,44	1,27	1,34	1,49	8,37	1,40
P20	1,37	1,61	1,22	1,29	1,41	1,34	8,24	1,37
P25	1,33	1,17	1,33	1,24	1,36	1,28	7,71	1,29
							50,88	1,70

Os procedimentos, equações e dados de saída para a análise de variância são apresentados no Apêndice A. Testou-se inicialmente a hipótese da igualdade das médias. E para um nível de significância de 1% rejeitou-se H_0 , concluindo-se que a espessura da argamassa afeta significativamente a resistência à compressão do prisma.

4.1.3 Método de comparações múltiplas para o Fator 1

Verificou-se a nulidade da hipótese das cinco médias observadas nos tratamentos serem iguais, no entanto, esta hipótese não anula a possibilidade de pares de médias iguais entre os tratamentos. Para tanto, os intervalos de confiança para as diferenças nas médias dos tratamentos também foram determinados. Esta determinação permite dizer estatisticamente se uma média pode ou não ser considerada igual à outra. O método empregado para esta comparação foi o método de Fisher da mínima diferença significativa. A mínima diferença significativa (MDS) é um valor que corresponde à variação para mais ou menos da diferença nas médias, que determina os limites inferior e superior do seu intervalo de confiança. Para o presente experimento o valor encontrado foi de 0,32 MPa. De posse deste resultado,

fazendo-se a diferença entre as médias, por exemplo, do segundo e o primeiro tratamento, o valor encontrado é -1,15 MPa, tomando o MDS de 0,32 MPa, tem-se que o intervalo de confiança para esta diferença será de -1,47 a -0,83 MPa. Como pode ser visto na Tabela 4.4 e Figura 4.4, essas comparações foram feitas para todos os pares de médias possíveis.

Tabela 4.4 – Intervalos de confiança para os pares de médias de tratamentos dos prismas.

Comparação	Diferença de Espessura (mm)	IC para diferença nas médias
P10-P05	5	(-1,47; -0,83)
P15-P10	5	(-0,56; 0,08)
P20-P15	5	(-0,35; 0,29)
P25-P20	5	(-0,40; 0,24)
P15-P05	10	(-1,71; -1,07)
P20-P10	10	(-0,59; 0,05)
P25-P15	10	(-0,43; 0,21)
P20-P05	15	(-1,74; -1,10)
P25-P10	15	(-0,67; -0,03)
P25-P05	20	(-1,82; -1,18)

A Tabela 4.4 permite concluir que o efeito do confinamento da argamassa pelos blocos é mais intenso para menores espessuras. Por exemplo, quando se compara os prismas com espessuras de junta de 5 mm e 15 mm com o de 10 mm vê-se que a variação de resistência do de 5 para 10 é maior que a do de 10 para 15, apesar de a diferença de espessura ser a mesma. No entanto, nem sempre este comportamento é confirmado. O inverso ocorreu unicamente entre as comparações das espessuras de 15 mm e 25 mm com a de 20 mm. Em Lima (2010) também foi observada a ocorrência oposto, quando se comparou as espessuras de 10 mm e 20 mm com a de 15 mm.

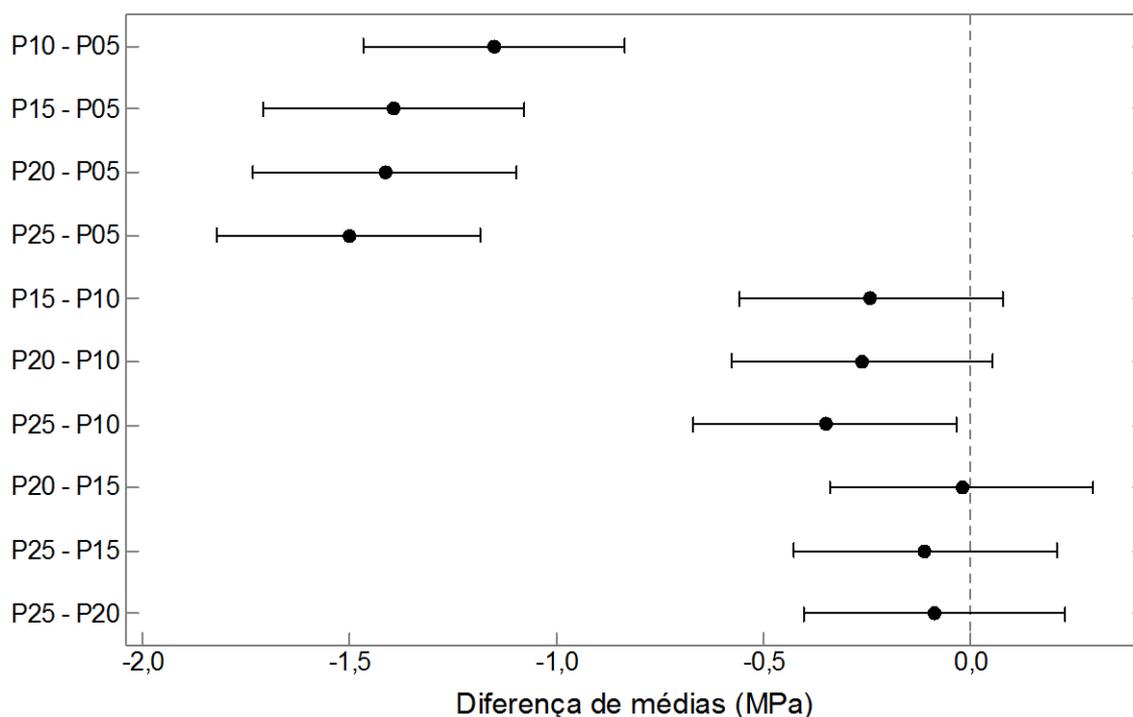


Figura 4.4 – ICs de Fisher de 95% para as diferenças entre as médias das resistências dos diferentes prismas segundo a espessura da junta.

A Figura 4.4 apresenta o intervalo de confiança para todos os pares de médias dos tratamentos através da comparação emparelhada de Fisher, para um nível de confiança de 95%. Nesta representação gráfica se um intervalo não contiver o zero, as médias correspondentes serão significativamente diferentes. Portanto, é possível distinguir três agrupamentos de médias consideradas iguais: um somente com o prisma com a espessura de argamassa de 5 mm, um segundo com as de 10 mm, 15 mm e 20 mm, e um terceiro com as de 15 mm, 20 mm e 25 mm.

Este resultado leva-se a concluir que a prática de espessuras de 15 e 20 mm resultam em resistências da alvenaria significativamente iguais à resistência com a prática da espessura estabelecida por norma – espessura de 10 mm. As resistências para as espessuras de 5 mm e 25 mm diferenciam-se da de espessura de 10 mm. Estas conclusões não se estendem a outros casos, com outras combinações de blocos e/ou argamassa.

4.2 FATOR 2: RESISTÊNCIA DA ARGAMASSA

A Figura 4.5 apresenta o diagrama de caixa da resistência à compressão do bloco, da argamassa e dos prismas com junta de 10 mm. Observa-se maior variabilidade dos valores do bloco que para a argamassa e o prisma. Esta larga variabilidade é comum para experimentações com blocos. É notória a influência da resistência da argamassa na resistência do prisma, já que o prisma com a argamassa mais resistente teve uma resistência maior que o prisma com a argamassa menos resistente. Outro fator que chama a atenção nesta apresentação é a diferença de resistência entre as argamassas e a diferença de resistência entre os prismas. A diferença de resistência entre as argamassas é muito maior que a entre os prismas.

