

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

**VALIDAÇÃO DA TÉCNICA DE MACACOS PLANOS NA**  
**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ALVENARIA EXISTENTE**  
**EXECUTADA COM BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO**

**JAIRO BORGES FERREIRA JÚNIOR**

São Carlos  
2020

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

**VALIDAÇÃO DA TÉCNICA DE MACACOS PLANOS NA  
AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ALVENARIA EXISTENTE  
EXECUTADA COM BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO**

**JAIRO BORGES FERREIRA JÚNIOR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

**Área de Concentração:** Estruturas e Geotecnia

**Orientador:** Prof. Dr. Guilherme Aris Parsekian

São Carlos  
2020



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

## **Folha de Aprovação**

---

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Jairo Borges Ferreira Júnior, realizada em 27/08/2020.

### **Comissão Julgadora:**

Prof. Dr. Guilherme Aris Parsekian (UFSCar)

Prof. Dr. Rafael Aguilar Velez (PUC-Perú)

Prof. Dr. Edgar Bacarji (UFG)

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.  
O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Dedico esta dissertação à minha família e amigos, principalmente à minha querida mãe, Edilamar Fagundes, que sempre me apoiou, ajudou e é minha companheira durante todos esses anos, e ao meu querido pai, Jairo Borges Ferreira, que não está mais fisicamente entre nós, mas tenho a certeza que sempre me ajudou, torceu e esteve ao meu lado, além de ser um grande exemplo pra minha vida.

Meus sinceros agradecimentos a Deus, por todas as benções recebidas.

Agradeço aos meus pais: Jairo Borges e Edilamar Fagundes, que são meus maiores exemplos. E a minha família, que sempre me apoiaram e estiveram comigo.

Muito obrigado ao professor Dr. Guilherme Parsekian, orientador dessa dissertação, por sempre estar disposto a ajudar, em qualquer dúvida, e por ser um grande mentor ao longo de todo curso.

Agradeço as empresas F.A. Oliva e a Plano&Plano, que gentilmente patrocinaram e apoiaram este trabalho. Agradeço a empresa Wendler Projetos e Sistemas Estruturais que apoio este projeto desde o início.

Obrigado a PHEPTUS Usinagem por toda assistência durante a fabricação dos equipamentos, necessários para este trabalho, em especial ao Sr. Evaldo José Pereira e ao Bruno Henrique Pepato.

Muito obrigado a Escola SENAI Antônio Adolpho Lobbe, de São Carlos, pela parceria na execução das soldas dos equipamentos, em especial aos professores Amair Coelho e Vagner Vampel.

Agradeço a todos os amigos que ajudaram neste trabalho, em especial ao Jadson Silva, que ajudou durante toda a execução dos ensaios.

Agradecimento ao técnico do Laboratório de Sistemas Estruturais da UFSCar Ricardo Canato por todo auxílio nas atividades experimentais.

Obrigado a todos os professores, que diretamente e indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

FERREIRA JR., Jairo Borges. **Validação da técnica de macacos planos na avaliação da resistência de alvenaria existente executada com blocos vazados de concreto.** 2020. 184f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020.

O método de macacos planos (*flatjack*) é utilizado como ensaios não destrutivos, no próprio local, em estruturas de alvenaria para a obtenção de dados mais acurados. Este método já é normalizado internacionalmente pela ASTM e RILEM, porém, os estudos, normas e macacos disponíveis sobre o tema, são referentes a alvenaria com elementos maciços, como tijolos e pedras. Este trabalho tem a finalidade de validar e melhorar a técnica de macacos planos na avaliação da resistência à compressão de alvenaria existente moderna, sendo desenvolvido um equipamento inédito na literatura, o primeiro macaco plano com abas duplas para ensaio em alvenaria estrutural executada com blocos vazados de concreto. O novo equipamento e a metodologia do ensaio foram desenvolvidos com sucesso, adaptando o teste de deformabilidade (macaco plano duplo), realizando os ensaios em uma obra real de alvenaria estrutural com blocos vazados de concreto e validando essa técnica como não destrutiva. Foi demonstrado como fabricar e calibrar os novos macacos, e realizar e analisar os ensaios, comparando os resultados encontrados com ensaios laboratoriais, disponibilizados pela construtora responsável pela obra. Tal pesquisa tem como motivação a normalização de ensaios com a utilização de macacos planos em estruturas com alvenaria de blocos vazados, facilitando a execução, diminuição dos custos e o tempo gasto com ensaios para determinar as características dos blocos vazados de concreto, principalmente, sem precisar levar a ruptura os elementos da parede.

**Palavras-chave:** Alvenaria estrutural; macaco plano; bloco vazado de concreto; ensaio não destrutivo; módulo de elasticidade; resistência à compressão.

## ABSTRACT

FERREIRA JR., Jairo Borges. **Validation of the flat jack technique in assessing the strength of existing masonry performed with hollow concrete blocks.** 2020. 184f. Dissertation (Civil Engineering Master in Science) - Federal University of São Carlos, São Carlos, 2020.

The flat jack method is used as non-destructive test, on site, on masonry structures to obtain more accurate data. This method is already standardized internationally by ASTM and RILEM, however, the studies, standards, and jacks available on the subject, refer to masonry with solid elements, such as bricks and stones. This work aims to validate and improve the technique of flat jacks in the evaluation of the compressive strength of modern existing masonry, being developed a new equipment in the literature, the first flat jack with double flaps for testing structural masonry with hollow concrete blocks. The new equipment and the test methodology were successfully developed, adapting the deformability test (double plane jack), carrying out the tests on a real structural masonry construction with hollow concrete blocks and validating this technique as non-destructive. It was demonstrated how to manufacture and calibrate the new jacks, and how to perform and analyze the tests, comparing the results found in laboratory tests, made available by the company responsible for the construction. The research is motivated by the standardization of tests with the use of flat jacks in structures with hollow blocks masonry, facilitating the execution, cost reduction and the time spent with tests to determine the characteristics of the hollow concrete blocks, mainly, without needing to break the masonry wall.

**Keywords:** Structural masonry; flat jack; hollow concrete block; non-destructive test; elastic modulus; compressive strength.

# SUMÁRIO

1. Introdução.....	19
1.1 Objetivos .....	21
1.1.1 Geral.....	21
1.1.2 Específicos .....	21
1.2 Justificativa.....	22
1.3 Apresentação do problema .....	24
1.4 Descrição dos capítulos .....	25
2. Referencial teórico.....	27
2.1 Alvenaria estrutural .....	27
2.1.1 Definições.....	28
2.1.2 Blocos de concretos vazados .....	29
2.1.3 Prismas.....	32
2.1.4 Argamassa de assentamento .....	34
2.1.5 Graute.....	35
2.2 Avaliação estrutural.....	36
2.2.1 Técnicas de avaliação destrutivas .....	37
2.2.2 Técnicas de avaliação não destrutiva .....	37
2.3 Técnica de prisma .....	39
2.4 Técnica não destrutiva com macacos planos.....	41
2.4.1 Histórico.....	42
2.5 Testes com macacos planos.....	51
2.5.1 Teste de tensão (macaco plano simples) .....	51
2.5.2 Teste de deformabilidade (macaco plano duplo) .....	53
2.6 Relação entre resistência à compressão e módulo de elasticidade ....	55

2.7	Conversão de testemunhos extraídos para moldados .....	57
2.8	Curvas tensão-deformação de alvenaria de blocos de concreto.....	58
2.9	Fator de correção em ensaios de prismas de alvenaria.....	62
2.10	Vantagens e desvantagens da técnica de macaco plano .....	63
2.10.1	Vantagens .....	63
2.10.2	Desvantagens .....	64
2.11	Normas e recomendações .....	64
2.11.1	ASTM C1196:14 .....	64
2.11.2	ASTM C1197:14 .....	66
2.11.3	RILEM MDT.D.4:04 .....	68
2.11.4	RILEM MDT.D.5:04 .....	70
2.12	Avaliações estruturais com macacos planos .....	70
3.	Programa experimental.....	93
3.1	Tema da pesquisa.....	93
3.2	Hipótese .....	93
3.3	Classificação da pesquisa.....	93
3.4	Fontes de informação.....	93
3.5	Método de pesquisa.....	94
3.6	Fases do programa experimental.....	94
3.7	Fluxograma .....	94
3.8	Etapa 1 .....	95
3.8.1	Amostra de alvenaria para teste com macacos .....	96
3.8.2	Fabricação dos macacos planos .....	97
3.8.3	Borbulhador à vácuo.....	109
3.8.4	Chapas para auxiliar a retirada do macaco .....	112
3.8.5	Calibração dos macacos .....	113

3.8.6	Ensaio livre com o borbulhador à vácuo .....	118
3.9	Etapa 2 (Teste com macacos planos) .....	119
3.9.1	Aplicação de carga .....	120
3.9.2	Leitura das deformações .....	120
3.9.3	Procedimentos de ensaio .....	122
3.9.4	Testes realizados.....	138
4.	Análise dos resultados.....	151
4.1	Etapa 3.....	151
4.1.1	Levantamentos considerados sobre a tensão e a deformação do ensaio	151
4.1.2	Resultados dos testes .....	152
4.1.3	Análise dos resultados.....	160
5.	Conclusões .....	170
5.1	Desenvolvimento de um novo macaco plano.....	170
5.2	Equipamento de borbulhador à vácuo desenvolvido.....	170
5.3	Chapas de encunhamento para auxiliar a retirada dos macacos.....	170
5.4	Ensaio com a técnica com macacos planos em alvenaria de blocos vazados de concreto.....	171
5.5	Resultados com os testes de macacos planos .....	171
5.6	Conclusões gerais.....	172
5.7	Sugestões para trabalhos futuros .....	172
6.	Referências bibliográficas.....	174
7.	Anexo.....	181

