

**COMPARAÇÃO DE PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL COM
VIGAS GRAUTEADAS COM CONCRETO LEVE E CONVENCIONAL**

VALBER DOMINGOS PINHEIRO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO - UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

ABRIL/2019

COMPARAÇÃO DE PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL COM VIGAS GRAUTEADAS COM CONCRETO LEVE E CONVENCIONAL

VALBER DOMINGOS PINHEIRO

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

Orientador: Jonas Alexandre

Coorientador: Jean Marie Désir

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO - UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

ABRIL/2019

COMPARAÇÃO DE PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL COM VIGAS GRAUTEADAS COM CONCRETO LEVE E CONVENCIONAL

VALBER DOMINGOS PINHEIRO

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

Aprovado em 26 de abril de 2019.

Comissão Examinadora:

Prof. Afonso Rangel Garcez de Azevedo, D. Sc. - TER/UFF

Prof. Leonardo Gonçalves Pedroti, D.Sc. - DEC/UFV

Prof. Gustavo de Castro Xavier, D. Sc. - LECIV/UENF

Prof. Jean Marie Désir, D.Sc. - DECIV/UFRGS
Coorientador

Prof. Jonas Alexandre, D.Sc. – LECIV/UENF
Orientador

DEDICATÓRIA

A meu pai Valcir Pinheiro (em memória), minha mãe Suely Maria Domingos Pinheiro e ao meu irmão Marcos Antônio Domingos Pinheiro que sempre estiveram ao meu lado em todos sonhos dando apoio, incentivo, esperança e certeza do sucesso.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me guiar por direções que me trouxeram até aqui e me acalantar nos momentos difíceis em que pensei não conseguir prosseguir até o fim dessa etapa. Por sempre me manter forte e quase inabalável diante dos dias de intensas tribulações. Todo meu louvor e glória a Ele, pois Dele, por Ele e para Ele são todas as coisas.

Agradeço também, por todo apoio concedido, a minha família, base de tudo, que sempre esteve ao meu lado incentivando nos sonhos e objetivos. A minha mãe Suely Maria Domingos Pinheiro por todo amor, carinho e compreensão. Ao meu pai Valcir Pinheiro que hoje já não se encontra mais em nosso meio. Ao meu irmão Marcos Antônio Domingos Pinheiro que sempre foi exemplo de pessoa para mim. Um agradecimento especial a ele que me ajudou no programa experimental na árdua construção dos corpos de prova. Sem ele não seria possível a conclusão de mais essa etapa da vida. Agradeço também a minha cunhada, Maria Inês, que há pouco tempo faz parte da nossa família, mas que sempre torce pela realização dos meus objetivos. Agradeço também aos demais familiares que sempre torceram e incentivaram a conclusão dessa etapa.

Gratifico também ao meu Orientador Jonas Alexandre pelo conhecimento concedido e por ter aceito a orientação perante a muitos percalços. Pelas ajudas, conselhos e encaminhamentos durante essa etapa. Por acreditar no meu potencial e sempre mostrar as muitas possibilidades que nos aguardam na vida. Agradeço também ao meu Coorientador Jean Marie por toda ajuda durante o trabalho proposto e concluído.

Aos meus amigos de laboratório agradeço por todo auxílio nas realizações de ensaios e pela amizade durante esse percurso a qual pôde tornar os dias de trabalho árduo mais leves e agradáveis. Agradeço de maneira igual aos técnicos de laboratório de engenharia civil Milton, Moisés, Gelcimar, Vanuzia e José Renato por todo auxílio em várias etapas da pesquisa. De maneira especial agradeço ao técnico do laboratório de engenharia de materiais Renan que se fez disponível a solucionar muitos problemas durante a realização dos ensaios nos equipamentos.

Agradeço de maneira especial a amiga Thuany pelo auxílio nesse período de mestrado, desde a escolha do tema da pesquisa até a análise dos resultados. Aproveito para agradecer a amizade de sempre desde o período da graduação sempre me ensinando firmeza, positividade e esperança na vida. Agradeço também a Amiga Ana Luiza Paes que se dispôs a ajudar na realização de toda etapa de ensaios das miniparedes e prismas e o fez de bom grado.

Aos meus amigos do dia-a-dia maçante da universidade que se tornaram amigos para a vida toda onde encontro apoio em todas as horas e áreas da vida agradeço por tudo, não tenho nem palavras para descrever a imensa gratidão que sinto por cada um de vocês. É de valor inimaginável e incalculável os momentos que passamos juntos, desde conversas pós almoço quanto os abraços em momentos de tristeza e sorrisos em momentos de alegria e celebração.

Agradeço também aos meus amigos que não fazem parte do meu ciclo universitário e que mesmo de longe se fazem presentes em todas as etapas da minha vida sempre com grande torcida e incentivo durante a jornada.

Agradeço aos meus anjos amigos do grupo de oração universitário Halam o qual se fez lugar de renovação das energias a cada semana.

Minha gratidão aos funcionários do laboratório de engenharia civil sempre dispostos ajudar quando necessário.

As agências de fomento (CAPES, FAPERJ e CNPQ) sou grato pelo suporte indireto nesse trabalho.

Aos que posso ter esquecido por algum motivo, o meu muito obrigado.

RESUMO

Na construção Civil há uma incessante busca de otimização do tempo de execução de uma edificação e finalizações dos processos construtivos de uma obra o que implica diretamente em seu custo e em sua qualidade. Uma das alternativas para obtenção desses resultados é o emprego de métodos construtivos mais eficazes, unindo-os com novos tipos de materiais. A alvenaria estrutural, por exemplo, é um sistema construtivo com significativas vantagens em relação à construção convencional, que utiliza um sistema misto estrutural, contendo vigas, pilares e lajes em conjunto com alvenaria de vedação. A união dessas seções pode viabilizar um menor custo final, menor tempo de construção, economia com formas e redução de mão de obra com estudos e aplicações corretas. Nesse contexto, propõe-se um estudo avaliativo e comparativo da utilização do concreto leve, confeccionado com incorporador de ar e argila expandida no grauteamento de vigas de cintamento em miniparedes de alvenaria estrutural comparando-as com vigas grauteadas com concreto convencionalmente utilizado. Foram utilizados blocos de concreto ofertados na cidade de Campos dos Goytacazes, região norte fluminense do estado do Rio de Janeiro, que atendiam as normas técnicas brasileiras. Foram analisados os parâmetros de resistência à compressão, tipo de ruptura e fissuração, evidenciando, por fim, a possibilidade de utilização dos diferentes tipos de concreto para preenchimento das vigas e para grauteamento vertical, apresentando uma comparação dos resultados dos modelos estudados durante a pesquisa.

Palavras-chave: Alvenaria estrutural, Concreto, Grauteamento, Concreto leve

ABSTRACT

In Civil Construction there is an incessant search for optimization of building execution time and completion of the construction processes of a work, which directly implies in its cost and quality. One of the alternatives to obtain these results is using more efficient construction methods, combining them with new types of materials. Structural masonry, for example, is a construction system with significant advantages over conventional construction, which uses a mixed structural system, containing beams, columns and slabs together with sealing masonry. The union of these sections can enable a lower final cost, shorter construction time, economy with shapes and reduction of labor with studies and correct applications. In this context, it is proposed an evaluative and comparative study of the use of lightweight concrete, made with air entraining and expanded clay in the grouting of strapping beams in mini walls of structural masonry comparing them with beams grout with concrete used conventionally. Were used concrete blocks which were submitted to technical analysis, previously performed by our laboratory, among the brands offered in the city of Campos dos Goytacazes, northern Rio de Janeiro state, being used those that met the technical standards. The parameters of compressive strength, type of rupture and cracking were analyzed, finally showing, the possibility of using different types of concrete to fill the beams and to grout the spaces between the blocks septa, presenting a comparison of the models studied results during the research.

Keywords: Structural masonry, concrete, grouting, lightweight concrete

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xiv
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS, SÍMBOLOS E UNIDADES	xvi
CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO	18
1.1 Considerações iniciais	18
1.2 Objetivos	20
1.2.1. Objetivos Gerais	20
1.2.2. Objetivos Específicos	20
1.3 Justificativa	21
1.4 Estrutura da Dissertação	22
CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1. Alvenaria	24
2.1.1. Definição	25
2.1.2. Histórico	25
2.1.3. Componentes da Alvenaria.....	26
2.1.4. Funções da Alvenaria	33
2.1.5. Equações para determinação da resistência à compressão	35
2.1.6. Eficiência	36
2.2. Concreto Leve	37
2.2.1. Tipos de concretos leves	41
2.3. Mecanismo de Ruptura	47
2.4. Trabalhos relacionados	51
2.4.1. Alvenaria estrutural.....	51
2.4.2. Grauteamento.....	54
2.4.3. Concreto leve	58
CAPÍTULO III – PROGRAMA EXPERIMENTAL	61
3.1. Considerações Iniciais	61
3.2. Blocos	61
3.2.1. Bloco do tipo inteiro	62
3.2.2. Meio Bloco.....	62
3.2.3. Canaleta	62
3.2.4. Caracterização física dos Blocos	63

3.2.5.	Análise dimensional.....	64
3.2.6.	Propriedades Mecânicas	67
3.3.	Argamassa	69
3.3.1.	Componentes e caracterização dos materiais	69
3.3.2.	Ensaio no Estado Fresco	70
3.3.3.	Ensaio no estado Endurecido	72
3.4.	Graute	75
3.4.1.	Materiais.....	77
3.4.2.	Traços	79
3.5.	Miniparedes.....	79
3.5.1.	Miniparedes sem viga.....	80
3.5.2.	Miniparedes com vigas	82
3.5.3.	Montagem das paredes	83
3.5.4.	Grauteamento das paredes	84
3.5.5.	Capecamento das paredes.....	85
3.5.6.	Movimentação e locomoção das Miniparedes	85
3.6.	Prismas	87
3.7.	Ensaio.....	88
3.7.1.	Ensaio a compressão em Paredes	88
3.7.2.	Ensaio a compressão em Prismas.....	89
3.8.	Instrumentação.....	89
3.8.1.	Instrumentação das Miniparedes.....	90
3.8.2.	Instrumentação dos Prismas	92
CAPÍTULO IV – RESULTADOS	94	
4.1.	Blocos.....	94
4.1.1.	Análise Dimensional	94
4.1.2.	Propriedades físicas dos blocos	95
4.1.3.	Resistência à compressão dos blocos de concreto.....	95
4.2.	Argamassa de assentamento	96
4.2.1.	Caracterização dos materiais	97
4.3.	Graute	101
4.4.	Prismas	104
4.4.1.	Prismas não grauteados.....	105
4.4.2.	Prismas grauteados com concreto convencional	107
4.4.3.	Prismas grauteados com concreto leve	109
4.4.4.	Comparação dos Modelos de Prismas	111

4.5. Miniparedes	114
4.5.1. Miniparedes sem viga.....	115
4.5.2. Miniparedes com viga grauteada com concreto convencional	119
4.5.3. Miniparedes com viga grauteada com concreto leve	124
4.5.4. Comparação dos modelos de Miniparedes.....	129
CAPÍTULO VI – CONSIDERAÇÕES FINAIS	135
5.1. Conclusões	135
5.2. Recomendações para trabalhos futuros	137
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	139

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquemática do bloco de concreto vazado. Fonte: Próprio Autor	27
Figura 2 - Tipos e dimensões dos blocos de concreto vazados da família 14. Fonte: Manual da alvenaria estrutural, 2016	28
Figura 3 - Esquema de argamassamento dos blocos (a: parcial; b: total). Fonte: (PORTELLA, 2015).	32
Figura 4 - Classificação dos concretos leves quanto à sua massa específica aproximada.....	41
Figura 5 - Tipos de concreto leve a) Concreto Celular b) Concreto sem finos ou permeável.....	42
Figura 6 - Classificação dos agregados leves em função da sua origem (SILVA 2007)	46
Figura 7 - Prisma de duas fiadas.....	48
Figura 8 - Tensões iniciais Prisma	49
Figura 9 - Tensões atuantes no bloco e na argamassa – Fonte: MOHAMAD (2007) (adaptado).....	49
Figura 10 - Mecanismos de ruptura: (a) Fissuras nas juntas; (b) Escorregamento; (c) Fissuração das unidades; (d) Fissura diagonal; (e) Fendilhamento (Cheema	50
Figura 11 - Modelo de miniparede, dimensões e modo de confinamento. Fonte: Próprio autor.....	51
Figura 12 - Fluxograma do programa experimental	61
Figura 13 - Bloco de concreto com furos do tipo inteiro. Fonte: Próprio autor	62
Figura 14 - Meio bloco de concreto. Fonte: Próprio autor	62
Figura 15 - Bloco de concreto do tipo canaleta. Fonte: Próprio autor	63
Figura 16 - Aferição das dimensões do bloco. Fonte: Próprio autor.....	64
Figura 17 - Esquema dos blocos inteiros. Fonte: Próprio autor.....	65
Figura 18 - Esquema Meio bloco. Fonte: Próprio autor.....	65
Figura 19 - Esquema bloco canaleta. Fonte: Próprio autor	65
Figura 20 - Medição das dimensões menores com paquímetro manual. Fonte: Próprio autor.....	66
Figura 21 - Blocos capeados. Fonte: Próprio autor	68
Figura 22 - Prensa Manual Solotest®. Fonte: Próprio autor.....	68
Figura 23 - Bloco rompido. Fonte: Próprio autor	68
Figura 24 - Espalhamento na mesa vibratória. Fonte: Próprio autor	70
Figura 25 - Sistema de filtração forçada com um funil de Büchner	71
Figura 26 - Ensaio de Tração na flexão	73
Figura 27 - Ensaio de compressão axial em argamassa.....	74
Figura 28 - Ensaio de capilaridade.....	75
Figura 29 - Verificação da resistência a compressão, estudo do graute ideal	76
Figura 30 - Fluxograma do processo de dosagens e confecção do grauteamento. ..	77
Figura 32 - Incorporador de ar. Fonte: Próprio autor.....	79
Figura 33 - Esquema das Miniparedes.....	80
Figura 34 - Construção das Paredes. Fonte: Próprio autor.....	80

Figura 35 -Modelo Miniparede sem viga, dimensões em milímetros. Fonte: Próprio autor	81
Figura 36 - 1ª, 3ª e 5ª fiadas das miniparedes sem viga. Fonte: Próprio autor	81
Figura 37 - 2ª, 4ª e 5ª fiadas das miniparedes sem viga. Fonte: Próprio autor	81
Figura 38 - Modelo Miniparede sem viga, dimensões em milímetros. Fonte: Próprio autor	82
Figura 39 - Viga de alvenaria estrutural construídas com blocos do tipo canaleta. Fonte: Próprio autor	82
Figura 40 – Miniparede com viga, dimensões em mm. Fonte: Próprio autor	83
Figura 41 - Fechamento lateral das paredes para concretagem. Fonte: Próprio autor	83
Figura 42 - Levantamento da parede. Fonte: Próprio autor	84
Figura 43 - Parede com viga. Fonte: Próprio autor	84
Figura 44 - preenchimento das vigas. Fonte: Próprio autor	85
Figura 45 – Capeamento das paredes. Fonte: Próprio autor	85
Figura 46 – Base/suporte. Fonte: Próprio autor	86
Figura 47 - Suporte para Miniparedes. Fonte: Próprio autor	86
Figura 48 - Içamento das paredes. Fonte: Próprio autor	87
Figura 49 – Esquema prisma de duas fiadas. Fonte: Próprio autor	87
Figura 50 – Prismas. Fonte: Próprio autor	87
Figura 51 - Modelo do sistema hidráulico para ensaio a compressão. Fonte: Próprio autor	88
Figura 52 - Ensaio em Miniparedes. Fonte: Próprio autor	89
Figura 53 - Ensaio em Prismas. Fonte: Próprio autor	89
Figura 54 - Aquisição de dados. Fonte: Próprio autor	90
Figura 55 - Instrumentação Miniparedes, vistas frontal e lateral direita. Fonte: Próprio autor	91
Figura 56 - Instrumentação Miniparedes, vistas posterior e lateral esquerda. Fonte: Próprio autor.....	91
Figura 57 – Instrumentação. Fonte: Próprio autor	91
Figura 58 - Instrumentação Prismas, vistas frontal e lateral direita. Fonte: Próprio autor	92
Figura 59 - Instrumentação Prismas, vistas posterior e lateral esquerda. Fonte: Próprio autor.....	92
Figura 60 - Instrumentação Prismas. Fonte: Próprio autor.....	93
Figura 61 - Ruptura dos Blocos de concreto. Fonte: Próprio autor	96
Figura 62 – Granulometria Areia proveniente do rio Paraíba do Sul	97
Figura 63 - Comparação da porcentagem retida da areia utilizada com a NBR 7211 (2009).....	97
Figura 68 - Resistência do graute e evolução conforme idade	103
Figura 69 - Ensaio de densidade real do concreto no estado seco.....	104
Figura 70 - Interface de ruptura do bloco canaleta e concreto de preenchimento...	104
Figura 71 - Deslocamento vertical dos prismas sem graute.....	105
Figura 72 - Deslocamento horizontal dos prismas sem graute.....	106
Figura 73 - Deslocamento lateral dos prismas sem graute	106

Figura 74 – Ruptura dos Prismas sem graute	107
Figura 75 - Deslocamento vertical dos prismas grauteados com concreto convencional	108
Figura 76 - Deslocamento horizontal dos prismas grauteados com concreto convencional	108
Figura 77 - Deslocamento lateral dos prismas grauteados com concreto convencional	108
Figura 78 - Ruptura dos prismas grauteados com concreto convencional	109
Figura 79 - Deslocamento Vertical dos prismas grauteados com concreto leve	110
Figura 80 - Deslocamento Horizontal dos prismas grauteados com concreto leve	110
Figura 81 - Deslocamento Lateral dos prismas grauteados com concreto leve	111
Figura 82 - Modelo de ruptura dos prismas com graute leve	111
Figura 83 - Comparação na direção vertical	112
Figura 84 - Comparação na direção Horizontal	113
Figura 85 - Comparação na direção lateral	113
Figura 86 - Deslocamento vertical das miniparedes sem viga	115
Figura 87 - Deslocamento horizontal das miniparedes sem viga	116
Figura 88 - Deslocamento lateral das miniparedes sem viga	116
Figura 89 - Deslocamento vertical em relação a deslocamento do atuador	117
Figura 90 - Preparação para aplicação de carga na miniparede	118
Figura 91 - Ruptura do modelo de miniparede sem viga	118
Figura 92 - Módulo de ruptura Miniparede sem viga	119
Figura 93 - Deslocamento vertical das miniparedes com viga convencional	120
Figura 94 - Deslocamento horizontal das miniparedes com viga convencional	120
Figura 95 - Deslocamento lateral das miniparedes com viga convencional	121
Figura 96 - Deslocamento vertical em relação a deslocamento do atuador	122
Figura 97 - Preparação para aplicação de carga nas miniparedes com viga convencional	122
Figura 98 - Módulo de ruptura das miniparedes com vigas convencionais	123
Figura 99 - Ruptura da Viga	123
Figura 100 - Modo de Ruptura	124
Figura 101 - Deslocamento vertical das miniparedes com viga leve	125
Figura 102 - Deslocamento Horizontal das miniparedes com viga leve	125
Figura 103 - Deslocamento lateral das miniparedes com viga leve	126
Figura 104 - Deslocamento vertical em relação a deslocamento do atuador	127
Figura 105 - Preparação para aplicação de carga nas miniparedes com viga leve	127
Figura 106 - Módulo de ruptura das miniparedes com vigas convencionais	128
Figura 107 - Ruptura da Viga	128
Figura 108 - Modo de ruptura da parede com viga leve	129
Figura 109 - Comparação na direção vertical	131
Figura 110 - Comparação dos deslocamentos verticais dos atuadores	131
Figura 111 - Comparação na direção horizontal	132
Figura 112 - Comparação na direção Lateral	133

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensões nominais dos blocos de concreto (NBR 6136, 2016).	28
Tabela 2 - Dimensões padronizadas (NBR 6136, 2016)..	29
Tabela 3 - Espessura mínima das paredes dos blocos.....	29
Tabela 4 - Requisitos para resistência característica à compressão, absorção e retração.	30
Tabela 5 - Variação nas propriedades de uma argamassa com alteração de cal.....	31
Tabela 6 - Fator de eficiência em diversas pesquisas, Santos (2008).	37
Tabela 7 - Valores de referência de normas internacionais da massa específica de concretos leves. (Próprio autor)	40
Tabela 8 - Tipo e dimensões do bloco utilizado	65
Tabela 9 - Características das paredes dos blocos de acordo com a classe.....	66
Tabela 10 - Requisitos para fbk,est. - Valores mínimos. Fonte: NBR 6136 (2014) ...	67
Tabela 11 - Relação dos LVDT's e seu posicionamento nas Miniparedes. Fonte: Próprio autor.....	90
Tabela 12 - Relação dos LVDT's e seu posicionamento nos prismas. Fonte: Próprio autor	92
Tabela 13 - Dimensões médias do lote dos blocos de concreto empregados na pesquisa. Fonte: Próprio autor	94
Tabela 14 - Propriedades físicas dos blocos de concreto das fábricas do Norte Fluminense, em média. Fonte: Próprio autor	95
Tabela 15 - Resultados da resistência à compressão dos blocos de concreto. Fonte: Próprio autor.....	96
Tabela 16 - Tabela Areia proveniente do rio Paraíba do Sul.....	98
Tabela 17 - Resultados da análise físico-química da água.	98
Tabela 18 - Composição química da Cal Hidratada CH-III - GONÇALVES, 2011	99
Tabela 19 - Resultados de caracterização do cimento.....	99
Tabela 20 - Proporções em massa dos materiais constituintes da argamassa.....	100
Tabela 21 - Características da argamassa de assentamento.	100
Tabela 22 - Informações sobre os traços dos grautes em volume	102
Tabela 23 - Resultados médios da resistência dos prismas sem graute.....	105
Tabela 26 - Resultados médios da resistência dos prismas com graute convencional	107
Tabela 27 - Resultados médios da resistência dos prismas com graute leve, em MPa	109
Tabela 28 - Resistências Prismas	112
Tabela 29 - Resultados médios da resistência das miniparedes sem viga, em MPa	115
Tabela 30- Resultados médios da resistência das miniparedes com vigas convencionais, em MPa	119
Tabela 31- Resultados médios da resistência das miniparedes com vigas leves ...	124

Tabela 32 - Resultados da resistência à compressão das miniparedes.....	129
Tabela 33 - Deformabilidade dos tipos de parede.....	130

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS, SÍMBOLOS E UNIDADES

Letras romanas maiúsculas

CH	-	Cal hidratada;
CP	-	Cimento Portland;
CV	-	Coeficiente de variação;
D_{furo}	-	Diâmetro do furo;
E_{α}	-	Módulo de elasticidade da argamassa;
E_b	-	Módulo de elasticidade do bloco;
E_{PP}	-	Módulo de elasticidade da pequena parede;
L	-	Comprimento nominal;
M	-	Argamassamento misto;
P	-	Argamassamento parcial;
Sd	-	Desvio-padrão;
T	-	Argamassamento total;
W_b	-	Massa específica unitária do bloco.

Letras romanas minúsculas

a.C	-	Antes de Cristo;
d.C.	-	Depois de Cristo;
f'_m	-	Resistência à compressão da alvenaria;
f_a	-	Resistência à compressão da argamassa;
f_{ak}	-	Resistência característica à compressão da argamassa;
f_{amk}	-	Resistência média característica à compressão da argamassa;
f_b	-	Resistência à compressão individual do bloco;
f_{bk}	-	Resistência característica à compressão do bloco;
$f_{bk, est}$	-	Resistência característica à compressão do bloco estimada;
f_{bt}	-	Resistência à tração do bloco;
f_{ck}	-	Resistência característica à compressão do concreto/argamassa;
f_m	-	Resistência à compressão da alvenaria;
f_p	-	Resistência à compressão de prismas;
f_{ppk}	-	Resistência característica à compressão da pequena parede;
f_{pm}	-	Resistência característica à compressão dos prismas;
f_{par}	-	Resistência da parede;
k_1	-	Coeficiente que considera a não uniformidade de distribuição de tensões laterais.

Letras gregas

ε_{PH}	-	Deformação horizontal no ponto P;
ε_{PL}	-	Deformação lateral no ponto P;

- ε_{PV} - Deformação vertical no ponto P;
- ν_H - Coeficiente de Poisson na direção horizontal;
- ν_L - Coeficiente de Poisson na direção lateral;
- η - Eficiência;
- σ - Tensão;
- σ_P - Tensão no ponto P;
- σ_y - Resistência à compressão do bloco.

Siglas

- ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland;
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas;
- ACI - *American Concrete Institute*;
- ANICER - Associação Nacional da Indústria Cerâmica;
- ASTM - *American Society for Testing and Materials*;
- BSI - *British Standard Institute*;
- CEI - Centro de Estatística e Informações;
- FIBRA - Federação das Indústrias do Distrito Federal;
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
- IPT - Instituto de Pesquisa Tecnológica;
- LECIV - Laboratório de Engenharia Civil;
- NBR - Norma Brasileira Regulamentadora;
- NM - *Norma Mercosur*;
- ONU - Organização das Nações Unidas;
- PIB - Produto Interno Bruto;
- UENF - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro;
- USP - Universidade de São Paulo.

Unidades

- °C - Graus Celsius;
- cm - Centímetro;
- g - Grama;
- h - Hora;
- k - Quilo;
- M - Mega;
- m - Metro;
- min - Minuto;
- mm - Milímetro;
- N - Newton;
- Pa - Pascal;
- s - Segundo;
- Ton - Tonelada;

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

Mesmo o país enfrentando, nesses últimos anos, uma considerável crise em praticamente todos os setores da economia e levando em consideração que a construção civil teve sua 16ª queda consecutiva já nos primeiros meses do ano de 2018, ocasionando uma diminuição no PIB de 2,2% apenas do ano de 2017 para o de 2018, ainda há um significativo crescimento na demanda do mercado imobiliário no Brasil, que se dá pela transição do investimento em obras de infraestruturas públicas para construções de edifícios e médios condomínios e serviços mais especializados. Segundo o IBGE (2018), em sua cartilha de Pesquisa Anual da Indústria da Construção (PAIC), a crise do setor da construção civil tem se estendido desde o segundo trimestre de 2013 até o segundo semestre do ano de 2017 com grande força. Tal evento foi somado ao enfraquecimento do mercado com a crise econômica e escândalos das operações de corrupção do governo. Com isso, o PIB da construção civil acumulou uma queda de 14,3%, enquanto o PIB total do país diminuiu 5,5% no mesmo período, demonstrando assim um maior impacto no setor da engenharia civil.

Diante da situação do país e, em particular, no ramo da construção civil, é notória a procura por novas tecnologias e métodos construtivos que possibilitem uma baixa considerável no preço final de uma obra e incentivem um novo alavancamento desse setor. Com isso são empregados diferentes sistemas construtivos e busca-se materiais de preço ponderável, fácil aplicabilidade e mão de obra eficaz.

O emprego da Alvenaria Estrutural é de grande relevância em construções de pequeno e médio porte, visto seu menor gasto com formas e cimbramentos, maior rapidez e organização, o que proporciona, por fim, um menor custo. Esse sistema construtivo vem sendo muito utilizado em obras de viés governamental em programas habitacionais e em condomínios de baixo e médio padrão pelas vantagens já destacadas anteriormente.

Dentre os diversos sistemas construtivos empregados na construção civil a alvenaria é considerada uma das principais, mais utilizadas e mais antigas formas de

construção. Desde a Antiguidade é observada a utilização dessas estruturas com funcionalidade autoportante e de vedação como estruturação de construções.

Por determinado tempo sua utilização foi reduzida em função do surgimento das estruturas metálicas de aço e de concreto armado e em virtude de suas limitações, como comportamento à tração e limitações arquitetônicas. A concepção desses elementos era baseada no conhecimento empírico e intuitivo, fabricados de forma artesanal com grandes dimensões e pouca tecnologia. Habitações, templos e catedrais são os tipos de construções mais observados nesse período. O Coliseu, situado em Roma, a grande muralha, na China, e as pirâmides de Gizé, no Egito, são exemplos de construções em alvenaria que transcorreram vários séculos.

Posteriormente, a utilização desse tipo de sistema construtivo teve maior progresso devido ao processo de evolução das alvenarias, que foram deixando de ser pesadas, espessas e rígidas como na antiguidade, vindo a ser mais delgadas, com processos de produção tecnológicos e industrializados (OLIVEIRA E HANAI, 1998).

Ainda hoje, a Alvenaria é o tipo construtivo mais utilizado no mundo, mesmo que outros sistemas como Dry-Wall, Steel-Frame, paredes de concreto e construções com Contêiner tenham avançado no mercado construtivo atualmente. A alvenaria estrutural, por exemplo, é um sistema que utiliza paredes construídas com blocos, sendo eles de cerâmica ou de concreto, como autoportantes, estruturais e não apenas como elementos de vedação. É feita por meio da superposição dos blocos unidos com uma camada fina de argamassa para junção desse componente, sendo assim, um método consideravelmente eficiente por sua rapidez, já que não apresenta vigas ou pilares.

Entretanto, as novas aplicações na alvenaria estrutural ainda não imprimem significativa abrangência no mercado, visto que seu desenvolvimento, tanto de normas, modelos matemáticos e análise do comportamento das unidades, não acompanharam o ritmo de materiais como concreto e aço, em que sua aplicação, estudo e usabilidade são maiores. Isso se dá por motivo da alvenaria estrutural possuir distintos materiais com diferentes comportamentos incluindo seu grande efeito escala que torna o estudo, nesse campo, muito oneroso. Outro obstáculo importante ao desenvolvimento da alvenaria estrutural é a formação profissional

tanto na área teórica quanto na área prática, já na formação dos profissionais atuantes na área ainda é muito difícil a oferta de conhecimentos específicos neste sentido. O grande desafio é introduzir o conhecimento acumulado em pesquisas e estudos de caso para o campo prático.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivos Gerais

O objetivo geral deste trabalho consistiu em analisar as alterações no comportamento mecânico de miniparedes de alvenaria estrutural construídas com blocos de concreto vazados com vigas grauteadas com concreto leve e com concreto convencional.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Estudar um traço para grauteamento das vigas de alvenaria estrutural tanto para concreto leve quanto convencional;
- Analisar os diferentes tipos de graute de preenchimento das vigas de alvenaria estrutural para compará-los;
- Comparar as resistências das miniparedes com viga de alvenaria estrutural grauteadas com concreto leve e convencional submetidas à ensaios de compressão;
- Comparar as resistências dos prismas grauteados com os diferentes concretos propostos e prismas não grauteados;
- Analisar o tipo de ruptura e resistência máxima das vigas e paredes de alvenaria estrutural;
- Evidenciar, por fim, a possibilidade de utilização dos concretos leves e compará-los com o utilizado convencionalmente no grauteamento desses elementos.
- Caracterizar a argamassa de assentamento utilizada na confecção das miniparedes.

1.3 Justificativa

Mesmo diante de todas as inovações observadas no segmento da construção civil na última década, no que se diz a respeito aos métodos construtivos, materiais e evolução tecnológica, ainda assim o Brasil não obteve absoluto desenvolvimento em todos esses seguimentos. Com essa ocorrência as construtoras acabam optando por mecanismos mais demorados e com maior custo. A alvenaria estrutural é uma das áreas da engenharia civil que tem apresentado crescimento na execução de edifícios e condomínios de médio e grande porte.

Esse alavancamento desse sistema construtivo está diretamente ligado à economia, que pode chegar a 30% do valor da estrutura para edifícios em alvenaria não armada de até oito pavimentos em relação a outros sistemas estruturais, segundo Peleteiro (2002). Com um custo menor ao consumidor há um beneficiamento de famílias de menor poder aquisitivo ao adquirir um imóvel.

Mesmo com o desenvolvimento e utilização da alvenaria estrutural sendo crescente nos últimos anos, ainda há uma maior predominância na execução de obras no modelo convencional. Para suprir as insuficiências, como a baixa da produção nos canteiros de obras causadas pela crise e investimentos nos estudos neste ramo, no mercado imobiliário é interessante a aplicação dos conhecimentos científicos ligados intrinsecamente à construção civil na prática. Para alcançar os objetivos de menores preços, maior rapidez na execução da obra, segurança e menos desperdício de matérias-primas, a utilização da alvenaria estrutural encaixa-se perfeitamente.

Unido a esse método construtivo foi utilizado para grauteamento das vigas de alvenaria estrutural o concreto leve e convencional, sendo que o leve possibilita uma redução da massa específica e conseqüentemente o peso dos elementos. Isso reduz os esforços de sobrecargas na estrutura e na infraestrutura das edificações, além de oferecer bom isolamento acústico e térmico, o que ocasiona, no final, um menor custo e maior habitabilidade e, por fim, melhor trabalhabilidade e manuseio, já que se trata de um material que pode chegar a ser cerca de 5 vezes mais leve que o concreto convencional. Segundo Catóia (2012), que utilizou isopor como substituição do agregado graúdo, além das vantagens já citadas, a utilização do concreto leve possibilita economia com fôrmas e cimbramentos, pela redução das solicitações,

bem como a diminuição dos custos com transporte e montagem de construções pré-fabricadas, pela redução no peso dos materiais manuseados e aumento da produtividade. Possibilita também, fugindo das questões técnicas e econômicas citadas acima, maior harmonia com a sustentabilidade, já que há grande possibilidade de utilização de materiais de descarte e reutilizáveis.

Além dos avanços citados anteriormente que a pesquisa pode proporcionar, observa-se a grande necessidade de estudos para que auxiliem no embasamento e reformulação das normas técnicas propostas, tendo a contribuição dessa análise na alvenaria estrutural pelo estudo do comportamento de componentes e elementos de alvenaria.

1.4 Estrutura da Dissertação

Primeiramente, é apresentado o capítulo de introdução com considerações iniciais referentes ao tema central da pesquisa, objetivos, sendo eles divididos em geral e específicos, seguindo de justificativa, mostrando a relevância e o impulsionamento da pesquisa, metodologia detalhada da execução dos elementos e dos ensaios e análises realizadas, conclusões e considerações finais e, por fim, referências bibliográficas.

No segundo capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica dos assuntos intrínsecos ao tema os quais conferem maior relevância ao trabalho e uma síntese das pesquisas mais recentes a fim de dar maior embasamento teórico ao estudo. Esta seção é subdividida nas linhas de pesquisas e temas dos seguimentos estudados no decorrer da organização do presente trabalho.

Em seguida é exposta a metodologia empregada para execução das miniparedes e prismas bem como os traços dos distintos concretos utilizados no grauteamento. Serão apresentadas as normas utilizadas, e expostos ensaios e equipamentos empregados em todo procedimento.

Posteriormente, em mais um capítulo, apresenta-se além dos resultados obtidos no decorrer da pesquisa, uma análise detalhada. A carga última ou carga máxima suportada pelos modelos de paredes, o respectivo deslocamento e gráficos dos comportamentos dos elementos produzidos com estes dados são os principais objetos de análise e comparação.

Finalmente no capítulo 5 apresenta-se uma síntese do conteúdo tratado e as considerações finais com toda sua análise, desde da etapa preliminar, do estudo e caracterização dos componentes, até a parte final de ruptura das paredes e prismas. Ainda nesse capítulo é feita uma prospecção de futuras pesquisas para complemento das pesquisas desse mesmo seguimento.

Na sequência, apresentam-se as referências bibliográficas utilizadas no decorrer do trabalho bem como os anexos necessários.

CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo serão apresentados, em forma sintetizada, os temas e tópicos mais relevantes que deram impulso a pesquisa baseados em estudos presentes na literatura relacionados às áreas de alvenaria estrutural, grauteamento e concreto leve. O enfoque nessa revisão será dado em função de suas principais características, utilizações e aplicações no campo da construção civil.

Antes de ir adentro aos temas mais importantes da pesquisa, apresentando pesquisas relacionadas e importância de cada um deles faz-se necessário descrever alguns conceitos de grande relevância.

- Alvenaria: conjunto complexo, monolítico, que utiliza, como componentes básicos, tijolos ou blocos. São unidos entre si por juntas de argamassa, de modo a formar um conjunto rígido e coeso.
- Alvenaria Estrutural: toda a estrutura em alvenaria, dimensionada para suportar cargas além do peso próprio.
- Argamassa: material composto por areia, água e um aglomerante, como cimento e cal, possuindo características plásticas, de aderência e resistência.
- Junta de argamassa: ligação dos blocos ou tijolos.
- Graute: componente utilizado para preenchimento de espaços vazios de blocos com a finalidade de solidarizar armaduras à alvenaria ou aumentar sua capacidade resistente.

2.1. Alvenaria

Na história da construção civil, observa-se sua grande associação com história da arquitetura. Observa-se uma evolução progressiva nos métodos empregados desde a Antiguidade nas primeiras construções até as mais atuais. Com isso eram utilizadas matérias-primas pouco desenvolvidas, sendo a maioria de ordem natural, como pedras e tijolos de barro confeccionados manualmente, apresentando, assim, baixas qualidade e resistência.

MOHAMAD (2015) explica que obras grandiosas, que marcaram a humanidade pelos aspectos estrutural e arquitetônico, eram construídas com unidades de blocos cerâmicos ou de pedra intertravados, contendo ou não material ligante. A alvenaria é um dos elementos da construção civil mais utilizado tradicionalmente desde o início

da história da construção das civilizações. Segundo Porto (2010), a alvenaria estrutural teve crescente avanço nos últimos anos o que a consolidou como significativo processo construtivo no mercado. Ainda hoje alguns exemplos da utilização da alvenaria dos tempos remotos se encontram íntegros. As pirâmides do Egito e a grande muralha da China são exemplos de construções em alvenaria que venceram o tempo.

Mesmo com o desenvolvimento de novas técnicas e métodos de construção na engenharia civil, como sistema de paredes de concreto, *steel frame* e *dry-wall*, por exemplo, a alvenaria ainda é a mais utilizada no mundo por se tratar de uma composição básica obtida pela união de tijolos ou blocos por argamassa constituindo, por fim, uma estrutura monolítica com resistência e estabilidade.

2.1.1. Definição

Alvenaria é definida como um conjunto de peças justapostas em sua interface unidas por argamassa apropriada, formando um elemento vertical coeso e estável (TAUIL, NESSE 2010). Segundo Bussab e Cury (1990), a definição mais apropriada de alvenaria se dá por maciços constituídos de pedras naturais ou artificiais, ligadas entre si de modo estável pela combinação das juntas e interposição de argamassa ou somente por um desses meios. Esse método é utilizado, normalmente, em construções projetadas para resistirem a esforços basicamente de compressão. Sua formação é constituída por blocos industrializados de diferenciados materiais e ligados entre si pela interposição de argamassa, sendo elas no plano horizontal ou vertical.

2.1.2. Histórico

A utilização da alvenaria estrutural teve origem na pré-história e é considerada o meio construtivo mais antigo utilizado pela humanidade. Inicialmente as construções em alvenaria apresentavam grandes dimensões devido à utilização de pedras e tijolos queimados no sol, os quais eram confeccionados artesanalmente e assentados com barro. Mais tarde, foram desenvolvidas tecnologias que utilizavam argamassas de cal, pozolana e, finalmente, o cimento Portland.

Em território brasileiro, o uso da alvenaria estrutural iniciou-se no período colonial, tendo seus maiores avanços já no período imperial, quando deixou de lado a utilização do emprego de pedras, tijolo de barro cru e taipa de pilão para utilizar tijolo de barro cozido, possibilitando construções com maiores vãos e resistência às ações das solicitações na estrutura (MOHAMAD, 2015).

Em meados da década de 60, foi introduzida no Brasil a alvenaria estrutural com blocos vazados de concreto, muito utilizados até os dias atuais. Eram utilizados, mais usualmente, em construções de até quatro pavimentos, sendo seus projetos baseados em normas americanas e europeias. Segundo Parsekian (2014), a alvenaria começou a ser utilizada em maior escala com importação da empresa *Besser Machine* proveniente dos EUA para trabalhar na fabricação de blocos vazados de concreto de melhor qualidade.

Desde então, esse segmento da construção civil vem sofrendo grandes transformações no que diz respeito ao controle, qualidade e desenvolvimento em pesquisas. Hoje, os estados de São Paulo e Minas Gerais são os que mais utilizam desse método construtivo, com edificações que chegam a atingir um contingente de andares semelhante aos prédios convencionalmente construídos em concreto armado (PARSEKIAN, 2012).

2.1.3. Componentes da Alvenaria

São chamados de componentes da alvenaria os membros básicos que compõem os elementos que irão integrar a estrutura (RAMALHO E CORRÊA, 2003). Os componentes principais da alvenaria são os blocos, a argamassa, armadura e graute. Unidos, esses membros têm a capacidade de constituir paredes e elementos estruturais que se comportam como pilares, cintas, vergas e contravergas, tendo como resultado final uma edificação no sistema construtivo de alvenaria estrutural.