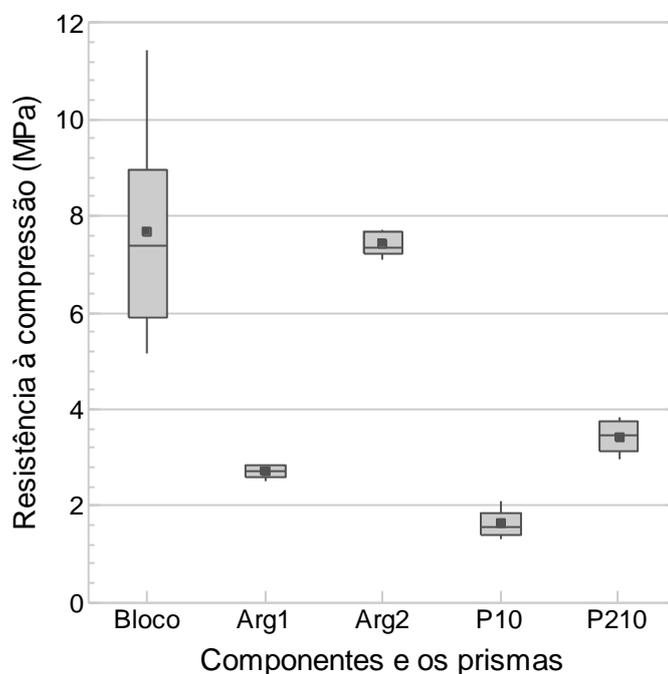


Figura 4.5 – Diagrama de caixa para os dados da resistência à compressão dos componentes e dos elementos prismas com junta de 10 mm de espessura.

4.2.1 Inferência estatística para uma única amostra: o bloco

Como observado no diagrama apresentado na Figura 4.5, larga variabilidade dos dados é vista na experimentação do bloco. O valor apenas da média amostral da resistência do bloco não se torna um valor significativo para expressar a média das resistências da população de blocos. Neste sentido, a estatística é uma ciência que

tem boas ferramentas para se estimar uma faixa confiável de valores para uma característica média (aqui a média de resistência do bloco) de uma população com base apenas em uma amostragem de dados. Um estudo estatístico da amostragem de blocos, portanto, foi empregado.

Ausente o valor da variância populacional, aplicou-se o Teste T para a determinação do intervalo de confiança da média populacional da resistência do bloco. Neste teste a distribuição é considerada normal. Para um nível de significância de 5% o intervalo de confiança encontrado para a média populacional foi de 6,22 MPa a 9,11 MPa.

4.2.2 Inferência estatística para as duas amostras do Fator 2

Os resultados das médias da resistência dos prismas mostraram que a variação na resistência da argamassa gera um efeito na resistência da alvenaria. No entanto, uma análise comparativa somente das médias, não apresenta um resultado significativo, pois não se sabe de certo a diferença entre elas, uma vez que há variabilidade dos dados. Assim, faz-se necessário verificar se realmente há diferença entre as médias da resistência de uma argamassa para outra e da de um prisma para outro. Verificada, pode-se empregar um intervalo de confiança para estimar a diferença entre as duas médias. Neste contexto, portanto, aplicou-se a inferência estatística para o caso de duas amostras.

As duas amostras de argamassas foram testadas aplicando-se o teste para a diferença de médias de duas distribuições normais, com variâncias desconhecidas e iguais. Para um nível de significância de 5% rejeitou-se a hipótese nula, que considerava a média das resistências iguais. O mesmo procedimento fez-se para as duas amostragens de prismas, chegando-se ao mesmo resultado.

De posse do resultado, definiu-se os intervalos de confiança para as diferenças das médias (Tabela 4.5).

Tabela 4.5 – Intervalos de confiança para as diferenças das médias entre as argamassas e os prismas de junta de 10 mm.

Comparação	Estimativa para a diferença	IC de 95% para a diferença
Arg1-Arg2	-4,70	(-4,96; -4,44)
P10-P210	-1,80	(-2,21; -1,40)

Fazendo-se uma análise dos resultados apresentados na Tabela 4.5 percebe-se que uma diferença na resistência da argamassa não gera uma diferença na resistência de prisma na mesma escala. A diferença média absoluta de 4,70 MPa na resistência da argamassa gerou uma diferença na resistência média do prisma de apenas 38% da diferença observada para argamassa. Uma outra análise apenas entre as médias aritméticas dos dados permite concluir que: um acréscimo na resistência da argamassa de 172% gerou na resistência do prisma um acréscimo de 110%.

4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS SEPARADAMENTE

Apesar de a experimentação com os prismas e argamassas ter sido feita como um grande conjunto de dados, foram calculados os seus intervalos de confiança separadamente, para o caso de uma única amostra. A Tabela 4.6 faz esta apresentação, que permite uma análise individual dos diferentes tratamentos.

Tabela 4.6 – Intervalos de confiança para as médias populacionais dos componentes e prismas, para o caso de uma única amostra.

Amostra	IC de 95% para a média μ
Bloco	(6,22; 9,11)
Arg1	(2,58; 2,85)
Arg2	(7,11; 7,72)
P05	(2,27; 3,31)
P10	(1,33; 1,94)
P15	(1,31; 1,48)
P20	(1,23; 1,51)
P25	(1,21; 1,36)
P210	(3,09; 3,79)

4.4 MÓDULO DE DEFORMAÇÃO LONGITUDINAL

Para um estudo mais significativo do módulo de deformação longitudinal dos prismas, os dados dos ensaios foram submetidos à análise estatística semelhante a do bloco. Obteve-se o intervalo de confiança para o módulo de deformação conforme apresentado na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Intervalos de confiança para médias dos módulos de deformação dos prismas.

Amostra	E_p médio (MPa)	IC de 95% para o E_p
P05	2494	(1276; 3713)
P210	2044	(1159; 2928)

Uma boa estimativa do módulo de deformação da alvenaria pode ser obtida pela resistência do prisma, conforme já exposto no Capítulo 3. A norma permite que o módulo seja estimado como sendo 600 vezes a resistência característica do prisma. O prisma considerado é o de dois blocos com uma junta de argamassa horizontal de 10 mm. A Tabela 4.7 mostra que para o prisma de junta de 10 mm o IC do módulo é de 1159 MPa a 2928 MPa. E através da Tabela 4.6 tem-se que o intervalo de confiança da resistência deste prisma é de 3,09 MPa a 3,79 MPa. Quando se calcula 600 vezes este limite inferior e superior da resistência encontra-se respectivamente

1854 MPa e 2274 MPa, que são valores que pertencem ao intervalo de confiança do módulo mostrado na Tabela 4.7. O valor de 600 vezes o f_{pk} corresponde a 1710 MPa, que também pertence ao intervalo de confiança do módulo. Portanto, observa-se coerência no resultado obtido no ensaio do módulo de deformação do prisma com a estimativa da norma.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo está dividido em duas seções, onde na primeira discorrem-se sobre as conclusões que foram propiciadas pela pesquisa e na segunda seção são dirigidas sugestões para trabalhos futuros.

5.1 CONCLUSÕES

Confirmou-se a interferência da argamassa na resistência do prisma. Quando há um ganho de resistência da argamassa há também no prisma, e o aumento da espessura da junta de argamassa gera uma redução de resistência do prisma.

A análise de variância para a espessura da argamassa, nos cinco diferentes níveis, constatou que algumas resistências de prismas com diferentes espessuras de argamassa são significativamente iguais: os prismas com juntas de 10 mm, 15 mm e 20 mm; e os de 15 mm, 20 mm e 25 mm.