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Macaco plano tradicional americano desenvolvido pela Atkinson-Noland.....	25
Figura 2 - Edifício em alvenaria estrutural na cidade de São Carlos-SP.....	28
Figura 3 - Bloco Vazado.....	30
Figura 4 - Tipos de prismas para avaliação da resistência à compressão. ....	32
Figura 5 - Sequência de furos na junta com os tubos para o ensaio com tube-jack.....	39
Figura 6 - Disposição da argamassa em toda a face do bloco.....	40
Figura 7 - Disposição da argamassa em dois cordões laterais do bloco.....	40
Figura 8 - Macaco plano desenvolvido em Soriani (2016). ....	42
Figura 9 - Determinação da tensão atuante com um macaco plano. ....	44
Figura 10 - Determinação da deformabilidade característica da alvenaria com dois macacos planos.....	44
Figura 11 - Teste de calibração em laboratório em uma amostra grande de alvenaria.....	45
Figura 12 - Ensaio com macacos planos no “ <i>Palazzo della Ragione</i> ”.....	47
Figura 13 - Diagrama de tensão-deformação axial e transversal.....	48
Figura 14 - Ensaio com dois macacos planos na livraria “ <i>Classense</i> ”. ....	48
Figura 15 - Edifício histórico da cidade de Milão.....	49
Figura 16 - Macaco plano de grande área. ....	50
Figura 17 - Ensaio com macaco plano de grande área em maciço rochoso....	50
Figura 18 - Deformação nas arestas do corte. ....	52
Figura 19 - Exemplo de corte na argamassa entre as juntas.....	53
Figura 20 - Macacos planos inseridos na parede de alvenaria. ....	54
Figura 21 - Relação tensão-deformação para alvenaria em compressão.....	58
Figura 22 - Diagrama tensão-deformação de prismas.....	60

Figura 23 - Curvas de tensão-deformação para as paredes PB-O-AT-CT, considerando as três resistências de blocos.....	61
Figura 24 - Curvas de tensão-deformação para as paredes PB-O-AP, considerando as três resistências de blocos.....	61
Figura 25 - Curvas de tensão-deformação para as paredes PB-G-AT-CT, considerando as três resistências de blocos.....	62
Figura 26 – Formatos típicos dos macacos planos ASTM C1196:14.....	65
Figura 27 - Configuração dos macacos planos ASTM C1197:14.....	67
Figura 28 - Configuração dos macacos planos RILEM MDT.D.4 (2004).....	69
Figura 29 - Exemplo de calibração RILEM MDT.D.4 (2004). ....	69
Figura 30 - Características geométricas dos três tipos de paredes analisadas. ....	71
Figura 31 - Parede de pedra ensaiadas da região de Israel. ....	72
Figura 32 - Ensaio com macaco plano simples e duplo realizado em Cardo (Jerusalém) (a) e em Muhraka (Monte Carmelo) (b). ....	73
Figura 33 - Igreja “ <i>Virgen de la Asuncion</i> ” feita em adobe no século XVI. ....	74
Figura 34 - Localização dos ensaios com macacos planos na igreja (a) vista em planta, (b) fachada leste e (c) fachada norte.....	74
Figura 35 - Ensaio com macacos planos simples na igreja “ <i>Virgen de la Asuncion</i> ”. ....	75
Figura 36 - Ensaio com macacos planos duplo na igreja “ <i>Virgen de la Asuncion</i> ”. ....	75
Figura 37 - Fissura na região nordeste da cúpula da residência presidencial da Índia. ....	76
Figura 38 - Fissura na região sudoeste da cúpula da residência presidencial da Índia. ....	77
Figura 39 - Modelagem em elementos finitos da estrutura. ....	78
Figura 40 - Ponte histórica romana de Campana/Itália. ....	78

Figura 41 - Incremento de carga com 40%, surgimento das primeiras fissuras. .....	79
Figura 42 - Incremento de carga com 50%, padrão avançado de trincas. ....	80
Figura 43 - Incremento de carga com 100%, abóbada da ponte totalmente quebrada. ....	80
Figura 44 - Edifício histórico de um antigo Colégio Jesuíta localizado em Amantea, Itália. ....	81
Figura 45 - Patrimônio cultural “ <i>Bahrain Pearling Path</i> ” (Barém). ....	82
Figura 46 - Ensaio com macacos planos em alvenaria histórica (Barém). ....	83
Figura 47 – Curva tensão-deformação obtida pelo ensaio com macacos planos. .....	83
Figura 48 - Sobrado Vallim, Bananal/SP. ....	84
Figura 49 - Caminho das cargas original e caminho das cargas após a reforma. .....	85
Figura 50 - Ensaio com macaco plano duplo nas paredes externas de terra batida. ....	85
Figura 51 - Propagação de fissura horizontal no ensaio com macaco plano duplo. .....	86
Figura 52 - Resultados da tensão-deformação do ensaio com macaco plano duplo. ....	86
Figura 53 - Ensaio com macacos planos em parede de adobe em Siena-Itália. .....	87
Figura 54 - Vistas da Torre de Zuccaro. ....	88
Figura 55 - Rachadura vertical na área sudoeste da Torre de Zuccaro. ....	89
Figura 56 - Danos no canto sudoeste da Torre de Zuccaro. ....	89
Figura 57 - Descontinuidade da alvenaria na área nordeste da Torre de Zuccaro. .....	90
Figura 58 - Macaco plano desenvolvido para alvenaria de pedra com alta resistência à compressão. ....	91

Figura 59 - Fluxograma do programa experimental. ....	95
Figura 60 - Pórtico metálico.....	96
Figura 61 - Pórtico metálico e amostra de alvenaria construída.....	97
Figura 62 - Macaco plano de duas abas. ....	99
Figura 63 - Chapa INOX S304 cortada. ....	100
Figura 64 - Corte do macaco plano. ....	100
Figura 65 - Aro de barra de aço INOX cortada, dobrada e soldada. ....	101
Figura 66 - Matriz desenvolvida para dobra da chapa. ....	101
Figura 67 - Matriz prensando a chapa.....	102
Figura 68 - Resultado final da chapa INOX.....	102
Figura 69 - Confecção da solda Ponto.....	103
Figura 70 - Solda Ponto finalizada. ....	103
Figura 71 - Chapa deformada, sem a utilização da solda Ponto.....	104
Figura 72 - Confecção da solda TIG. ....	104
Figura 73 - Solda TIG finalizada.....	105
Figura 74 - Broca de centro com 2,5 mm de diâmetro. ....	106
Figura 75 - Broca de 2,8 mm de diâmetro.....	106
Figura 76 - Broca de 3,2 mm de diâmetro.....	106
Figura 77 - Tubos capilares e abas. ....	107
Figura 78 - Protótipo finalizado.....	108
Figura 79 - Conjunto de macacos planos.....	108
Figura 80 - Vaso do borbulhador.....	109
Figura 81 - Saída no fundo para escoar o óleo acumulado.....	110
Figura 82 - Saída lateral do vaso do borbulhador. ....	110
Figura 83 - Tampa lateral. ....	111
Figura 84 - Esquema do borbulhador à vácuo. ....	111

Figura 85 - Chapas inox com dois oblongos. ....	112
Figura 86 - Teste de calibração do macaco plano na prensa hidráulica. ....	113
Figura 87 - Macaco conectado com à bomba. ....	114
Figura 88 - Curva que relaciona a força externa pela pressão interna do Macaco Plano Protótipo 1.....	115
Figura 89 - Curva que relaciona a pressão interna com a força aplicada do Macaco Plano 1 (azul escuro), 2 (vermelha), 3 (verde), 4 (roxa), 5 (azul clara) e 6 (laranja). ....	117
Figura 90 - Ensaio livre com o borbulhador à vácuo. ....	118
Figura 91 - 3 pontos de leitura de deformação na parte da frente.....	121
Figura 92 - 2 pontos de leitura de deformação na parte de trás.....	121
Figura 93 - Posicionamento dos macacos planos na parede.....	123
Figura 94 - Conexões e mangueiras. ....	124
Figura 95 - Relógio analógico e digital, respectivamente, colocados com cola quente. ....	125
Figura 96 - Conexão adotada no teste em uma face da parede. ....	126
Figura 97 - Sistema de medição de deformação na parte da frente.....	127
Figura 98 - Sistema de medição de deformação na parte de trás.....	127
Figura 99 - Pontos de leitura de deformação. ....	128
Figura 100 - Marcação das juntas a serem retiradas. ....	129
Figura 101 - Processo de remoção da junta de argamassa.....	130
Figura 102 - Rasgo finalizado na parede. ....	130
Figura 103 - Sistema de leitura de deformação.....	131
Figura 104 - Macaco encunhado na junta. ....	132
Figura 105 - Sistema completo montado.....	132
Figura 106 - Sangramento do sistema. ....	133
Figura 107 - Numeração adotada aos relógios comparadores. ....	138

Figura 108 - Sistema do borbulhador à vácuo.....	139
Figura 109 - Retirada das chapas. ....	140
Figura 110 - Macaco plano inflado após o ensaio. ....	141
Figura 111 - Procedimento para desinflar o macaco plano. ....	142
Figura 112 - Óleo retirado devido ao procedimento de desinflar o macaco. ..	142
Figura 113 - Restauração da estrutura com argamassa. ....	143
Figura 114 - Sistema completo para o ensaio com macaco plano duplo. ....	144
Figura 115 - Bloco descolado da parede frontal.....	145
Figura 116 – Curva inicial tensão-deformação e linha de tendência do ensaio 1 e curva final corrigida do ensaio 1.....	153
Figura 117 - Curva tensão-deformação e linha de tendência do ensaio 2 e curva final corrigida do ensaio 2. ....	154
Figura 118 - Curva tensão-deformação e linha de tendência do ensaio 3 e curva final corrigida do ensaio 3. ....	155
Figura 119 - Curva tensão-deformação e linha de tendência do ensaio 4 e curva final corrigida do ensaio 4. ....	156
Figura 120 - Curva tensão-deformação e linha de tendência do ensaio 5 e curva final corrigida do ensaio 5. ....	157
Figura 121 - Curva tensão-deformação e linha de tendência do ensaio 6 e curva final corrigida do ensaio 6. ....	158
Figura 122 - Curva tensão-deformação do ensaio 7. ....	159
Figura 123 - Nova curva tensão-deformação e linha de tendência do ensaio 7. ....	160