2.1.3.1. Unidade

Também chamado de bloco ou tijolo, a unidade é o principal componente da alvenaria que, juntamente com o devido argamassamento que une um bloco a outro, caracterizam um elemento autoportante. Segundo Medeiros (1993), as unidades que possuem dimensões máximas de 120 x 55 x 250 mm (largura x altura x

comprimento) são classificadas como tijolos. Já as que apresentam dimensões maiores são tidas como blocos. Os blocos mais utilizados no Brasil são feitos de concreto, material cerâmico e sílico-calcáreas e apresentam uma forma retangular, paralelepípedica, sendo eles maciços ou vazados. Os blocos diferenciam-se dos tijolos, basicamente, por terem maiores dimensões que as máximas. Na Figura 1 é demonstrado o esquema dos blocos inteiros de concreto.

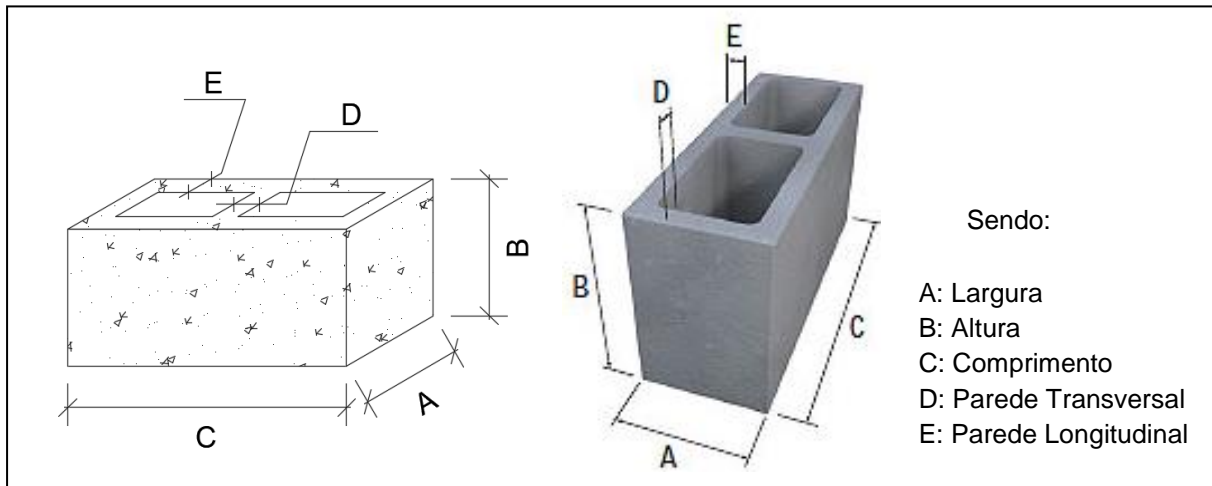


Figura 1 – Esquemática do bloco de concreto vazado. Fonte: Próprio Autor

Os blocos são subdivididos em três grupos maiores, sendo eles separados por classe de acordo com sua função, uso e resistência característica. Sendo assim, de acordo com a NBR 6136 (2016), são dispostos blocos de classe A, B e C.

Blocos de Classe A, por exemplo, têm função estrutural e são utilizados em elementos de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo. Já os de Classe B, mesmo detendo também a função estrutural, são para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo. Diferentemente, os de Classe C podem ser com e sem função estrutural, para o uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo.

– Bloco estrutural vazado de concreto

Bloco de concreto é a unidade de alvenaria constituída pela mistura homogênea com proporções adequadas de cimento Portland, agregado miúdo e graúdo, conformado por meio de vibração e prensagem, Medeiros (1993). A especificação

dos blocos vazados de concreto é feita de acordo com a NBR 6136 (2016) e estão exemplificados na Figura 2 e nas Tabela 1, Tabela 2 e Tabela 3.



Figura 2 - Tipos e dimensões dos blocos de concreto vazados da família 14. Fonte: Manual da alvenaria estrutural, 2016

Tabela 1 - Dimensões nominais dos blocos de concreto (NBR 6136, 2016).

Familia		20 x 40	15 x 40	15 x 30	12,5 x 40	12,5 x 25	12,5 x 37,5	10 x 40	10 x 30	7,5 x 40	
Medida Nominal (mm)	Largura	190	140		115			90		65	
	Altura	190	190	190	190	190	190	190	190	190	
	Comprimento	Inteiro	390	390	290	390	240	365	390	290	390
		Meio	190	190	140	190	115	-	190	140	190
		2/3	-	-	-	-	-	240	-	190	-
		1/3	-	-	-	-	-	115	-	90	-
		Amarração "L"	-	340	-	-	-	-	-	-	-
		Amarração "T"	-	540	440	-	365	-	-	290	-
		Compensador A	90	90	-	90	-	-	90	-	90
		Compensador B	40	40	-	40	-	-	40	-	40
		Canaleta inteira	390	390	290	390	240	365	390	290	-
		Meia canaleta	190	190	140	190	115	-	190	140	-
<p>Nota 1 As tolerâncias permitidas nas dimensões dos blocos indicados nesta Tabela são de $\pm 2,0$ mm para a largura e $\pm 3,0$ mm para a altura e para o comprimento.</p> <p>Nota 2 Os componentes das famílias de blocos de concreto têm sua modulação determinada de acordo com a ABNT NBR 15873.</p> <p>Nota 3 As dimensões da canaleta J devem ser definidas mediante acordo entre fornecedor e comprador, em função do projeto.</p>											

Tabela 2 - Dimensões padronizadas (NBR 6136, 2016)..

Dimensões nominais (cm)	Designação	Dimensões padronizadas (mm)		
		Largura	Altura	Comprimento
20x20x40	M-20	190	190	390
20x20x20		190	190	190
15x20x40	M-15	140	190	390
15x20x20		140	190	190

Tabela 3 - Espessura mínima das paredes dos blocos.

Designação	Paredes Longitudinais (A) (mm)	Paredes transversais	
		Paredes (A) (mm)	Espessura Equivalente (B) (mm/m)
M-15	25	25	188
M-20	32	25	188

Os Blocos de concreto devem estar em conformidade, segundo a norma regulamentadora, em suas características e propriedades, tanto físicas quanto mecânicas, para que atendam as solicitações esperadas.

Em se tratando das propriedades físicas, os blocos devem atender aos requisitos de absorção de água, teor de umidade e retração por secagem, que são as principais propriedades analisadas no bloco.

O Parâmetro de absorção de água de um bloco de concreto, dado pela NBR 6136 (2016), limita a quantidade de água que pode ser absorvida pelos blocos, sendo assim grande indicador de permeabilidade e durabilidade. O índice em questão é limitado de acordo com o tipo de agregado e classe do bloco.

A propriedade de umidade é uma característica intimamente ligada à durabilidade e resistência do bloco. Quando há alto índice de umidade em contato com o bloco há possibilidade de o concreto se expandir e, tendo pouca umidade, acontece o contrário, a retração, formando trincas e fissuras nos elementos estruturais

Na NBR 12118 (2016), há uma restrição quanto ao teor de umidade para blocos de acordo com suas resistências. Com resistência característica à

compressão igual ou superior a 8 MPa há uma restrição de (40 ± 20) %, e para inferiores a 8 Mpa de (25 ± 15) .

Já a retração por secagem, especificada na NBR 12118 (2014), é dada pela diminuição do volume do bloco quando a água do seu interior evapora, podendo ocasionar a mudança de comprimento do mesmo do estado úmido para seco e seu valor depende do método de ensaio utilizado, que segundo Mata (2006), designa-se retração linear.

Na Tabela 4, seguem as características e os requisitos pertinentes para resistência característica à compressão, absorção e retração.

Tabela 4 - Requisitos para resistência característica à compressão, absorção e retração.

Classificação	Classe	Resistência característica à compressão axial ^a (MPa)	Absorção (%)				Retração ^d (%)
			Agregado normal ^b		Agregado leve ^c		
			Individual	Média	Individual	Média	
Com função estrutural	A	$f_{bk} \geq 8,0$	$\leq 9,0$	$\leq 8,0$	$\leq 16,0$	$\leq 13,0$	$\leq 0,065$
	B	$4,0 \leq f_{bk} < 8,0$	$\leq 10,0$	$\leq 9,0$			
Com ou sem função estrutural	C	$f_{bk} \geq 3,0$	$\leq 11,0$	$\leq 10,0$			

^a Resistência característica à compressão axial obtida aos 28 dias.
^b Blocos fabricados com agregado normal.
^c Blocos fabricados com agregado leve.
^d Ensaio facultativo.

Dentre as propriedades mecânicas observadas nos blocos de concreto vazados a de maior relevância, no que se diz a respeito à alvenaria estrutural, é a resistência a compressão que pode ser obtida realizando os procedimentos descritos na NBR 12118 (2014). A resistência à compressão dos blocos está diretamente ligada à resistência e durabilidade final das paredes. Seus materiais e matérias-primas constituintes são o que proporcionam essa característica aos blocos.

2.1.3.2. Argamassa

Argamassas são materiais basicamente compostos por areia, água e um material cimentante ou aglomerante, na maioria das vezes o cimento Portland por proporcionar maior resistência final, podendo também ter como material constituinte

cal ou a mistura de ambos, cimento e cal, sendo assim mista. Segundo Pasquali (2007), é um dos elementos básicos e mais importantes da alvenaria estrutural.

A argamassa mais utilizada, por sua vez, é a mista, contendo cal hidratada e cimento Portland. A junção desses dois materiais tem grande desempenho visto à aderência que o cimento confere entre a argamassa e o bloco, maior resistência mecânica final e maior estanqueidade e a cal, por sua vez, tem maior capacidade de retenção de água (RABELO, 2004).

De acordo com Sabbatini (1985), a cal tem grande tendência de provocar variações nas características das argamassas. Desde o decréscimo da resistência à compressão a aumento de sua plasticidade. Na Tabela 5, seguem alterações ocasionadas pelo uso desse material aglomerante.

Tabela 5 - Variação nas propriedades de uma argamassa com alteração de cal

PROPRIEDADES	RESULTADO DO AUMENTO NA PROPORÇÃO DE CAL
Resistência à compressão	Decresce ↓
Resistência à tração	Decresce ↓
Resistência Inicial	Decresce ↓
Resistência à altas temperaturas	Decresce ↓
Durabilidade	Decresce ↓
Retração na secagem	Aumento ↑
Plasticidade	Aumento ↑
Resiliência	Aumento ↑
Trabalhabilidade	Aumento ↑
Módulo de deformação	Decresce ↓

Devido às alterações que a cal possibilita à argamassa, podendo elas serem vantajosas ou não, a dosagem deve ser realizada de maneira conveniente para que se obtenha a união de forma monolítica dos blocos, absorção das deformações impostas à alvenaria, permitindo pequenos deslocamentos, impermeabilização das juntas, trabalhabilidade e retenção de água, possibilitando coerência entre a junta de argamassa e o bloco (RABELO, 2004).

As juntas de argamassa, como mostra a Figura 3, são cordões ou lâminas já endurecidas localizadas entre os blocos, intercalando as unidades, com a finalidade de uni-los e formar uma estrutura monolítica, tendo por fim as todas propriedades que devem ser observadas numa parede de alvenaria. As argamassas utilizadas

devem seguir de acordo com a NBR 13279, de Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos, em seus métodos de confecção e caracterização de materiais na exigência das características de trabalhabilidade, retenção de água, aderência e resistência à compressão. Também devem passar pelos ensaios característicos de resistência e durabilidade postos no Anexo D da NBR 15961-2 (2011) com especificações para moldagem e ensaios de corpos de prova cúbicos.

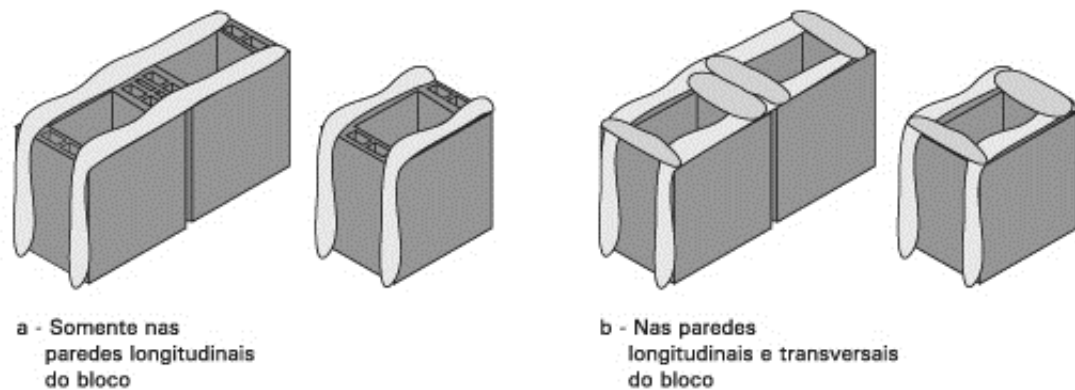


Figura 3 - Esquema de argamassamento dos blocos (a: parcial; b: total). Fonte: (PORTELLA, 2015).

2.1.3.3. Armação

A utilização das barras de aço na alvenaria estrutural se deve ao modelo armado, que utiliza das ferragens no sentido vertical, comportando-se como pilares e na horizontal, desempenhando o papel muito semelhante das vigas. As especificações do aço devem ser feitas de acordo com a NBR 7480 (2007), acompanhando cálculos estruturais das solicitações de projeto. Na falta de ensaios ou valores fornecidos pelo fabricante, o módulo de elasticidade do aço pode ser admitido igual a 210 GPa.

As funções principais das armaduras vão desde o travamento das alvenarias até o aumento da resistência à compressão das alvenarias. Quando houver esforços de tração, as armaduras fazem seu papel na resistência, já que os componentes de concreto resistem a esforços somente de compressão. Os aços utilizados em alvenaria estrutural armada devem ter as mesmas características daqueles usados no concreto armado convencional e devem ser totalmente envolvidos pelo graute de maneira a obter uma estrutura única, homogênea e monolítica.

2.1.3.4. Graute

Graute é definido como elemento de preenchimento das partes vazias dos blocos para aumento da resistência à compressão da alvenaria sem elevar a resistência característica do próprio bloco. O concreto é utilizado preencher os espaços entre-septos e ocasionar um aumento da capacidade portante do elemento. É utilizado, também, em reforços nas zonas com maior tendência a concentração de tensões. É composto de cimento, agregado miúdo, agregado graúdo, água, cal e adições que são destinadas a conferir outras propriedades ao concreto, como trabalhabilidade e retenção de água, por exemplo.

O graute, utilizado em estruturas de alvenaria estrutural, é moldado de acordo com NBR 5738 (2008). O concreto utilizado no grauteamento deve ser ensaiado com os procedimentos de moldagem e cura dos corpos de prova, de acordo com a NBR 5739 (2008) de concretos à compressão de corpos de prova cilíndricos.

Segundo Rabelo (2004), a utilização do graute permite um aumento na capacidade resistente a esforços de compressão das alvenarias. Trabalhando em conjunto com as armaduras, o graute possibilita, também, combater esforços de tração, além dos de compressão. Vale ressaltar que a resistência à compressão não deverá ser inferior à resistência à compressão do bloco referida à área líquida.

2.1.4. Funções da Alvenaria

A utilização da alvenaria pode ser dividida em dois segmentos: de vedação e a estrutural. Ambas têm papel muito consolidado e importante no campo da construção civil. A alvenaria de vedação é projetada para resistir praticamente apenas aos esforços proporcionados por seu peso próprio, tendo como função, vedar, estancar, fechar ou enclausurar o ambiente.

A Alvenaria estrutural, por sua vez, tem a função de estabelecer certo grau de resistência aos esforços externos e sobretudo transmitir estes esforços até as fundações. No presente trabalho trataremos de alvenaria estrutural do tipo não armada.

2.1.4.1. Alvenaria Estrutural

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo que utiliza blocos estruturais, sejam eles de concreto ou cerâmicos, para composição de paredes que resistam às cargas convencionalmente suportadas pelos pilares e vigas nos sistemas estruturais de concreto armado, estrutura de aço ou de madeira (ROMAN; MUTI; ARAÚJO, 1999). Segundo Kato (2002), o sistema construtivo em alvenaria estrutural utiliza paredes não apenas como elementos de vedação, se distinguindo, assim, das construções convencionais com superestrutura em concreto armado que apresentam vigas, pilares e cintas. Seus elementos são resistentes às cargas verticais das lajes, ocupação e peso próprio e das solicitações não permanentes como as cargas laterais resultantes da ação do vento sobre a edificação e de desvios de prumo uma vez que seu projeto é desenvolvido para que as paredes tenham capacidade portante. Sendo assim, as paredes estruturais devem apresentar as funções de resistir às cargas verticais e de vento, ter resistência a impactos e às cargas de ocupação, isolamento acústico e térmico dos ambientes e repartições e apresentar bom desempenho na ação ao fogo e na vedação de água da chuva e do ar.

De acordo com Mohamad (2009), a alvenaria estrutural é um sistema comumente empregado em países como o Brasil, que apresentam grande crescimento habitacional. Há grandes proveitos da utilização da alvenaria estrutural tanto em relação à economia, quanto na racionalização e execução. Conforme Roman (1990 e 1996) e Franco (1994), é evidenciada, como principal vantagem da alvenaria estrutural, a versatilidade do elemento que responde por diversas funções.

Quanto à economia, o professor João Carlos de Campos, da UNESP, destaca a redução no número das formas e cimbramentos, a necessidade de menor número de especialidades de mão de obra, atenuação da quantidade de armadura utilizada e diminuição de desperdícios. Kato (2002) também levanta a discussão referente à racionalização, onde observa uma redução de uma série de atividades, como de instalações elétricas e hidráulicas, diminuição na diversidade de materiais utilizados, maior facilidade de controle e eliminação de interferências. Já na execução da obra em que é evidenciada, a progressividade nos processos construtivos, limpeza, rapidez e segurança da obra.

Na Alvenaria estrutural é possível dividi-las em segmentos de acordo com a utilização das armaduras. Sem a utilização de barras de aço tem-se alvenaria estrutural não armada, seguida da parcialmente armada, da armada, que utiliza das ferragens para obtenção de maior resistência à compressão e rigidez, e, por fim, a protendida. Neste trabalho foi utilizado a alvenaria estrutural não armada.

2.1.5. Equações para determinação da resistência à compressão

No desenvolvimento de algumas pesquisas de distintos pesquisadores foram desenvolvidas equações embasadas em dados experimentais com o intuito de determinar a resistência à compressão da alvenaria através da resistência à compressão de seus respectivos componentes.

Khalaf, Hendry e Fairbrain (1994), por exemplo, recomendam a Equação 2.1 para a determinação da resistência da alvenaria na área bruta utilizando a resistência a compressão do bloco e da argamassa.

empírica:

$$f_m = 0,3 \cdot f_b + 0,2 \cdot f_a \quad \text{Equação 2.1}$$

Sendo:

f_m é a resistência à compressão da alvenaria na área bruta (MPa);

f_b é resistência à compressão do bloco na área bruta (MPa);

f_a é a resistência à compressão da argamassa (MPa).

Já Mohamad (1998), apresentou duas novas equações, apresentadas na Equação 2.2 e na Equação 2.3, baseadas em dados experimentais para alvenarias com blocos de concreto não grauteados tanto para compressão de prismas em função da resistência da argamassa e em função da resistência à tração do bloco.

$$f_p = f_a \cdot 0,5794 \cdot \left(\frac{E_a}{E_b}\right)^{-1,1093} \quad \text{Equação 2.2}$$

$$f_p = f_{br} \cdot \left[5,4491 \cdot \left(\frac{E_a}{E_b}\right)^2 + 3,6377 \cdot \left(\frac{E_a}{E_b}\right) + 10,219 \right] \quad \text{Equação 2.3}$$

em que:

E_a é o módulo de deformação da argamassa (MPa);

E_b é o módulo de deformação do bloco (MPa).

f_p é a compressão de prismas (MPa).

f_a é a resistência da argamassa (MPa).

f_{bt} é a resistência à tração do bloco (MPa).

Com a contribuição de Colville e Wolde-Tinsae (1991) obteve-se uma aproximação linear dos valores tabelados da ACI/ASCE/TMS (1995) de argamassas genéricas de múltiplo uso com boa capacidade de ligação e boa trabalhabilidade demonstrada na Equação 2.4.

$$f_m = 0,65 \cdot f_b \quad \text{Equação 2.4}$$

onde:

f_m é a resistência à compressão da alvenaria (MPa);

f_b é a resistência à compressão do bloco (MPa).

Com base no método de Hilsdorf, La Rovere e Soliz (1985) indicaram a Equação 2.5 para a determinação da resistência à compressão da alvenaria (f'_m):

$$f'_m = \frac{\sigma_y}{k_1} \quad \text{Equação 2.5}$$

Tendo:

σ_y é a resistência à compressão do bloco (MPa);

k_1 é um coeficiente que varia de 1,1 a 2,5 que considera a não uniformidade de distribuição de tensões laterais.

2.1.6. Eficiência

É um fator que representa a relação entre a resistência de bloco (f_{bk}) e resistência de componentes com prisma (f_{pk}) ou de pequenas paredes (f_{ppk}). As Equações 2.6 e 2.7 mostram as relações citadas anteriormente.

$$\eta_p = \frac{f_{pk}}{f_{bk}} \quad \text{Equação 2.6}$$

$$\eta_{pp} = \frac{f_{ppk}}{f_{bk}}$$

Equação 2.7

em que:

η_p : eficiência prisma/bloco;

η_{pp} : eficiência pequena parede/bloco;

A eficiência da parede/bloco ou prisma/bloco pode ser dada em função de diversos fatores como qualidade dos componentes, mão de obra, tipo de componentes.

No entanto, alguns autores, como Gomes (1983), determinaram a eficiência parede/bloco e a colocaram num intervalo de 0,16 a 0,39 sendo recomendando 0,30 como um valor satisfatório, segundo eles. Outros autores estudaram o mesmo parâmetro, exposto na Tabela 6 de Santos (2008) e concluíram que essa variância se dá em função do tipo de bloco, resistência da argamassa e tipo de argamassamento.

Tabela 6 - Fator de eficiência em diversas pesquisas, Santos (2008).

AUTORES	FATOR DE EFICIENCIA (%)
Monk (1967)	10 a 40
Mendes (1998)	35 a 55
Garcia (2000)	33
Arantes (2003)	56 a 59
Rizzatti (2003)	35 a 41
Sahlin	25 a 50
Prudencio	18 a 30

2.2. Concreto Leve

O concreto leve na engenharia civil já vem sendo utilizado em diversas pesquisas e trabalhos, desde as décadas passadas, como por Khouri (1975) até os dias atuais, assim como demonstra Assunção (2016). Entretanto tais estudos dão maior enfoque a sua composição e a novas propostas de materiais. A base desta pesquisa é a utilização desse tipo de concreto no grauteamento de elementos verticais e

horizontais da alvenaria estrutural, analisando-os e ressaltando as vantagens e desvantagens desses elementos, bem como seu comportamento estrutural.

Mesmo com os avanços na construção civil, no que diz respeito aos métodos construtivos e materiais empregados, não restam dúvidas de que o concreto é um dos elementos mais utilizados nas edificações, empregando, assim, como material aglomerante principal, o cimento Portland.

Produzido basicamente por calcário e argila, o cimento Portland é o aglomerante mais utilizado ainda nos dias atuais. Quando em contato com água há um processo interno de hidratação da mistura, formando uma pasta que, ao fim do tempo de pega, adquire resistência. Mehta e Monteiro (2008) intitulam o concreto como um material composto essencialmente de um meio contínuo aglomerante, dentro do qual estão mergulhados partículas ou fragmentos de agregados. Estima-se que são consumidas por ano cerca de 11 bilhões de toneladas desse material (PEDROSO, 2009). Sussekind (1980) relata que por apresentar grandes vantagens, como resistência a efeitos térmicos e ao intemperismo, resistência a desgastes mecânicos, adaptação, flexibilidade e facilidade de execução, economia e durabilidade, o concreto fica no topo do material mais utilizado, sendo menos utilizado apenas que a água.

Em contraponto as vantagens da utilização do concreto convencional, o mesmo apresenta algumas limitações que inviabilizam sua aplicação em alguns setores. Seu peso próprio elevado, baixa resistência à tração e baixa resistência ao ataque de agentes químicos, por exemplo, são fatores que influenciam diretamente na aplicabilidade do material. Segundo Grassi (2009), a massa específica do concreto é uma propriedade relevante, pois está relacionada diretamente com questões estruturais. De acordo com Silva (2007), uma das variáveis com maior relevância durante a concepção de um projeto estrutural é o seu peso próprio. Uma redução dessa característica resulta em grandes economias, visto a diminuição de armaduras e das seções transversais dos elementos estruturais, ocasionando economia nas fundações. Comparando sua densidade, seu peso e resistência com as mesmas características de outros materiais estruturais, observa-se a existência de outros mais vantajosos, analisando a resistência mecânica a esses parâmetros. Para

melhor desempenho do concreto, utilizam-se materiais com menor peso como agregados na pasta com a finalidade de baixar a massa específica do elemento e, em consequência disso, seu peso.

O concreto feito com agregados leves é chamado de concreto leve, tendo uma massa específica muito menor que o convencionalmente utilizado. Caracterizam-se pela reduzida massa específica que é dada pela utilização de agregados leves ou da incorporação de ar no sistema. Esse tipo de concreto pode ser cerca de 3 vezes mais leve, variando sua massa específica de 300 a 2000 kg/m³ de acordo com Maycá et. al. (2007). Segundo Metha e Monteiro (2006), o termo concreto leve é usado para concretos que apresentam massa específica menor que 1800 kg/m³. Já Leonhardt e Mönning (1978) definem concreto leve como sendo aquele que apresenta massa específica até 2000 kg/m³, o qual é o mais usual até os dias de hoje.

De acordo com Neville (2016), os agregados leves apresentam uma elevada porosidade como uma das suas principais características, o que resulta em um concreto final de baixa massa específica. O autor aborda ainda que os principais agregados leves destinados ao uso em concreto estrutural provêm de materiais naturais, como argila expandida, folhelhos e ardósia obtidos pelo aquecimento, em fornos rotativos, que expandem o material, criando um interstício poroso em sua estrutura.

Seu grande potencial de utilização se dá, principalmente, em estruturas em que o peso próprio influencia diretamente nas cargas, como grandes obras de concreto armado, pontes de grandes vãos e edifícios de múltiplos pavimentos. Suas principais vantagens de utilização são dadas pela redução do peso próprio das estruturas, utilização na tecnologia de pré-moldados, bom isolamento térmico e acústico, aumento da resistência ao fogo, redução na suscetibilidade a microfissuras induzidas, provenientes da temperatura e compatibilidade elástica entre pasta de cimento e agregado.

Dentre as muitas vantagens da utilização do concreto leve, esse material apresenta também desvantagens quanto a sua utilização, os quais se fazem importantes diante da concepção de diversos projetos. As principais desvantagens quanto ao uso do concreto leve são a diminuição da resistência para um mesmo teor

de cimento e relação água/cimento, redução no módulo de deformação para um mesmo nível de resistência, aumento da retração e fluência para um mesmo nível de resistência.

Uma das características mais importantes do concreto leve é sua massa específica. Além de classificar o concreto, ela determina sua aplicabilidade, usabilidade e, de certa maneira, sua resistência final. Há uma pequena diferença quando se trata dos valores permitidos em norma para o concreto leve, em que suas massas específicas variam entre 400 kg/m³ a 2000 kg/m³. Na Tabela 7 (ROSSIGNOLO 2009) estão listados, de acordo com as principais normas, as referências dos concretos leves de acordo com o peso específico determinado por cada uma.

Tabela 7 - Valores de referência de normas internacionais da massa específica de concretos leves.
(Próprio autor)

REFERÊNCIA	MASSA ESPECÍFICA (KG/M ³)
UNI 7548 -1	até 1850
ACI 213 R03 (2003)	1120 < γ < 1920
EUROCODE 2 (1999)	900 < γ < 2000
prEN 206 (2000)	800 < γ < 2000
CEB/FIP (1977)	até 2000
ABNT/ CEE 185	até 2000
ABNT/ CB-18	< 2000

A classificação dos concretos leves vai de acordo com sua massa específica, sendo relacionadas com sua resistência e aplicação. Em geral, quanto menor sua massa específica, por exemplo, o concreto tende a apresentar menor valor para resistência à compressão e maior índice de vazios e alta permeabilidade. Um concreto leve com maior resistência é considerado estrutural e é empregado em elementos de grandes obras da engenharia civil. Na Figura 4 são apresentadas as classificações dos concretos leves em relação a sua massa específica característica e seus materiais de fabricação, sendo o mais leve e menos resistente o confeccionado com Vermiculita, mineral proveniente do basalto que se expande em contato com altas temperaturas, e o mais resistente, aquele que é produzido utilizando argila expandida como agregado na pasta.

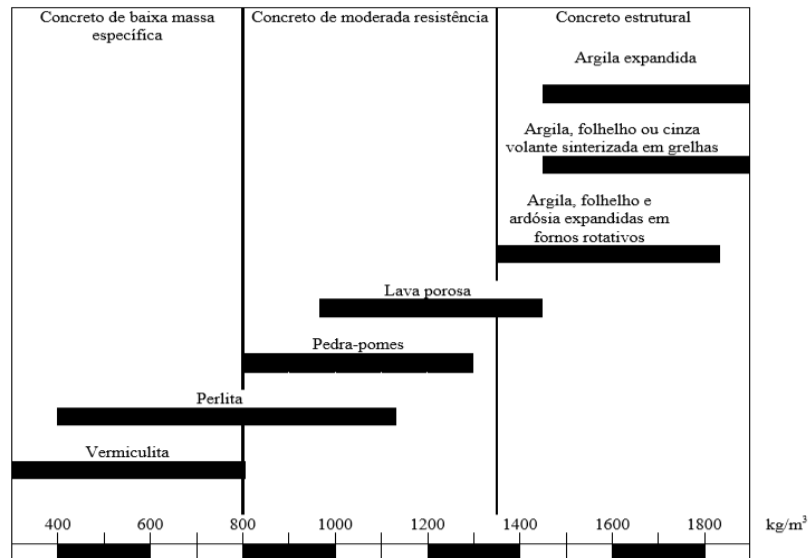


Figura 4 - Classificação dos concretos leves quanto à sua massa específica aproximada

- Concretos de baixa massa específica são concretos leves, pouco densos, utilizados para isolamento térmico. Devido à sua massa específica, não ultrapassam a 800 kg/m³, o que ocasiona coeficientes de condutividade térmica baixos e maiores índice de vazios. Seus valores da resistência à compressão, variando de 0,7 MPa a 7 MPa, não são usados para fins estruturais.
- Concreto de moderada resistência tem isolamento térmico médio, sendo mais utilizado para enchimento de elementos não armados. Sua resistência a compressão varia de 7 MPa a 17 MPa, sendo concreto que se localiza na transição entre o de baixa resistência e o estrutural.
- Concreto estrutural leve tem massa específica entre 1350 kg/m³ e 1850 kg/m³ e são fabricados geralmente com argila expandida.

2.2.1. Tipos de concretos leves

Existem diferentes tipos de concretos leves estruturais estudados e empregados atualmente na engenharia civil, assim como demonstra a Figura 5. De acordo com Rossignolo (2009), o concreto leve pode ser segmentado basicamente em dois gêneros, sendo eles com agregados leves e o com ar incorporado, conhecido

também como celular. Existe também o concreto leve sem finos, conhecido como concreto permeável, o qual não é utilizado normalmente para fins estruturais (FERREIRA 2015). Desse modo, serão discutidas no presente trabalho as características dos concretos leves com função estrutural, sendo eles o com agregado leve e celular.

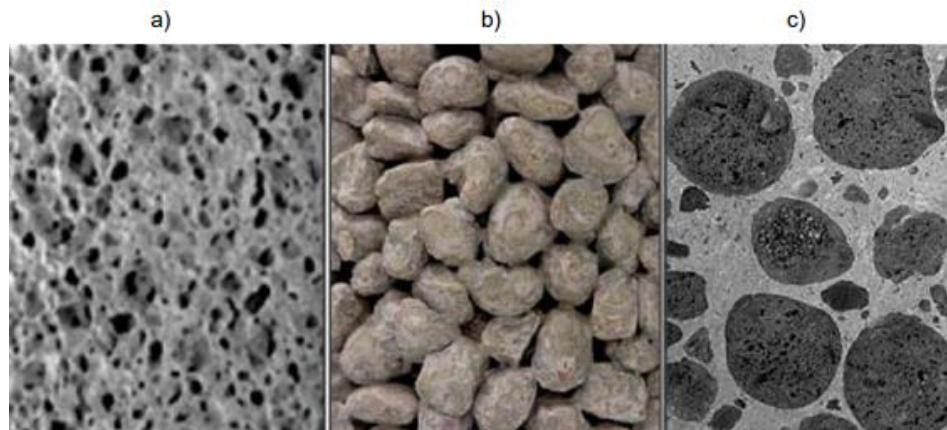


Figura 5 - Tipos de concreto leve a) Concreto Celular b) Concreto sem finos ou permeável
c) Concreto leve com agregados leves.

2.2.1.1. Aplicações do concreto leve

As aplicações do concreto leve desde seu primeiro uso, em meados da década de 20, até os dias atuais, tiveram grandes avanços e tem a possibilidade de ser empregados em diversos tipos de edificações. De acordo com Metha e Monteiro (1994), suas aplicações se estendem a edifícios, pontes, produtos pré-fabricados, plataformas, pavimentação, barragens e depósitos.

A ponte São Francisco, localizada em Oakland, nos EUA, teve aplicação de concreto leve estrutural em seu tabuleiro, o que resultou na economia de aproximadamente três milhões de dólares em aço.

Ainda nos EUA, as lajes do edifício Lake Point Tower, em Chicago, também foram feitas com o mesmo material leve para concretagem das lajes dos 71 pavimentos (MEHTA e MONTEIRO ,1994). O edifício da Prudential Life, também localizado em Chicago, teve a utilização do concreto leve estrutural nos pisos de cada laje dos seus 42 andares.

O Australian Square, em Sidney, na Austrália, teve uma economia de mais de 10% do custo total da construção no emprego do concreto estrutural leve nos 50 pavimentos da torre circular (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

O edifício do Hotel Staler, já citado anteriormente, em Dallas, nos EUA, tem 18 andares feito com concreto estrutural leve, bem como o Edifício Federal Post-Office, em Nova York, em que foram usados cerca de 23000 m³ de concreto estrutural leve nas lajes.

2.2.1.2. Propriedades do Concreto Leve

– Físicas

De acordo com Ferreira (2015), diferentemente dos concretos confeccionados convencionalmente com agregados de massa específica mais alta, os concretos leves apresentam massa específica reduzida e melhoria em suas propriedades físicas cujos fatores influenciam diretamente na aplicabilidade desse tipo de material na engenharia civil. A incorporação de ar ou a substituição dos agregados convencionais por agregados leves ao concreto acarreta mudanças consideráveis em sua resistência mecânica, deformabilidade, fluência e retração.

A microestrutura do concreto leve celular e com agregados leves tem consideráveis diferenças, que acarretam mudanças em sua permeabilidade, retração e fluência, pois estão intimamente ligadas ao tamanho dos grãos e a sua permeabilidade. Segundo Ferreira (2015), a microestrutura dessas pastas é estudada majoritariamente em concretos leves celulares, visto a inclusão de ar em sua estrutura, que ocasiona um aumento dos vazios e da porosidade maior que a substituição do agregado convencional pelo leve.

A maior diferença entre o concreto leve celular e o com agregados leves é sua massa específica. O celular, em geral, tem uma massa específica que gira de aproximadamente 300 kg/m³ a 800 Kg/m³, enquanto o concreto com agregados leves pode chegar até 2000 kg/m³. A massa específica do concreto feito com agregados leves, por ser constituído basicamente desses elementos, depende diretamente da massa dos grãos desses agregados, enquanto o celular depende de toda sua matriz.

Porosidade e absorção de água estão intimamente ligados, já que quanto maior a quantidade de poros interligados maior a propagação da água no elemento. A porosidade total de um concreto é a soma dos vazios formados pelos poros capilares e os poros celulares. Essa característica é mais observada em concretos leves celulares por sua maior quantidade de vazios e poros em sua estrutura. Nos concretos com agregados leves, a absorção de água se dá não pela porosidade e sim pela permeabilidade dada pela junção dos materiais que compõem a pasta. Nos dois tipos de concreto, a absorção de água pelo meio está diretamente ligada à durabilidade do concreto.

Neville (1997) aponta que a retração dos concretos leves é uma propriedade que, se não for estudada anteriormente, pode comprometer o desempenho do concreto. Segundo ele, comparado com o convencional, o concreto leve apresenta uma retração de até 40 % maior, o que pode ocasionar maior fissuração, mesmo que apresente um módulo de deformação menor. No concreto leve celular, a retração é dada pela quantidade de poros da estrutura, já no concreto com agregados leves, ela se dá pela relação água/material cimentício.

A fluência é caracterizada pelo acréscimo de deformação sem aumento da força aplicada no elemento. De acordo com pesquisas, a incorporação de ar no concreto, ou seja, o concreto celular apresenta alto índice de fluência. Quanto maior o teor de ar incorporado no concreto, maior a fluência observada. O aumento de ar incorporado na mistura resulta em um aumento de volume de poros finos, que são responsáveis por retração e fluência (BABU, 2008). Já nos concretos com agregados leves se dá pelo tipo de agregado e cimento, sua classificação, relação de água na mistura, cura, força aplicada, umidade relativa do ar (ACI 213R, 2003).

Nos concretos leves, sejam eles com agregados leves ou celulares, com incorporação de ar, são observadas as propriedades tanto de condutividade térmica, como isolamento acústico e resistência ao fogo. Essas propriedades estão ligadas intimamente à massa específica do concreto leve em que a condutividade térmica é menor. De acordo com Ferreira (2015), em casos de incêndio, a baixa condutividade térmica dos concretos leves é uma grande vantagem, visto que sua capacidade de diminuir a temperatura da armadura, faz com que o escoamento do aço seja mais tardio.

A durabilidade dos concretos leves é definida como a capacidade de resistência do material aos agentes externos. Os maiores influenciadores na durabilidade nesse tipo de concreto são absorção de água e a permeabilidade além da resistência química, resistência à abrasão, congelamento e descongelamento, absorção de água, permeabilidade, carbonatação e corrosão da armadura.

– Mecânicas

Não diferente dos concretos convencionais, com agregados mais densos, o concreto leve apresenta boas características quando se trata das suas propriedades mecânicas, como resistência à compressão, à tração, à flexão e maior módulo de deformação.

2.2.1.3. Concreto Estrutural leve

O concreto estrutural leve é confeccionado a partir da utilização de agregados leves na substituição de agregados graúdos da pasta. O material utilizado como agregado, em geral, tem como maior diferencial uma porosidade elevada, o que resulta em uma perda na massa específica, constituindo, por fim, um material mais leve que o convencional.

Os agregados utilizados na produção do concreto podem ser, segundo Silva (2007), ultraleves ($< 300 \text{ kg/m}^3$), leves (de 300 a 1200 kg/m^3), densos (de 1200 a 1700 kg/m^3) e ultradensos ($>1700 \text{ kg/m}^3$). Os agregados utilizados nesse projeto foram os de origem leve, tendo como classificação segundo sua natureza, dividindo-se em agregados orgânicos e agregados inorgânicos. Segundo Silva (2009), os agregados se subdividem de acordo com o fluxograma da Figura 6:

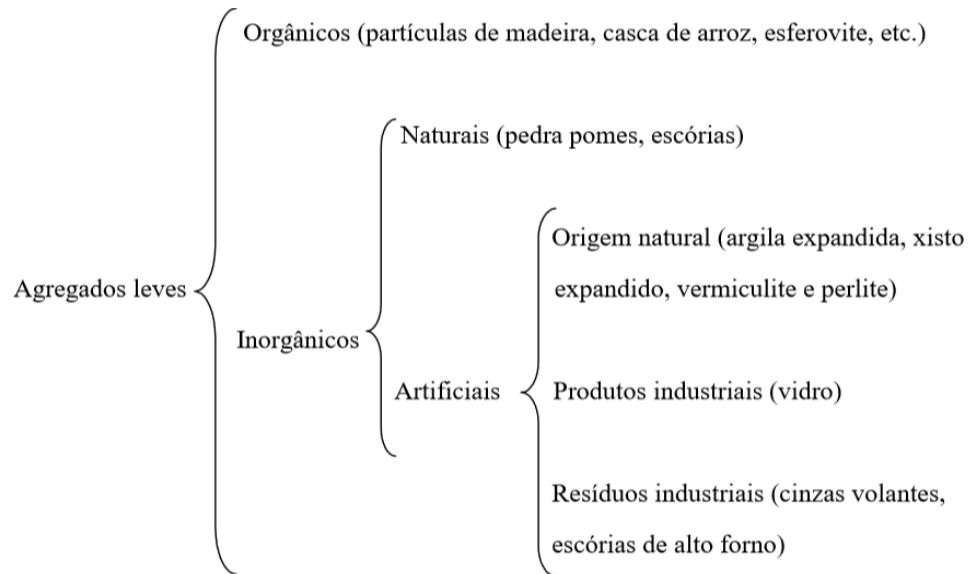


Figura 6 - Classificação dos agregados leves em função da sua origem (SILVA 2007)

Por conta de suas diferentes origens, em se tratando de agregados leves para concreto, é possível a obtenção de diferentes características físicas e mecânicas. Os agregados podem apresentar maior e menor tamanho e peso, diferentes resistências, condutividades térmicas distintas, além de permeabilidade e características afins.