Para argamassas com resistências significativamente diferentes, as resistências dos prismas foram também significativamente diferentes, em que, se aumentando a resistência da argamassa em 173%, um acréscimo na resistência do prisma de 110% foi observado. Percebeu-se que para a argamassa mais forte a ruptura do prisma foi mais frágil.

Observou-se boa coerência no valor do módulo de deformação longitudinal do prisma com espessura de junta de 10 mm, pois foi verificado que o valor de 600 vezes o f_{pk} (a estimativa da norma) pertence ao intervalo de confiança encontrado para a média dos valores de ensaio.

Confirma-se, portanto, que a prática de espessuras acima de 10 mm além de acarretar maior consumo de material, também condiciona à perda de resistência.

Importante destacar, que as conclusões descritas são aplicadas apenas para o conjunto estudado (tipo de bloco, traço e componentes da argamassa e o tipo de elemento).

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Após o estudo vê-se a importância de dar continuidade à análise, com proposições de alguns incrementos e variações, que seguem:

- a. trabalhar-se com variações menores de juntas, principalmente entre 5 e 10 mm;
- b. verificar o comportamento do prisma para juntas superiores a 25 mm, para validação do comportamento da função;
- c. estudar a influência da resistência da argamassa para diferentes níveis, de maneira que seja também possível encontrar uma função que explique a resistência do prisma em função da resistência da argamassa;
- d. aplicar a análise para prismas com blocos de diferentes geometrias, prismas grauteados e prismas de blocos de concreto;
- e. aplicar a análise para diferentes conformidades de prismas, pequenas paredes e paredes;
- f. estudar o comportamento do prisma na tração à flexão, para o mesmo tipo de bloco, visto que sua absorção de água é alta, para verificação da influência da absorção de água do bloco na aderência da argamassa-bloco.

REFERÊNCIAS

BIBLIOGRAFIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006) *Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios: NBR NM 45*. Rio de Janeiro.

Id. (2014) *Projeto de estruturas de concreto - Procedimento: NBR 6118*. Rio de Janeiro.

Id. (2009) *Concreto - Agregados para concreto: NBR 7211*. Rio de Janeiro.

Id. (1985) *Paredes de alvenaria estrutural - Ensaio à compressão simples - Método de ensaio: NBR 8949*. Rio de Janeiro.

Id. (2005) *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência: NBR 13276*. Rio de Janeiro.

Id. (2005) *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água: NBR 13277*. Rio de Janeiro.

Id. (2005) *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão: NBR 13279*. Rio de Janeiro.

Id. (2005) *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos: NBR 13281*. Rio de Janeiro.

Id. (2005) *Componentes cerâmicos - Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural - Terminologia e requisitos: NBR 15270-2*. Rio de Janeiro.

Id. (2005) *Componentes cerâmicos - Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação - Métodos de ensaio: NBR 15270-3*. Rio de Janeiro.

Id. (2010) *Alvenaria estrutural - Blocos cerâmicos - Projetos: NBR 15812-1*. Rio de Janeiro.

Id. (2010) *Alvenaria estrutural - Blocos cerâmicos - Execução e controle de obras: NBR 15812-2*. Rio de Janeiro.

Id. (2011) *Alvenaria estrutural - Blocos de concreto - Projeto: NBR 15961-1*. Rio de Janeiro.

Id. (2011) *Alvenaria estrutural - Blocos de concreto - Execução e controle de obras: NBR 15961-2*. Rio de Janeiro.

Barbosa, C. S. (2008) *Resistência e deformabilidade de blocos vazados de concreto, prismas e paredes e suas correlações com as propriedades mecânicas dos materiais constituintes*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

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

Carvalho, J. M. (2003) *Desempenho estrutural de prismas de blocos cerâmicos com diferentes formas e dimensões*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Florianópolis-SC, Universidade Federal de Santa Catarina, 154p.

Francis, A. J., Horman, C. B., Jerems, L. E. (1971) *The effect of joint thickness and other factors on the compressive strength of brickwork*. International Brick Masonry Conference, 2., Stoke-on-Trent, England, Proceedings. Stoke-on-Trent, British Ceramic Research Association, p. 31.

Garcia, P. D. (2000) *Contribuições ao estudo da resistência à compressão de paredes de alvenaria de blocos cerâmicos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - São Carlos-SP, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 173p.

Garcia, P. D., Ramalho, M. A. (2007) *Contribuições ao estudo da resistência à compressão de paredes de alvenaria de blocos cerâmicos*. Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, 9(37):127-152.

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

Gomes, I. R. (2001) *Simulação numérica do ensaio de compressão de prisma de alvenaria pelo método dos elementos finitos com comportamento de interface*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Florianópolis-SC, Universidade Federal de Santa Catarina, 160p.

Hamid, A. A., Drysdale, R. G. (1979) Suggested failure criteria for grouted masonry under axial compressive. American Concrete Institute Journal, p. 1047-1061.

Khalaf, F. M. (1996) *Factors influencing compressive strength of concrete masonry prisms*. Magazine of Concrete Research, 48(175):95-101.

Lima, A. N. (2010) *Análise experimental da influência da resistência e espessura da argamassa de assentamento no desempenho mecânico de prismas de blocos cerâmicos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Maceió-AL, Universidade Federal de Alagoas, 128p.

Lordsleem Júnior, A. C. (2004) *Execução e inspeção de alvenaria racionalizada - Coleção primeiros passos da qualidade no canteiro de obras*. 3. ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 104p.

Miller, C. P. (2008) *Determinação de parâmetros mecânicos e modelagem numérica em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos da indústria de Campos dos Goytacazes*.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Campos dos Goytacazes-RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 183p.

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

Mohamad, G., Rizzatti, E., Roman, H. R. (2011) *Modo de ruptura, deformabilidade e resistência de pequenas paredes estruturais*. Porto Alegre, Ambiente Construído, 11(3):7-22.

Montgomery, D. C., Runger, G. C. (2012) *Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros*. 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora LTDA - LTC.

Mota, J. A. R. (2001) *Influência da junta vertical na resistência à compressão de prismas em alvenaria estrutural de blocos de concreto e blocos de concreto celular autoclavado*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Minas Gerais, Universidade Federal de Minas Gerais.

Mota, J. M. de F., Oliveira, R. A., Silva, A. J. da, Barbosa, F. R., Carvalho, J. R. de (2012) *Influência da espessura da argamassa de assentamento na resistência à compressão axial de prismas de blocos cerâmicos*. Anais do 54º Congresso Brasileiro do Concreto CBC2012, Maceió: IBRACON.

Müller, M. S. K. (1989) *Estudos das correlações entre resistências à compressão de paredes e prismas de alvenaria estrutural cerâmica não-armada submetidos a esforços de compressão axial*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - EPUSP, 269p.

Oliveira, F. L. (2001) *Reabilitação de paredes de alvenaria pela aplicação de revestimentos resistentes de argamassa armada*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - São Paulo-SP, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Carlos, 203p.

Parsekian, G. A., Soares, M. M. (2010) *Alvenaria estrutural em blocos cerâmicos - projeto, execução e controle*. 1. ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 238p.

Parsekian, G. A., Hamid, A. A., Drysdale, R. G. (2013) *Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural*. 2. ed. São Carlos: EdUFSCar, 625p.