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dimensões reais dos blocos.....	31
Tabela 2 - Dimensões reais dos blocos. ....	31
Tabela 3 - Relações prisma/bloco estimadas.....	34
Tabela 4 - Comparação dos resultados laboratoriais x macacos planos. ....	46
Tabela 5 - Resultados da razão entre rigidez e resistência da alvenaria ( $\eta$ )....	56
Tabela 6 - Fatores de correção em função da relação $h_p/t_p$ do prisma.....	63
Tabela 7 - Comparação dos resultados dos ensaios com macaco plano. ....	88
Tabela 8 - Detalhes e resultados do teste com macaco plano simples.....	90
Tabela 9 - Valores do coeficiente de determinação $R^2$ e do coeficiente de correlação (K) dos macacos planos. ....	117
Tabela 10 - Coeficiente de rigidez interno (K) dos Grupos de Macacos Planos. ....	118
Tabela 11 - Largura inicial, largura após a aplicação da tensão, largura após 5 minutos ao ar livre e largura final após o uso dos macacos planos. ....	119
Tabela 12 - Fator de correção entre prisma de 2 blocos para 3 blocos. ....	135
Tabela 13 - Critério de parada do ensaio com macaco plano. ....	135
Tabela 14 - Pressão interna, força e pressão externa do macaco plano para o Grupo 1, com $K = 1,18$ . ....	136
Tabela 15 - Pressão interna, força e pressão externa do macaco plano para o Grupo 2, com $K = 1,42$ . ....	136
Tabela 16 - Pressão interna, força e pressão externa do macaco plano para o Grupo 3, com $K = 1,19$ . ....	137
Tabela 17 - Pressão interna máxima, pressão externa máxima e eficiência para cada grupo de macacos. ....	137
Tabela 18 - Dados obtidos no ensaio 1 no pavimento térreo. ....	145
Tabela 19 - Dados obtidos no ensaio 2 no primeiro andar.....	146
Tabela 20 - Dados obtidos no ensaio 3 no pavimento térreo. ....	147

Tabela 21 - Dados obtidos no ensaio 4 no primeiro andar.....	148
Tabela 22 - Dados obtidos no ensaio 5 no segundo andar. ....	148
Tabela 23 - Dados obtidos no ensaio 6 no segundo andar. ....	149
Tabela 24 - Dados obtidos no ensaio 7 no segundo andar. ....	150
Tabela 25 - Deformações do ensaio 1. ....	152
Tabela 26 - Deformações do ensaio 2. ....	153
Tabela 27 - Deformações do ensaio 3. ....	154
Tabela 28 - Deformações do ensaio 4. ....	155
Tabela 29 - Deformações do ensaio 5. ....	156
Tabela 30 - Deformações do ensaio 6. ....	157
Tabela 31 - Deformações do ensaio 7. ....	158
Tabela 32 - Novas deformações do ensaio 7.....	159
Tabela 33 - Módulos de elasticidade e $R^2$ para os ensaios realizados com a técnica com macaco plano.....	161
Tabela 34 - Comparação da tensão máxima aplicada com o critério de parada. ....	161
Tabela 35 - Módulo de elasticidade, resistência do prisma e resistência da parede dos ensaios realizados. ....	162
Tabela 36 - Intervalo da estimativa da resistência do prisma e da resistência da parede. ....	163
Tabela 37 - Resistência do prisma e módulo de elasticidade estimado. ....	163
Tabela 38 - Intervalo da estimativa do módulo de elasticidade.....	164
Tabela 39 - Comparação entre a resistência do prisma do ensaio com os macacos planos e o ensaio de prisma. ....	164
Tabela 40 - Comparação entre o módulo de elasticidade do ensaio com macaco plano e o ensaio de prisma. ....	165

## 1. INTRODUÇÃO

Com a crescente industrialização na construção civil, a demanda por estruturas mais eficientes, com alta produtividade e menor desperdício vem aumentando. As estruturas de alvenaria estrutural, sendo estas com blocos de concreto ou cerâmicos, são soluções para estas questões nas obras atuais.

As estruturas de alvenaria necessitam de ensaios para uma avaliação estrutural de suas paredes, estando dentro dessas necessidades a determinação da qualidade dos materiais ou suas informações quantitativas, como as propriedades mecânicas e solicitações de esforços estruturais. Para a obtenção destes dados, podem ser realizados ensaios destrutivos e não destrutivos. Em projetos já executados, pode-se ter a necessidade de se averiguar a capacidade de carga da estrutura, se a mesma está de acordo com o que foi projetado ou se atende às condições mínimas de segurança. Em muitos casos, a utilização de técnicas destrutivas não é viável, sendo pela necessidade de conservação da estrutura, como em patrimônios históricos, monumentos tombados, locais com difícil acesso e em estruturas que o usuário não deseja a retirada de amostras, necessitando, portanto, de uma avaliação da sua integridade física, sem a extração de corpos de prova, causando danos permanentes na estrutura. Tendo isto em vista, os ensaios com técnicas de avaliação não destrutivas surgem como uma alternativa para a determinação das características dos materiais estruturais.

De acordo com Latka, Serega e Matysek (2019), a avaliação estrutural mais comum para alvenaria estrutural é a determinação da sua resistência à compressão. Esse valor pode ser determinado por vários métodos, sendo as principais técnicas os ensaios destrutivos, como o ensaio em prismas, ou de métodos não destrutivos, como a técnica de macaco plano.

Em relação às técnicas não destrutivas, o ensaio com macacos planos vem se consolidando cada vez mais. De acordo com Binda e Tiraboschi (1999), o teste com macacos planos é uma poderosa ferramenta, capaz de extrair informações da situação local das paredes, encontrando o valor tensão atuante, módulo de elasticidade e o gráfico tensão-deformação.

Os ensaios com macacos planos são reconhecidos por vários autores. Segundo Soriani, Parsekian e Sanches (2016), esta técnica é utilizada para a obtenção das propriedades dos elementos estruturais de alvenaria, de maneira não destrutiva. De acordo com Khan (2015), os equipamentos para ensaios não destrutivos estão cada vez mais acessíveis nos dias de hoje, e a integração efetiva desses métodos nas avaliações podem melhorar muito a maneira como as estruturas são avaliadas. Os ensaios com esta técnica, fornece, segundo Parivallal, et al. (2011), uma medida direta da tensão atuante na estrutura, podendo indicar qual o fator de segurança atual, em relação à falha de compressão.

Dentre as técnicas de análise não destrutiva, de acordo com Parivallal, et al. (2011), a de macacos planos é a mais utilizada no mundo, sendo normalizado desde 1990, como no órgão estadunidense de normalização, exemplo as ASTM C1196-14, ASTM C1197-14 e ASTM C1531-16, e nas recomendações europeias, descrito nas RILEM MDT.D.4-04 e RILEM MDT.D.5-04. Nessas normas e recomendações, são descritos procedimentos para obter as propriedades mecânicas das estruturas, sem causar danos permanentes na mesma, porém, elas são limitadas à ensaios para alvenaria de tijolos maciços e de pedras, não incluindo paredes com blocos de concreto.

A norma ASTM C1196-14 (*In-situ compressive stress within solid unit masonry estimated using flat-jack measurements*) e a recomendação RILEM MDT.4-04 (*In-situ stress tests behavior based on the flat jack*) são baseados no teste de tensão (macaco plano simples), tendo como objetivo final a determinação do valor da tensão de compressão atuante em determinado ponto da estrutura.

A norma ASTM C1197-14 (*In-situ measurement of masonry deformability properties using flat-jack method*) e a recomendação RILEM MDT.5-04 (*In-situ stress-strain tests behavior based on the flat jack*) são baseados no teste de deformabilidade (macaco plano duplo), tendo como finalidade principal a obtenção do módulo de elasticidade do elemento ensaiado e uma estimativa da

resistência à compressão através da curva tensão-deformação, sem a necessidade de romper o elemento.

As normas americanas (ASTM) e recomendações europeia (RILEM) só contemplam ensaios, com a técnica com macacos planos, para paredes de tijolos maciços, não incluindo paredes com blocos de concreto. Na norma brasileira, há uma carência desses ensaios não destrutivos para alvenaria estrutural. Na dissertação de Soriani (2016) foi desenvolvido uma técnica de macacos planos na avaliação de estruturas de alvenaria com blocos vazados de concreto. Nesse ensaio desenvolvido, foi determinado o gráfico tensão-deformação, o módulo de elasticidade e estimado a resistência à compressão da parede com blocos de concreto vazado.

Na pesquisa Soriani (2016), foi desenvolvido um novo macaco plano, alterando a sua geometria para aplicação em alvenaria estrutural com blocos vazados de concreto. A aplicabilidade da técnica com os novos macacos planos foi comprovada com sucesso em paredes de alvenaria, com blocos vazados de concreto.

## **1.1 OBJETIVOS**

### *1.1.1 Geral*

Desenvolver um macaco plano e sua técnica de aplicação na verificação da resistência à compressão de alvenaria existente executada com blocos vazados de concreto.

### *1.1.2 Específicos*

Tem-se como objetivos específicos os seguintes tópicos:

- Desenvolver equipamento e processo de desinflar o macaco plano para facilitar a retirada do mesmo da junta no final do ensaio;

- Desenvolver chapas para calço do macaco plano na parede, durante o ensaio, funcionando como um distribuidor de tensões e para facilitar a retirada dos macacos planos ao final do ensaio; e
- Comparar os resultados dos ensaios encontrados com a técnica com macaco plano com os resultados laboratoriais, através de ensaios de prisma, disponibilizados pela construtora.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Existem muitos edifícios com suspeitas de instabilidade estrutural, aparição de patologias devido a vários fatores, podendo ter como causas a baixa qualidade dos materiais, projetos foras de normas regulamentadoras e técnicas inadequadas para a construção.

Outros fatores determinantes para a instabilidade estrutural e aparição de manifestações patológicas estruturais são o uso inadequado para o tipo de estrutura, por exemplo uma academia em um prédio residencial, onde a sobrecarga não foi dimensionada para isso, causando cargas adicionais aplicadas na estrutura, ação de intempéries, entre outras.

No caso de alvenaria estrutural, patologias como fissuras escalonadas nas juntas de assentamento, fissuras verticais, entre outras, são sinais de que a estrutura necessita de uma avaliação estrutural.

Durante a execução de um edifício, é de fundamental importância aferir a resistência dos materiais utilizados. No caso da alvenaria estrutural, o melhor parâmetro é o ensaio de prisma, que permite estimar a resistência do bloco e da argamassa e o comportamento conjunto desses. Entretanto, esse ensaio é de difícil execução, apesar de corrente e fundamental para o controle de obras. Uma alternativa pode ser a aplicação direta de ensaios não destrutivos no local, mesmo na fase de controle de obras.

Para uma boa avaliação da estrutura de elementos de blocos de concreto, acerca da estabilidade do imóvel, são necessários ensaios *in loco*, sendo estes destrutivos e não destrutivos. Na normalização americana e europeia existe a técnica de macacos planos (*flatjack*) na avaliação de alvenaria com unidades

maciças. Esta técnica não é normalizada no Brasil, e há poucos estudos sobre a eficácia e validação desta técnica para o caso de blocos vazados. Este trabalho pretende validar esta técnica *in loco* para alvenaria de blocos vazados.