– Agregados Naturais

De acordo com Silva (2007), a diatomita, a pedra pomes, a escória e as cinzas de origem vulcânica são os principais tipos de agregados naturais, e a maior parte deles é de origem vulcânica, exceto a diatomita.

A pedra pomes, por exemplo, foi empregada em uma das mais antigas construções da Europa, o Coliseu. Sendo de origem vulcânica, sua massa específica varia entre 500 e 900 kg/m³, com grandes diâmetros de poros e alto índice de absorção de água, sendo considerado um concreto fraco do ponto de vista estrutural.

– Agregados Artificiais

Os agregados artificiais são classificados segundo sua matéria-prima e seu processo de fabricação, que ocasionam a sua expansão, levando assim a um elemento de massa específica reduzida.

Os agregados leves artificiais utilizados em concreto estrutural são fabricados, por sua vez, a partir de materiais naturais como argilas, xistos, escórias expandidas, vermiculita e a perlita.

2.3. Mecanismo de Ruptura

A fissuração é a causa mais frequente da ruptura quando se refere ao comportamento da alvenaria. Segundo Peleteiro (2002), a deformação pode ser causada por forças aplicadas ou por restrição à variação volumétrica do material.

Quando se trata de alvenaria de blocos, há diferenças básicas em sua ruptura quando submetidos à compressão axial e comparada a outros materiais. Essa modificação se dá, segundo Calçada (1998), pela presença de camadas horizontais de diferentes materiais, já que os elementos estudados, miniparedes e prismas, contêm uma junta de argamassa de assentamento, que pode comportar-se de maneira diferenciada. A diferença nas propriedades de deformabilidade entre bloco e junta de argamassa induz o aparecimento de tensões laterais, provocando ruptura inicial de um dos materiais.

Quando colocada em cargas verticais de compressão, a alvenaria deforma-se lateralmente, devido ao efeito de Poisson. A junta expande-se com maior grau no sentido perpendicular à aplicação do carregamento em consequência da diferença de flexibilidade do bloco e da argamassa. Com isso, tensões de compressão lateral na argamassa eclodem e o bloco fica sujeito a tensões de tração para que seja mantido o equilíbrio de tensões, que por sua vez acaba rompendo, já que a resistência à tração de elementos de concreto é considerada baixa (Priestley *et al*, (1984)).

De acordo com Cheema e Klingner (1986), existem diferentes modos de rupturas que podem ocorrer na alvenaria grauteada ou não grauteada de blocos de concreto, sendo eles fendilhamento lateral do bloco, esmagamento da argamassa, esmagamento do bloco, fendilhamento da argamassa, esmagamento do graute, fendilhamento lateral do bloco por tração no bloco, fissuração dos septos transversais por flexão dos septos e combinação das rupturas

- Fendilhamento lateral do bloco: ocorre quando a resistência à tração do bloco é alcançada; é denominada ruptura por tração no bloco;
- Esmagamento da argamassa: as tensões atuantes atingem a resistência à compressão da argamassa na junta;
- Esmagamento do bloco: é atingida a resistência à compressão do bloco;
- Fendilhamento da argamassa: a resistência à tração da argamassa é alcançada;
- Esmagamento do graute: as tensões de compressão no graute ultrapassam a resistência à compressão confinada do graute. Para prismas não grauteados e com assentamento lateral, Shrive (1982) observa que os modos de ruptura mais comuns são:
 - Fendilhamento lateral do bloco: ruptura por tração no bloco;
 - Fissuração dos septos transversais: ruptura por flexão dos septos, que se comportam como vigas de grande altura. Ocorre quando as tensões de tração ultrapassam a resistência à tração do bloco;
 - Combinação das rupturas anteriores: é a ruptura mais comum.

Os prismas do programa experimental foram constituídos por 2 blocos de concreto, conforme Figura 7, e argamassa de assentamento apropriada caracterizada preliminarmente.

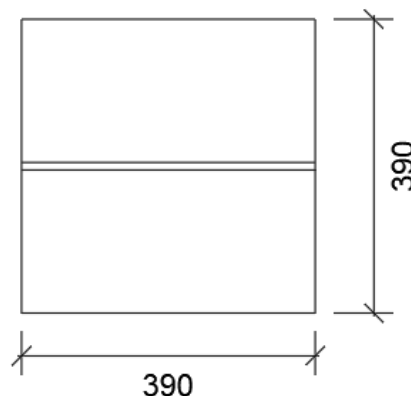


Figura 7 - Prisma de duas fiadas

Os prismas apresentam um comportamento inicial monolítico, deformando-se em conjunto com a argamassa e graute. Posteriormente, devido à diferença dos módulos de elasticidade dos materiais, o comportamento de cada elemento se isola.

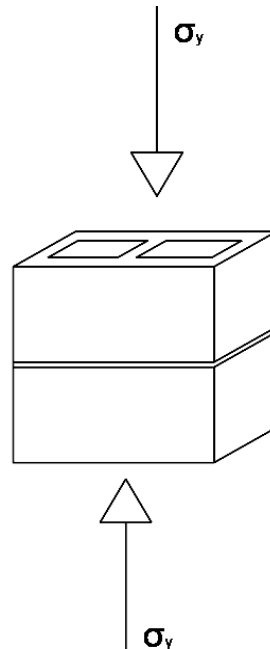


Figura 8 - Tensões iniciais Prisma

Segundo Mohamad (2007), o comportamento do prisma iguala a rigidez dos materiais. Sendo assim, a junta de argamassa horizontal e o bloco passam a se comportar como únicos, como demonstra Figura 8, sendo que as deformações do prisma são governadas pela deformação da junta de argamassa, até níveis de tensão de aproximadamente 30% da resistência à compressão total do prisma, conforme Figura 9.

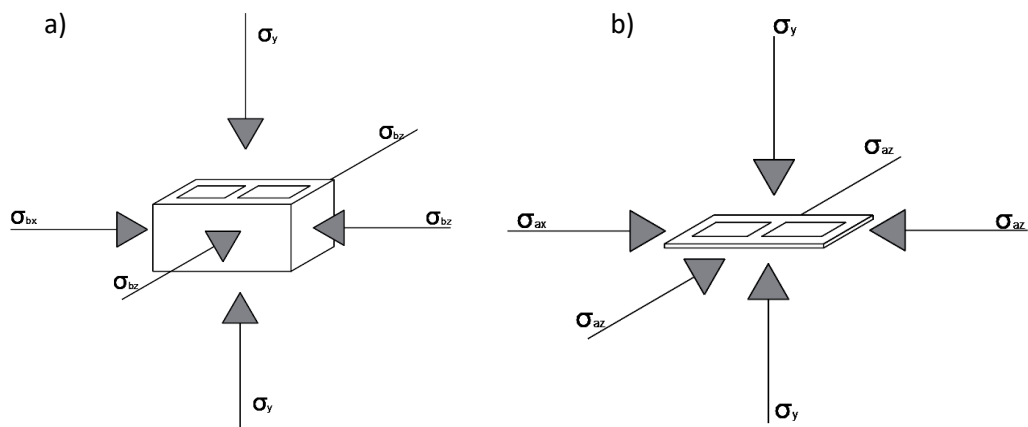


Figura 9 - Tensões atuantes no bloco e na argamassa – Fonte: MOHAMAD (2007) (adaptado)

Lourenço e Rots (1997) exemplificaram os modelos de ruptura básica, que se coincidem com a lista de Cheema e Klingner (1986), citada anteriormente, sendo elas fissura nas juntas, escorregamento ao longo de uma junta horizontal ou vertical com valores baixos de tensão normal, fissuração das unidades de alvenaria na direção da tração, fissura diagonal à tração nas unidades de alvenaria com valores de tensão normal suficientes para desenvolver atrito nas juntas e fendilhamento das unidades à tração como resultado da dilatação da argamassa, com valores altos de tensão normal de compressão. A Figura 10 exemplifica os mecanismos de ruptura evidenciados em prismas quando submetidos a compressão axial.

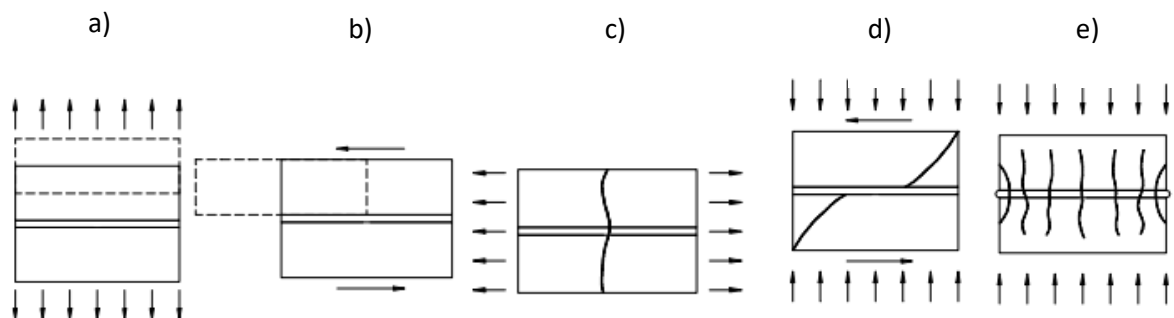


Figura 10 - Mecanismos de ruptura: (a) Fissuras nas juntas; (b) Escorregamento; (c) Fissuração das unidades; (d) Fissura diagonal; (e) Fendilhamento (Cheema)

O mecanismo de ruptura consiste na formação de macro-fissuras nas unidades ou uma ruptura dúctil/frágil nas juntas horizontais e isso se estende tanto nos prismas quanto nas miniparedes. O modo de ruptura efetivo é função do carregamento imposto. As propriedades das juntas verticais têm um efeito muito limitado na ruptura macroscópica. Assim, para propósitos práticos, as juntas verticais podem ser admitidas como lineares elásticas isotrópicas. Na Figura 11 é apresentado o esquema das miniparedes e atuação da força aplicada.

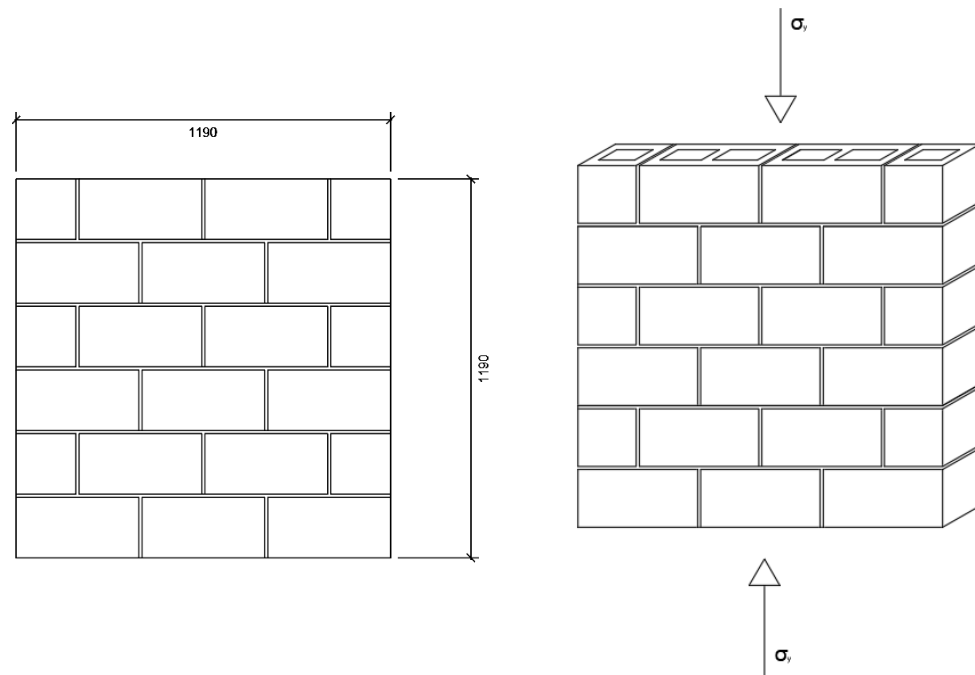


Figura 11 - Modelo de miniparede, dimensões e modo de confinamento. Fonte: Próprio autor

2.4. Trabalhos relacionados

Neste tópico serão apresentadas sistematicamente pesquisas e trabalhos relevantes ao tema proposto e estudado. Os trabalhos relacionados citados foram divididos em temas principais, abordando em cada subitem os elementos-chave estudados para um maior embasamento teórico, a fim de se obter significantes resultados no programa experimental proposto.

2.4.1. Alvenaria estrutural

Quando se trata de alvenaria estrutural, os campos de pesquisa dentro desse segmento são bem amplos. Os estudos intrínsecos a esse tema vão desde comparativos entre métodos construtivos distintos até pesquisas que envolvem tipos diferenciados de argamassamento, grauteamento, blocos e disposição dos mesmos.

Barbosa (2000) pesquisou sobre a interação da alvenaria estrutural com vigas de concreto armado e utilizou de artifícios como softwares para elaborar modelos numéricos de paredes de alvenaria estrutural apoiadas em vigas de concreto em estudos de caso. Foram esquematizados modelos possíveis tanto com congruência das vigas e paredes de alvenaria quanto sem linearidade das mesmas. Foram ensaiados numericamente modelos de paredes com vigas e analisados o efeito de

diferentes carregamentos em cada um e analisado o efeito de arco em cada uma. Como resultado pôde ser observado os elementos para formulação de uma otimização desse tipo de construção.

Mata (2006) observou a influência do padrão de argamassamento na resistência à compressão de prismas e miniparedes de alvenaria estrutural de blocos de concreto. Foram realizados ensaios em miniparedes e prismas de blocos de concreto contendo argamassamento de forma total e parcial e foi observado, por meio de análises experimentais e numéricas com elementos finitos, o efeito do argamassamento tanto na fissuração da estrutura, quanto na ruptura e distribuição de tensões. Observou-se nos resultados das análises experimentais que o padrão de argamassamento influencia diretamente no comportamento estrutural da alvenaria submetida à compressão e conclui-se que o argamassamento total dos elementos de alvenaria estrutural levou a uma menor ruptura frágil e a um maior fator de eficiência, ocasionando assim menores deformações.

Santos (2008) verificou a alteração da resistência de prismas e pequenas paredes de alvenaria estrutural cerâmica com diferentes tipos de argamassas. Analisou-se a influência da geometria do bloco cerâmico no desempenho mecânico da alvenaria estrutural, sob compressão centrada, quando utilizadas argamassas com resistências variadas. Foram confeccionados cinco prismas de duas e três fiadas sobrepostas e quatro pequenas paredes de dois blocos e meio por quatro fiadas de altura. Entre as várias combinações ensaiadas, foi feita a análise de variância das amostras submetidas à compressão. Com isso, foram identificados quais dos blocos utilizados acarretaram melhores resultados na pesquisa. Os blocos vazados tiveram desempenho semelhante ao maciço, notando assim que seu comportamento tem pouca variância.

Lima (2010) analisou experimentalmente a influência da resistência e da espessura da argamassa de assentamento no desempenho mecânico de prismas de blocos cerâmicos. Com o trabalho, pode-se analisar experimentalmente, a influência da resistência à compressão e da espessura da camada de assentamento no desempenho mecânico de prismas de blocos estruturais cerâmicos não grauteados. Para isto, foram estudados blocos de mesma resistência à compressão, confeccionando prismas de dois blocos com espessuras variáveis de 10 mm, 15 mm e 20 mm e resistências equivalentes a 50%, 100% e 150% da resistência do bloco

na área bruta. Com os resultados dos ensaios, conseguiu-se constatar a influência destes parâmetros e construir modelos estatísticos representativos dos efeitos individuais e conjunto das variáveis estudadas.

Izquierdo (2011) estudou a atuação do tipo de argamassamento e da utilização de peças de ajuste dimensional na resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto em sua tese de mestrado e apontou a alteração da resistência de compressão de paredes feitas no sistema construtivo de alvenaria estrutural devida, com argamassamento apenas nas laterais dos blocos, comparando-se com o total. Por final, com os resultados obtidos, observou-se que o tipo de argamassamento influenciou diretamente na resistência à compressão da alvenaria sendo o argamassamento total o com maior desempenho nesta pesquisa. Para alcançar esse resultado final foram fabricadas, além de toda parte de análise dos materiais e análise dos blocos, incluindo dimensionais e das argamassas de assentamento, miniparedes e prismas com argamassamento total e parcial e, posteriormente, foram rompidas, após cura pré-determinada.

Rigão (2012) investigou o efeito de altas temperaturas em miniparedes de alvenaria estrutural. Nesse trabalho foi ensaiado um protótipo de parede frente a altas temperaturas em escala reduzida. Estudou-se o nível de degradação dos materiais isoladamente e em conjunto. Foram utilizados fornos próprios para elevação gradual da temperatura das paredes. Como resultado, foram obtidas boas resistências das paredes à exposição a altas temperaturas, as quais não apresentaram alto nível de fissuração e instabilidade estrutural. Em contraponto, as argamassas necessitaram de maior estudo já que houve deterioração de alguns traços frente a determinadas temperaturas. Por fim, observou-se que o tipo de agregado influencia tanto na perda de massa quanto na estabilidade do material.

Contadini (2014) analisou de forma teórica e experimental o comportamento de vigas de alvenaria estrutural armada sujeitas à flexão simples, que mostrou a relevância da alvenaria estrutural nos últimos anos e a importância do estudo das vigas de alvenaria estrutural. O objetivo principal do trabalho foi estudar vigas submetidas à flexão simples para entender o comportamento da seção transversal mais solicitada e as ocorrências dos estados limites de serviço e últimos. Foram confeccionadas 18 vigas de alvenaria estrutural, que possuíam alturas entre 2 e 3 fiadas armadas longitudinalmente. Como resultado, foi observado que os prismas

referentes às canaletas corresponderam a uma resistência bem próxima à das vigas ensaiadas. Constatou-se também que os momentos fletores experimentais e teóricos são satisfatórios às normas regulamentadoras.

Oliveira (2015) fez um estudo avaliativo da influência da variação da espessura e da resistência à compressão de juntas de argamassa para blocos estruturais cerâmicos. Foram ensaiados prismas de dois blocos variando a dimensão das juntas em cinco níveis: 5, 10, 15, 20 e 25 mm, e a resistência à compressão em dois níveis: 2,72 e 7,41 MPa. A pesquisa empregou bloco cerâmico estrutural com dimensões de 14x19x29 cm, com resistência à compressão de 7,66 MPa. O resultado obtido indicou que a resistência do prisma é inversamente proporcional à espessura da argamassa.

Martinez (2017) estudou a influência da geometria de blocos cerâmicos no comportamento de paredes de alvenaria estrutural. Em seu trabalho, foi desenvolvido um programa experimental de ensaios para paredes de alvenaria estrutural, utilizando blocos cerâmicos de diferentes geometrias. Avaliou-se a ductilidade das paredes com possibilidade de deslocamento no elemento de apoio com ensaios de três paredes para cada geometria de bloco, que totalizou quinze paredes. A finalidade do trabalho foi possibilitar a comparação dos resultados experimentais com os propostos em norma sobre deslocamentos de bases de paredes, verificando assim o Estado Limite de Serviço. Ao findar do trabalho foram analisadas as paredes construídas com cada tipo de bloco e observou-se que as paredes que apresentaram o melhor comportamento foram as construídas com blocos de 14x29x44cm., pois passaram nas verificações exigidas pela NBR15812-1 (ABNT, 2010) com maior segurança. As paredes que apresentaram pior desempenho foram as que utilizaram os blocos de 14x19x59cm.

2.4.2. Grauteamento

No universo acadêmico não são muitas as pesquisas relacionadas a concretos de boa aplicabilidade no grauteamento e preenchimentos de estruturas e elementos na construção civil. Os estudos sobre esse tema abrangem desde a utilização do graute para preenchimentos dos diferentes tipos de blocos, quanto a

sua influência na resistência final da parede quando utilizados e também em sua aderência tanto na alvenaria armada, observando a aderência com as barras, quanto na não armada analisando a aderência do concreto com o bloco.

Soares (2006) estudou o comportamento do grauteamento de prismas de alvenaria estrutural. Foram analisados prismas de blocos cerâmicos grauteados, parcialmente grauteados e não grauteados. Os corpos de prova prismáticos foram colocados sob o efeito de cargas de compressão, em que foram analisados a influência e o desempenho do graute. Foram confeccionados 120 prismas, cada um com 3 fiadas de altura para o estudo, sendo eles com dois tipos de argamassamento e três tipos de graute divididos em 4 tipos e em porcentagens. Por fim, foram ensaiados os corpos de prova e analisados os resultados, concluindo que as argamassas influenciam diretamente na resistência à compressão das paredes de alvenaria estrutural, que o aumento da resistência do graute não tem grande influência na resistência do prisma, o tipo de bloco influencia diretamente no desempenho estrutural das paredes de alvenaria, a propagação de fissuras e ruptura dos prismas grauteados se dá pela expansão do graute, o argamassamento de menor resistência tem rompimento mais dúctil em relação a uma com maior resistência.

Segundo Reis (2010), o grauteamento de estruturas de alvenaria estrutural é um segmento muito importante e não totalmente esclarecido. Sendo assim, foi feito um estudo contendo análises Numéricas da Influência dos componentes grauteados na interação entre paredes de alvenaria estrutural com blocos de concreto. No trabalho, foram analisadas várias vertentes sobre grauteamento de alvenaria estrutural, sendo feito um estudo inicial das possíveis iterações das paredes e, posteriormente, a utilização de programas computacionais para otimização. Como maior conclusão do trabalho, pode-se observar que o perfil da distribuição de tensões verticais normais e absorção do carregamento aplicado é transferido às paredes, observando que em alguns casos o graute causa interferência significativa, como nos furos dos blocos, enquanto em outros não tem relevância.

Miranda (2012) avaliou o efeito do não preenchimento das juntas verticais e a eficiência do graute na resistência da alvenaria estrutural com a finalidade de analisar seu efeito diante do cisalhamento das miniparedes e sua resistência à compressão das paredes em escala reduzida e dos prismas. De início, foram

intercalados em 5 modelos o tipo de grauteamento, o preenchimento vertical. Cada uma dessas séries visou a avaliar a influência causada pelos elementos estudados. Ao fim de todas as séries foram feitas 24 paredes de alvenaria e 36 prismas, sem contar os corpos de prova das argamassas utilizadas no argamassamento. Com isso, concluiu-se que o preenchimento vertical nas paredes com o graute não tem grande interferência em sua resistência final. Contrariamente, o cisalhamento nas paredes aumenta cerca de 50 % quando não é utilizado esse tipo de preenchimento.

Gieseler e Tutikia (2013) propuseram um estudo de grautes produzidos com agregado reciclado de resíduo de bloco cerâmico incorporando teores de cal hidratada. Foi utilizado um percentual de 30% de substituição de agregado reciclado e cal hidratada em teores de 2, 4 e 6% a serem comparados com o graute convencionalmente utilizado. No fim das análises dos resultados, foi concluído que a utilização da cal hidratada ocasiona uma perda no abatimento do concreto no estado fresco e que quanto maior o teor de cal utilizado maior a resistência final adquirida. Observou-se que a utilização do teor de 4% de cal hidratada na mistura do graute trouxe mais benefícios, ocasionando melhores resultados finais.

Camacho (2015) estudou a Influência do graute e da taxa de armadura no comportamento à compressão da alvenaria de blocos de concreto. Foram confeccionados prismas com 3 fiadas cada e argamassa mista utilizadas em todos eles. Foram utilizados dois diferentes grautes no preenchimento dos vazios dos blocos de concreto utilizados. As armaduras utilizadas tiveram 3 taxas diferentes. Além dos prismas também foram construídas miniparedes, conforme normatização, sendo todos os corpos de provas submetidos a ensaios de compressão em prensa hidráulica. Como resultado, foi observada uma diminuição na deformação de ruptura nos prismas com a utilização de grautes mais rígidos mesmo a tensão de ruptura sendo semelhantes nos dois modelos de grautemaento adotado. Também foi observado o aumento da resistência a compressão com a utilização do graute nas paredes e a não alteração significativa no comportamento estrutural quando é mudado o teor de armadura no grauteamento.

Izquierdo (2015) analisou a interface do bloco em conjunto com o graute em elementos de alvenaria estrutural para obter resultados a serem analisados. A pesquisa teve por objetivo principal investigar o comportamento da interface dos blocos cerâmicos e de concreto grauteados com diferentes grautes quando

submetidos a esforços de tração e compressão. O trabalho seguiu a metodologia de caracterização dos materiais utilizados na confecção das paredes e prismas, ensaios de aderência do graute com os blocos e com a armadura. Foram confeccionadas 6 séries diferentes de pequenas paredes de 5 fiadas e 2 blocos, alternando em cada tipo de bloco, cerâmico e de concreto, os dois tipos de graute utilizados e também não contendo graute nenhum. Para cada parede foram construídos 2 prismas, sendo um de duas fiadas e um de três. Para cada série foram construídas 6 paredes, totalizando por fim 36 paredes, 36 prismas de 2 blocos e 36 prismas de 3 blocos. Por fim, foram feitos os ensaios nas paredes e prismas, obtendo os resultados de aderência e resistência. Concluiu-se que existe uma maior aderência entre o graute e o bloco de concreto, o que impossibilita o escorregamento da armadura. O graute com maior resistência e menor relação água/cimento apresenta maior aderência.

Martins (2018) estudou a Influência de blocos e argamassa na resistência à compressão e rigidez de prismas de alvenaria de concreto. Em sua pesquisa, foram grauteados prismas e verificada a influência do preenchimento dos septos dos blocos no comportamento e resistência do elemento. O trabalho proposto pelo autor visa a melhorar a compreensão do efeito da resistência à compressão de blocos e argamassa nos mecanismos de resistência, rigidez. Com base nas propriedades dos componentes de alvenaria e na interação entre eles, este estudo também pretende discutir os modos de ruptura do prisma, os quais não foram detalhados nos códigos atuais de projeto de alvenaria. Os dados obtidos também ajudam a selecionar apropriadamente as propriedades de bloco e argamassa para seus projetos de alvenaria estrutural. Foram confeccionados prismas grauteados e não grauteados com argamassa apropriada utilizando blocos de maior e menor resistência. Assim foi possível entender o impacto do uso de blocos de baixa resistência e alta resistência, e verificar a eficácia do uso. Como conclusão, constatou-se que o módulo de elasticidade e a resistência à compressão dos prismas grauteados e não grauteados foram maiores com o acréscimo da resistência dos blocos de concreto. Independentemente do tipo de bloco de concreto, o módulo de elasticidade dos prismas também aumentou com uma argamassa de maior resistência.

2.4.3. Concreto leve

Apesar de sua longa existência, o concreto leve, ainda hoje, é estudado em diversos centros acadêmicos. Sua boa resistência, trabalhabilidade e leveza são pontos que despertam grande interesse em uma utilização em maior escala. Na atualidade, seus estudos em aplicações vão desde sua utilização em grauteamento, concretagens de grandes elementos armados e não armados, componentes verticais e horizontais, paredes e pavimentos.

Khouri (1975) estudou a resistência à flexão de vigas de concreto leve armadas com a finalidade de verificar sua aplicabilidade. Foram ensaiados 6 pares de vigas de concreto leve armadas com diferentes taxas de armadura, variando sua ruptura por plástica e elástica. Os resultados observados apontam que os valores tanto para deformação quanto para resistência são muito semelhantes aos apresentados em norma. A propagação de fissuras chega a ser menor, porém sua ruptura é mais abrupta. Seus módulos de elasticidade apresentaram valor próximo aos teóricos, porém um pouco maiores.

Silva (2003) apresentou um estudo comparativo entre a utilização dos concretos convencional e leve nos elementos horizontais das estruturas de edifícios. O trabalho apresenta um estudo que compara a utilização dos concretos convencional com o leve nos elementos estruturais de edifícios como componentes horizontais (exceto pilares), lajes e vigas. Foram avaliadas as comparações de consumo de material e do comportamento estrutural com os resultados da análise e do dimensionamento realizados para dois modelos adotados para um mesmo edifício real de 15 pavimentos. O estudo possibilitou a análise comparativa entre elementos de concreto convencional e leve desde o âmbito dos deslocamentos até o custo da obra, provando assim que a utilização do concreto leve é viável visto a redução do custo final da obra devido à diminuição das cargas nas fundações.

O pesquisador Silva (2007) dissertou sobre as características de um concreto leve estrutural (CLE) com agregados de argila expandida e sua avaliação do seu potencial e desempenho. Nesse estudo, foram divididas em duas partes as etapas para realização da sua metodologia. A primeira foi a caracterização do agregado leve, levando em consideração a forma e a geometria dos grãos, granulometria, massa específica, massa volumétrica, absorção, resistência dos grãos ao

esmagamento e propriedades químicas. Posteriormente, foram confeccionados os concretos com os agregados leves e seus respectivos corpos de prova a fim de análises sobre resistência e durabilidade. Por fim, em suas conclusões, após comparação e observação dos resultados, verificou-se que os concretos leves apresentaram um comportamento frágil visto sua ruptura abrupta. Observou-se que a resistência à compressão dos concretos leves estruturais é maior nos primeiros dias do que com 28 dias, inversamente proporcional aos concretos convencionais e com isso seu módulo de elasticidade é inferior ao concreto convencional, porém superior à norma. Os concretos leves apresentaram bom desempenho no que se diz respeito à absorção de água, penetração de cloretos e isolamento acústico e térmico.

Maycá *et. al.* (2009) apresentou uma pesquisa sobre a resistência à compressão de concretos leves produzidos com argila expandida nacional, visando mostrar o potencial do agregado fabricado no país. A resistência final do concreto leve com argila expandida como agregado nas variações de 20%, 30% e 40% em substituição ao agregado convencional é dada em relação à massa específica obtida no concreto. Para obtenção dos resultados, a metodologia experimental foi dividida em partes, contando com caracterização dos materiais, estudo da dosagem, produção dos concretos e caracterização da resistência mecânica e massa específica dos concretos. Foram feitos concretos a partir de 3 traços diferentes e confeccionados os corpos de prova, obedecendo às normas para cura e secagem do material utilizado. Por fim, foram obtidos os resultados finais, nos quais apresentaram uma resistência variante entre 10 e 33 Mpa e uma boa massa específica de cerca de 1400 a 1900 Kg/m³.

Rosignolo (2009) estudou a influência da argila expandida na zona de transição da microestrutura do concreto leve estrutural. Foram produzidos dois tipos de concreto, com argila expandida e com brita de basalto. O percentual de substituição foi de 70%, sendo assim uma composição dos agregados de 30% de areia e 70% de argila expandida ou de brita basáltica. Feitos os corpos de prova, utilizou-se o microscópio eletrônico de varredura (MEV) em conjunto a um sistema de análise quantitativa com a finalidade de analisar as fases completas de hidratação do concreto e suas zonas de transição. Por fim, a análise dos resultados indicou que a zona de transição dos concretos com argila expandida tende a

apresentar menor espessura e com isso menor porosidade, devido ao teor de hidróxido de cálcio. Houve, também, por consequência, uma diminuição da relação água/cimento da pasta nessa região, ocasionada pela absorção de água do agregado.

Ferreira (2015) evidenciou, em um estudo aprofundado em sua dissertação de mestrado, o dimensionamento de elementos estruturais em concreto leve, objetivando fazer um levantamento da sua utilização. Foram demonstradas suas propriedades e critérios para dimensionamento à compressão, cisalhamento e flexão disponíveis em normalização nacional e internacional. Os critérios foram analisados por meio de dimensionamento no Estado Limite Último e no Estado Limite de Serviço. Foram, também, comparados casos de dimensionamento de vigas, lajes e paredes em quatro diferentes tipos de concreto leve.

Assunção (2016) avaliou a influência da argila expandida na dosagem e nas propriedades de um concreto leve autoadesável. O trabalho em questão abordou a influência da substituição do agregado convencional, brita de basalto, por argila expandida nos teores de 20, 40, 60, 80 e 100%. Essa permutação provocou grandes mudanças em suas características e propriedades, já que a argila expandida apresenta um diâmetro cerca de 30% menor que a brita e uma massa específica muito menor. Com o trabalho deseja-se enfatizar a possibilidade da utilização do concreto leve autoadesável na indústria de pré-moldados como uma alternativa auspiciosa. Os concretos leves autoadensáveis foram obtidos com a utilização de uma dosagem contendo um percentual de brita a partir de 60% e 40% de argila expandida, em que resultou na obtenção de uma massa específica de aproximadamente 1900 kg/m³ e 50 MPa.

CAPÍTULO III – PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1. Considerações Iniciais

A pesquisa foi particionada em etapas visto que o trabalho consiste de um conjunto de atividades sequenciais. Os seguimentos da divisão foram compostos por uma etapa inicial de verificação dos blocos, confecção e análise da argamassa de assentamento e estudo da dosagem e produção dos grautes utilizados, sendo eles do tipo convencional e leve. Posteriormente foram construídas as miniparedes e prismas correspondentes. Por fim foram realizados os ensaios de ruptura a fim de observar sua forma de ruptura, comportamento e resistência. Na Figura 12 são especificados em forma de fluxograma as etapas adotadas para o processo de montagem das miniparedes e prismas.

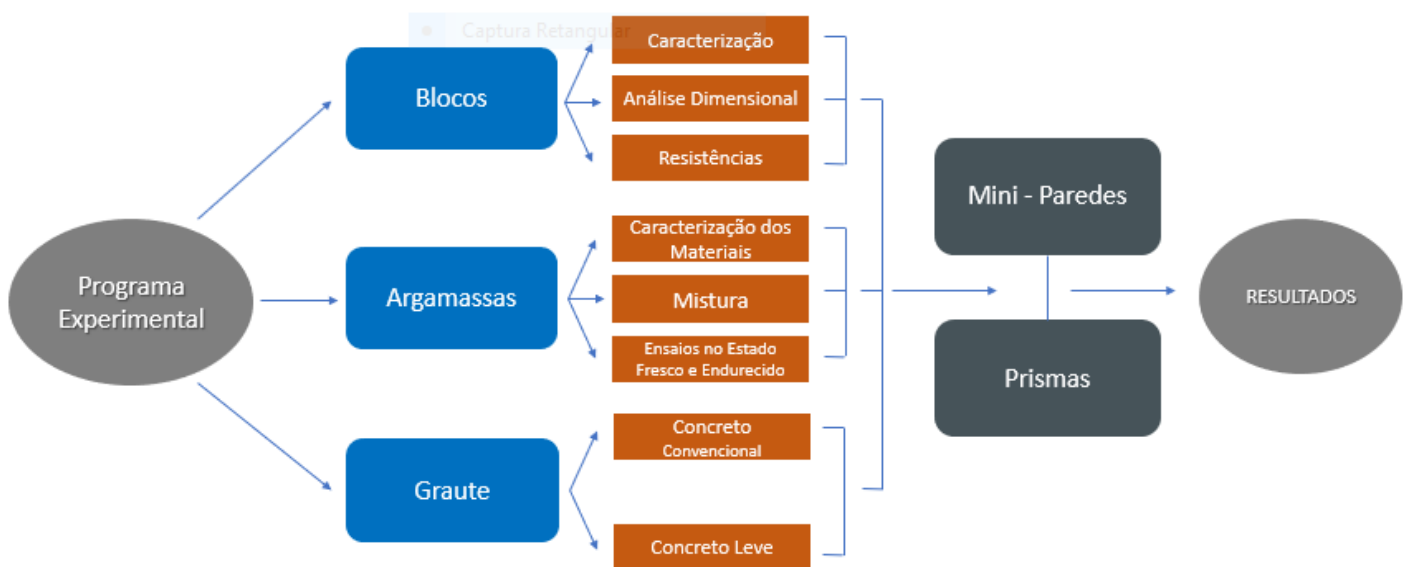


Figura 12 - Fluxograma do programa experimental

3.2. Blocos

Os blocos utilizados no estudo das paredes de alvenaria estrutural com vigas grauteadas foram de concreto do tipo vazados, inteiro e meio bloco, e do tipo canaleta provenientes de uma fábrica estudada previamente por LIMA (2019). Todos os ensaios seguiram os métodos determinados pela NBR 12118 (2013), para verificação das suas prescrições. As dimensões padronizadas de blocos inteiros (14cmx19cmx39cm), os meios blocos (14cmx19cmx19cm) e os blocos canaleta

(14cmx19cmx39cm), os quais são pertencentes à classe C e possuem 4,5 MPa de resistência característica à compressão (f_{bk}), segundo os fabricantes.

3.2.1. Bloco do tipo inteiro

Na Figura 13 é demonstrado bloco inteiro de concreto utilizado na confecção dos corpos de prova.



Figura 13 - Bloco de concreto com furos do tipo inteiro. Fonte: Próprio autor

3.2.2. Meio Bloco

Na Figura 14 é exemplificado modelo de bloco para auxílio da amarração das paredes de alvenaria conhecidos como blocos de meia ou meio bloco.



Figura 14 - Meio bloco de concreto. Fonte: Próprio autor

3.2.3. Canaleta

Para confecção das vigas de alvenaria estrutural grauteadas com diferentes concretos foram utilizados blocos de concreto do tipo canaleta demonstrado na Figura 15.



Figura 15 - Bloco de concreto do tipo canaleta. Fonte: Próprio autor

3.2.4. Caracterização física dos Blocos

Para determinação das características físicas dos blocos foram realizados os ensaios de Absorção de água conforme NBR 12118 (2007), área líquida segundo a norma NBR 12118 (2007); referente ao teor de umidade como diz a NBR 12118 (1991) e massas específicas seca e saturada dito na NBR 9778 (2005). A seguir, nas Equações 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5 estão estabelecidas como foram determinados os parâmetros das características físicas dos blocos.

- Absorção de água (%)

$$\alpha = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad \text{Equação (3.1)}$$

- Área líquida (mm²)

$$A_{liq} = \frac{m_2 - m_4}{h - \gamma} \times 1000 \quad \text{Equação (3.2)}$$

- Teor de umidade (%)

$$u = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100 \quad \text{Equação (3.3)}$$

- Massa específica (g/cm³)

$$\gamma_{seca} = \frac{m_3}{(m_2 - m_4)/\gamma} \quad \text{Equação (3.4)}$$

$$\gamma_{sat} = \frac{m_2}{(m_2 - m_4)/\gamma} \quad \text{Equação (3.5)}$$

Sendo:

m_1 : massa do bloco seco em estufa, em gramas (g), dada pelo peso do bloco seco em estufa em aproximadamente 100°C por pelo menos 24 horas, sendo pesado a cada 2 horas após a primeira pesagem, sendo repetido o processo até que seus valores não tenham desvios maiores que 0,5% em seu resultado;

m_2 : massa do bloco saturado, em gramas (g), obtida com a colocação dos blocos na câmara úmida do laboratório, por 24 horas. Posterior a esse tempo são pesados;

m_3 : massa do bloco seco ao ar dado em gramas (g) é a massa do bloco seco ao ar livre, pesado em balança digital de alta precisão diretamente do lote da distribuidora, sem nenhum tipo de tratamento anterior;

m_4 : massa aparente do bloco, em gramas, será determinada ao imergir o corpo-de-prova em água a temperatura ambiente, aproximadamente 25°C e pesando-o por meio da balança hidrostática,

h : altura média do bloco, em milímetro;

Y : massa específica da água, em gramas por centímetros cúbicos (g/cm^3).

3.2.5. Análise dimensional

Foi realizada uma análise dimensional das unidades de acordo com a NBR 12118 (2007) a fim de determinar suas dimensões reais sendo elas largura, comprimento, altura, espessura mínima das paredes e dimensões dos furos. Para tal foram utilizados, como equipamentos de leitura, réguas metálicas bem graduadas, esquadro metálico de 90° , paquímetro manual e digital para uma melhor precisão. Como exemplo temos a Figura 16, parte da medição das dimensões dos blocos.

Quanto a largura, comprimento e altura dos blocos de concreto suas dimensões são padronizadas em consonância com a NBR 6136 (2014).



Figura 16 - Aferição das dimensões do bloco. Fonte: Próprio autor

Os blocos utilizados no trabalho proposto foram de concreto estruturais devem estar em consonância com a NBR 6136 (2007). Os blocos da pesquisa serão os do tipo inteiro, meia e canaleta. Na Tabela 8 e nas Figuras 17, 18 e 19 são especificados os comprimentos de cada um desses blocos adotados no programa experimental.