Pasquali, I. (2007) *Influência do tipo de argamassamento na resistência à compressão de pequenas paredes de alvenaria estrutural cerâmica*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Santa Maria-RS, Universidade Federal de Santa Maria, 140p.

Ramalho, M. A., Corrêa, M. R. S. (2003) *Projeto de edifícios de alvenaria estrutural*. 1. ed. São Paulo: Pini, 174p.

Ramos, I. S. (2006) *Os depósitos silto-argilosos da planície de inundação do Rio Paraíba do Sul, em Campos dos Goytacazes-RJ, como fonte de materiais para a indústria de cerâmica vermelha*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 162p.

Rizzatti, E., Roman, H. R., Mohamad, G., Nakanishi, E. Y. (2011) *Tipologia de blocos cerâmicos estruturais: influência da geometria dos blocos no comportamento mecânico da alvenaria*. Revista Matéria, 16(2):730-746.

Rigão, A. O. (2012) *Comportamento de pequenas paredes de alvenaria estrutural frente a altas temperaturas*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Santa Maria-RS, Universidade Federal de Santa Maria, 142p.

Sabbatini, F.H. (1984) *O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural silícocalcária*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - São Paulo-SP, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 298p.

Santos, M. J. F. (2008) *Análise da resistência de prismas e pequenas paredes de alvenaria estrutural cerâmica para diferentes tipos de argamassas*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Santa Maria-RS, Universidade Federal de Santa Maria, 136p.

Steil, R. O. (2003) *Efeito da geometria do bloco de concreto e do tipo de argamassa no desempenho à compressão de prismas de alvenaria não grauteados*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Santa Catarina, Universidade Federal de Santa Catarina.

WEBGRAFIA

Imc. Disponível em: <<http://www.lmc.ep.usp.br/people/hlinde/estruturas/queops.htm>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

Imc. Disponível em: <<http://www.lmc.ep.usp.br/people/hlinde/Estruturas/ur.htm>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

Lighthouse of Alexandria. Disponível em: <<http://www.pharosofalexandria.com/>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

Viajando no mundo. Disponível em: <<http://www.viajandonomundo.com.br/wp-content/uploads/2011/08/coliseu-de-roma-italia.jpg>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

Monumento Medieval en Francia. Disponível em: <<http://www.arquitectura-antigua.es/catedrales/reims.htm>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

Flickr. Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/sminor/6284316584/>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

Holiday e Hotel Reviews. Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/sminor/6284316584/>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

Original Blocos. Disponível em: <http://www.originalblocos.com.br/pag_suporte_info_historico.asp#>. Acesso em: 15 jan. 2015.

Even. Disponível em: <<http://www.even.com.br/relatorio2010/pt-br/de-olho-no-imovel/para-evitar-dor-de-cabeca.html>>. Acesso em: set. 2014.

Ralph Braz. Disponível em: <<http://www.even.com.br/relatorio2010/pt-br/de-olho-no-imovel/para-evitar-dor-de-cabeca.html>>. Acesso em: jan. 2015.

UDESC Joinville. Disponível em:
<<http://www.joinville.udesc.br/portal/departamentos/dec/labmcc/equipamentos.php>>.
Acesso em: set. 2015.

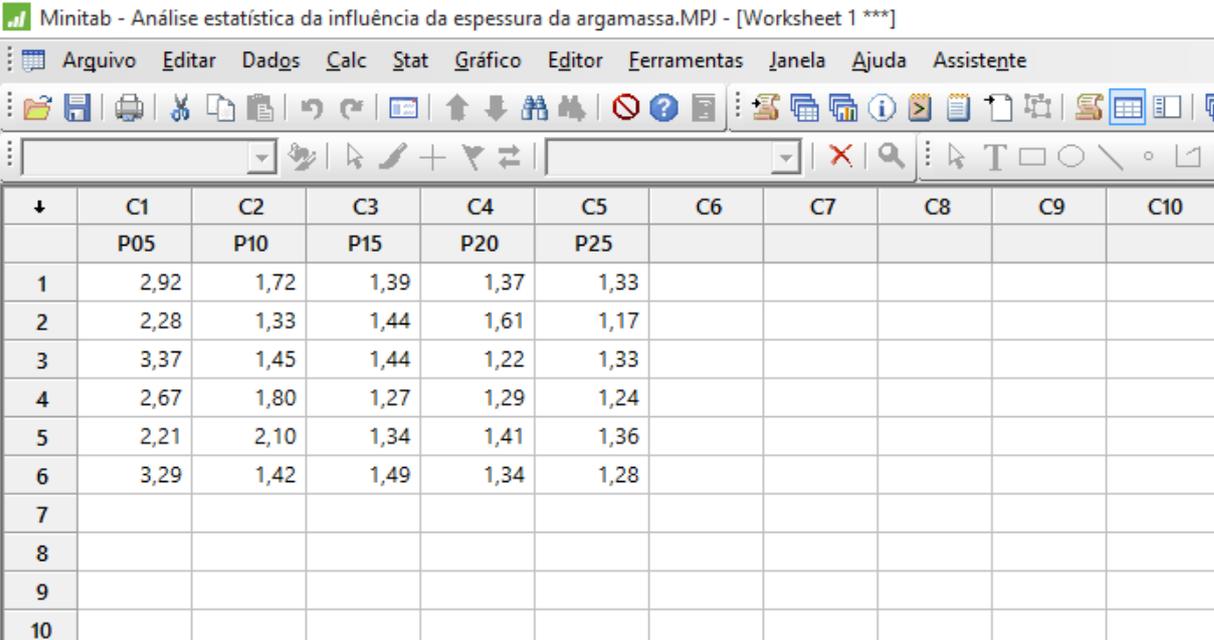
APÊNDICE

APÊNDICE I
ANÁLISE ESTATÍSTICA

I ANÁLISE DOS RESULTADOS

I.1 FATOR 1: ESPESSURA DA ARGAMASSA

Os dados de entrada no Minitab para verificação de valores anômalos (ou *outliers*) entre as observações das amostras de prismas estão apresentados na Figura I.1.



	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
	P05	P10	P15	P20	P25					
1	2,92	1,72	1,39	1,37	1,33					
2	2,28	1,33	1,44	1,61	1,17					
3	3,37	1,45	1,44	1,22	1,33					
4	2,67	1,80	1,27	1,29	1,24					
5	2,21	2,10	1,34	1,41	1,36					
6	3,29	1,42	1,49	1,34	1,28					
7										
8										
9										
10										

Figura I.1 – Tabela de entrada do Minitab com os valores da resistência dos prismas com Argamassa 1.