Segundo Parsekian, Hamid e Drysdale (2014), para manter um padrão de qualidade, tanto do fabricante como da obra, é importante determinar as propriedades físicas e mecânicas de cada material, certificando que as características de cada material estejam dentro de uma faixa previsível. Para isso, deseja-se que as propriedades especificadas para a alvenaria sejam atestadas por ensaios, podendo ser técnicas destrutivas ou não destrutivas.

As técnicas não destrutivas avaliam as estruturas sem danos permanentes nas mesmas, diferentemente dos ensaios destrutivos, como o de prisma, por exemplo, que necessita da retirada de uma amostra, levando-a à ruptura para a obtenção das propriedades, pois segundo Maier, Rossi e Landriani (1983) a técnica com macaco plano encontra as propriedades mecânicas dos materiais sem a necessidade de retirada de amostras da parede.

De acordo com Binda e Tiraboschi (1999), existem duas maneiras para se obter as propriedades úteis que definem o comportamento estrutural de edifícios históricos de alvenaria: i) retirada de amostras de primas de alvenaria e testar em laboratório, ii) ensaios *in loco*. Uma terceira maneira citada pelos autores propõe a construção de um modelo físico em escala com os mesmos materiais e comparação dos resultados, porém, esta técnica é usada quase que exclusivamente em pesquisas.

Segundo Binda e Tiraboschi (1999), dentre os tipos de testes realizados *in loco*, o teste com macacos planos é o mais recomendado, pois ele define qual a tensão de compressão atuante na estrutura e, de forma gráfica, o comportamento tensão-deformação da alvenaria.

Devido aos vários casos de aplicações da técnica com macacos planos para a determinação de características da alvenaria estrutural, esta técnica, de acordo com Binda e Tiraboschi (1999), tem um alto nível de confiabilidade.

Para este trabalho, há um foco em validar o método desenvolvido como um ensaio não destrutivo, em alvenaria de blocos vazados de concreto, para a

determinação do gráfico tensão-deformação e estimar o módulo de elasticidade e a resistência à compressão da alvenaria, complementando os ensaios de prisma.

### **1.3 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA**

Propõe-se este trabalho devido ao fato de não existir procedimento, mesmo em nível internacional, para avaliação não destrutiva da resistência à compressão de alvenaria estrutural com blocos vazados de concreto.

Na maioria dos trabalhos relacionadas sobre este tema, são estudadas alvenarias compostas por tijolos maciços cerâmicos ou de pedra, com foco maior nas estruturas históricas, diferentemente deste trabalho, que pretende analisar estruturas modernas de alvenaria de blocos vazados de concreto, adequando-se a realidade brasileira.

Os macacos planos tradicionais apresentam um formato plano retangular maciço (Figura 1). Com isso, há uma limitação geométrica no seu uso com blocos vazados, pois, devido a sua forma, ele atuaria nos vazios dos blocos, já que suas chapas iriam expandir nesses locais vazados sem transmitir a pressão aos componentes estruturais, gerando erros e imprecisões. Para as técnicas empregadas nos macacos planos, foi utilizado como base a dissertação do Soriani (2016) “Desenvolvimento da técnica de macacos planos na avaliação de estruturas de alvenaria com blocos vazados de concreto”. Este projeto aprimorou o método e realizou ensaios em edifício reais em construção, até onde se sabe, de maneira inédita. Desta forma, foi possível verificar a técnica com esses novos macacos planos como eficaz para blocos de concreto vazados, assim como é para blocos maciços.

Figura 1 - Macaco plano tradicional americano desenvolvido pela Atkinson-Noland.



Fonte: Próprio autor.

Após a aplicação do ensaio de macaco plano, é relatado, por vários autores, a dificuldade em retirada do mesmo. Para tentar melhorar esse aspecto da tecnologia, foi desenvolvido um conjunto de chapas com dois oblongos para facilitar a retirada. Também houve a tentativa de desenvolver um desinflador à vácuo do macaco plano, para desinflar o macaco plano ensaiado, após a realização do teste. Essa ideia de equipamento e procedimento para desinflar o macaco plano após sua utilização é inédito, não sendo encontrado em nenhuma literatura tal procedimento.

#### **1.4 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS**

O trabalho realizado está dividido em 6 capítulos e 4 anexos.

O capítulo 2 é referente ao referencial teórico, apresentando os principais conceitos sobre alvenaria estrutural, técnicas de avaliação destrutivas e não destrutiva, uma revisão bibliográfica sobre a técnica com macaco plano, seu histórico e uso em estruturas reais. Há também uma apresentação das principais normas sobre o ensaio não destrutivo com macacos planos.

O capítulo 3 apresenta os materiais e métodos utilizados, como as hipóteses definidas e tipos de classificação da pesquisa. É apresentado a metodologia do trabalho, mostrando duas das três etapas para a realização deste trabalho. A primeira etapa foi a preparação para os ensaios, com a construção das paredes para testes, fabricação dos novos macacos planos com abas duplas, chapas de encunhamento com alças e do borbulhador à vácuo, a calibração final dos macacos e o ensaio livre com o borbulhador à vácuo. A segunda etapa foi a aplicação dos testes com os macacos planos em uma obra já executada de alvenaria estrutural, mostrando o passo a passo para a preparação e execução do ensaio, quais pontos ensaiados, cargas aplicadas em cada parede e detalhes sobre cada ensaio.

O capítulo 4 apresenta a última etapa para a realização deste trabalho, sendo que, nesta terceira etapa, é destinado ao tratamento estatístico dos dados, apresentando e comparando os resultados encontrados com os macacos planos com os resultados laboratoriais, fornecidos pela construtora da obra. Foi analisado cada resultado proveniente de cada ensaio.

O capítulo 5 é apresentado as principais conclusões sobre os resultados deste trabalho, com a principal ênfase, a técnica desenvolvida com macacos planos em obras de alvenaria com blocos vazados de concreto. São relatadas algumas recomendações para trabalhos futuros.

O capítulo 6 é mostrado as referências bibliográficas utilizadas neste trabalho.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta parte do trabalho, são apresentados os principais conceitos sobre alvenaria estrutural, tipos de patologias, técnicas de avaliação destrutivas e não destrutivas. São apresentados também conceitos que foram utilizados posteriormente na realização dos ensaios.

Sobre o ensaio não destrutivo com a técnica com macacos planos, existem vários trabalhos sobre este tema, apresentando o processo de desenvolvimento, materiais estudados e entre outros. Alguns destes trabalhos são expostos neste capítulo.

### 2.1 ALVENARIA ESTRUTURAL

A alvenaria estrutural, segundo Franco (1992), é um método construtivo caracterizado no uso de paredes de alvenaria, sendo estes, blocos de concreto ou cerâmicos, no qual é utilizado métodos de cálculos racionais para a sustentação da estrutura. Neste tipo de construção, a parede serve como vedação e como estrutura, portanto, há uma racionalização de materiais e de processos, tendo uma produtividade melhor e mais eficiente.

De acordo com Parsekian e Melo (2010), há uma diferença entre Estrutura de Alvenaria e Alvenaria Estrutural. Segundo os autores, há três principais quesitos para ser considerada alvenaria estrutural:

- 1) Dimensionamento e cálculo da estrutura e dos esforços solicitantes;
- 2) Racionalização por meio da compatibilização e detalhamento do projeto modular; e
- 3) Controle da construção: controle tecnológico dos materiais (argamassa, graute, blocos) e caracterização dos materiais utilizados.

Caso algum destas três condições não seja contemplada, é considerado alvenaria histórica, como o caso da Pirâmide de Quéops, ou indica irresponsabilidade dos responsáveis pela construção em não seguir algum ponto fundamental.

As construções em alvenaria estrutural (Figura 2), empregam vários materiais, sendo estes, de acordo com Parsekian, Hamid e Drysdale (2014) blocos, argamassa, graute, armaduras, telas, entre outros materiais.

Figura 2 - Edifício em alvenaria estrutural na cidade de São Carlos-SP.



Fonte: Próprio autor.

### 2.1.1 Definições

De acordo com Parsekian (2012), pode-se classificar elemento de alvenaria em não armado, armado e protendido, parede em estrutural e não estrutural, a área em bruta, líquida e efetiva e, amarração em direta e indireta.

Elemento de alvenaria não armada é quando a armadura é desconsiderada para resistir aos esforços solicitantes, não podendo ser confundida com armadura construtiva. Elemento de alvenaria armada são utilizadas armaduras passivas para a resistência de esforços solicitantes. Elemento de alvenaria protendida são usadas armaduras ativas, ou seja, é imposto uma pré-compressão antes do carregamento no elemento estrutural.

Parede estrutural é todo elemento de parede que atua com participação na estrutura, servindo de apoio as paredes e outros elementos do edifício. Parede não estrutural não participa como elemento da estrutura, mas sim impondo impõe um carregamento às lajes, vigas, ou outros elementos, servindo-se somente como vedação.

Área bruta de um componente (elemento único, como bloco) ou elemento (conjunto de um componente, como parede) se considera toda a suas dimensões externas, não levando em consideração a existência de vazios. Área líquida de um componente, ou elemento, considera-se as suas dimensões externas, porém é descontado os vazios existentes. Área efetiva é relacionado apenas a elementos, considerando as regiões que a argamassa de assentamento é distribuída, desconsiderando os vazios.

### *2.1.2 Blocos de concretos vazados*

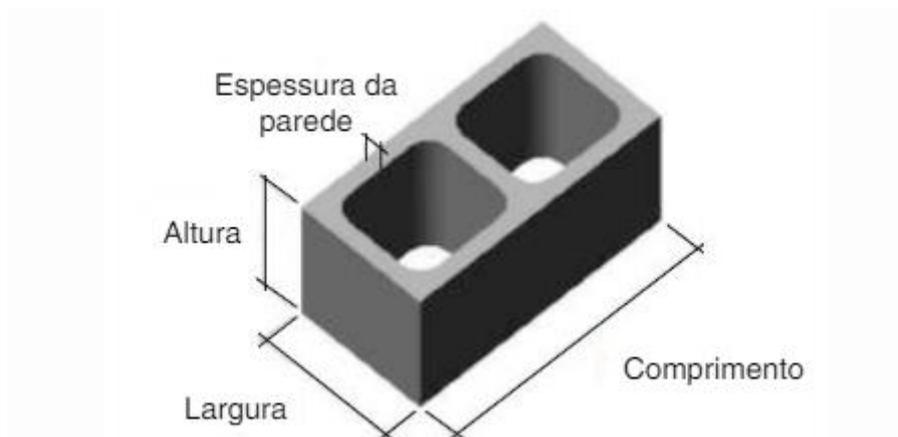
De acordo com Camacho (2006), as unidades de blocos, são os componentes mais importantes em alvenaria estrutural, visto que eles determinam a capacidade de carga a compressão da estrutura e os processos para a coordenação modular.