Tabela 8 - Tipo e dimensões do bloco utilizado

Tipo	Largura	Altura	Comprimento
Inteiro	14	19	39
Meia	14	19	19
Canaleta	14	19	39

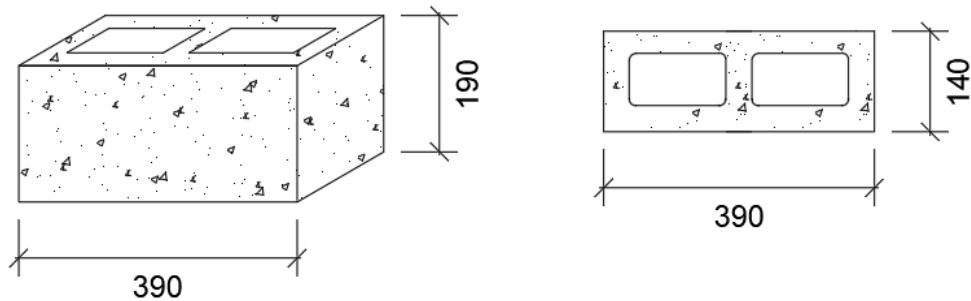


Figura 17 - Esquema dos blocos inteiros. Fonte: Próprio autor

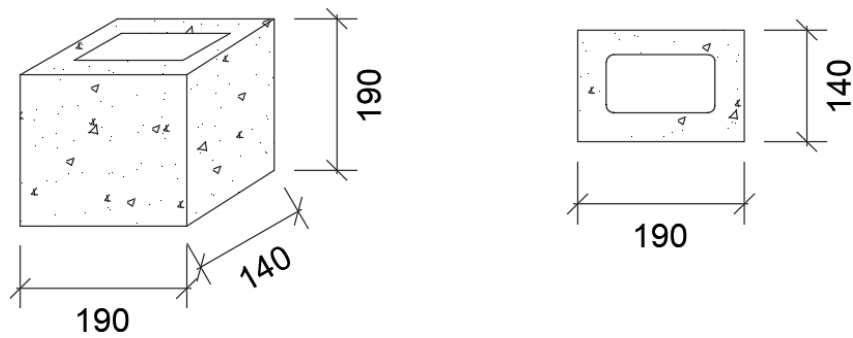


Figura 18 - Esquema Meio bloco. Fonte: Próprio autor

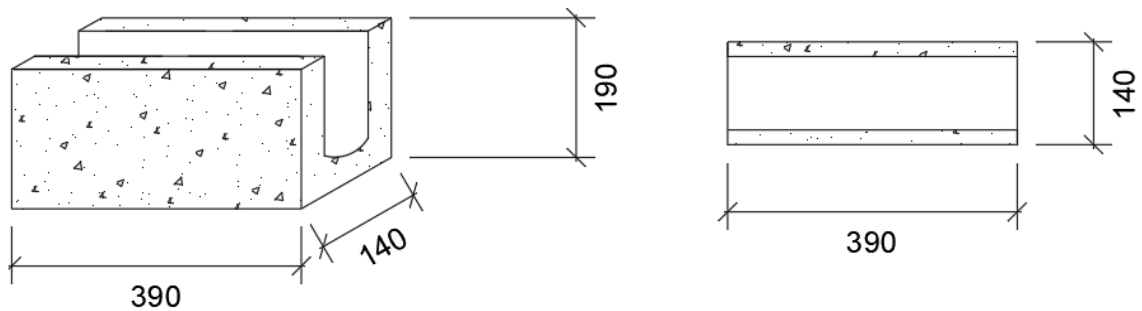


Figura 19 - Esquema bloco canaleta. Fonte: Próprio autor

A espessura mínima das paredes também é dada pela NBR 6136 (2014). É a medida da parede longitudinal e transversal dos blocos. As características referentes dos tipos de blocos estão dispostas na Tabela 9.

Tabela 9 - Características das paredes dos blocos de acordo com a classe

Classe	Largura Nominal (mm)	Paredes longitudinais ^a (mm)	Paredes transversais	
			Paredes ^a (mm)	Espessura equivalente ^b (mm)/m
A	190	32	25	188
	140	25	25	188
B	190	32	25	188
	140	25	25	188
C	190	18	18	135
	140	18	18	135
	115	18	18	135
	90	18	18	135
	65	15	15	113

^a Média das medidas das paredes tomadas no ponto mais estreito.
^b Soma das espessuras de todas as paredes transversais aos blocos (em milímetros), dividida pelo comprimento nominal do bloco (em metros).

Para determinação das dimensões dos furos foram realizadas medidas utilizando paquímetro e régua de metal, medindo no sentido longitudinal e transversal a partir do centro de cada furo do bloco, como mostra Figura 20.



Figura 20 - Medição das dimensões menores com paquímetro manual. Fonte: Próprio autor

3.2.6. Propriedades Mecânicas

As principais propriedades mecânicas dos blocos de concreto são a resistência à compressão e à tração, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson, sendo a resistência a compressão o parâmetro de maior importância no presente trabalho já que as paredes de alvenaria estrutural detêm desse grande potencial compressivo.

3.2.6.1. Resistência à compressão dos blocos

A resistência a compressão dos blocos de concreto pode ser influenciada pelos materiais utilizados em sua confecção, moldagem e cura. Os blocos a serem utilizados devem obter, no mínimo, 4,5 MPa visto a proveniência da escolha da classe para sua utilização.

Tabela 10 - Requisitos para fbk,est. - Valores mínimos. Fonte: NBR 6136 (2014)

Classe de Resistência	Classe AE	Classe BE
4,5	_(A)	4,5
6	6	6
7	7	7
8	8	8
9	9	9
10	10	10
11	11	11
12	12	12
13	13	13
14	14	14
15	15	15
16	16	16
(A) Classe de resistência não permitida para blocos classe AE		

Para realização do ensaio de resistência à compressão escolheu-se amostras de cada lote do fornecedor dos blocos de concreto. Eles apresentaram temperatura em torno de 25 °C, como especifica a norma, foram capeados com argamassa a base de água e cimento como demonstra a Figura 21.



Figura 21 - Blocos capeados. Fonte: Próprio autor

Posteriormente foram submetidos ao ensaio de resistência a compressão utilizando prensa SOLOTEST® e MTS®, Figura 22, com capacidade de 100 toneladas, do laboratório de estruturas de Engenharia civil da UENF.



Figura 22 - Prensa Manual Solotest®. Fonte: Próprio autor

Feito os processos ditos anteriormente, com a ruptura dos blocos, Figura 23, faz-se possível o cálculo do valor estimado da resistência característica à compressão do bloco ($f_{bk, est}$) referido à área bruta será obtido pelo método de desvio-padrão (NBR 6136, 2016). A estimativa da resistência à compressão das amostras dos blocos se dá pela equação 3.6.



Figura 23 - Bloco rompido. Fonte: Próprio autor

$$f_{bk,est} = 2 \left[\frac{f_{b(1)} + f_{b(2)} + \dots + f_{b(i-1)}}{i-1} \right] - f_{bi} \quad \text{Equação 3.6}$$

Sendo:

$f_{bk,est}$ a resistência característica estimada da amostra em Mpa;

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

n um número a quantidade de blocos do lote da amostra, se dá, quando par, $i=n/2$, e $i=(n-1)/2$ sendo n de numeração ímpar.

3.3. Argamassa

O presente estudo não teve por objetivo a avaliação da influência do argamassamento na resistência e durabilidade das paredes de alvenaria estrutural. Visto isso a pesquisa não se ateve em grande aprofundamento nessa seção. Entretanto todos os processos descritos por norma foram realizados para confecção e verificação da argamassa de assentamento, assim como foram realizados para os blocos.

Para traço do argamassamento das miniparedes e prismas estudou-se a dosagem de 1:0,5:4,5, sendo, respectivamente, de cimento:cal:areia, adaptada de trabalhos de diferentes autores, como Lima (2019), Pasquali (2007), Izquierdo e Correa (2012), entre outros, que julgaram traços semelhantes adequados para a construção desse tipo de elemento. A argamassa de assentamento é aplicada para união dos elementos. Foi utilizada argamassa do tipo mista, como demonstra a dosagem com a finalidade de maximizar as vantagens proporcionadas pela junção dos diferentes materiais.

3.3.1. Componentes e caracterização dos materiais

Foram utilizados na fabricação da argamassa cimento Portland CP II-E40, cal hidratada CH III, areia lavada natural proveniente do Rio Paraíba do Sul-RJ e água fornecida pela concessionária da cidade de Campos dos Goytacazes.

3.3.1.1. Mistura

A mistura da argamassa utilizada foi feita no misturador, como mostra Figura 29, com o intuito de manter a consistência e as propriedades necessárias da mesma. Como descrito na NBR 13281 (2005) foram realizados os ensaios no estado fresco e endurecido da argamassa.

3.3.2. Ensaio no Estado Fresco

3.3.2.1. Índice de consistência

O índice de consistência se dá a partir da NBR 13276 (2016) onde é medido o espalhamento da argamassa após o lançamento de tronco-de-cone sobre a mesa vibratória de consistência, considerando o limite de consistência de 260 mm. O preenchimento do tronco-cônico é feito em 3 camadas, distribuídas igualmente em alturas iguais e aplicando nelas golpes com soquete sendo eles 15,10 e 5 golpes respectivamente. Posteriormente é feita a retirada do molde na mesa de consistência a qual é acionada por 30 segundos submetendo a argamassa a 30 quedas de 1,0 centímetros, como exemplifica Figura 24.



Figura 24 - Espalhamento na mesa vibratória. Fonte: Próprio autor

3.3.2.2. Retenção de água

A retenção de água é a capacidade que a argamassa possui de reter a água de amassamento quando em contato com uma superfície com capacidade absorvente. Segundo MATA (2006) a capacidade de reter água está relacionada

diretamente consistência da argamassa. Com isso a retenção de água é de extrema importância para que a sua trabalhabilidade seja mantida.

O procedimento para determinação da retenção de água está na NBR 13277 (2005), onde é utilizado um funil de Büchner com uma bomba de vácuo que possibilita o controle da sucção no prato, equipamento da Figura 25. O ensaio é realizado após preparo da argamassa, ou seja, em seu estado fresco.

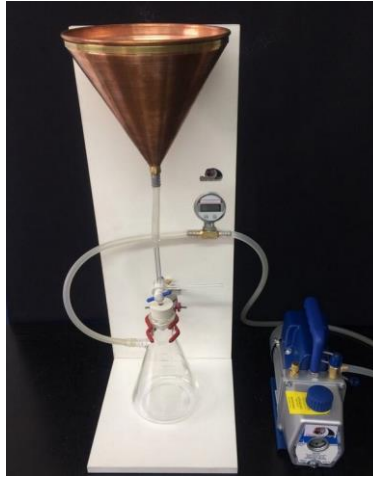


Figura 25 - Sistema de filtração forçada com um funil de Büchner

De início é colocado um filtro de papel levemente umidificado no prato que possui 200mm de diâmetro e aplica-se uma força de sucção de 51 mm da coluna de mercúrio, adicionando posteriormente, a argamassa ao conjunto. O prato é preenchido adensando-se a argamassa com golpes uniformemente distribuídos em sua superfície. Por 15 minutos a argamassa do prato é submetida a sucção do equipamento. Na equação 3.9 se dá o cálculo da retenção de água.

$$R_a = \left[1 - \frac{(m_a - m_s)}{AF (m_a - m_v)} \right] \times 100 \quad \text{Equação 3.7}$$

Sendo R_a é a retenção de água da argamassa, em porcentagem (%), m_a é a massa do conjunto com argamassa, em gramas (g), m_s é a massa do conjunto após a sucção, em gramas (g); m_v é a massa do conjunto vazio, em gramas (g) e AF é o fator água por argamassa fresca dada na Equação 3.8 apresentada abaixo.

$$AF = \frac{m_w}{m_{com} + m_w} \quad \text{Equação 3.8}$$

Com AF sendo o fator água por argamassa fresca, m_w a massa total de água acrescentada à mistura, em gramas (g) e m_{com} a soma das massas dos componentes anidros, em gramas (g).

3.3.3. Ensaio no estado Endurecido

No estado endurecido da argamassa são medidos parâmetros necessários para avaliação tanto da resistência quanto sua durabilidade. São realizados ensaios de Resistência mecânica e Capilaridade, todos em conformidade com a norma de argamassas de assentamento e revestimento dada pela NBR 13281.

3.3.3.1. Resistência mecânica

Visto que a principal solicitação nas paredes de alvenaria são esforços de compressão há uma necessidade de a argamassa ter resistência satisfatória na qual distribua adequadamente as cargas atuantes na alvenaria. Segundo MATA apud. MOHAMAD (2006) a argamassa de assentamento não deve ter resistência maior que a dos blocos de concreto e ainda ressalta que a argamassa deve apresentar resistência maior apenas em idades mais jovens com o intuito de resistir os esforços laterais causados pelo graute de preenchimento.

Foi realizado dentre os ensaios, o de resistência a compressão nas argamassas sendo em corpos de prova prismáticos, em formas metálicas com dimensões de 40 mm de largura, por 40 mm de altura e 160 mm de comprimento. Nas formas foram realizados adensamento aplicando 30 golpes ao corpo de prova qual foi preenchido em duas camadas conforme a NBR 13279 (2005). Para a argamassa foram confeccionados 10 corpos de prova todos de acordo com a NBR 13276 (2016) de mistura e maturação da argamassa como forma de estudo preliminar.

Posterior a confecção dos corpos de prova, os mesmos permaneceram em cura por 28 dias para prosseguimento do processo. Os corpos foram ensaiados por Compressão axial de prova e tração na flexão na prensa a prensa hidráulica EMIC DL 3000 com capacidade de 30 kN.

- Tração na flexão

Inicialmente foi realizado o ensaio de tração na flexão. Neste caso, o corpo de prova foi posicionado sobre suportes cilíndricos, sendo eles dois, distanciados entre si em 100 mm, com o corpo de prova centralizado. Sobre o corpo de prova foi colocado o suporte em seu eixo que aplica a carga característica do ensaio. Na Equação 3.9, é dada a resistência à tração na flexão que se relaciona com carga de ruptura aplicada pela prensa.

$$R_f = \frac{1,5F_f L}{40^3} \quad \text{Equação 3.9}$$

Sendo:

R_f representa a resistência à tração na flexão dada em *Megapascals* (MPa);

F_f é a carga vertical aplicada no centro do prisma, em *Newtons* (N);

L é a distância entre os suportes, em milímetros (mm).

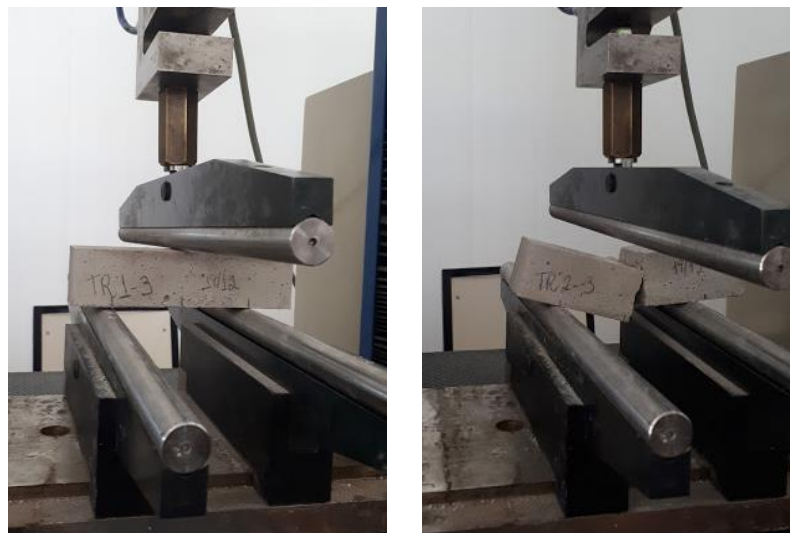


Figura 26 - Ensaio de Tração na flexão

– Compressão axial

Com o ensaio de tração por flexão realizado, Figura 27, foi utilizado uma das partes do corpo de prova resignando-o ao ensaio de compressão axial. A amostra foi submetida a cargas graduais da prensa até sua ruptura, sendo ele posicionado entre duas placas rígidas colocadas no instrumento, sendo a carga aplicada em uma área quadrada limitada de 40 mm de lado. Na equação 3.8 pode-se obter a resistência à compressão com o lançamento da carga de ruptura aplicada pela prensa hidráulica.

$$R_c = \frac{F_c}{40 \times 40} \quad \text{Equação 3.9}$$

Sendo:

R_c a resistência à compressão expressa Megapascals (MPa);

F_c é a carga máxima aplicada, dada Newtons (N).



Figura 27 - Ensaio de compressão axial em argamassa

3.3.3.2. Capilaridade

O ensaio de capilaridade e determinação do coeficiente de capilaridade foi realizado pelo procedimento indicado na NBR 15259 (2005).

Confeccionados corpos de prova prismáticos e deixados em cura por 28 dias suas extremidades foram lixadas, e pesados para obtenção de sua massa seca inicial (m_0). Após execução desse procedimento, os corpos de prova foram colocados com sua face quadrada em contato a água onde seu umedecimento ocorreu apenas em sua face. As medições são feitas em intervalos de 10 minutos cada uma e aferidos todos os valores observados no intervalo sendo feitas 10 pesagens. A absorção por capilaridade é calculada para cada tempo pela Equação 3.9 e é mostrada na Figura 28.

$$A_t = \frac{m_t - m_0}{16}$$

Equação 3.11

Onde:

A_t é a absorção de água por capilaridade para cada tempo em g/cm²

m_t é a massa do corpo de prova para cada tempo expressa em g

m_0 é a massa inicial do corpo de prova também em g.

A diferença da massa do corpo de prova aos 90 minutos pela massa do corpo de prova aos 10 minutos exprime o coeficiente de capilaridade para cada corpo de prova é dado pela

$$C = (m_{90} - m_{10}) \quad \text{Equação 3.12}$$

Sendo C é o coeficiente de capilaridade dado em $\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$.



Figura 28 - Ensaio de capilaridade

3.4. Graute

Para grauteamento das vigas de alvenaria estrutural foram estudadas preliminarmente vários traços de concreto leve, convencional, com aditivo de incorporador de ar e argila expandida. As dosagens dos concretos partiram dos traços apresentados por Pereira (2018) e de canteiros de obras visitados da região de Campos dos Goytacazes. Os traços foram adaptados e os mais satisfatórios para a pesquisa foram utilizados como graute das vigas de alvenaria estrutural. O concreto com agregado leve contendo argila expandida e incorporador de ar e o convencional utilizado para comparação. Na Figura 29 são apresentados corpos de prova de estudos preliminares para escolha do traço adequado.

Nessa etapa foram testadas as dosagens levando-se em consideração a relação a/c dos traços convencionais, para fixar quantidade de cimento dos tipos de graute. Os corpos de prova foram moldados de acordo com a NBR 5738 (2008).

Preliminarmente foram estudadas as dosagens de cada traço de concreto utilizado como graute. Nessa análise foram confeccionados grautes convencionais,

concretos com aditivo incorporador de ar incorporador de ar, concretos com agregados de baixa densidade e graute com agregado leve e incorporador de ar.

No concreto convencional foram feitas dosagens com e sem cal hidratada, mudando assim o teor de cal incorporado à mistura. Para escolha do concreto leve foram confeccionados corpos de prova de 3 diferentes tipos, sendo escolhido o graute com agregado leve e incorporador de aditivo. Nesse modelo foram estudadas dosagens alterando o percentual de incorporador de ar inserido no sistema. Para cada tipo de concreto estudado eram feitos por traço 06 corpos de provas, sendo ensaiados 02 por vez, para prova e contra-prova, nas idades de 07, 14 e 28 dias.

Os materiais utilizados foram cimento Portland, areia, água, brita, argila expandida e incorporador de ar. Foram realizados os ensaios de composição granulométrica, módulo de finura, absorção de água, massa específica e massa unitária nos materiais areia, brita e argila expandida.



Figura 29 - Verificação da resistência a compressão, estudo do graute ideal

Os concretos foram confeccionados a partir da norma especificada para misturas cimentícias, utilizando betoneira como equipamento misturador, com diferença apenas em suas dosagens e materiais. Posteriormente os corpos de prova foram submetidos a ensaios de compressão para aferir valor referente a sua resistência, assim como demonstra Figura 30.

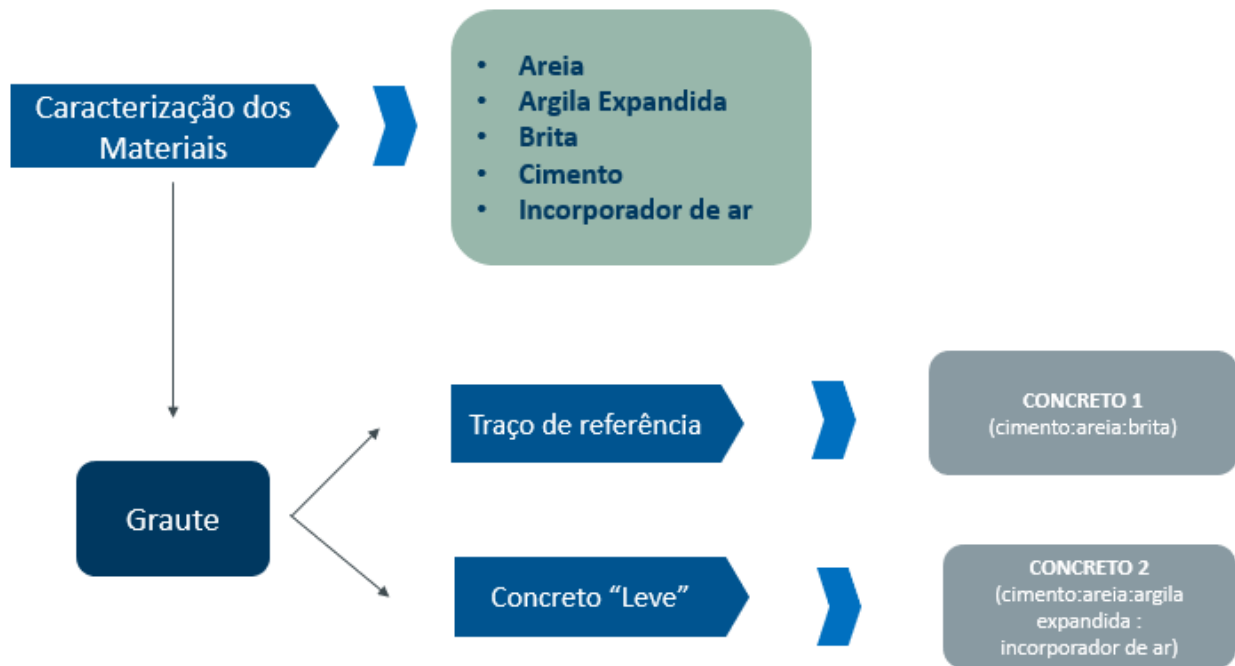


Figura 30 - Fluxograma do processo de dosagens e confecção do grauteamento.

3.4.1. Materiais

Nessa seção serão apontados os materiais utilizados em cada um dos concretos referentes ao graute de preenchimento das vigas de alvenaria estrutural.

3.4.1.1. Concreto Convencional

- Aglomerante

Como aglomerante principal foi utilizado cimento Portland CP II E 40, da marca Votoran “Obras estruturais”. A escolha do cimento foi de acordo com a disponibilidade do mercado regional, suas características e incidência de utilização nas obras.

- Agregados

No concreto convencional foram utilizados tanto agregados graúdos como miúdos. Como agregado graúdo utilizou-se brita 0 e como miúdo areia proveniente do rio Paraíba do Sul. A análise granulométrica da areia foi determinada de acordo com a NBR 7211 (2009).

- Água

A água utilizada na mistura é proveniente da rede de abastecimento da cidade de campos dos Goytacazes da empresa Águas do Paraíba.

- Cal

A cal utilizada na composição foi do tipo Hidratada CH III da marca Votoran.. A escolha desse aglomerante foi dada pela utilização desse tipo de cal em pesquisas anteriores e pela sua disponibilidade e usabilidade na região onde a pesquisa se insere.

3.4.1.2. Concreto Leve

- Aglomerante

Como aglomerante, no concreto com agregados leves, também foi utilizado cimento Portland CP II E 40, da marca Votoran “Obras estruturais”. Todos os traços foram analisados com o mesmo tipo de cimento para fins de comparação.

- Agregados

Os agregados utilizados foram do tipo leve a argila expandida da CINEXPLAN, do tipo 1506 e LAM 2,5 e areia de finura média proveniente do Rio Paraíba do Sul.

- Água

A água utilizada na confecção do concreto leve também foi fornecida pela empresa Águas do Paraíba, responsável pela rede de abastecimento da cidade de Campos dos Goytacazes.

- Incorporador de ar

O aditivo incorporador de ar utilizado na pesquisa foi PRÉ-ADI PLUS da Aditibrás mostrado na Figura 32. O aditivo foi escolhido visto suas propriedades múltiplas de incorporação de ar tanto em concretos quanto em argamassas.



Figura 31 - Incorporador de ar. Fonte: Próprio autor

3.4.2. Traços

Foram realizados estudos para escolha de um traço satisfatório dos concretos que utilizados no estudo das vigas grauteadas. Um quantitativo de 12 traços de graute tanto leve quanto convencional foram estudados até chegar a um traço que melhor atendesse a proposta da pesquisa. Os dois tipos de concreto de grauteamento não possuem resistência a compressão elevada, sendo o concreto leve de baixa resistência comparado a resistência do convencional. Para todos concretos foram realizados ensaios de resistência a compressão e os traços escolhidos foram submetidos a ensaio de consistência, resistência a 7, 14 e 28 dias e massa específica.

3.5. Miniparedes

Para o estudo foram construídas 09 miniparedes, sendo divididas em 03 modelos diferentes, como é observado na Figura 33, com o intuito de comparar sua resistência última, modo de ruptura, fissuras e rompimento.

Foram construídas miniparedes com e sem viga de alvenaria estrutural. As confeccionadas com vigas, formadas por blocos do tipo canaleta, foram grauteadas com dois tipos de graute diferentes. Para grauteamento foi constituído um traço de concreto convencional e outro de concreto de baixa resistência e baixa densidade, também chamado nesse projeto de concreto leve ou graute leve.

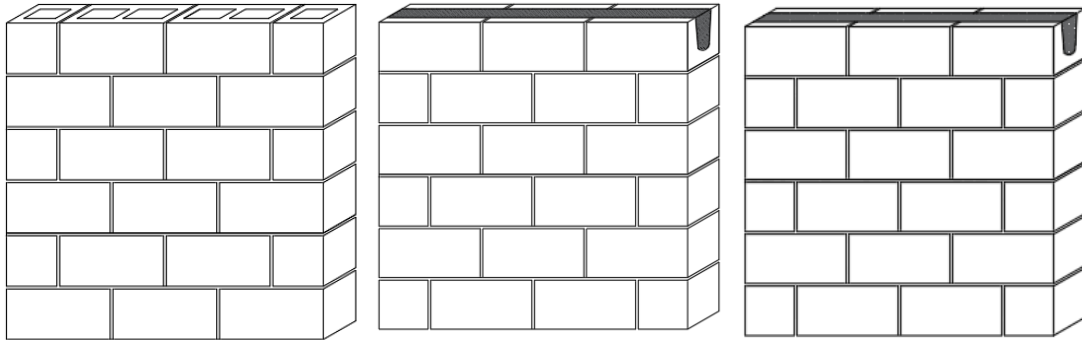


Figura 32 - Esquema das Miniparedes

O assentamento dos blocos foi realizado por cordão de argamassamento do tipo total, realizado com colher de pedreiro utilizando nível e pruma para elevação da alvenaria, como exemplifica Figura 34.



Figura 33 - Construção das Paredes. Fonte: Próprio autor

As miniparedes foram compostas por 06 fiadas de 03 blocos de concreto inteiros, ou 02 blocos inteiros e 02 de meia dimensão. As dimensões das paredes serão quadradas medindo 119 cm de altura e 119 cm de lado. Sua espessura é de 14 cm, a largura do bloco de concreto utilizado

3.5.1. Miniparedes sem viga

Foram construídos 03 miniparedes do tipo sem vigas. Esse tipo de miniparede será utilizado como referência para comparação das demais paredes. O modelo de parede sem viga (PSV) é demonstrado na Figura 35.

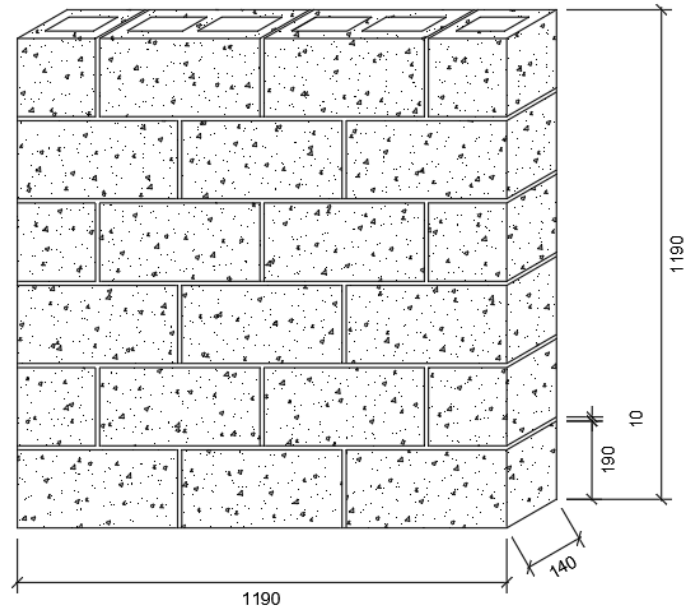


Figura 34 -Modelo Miniparede sem viga, dimensões em milímetros. Fonte: Próprio autor

Na elevação das miniparedes foram argamassadas as bases do suporte de transporte. A primeira, terceira e quinta fiadas foram constituídas apenas de blocos inteiros, não utilizando, assim, de blocos de meia. As fiadas de número 2, 4 e 6 apresentaram blocos de meia para auxiliar na amarração e blocos inteiros. As Figuras 36 e 37 exemplificam como foi distribuído esse processo de construção das paredes sem viga.

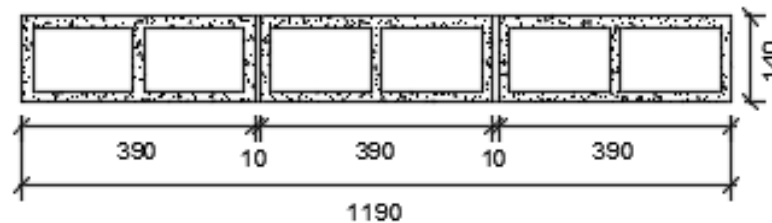


Figura 35 - 1ª, 3ª e 5ª fiadas das miniparedes sem viga. Fonte: Próprio autor

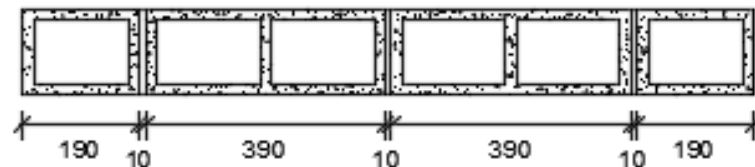


Figura 36 - 2ª, 4ª e 5ª fiadas das miniparedes sem viga. Fonte: Próprio autor

Foram construídos 03 corpos de prova desse tipo para análise dos resultados após aplicação do ensaio. Após cura de 28 dias de cada uma das paredes é feito um capeamento com cimento e água com a finalidade de nivelar o corpo de prova para o ensaio.

3.5.2. Miniparedes com vigas

Os corpos de prova em forma de paredes em tamanho reduzido com vigas foram construídos de maneira semelhante as miniparedes sem o elemento de cintamento, como segue na Figura 38.

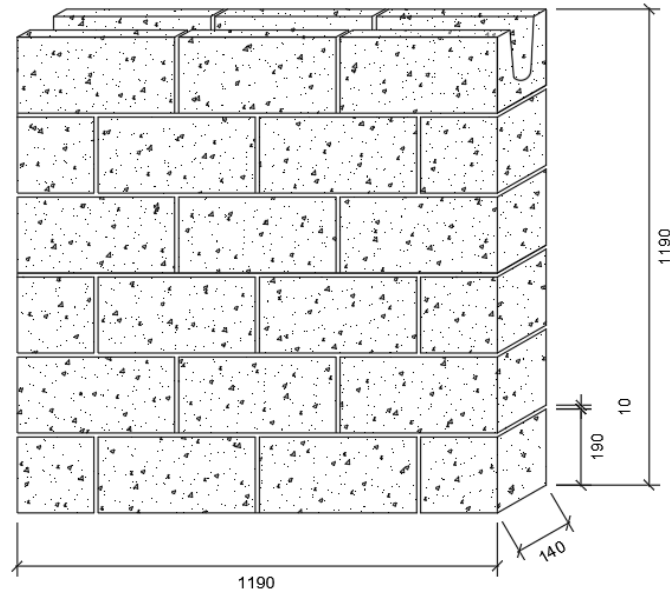


Figura 37 - Modelo Miniparede sem viga, dimensões em milímetros. Fonte: Próprio autor

A primeira, terceira e quinta fiada foram construídas com blocos de meia e blocos inteiros já que se reservou a última fiada, como mostra a Figura 39, para a viga de alvenaria estrutural que é composta por blocos inteiros do tipo canaleta. A segunda e quarta fiada são de blocos do tipo inteiros.

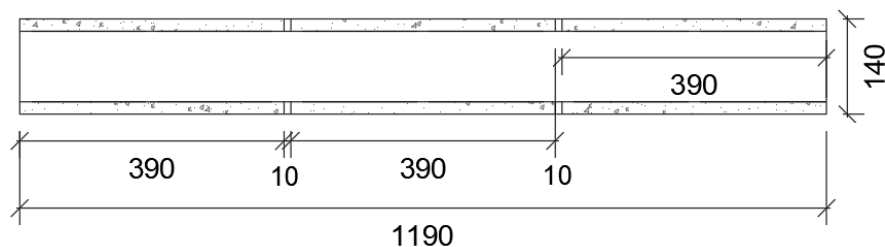


Figura 38 - Viga de alvenaria estrutural construídas com blocos do tipo canaleta. Fonte: Próprio autor

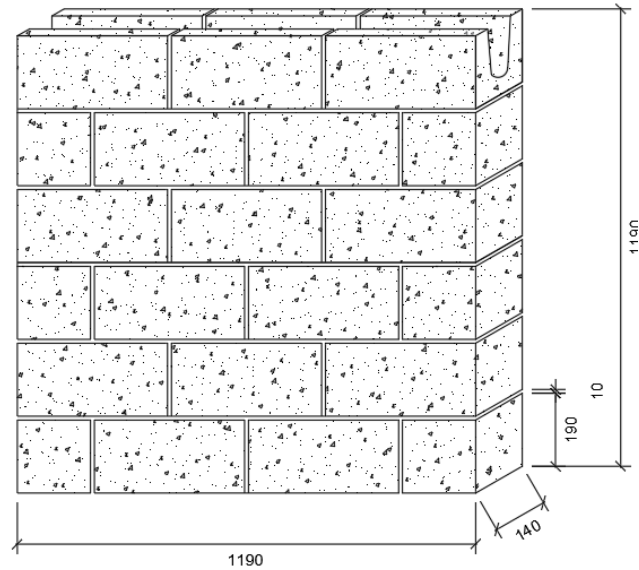


Figura 39 – Miniparede com viga, dimensões em mm. Fonte: Próprio autor

Para concretagem das vigas foram utilizadas tábuas de madeirite para fechamento lateral com a finalidade de reter o concreto. Na figura 41 é mostrado o esquema de montagem da concretagem com os dois grautes.

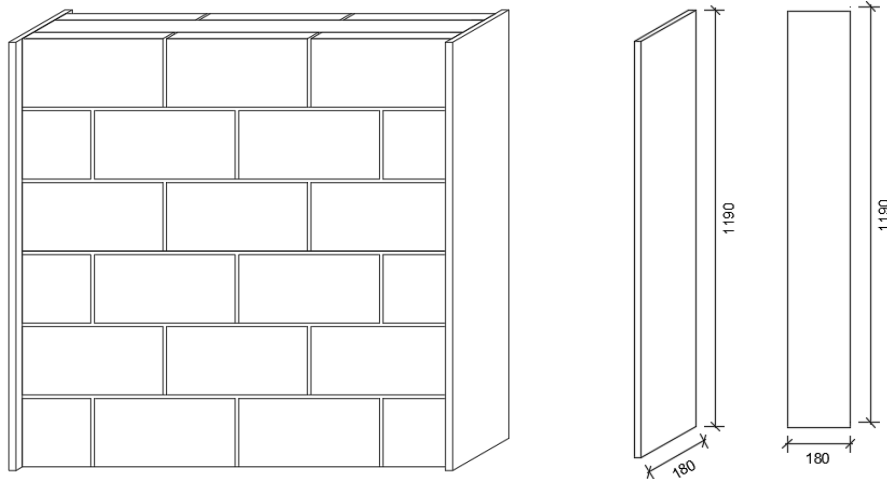


Figura 40 - Fechamento lateral das paredes para concretagem. Fonte: Próprio autor

3.5.3. Montagem das paredes

A montagem das miniparedes foi feita sobre a chapa de suporte de aço com a finalidade de posterior transporte após a montagem das paredes. A primeira fiada de blocos de concreto será composta por 3 blocos inteiros, seguidos por uma próxima fiada composta por 2 blocos de meia e 2 inteiros intercalados para compor a

amarração da parede. O argamassamento terá aproximadamente 1 cm de espessura tanto no sentido vertical quanto no sentido horizontal. Em prosseguimento do levantamento da parede serão intercalados esses dois tipos de layout até chegar a 6 camada a qual será composta pela viga de alvenaria estrutural composta por 2 blocos de meia e 2 blocos inteiros ambos do tipo canaleta.

Após término de montagem da parede foram posicionadas madeiras nas laterais das paredes a fim de fechamento para concretagem do concreto de grauteamento. Por fim é feita a concretagem das canaletas e colocadas as paredes para cura de 28 dias como diz a norma. A montagem das paredes é exemplificada na Figura 42.

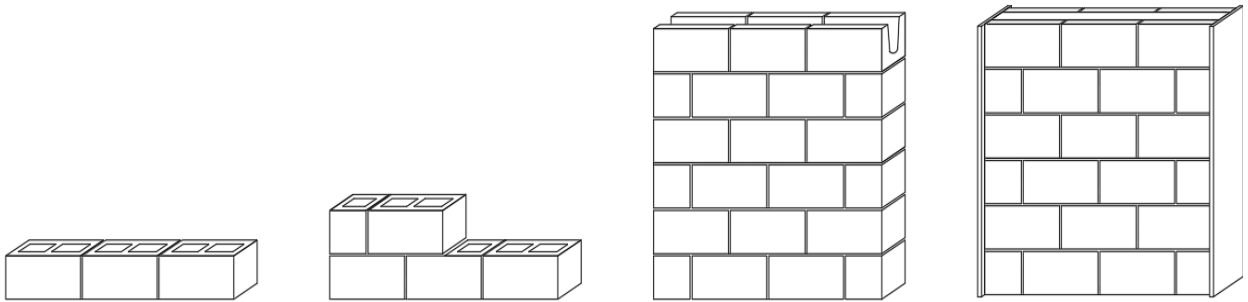


Figura 41 - Levantamento da parede. Fonte: Próprio autor

3.5.4. Grauteamento das paredes

No fim da elevação das paredes com vigas de alvenaria estrutural em suas laterais foram colocadas madeiras com a dimensão da largura do bloco para fechamento lateral proporcionando que o graute não saia da canaleta. Com isso foram preenchidas o espaço feito com os blocos canaletas construindo assim as vigas. Este processo é demonstrado nas Figuras 43 e 44.



Figura 42 - Parede com viga. Fonte: Próprio autor



Figura 43 - preenchimento das vigas. Fonte: Próprio autor

3.5.5. Capeamento das paredes

Ao fim das montagens das miniparedes foi feito um capeamento com dosagem apropriada de concreto para regularização da superfície onde será recebido os elementos para aplicação das cargas. O nivelamento, como mostra Figura 45, foi realizado para que não tenha desnível no corpo de prova com auxílio de guias metálicas e nível.



Figura 44 – Capeamento das paredes. Fonte: Próprio autor

3.5.6. Movimentação e locomoção das Miniparedes

As miniparedes foram construídas numa base de metal, como mostra a Figura 56, com o intuito de facilitar a sua locomoção até os atuadores hidráulicos da prensa. Essas bases são construídas de metal com perfis metálicos U de 3/16" contendo cantoneiras soldadas em sua lateral. Para travamento suas extremidades foram compostas por hastes com parafusos rosqueados para encaixe da guia superior, parte integrante do sistema de transporte das miniparedes, exemplificado na Figura 46 e 47, apoio para o içamento da miniparedes até a prensa e armazenamento.