Os dados de saída são os apresentados a seguir:

Método

Hipótese nula Todos os valores de dados são provenientes da mesma população normal
 Hipótese alternativa O menor ou o maior valor dos dados é um outlier
 Nível de significância $\alpha = 0,05$

Teste de Grubbs

Variável	N	Média	DesvPad	Mín	Máx	G	P
P05	6	2,790	0,493	2,210	3,370	1,18	1,000
P10	6	1,637	0,291	1,330	2,100	1,59	0,406
P15	6	1,3950	0,0797	1,2700	1,4900	1,57	0,445
P20	6	1,3733	0,1334	1,2200	1,6100	1,77	0,147
P25	6	1,2850	0,0706	1,1700	1,3600	1,63	0,344

* NOTA * Nenhum outlier no nível de significância 5%

Os dados de entrada no Minitab para a estatística descritiva do conjunto de observações dos prismas assentados com a Argamassa 1 são os apresentados na Figura I.1. E os dados de saída são os apresentados a seguir:

Variável	Frequência	Total	N	N*	Média	EP	Média	DesvPad	CoefVar	Soma de quadrados
Mínimo										
P05			6	6	0	2,790	0,201	0,493	17,66	47,919
2,210										
P10			6	6	0	1,637	0,119	0,291	17,80	16,496
1,330										
P15			6	6	0	1,3950	0,0325	0,0797	5,71	11,7079
1,2700										
P20			6	6	0	1,3733	0,0544	0,1334	9,71	11,4052
1,2200										
P25			6	6	0	1,2850	0,0288	0,0706	5,50	9,9323
1,1700										

Variável	Q1	Mediana	Q3	Máximo	Amplitude	DIQ	Assimetria
P05	2,263	2,795	3,310	3,370	1,160	1,048	-0,02
P10	1,398	1,585	1,875	2,100	0,770	0,478	0,72
P15	1,3225	1,4150	1,4525	1,4900	0,2200	0,1300	-0,64
P20	1,2725	1,3550	1,4600	1,6100	0,3900	0,1875	1,15
P25	1,2225	1,3050	1,3375	1,3600	0,1900	0,1150	-0,86

Os dados de entrada no Minitab para a análise de regressão linear da resistência do prisma pelo inverso da espessura da argamassa de assentamento estão apresentados na Figura I.2.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
	1/e	fp								
1	0,200000	2,7900								
2	0,100000	1,6370								
3	0,066667	1,3950								
4	0,050000	1,3733								
5	0,040000	1,2850								
6										
7										
8										
9										
10										

Figura I.2 – Tabela de entrada do Minitab com os valores do inverso da espessura da argamassa e com a resistência dos prismas com Argamassa 1.

Os dados de saída são os apresentados a seguir:

Análise de Variância

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Regressão	1	1,52498	1,52498	117,34	0,002
1/e	1	1,52498	1,52498	117,34	0,002
Erro	3	0,03899	0,01300		
Total	4	1,56397			

Sumário do Modelo

S	R2	R2 (aj)	R2 (pred)
0,114003	97,51%	96,68%	72,46%

Coefficientes

Termo	Coef	EP de Coef	Valor T	Valor-P	VIF
Constante	0,8268	0,0951	8,70	0,003	
1/e	9,517	0,879	10,83	0,002	1,00

Equação de Regressão

$$fp = 0,8268 + 9,517 \text{ 1/e}$$

O intervalo de confiança para os parâmetros da equação foi determinado segundo as expressões Equação I.1 e Equação I.2 para respectivamente, o coeficiente angular e o coeficiente linear da equação.

$$\hat{\beta}_1 - t_{\alpha/2, n-2} \sqrt{\frac{\hat{\sigma}^2}{S_{xx}}} \leq \hat{\beta}_1 \leq \hat{\beta}_1 + t_{\alpha/2, n-2} \sqrt{\frac{\hat{\sigma}^2}{S_{xx}}} \quad \text{I.1}$$

onde: $\hat{\beta}_1$ é a inclinação da linha de regressão;

$t_{\alpha/2, n-2}$ é o ponto percentual da distribuição t ;

$\hat{\sigma}^2$ é o estimador da variância;

S_{xx} é determinado segundo a Equação I.3.

$$\hat{\beta}_0 - t_{\alpha/2, n-2} \sqrt{\hat{\sigma}^2 \left[\frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{S_{xx}} \right]} \leq \hat{\beta}_0 \leq \hat{\beta}_0 + t_{\alpha/2, n-2} \sqrt{\hat{\sigma}^2 \left[\frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{S_{xx}} \right]} \quad \text{I.2}$$

onde: $\hat{\beta}_0$ é o coeficiente linear da equação da reta;

n é o número de observações;

\bar{x} é a média das amostras dos x_i , calculada segundo a Equação I.4.

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad \text{I.3}$$

$$\bar{x} = (1/n) \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{I.4}$$

Os dados de saída do cálculo dos intervalos de confiança para os coeficientes da equação obtidos pelo Excel são os apresentados a seguir:

1/e _a	f _p	n	x _{médio} ²	S _{xx}	σ ²	t _{0,25.3}	ICβ ₁	ICβ ₀
0,200	2,79	5	0,008342	0,0168	0,013	3,182	2,796	0,3026
0,100	1,64							
0,067	1,40							
0,050	1,37							
0,040	1,29							

Os dados de entrada no Minitab para a análise de variância do conjunto de dados dos prismas com a Argamassa 1 são os apresentados na Figura I.1. E os dados de saída são os apresentados a seguir:

Método

Hipótese nula Todas as médias são iguais
 Hipótese alternativa No mínimo uma média é diferente
 Nível de significância α = 0,05

Assumiu-se igualdade de variâncias para a análise

Informações dos Fatores

Fator Níveis Valores
 Fator 5 P05; P10; P15; P20; P25

Análise de Variância

Fonte	GL	SQ Seq	Contribuição	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Fator	4	9,384	84,03%	9,384	2,34599	32,88	0,000
Erro	25	1,784	15,97%	1,784	0,07136		

Total 29 11,168 100,00%

Sumário do Modelo

S	R2	R2 (aj)	PRESQ	R2 (pred)
0,267130	84,03%	81,47%	2,56891	77,00%

Médias

Fator	N	Média	DesvPad	IC de 95%
P05	6	2,790	0,493	(2,565; 3,015)
P10	6	1,637	0,291	(1,412; 1,861)
P15	6	1,3950	0,0797	(1,1704; 1,6196)
P20	6	1,3733	0,1334	(1,1487; 1,5979)
P25	6	1,2850	0,0706	(1,0604; 1,5096)

DesvPad Combinado = 0,267130

Os dados de entrada no Minitab para o método de comparações múltiplas entre os prismas com Argamassa 1 são os apresentados na Figura I.1. E os dados de saída são os apresentados a seguir e também na Figura I.3:

Informações de Agrupamento Usando o Método LSD de Fisher e Confiança de 95%

Fator	N	Média	Agrupamento
P05	6	2,790	A
P10	6	1,637	B
P15	6	1,3950	B C
P20	6	1,3733	B C
P25	6	1,2850	C

Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes.