Para Parsekian e Melo (2010), as principais propriedades dos blocos é a sua resistência à compressão, precisão dimensional, vedação, isolamento térmico e acústico, modulação e absorção de água. Segundo Parsekian, Hamid e Drysdale (2014), os blocos de concretos são produzidos, basicamente, por cimento Portland, agregados e água, podendo ser usados como aglomerantes a escória de alto forno e cinza volante.

### 2.1.2.1 Blocos de concretos vazados e suas dimensões

A NBR 6136 (2016) defini blocos vazados de concreto (Figura 3) como um componente da alvenaria de formato paralelepípedo, com ou sem função estrutural, cuja área líquida, ou seja, área média de secção perpendicular aos eixos e furos descontadas as áreas médias dos vazios, é igual ou inferior a 75% da área bruta, área de seção perpendicular dos eixos dos furos sem desconto das áreas de vazio.

Figura 3 - Bloco Vazado.



Fonte: NBR 6136 (2016).

A NBR 6136 (2016) abrange os requisitos gerais e específicos para regulamentação da produção e uso dos blocos vazados de concreto, estipulando a classificação, os materiais, as dimensões, entre outros requisitos, apresentados nas Tabela 1 e Tabela 2, a seguir.

Tabela 1 - Dimensões reais dos blocos.

Família		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	-

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.

NOTA 2 Os componentes das famílias de blocos de concreto têm sua modulação determinada de acordo com a ABNT NBR 15873.

NOTA 3 As dimensões da canaleta J devem ser definidas mediante acordo entre fornecedor e comprador, em função do projeto.

Fonte: NBR 6136 (2016).

Tabela 2 - Dimensões reais dos blocos.

Classe	Largura nominal mm	Paredes longitudinais <sup>a</sup> mm	Paredes transversais	
			Paredes <sup>a</sup> mm	Espessura equivalente <sup>b</sup> 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

<sup>a</sup> Média das medidas das paredes tomadas no ponto mais estreito.

<sup>b</sup> Soma das espessuras de todas as paredes transversais aos blocos (em milímetros), dividida pelo comprimento nominal do bloco (em metros).

Fonte: NBR 6136 (2016).

A NBR 6136 (2016) divide os blocos em três classes, sendo estas Classe A, B e C.

Os blocos de classe A são elementos de alvenaria com função estrutural, podendo ser usados acima ou abaixo do nível do solo, sendo sua resistência característica à compressão ( $f_{bk}$ ) de no mínimo 8,0 MPa.

Blocos de classe B tem função estrutural, porém só para uso acima do nível do solo. O seu  $f_{bk}$  mínimo e máximo, são, respectivamente, 4,0 MPa e 8,0 MPa.

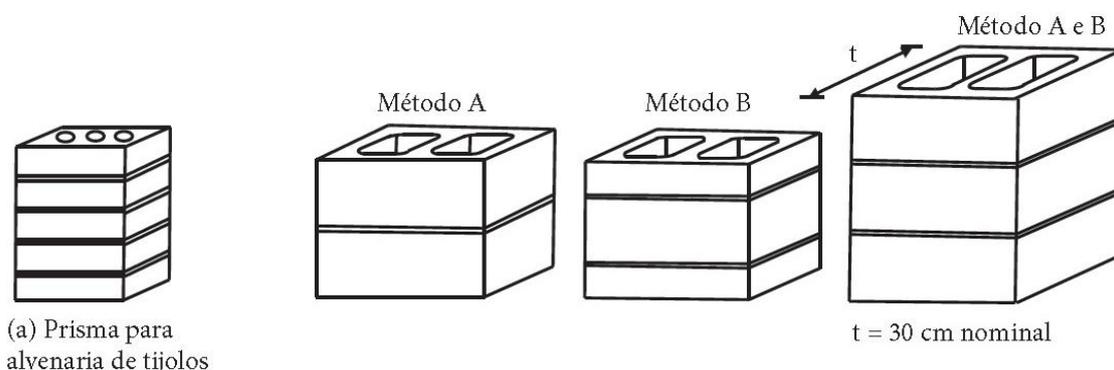
Os blocos de classe C não apresentam função estrutural, com exceção de blocos com largura de 11,5 cm em edificações de no máximo um pavimento, e blocos com largura de 14 e 19 cm, podem ser usados em edificações de até cinco pavimentos. O seu uso é restringido apenas para acima do nível do solo.

### 2.1.3 Prismas

Segundo Camacho (2006), prismas são corpos de prova, composto com pelo menos dois blocos e argamassa de assentamento, utilizados para determinar as características dos elementos nas obras reais, como módulo de elasticidade e resistência à compressão.

De acordo com Parsekian, Hamid e Drysdale (2014), o prisma tem as dimensões da largura e comprimento iguais a um bloco, podendo variar as alturas, de 2 a 5 fiadas, como mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Tipos de prismas para avaliação da resistência à compressão.



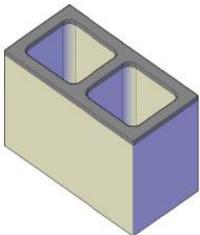
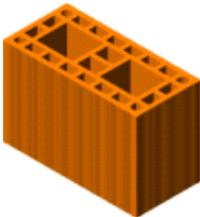
Fonte: Parsekian, Hamid e Drysdale (2014).

As normas NBR 15961-2 (2011) e a NBR 15812-2 (2010) padronizam o prisma e seu capeamento. Em relação ao prisma, a padronização se dá a utilização de dois blocos e argamassa em toda a face do bloco, não importando

qual tipo de assentamento é utilizado em obra. Para o capeamento, é utilizado pasta de cimento ou uma argamassa com resistência maior que a do bloco, gerando uma superfície plana com espessura máxima do capeamento de 3 mm.

A resistência à compressão final de uma parede depende diretamente do tipo do bloco utilizado. Segundo a NBR 16868-1 (2020), pode-se fazer uma relação da resistência prisma/bloco, sendo demonstrado na Tabela 3. Essa tabela apresenta valores de referência para especificação das resistências dos materiais graute, argamassa e prisma, em função da resistência do bloco. Esses valores são indicativos e devem ser confirmados na caracterização prévia dos materiais e durante o controle da obra.

Tabela 3 - Relações prisma/bloco estimadas.

Tipo de Bloco		$f_{bk}$	$f_a$	$f_{gk}$	$f_{pk}/f_{bk}$	$f_{pk}^*/f_{pk}$	$f_{pk}$	$f_{pk}^*$	Espessura mínima de parede de bloco mm
		MPa					MPa		
Bloco Vazado de concreto, conforme a ABNT NBR 6136 (ref. 14 x 39 cm)		3,0	4,0	15,0	0,80	2,00	2,4	4,8	25
		4,0	4,0	15,0	0,80	2,00	3,2	6,4	25
		6,0	6,0	15,0	0,75	1,75	4,5	7,9	25
		8,0	6,0	20,0	0,75	1,75	6,0	10,5	25
		10,0	8,0	20,0	0,70	1,75	7,0	12,3	25
		12,0	8,0	25,0	0,70	1,60	8,4	13,4	25
		14,0	12,0	25,0	0,70	1,60	9,8	15,7	25
		16,0	12,0	30,0	0,65	1,60	10,4	16,6	25
		18,0	14,0	30,0	0,65	1,60	11,7	18,7	25
		20,0	14,0	30,0	0,60	1,60	12,0	19,2	25
		22,0	18,0	35,0	0,55	1,60	12,1	19,4	25
24,0	18,0	40,0	0,55	1,60	13,2	21,1	25		
Bloco cerâmico de parede vazada, conforme a ABNT NBR 15270-1 (ref. 14 x 29 cm)		4,0	4,0	15,0	0,50	1,60	2,0	3,2	8
		6,0	6,0	15,0	0,50	1,60	3,0	4,8	8
		8,0	6,0	20,0	0,50	1,60	4,0	6,4	8
		10,0	8,0	25,0	0,45	1,60	4,5	7,2	8
		12,0	8,0	25,0	0,45	1,60	5,4	8,6	8
Bloco cerâmico de parede maciça, conforme a ABNT 15270-1 (ref. 14 x 29 cm)		10,0	8,0	20,0	0,60	1,60	6,0	9,6	22
		14,0	12,0	25,0	0,60	1,60	8,4	13,4	25
		18,0	12,0	30,0	0,60	1,60	10,8	17,3	30

$f_{bk}$  = resistência característica do bloco  
 $f_a$  = resistência média da argamassa  
 $f_{pk}$  = resistência característica do prisma oco  
 $f_{pk}^*$  = resistência característica do prisma cheio

Fonte: NBR 16868-1 (2020).

#### 2.1.4 Argamassa de assentamento

A NBR 13281 (2005) define argamassa como uma mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água, podendo, ou não, conter aditivos para as suas propriedades de aderência e endurecimento.

De acordo com Sabbatini (1986), a argamassa é constituída, principalmente, com materiais inertes, ou seja, os materiais ativos, como o cimento e a cal, sofrem reações químicas que levam ao endurecimento. Nesse período, os agregados miúdos não passam por reações. O seu assentamento tem a função de unir os blocos gerando uma monoliticidade, com adequada distribuição de esforços para a estrutura.

De acordo com Parsekian e Melo (2010), argamassas mais fortes, como por exemplo feitas somente por cimento e areia, não são muito recomendadas, pois sua rigidez é grande, com isso a sua capacidade de absorver deformações é reduzida, podendo gerar futuramente trincas em toda a estrutura. Porém, argamassas muito fracas, como cal e areia, por exemplo, tem baixa resistência à compressão e uma má aderência no conjunto, afetando a resistência característica da parede. O ideal, segundo Parsekian e Melo (2010), seria uma argamassa feita de cimento, areia e cal, mesmo levando a uma perda na sua resistência final, devido ao acréscimo da cal, porém, proporciona uma argamassa com melhor trabalhabilidade, maior aptidão em absorver deformações e um melhoramento na retenção da água.