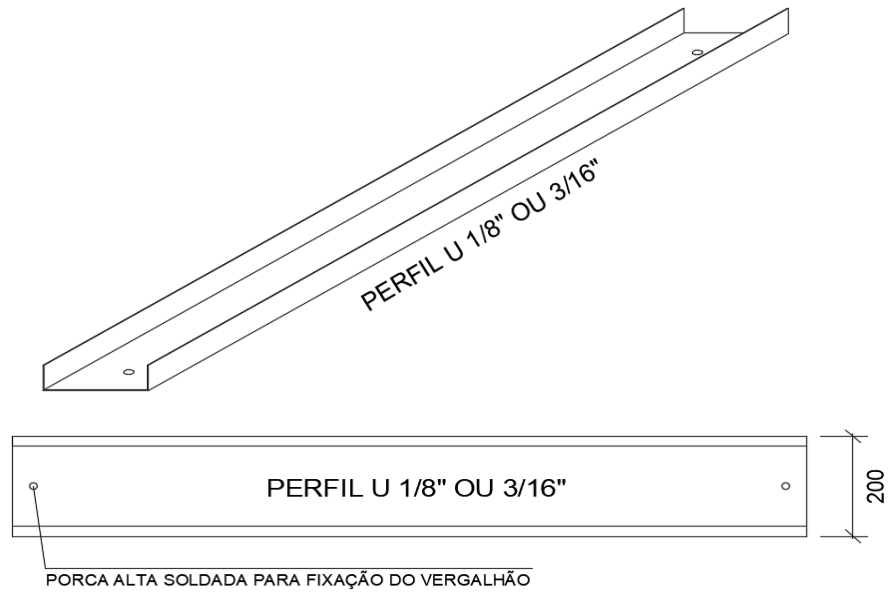


Figura 45 – Base/suporte. Fonte: Próprio autor

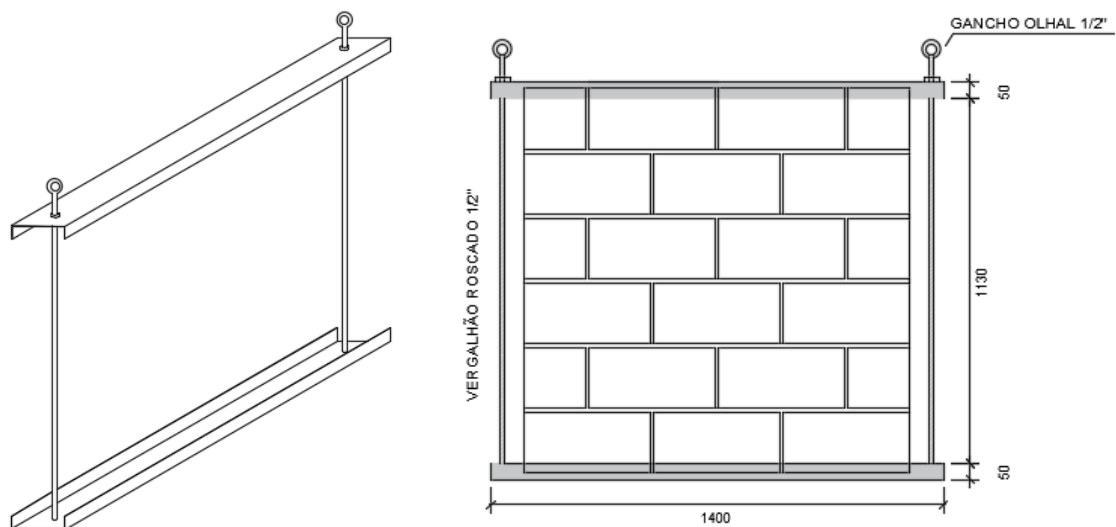


Figura 46 - Suporte para Miniparedes. Fonte: Próprio autor

A movimentação e locomoção dos corpos de prova do tipo miniparedes foram feitas através da ponte rolante instalada no Laboratório de estruturas da instituição que contém uma talha e um gancho para içamento e do suporte de aço construído para essa finalidade. O sistema de transporte foi idealizado por LIMA (2019) que estudou o padrão de argamassas em miniparedes, como mostra Figura 48.

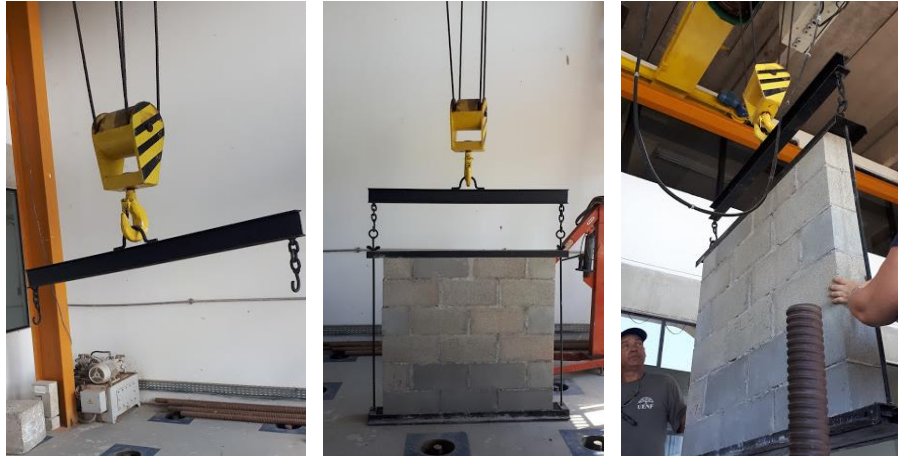


Figura 47 - Içamento das paredes. Fonte: Próprio autor

3.6. Prismas

Em consonância com a NBR 16522 (2016), foram confeccionados 9 prismas de dois blocos cada um. Os prismas foram feitos conforme grauteamento das paredes. Grauteados com concreto leve, convencional e sem graute. Os prismas têm as dimensões de 14cmx19cmx39cm, argamassados, construídos no prumo e nível, como demonstra Figura 49 e Figura 50.

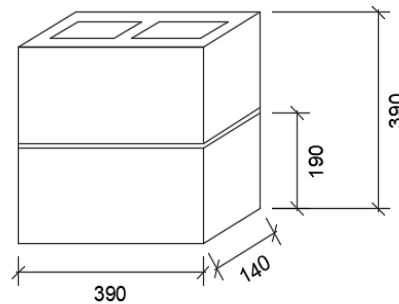


Figura 48 – Esquema prisma de duas fiadas. Fonte: Próprio autor



Figura 49 – Prismas. Fonte: Próprio autor

3.7. Ensaaios

Nos elementos acima citados, prismas e miniparedes, foram realizados, conforme determina a norma, ensaios de resistência a compressão com a finalidade de obter os resultados de carga última e deslocamentos nas determinadas direções dos elementos. O esquema disposto na Figura 51 demonstra o equipamento utilizado para ensaio das paredes e prismas.

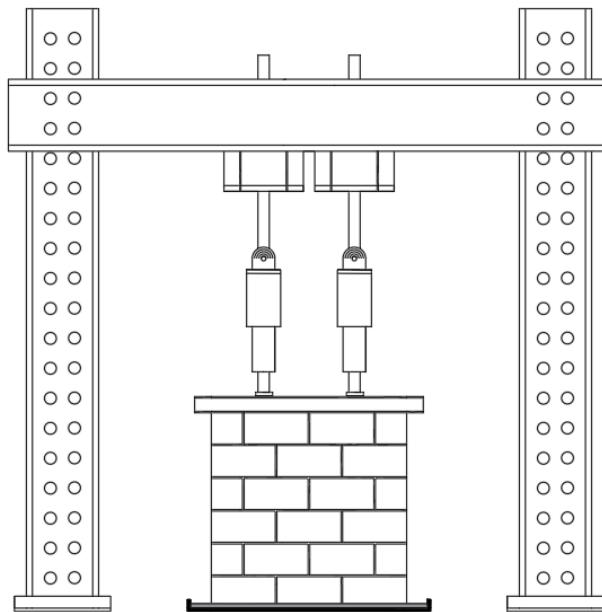


Figura 50 - Modelo do sistema hidráulico para ensaio a compressão. Fonte: Próprio autor

Tanto os prismas quanto as miniparedes foram ensaiadas após 28 dias de cura. Para ruptura dos corpos de prova foi utilizada a prensa hidráulica MTS® localizado na laje de reação do laboratório de estruturas de engenharia civil da Universidade, com dois atuadores hidráulicos do modelo 661.23F-01 com capacidade de carga de 500kN cada um, sendo os prismas ensaiados com apenas um atuador.

3.7.1. Ensaaios a compressão em Paredes

Após cura apropriada dos corpos de prova de 28 dias, as 09 miniparedes foram submetidas a ensaio de compressão com instrumentação adequada para aquisição de dados do comportamento de deslocamento. Os corpos de prova foram posicionados na direção dos atuadores mecânicos da prensa hidráulica nos quais foram colocados um perfil metálico e uma chapa resistente para distribuição das cargas dos 2 pistões conforme Figura 52.



Figura 51 - Ensaio em Miniparedes. Fonte: Próprio autor

3.7.2. Ensaio a compressão em Prismas

Os 09 prismas também foram submetidos a ensaio de compressão no mesmo equipamento, sendo utilizado, porém, apenas um dos atuadores do sistema hidráulico, como mostra Figura 53. Os corpos de prova foram colocados numa base apropriada sem movimentações, centralizado ao pistão e nivelado à superfície com uma chapa metálica resistente em sua face superior para distribuição uniforme das cargas.



Figura 52 - Ensaio em Prismas. Fonte: Próprio autor

3.8. Instrumentação

Para determinação de diversos outros parâmetros como deslocamento das vigas e das paredes por exemplos, foram utilizados, conforme determinação da NBR 16522 (2016), transdutores lineares do modelo PY2-F-050-S01M e marca Gefran para medição a deformação. A aquisição de dados foi feita, além dos dados disponibilizados do equipamento da prensa MTS de carga e deslocamento do pistão,

por um aquisitor de dados, SIAD Metrolog, que captura as informações dos transdutores lineares com auxílio de um microcomputador, como mostra Figura 54.



Figura 53 - Aquisição de dados. Fonte: Próprio autor

3.8.1. Instrumentação das Miniparedes

Para instrumentação das miniparedes foram utilizados um de 6 transdutores lineares os quais foram situados em sua lateral esquerda e direita, na parte frontal e posterior e dois estendidos na parte frontal posicionados verticalmente como mostra Tabela 11 e Figuras 55 e 56 e fixados com massa plástica auxiliados com cantoneiras metálicas. Os dados foram compensados pelo aquisitor de dados Metrolog SIAD auxiliado por um computador.

Tabela 11 - Relação dos LVDT's e seu posicionamento nas Miniparedes. Fonte: Próprio autor

TRANSDUTOR LINEAR	POSICIONAMENTO
LVDT-1	Lateral esquerda
LVDT-2	Lateral direita
LVDT-3	Vertical frontal direita
LVDT-4	Vertical frontal esquerda
LVDT-5	Frontal
LVDT-6	Posterior

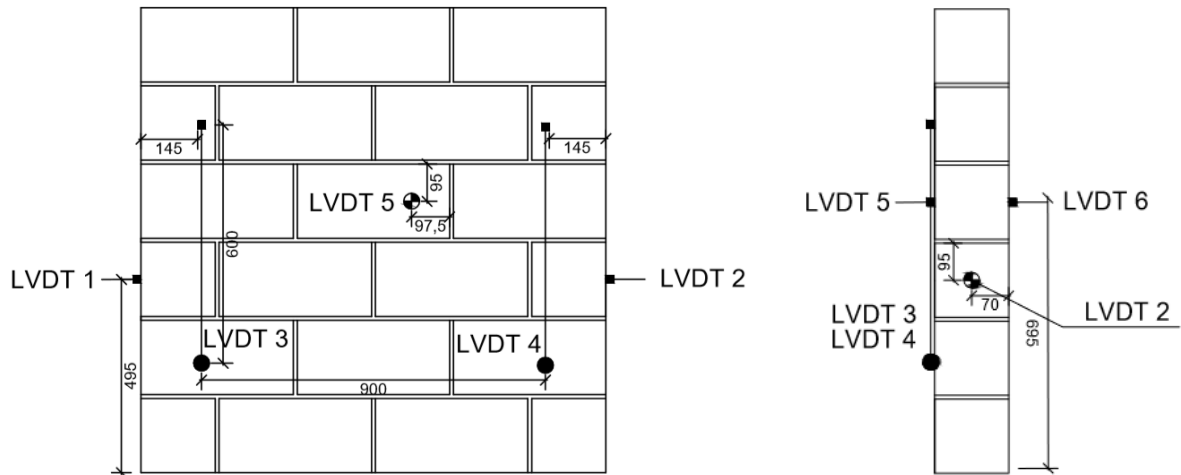


Figura 54 - Instrumentação Miniparedes, vistas frontal e lateral direita. Fonte: Próprio autor

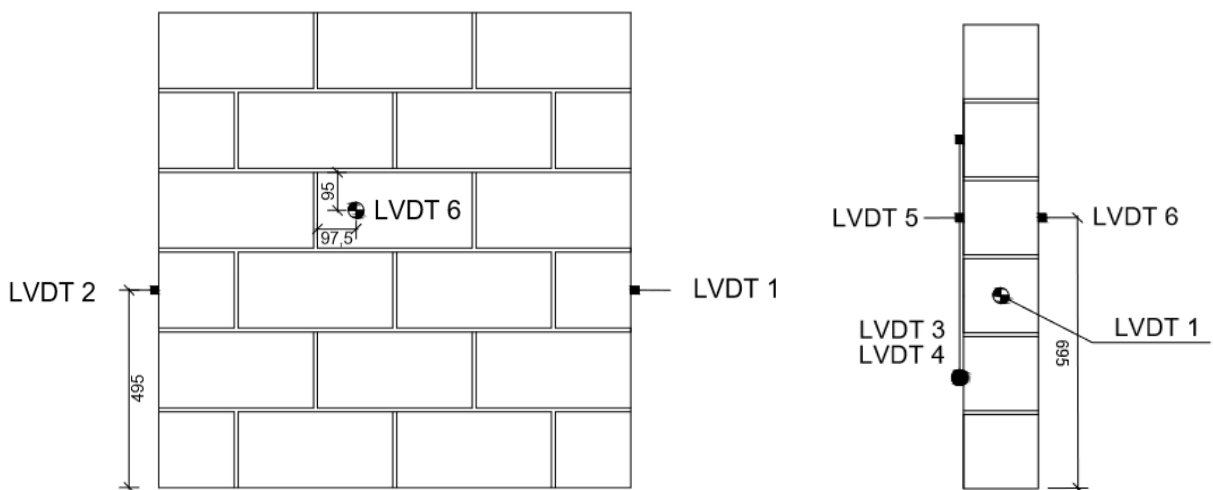


Figura 55 - Instrumentação Miniparedes, vistas posterior e lateral esquerda. Fonte: Próprio autor

Os transdutores lineares, em parte, também conhecido como LVDT's (*Linear Variable Differential Transformer*), foram anexados a uma cantoneira metálica e posteriormente colocadas nos corpos de prova com massa adesiva plástica. Alguns outros LVDT's foram fixados a bases magnéticas os quais foram posicionados nos devidos locais como demonstra a Figura 57 baseados na normativa e em trabalhos relacionados.

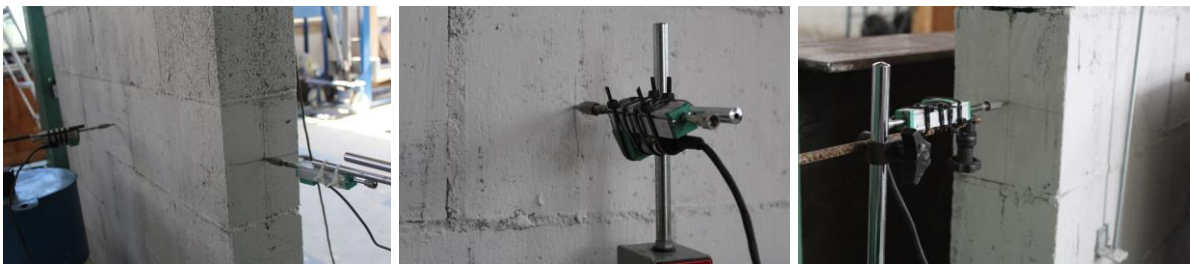


Figura 56 – Instrumentação. Fonte: Próprio autor

3.8.2. Instrumentação dos Prismas

Na instrumentação dos prismas também foram utilizados 6 LVDT's em pontos estudados e determinados anteriormente para extração de resultados significativos a pesquisa. Os transdutores foram posicionados em suas laterais, direita e esquerda, frontal, tanto vertical quanto na face, e posterior, de modo vertical e na face como demonstra a Tabela 12 e as Figuras 58 e 59.

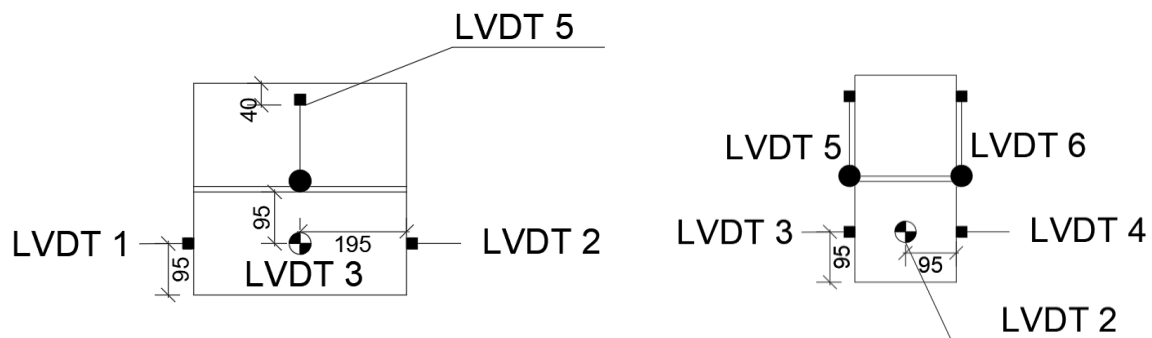


Figura 57 - Instrumentação Prismas, vistas frontal e lateral direita. Fonte: Próprio autor

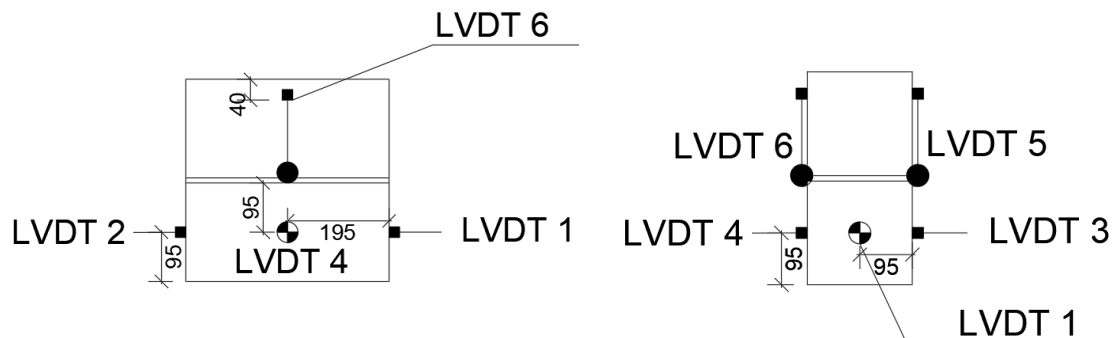


Figura 58 - Instrumentação Prismas, vistas posterior e lateral esquerda. Fonte: Próprio autor

Tabela 12 - Relação dos LVDT's e seu posicionamento nos prismas. Fonte: Próprio autor

TRANSDUTOR LINEAR	POSICIONAMENTO
LVDT-1	Lateral esquerda
LVDT-2	Lateral direita
LVDT-3	Frontal
LVDT-4	Posterior
LVDT-5	Vertical frontal
LVDT-6	Vertical posterior

Os transdutores lineares foram anexados de forma idêntica às paredes, utilizando de bases magnéticas e de cantoneiras metálicas.



Figura 59 - Instrumentação Prismas. Fonte: Próprio autor

CAPÍTULO IV – RESULTADOS

4.1. Blocos

O presente trabalho não teve como intuito e objetivo a comparação de diferentes fábricas de blocos, marcas e modelos existentes no mercado. Os blocos utilizados na pesquisa foram escolhidos de acordo com LIMA (2019) que estudou diferentes marcas de blocos estruturais da cidade de Campos dos Goytacazes para aceitação dos produtos para inclusão na pesquisa.

4.1.1. Análise Dimensional

Já considerando a escolha da fábrica que atende as especificações de norma, foram feitas, para aceitação do lote utilizado na pesquisa, análises dimensionais nos blocos com a utilização de uma amostra, como determina NBR 6136 (2016). Para blocos de classe B com dimensão de 140 mm de largura a espessura mínima das paredes longitudinais e transversais é de 25 mm, sendo o diâmetro dos furos maior ou igual a 70 mm. Ao observar os dados da Tabela 13 é possível perceber que os componentes da fábrica atendem aos requisitos normativos exigidos pela NBR 6136 (2016), sendo classificados em Classe A, B ou C.

Tabela 13 - Dimensões médias do lote dos blocos de concreto empregados na pesquisa. Fonte: Próprio autor

Tipo	Dimensões	Bloco Inteiro (mm)	Meio Bloco (mm)	Bloco Canaleta(mm)
Largura, Comprimento e Altura	Largura	140,37	140,37	140,22
	Comprimento	390,74	189,78	390,63
	Altura	190,50	190,50	190,50
Espessura	Parede longitudinal	27,28	27,05	27,28
	Parede transversal	25,79	25,77	25,82
Dimensões dos furos	Longitudinal	147,07	147,07	-
	Transversal	74,7	74,7	-

Com os resultados da análise percebe-se que as variações das medidas são pequenas, se enquadrando para utilização e aplicação na pesquisa.

4.1.2. Propriedades físicas dos blocos

Para verificação do lote dos blocos inseridos na pesquisa também foram realizados como ensaios preliminares de aceitação do produto ensaios de caracterização física dos blocos. Os ensaios para obtenção de área bruta, líquida, absorção de água e teor de umidade foram realizados conforme NBR 6136 (2016) e seus resultados médios estão expostos na Tabela 14.

Tabela 14 - Propriedades físicas dos blocos de concreto das fábricas do Norte Fluminense, em média.
Fonte: Próprio autor

Ensaio	Bloco Inteiro	Meio Bloco	Bloco canaleta
Área bruta (mm ²)	54892,46	26461,86	54313,74
Área líquida (mm ²)	30149,30	11610,18	33,517,64
Área líquida / Área bruta (%)	54,92	43,86	61,71
Absorção de água (%)	9,79	7,23	8,12
Teor de umidade (%)	11,09	27,24	13,17

Como resultados tem-se que a relação entre a área líquida e a área bruta de ambos os blocos é menor que 75% o que cumpre rigorosamente a exigência da NBR 6136 (2016). Já em relação ao teor de umidade os blocos do lote escolhido para análise tiveram valores expressos na faixa de (25±15) % preconizada, também, pela NBR 6136 (2016). Quanto a absorção de água tem-se os valores em torno de 8 %, classificando os blocos como classe C ou B.

Verificando as análises feitas pode-se concluir a aceitação do lote de blocos quanto as propriedades físicas.

4.1.3. Resistência à compressão dos blocos de concreto

Para aceitação do lote de blocos recebidos da fábrica para utilização na pesquisa de paredes de alvenaria estrutural com vigas grauteadas foi executado o ensaio de resistência a compressão. A verificação foi feita comparando os resultados fornecidos pela fábrica fornecedora, a norma regulamentadora e os resultados obtidos na realização do ensaio na prensa manual e hidráulica localizadas no laboratório de estrutura da universidade. A Tabela 15 apresenta os resultados da resistência à compressão dos diferentes blocos utilizados na pesquisa.

Tabela 15 - Resultados da resistência à compressão dos blocos de concreto. Fonte: Próprio autor

Tipo	Resistência - área bruta (f_{bkest}) (MPa)	Resistência - área líquida (f_{bkest}) (MPa)	Resistência média - área bruta (f_{bm}) (MPa)	Desvio Padrão (Sd) (MPa)	Coefficiente de Variação (CV) (%)	Módulo de elasticidade E_b (MPa)
Bloco inteiro	6,22	12,77	7,38	0,97	13,08	10512,59
Meio bloco	7,26	13,51	8,41	0,69	8,26	8232,57
Bloco Canaleta	5,76	10,25	6,32	0,73	9,24	9572,62

Analisando os resultados obtidos foi observado que a resistência dos blocos variou numa faixa entre 4,0 e 8,0 MPa sendo aptos a ser utilizados e classificados como Classe B mesmo com um desvio padrão acentuado nos resultados.

O módulo de elasticidade dos blocos utilizados foi determinado em consonância com a ACI-building code 318 (1999).

Na Figura 61 é observado o modo de ruptura apresentado pelos blocos submetidos à compressão, tipo de ruptura cônica quando se trata de compressão do corpo-de-prova confinado nas extremidades (MATA, 2006).



Figura 60 - Ruptura dos Blocos de concreto. Fonte: Próprio autor

4.2. Argamassa de assentamento

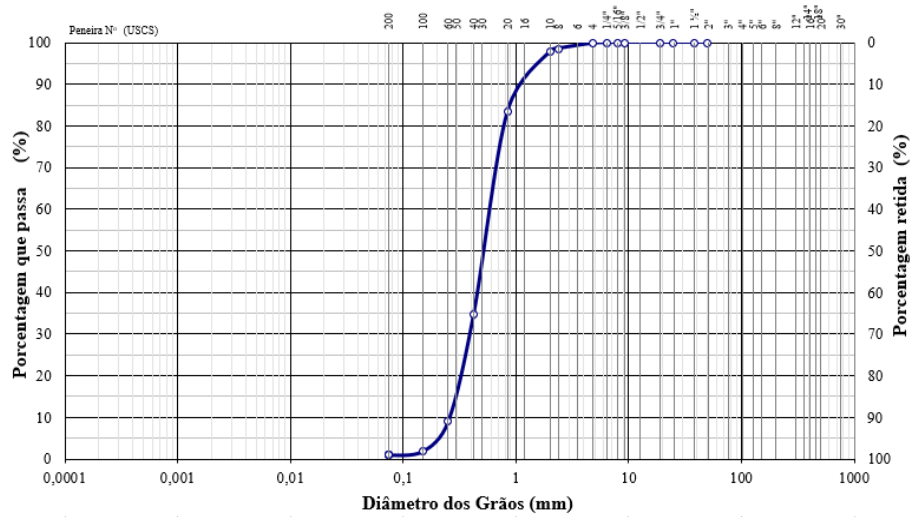
O presente trabalho não teve como objetivo analisar a influência da argamassa ou dos tipos de argamassamento no assentamento dos blocos nas paredes e prismas. Entretanto, para maior compreensão dos resultados, foram feitas análises na argamassa e nos seus componentes. Em relação ao estudo de LIMA (2019), a

dosagem da argamassa utilizada no presente trabalho, apresentou maior resistência que a utilizada em seu estudo. Tal escolha foi realizada com a finalidade de futuras comparações quanto a diferença entre modelos com argamassamento de diferentes resistências.

4.2.1. Caracterização dos materiais

4.2.1.1. Areia

Para produção da argamassa de assentamento utilizada em toda a pesquisa foi utilizada areia lavada do rio paraíba do sul comercializada no comércio a varejo local. A Figura 62 mostra a curva granulométrica do agregado miúdo.



ABNT	Argila	Silte	Areia			Pedregulho			Pedra	Matacão
			fina	média	grossa	fino	média	grossa		
USCS	Argila	Silte	Areia			Pedregulho				
			fina	média	grossa	1	2	3	4	
MIT	Argila	Silte	Areia			Pedregulho				
			fina	média	grossa					

Figura 61 – Granulometria Areia proveniente do rio Paraíba do Sul

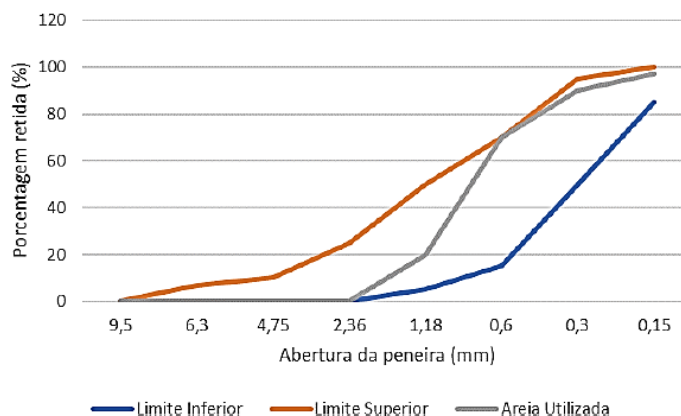


Figura 62 - Comparação da porcentagem retida da areia utilizada com a NBR 7211 (2009).

Com os resultados observados na Figura 62 e na Tabela 16 pode-se aferir que a areia apresenta, aproximadamente, 42% de areia grossa, 50% de areia média e 5 % de areia fina, além dos percentuais aproximados de 2% de pedregulho e 1% de silte.

Já na Figura 63 é possível observa que a areai utilizada está na faixa adequada para confecção das argamassas.

Tabela 16 - Tabela Areia proveniente do rio Paraíba do Sul

Pedregulho			Areia			Silte	Argila	Classificação (USCS)
Grosso	Médio	Fino	Grossa	Média	Fina			
-	0,1	2,1	42,2	50,1	4,7	0,7	-	SP

A massa específica da areia em questão é 2,63 g/cm³ e seguiu os procedimentos da NBR NM 45 (2006).

4.2.1.2. Água

Foi realizada uma análise físico-química da água utilizada na produção da argamassa de assentamento dos blocos. A água foi coletada no local de utilização e fabricação das paredes e prismas, no laboratório de estruturas do LECIV/UENF, sendo realizada a análise completa dos componentes encontrados na mesma. A concessionária responsável pela distribuição de água na região é a Águas do Paraíba. Na Tabela 17 são dispostos os resultados da análise.

Tabela 17 - Resultados da análise físico-química da água.

Tipo	Valor detectado	Limite aceitável para utilização em argamassas e concretos.
Flúor (mg/L)	0,77	até 1,5
Magnésio (mg/L)	0	até 1,0
Ferro (mg/L)	0	até 1,0
Alumínio (mg/L)	0	até 1,0
Cloro (mg/L)	0,78	0,2 até 2,0
Turbidez (uT)	0,52	até 5,0
Cor (uH)	2	até 15
Ph	6,84	6,0 a 9,5

Com os resultados obtidos é observado que a água apresenta Ph de aproximadamente 7,0, maior que 5,0 que é o ideal para uso em argamassas e concretos segundo a NBR 15900-1 (2009).

4.1.1.3. Caracterização da mistura

Para definição da dosagem do traço do assentamento dos blocos nas paredes e prismas foram realizados os ensaios das massas unitárias da areia, do cimento e da cal para a determinação da proporção em massa de cada material.

– Cal

A cal utilizada foi a Votoran do tipo Hidratada CH-III fornecida nos comércios locais da cidade de Campos dos Goytacazes. A escolha da cal CH-III foi feita de acordo com pesquisas anteriores que apontam que esse tipo de aglomerante pois além da região possui um alto grau de finura, conferindo a argamassa uma maior trabalhabilidade e sua quantidade presente de anidrido carbônico (CO₂) que é menor que as outras opções do mercado (GONÇALVES, 2011).

Tabela 18 - Composição química da Cal Hidratada CH-III - GONÇALVES, 2011

Composição	CaO	MgO	SiO ₂	K ₂ O	SO ₃	Fe ₂ O ₃	SrO	ZrO ₂
Cal Hidratada	95,70	-	1,65	1,21	0,89	0,28	0,26	0,01

A massa específica da cal é de 2,31 g/cm³ e o procedimento para aferição seguiu os métodos estabelecidos pela NBR 16605 (2017).

– Cimento

O cimento utilizado na pesquisa foi o do tipo CP-II também da marca Votoran, modelo Todas as obras, tipo de cimento mais utilizado para trabalhos com alvenaria na região. A escolha do determinado aglomerante seguiu as pesquisas anteriores, para ter um parâmetro de comparação. A Tabela 19 demonstra os resultados médios da caracterização desse cimento segundo os dados fornecidos pela Votoran..

Tabela 19 - Resultados de caracterização do cimento

Propriedades (%)		Resultados	Limites Especificados
Química	CaO	71,98	-
	SiO ₂	15,92	-
	Al ₂ O ₃	5,65	-
	SO ₃	3,1	≤ 4,0 %

	Fe ₂ O ₃	2,12	-
	K ₂ O	0,60	-
	TiO ₂	0,34	-
	Outros	0,29	-
Física	Massa específica (g/cm ³)	2,97	
	Área Específica (m ² /kg)	402,7	≥ 260,0
	Finura (%)	5,8	≤ 12,0

A massa específica do cimento foi de 2,97 g/cm³ e seguiu os métodos estabelecidos pela NBR 16605 (2017) para sua determinação.

– Mistura

As argamassas foram preparadas de acordo com a ABNT utilizando a NBR 13276 (2005). A Tabela 20 apresenta as proporções em massa dos materiais utilizados na confecção das argamassas para o traço estabelecido.

Tabela 20 - Proporções em massa dos materiais constituintes da argamassa.

Traço 1:0,5:4,5	Quantidades
Cimento (g)	380
Cal (g)	148
Areia (g)	1515
Água (g)	343
a/arg. anidra	0,17
a/c	0,9

Para determinação da quantidade de água, foi realizado ensaios de consistência. O Espalhamento desejado foi fixado para garantir uma argamassa trabalhável, ajustando assim a relação a/c.

Na Tabela 21 são indicados os ensaios realizados nas argamassas bem como seus resultados.

Tabela 21 - Características da argamassa de assentamento.

Ensaio	Resultados	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
Consistência (NBR 13276, 2016)	260±10 mm	-	-
Densidade no estado fresco (NBR 13278, 2005)	2006 kg/m ³	-	-

Retenção de água (NBR 13277, 2005)	97%	-	-
Resistência à tração na flexão (NBR13279, 2005)	2,6 MPa	0,27 MPa	16,53
Resistência à compressão (NBR 13279, 2005)	7,23 MPa	0,44 MPa	3,85
Módulo de elasticidade	6324,69	-	-

Foram analisados os resultados dos ensaios de tração na flexão e de compressão axial conforme a NBR 13279 (2005). Os valores são considerados insatisfatório se o desvio padrão apresenta montante superior a 0,5 MPa para a resistência à compressão e 0,3 MPa para a resistência à tração. Ambos os resultados encontrados se mantiveram abaixo desses índices, indicando a homogeneidade da amostra. O traço estudado para essa pesquisa teve o intuito de produzir uma argamassa com valores médios de resistência à compressão. A média obtida foi de 7,23 MPa.

Com o alto nível de retenção de água aferido no traço conclui-se a vantagem para o uso em alvenaria estrutural, já que a alta retenção de água da argamassa diminui a perda de água da argamassa para o bloco, mantendo a trabalhabilidade da argamassa até o assentamento.

4.3. Graute

No presente trabalho foram estudados traços com resistência pertinente a norma, sendo ele o concreto convencional e um concreto de baixa resistência e densidade para aferir a diferença que a resistência a compressão do graute pode ocasionar às miniparedes com vigas de alvenaria estrutural. O concreto leve confeccionado para comparação tinha o intuito inicial de se apresentar com resistência semelhante ao convencional. No decorrer da pesquisa a dosagem do concreto leve foi estudada e mudada para apresentar menor densidade e menor resistência para analisar quando há maior discrepância nos elementos utilizados para preenchimentos das vigas.

Para confecção do concreto convencional o traço utilizado foi de 1:1:2:2, cimento, cal, areia e pedrisco respectivamente, com uma relação água cimento de 0,72. Já o traço do graute leve consistiu numa dosagem de 1:1:2:1, sendo cimento, cal, areia e argila expandida, respectivamente, e 0,15% de aditivo incorporador de

ar, percentual dosado a partir da quantidade de cimento em peso. Sua relação água/cimento foi de 0,76 conforme mostra Tabela 22.

Tabela 22 - Informações sobre os traços dos grautes em volume

Tipo	Convencional	Leve
Cimento CP V	1	1
Areia	2	2
Brita 0	2	0
Cal CP III	1	1
Incorporador de ar	0	0,15%
Argila expandida	0	1

Para estudo do graute foram confeccionados corpos de prova cilíndricos em consonância com a NBR 5739 (2018) e ensaiados à compressão para aferir sua resistência em 3 idades: 7,14 e 28 dias. Também foram estudadas suas consistências e densidades.

Assim como nas argamassas os materiais constituintes do graute também foram classificados e estudados anteriormente. Os concretos de preenchimento também foram confeccionados na betoneira localizada no laboratório de estruturas sendo moldados os corpos de prova para análise da resistência à compressão, corpos de prova para realização do ensaio de densidade real e, realizado também, ensaio de consistência.

O ensaio slump test foi realizado no modelo tronco de cone sendo espalhados numa base metálica com pouco atrito como prescreve NBR 7212 (2012) e NBR 15823 (2017). Com o ensaio foi possível averiguar a consistência dos concretos e utiliza-los como grautes na pesquisa já que sua consistência apresentou valores consideráveis para utilização com 520 mm e 540 mm nos concretos convencional e leve, respectivamente.

Foram confeccionados corpos de prova cilíndricos de prova para determinação dos ensaios de resistência à compressão dos dois modelos de graute utilizados em consonância com a NBR 5739 (2018). Nessa etapa, já de fabricação das paredes, foram confeccionados 9 corpos de prova de cada concreto para aferir os resultados nas idades de 7, 14 e 28 dias.

Na Figura 68 e são apresentados os resultados médios dos ensaios de resistência a compressão dos modelos de concreto de preenchimento. Com os resultados é possível observar um aumento na resistência do concreto convencional e uma pequena baixa do concreto leve. A utilização do agregado leve em conjunto com o incorporador de ar resulta ao concreto uma queda de resistência a compressão.

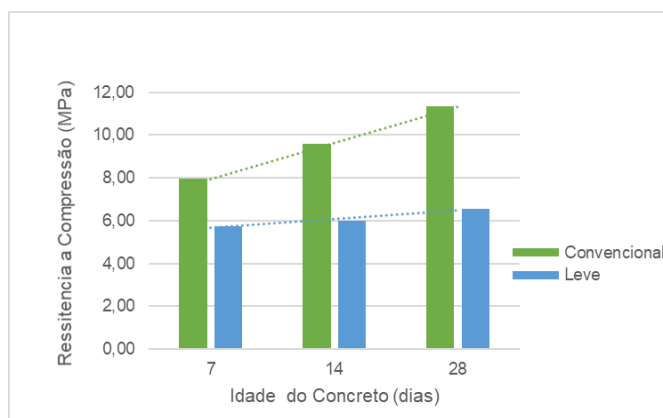


Figura 63 - Resistência do graute e evolução conforme idade

Quanto a sua densidade o concreto convencional apresentou maior valor que a do graute construído com incorporador de ar e argila expandida. Realizando os ensaios de acordo com a NBR 9778 (2005), como mostra Figura 69, pôde-se aferir que o concreto convencional apresentou uma densidade média de 2347,23 kg/m³ e o concreto leve apresentou densidade de 1824,18 kg/m³. Vistos esses resultados é possível afirmar que o concreto de baixa resistência e densidade produzidas com incorporador de ar e argila expandida pode ser considerado, segundos os autores já citados como concreto leve. A baixa de resistência e densidade é atribuída a utilização de argila expandida como agregado graúdo em conjunto com o incorporador de ar como aditivo.



Figura 64 - Ensaio de densidade real do concreto no estado seco

Com análise visual foi possível observar a aderência do graute com o bloco do tipo canaleta, utilizado para confecção das vigas de alvenaria estrutural. Na Figura 70 é observado uma possível aderência dos concretos de preenchimento com os blocos indicando assim que o sistema apresenta boas características para utilização.



Figura 65 - Interface de ruptura do bloco canaleta e concreto de preenchimento

4.4. Prismas

Na pesquisa, para determinação da resistência a compressão e verificação dos deslocamentos e deformações, foram construídos prismas de duas fiadas de blocos inteiros unidos por uma junta de argamassa de assentamento de 10 milímetros de espessura. Para realização do ensaio foram produzidos 12 prismas em consonância com a NBR 16522 (2016) sendo eles 06 prismas não grauteados, 03 preenchidos com concreto convencional e 3 com concreto leve. Os prismas sem graute são referentes as paredes sem viga de alvenaria estrutural, sendo fabricados dois para cada parede. Os prismas grauteados foram preenchidos com os mesmos concretos da viga, o convencional e o leve sendo eles 3 prismas de cada tipo de graute. Com

isso foram comparadas as análises de cada um dos tipos e apresentadas as conclusões dos acontecimentos dos elementos estudados.

4.4.1. Prismas não grauteados

Referente as paredes sem viga de alvenaria estrutural foram construídos 2 prismas de cada uma, totalizando 6 prismas. Para análise foram feitos ensaios de resistência a compressão em cada um desses elementos, onde foram instrumentados para aquisição dos dados dos deslocamentos nas direções determinadas. Na Tabela 23 são mostradas as médias dos resultados de ensaio a compressão dos prismas não grauteados.

Tabela 23 - Resultados médios da resistência dos prismas sem graute

Tipo	Repetições						Média	Desvio Padrão	CV
Séries	1		2		3		4,64	0,24	0,05
Sem Graute (PSG)	4,09	4,51	4,84	4,62	5,14	4,63			
	4,30		4,73		4,88				

Os resultados referentes aos prismas das miniparedes sem vigas de alvenaria estrutural apresentaram resultado médio de aproximadamente 4,60 MPa e carga de ruptura de 230 kN de resistência. O deslocamento máximo médio captado pelos transdutores lineares verticais foram em média de 0,7 mm, horizontal de 1,3 mm em média e o lateral cerca de 0,5 mm como mostra os gráficos nas Figuras 71, 72 e 73.