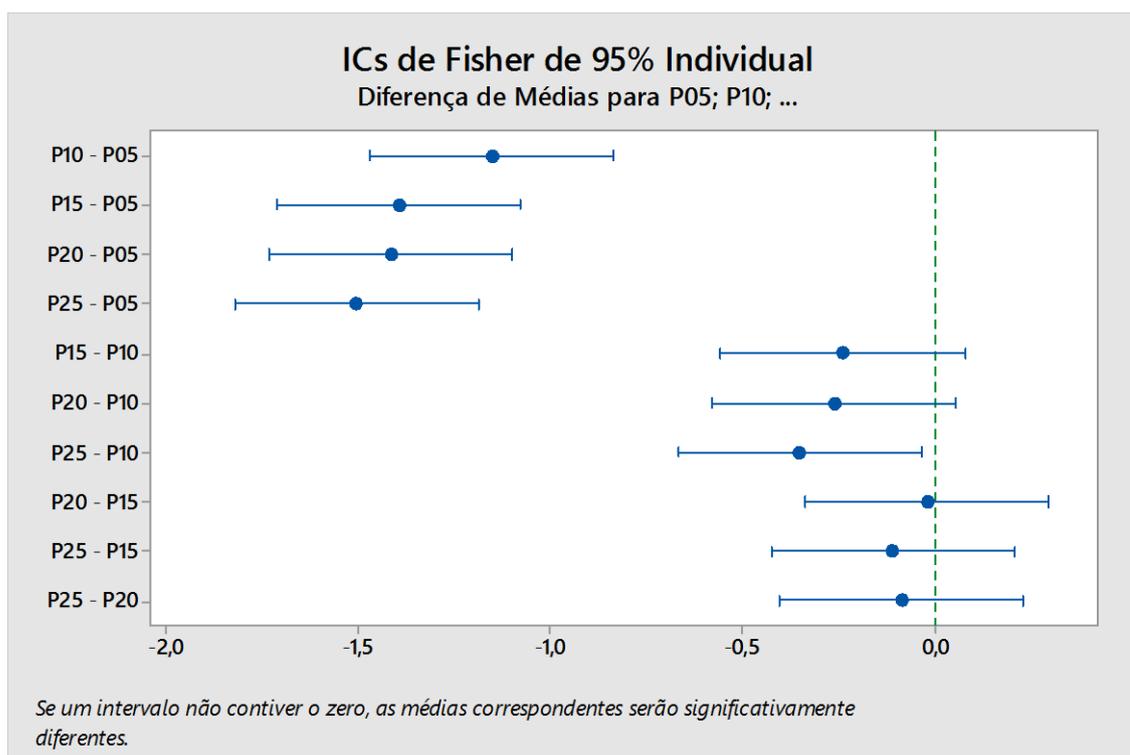


Figura I.3 – Gráfico de saída do Minitab para as comparações emparelhadas de Fisher.

Os dados de entrada no Minitab para o Teste T para cada amostra individual dos prismas com Argamassa 1 são os apresentados na Figura A.1. E os dados de saída são os apresentados a seguir:

Variável	N	Média	DesvPad	EP	Média	IC de 95%
05	6	2,790	0,493	0,201	(2,273; 3,307)	
10	6	1,637	0,291	0,119	(1,331; 1,942)	
15	6	1,3950	0,0797	0,0325	(1,3114; 1,4786)	
20	6	1,3733	0,1334	0,0544	(1,2334; 1,5133)	
25	6	1,2850	0,0706	0,0288	(1,2109; 1,3591)	

I.2 FATOR 2: RESISTÊNCIA DA ARGAMASSA

Os dados de entrada no Minitab para verificação de valores anômalos entre às observações na amostra do bloco, das argamassa e dos prismas de junta de 10 mm estão apresentados na Figura I.4.

Arg2	5	5	0	7,412	0,110	0,246	3,31	274,930
7,110								
P210	6	6	0	3,438	0,137	0,336	9,77	71,497
2,950								

Variável	Q1	Mediana	Q3	Máximo	Amplitude	DIQ	Assimetria
Bloco	5,898	7,375	8,965	11,430	6,270	3,067	0,60
Arg1	2,6075	2,7300	2,8350	2,8500	0,3400	0,2275	-0,74
Arg2	7,200	7,340	7,660	7,720	0,610	0,460	0,17
P210	3,152	3,445	3,757	3,840	0,890	0,605	-0,29

Os dados de entrada no Minitab para o Teste T para duas amostras são os apresentados na Figura I.4. E os dados de saída são os mostrados a seguir, para as argamassas e os prismas com espessura de argamassa igual a 10 mm, nesta ordem:

Teste T para 2 amostras para Arg1 vs Arg2

	N	Média	DesvPad	EP	Média
Arg1	6	2,715	0,127		0,052
Arg2	5	7,412	0,246		0,11

Diferença = μ (Arg1) - μ (Arg2)

Estimativa para a diferença: -4,697

IC de 95% para a diferença: (-4,956; -4,438)

Teste T de diferença = 0 (versus \neq): Valor T= -41,02 Valor-P = 0,000 GL = 9

Ambos usam DesvPad Combinado = 0,1891

Teste T para 2 amostras para P10 vs P210

	N	Média	DesvPad	EP	Média
P10	6	1,637	0,291		0,12
P210	6	3,438	0,336		0,14

Diferença = μ (P10) - μ (P210)

Estimativa para a diferença: -1,802

IC de 95% para a diferença: (-2,206; -1,397)

Teste T de diferença = 0 (versus \neq): Valor T= -9,93 Valor-P = 0,000 GL = 10

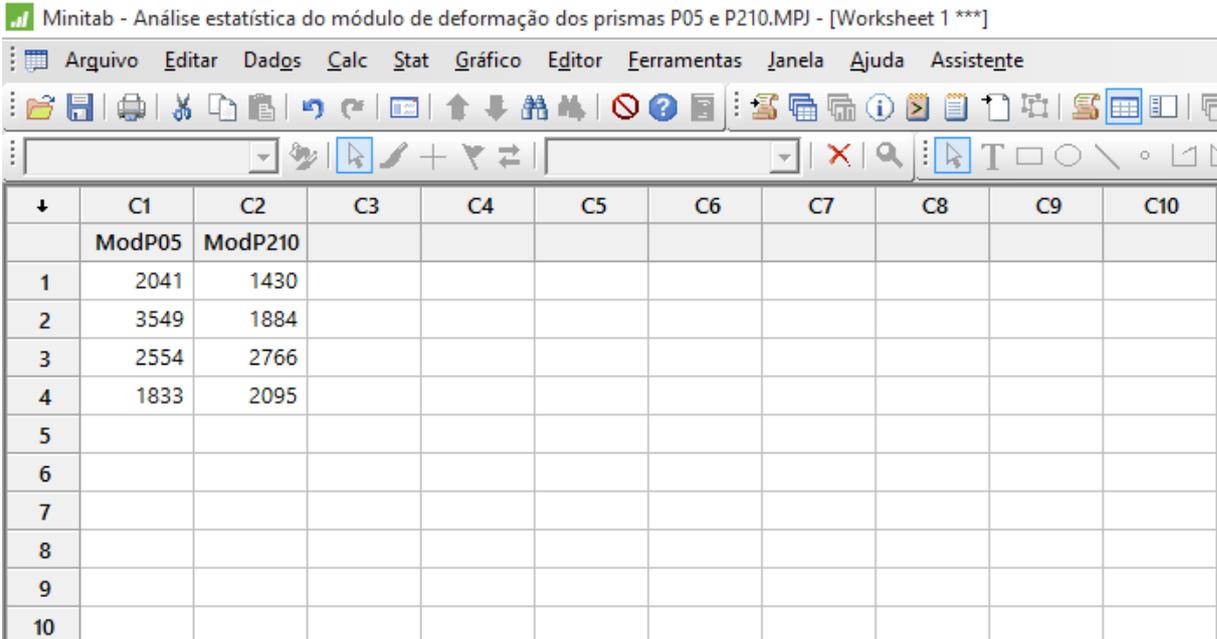
Ambos usam DesvPad Combinado = 0,3143

Os dados de entrada no Minitab para o Teste T para uma amostra do bloco, das argamassas e dos prismas de espessura de junta de 10 mm, são os apresentados na Figura I.4. E os dados de saída são os apresentados a seguir:

Variável	N	Média	DesvPad	EP	Média	IC de 95%
Bloco	10	7,663	2,020		0,639	(6,218; 9,108)
Arg1	6	2,7150	0,1268		0,0518	(2,5820; 2,8480)
Arg2	5	7,412	0,246		0,110	(7,107; 7,717)
P10	6	1,637	0,291		0,119	(1,331; 1,942)
P210	6	3,438	0,336		0,137	(3,086; 3,791)

I.3 MÓDULO DE DEFORMAÇÃO LONGITUDINAL DOS PRISMAS

Os dados de entrada no Minitab para verificação de valores anômalos no conjunto de valores dos módulos de deformação longitudinal dos prismas estão apresentados na Figura I.5.