#### 2.1.5 Graute

A NBR 15961-2 (2011) determina que o graute deve ter uma consistência adequada para preencher todos os vazios, sem que este seja segregado e a sua produção deve garantir o valor característico do projeto, sendo constituído por uma mistura de cimento, água e agregado. Quando utilizado cal na composição do graute, não pode ultrapassar a quantidade de 10% em relação ao cimento.

O conjunto graute, bloco e argamassa trabalham monoliticamente, sendo assim, o graute deve aderir totalmente nas armaduras presentes e no bloco, gerando um sólido único.

De acordo com Parsekian, Hamid e Drysdale (2014), o graute é utilizado para o preenchimento dos vazados (horizontais e/ou verticais) da alvenaria, aumentando a resistência do conjunto e aderindo a armadura à parede.

## 2.2 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL

A avaliação estrutural de uma edificação é necessária quando surgem patologias, podendo ser por deterioração geral da estrutura, cargas adicionais não previstas em projetos aplicadas, reforço estrutural, fissuras nos blocos de concretos. De acordo com Helene (2011), aferir a segurança de um edifício construído é muito mais complexo do que adicionar a segurança normativa em um novo projeto estrutural, portanto, há a necessidade de uma inspeção e vistoria mais criteriosa, sendo utilizados ensaios para a obtenção dos valores de resistência atuantes na estrutura.

Segundo as recomendações RILEM MDT.D.4 e MDT.D.5, há uma necessidade contínua de obter as informações de obras duráveis de alvenaria, sendo que uma grande proporção de edifícios e estruturas de engenharia civil mundiais são construídas deste material, sendo necessário a preservação do elemento de alvenaria, assim como o reparo e reintegração do elemento deteriorado. São necessários testes para avaliar a alvenaria construída, sendo necessários testes destrutivos laboratoriais, ou testes não destrutivos, analisando as condições estruturais e permitir o controle do sistema de reparo, caso necessário.

De acordo com Latka, Serega e Matysek (2019), a avaliação estrutural mais comum para alvenaria estrutural é a determinação da sua resistência à compressão. Este valor pode ser determinado por vários métodos, sendo as principais técnicas os ensaios destrutivos, como os ensaios em prismas ou amostras do núcleo extraídos da estrutura, ou de métodos não destrutivos, como a técnica de macaco plano.

Para uma boa análise dos resultados dos ensaios para avaliação estrutural, Helene (2011) diz que é necessário conhecimento técnico, conhecimento dos fundamentos da segurança estrutural, bom senso, conhecimento do projeto, das cargas atuantes na estrutura, tanto as permanentes como as acidentais, e outras ações variáveis.

Segundo Parsekian, Hamid e Drysdale (2014), a resistência à compressão de uma estrutura de alvenaria estrutural é de extrema importância. Para o caso da alvenaria estrutural, essa resistência é definida pelo prisma ( $f_p$ ).

Existem vários tipos de técnicas para um diagnóstico mais preciso sobre a estrutura, podendo dividir esses ensaios em destrutivos e não destrutivos.

As técnicas de ensaios não destrutivas, são ensaios que, segundo Mazer (2012), não há alterações nas características físicas, mecânicas, químicas ou nas suas dimensões e que não causem, posteriormente, danos permanentes na estrutura analisada. Algumas técnicas de métodos não destrutivos são: líquido penetrante, análise de vibrações, emissão acústica, partículas magnéticas, entre outros.

### *2.2.1 Técnicas de avaliação destrutivas*

Os ensaios destrutivos, são aqueles que, de acordo com Mazer (2012), necessitam de uma amostra retirada da estrutura, confeccionando corpos de prova para serem rompidos, deformados e posteriormente avaliados. Neste caso, o material retirado é inutilizado, pois sofreu rompimento, necessitando de reparos posteriores. São testes que exigem um custo maior, pois há a retirada de material, transporte das amostras para o laboratório, equipamentos especiais. Em edifícios que já estão sendo utilizados, ou obras como monumentos históricos, há um desejo maior de preservação, sendo assim, os ensaios com avaliações não destrutivas são desejados.

Dentre as técnicas de avaliação destrutiva, a mais utilizada é a técnica de prismas. De acordo com Parsekian, Hamid e Drysdale (2014), ela permite atender aos requisitos necessários de tempo e de custo, desde sua fase de projeto até a execução.

### *2.2.2 Técnicas de avaliação não destrutiva*

Segundo Khan (2015), os ensaios usando as técnicas de avaliação não destrutivas fornecem informações quantitativas detalhadas sobre as condições dos componentes estruturais ensaiados, diferentemente das inspeções visuais, que são limitadas a observar apenas a superfície do material analisado, sendo que os ensaios não destrutivos avaliam o componente sem causar danos

permanentes, ou deixam pequenos danos temporários nas estruturas, com fácil reparação posterior.

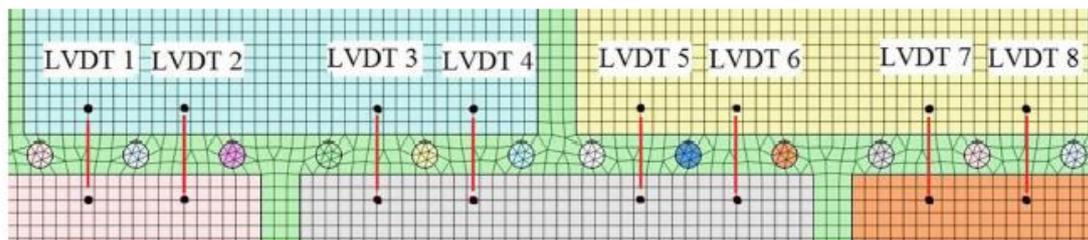
Dentre as técnicas de avaliação não destrutiva, pode-se destacar a técnica com macacos planos, termografia infravermelha, transmissão de pulsos com velocidade ultrassônica da onda P, *tube-jack*, sonografia, entre outras.

O ensaio com a técnica de termografia infravermelho, de acordo com Meola (2007), determina as características do material em análise, indicando imperfeições, sua condutividade, difusividade e efusividade térmica, de acordo com cada aparelho utilizado. Os resultados apresentados por esta técnica são determinados pela estimulação térmica do objeto estudado, ou seja, um material homogêneo irá ter comportamento homogêneo, com distribuição de temperatura uniforme, já um material heterogêneo irá indicar mudanças nesses comportamentos, pois há uma diferença no fluxo de calor do elemento, sendo indicado pelo aparelho de termografia.

A transmissão de pulsos com velocidade ultrassônica da onda P é uma técnica não destrutiva, que segundo Concu, De Nicolo e Valdés (2014), este ensaio funciona com uma análise das ondas acústicas dos materiais estudados, sendo que, cada onda é afetada no meio em que se propaga, resultando em um comprimento de onda diferente.

O ensaio *tube-jack* é uma técnica não destrutiva desenvolvida pela Universidade de Minho, que de acordo com Manning, Ramos e Fernandes (2019), esse método tem a sua metodologia e procedimento similar com o *flat-jack* tradicional, usado para determinar a resistência de alvenarias não reforçadas. Primeiramente, é feito uma linha de buracos na junta da parede, posteriormente um conjunto de tubos são colocados nestes buracos (Figura 5) e então pressurizados, podendo assim, determinar as propriedades da parede de alvenaria, como seu módulo de elasticidade.

Figura 5 - Sequência de furos na junta com os tubos para o ensaio com tube-jack.



Fonte: Manning, Ramos e Fernandes (2019).

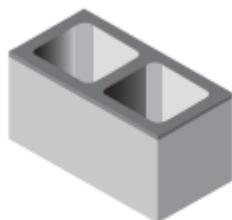
Nas modelagens feitas por Manning, Ramos e Fernandes (2019), eles concluem que os ensaios com os tubos são viáveis em topologias regulares de paredes de alvenaria não armadas, o equipamento detecta pequenas movimentações da parede, o que demonstra a sua sensibilidade.

### 2.3 TÉCNICA DE PRISMA

O ensaio em prismas, é uma técnica de avaliação destrutiva. Apesar de existirem variações no tipo de amarração e forma de disposição da argamassa nas construções em alvenaria estrutural, de acordo com Parsekian, Hamid e Drysdale (2014), o prisma para ensaios é padronizado, mesmo esse tipo de variação influenciando na resistência da estrutura. Ainda segundo os autores, a padronização do prisma tem sua relevância na praticidade, pois o prisma pode ser facilmente moldado na obra e transportado, porém, para pesquisas que necessitam de uma representação mais real do comportamento da parede, é necessário um ensaio com prismas mais altos.

Para o ensaio em prismas, as características do ensaio devem ser iguais aos elementos reais em obra, como tipo de argamassa, espessura das juntas, forma de assentamento, tipo de bloco. Segundo Parsekian (2012), durante a construção do corpo de prova, a argamassa deve ser disposta em toda a face horizontal do bloco, e não apenas nas laterais, como mostrado na Figura 6.

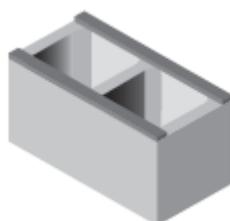
Figura 6 - Disposição da argamassa em toda a face do bloco.



Fonte: Adaptado de Parsekian (2012).

Para a determinação da resistência do prisma, a NBR 16868-1 (2020) determina que se as juntas horizontais forem de argamassamento parcial (argamassa somente nas paredes longitudinais), a resistência característica à compressão simples da alvenaria deve ser corrigida por um fator de 0,80. Como mostrado em Parsekian (2012), a argamassa disposta em dois cordões laterais do bloco (Figura 7) deve ter a resistência ser reduzida em 20% em relação a resistência obtida no ensaio padronizado.

Figura 7 - Disposição da argamassa em dois cordões laterais do bloco.



Fonte: Adaptado de Parsekian (2012).

Os resultados para este tipo de ensaio, segundo Camacho (2006), são geralmente mais precisos e com resultados de maior resistência da alvenaria, em comparação aos ensaios de blocos unitários.

Para a execução e controle dos ensaios em prismas de blocos de concreto, é utilizado a NBR 16522 (2016), que visa o procedimento de preparo, a execução e metodologia para a execução de ensaios em blocos de concreto submetidos a esforços de compressão axial, cisalhamento, flexão e flexo-compressão.