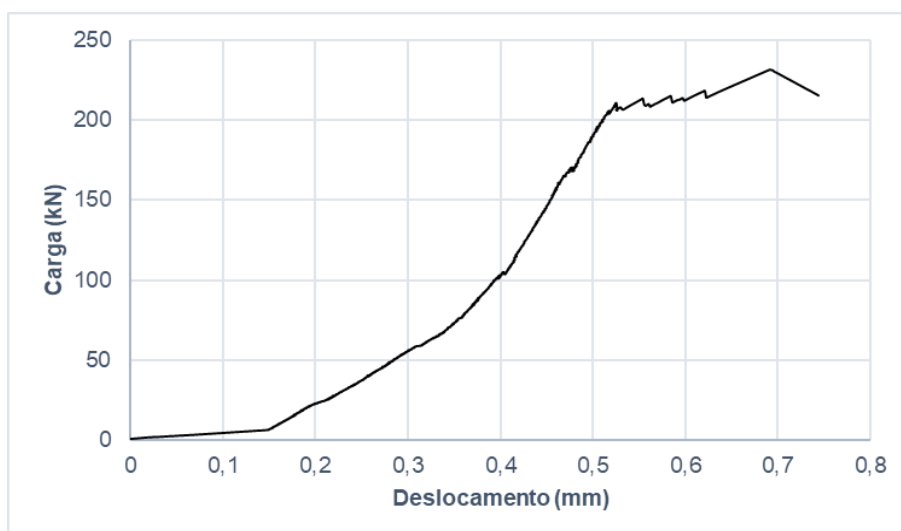


Figura 66 - Deslocamento vertical dos prismas sem graute

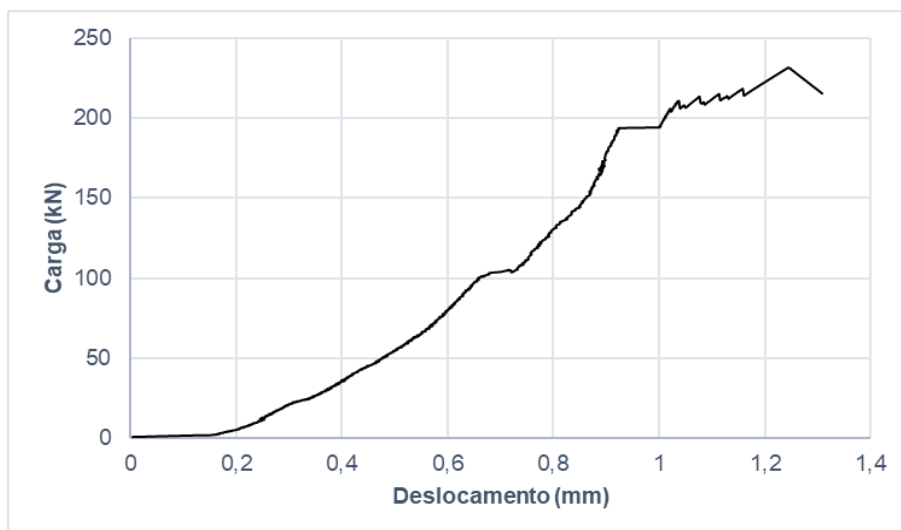


Figura 67 - Deslocamento horizontal dos prismas sem graute

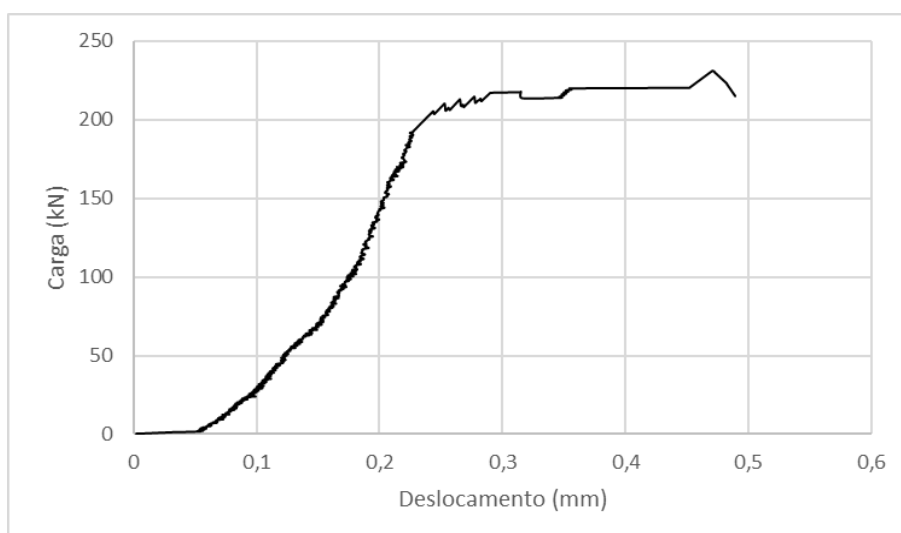


Figura 68 - Deslocamento lateral dos prismas sem graute

Os resultados médios dos deslocamentos dos prismas apresentam maior deslocamento na direção horizontal, apresentando assim um encurtamento em comparação as outras direções. Com as Figuras 71, 72 e 73 é possível observar que a evolução das deformações dos prismas acontece em maior escala nos maiores carregamentos mais próximos a sua ruptura. No início da disposição das cargas o deslocamento é pequeno assim como a evolução da carga, que tende a aumentar de maneira gradativa até sua ruptura.

A ruptura dos prismas, evidenciada na Figura 74 mostram os módulos de fissuramento e rompimento dos prismas não grauteados. O módulo de ruptura apresentado em todos elementos dessa série mostra o rompimento do bloco juntamente com a argamassa, comprovando assim que o sistema apresentado é monolítico e trabalham em convergência. Os mecanismos de ruptura encontrado nos

blocos foram a Fissuração das unidades, onde há um rompimento dos blocos e conseqüentemente da argamassa, Fissura diagonal que parte da sua extremidade inferior, e fendilhamento que teve maior ocorrência em suas laterais.

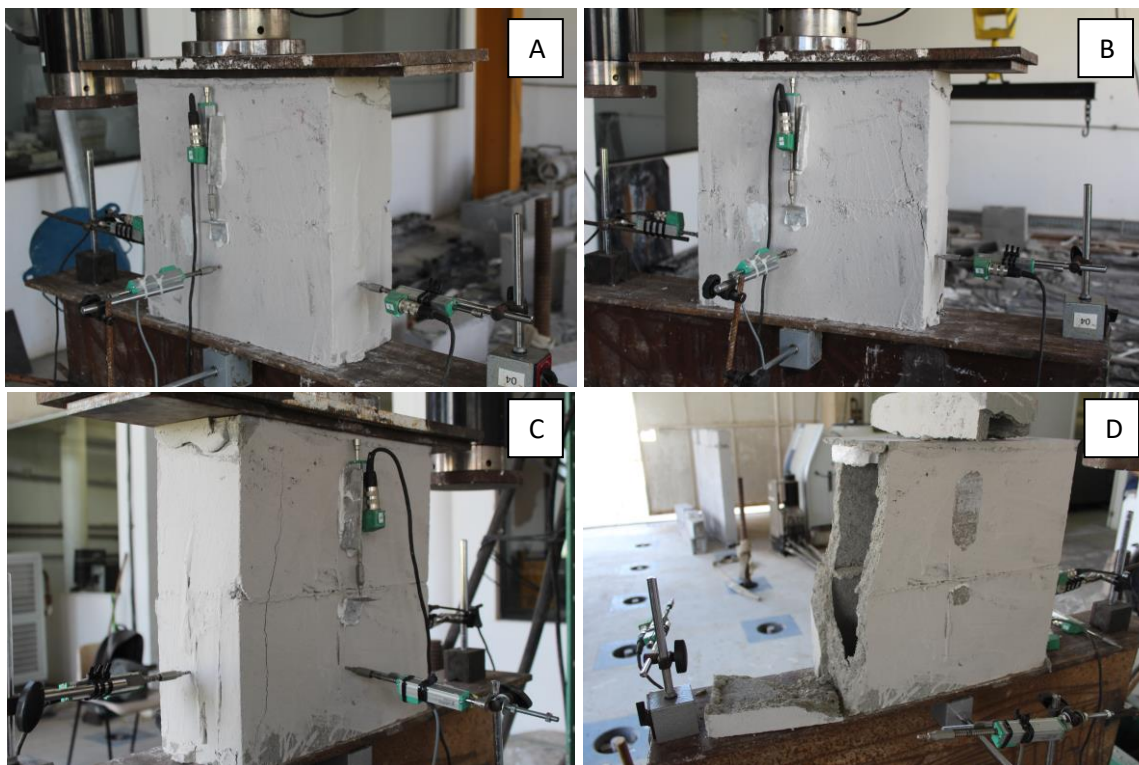


Figura 69 – Ruptura dos Prismas sem graute

4.4.2. Prismas grauteados com concreto convencional

Utilizando a mesma dosagem e concreto das paredes com vigas grauteadas com graute convencional foram construídos 03 prismas preenchidos. Para análise também foram feitos ensaios de resistência a compressão nos elementos instrumentados para aquisição dos deslocamentos nas direções determinadas. Na Tabela 26 se dão os resultados médios do ensaio a compressão dos prismas grauteados com concreto convencional.

Tabela 24 - Resultados médios da resistência dos prismas com graute convencional

Padrão	Repetições			Média	Desvio Padrão	CV
	1	2	3			
Graute convencional (PGC)	5,91	5,65	5,48	5,68	0,18	0,03

Os resultados referentes aos prismas grauteados com concreto convencional dão resultado médio de aproximadamente 5,7 MPa. A carga de ruptura média desse

modelo de prisma foi de 260 kN de resistência como mostra os gráficos das Figuras 75, 76 e 77.

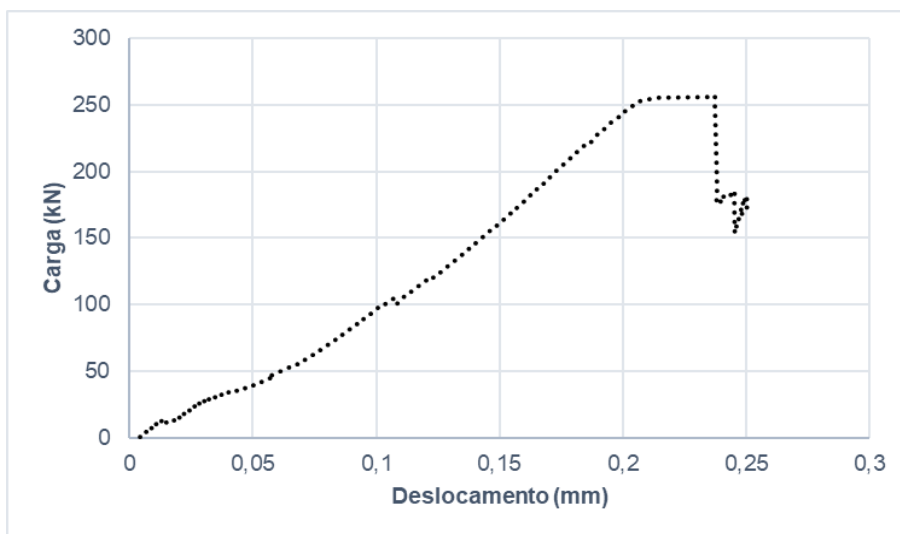


Figura 70 - Deslocamento vertical dos prismas grauteados com concreto convencional

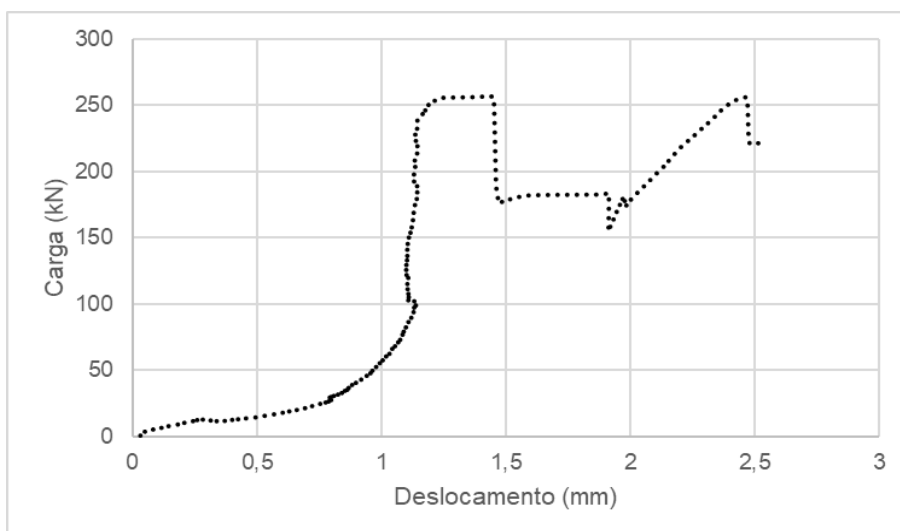


Figura 71 - Deslocamento horizontal dos prismas grauteados com concreto convencional

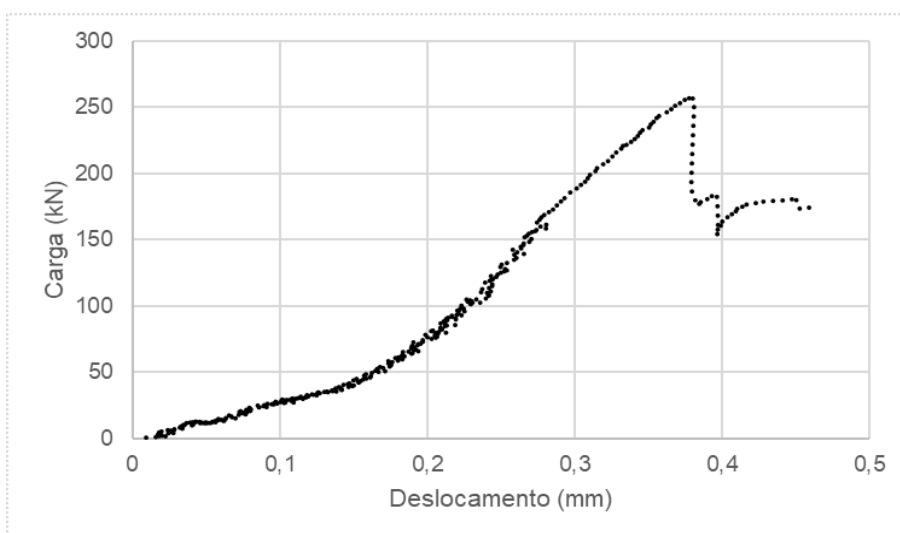


Figura 72 - Deslocamento lateral dos prismas grauteados com concreto convencional

Nos prismas grauteados com concreto convencional o deslocamento máximo médio captado pelos transdutores lineares verticais foram em média de 0,25 mm, horizontal de 2,5 mm em média e o lateral cerca de 0,5 mm como mostra os gráficos nas Figuras 75, 76 e 77.

O módulo de ruptura dos prismas grauteados foi distinto dos prismas convencionais sem graute conforme pode-se perceber na Figura 78.

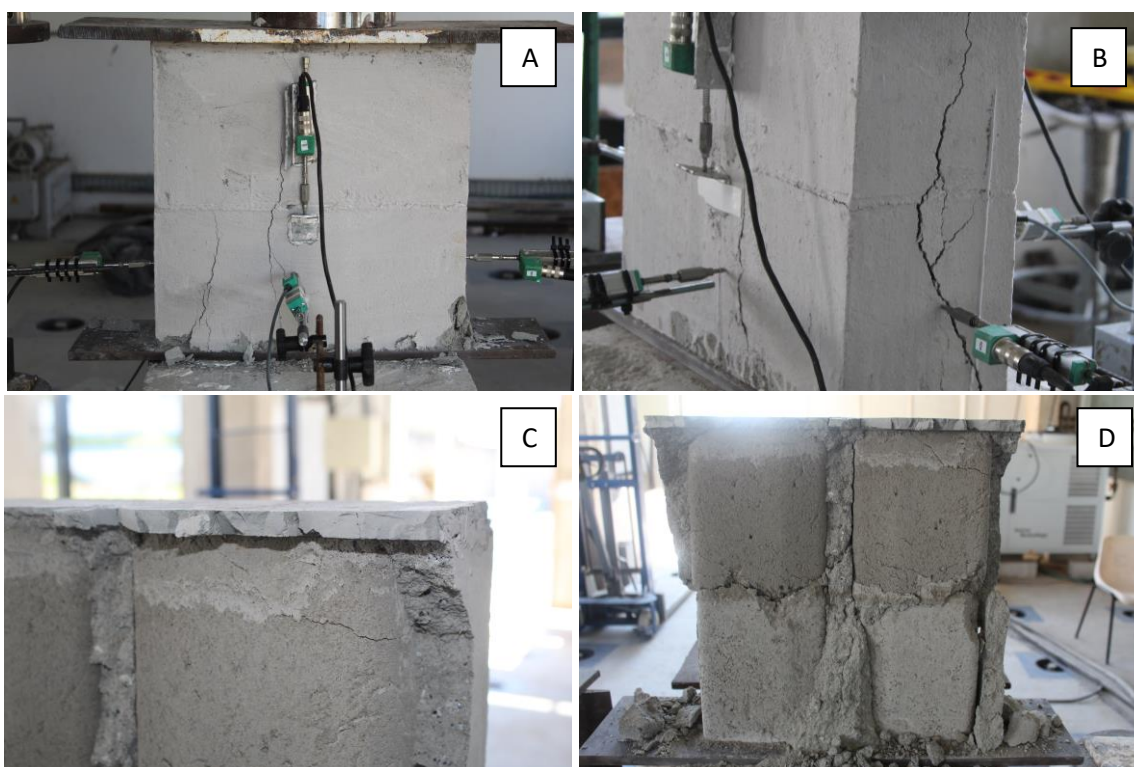


Figura 73 - Ruptura dos prismas grauteados com concreto convencional

4.4.3. Prismas grauteados com concreto leve

Na Tabela 27 são dispostos os valores das resistências dos prismas grauteados com concreto leve. Nessa série de elementos para comparação da pesquisa também foram feitos 3 prismas e preenchidos com concreto do tipo leve. Os valores da resistência desse tipo de prisma têm em média 4,66 MPa.

Tabela 25 - Resultados médios da resistência dos prismas com graute leve, em MPa

Padrão	Repetições			Média	Desvio Padrão	CV
	1	2	3			
Graute leve (PGL)	5,23	4,94	4,97	5,05	0,08	0,02

Assim como nos outros modelos adotados, grauteados diferentemente e não grauteados, os prismas preenchidos com concreto leve foram instrumentados nas mesmas direções apresentando um deslocamento médio máximo de aproximadamente 0,30 mm na vertical, 1,40mm na direção horizontal e 0,18mm em sua lateral e carga máxima média aproximadamente de 245 kN assim como mostra os gráficos das Figuras 79, 80 e 81.

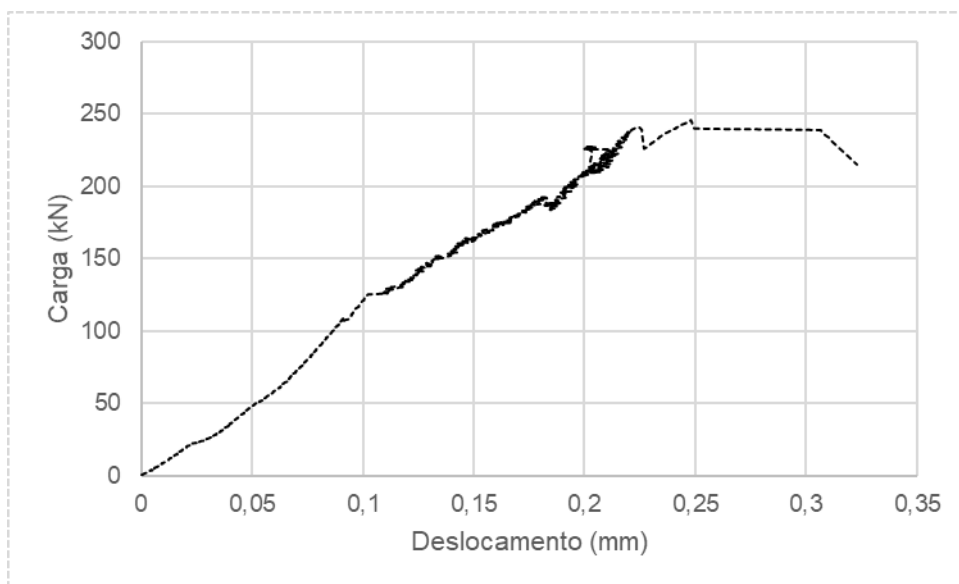


Figura 74 - Deslocamento Vertical dos prismas grauteados com concreto leve

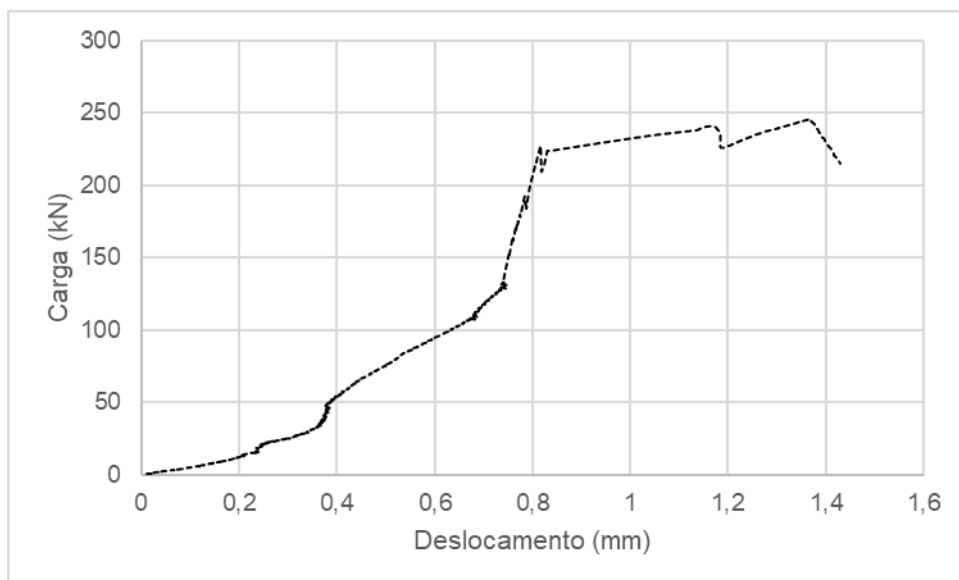


Figura 75 - Deslocamento Horizontal dos prismas grauteados com concreto leve

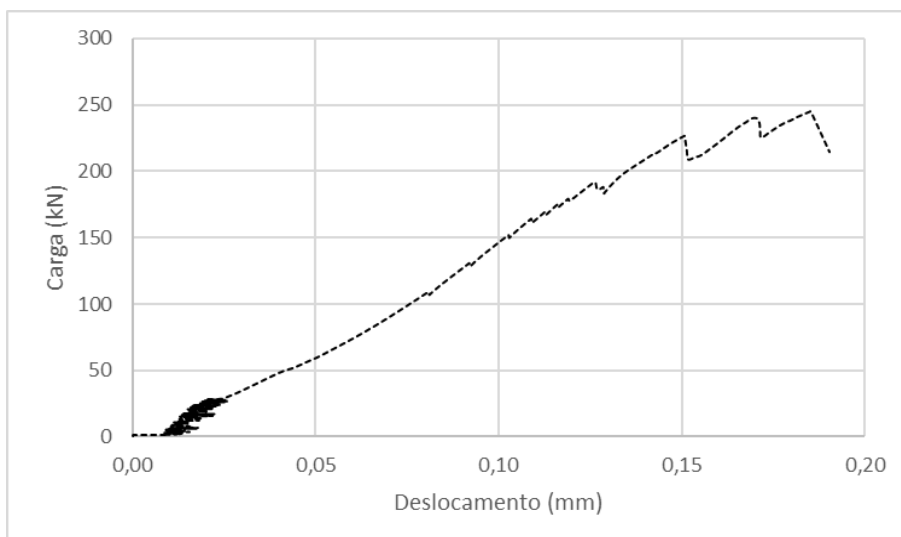


Figura 76 - Deslocamento Lateral dos prismas grauteados com concreto leve

Na Figura 82 é possível observar o módulo de ruptura dos prismas grauteados com concreto leve.

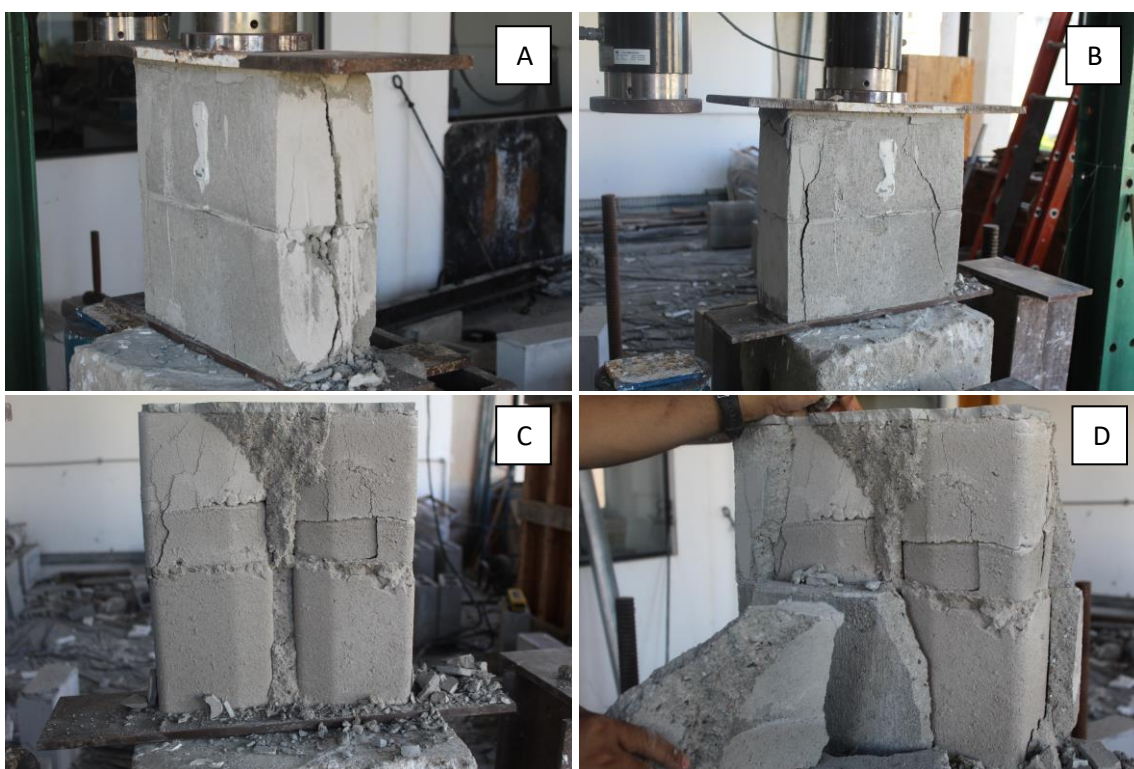


Figura 77 - Modelo de ruptura dos prismas com graute leve

4.4.4. Comparação dos Modelos de Prismas

Na Tabela 28 são dispostos os resultados de todos modelos de prismas ensaiados do estudo.

Tabela 26 - Resistências Prismas

Padrão	Repetições			Média	Desvio Padrão	CV
	1	2	3			
Sem GRAUTE (PSG)	4,30	4,73	4,88	4,64	0,24	0,05
GRAUTE Convencional (PGC)	5,91	5,65	5,48	5,68	0,18	0,03
GRAUTE Leve (PGL)	5,23	4,94	4,97	5,01	0,05	0,08

Na Figura 83 são apresentadas as curvas carga-deslocamento para os três tipos de prismas ensaiados. Na análise é possível observar que o modelo de prismas não grauteado (PSG) apresenta maior deslocamento nessa direção bem como menor carga máxima se comparado aos demais tipos. No gráfico também é evidenciado que a perda e ganho de resistência do modelo grauteado com concreto convencional. Isso se dá pela ruptura particionada do elemento, onde rompe-se a argamassa, o bloco e por último o concreto de preenchimento. Os prismas grauteados com concreto leve (PGL) obtiveram resistências medianas comparado aos outros dois modelos e o menor deslocamento.

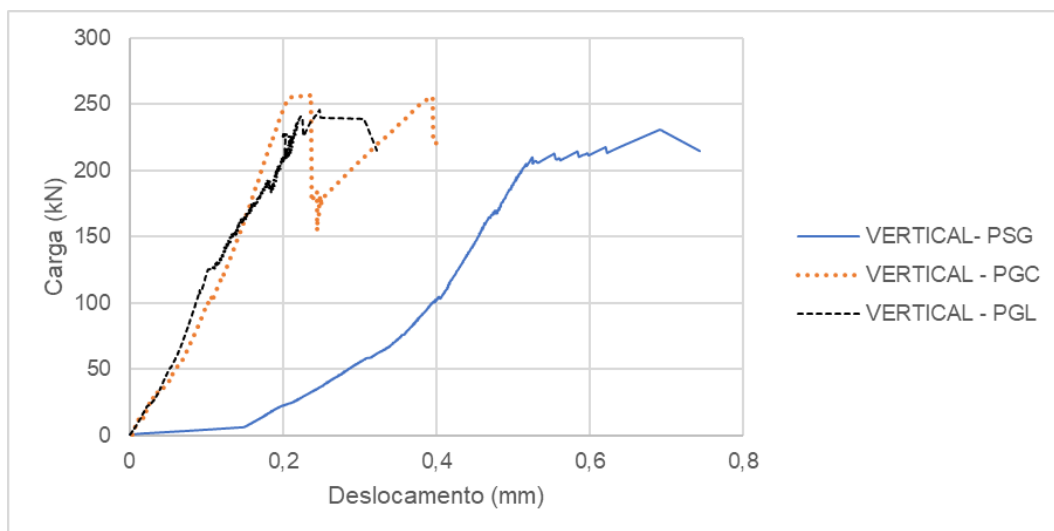


Figura 78 - Comparação na direção vertical

Na direção horizontal, sendo o modelo PGC o que obteve maior carga de ruptura, a deslocabilidade do modelo com graute convencional é a maior pois há um maior deslocamento do bloco em relação ao concreto de preenchimento. Sua ruptura ocorre e posteriormente a um decréscimo na carga visto o esmagamento do elemento. Nesta direção o comportamento dos modelos PSG e PGL são semelhantes, com deslocamento parecido para diferentes cargas. A Figura 84 exemplifica melhor os acontecimentos ocorridos quando analisados os deslocamentos nessa direção.

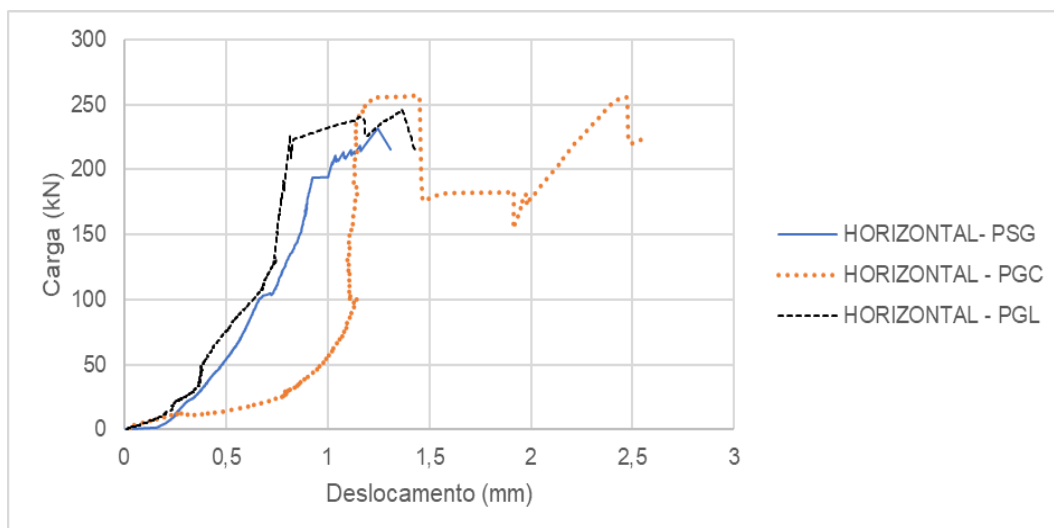


Figura 79 - Comparação na direção Horizontal

Observando a Figura 85 percebe-se que, também nesta direção, o modelo PGC apresenta maior deslocamento em relação aos demais. Isso pode ser justificado por sua carga de ruptura ser maior apresentando assim um caminho maior para a deformação. Na análise apresentada pelo gráfico nesta direção é possível concluir que os deslocamentos do modelo PGL são os menores obtidos.

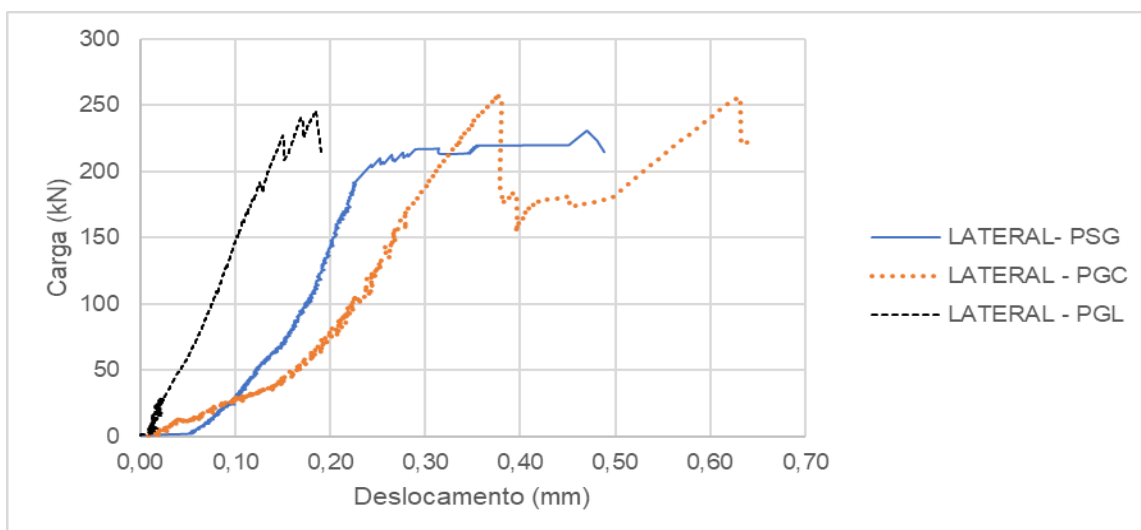


Figura 80 - Comparação na direção lateral

Quanto à ruptura dos modelos apresentados o que mais varia são os PSG que apresentam fendilhamentos maiores os quais se dissipam rompendo bloco e argamassa até a sua base. Nos modelos grauteados, PGC e PGL, seu modo de ruptura se assemelha. Ocorre fissuras nos blocos, os quais tem ruptura interrompida pois há a resistência do concreto de preenchimento que auxilia numa maior

resistência do elemento. No PGC ocorre a ruptura do bloco acarretando a instabilidade do elemento e rompendo-o. Já no PGL além da ruptura do bloco ocorre a ruptura do concreto por esmagamento. Nesses dois modelos pôde-se observar que a aderência do concreto convencional nas faces internas do bloco é maior que a do graute leve, ocasionando assim um aumento de resistência e diferença de comportamento.

Em relação ao deslocamento e deformação dos modelos de prismas é possível afirmar, observando os resultados, que os prismas com graute convencional obtiveram maior deslocamentos em relação aos demais modelos. Contudo, deve ser levado em relação que sua resistência a compressão foi maior que a dos prismas grauteados com concreto leve e dos não grauteados. Ao comparar os modelos de prismas com concreto leve e o sem graute é possível aferir que a deformabilidade do modelo grauteado com concreto leve ainda é menor mesmo tendo maior resistência. Visto esses resultados é possível afirmar a relevância do estudo do grauteamento leve nessas estruturas já que sua deformação é menor e sua resistência tem valores significantes.

4.5. Miniparedes

Ao decorrer da pesquisa também foram construídos 09 miniparedes de 06 fiadas de blocos de concreto sendo eles unidos por uma junta de argamassa de assentamento. As miniparedes foram construídas com blocos 14cmX19cmX39cm, 14cmX19cmX19cm e blocos do tipo canaleta 14cmx19cmx39cm todos de classe B amarrados diretamente e unidos com argamassa de assentamento de traço 1:0,5:4,5 com 8,02 MPa de resistência à compressão A argamassa utilizada em todos modelos de miniparedes foi com a mesma dosagem e sua espessura não foi mudada, sendo ela de 10 milímetros, já que o intuito do trabalho não é avaliar a influência da argamassa ou padrão de argamassamento. Os modelos de paredes construídos foram divididos em 03 modelos. Foram feitas paredes sem viga (PSV), paredes com viga grauteada com concreto convencional (PVC) e paredes com viga grauteada com concreto leve (PVL). De cada modelo foram construídas 03 paredes, totalizando, assim, 09 miniparedes as quais foram submetidas, após cura, à ruptura e análise. A construção e ensaio das miniparedes foram feitos em consonância com a NBR 16522 (2016).

4.5.1. Miniparedes sem viga

Para fins de comparação foram construídas paredes sem viga e grauteamento. Tais elementos foram colocados como referência para comparação dos modelos que se distinguem pela presença de vigas de alvenaria estrutural. Na Tabela 29 são apresentados os resultados médios referente a resistência da sequência de miniparedes sem viga e preenchimento com graute.

Tabela 27 - Resultados médios da resistência das miniparedes sem viga, em MPa

Padrão	Repetições			Média	Desvio Padrão	CV
	1	2	3			
Sem Viga (PSV)	3,06	3,97	3,40	3,48	0,38	0,11

Observando os resultados é possível concluir que a resistência média das paredes sem viga gira em torno de 3,5 MPa. A ruptura da parede ocorreu com carga máxima aplicada de aproximadamente 500 kN e seus deslocamentos máximos vertical, horizontal e lateral foram em torno de 1,6 mm, 0,7 mm e 2,0 mm, respectivamente como mostra as Figuras 86, 87 e 88.

Na figura 86 também é possível perceber a existência da reta onde se encaixa a zona elástica da parede, calculada com 30 % da carga máxima da parede. Essa aproximação, para determinação da equação dessa zona, é feita pelo método da secante.