	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
	ModP05	ModP210								
1	2041	1430								
2	3549	1884								
3	2554	2766								
4	1833	2095								
5										
6										
7										
8										
9										
10										

Figura I.5 – Tabela de entrada do Minitab com os valores do módulo de deformação dos prismas.

Os dados de saída são os apresentados a seguir:

Método

Hipótese nula Todos os valores de dados são provenientes da mesma população normal
 Hipótese alternativa O menor ou o maior valor dos dados é um outlier
 Nível de significância $\alpha = 0,05$

Teste de Grubbs

Variável	N	Média	DesvPad	Mín	Máx	G	P
ModP05	4	2494	766	1833	3549	1,38	0,327
ModP210	4	2044	556	1430	2766	1,30	0,534

* NOTA * Nenhum outlier no nível de significância 5%

Os dados de entrada no Minitab para o Teste T com os valores dos módulos dos prismas são os apresentados na Figura I.5. E os dados de saída são os apresentados a seguir:

Variável	N	Média	DesvPad	EP	IC de 95%
ModP05	4	2494	766	383	(1276; 3713)
ModP210	4	2044	556	278	(1159; 2928)

ANEXO

ANEXO A
ASPECTOS HISTÓRICOS

A ASPECTOS HISTÓRICOS

A.1 ALVENARIA ESTRUTURAL NO MUNDO

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo utilizado desde o início da atividade humana. Segundo Gomes, N. (1983) no ano 10000 antes de Cristo já se construía em alvenaria.

As obras mais antigas em alvenaria são caracterizadas por utilização muito densa de material. Ao longo do tempo, a técnica em edificar em alvenaria estrutural vem se aprimorando, na busca do uso mais consciente dos materiais, sendo apontada hoje como um sistema racional.

O considerado monumento mais pesado já construído pelo homem foi desenvolvido segundo um sistema estrutural de alvenaria – a Pirâmide de Quéops (Figura). Localizada em Gizé, no Egito, com peso aproximado de 5,5 milhões de toneladas, foi construída em 2551 a.C., com blocos de rocha. Com altura de 146,6 m, por muitos séculos foi a mais alta estrutura existente, somente no século XVI que perdeu esta posição.

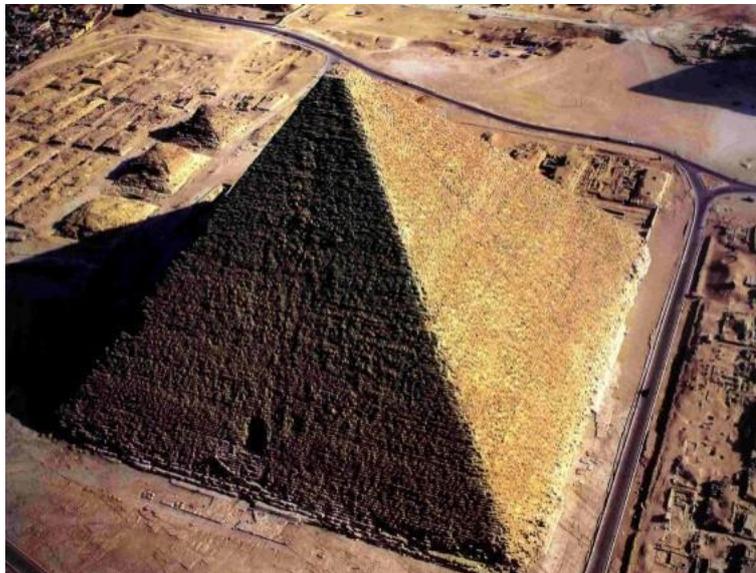


Figura A.1 – Pirâmide de Quéops. (IMC, 2015a)

Outra construção histórica que também ficou marcada pela sua beleza e imponência, como destacou Garcia (2000, p. 2), foi o templo de Zigarette (Figura). Construído entre os anos de 2113 e 2096 a.C., com altura de 21 metros e com base de 62,5 m por 43 m, foi edificado em alvenaria de tijolos secos ao sol e tijolos cozidos.

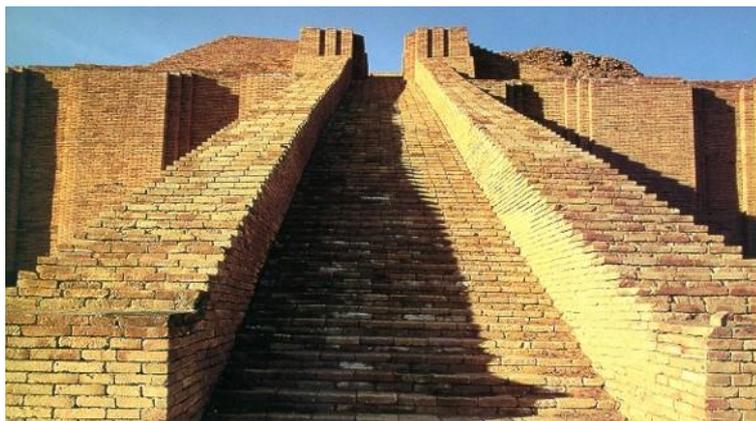


Figura A.2 – Zigurate de Ur. (IMC, 2015b)

Ramalho e Corrêa (2003) mostraram a evolução da alvenaria estrutural através de obras que hoje são consideradas monumentos de grande importância histórica ou que marcaram a evolução deste sistema estrutural. São citadas as pirâmides de Gizé, o Farol de Alexandria, o Coliseu, a Catedral de Reims, o Edifício Monadnock, um edifício em alvenaria não-armada construído na Suíça em 1950 e o hotel Excalibur.

As pirâmides de Gizé, conhecidas como necrópole de Gizé, são três pirâmides: Quéfren, Miquerinos e Queóps, sendo esta última a maior delas. As construções foram feitas assentando-se um bloco de rocha sobre o outro.

O Farol de Alexandria (Figura) foi construído por volta do ano 280 a.C., tinha 134 m de altura e o material utilizado em sua construção foi mármore branco.

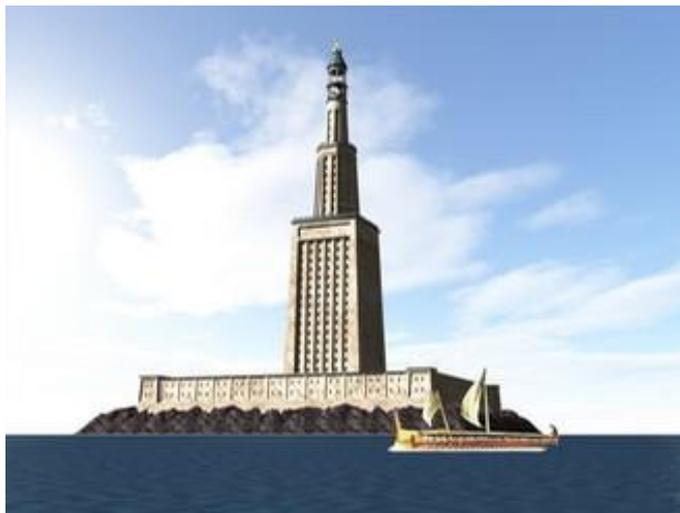


Figura A.3 – Farol de Alexandria. (LIGHTHOUSE OF ALEXANDRIA, 2015)

O Coliseu (Figura) foi um anfiteatro construído em Roma, por volta de 70 d.C., com capacidade para cinquenta mil pessoas, possuindo oitenta portais, tais que, permitiam de forma rápida a evacuação de todas essas pessoas. Suas dimensões são aproximadamente 500 m de diâmetro e 50 m de altura. O que ainda resta desta construção é aproximadamente um terço da obra original.