## 2.4 TÉCNICA NÃO DESTRUTIVA COM MACACOS PLANOS

Segundo Parivallal, et al. (2011), a técnica com a utilização de macacos planos são um dos testes mais úteis e informativos dentre os ensaios não destrutivos, determinando as propriedades estruturais e se destacando perante aos demais testes pelo fornecimento de medições físicas diretas da característica dos materiais (tensão atuante, módulo de elasticidade).

De acordo com Maier, Rossi e Landriani (1983), a técnica de macacos planos é um ensaio que determina as propriedades mecânicas sem a extração de amostras, ou seja, é uma análise não destrutiva da alvenaria estrutural. Os danos causados pelos macacos planos são mínimos, apenas a retirada da argamassa da junta, com isso, um pequeno reparo é necessário, não deixando danos permanente na estrutura, portanto, pode-se considerar como não destrutivo. Casarin *et al.* (2019) descreve esta técnica como um procedimento padrão, relativamente simples e confiável para a definição das características mecânicas da alvenaria, onde pode-se detectar, com aceitável precisão, a tensão atuante no local ensaiado e as características de deformação da alvenaria.

Dentre as técnicas de análise não destrutiva, de acordo com Parivallal, et al. (2011), a de macacos planos é a mais utilizada no mundo. Este ensaio já é normalizado desde 1990, como no órgão estadunidense de normatização, exemplo as ASTM C1196-14, ASTM C1197-14 e ASTM C1531-16, e nas recomendações europeia, descrito nas RILEM MDT.D.4-04 e RILEM MDT.D.5-04.

A norma ASTM C1196-14 (*In-situ compressive stress within solid unit masonry estimated using flat-jack measurements*) e a recomendação RILEM MDT.4-04 (*In-situ stress tests behavior based on the flat jack*) são baseados no teste de tensão, tendo como objetivo final a determinação do valor da tensão de compressão atuante em determinado ponto da estrutura.

A norma ASTM C1197-14 (*In-situ measurement of masonry deformability properties using flat-jack method*) e a recomendação RILEM MDT.5-04 (*In-situ stress-strain tests behavior based on the flat jack*) são baseados no teste de deformabilidade, tendo a finalidade principal a obtenção do módulo de

elasticidade do elemento ensaiado e uma estimativa da resistência à compressão através da curva tensão-deformação, sem a necessidade de romper o elemento.

O nome plano, do macaco plano, se dá ao formato do equipamento, pois sua espessura é muito pequena em relação às demais dimensões, como mostrado na Figura 8. Como observado por Soriani, Parsekian e Sanches (2016), o equipamento de macaco plano funciona como um macaco hidráulico composto por chapas metálicas. Para a realização do ensaio, o macaco plano deve ser inserido em um rasgo da alvenaria, que teve a sua junta retirada, ficando confinado entre os elementos de alvenaria.

Figura 8 - Macaco plano desenvolvido em Soriani (2016).



Fonte: Próprio autor.

#### 2.4.1 Histórico

Tacas, Gonzales e Aguilar (2019), relatam que o ensaio com macacos planos foi usado primeiramente para analisar falhas de pontes de alvenaria em formato de arcos, apresentando uma metodologia de ensaio *in loco*, usando vários tipos de métodos para medição de deslocamento. De acordo com Rossi (1982), as primeiras aplicações em alvenaria foram em monumentos históricos demonstrando um grande potencial.

De acordo com Bernardo (2011), na década de 60, houve o desenvolvimento de macacos planos com grandes áreas (FLJ – *Large Flat Jack*),

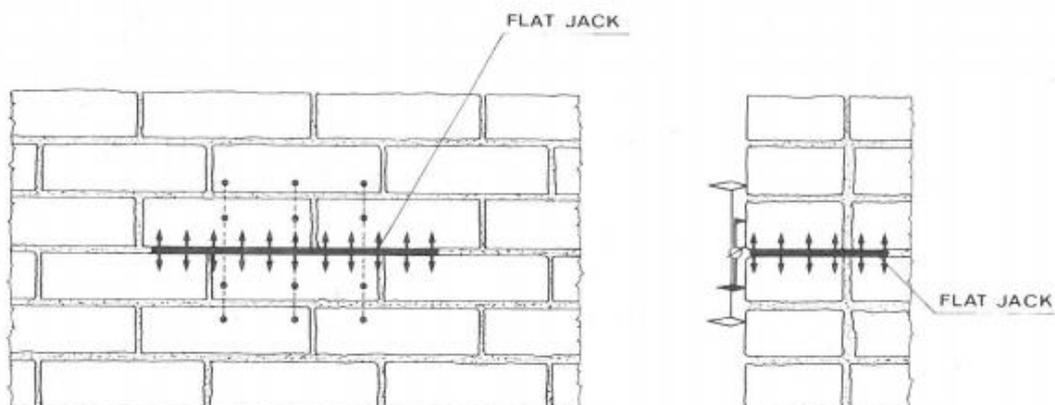
para ensaio *in loco* na determinação de parâmetros representativos da deformabilidade de elevados volumes de maciços rochosos, determinando a tensão atuante de compressão em vários locais da estrutura rochosa das minas.

Segundo Binda e Tiraboschi (1999), o método foi originalmente concebido para determinar a tensão localizada da alvenaria *in loco*, sendo posteriormente estendido para a determinação das características de deformabilidade da estrutura.

De acordo com Rossi (1982), é complicado determinar as características mecânicas do material que forma a estrutura de alvenaria de tijolos antigos, pois tais elementos apresentam os blocos com altas propriedades mecânicas, porém com argamassa com características mais fracas. Portanto, ensaios *in loco* devem ser realizados em amostras representativas para determinar o comportamento total médio estrutural. Ainda segundo o autor, as amostras representativas necessitam ser consideravelmente grandes. Porém, em muitos casos, como em estruturas de alvenaria histórica, não há a possibilidade de extrair amostras, com isso, houve a necessidade de desenvolver teste especiais não destrutivos. Segundo Rossi (1982), o ISMES (*Experimental Institute for Models and Structures* – Bérgamo, Itália) teve uma contribuição significativa para o desenvolvimento da técnica com macacos planos para determinar *in loco* as propriedades de deformabilidade e o estado de tensão de compressão atuante nas amostras grandes de alvenaria, sem remover, alterar ou destruir as mesmas.

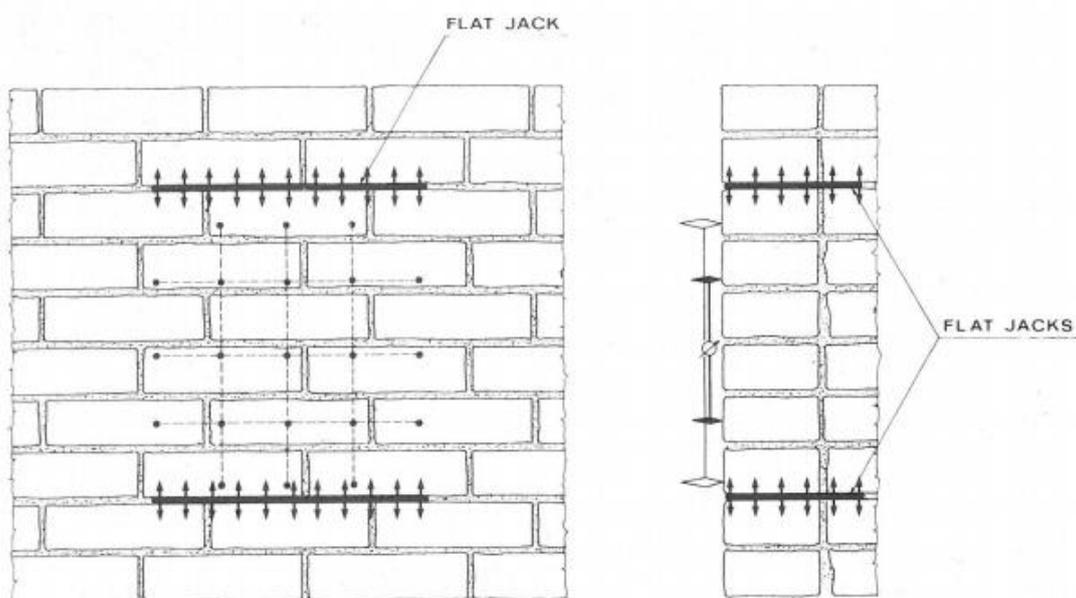
Rossi (1982) desenvolveu uma técnica com macacos planos para alvenaria de tijolos para a determinação da tensão atuante e as características de deformação da parede. Para a medição da tensão atuante na parede, Rossi (1982) usou um macaco plano (Figura 9) e para determinação da deformabilidade da parede foram usados dois macacos planos (Figura 10).

Figura 9 - Determinação da tensão atuante com um macaco plano.



Fonte: Rossi (1982)

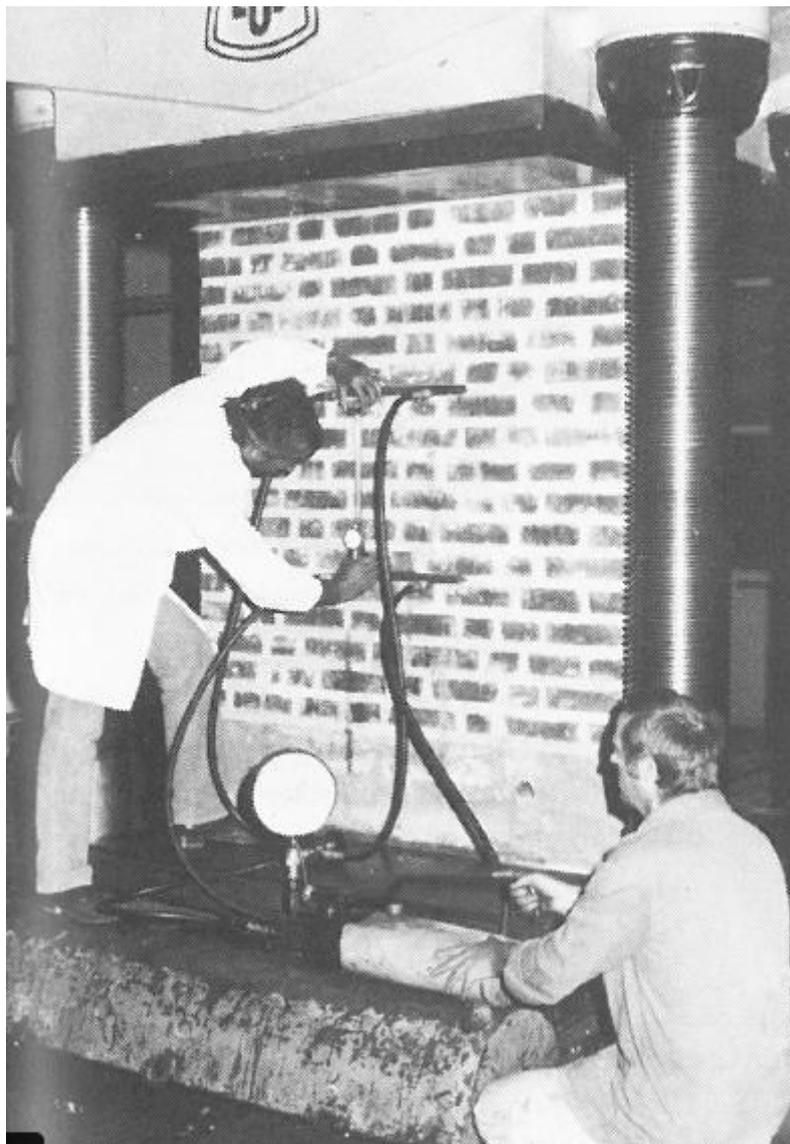
Figura 10 - Determinação da deformabilidade característica da alvenaria com dois macacos planos.