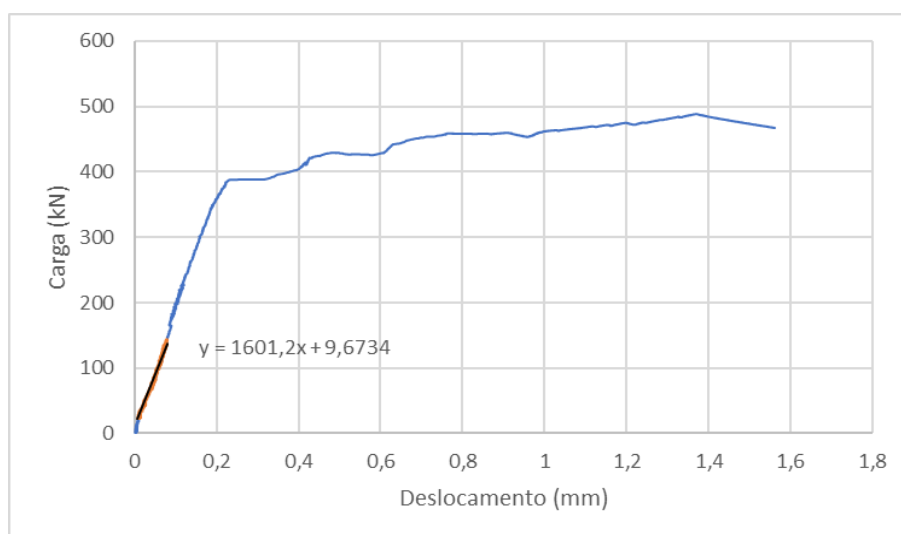


Figura 81 - Deslocamento vertical das miniparedes sem viga

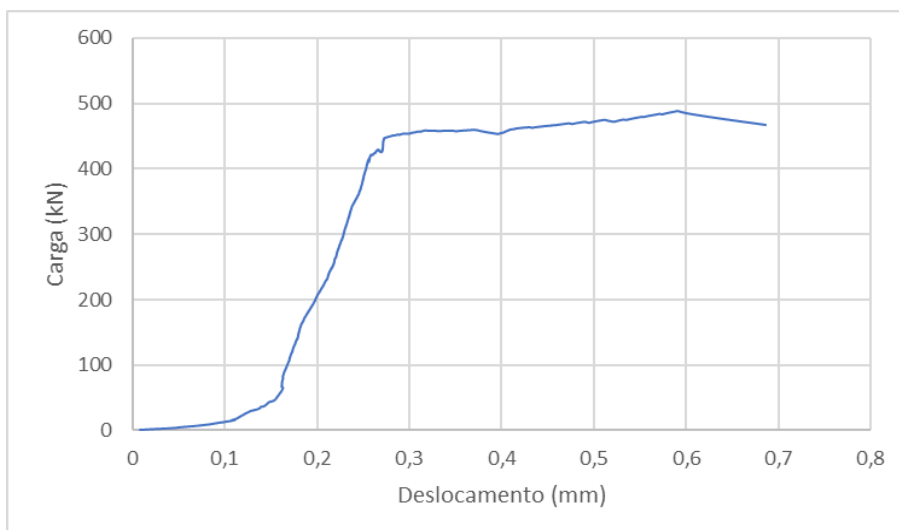


Figura 82 - Deslocamento horizontal das miniparedes sem viga

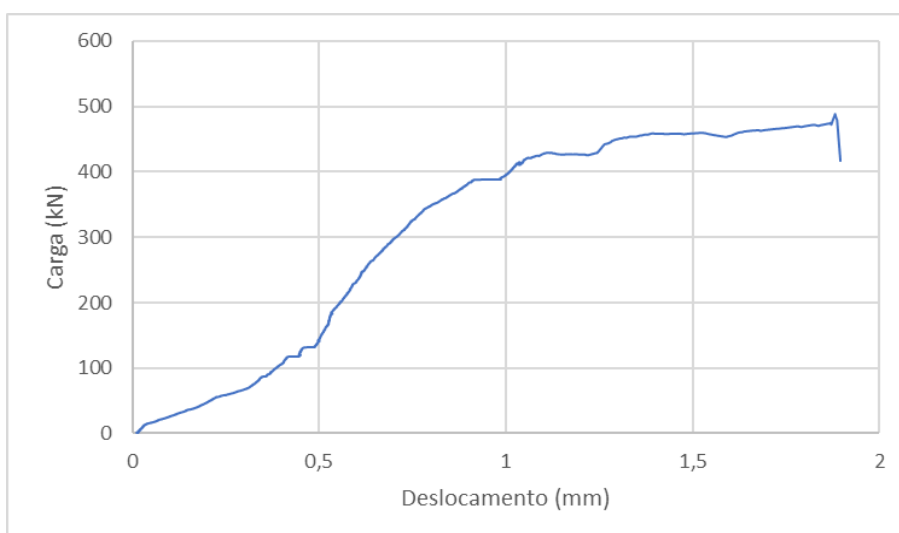


Figura 83 - Deslocamento lateral das miniparedes sem viga

Na Figura 86 pode-se observar que o deslocamento nas direções verticais não tem muita evolução quando as cargas são baixas. A medida que a carga aumenta seu deslocamento tem progressivo crescimento, dividindo a curva em duas áreas: a zona plástica e elástica. Quanto ao deslocamento horizontal, como exemplifica a Figura 86, já nos primeiros percentuais de carga há um considerável crescimento no deslocamento nessa direção. A deformação se estabiliza e cresce de forma progressiva conforme aplicação de cargas dos atuadores até sua ruptura. Na direção lateral, exposta na Figura 87, o aumento do deslocamento é proporcional ao da carga aplicada deformando medianamente desde suas primeiras atribuições de carga pelos atuadores até o rompimento da parede. Ainda se tratando dos resultados de deslocamentos apresentados no gráfico da Figura 88 foi feita uma reavaliação quanto ao valor do seu deslocamento e percebe-se que o deslocamento

vertical expressou valores pequenos quando comparado aos deslocamentos horizontal e latera. Esse comportamento não expressa adequadamente o desempenho de uma alvenaria quando submetida a um ensaio de resistência à compressão, sendo sua maior deformação no sentido da carga aplicada. No entanto, para fins de comparação, foi utilizado o deslocamento aferido referente aos atuadores hidráulicos durante o ensaio como deslocamento vertical das miniparedes. Na Figura 89 é apresentado o gráfico com o comparativo das duas curvas de carga/deslocamento sendo possível observar a diferença entre os valores de deslocamentos aferidos. Sendo assim, conclui-se que instrumentando-se verticalmente os corpos de prova, miniparedes, apenas o terço médio da parede como recomenda a NBR 16522 (2016), a primeira junta horizontal da argamassa tem maior tendência a se apresentar fora da zona de medição e com isso não são aferidos os valores da maior faixa de deslocamento que é, justamente, absorvida por essa argamassa. Nesse caso, como é possível observar na Figura 89, o deslocamento na direção vertical referente ao atuador hidráulico é de aproximadamente 20 mm.

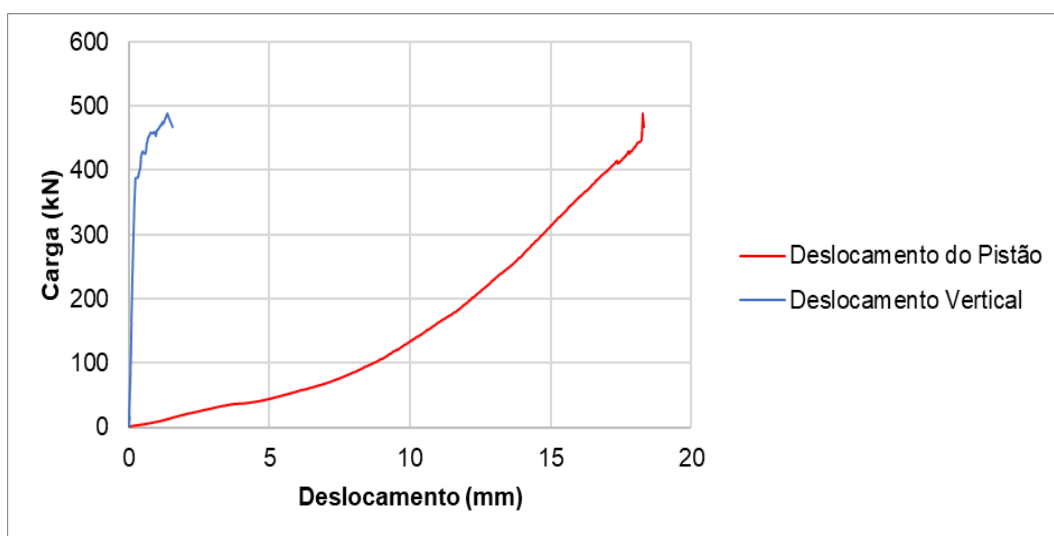


Figura 84 - Deslocamento vertical em relação a deslocamento do atuador

Na Figura 90 é mostrado a preparação das miniparedes para realização do ensaio de resistência à compressão, tanto no posicionamento da viga de aço para distribuição das cargas dos dois atuadores quanto a preparação e disposição dos transdutores lineares para aquisição dos dados de deslocamento.

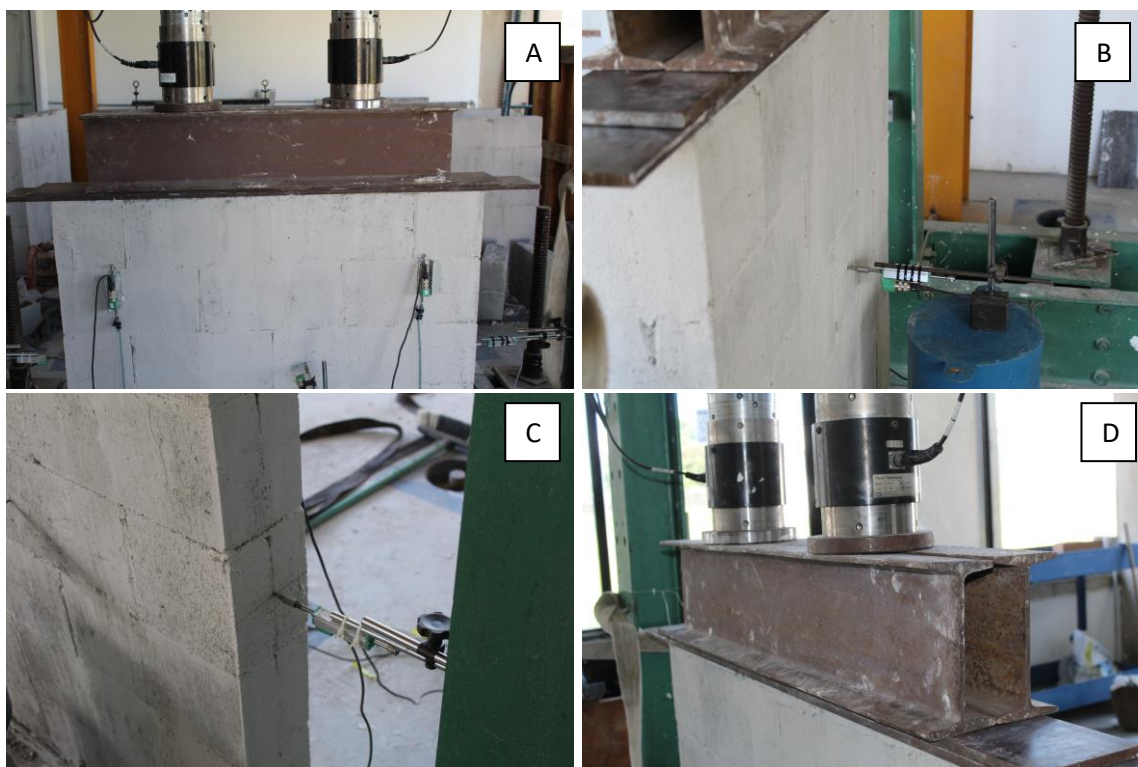


Figura 85 - Preparação para aplicação de carga na miniparede



Figura 86 - Ruptura do modelo de miniparede sem viga

Como pode se observar na Figura 91 e 92 a ruptura da parede acontece pela propagação da carga aplicada primeiramente pela junta de argamassa propagando-se através do bloco até a sua base. Nesse caso observa-se que em vários pontos ocorreu a ruptura da argamassa, desunindo os blocos da parede. A Figura 92

demonstra as fissurações inerentes ao elemento. Além desse tipo de fissura, onde ocorreu abertura de fendas nos blocos de concreto, os blocos romperam-se em sua separação transversal, entre os septos. Esse tipo de ruptura ocasiona embarrigamento da parede tanto pela parte frontal quanto pela posterior. O bloco nesse caso divide-se ao meio, causando a ruptura da parte superior da parede antes da inferior.

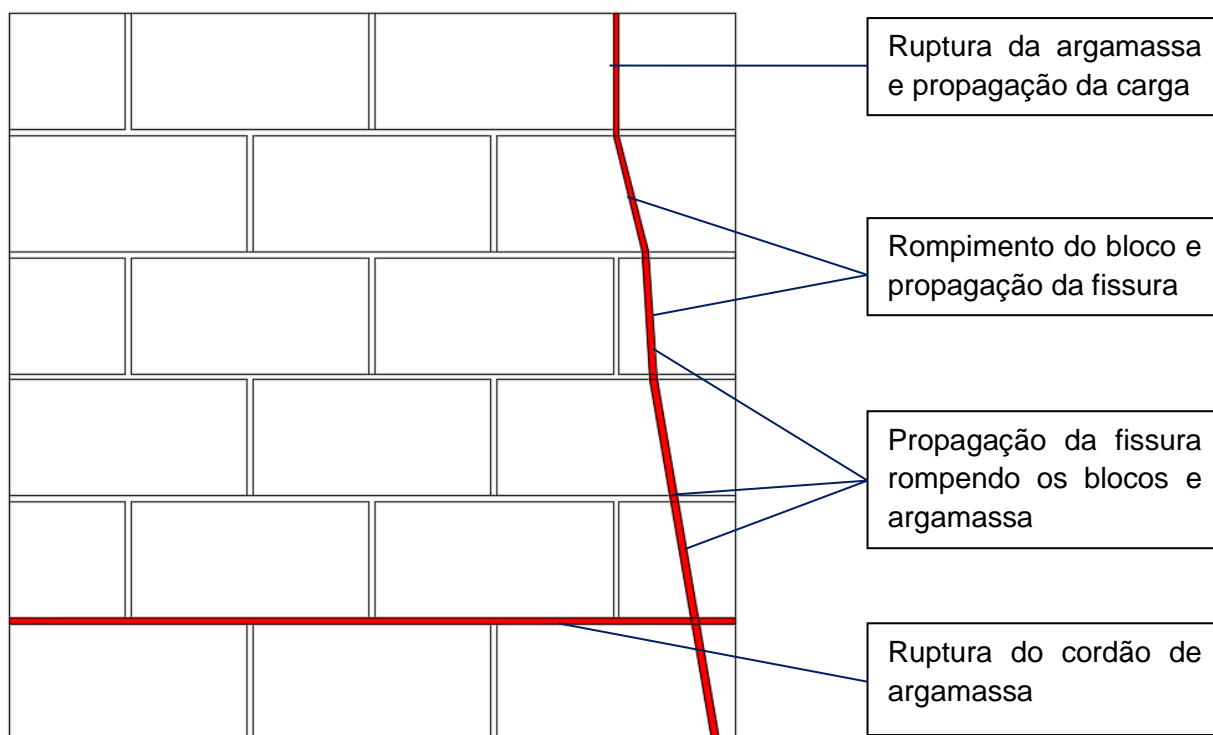


Figura 87 - Módulo de ruptura Miniparede sem viga

4.5.2. Miniparedes com viga grauteada com concreto convencional

Utilizando o modelo descrito na sessão 3.5.2. com o traço observado e escolhido em 3.4.1. para grauteamento convencional foram construídas 03 paredes contendo vigas grauteadas com esse tipo de concreto. Na Tabela 30 são apresentados os resultados da resistência obtida desse tipo de parede analisada.

Tabela 28- Resultados médios da resistência das miniparedes com vigas convencionais, em MPa

Padrão	Repetições			Média	Desvio Padrão	CV
	1	2	3			
Viga Convencional (PVC)	3,48	3,90	3,83	3,73	0,18	0,05

Como pode-se observar a resistência desse modelo de miniparede, em média, alcança a resistência de aproximadamente 3,7 MPa. Observando as Figuras

93, 94 e 95 pode-se observar que a carga de ruptura, nesse caso, gera em torno de 600 kN e os deslocamentos obtidos tanto nas direções vertical, horizontal e lateral são, respectivamente, próximas de 0,9 mm, 0,4 mm e 1,9 mm.

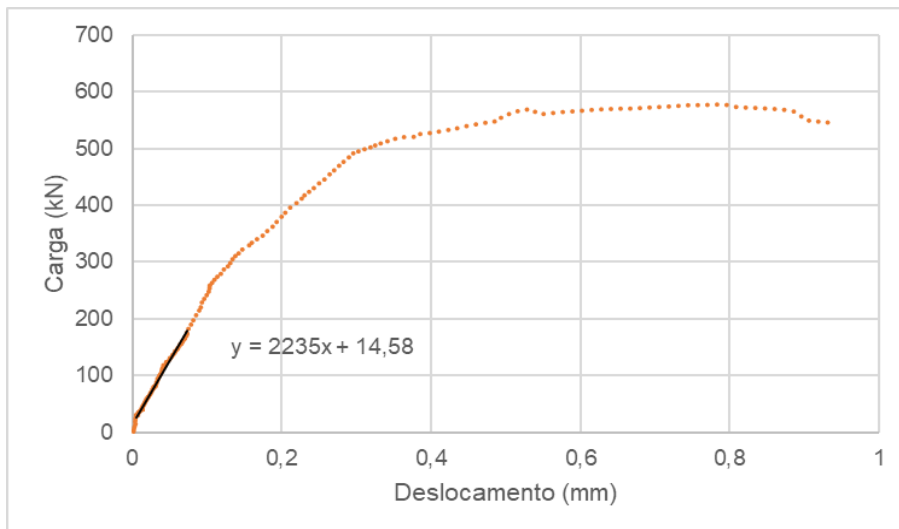


Figura 88 - Deslocamento vertical das miniparedes com viga convencional

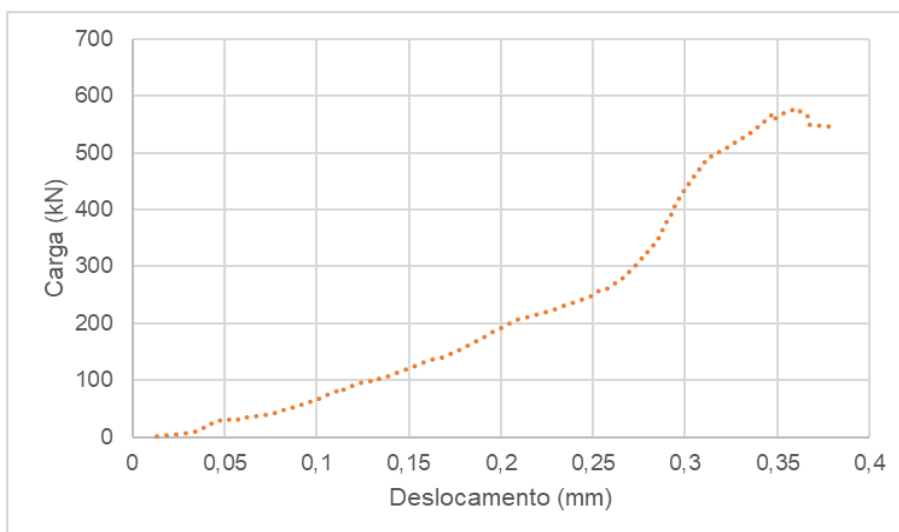


Figura 89 - Deslocamento horizontal das miniparedes com viga convencional

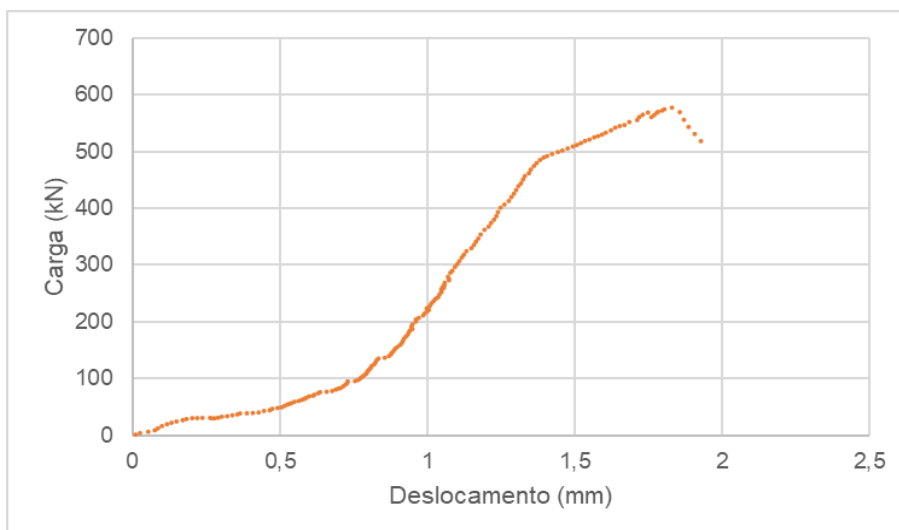


Figura 90 - Deslocamento lateral das miniparedes com viga convencional

Na figura 93 é observado que o aumento do deslocamento tem menores valores no início do carregamento. Isso se dá pela conformação dos atuadores na amostra e a pequena confinção de força inicial no corpo de prova na zona elástica. Posteriormente a amostra tem maior deformação, e assim, maior deslocamento na determinada direção até sua carga máxima e ruptura. Na direção horizontal, apresentado na Figura 94, diferentemente da vertical, o deslocamento é maior, se comparado a direção anterior, desde o início do confinamento do corpo de prova e aplicação de carga. Até a carga de aproximadamente 300 kN o deslocamento é de maior escala e progressivo. Quando atingida essa marca a deformação diminui até a ruptura do elemento. Quanto a direção lateral, gráfico da Figura 95, das miniparedes com vigas convencionais seu deslocamento tem maior crescimento nas faixas iniciais de aplicação de carga de na faixa final, próximo ao seu rompimento.

Quanto ao deslocamento vertical o mesmo comportamento ocorre semelhante ao item 4.6.1., onde conclui-se que o deslocamento aferido na aquisição dos dados possuía valores pequenos. Com isso, também neste caso, foi observado o deslocamento do atuador da prensa para coleta de resultados. Na Figura 96 é mostrada a comparação entre os dois deslocamentos.

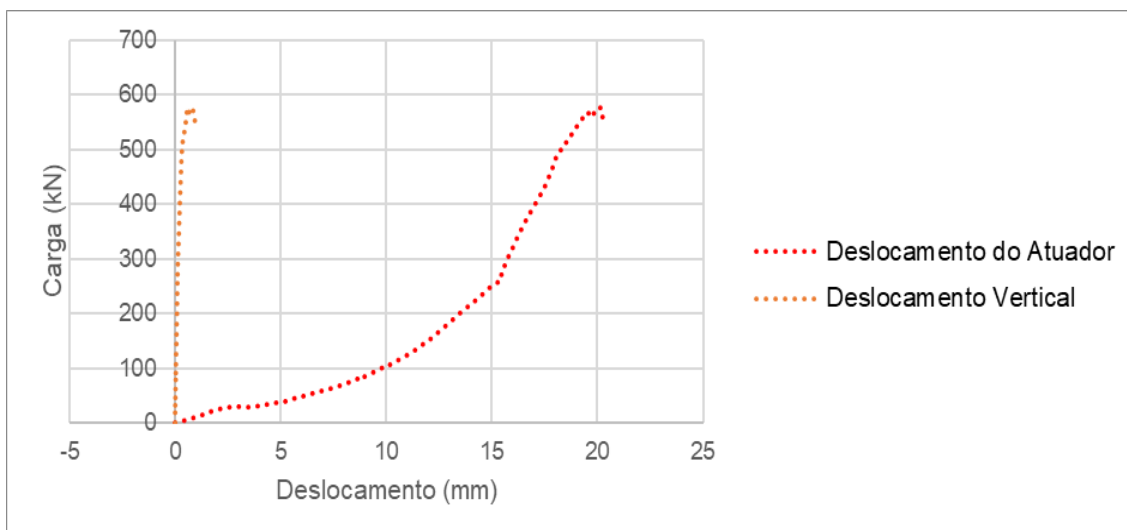


Figura 91 - Deslocamento vertical em relação a deslocamento do atuador

Nas Figuras 97, 98 e 99 é possível observar a preparação das paredes para aplicação das cargas, com o posicionamento da viga para distribuição de e a fixação dos transdutores para aquisição dos dados o módulo de ruptura e o rompimento das vigas.

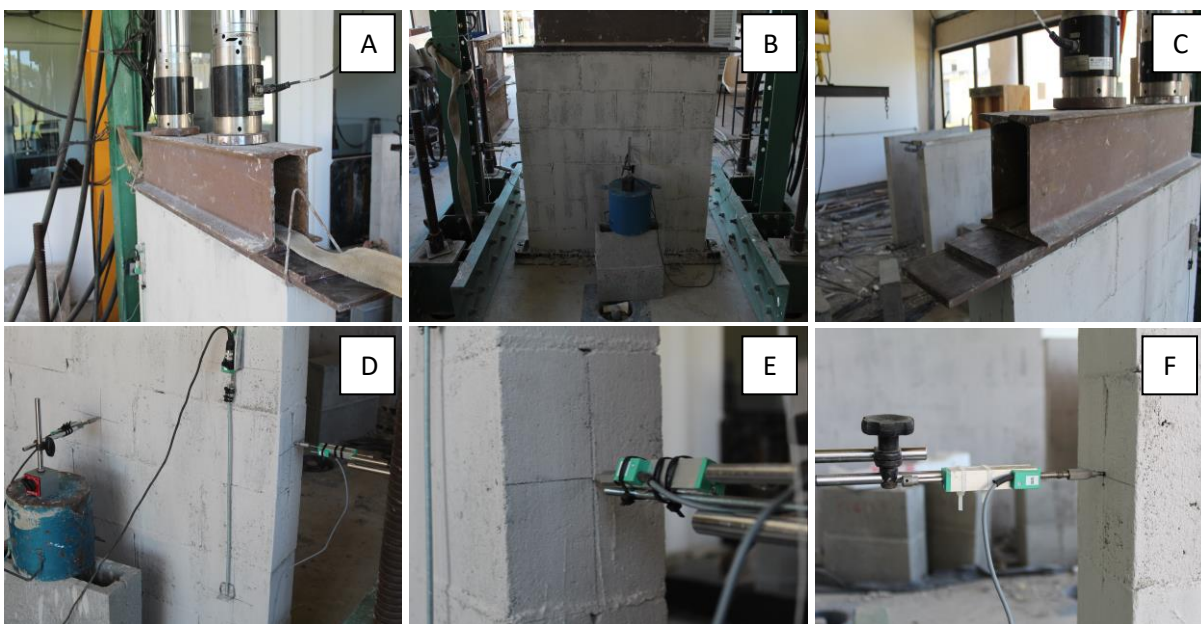


Figura 92 - Preparação para aplicação de carga nas miniparedes com viga convencional

Nas Figuras 98 e 99 são apresentadas as imagens referentes a fissuração, patologia e ruptura das paredes com vigas grauteadas com concreto convencional bem como o rompimento das vigas de alvenaria estrutural.



Figura 93 - Módulo de ruptura das miniparedes com vigas convencionais



Figura 94 - Ruptura da Viga

Na Figura 100 é apresentado o modo de fissuramento e ruptura da parede com viga grauteada com concreto convencional. Com o esquema proposto pode-se

perceber a presença de fissuras na viga de alvenaria estrutural, tanto no meio do bloco quanto nas juntas de argamassa. As fissuras se propagam durante a parede até alcançar a parte inferior, na base da miniparede. Na parte inferior é possível observar, assim como consta na Figura 100, o esmagamento do bloco, causando assim a ruptura da parede.

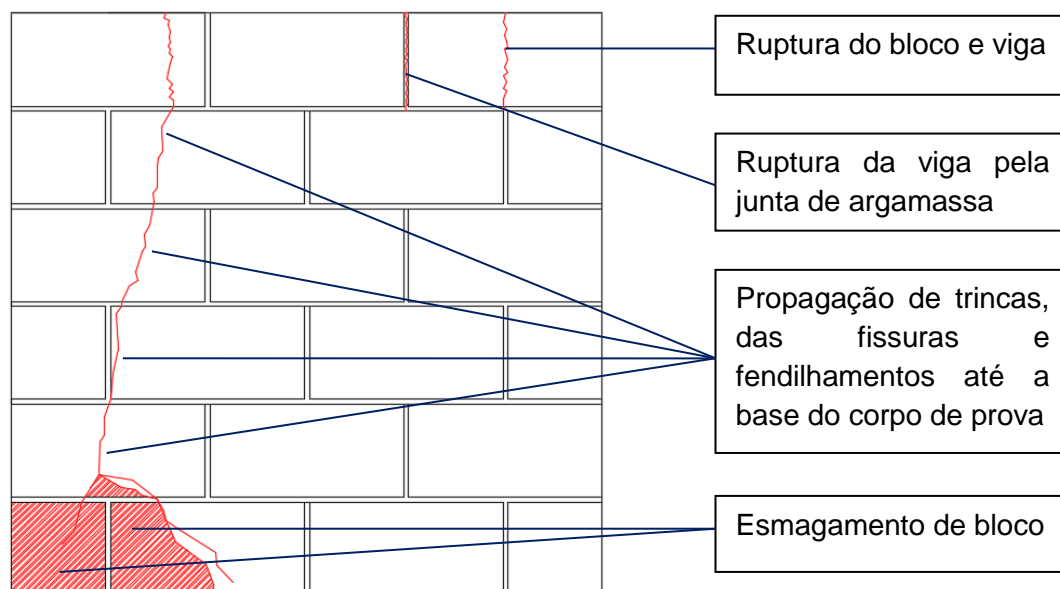


Figura 95 - Modo de Ruptura

4.5.3. Miniparedes com viga grauteada com concreto leve

Na Tabela 31 são dispostos os resultados parciais e médios das resistências obtidas do ensaio a compressão das paredes de alvenaria estrutural com vigas grauteadas com concreto de baixa densidade, também chamado de leve, construídos como descreve as sessões de graute e miniparedes dispostos na revisão bibliográfica e na metodologia adotada.

Tabela 29- Resultados médios da resistência das miniparedes com vigas leves

Padrão	Repetições			Média	Desvio Padrão	CV
	1	2	3			
Viga Leve (PVL)	4,85	4,83	4,67	4,78	0,08	0,02

Como é perceptível nos resultados da Tabela 32, a resistência média das vigas grauteadas com concreto leve é de aproximadamente 4,80 MPa, destoando assim dos demais modelos que apresentaram valor menor em média. Como exposto nas Figuras 101, 102 e 103 a carga aplicada nesse modelo de paredes se estabeleceu em torno de 800 kN e seus deslocamentos nas direções escolhidas

para análise sendo elas vertical, horizontal e lateral, foram, respectivamente, valores próximos a 1,6 mm, 1,1 mm e 2,9 mm.

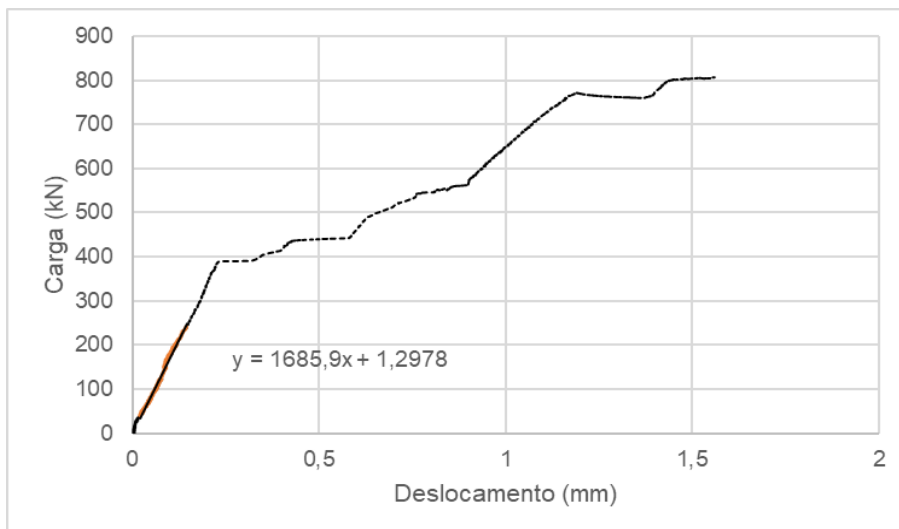


Figura 96 - Deslocamento vertical das miniparedes com viga leve

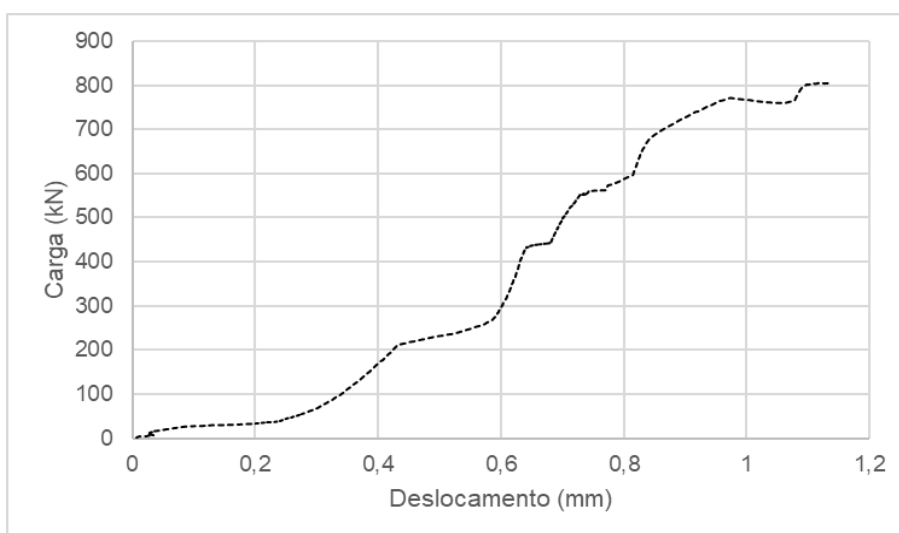


Figura 97 - Deslocamento Horizontal das miniparedes com viga leve

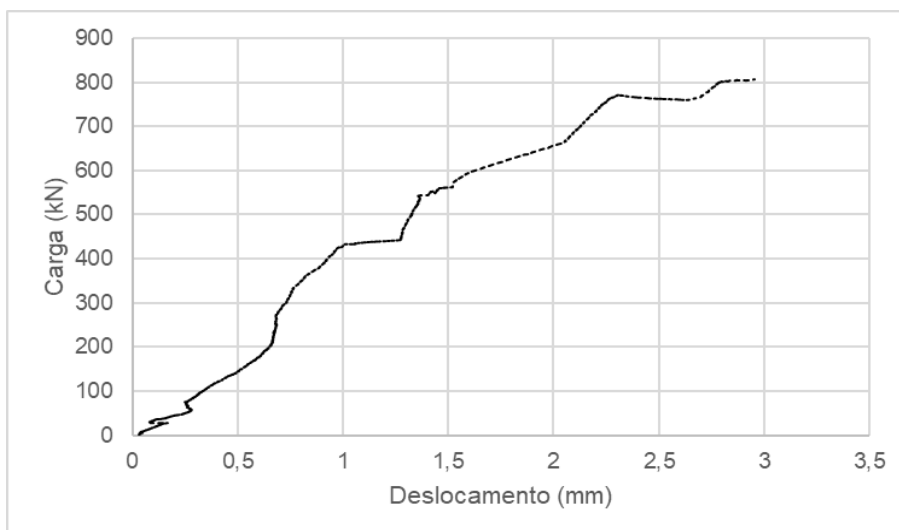


Figura 98 - Deslocamento lateral das miniparedes com viga leve

Ao observar os gráficos das Figuras 101, 102 e 103 é possível aferir que nas primeiras aplicações de carga o deslocamento pequeno, aumentando, assim, de acordo com o prosseguir do ensaio e aplicação de carga. Em torno de 400 kN a carga tem um determinado decréscimo ocasionado pela primeira ruptura, rompendo assim um elemento da parede. Após esse episódio a carga volta a subir até sua ruptura, que nesse caso foi abrupta. O deslocamento vertical, mostrado na Figura 101 segue uma linha de tendência dividindo a curva na zona plástica e elástica. A queda de tensão coincide exatamente com essa troca de tendência da curva. Sua deformação é considerada pequena nas primeiras aplicações de carga, onde posteriormente, adquire maior deslocamento. Já a deformação horizontal, Figura 102, é maior que a vertical. Seu crescimento é maior desde as primeiras cargas até sua ruptura. Na Figura 103 é mostrado o deslocamento lateral que tem menor crescimento nas cargas iniciais, aumentando gradativamente até sua ruptura.

Na Figura 104 é mostrado, da mesma forma e pelos mesmos motivos dos itens das seções 4.6.1. e 4.6.2., o gráfico de comparação dos deslocamentos aferidos pelos transdutores quanto o do atuador.

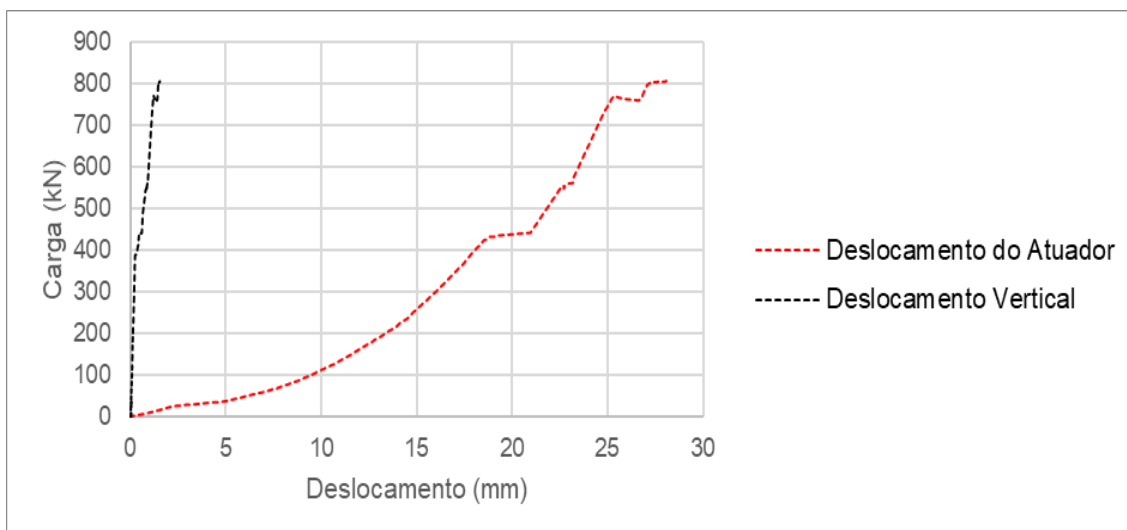


Figura 99 - Deslocamento vertical em relação a deslocamento do atuador

Nas Figuras 105, 106 e 107 são apresentados desde a preparação da amostra para ruptura, seu modo de ruptura e o rompimento da viga de alvenaria estrutural.



Figura 100 - Preparação para aplicação de carga nas miniparedes com viga leve



Figura 101 - Módulo de ruptura das miniparedes com vigas convencionais

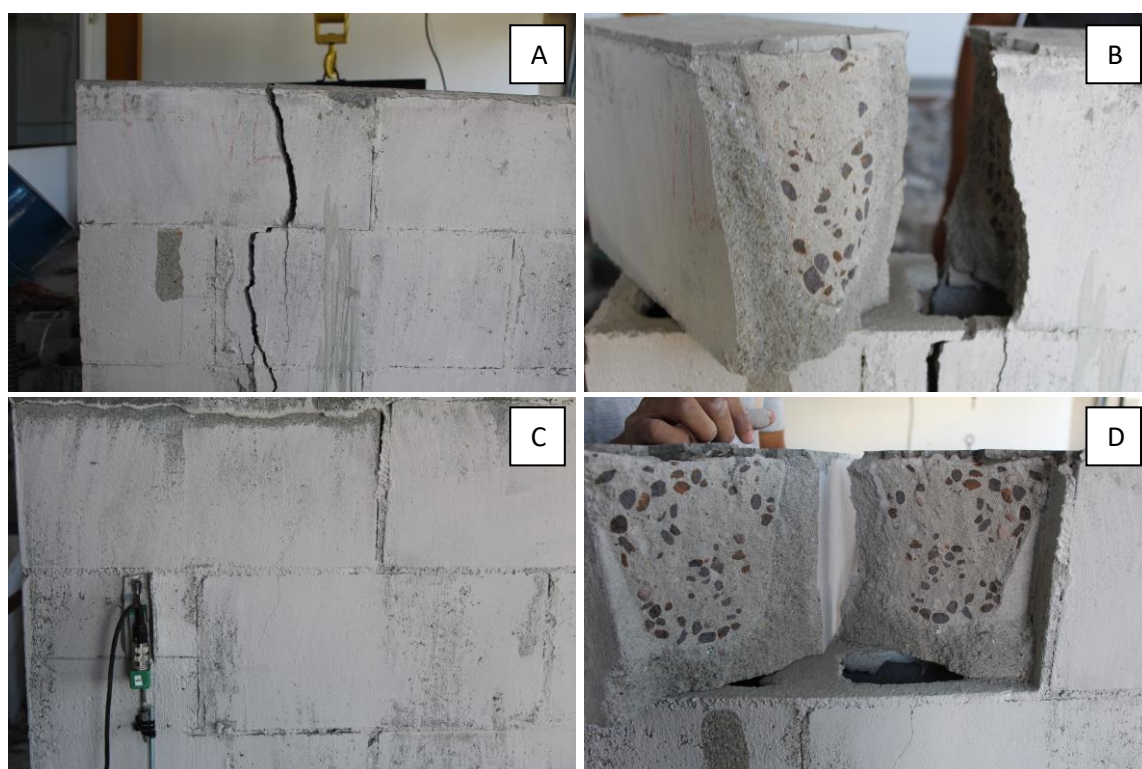


Figura 102 - Ruptura da Viga

Na Figura 108 é mostrado o esquema de modo de ruptura apresentado por esse modelo de miniparede.