Figura A.4 – Coliseu. (VIAJANDO NO MUNDO, 2015)

Construída entre os anos de 1211 e 1300 d.C. na França, a Catedral de Reims (Figura) é um grande exemplo da evolução da técnica em alvenaria. Ramalho e Corrêa (2003) destacam que em sua execução foi empregada a técnica de se construir vãos utilizando-se apenas estruturas comprimidas. A obra exibe uma refinada arquitetura e uma aprimorada técnica de construção.

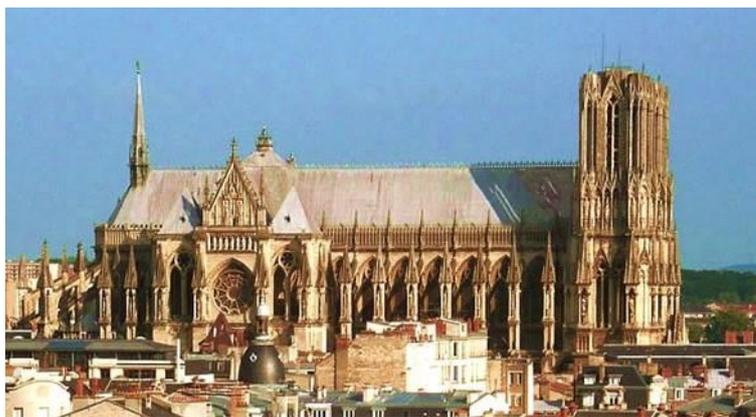


Figura A.5 – Catedral de Reims. (MONUMENTO MEDIEVAL EN FRANCIA, 2015)

O edifício Monadnock (Figura) foi construído em Chicago, entre os anos 1889 a 1891. Esta obra foi um grande marco na alvenaria estrutural, por na época, romper limites deste sistema construtivo. Para se alcançar os 16 pavimentos, as paredes da base foram construídas com 1,8 m de espessura. Utilizando-se a tecnologia de construção atual, acredita-se que esta espessura seria de aproximadamente 30 centímetros.



Figura A.6 – Edifício Monadnock. (FLICKR, 2015)

O edifício construído em alvenaria estrutural na Basileia, Suíça, por Paul Haller, em 1950, marcou a história deste sistema de construção, pois sua estrutura, como analisado por Ramalho e Corrêa (2003), ficou bem próxima das estruturas construídas com os procedimentos atuais. Este edifício foi construído em alvenaria não-armada, constituído de 13 pavimentos e 42 metros de altura, com paredes externas de 37,5 centímetros e paredes internas de 15 centímetros, sendo aquelas paredes mais espessas, provavelmente para o conforto térmico e sendo estas de 15 centímetros as que recebem mais solitação.

O hotel Excalibur (Figura), em Las Vegas, EUA, destaca-se pela sua imponente arquitetura e altura elevada. Ele é formado por quatro torres principais, com 28 pavimentos (18 pavimentos em alvenaria estrutural). Sua construção foi em alvenaria armada de blocos de concreto.



Figura A.7 – Hotel Excalibur. (HOLIDAY E HOTEL REVIEWS, 2015)

A.2 ALVENARIA ESTRUTURAL NO BRASIL

No Brasil a construção em alvenaria estrutural surgiu desde a chegada dos portugueses, no século XVI. O bloco utilizado na época era o maciço. O uso dos blocos vazados surgiu somente no século XX. Há relatos que a primeira construção com blocos vazados tenha sido um prédio de quatro pavimentos localizado em São Paulo, de 1966, construído com blocos estruturais de concreto. Uma imagem deste edifício é apresentada na Figura . (Ramalho e Corrêa, 2003)



Figura A.8 – Edifício de blocos de concreto, de 1966. (ORIGINAL BLOCOS, 2015)

Outro marco na história deste sistema no país foi em 1972, com a construção do condomínio Central Parque Lapa, em São Paulo (Figura), construído em alvenaria armada de blocos de concreto.



Figura A.9 – Central Parque Lapa, de 1972. (ORIGINAL BLOCOS, 2015)

No ano de 1990, pôde-se observar a intensificação do estudo em alvenaria estrutural não armada através da construção de um edifício com seis pavimentos, o Barão II Barras, em Goiânia (Figura).



Figura A.10 – Edifício Barão II Barras, de 1990. (ORIGINAL BLOCOS, 2015)

Hoje no país este sistema construtivo já é fundamentado em normas brasileiras. A criação das normas contribuiu para o crescimento do emprego deste sistema. Tendo as bases de construção disponibilizadas pelas normas técnicas, muitas empresas que buscam por redução de custo e tempo são atraídas por esta tecnologia. Ainda, na busca destes dois fatores, estas empresas desenvolvem projetos arquitetônicos mais simples. No entanto, nem sempre são projetos arquitetônicos simples que são desenvolvidos com este sistema. O edifício The Gift em São Paulo é um exemplo de grande investimento em uma obra de alvenaria estrutural, com uma arquitetura muito bem elaborada. As 5 torres que compõe esta obra são mostradas na Figura e o interior de um de seus apartamentos é apresentado na Figura .



Figura A.11 – Edifício The Gift. (EVEN, 2015)

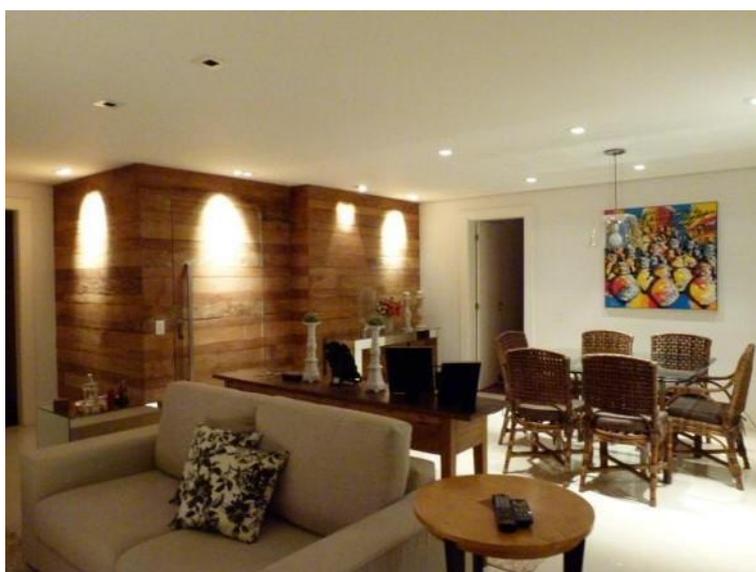


Figura A.12 – Interior de um apartamento do The Gift. (EVEN, 2015)

O emprego da alvenaria estrutural em Campos dos Goytacazes se faz tanto com o uso de blocos de concreto quanto cerâmicos. A exemplo de construção em bloco de concreto tem-se o condomínio Fit Vivai (Figura), construído em 2012. E em bloco cerâmico, construído em 2015, tem-se o Residencial Constelações III (Figura).



Figura A.13 – Condomínio Fit Vivai. (RALPH BRAZ, 2015)



Figura A.14 – Condomínio Residencial Constelações III.