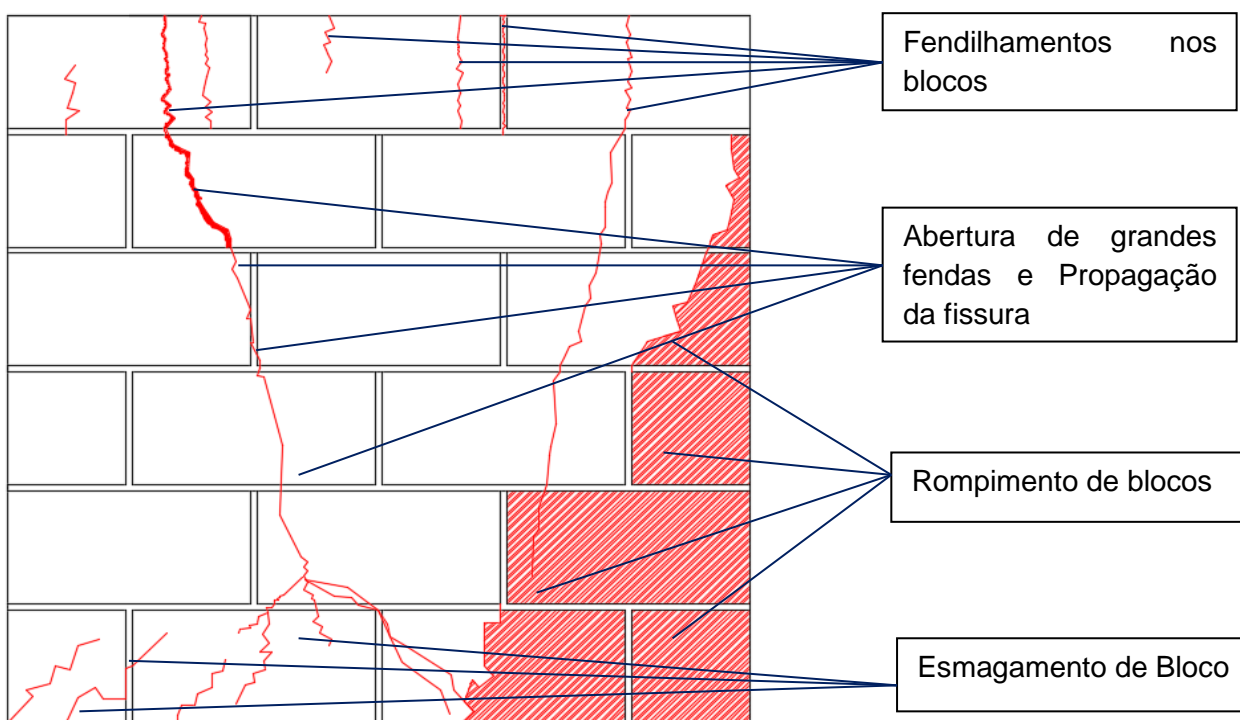


Figura 103 - Modo de ruptura da parede com viga leve

4.5.4. Comparação dos modelos de Miniparedes

Comparando os modelos adotados na pesquisa é perceptível, quando observado os resultados parciais de cada miniparede, que as paredes sem viga e com viga grauteada com concreto convencional tem desempenho semelhante quando comparado a com viga leve que obteve maior resistência a compressão. Os modelos PSV e PVC, sem viga e com viga convencional, respectivamente, obtiveram resistência que variavam de 74% a 80% aproximadamente do valor da resistência da PVL, parede com viga leve. A Tabela 32 exemplifica, em resultados parciais, a diferença de resistência em cada parede. Com a Tabela 32 é possível analisar a eficiência da parede sem viga quanta ao prisma e aos blocos utilizados.

Tabela 30 - Resultados da resistência à compressão das miniparedes

Tipo de parede	Resistência à compressão das miniparedes na primeira fissura ($f_{ppk\ fissura}$) (MPa)	Resistência à compressão das miniparedes na ruptura ($f_{ppk\ ruptura}$) (MPa)	Desvio Padrão (Sd) (MPa)	CV (%)	Eficiência miniparede/prisma (η)	Eficiência miniparede/bloco (η)	Normalização
PSV	2,92	3,48	0,38	1,17	0,76	0,47	0,745
PVC	2,76	3,73	0,45	0,5	0,69	0,54	0,798
PVL	2,65	4,67	0,08	0,21	0,93	0,63	1,000

Como pode-se observar, em comparação com o modelo de miniparede que obteve maior resistência a compressão que nesse caso foi a parede com viga grauteada com concreto leve, a resistência das demais é menor cerca de 25%. Esse comportamento inesperado é atribuído a parede com viga leve apresentar, em todos seus componentes de formação, resistências à compressão próximas e características semelhantes. Nesse caso o modelo de miniparede se apresenta como um sistema monolítico com maior coesão. Na Tabela 33 são apresentados os resultados da deformabilidade dos tipos de paredes.

Tabela 31 - Deformabilidade dos tipos de parede

Tipo de parede	Carga _P (kN)	Deslocamento			σ_P	ϵ_{PV}	ϵ_{PH}	ϵ_{PL}	V _H	V _L	E _{PP}
		PV	PH	PL							
PSV	374,16	16,43	0,25	0,88	2,25	0,02934	0,0036	0,0015	0,122	0,050	1601,2
PVC	256,67	15,20	0,28	1,04	1,54	0,02714	0,0040	0,0017	0,147	0,064	2235,0
PVL	388,76	17,82	0,63	0,91	2,33	0,03183	0,0090	0,0015	0,282	0,048	1685,9

Na Figura 109 é possível observar a distinção do deslocamento vertical em cada um dos modelos estudados. Percebe-se com esses resultados que a parede com viga grauteada com concreto convencional apresentou menores deslocamentos em relação às demais. Num primeiro momento os modelos PSV e PVC se comportam de maneira semelhante, tanto no ganho de carga quanto no deslocamento adquirido durante esse percurso. No entanto o modelo com viga convencional tem maior carga de ruptura e menores deslocamentos quando comparados com as miniparedes sem vigas de alvenaria estrutural já que, como demonstra a Figura 109, ao incitar a cargas próximas a de ruptura seu deslocamento aumenta com maior proporção. Ambos modelos, PSV e PVC ao chegar na sua carga de ruptura tendem a diminuir sua carga até o rompimento da parede. No modelo com viga leve há uma distinção no seu comportamento desde o início do processo de aplicação de carga. O deslocamento inicial é maior quando se comparado aos outros modelos. Contudo sua deformabilidade é comparada a parede sem viga que tem aproximadamente metade de sua carga máxima.

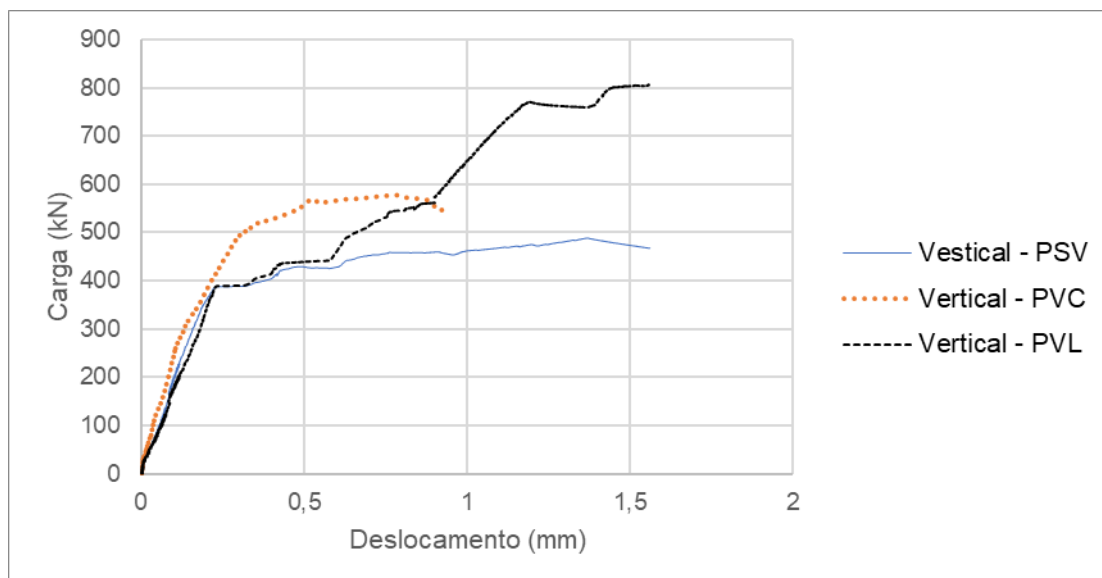


Figura 104 - Comparação na direção vertical

Como constato durante o ensaio e apresentado nas seções 4.6.1., 4.6.2. e 4.6.3 que a medição dos deslocamentos vertical não foram satisfatórios visto a análise do posicionamento dos transdutores. Com isso foram analisados os deslocamentos dos atuadores da prensa utilizada no ensaio à compressão. No gráfico da Figura 110 é demonstrado a comparação dos deslocamentos do atuador em relação a carga de cada modelo de miniparede.

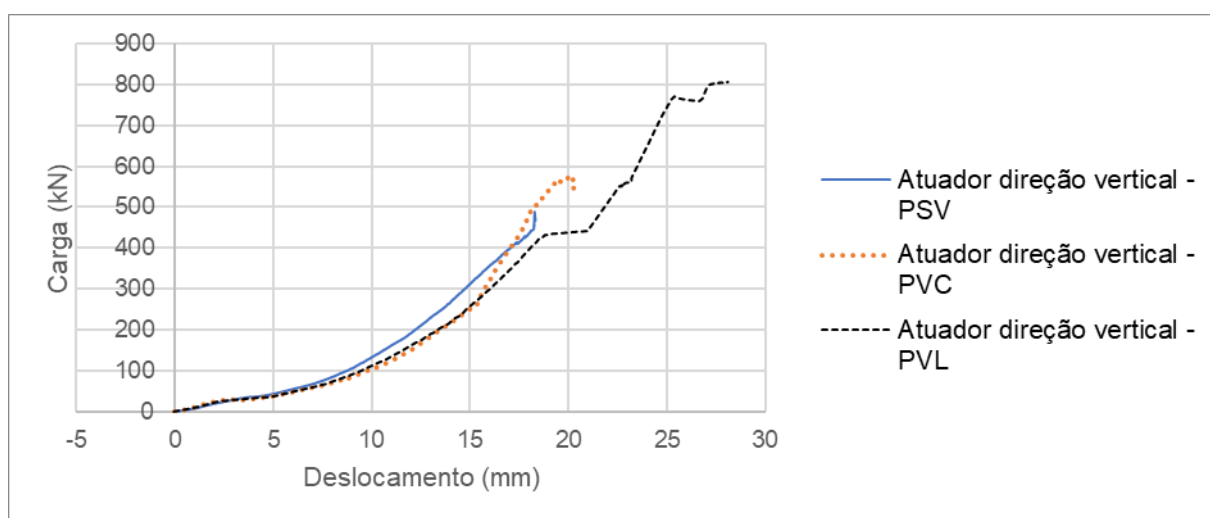


Figura 105 - Comparação dos deslocamentos verticais dos atuadores

Na direção horizontal, a qual foi escolhida para aferição de deslocamentos dos modelos estudados, como mostra Figura 111, segue a diferença dos deslocamentos em relação a carga aplicada em cada tipo de miniparede. No gráfico apresentado é perceptível a diferença de resistência obtida em cada modelo e seu deslocamento. A deformação da parede sem viga de alvenaria estrutural é maior

mesmo esse modelo detendo de menor carga de ruptura. No midelo PSV já nas primeiras aplicações de carga ocorre um consideravel aumento na deslocabilidade da parede, o que se distigüe dos outros modelos que alçaçam esse mesmo deslocamento em cargas maiores. Posteriormente a carga aplicada tem consideravel aumento, onde o deslocamnto cresce proporcionalmente até cargas próximas a de ruptura. Nesse momento o deslocamento aumenta ate a ruptura da parede e assim perda de força. No modelo com viga de alvenaria estrutural grauteado com concreto convencional (PVC) a derformabilidade da parede tem um crescimento significativo até cerca de 50% da sua carga máxima suportada. Até a marca de 300 kN há um crescimento progressivo no deslocamento, após esse episódio o deslocamento quase que estatiza-se até a sua ruptura e descrescimo da carga aplicada e rompimento da parede. O comportamento do modelo com viga leve é semelhante ao PVC nas primeiras atribuições de carga. No entando o aumento do deslocamento é menor se comparado as demais modelos. Contudo seu deslocamento final é o menor observado mesmo sua carga sendo bem maior que das demais paredes estudadas.

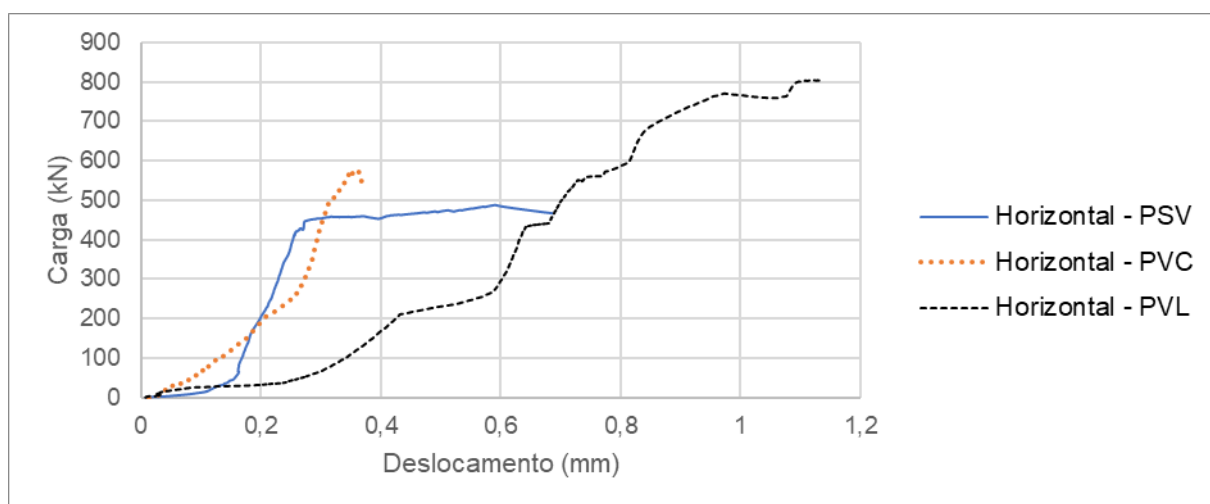


Figura 106 - Comparação na direção horizontal

Tratando do deslocamento lateral é observado, com auxílio dos resultados dados na Figura 112, que as curvas deslocamento e cargas são semelhantes apesar das diferentes cargas de ruptura de cada modelo estudado. A tendência das curvas de todos modelos estudados tem crescimento do deslocamento crescente e um aumento dele quando próximo a carga de ruptura. Ainda assim, se analisado a fundo, o modelo que contém menor deforma, mesmo com maior força aplicada é o

PVL seguido do PVC e por último o PSV que tem menor carga aplicada e maior deslocamento nessa direção.

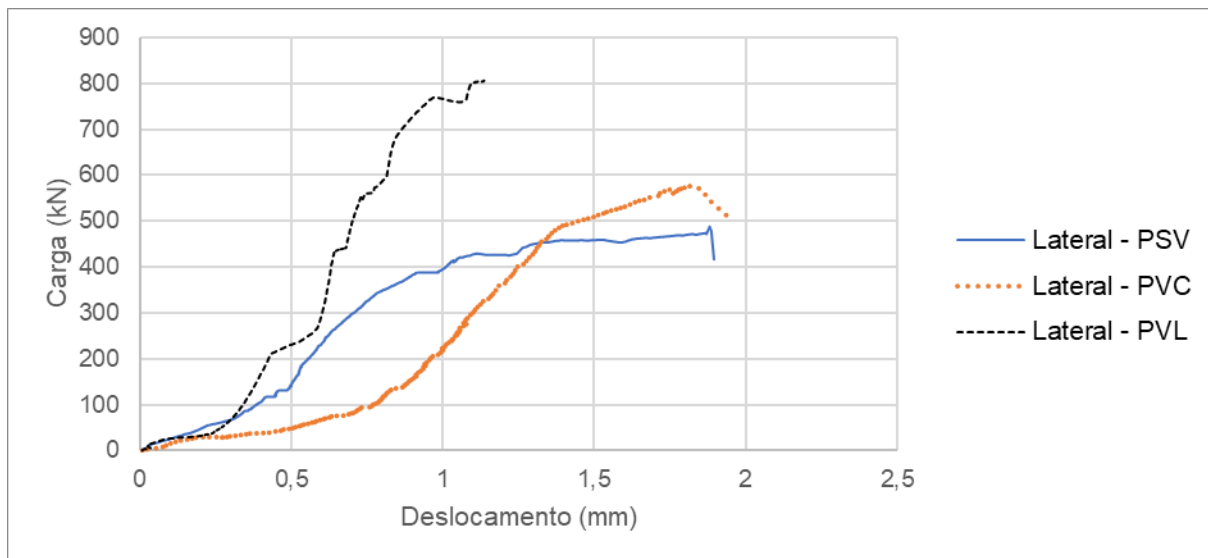


Figura 107 - Comparação na direção Lateral

Analisando os gráficos das Figuras 109, 110, 111 e 112 são observadas as diferenças dos modelos estudados. Nas paredes com vigas de alvenaria estrutural grauteadas com concreto de baixa densidade, também chamado de concreto leve os resultados são muito satisfatórios visto que sua carga máxima suportada pela parede é cerca de 25% maior que a dos outros modelos e seus deslocamentos máximos, mesmo com a discrepância na carga de ruptura, são menores em todas direções exceto na vertical a qual se aproxima do deslocamento dos outros modelos. A grande diferença nesse caso são seus módulos de ruptura e tipo de rompimento de cada um dos modelos. As paredes sem vigas e com vigas convencionais, apesar de menor carga de ruptura tem uma ruptura bem menos abrupta que as com viga leve. Os dois modelos citados em comparação ao PVL apresentam maior número de fissuras, fendilhamentos, blocos e argamassas esmagados e, quando atingem a carga máxima não tem efeito explosivo ou de desmoronamento, há um certo aviso prévio antes de sua total ruptura. Os modelos estudados com viga leve tiveram rupturas mais abruptas rompendo-se logo quando alcançada a carga máxima. Quando alcançada a carga última a parede, que já apresentava fissuras e fendas, tinha ruptura iminente de uma vez só. Nos outros modelos, quando atingida a carga última a parede se rompeu e a carga diminuiu até a parede se romper por completo. Em dois corpos de prova dentre os modelos citados, PSV e PVC, as paredes não tiveram destruição total, apenas não absorveram a mais cargas e tensões se continuada aplicação de força.

Observando o módulo de ruptura das paredes foi observado que em todos modelos apresentam as tipologias de ruptura de uma parede, desde do rompimento dos blocos e argamassas, como, também, trincas, fendilamentos e grandes propagações de fissuras. No modelo de parede sem viga de alvenaria estrutural (PSV), o aparecimento de fissuras é menor que nos demais modelos. No entanto sua resistência a compressão também é menor. Nesse modelo as paredes apresentavam apenas fissuras e trincas que se propagam ao longo da parede até sua base, considerado como apoio. Ou modo de ruptura apresentado pelas PSV's foi o rompimento da argamassa e nos blocos, tanto meio deles quanto entre-séptos, na direção transversal dividindo o bloco ao meio. Nos modelos com vigas preenchidas com concreto convencional (PVC) ocorrem as mesmas patologias que se apresentam no rompimento das paredes sem viga (PSV). Contudo as fissuras se propagam em maior quantidade se comparado ao modelo anterior se direcionando aos blocos da base. Nesse caso, em alguns corpos de prova, aconteceu o esmagamento de bloco, fazendo com que a parede perdesse resistência e rompesse. O modelo que mais se distinguiu em se tratando de ruptura foi o modelo com viga leve (PVL). Nesses corpos de prova a incidência de fissuras foi maior, com fissuração desde a viga, nos blocos e na argamassa. Em alguns modelos o aparecimento de fendas maiores foi evidenciado. Com isso também foi observado o esmagamento de bloco e argamassa ao logo da parede. Por fim seu rompimento foi de forma inesperada, destruindo assim parte do corpo de prova ou o corpo de prova por inteiro.

CAPÍTULO VI – CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. Conclusões

Em relação as unidades de blocos de concreto recebidos para a confecção das paredes e prismas da pesquisa foram concluídas que a fábrica, previamente indicada pelos estudos de Lima (2019), atende aos requisitos para utilização e aceitação do material para a pesquisa em questão. Quanto a análise dimensional os blocos atendem perfeitamente as recomendações normativas brasileiras. Com relação às propriedades físicas os blocos apresentaram adequação as classes A e B, apresentando parâmetros melhores para sua utilização. Quanto a resistência a compressão as unidades de concreto apresentaram resistência necessária para uso estrutural sendo classificado na classe B de blocos. Por fim, analisando cada ensaio da etapa de aceitação do lote recebido, pôde-se concluir que os blocos apresentavam adequação às normas técnicas e puderam ser implementados à pesquisa.

No estudo preliminar dos concretos utilizados no grauteamento foram analisados tanto sua resistência, interface e rendimento. Nos diferentes traços do grautes testados como análise preliminar, aferiu-se que a quantidade do incorporador de ar além de diminuir a densidade do concreto abaixa consideravelmente sua resistência. Os traços confeccionados para estudo da escolha da dosagem adequada tiveram a incorporação em porções adequadas de cal hidratada, que proporcionou, até determinada quantia, maior trabalhabilidade ao concreto. O concreto convencional utilizado no preenchimento das vigas de alvenaria estrutural apresentou cerca de 11 MPa de resistência o qual foi construído com traço inicial utilizado nas obras da região norte fluminense. O concreto leve apresentou cerca de 6 MPa de resistência e uma densidade cerca de 30% menor que do graute convencional.

Quanto à argamassa de assentamento dos blocos também foram realizados estudos e ensaios preliminares para determinação da dosagem. A argamassa foi confeccionada de acordo com a NBR 13281 (2005) sendo, por fim, classificada como P5 R3 D5 U5. O traço utilizado, em massa, foi 1:0,5:4,5, e a resistência à compressão obtida por meio de ensaios foi de 7,23 MPa. Sua relação água/cimento aferida foi de 0,90 apresentando, assim, uma alta retenção de água.

Os ensaios de compressão dos prismas puderam evidenciar diferentes resistências para cada um dos modelos ensaiados bem como os modos de ruptura de cada um deles e sua deformação. Como esperado, em se tratando de resistência à compressão, a resistência dos modelos não grauteados (PSG) foram as menores alcançadas sendo em média 4,64 MPa. Seguindo, com resistência mediana entre os modelos estudados, apresenta-se o prisma grauteado com concreto de baixa resistência e baixa densidade, também chamado de leve, (PGL), com resistência à compressão com valores médios de 5,68 MPa. Os prismas grauteados com concreto convencional (PGC) obtiveram resultados de resistência à compressão de aproximadamente 5,05 MPa, sendo o modelo de prisma apresentado com maior resistência de resistência à compressão. Nos ensaios dos prismas também pôde-se observar que os deslocamentos nas direções vertical são semelhantes nos modelos PGC e PGL, menores que o modelo PSG e que na direção lateral os três modelos apresentam comportamentos diferentes, sendo o prisma com graute leve o que tem menor deslocabilidade. Em seguida, é observado o prisma sem graute o intermediário e, por fim, o com graute convencional que apresenta maior deslocamento por ter um maior grau de deslocamento do concreto de preenchimento em relação ao bloco. Quanto ao modo de ruptura os PSG tiveram abertura de trincas da parte superior do corpo de prova até a base, rompendo o bloco e a argamassa. Nos prismas grauteados, PGC e PGL, os prismas tiveram esmagamento do bloco e deslocamento do concreto em relação ao bloco, rompendo, de tal maneira, o corpo de prova.

Em se tratando dos ensaios de miniparedes, dentre os resultados do ensaio de resistência à compressão dos 3 modelos ensaiados, paredes sem viga (PSV), paredes com vigas grauteadas com concreto convencional (PVC) e paredes com vigas grauteadas com concreto leve (PVL), o modelo PVL apresentou maior resistência à compressão e uma ruptura mais abrupta, seguido do PVC e por último do PSV como menos resistente. No modo de ruptura das paredes foi observado que todos modelos apresentaram as tipologias de ruptura, desde o rompimento dos blocos e argamassas, como, também, trincas, fendilhamentos e grandes propagações de fissuras. Pôde-se aferir que o modelo PSV apresentou maior quantidade de trincas, fissuras e rompimento do cordão de argamassa. Já nos modelos PVC e PVL fissuras maiores e trincas foram observados ao longo de toda parede, apresentando fendilhamentos, esmagamento do bloco e argamassa e ruptura dos componentes separadamente.

Em relação as deformações dos modelos analisados, foi observado que a parede com viga grauteada com concreto leve, (PVL), obteve menores valores de deslocamento. Nos modelos com viga convencional, (PVC), e sem viga, (PSV), como não há ruptura de maneira inesperada e sua carga tem decaimento após sua ruptura a deformação tende a aumentar. Dentre os outros modelos o que apresentou maior deslocamento foi o modelo sem viga. Com relação a deformabilidade dos modelos de paredes é possível reafirmar que a deformação do modelo com viga leve é a menor, indicando assim que o modelo é uma opção a ser considerada para novas aplicações e novos estudos. A utilização desse modelo pode ocasionar menores esforços nas solicitações de uma construção, já que sua densidade e peso são menores, possibilitando, assim, a inserção de novos materiais no ramo da construção civil.

Ao observar, aferir e analisar os resultados pode-se perceber que as paredes com vigas grauteadas com concreto leve (PVL) apresentaram significativos resultados quanto a resistência e deformação. É atribuído ao melhor desempenho das PVL o fato de todos componentes apresentarem resistências próximas tornando esse modelo de parede um elemento monolítico, com menor discrepância e menor diferença, sendo assim mais coeso. Os autores quando definem a alvenaria tendem a enfatizar que a mesma deve ser um sistema monolítico. No modelo de parede com viga leve os elementos apresentam características e resistências semelhantes. Esse fator tende a indicar que o modelo PVL trabalha de maneira monolítica quando submetidos a esforços externos, absorvendo de maneira mais uniforme os esforços e solicitações do postas às amostras.

5.2. Recomendações para trabalhos futuros

Para um estudo mais aprofundado são sugestões para trabalho a serem desenvolvidos a:

- A análise detalhada da propagação de carga no ensaio de compressão utilizando uma maior quantidade de equipamentos para a instrumentação dos prismas e das miniparedes;
- Utilização de diferentes tipos de extensômetros para confirmação dos dados a serem obtidos;

- Utilizar dosagens de concretos convencionais e leves com a mesma resistência e com resistências de alta, média e baixa resistência;
- Utilização de análise numérica dispostas a otimização dos modelos ensaiados juntamente com estudo dos modelos em análise matemática com modelos finitos;
- Avaliar os modelos de parede com e sem viga submetidos a cisalhamento e à flexão;
- Utilizar diferentes tipos de concreto leve no preenchimento das vigas, utilizando material reciclado, como isopor, para sua fabricação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Concrete Institute (1999). Building code requirements for structural concrete with commentary. ACI-318-99, Detroit.

American Society for Testing and Materials (2016) Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms: ASTM C 1314. Philadelphia.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1998) Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone: NBR NM 67. Rio de Janeiro

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) Agregados - Determinação da composição granulométrica: NBR NM 248. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005) Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – requisitos: NBR 13281. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (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.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005) Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água: NBR 13277. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005) Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado: NBR 13278. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005) Concreto - ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos: NBR 5739. Rio de Janeiro

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

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

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2007) Concreto - ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos: NBR 5739. Rio de Janeiro

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009) Agregados para concreto – Especificação: NBR 7211. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009) Agregados para concreto- Especificação: NBR 7211. Rio de Janeiro

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009) Água para amassamento do concreto - Parte 1: Requisitos: NBR 15900-1. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2011) Alvenaria estrutural – Blocos de concreto. Parte 1: Projeto: NBR 15961-1. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2011) Alvenaria estrutural – Blocos de concreto. Parte 2: Execução e controle de obras: NBR 15961-2. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013) Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – métodos de ensaio: NBR 12118. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014) Concreto leve celular estrutural - Determinação da densidade de massa aparente no estado fresco: NBR 12644. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2015) Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, para realizar os ensaios de resistência à compressão: NBR 5738. Rio de Janeiro

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016) Alvenaria de blocos de concreto – métodos de ensaio: NBR 16522. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016) Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência: NBR 13276. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016) Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios: NBR 16541. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016) Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - requisitos: NBR 6136. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017) Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica: NBR 16605. Rio de Janeiro.

Assunção, J. W. (2016) *Concreto leve autoadensável: Avaliação da influência da argila expandida no processo de dosagem e nas propriedades do concreto*. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de São Carlos.

Babu, D. S. (2008) *Mechanical an deformational properties, and shrinkage cracking behavior of lightweight concretes*. Department of Civil Engineering - National University of Singapore, Singapore.

Barbosa, P. C. (2000) *Estudo da iteração de paredes de alvenaria estrutural com vigas de concreto armado*. Dissertação de Mestrado - Universidade de São Paulo, São Paulo.

Building Code Requirement of Masonry Structures (1995) ACI 530-95/ASCE 5-95/TMS 402-95, Masonry Standard Joint Committee, ACI, ASCE, TMS.

Building Code Requirement of Masonry Structures (1996) ACI 530-96/ASCE 5-96/TMS 402-96, Masonry Standard Joint Committee, ACI, ASCE, TMS.

Bussab. S.; Cury. F. J. (1990) Arquitetura. In: TAUIL. C. A. Manual Técnico de Alvenaria - São Paulo, 17-42.

Calçada, L. M. L. (1998) *Avaliação do comportamento de prismas grauteados e não grauteados de blocos de concreto*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 167p.

Camacho, J. S. (1995) *Contribuição ao estudo de modelos físicos reduzidos de alvenaria estrutural cerâmica*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo.

Camacho, J. S. (2006) *Projetos de edifícios em alvenaria estrutural*. Notas de aula. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

Camacho, J.S., Logullo, B. G., Parsekian, G. A., Soudais, P. R. N. (2015) *The influence of grouting and reinforcement ratio in the concrete block masonry compressive behaviour*. *IBRACON Struc. Mater. J.*, 8:353-364.

Camacho, J.S., Logullo, B. G., Parsekian, G. A., Soudais, P. R. N. (2015) *The influence of grouting and reinforcement ratio in the concrete block masonry compressive behaviour*. *IBRACON Struc. Mater. J.*, 8:353-364.

Catóia, T. (2012) *Concreto Ultraleve estrutural com pérolas de EPS: caracterização do material e estudo de sua aplicação em lajes*. Dissertação de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos.

CINEXPLAN – Argila Expandida. Disponível: Acesso: Novembro/2018.

COLVILLE J.; WOLDE-TINSAE, A. M. (1991) *Compressive strength of grouted concrete masonry*. International Brick and Block Masonry Conference, 9^o, Berlim.

Contadini, L.F. (2014) *Análise teórica e experimental do comportamento de vigas de alvenaria estrutural armada sujeitas à flexão simples*. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

Ferreira, C. N. G. (2015) *Dimensionamento de elementos estruturais em concreto leve*. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

Franco, L. S. (1994) *Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos em alvenaria estrutural não armada*. Tese de doutorado – Universidade de São Paulo, São Paulo.

Gieseler, S. E. e Tutikia, B. F. (2013) *Study of grouts made with recycled aggregate from waste of ceramic block incorporating levels of hydrated lime*. *Ambiente Construído*, Porto Alegre. 13: 303-3015.

Gomes, I. R. (2001) *Simulação numérica do ensaio de compressão de prismas de alvenaria pelo método dos elementos finitos com comportamento de interface*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 160p.

Gomes, N.S. (1983) *A resistência das paredes de alvenaria*. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo. 190p.

Grassi, R, L e Antunes, E. G. P. (2009) *Concreto leve: estudo de dosagens com argila expandida e poliestireno expandido moído*. Universidade do Extremo Sul Catarinense, Santa Catarina.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2018) Pesquisa Anual da Indústria da Construção-PAIC. Cartilha de Pesquisa IBGE.

Izquierdo, O. S. (2011) *Influência do tipo de argamassamento e da utilização de peças de ajuste dimensional na resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto*. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Carlos. 155p.

Izquierdo, O. S. (2015) *Estudo da interface bloco/graute em elementos de alvenaria estrutural*. Dissertação de doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

Kato, R. B. (2002) *Comparação entre o sistema construtivo convencional e o sistema construtivo em alvenaria estrutural segundo a teoria da construção enxuta*. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina,

Khalaf, A., Hendry, W., Fairbain, DR, (1994) *Mechanical properties of material used in concrete blockwork construction*. Concrete Research, v. 44.

Khoury, M. E. (1975) *Resistencia a flexão de vigas de concreto leve armadas com aço*. Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

La Rovere, H. L. (2001) *Alvenaria Estrutural*. Notas de aula do curso de pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

La Rovere, H.L., Soliz, V.H.V. (1995) Efeito da altura na resistência de prismas de alvenaria de blocos cerâmicos vazados. *Jornadas Sudamericanas de Ingenieria Estructural*, Argentina.

Leonhardt, F.; Mönning, E. (1997) *Construções de concreto - volume 1: princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado*. Rio de Janeiro, Editora Interciência

Leonhardt, F.; Mönning, E. (1998) *Construções de concreto - volume 2: casos especiais de dimensionamento de estruturas de concreto*. Rio de Janeiro, Editora Interciência.

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 de Mestrado. Universidade Federal de Alagoas, Maceió.

Lima, T. E. S. (2019). *Influência do tipo de argamassamento na resistência à compressão de alvenaria estrutural de blocos de concreto*. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes.

Lima, T. E. S., Alexandre, J., Pinheiro, V. D., Paes, A. L. C., Azevedo, A. R. G., Monteiro, S. N., Aguiar, N. C. (2018) Caracterização de blocos estruturais de concreto provenientes do Norte Fluminense. *73º Congresso Anual ABM Internacional*, São Paulo.

Martinez, P. H. (2017) *Influência da geometria de blocos cerâmicos no comportamento de vigas paredes de alvenaria estrutural*. Dissertação de mestrado - Universidade Estadual Paulista Júlio De Mesquita Filho, São Paulo.

Martins, R.O.G., Nalon, G.H., Alvarenga, R.C.S.S., Pedroti, L.G., Ribeiro, J.C.L. (2018) Influence of blocks and grout on compressive strength and stiffness of concrete masonry prisms. *Constr. Build. Mater.* 182:233-241.

Mata, R. C. (2006) *Influência do padrão de argamassamento na resistência à compressão de prismas e mini-paredes de alvenaria estrutural de blocos de concreto*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Maycá, J., Recena, F.A.P e Cremonini, R.A. (2009) *Estudo da resistência à compressão de concretos leves produzidos com argila expandida nacional*. ISBN.

Medeiros, J. S. (1993). *Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto*. Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Mehta, K., Monteiro, P. J. M. (1994) *Concreto: Estrutura, Propriedades, Materiais*. São Paulo, Editora Pini.

Mehta, K., Monteiro, P. J. M. (2008) *Concreto. Microestrutura, Propriedades e Materiais*. IBRACON, São Paulo: 674 p, 3. ed.

Mehta, K., Monteiro, P. J. M. (2008) *Concreto: Estrutura, Propriedades, Materiais*. São Paulo, Editora Pini.

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

Mohamad, G. (1998) *Comportamento mecânico na ruptura de prismas de blocos de concreto*. *Dissertação de Mestrado*. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 178p.

Mohamad, G. (2007) *Mecanismo de ruptura da alvenaria de blocos à compressão*. *Tese de Doutorado*. Universidade do Minho, Braga. 290p.

Mohamad, G., Fonseca, F. S., Roman, H. R., Vermeltoort, A. T., Rizzatti, E. (2015) Behavior of Mortar under Multi-Axial Stress. *North American Masonry Conference 12th*. Denver, Colorado.

Mohamad, G., Fonseca, F. S., Vermeltoort, A. T., Martens, D. R. W., Lourenço, P. B. (2017) Strength, behavior, and failure mode of hollow concrete masonry constructed with mortars of different strengths. *Construction and Building Materials*, 134:489-496.

Mohamad, G., Lourenço, P. B., Roman, H. R. (2007) *Mechanics of hollow concrete block masonry prisms under compression: review and prospects*. *Cement & Concrete Composites*, 29(2):181-192.

Mohamad, G., Lourenço, P. B., Roman, H. R. (2011) Study of the compressive strength of concrete block prisms – stack and running bond. *IBRACON Struct. Mater. J.* 4(3):347-358.

Mohamad, G., Neto, A. B. S. S., Pelisser, F., Lourenço, P. B., Roman, H. R. (2009) *Caracterização mecânica das argamassas de assentamento para alvenaria estrutural – previsão e modo de ruptura*. *Revista Matéria*, 14(2).

Mohamad, G., Rizzatti, E., Roman, H. R. (2011) Failure mode, deformability and compressive strength of small structural masonry walls. *Ambiente Construído*. 11(3):7-22.

Neville, A. M. (2016) *Propriedades do Concreto*. 5 Edição. ed. Porto Alegre: Bookman.

Neville, A. M., (1997) "Propriedades do concreto", São Paulo, Ed. Pini.

OLIVEIRA, F. L., HANAI, J. B. (1998) Recuperação de paredes de blocos de concreto com revestimentos resistentes. Buenos Aires: AIE.

Oliveira, L. S. (2013) *Reaproveitamento de resíduos de poliestireno expandido (ISOPOR) em compósitos cimentícios*. Tese de Mestrado-Universidade Federal de São João Del-Rei.

Oliveira, R. A., Silva, F. A. N., Sobrinho, C. W. A. P., Azevedo, A. C., Delgado, J. M. P. Q., Guimarães, A. S. (2018) Structural performance of unreinforced masonry elements made with concrete and horizontally perforated ceramic blocks – Laboratory tests. *Construction and Building Materials*, 182:20-34.

Oliveira, R. P. (2015) *Estudo experimental da influência da argamassa de assentamento na resistência à compressão da alvenaria estrutural cerâmica*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes. 124p.

Parsekian, G. A. (2012) *Parâmetros de projeto de alvenaria estrutural com blocos de concreto*. São Carlos: EdUFSCar.

Parsekian, G. A. (2014) The success of masonry structures in Brazil: practice, research and challenges. *International Masonry Conference 9th*, Guimarães.

Parsekian, G. A., Côrrea, M. R. S., Lopes, G. M., Cavichioli, I. *Theoretical and experimental study of slender structural masonry walls*. *Ambiente Construído*. 16(4):197-213.

Parsekian, G. A., Fonseca, F. S., Pereira, J.L. (2016) *Why is the masonry market in Brazil is booming?* TMS Journal.

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

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

Pasquali, I. (2007) *Influência do tipo de argamassamento na resistência à compressão de pequenas paredes de alvenaria estrutural cerâmica*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 138p.

Pedroso, F. L. (2013) *Concreto: As origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem*. IBRACON - Concreto e Construções.

Peleteiro, S. C. (2002). *Contribuições à modelagem numérica de alvenaria estrutural*. 143 p. Tese de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

Pereira, Caio. (2018) O que é Graute?. Escola Engenharia. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/graute/>. Acesso em: 3 de abril de 2019.

Porto, T. B. (2010) *Estudo da interação de paredes de alvenaria estrutural com a estrutura de fundação*. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Minas Gerais.

Prudêncio Júnior, L. R. (1986) *Resistência à compressão da alvenaria e correlação entre a resistência de unidades, prismas e paredes*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 123p.

Prudêncio Júnior, L. R., Oliveira, A. L., Bedin, C. A. (2002) *Alvenaria estrutural de blocos de concreto*. Florianópolis: Editora Gráfica Pallotti.

Rabelo, A. C. N. (2004). *Dimensionamento de alvenaria estrutural segundo recomendações do Eurocode 6*. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas gerais, Belo Horizonte.

Ramalho, M. A., Côrrea, M. R. S. (2003) *Projeto de edifícios de alvenaria estrutural*. 1ª Ed. São Paulo: Pini.

Reis, P. F. O. (2010) *Análise numérica da influência dos segmentos grauteados na interação entre paredes de alvenaria estrutural com blocos de concreto*. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Goiás.

Rigão, A. O. (2012) *Comportamento de pequenas paredes frente a altas temperaturas*. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

Roman, H.R.; Araújo, H.N.; Mutti, C.N. (1999) *Construindo em alvenaria estrutural*. Florianópolis, UFSC, 1ed., 83p.

Rossignolo, J. A. (2009) *Concreto leve estrutural: produção, propriedades, microestrutura e aplicações*. São Paulo: Pini, 1. ed., 144 p.

Sabbtini, F.H. (1985) *Processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural silico-calcária*. Dissertação de mestrado - Universidade de São Paulo, São Paulo.

Santos, C.F.R., Alvarenga, R.C.S.S., Ribeiro, J.C.L., Castro, L.O., Silva, R.M., Santos, A.A.R., Nalon, G.H. (2017) Numerical and experimental evaluation of masonry prisms by finite element method. *IBRACON Struct. Mater. J.* 10:493–508.

Santos, M. J. F. (2008) *Análise da resistência de prisma e pequenas paredes de alvenaria estrutural cerâmica para diferentes tipos de argamassa*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 135p.

Silva, A. F. (2007) *Avaliação da resistência à compressão da alvenaria estrutural*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira.

Silva, B. M. M. (2003) *Estudo comparativo entre a utilização dos concretos convencional e leve nos elementos horizontais das estruturas de edifícios*. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Minas Gerais.

Silva, B. M. M. (2007) *Betão Leve Estrutural Com Agregados de Argila Expandida*. Dissertação de Doutorado - Curso de Estruturas de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Süssekind, J.C. (1980) – Curso de Concreto – Vol I, Editora Globo, Porto Alegre.

Tauil, C. A.; Nese, F. J. M. (2010) *Alvenaria Estrutural*. São Paulo: Pini, 183 p.