Fonte: Rossi (1982)

Rossi (1982) realizou o primeiro ensaio em um laboratório com uma grande amostra de alvenaria, com dimensões 140 x 140 x 60 cm (Figura 11), sendo aplicado por uma máquina de carregamento tensões no meio da parede.

Figura 11 - Teste de calibração em laboratório em uma amostra grande de alvenaria.



Fonte: Rossi (1982)

A máquina exerceu uma pressão até o valor máximo de 1,0 MPa, determinando as características de deformabilidade da alvenaria, estado da tensão atuante e o módulo de elasticidade. A comparação dos resultados encontrados com a técnica com macacos planos e os resultados laboratoriais reais na Tabela 4, a seguir.

Tabela 4 - Comparação dos resultados laboratoriais x macacos planos.

		Valor real - Laboratorial (MPa)	Valor determinado pelo teste com macacos planos (MPa)
<b>Tensão atuante</b>		1	1,15
<b>Módulo de Elasticidade</b>	$\Delta\sigma = 0 - 0,5$ MPa	2450	2400
	$\Delta\sigma = 0,5 - 1,0$ MPa	3400	3750

Fonte: Adaptado de Rossi (1982).

Analisando os resultados de Rossi (1982), pode-se notar que a tensão encontrada com a técnica com macaco plano deu um resultado maior do que o real. Isso se deve a uma distribuição não uniforme da pressão, ocorrido devido a um maior endurecimento da argamassa na superfície da alvenaria.

Em relação ao módulo de elasticidade, é observado uma concordância boa entre o valor real e o encontrado no ensaio quando o nível de pressão não excede 0,5 MPa. Quando a pressão exercida pela máquina fica entre 0,5 e 1,0 MPa, o módulo de elasticidade real é em torno de 10% menor do que o encontrado no ensaio, isso se deve, de acordo com Rossi (1982), pelo efeito confinante da amostra delimitada pelos dois macacos planos.

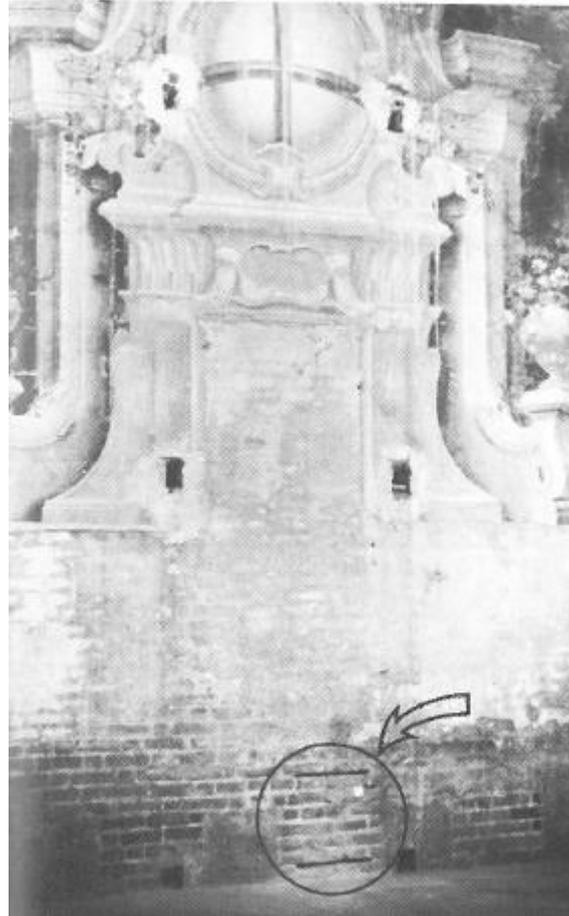
Rossi (1982) exemplificou três ensaios com a técnica de macacos planos, ilustrando três tipos de intervenções diferentes: restauração do “*Palazzo della Ragione*” em Milão, restauração estática com mudanças na fundação da estrutura da livraria “*Classense*” em Ravenna, e recuperação de um edifício antigo em Milão para fins de habitação.

O “*Palazzo della Ragione*” é um palácio medieval do século XII, no qual realizaram extensas investigações experimentais, com o auxílio das técnicas com macacos planos, para determinar as condições estáticas do edifício, após expansão no centro do salão principal que promoveu o aparecimento de várias rachaduras.

Foram realizados ensaios não destrutivos com a técnica com macacos planos para determinar as características mecânicas da alvenaria. Seis ensaios foram realizados para determinar a tensão de compressão atuante na estrutura, realizados com a técnica de macaco plano simples. Após a definição da carga atuante, foi feito uma série de ciclos de carregamento (Figura 12) até a carga

atuante original, que era cerca de 0,4 MPa. Posteriormente, foram adicionados mais ciclos, com valores crescentes de carga máxima: 1,0 MPa e 1,6 MPa.

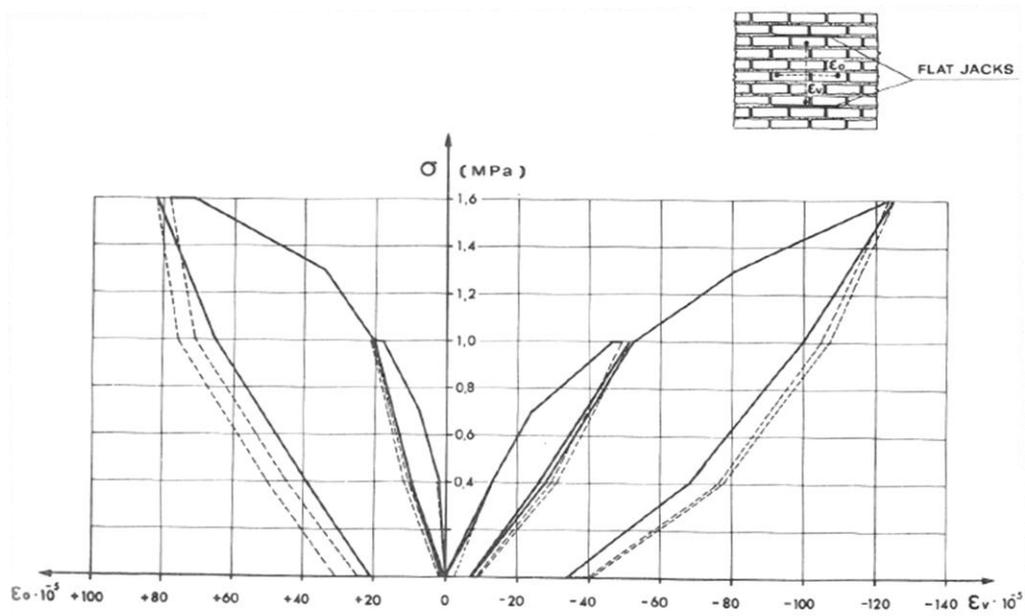
Figura 12 - Ensaio com macacos planos no “*Palazzo della Ragione*”.



Fonte: Rossi (1982).

Os resultados dos diagramas de tensão-deformação axiais e transversais encontrados são mostrados na Figura 13.

Figura 13 - Diagrama de tensão-deformação axial e transversal.



Fonte: Rossi (1982).

A livraria “*Classense*”, construída no século XVI, estava em processo de restauração tanto nas fundações como nas paredes de alvenaria quando foram utilizados dois macacos planos (Figura 14), nas paredes de tijolos, para determinar a mudança de tensão de compressão nos elementos estruturais após a restauração.

Figura 14 - Ensaio com dois macacos planos na livraria “*Classense*”.



Fonte: Rossi (1982)

O último estudo em edificações históricas citado por Rossi (1982), é de um edifício em Milão do começo do século XX (Figura 15), que apresentava vários sinais de deterioração. Antes da restauração, foram feitos ensaios com macacos planos para a determinação das características mecânicas das paredes. No total foram realizados 10 ensaios para se encontrar as tensões de compressão. Nesses pontos, foram encontradas tensões de compressão em cerca de 0,6 a 0,8 MPa, com valores de pico de até 1,0 MPa. Os resultados encontrados foram comparados com resultados obtidos por investigações geofísicas e testes laboratoriais.

Figura 15 - Edifício histórico da cidade de Milão.



Fonte: Rossi (1982).

Bernardo (2011) desenvolveu um macaco plano de grande área (*Flat Jack FLJ*) (Figura 16) para um estudo da deformabilidade de um maciço rochoso (Figura 17), medindo-se os deslocamentos relativos das faces do rasgo aberto

no material rochoso. Este tipo de macaco é utilizado para analisar grandes elementos rochosos, determinando a tensão atuante de compressão localizadas.

Figura 16 - Macaco plano de grande área.



Fonte: Bernardo (2011).

Figura 17 - Ensaio com macaco plano de grande área em maciço rochoso.



Fonte: Bernardo (2011).

Na década de 90 houve o aparecimento das primeiras normas e recomendações. Em 1990 surgiu a primeira recomendação europeia sobre os macacos planos, a RILEM LUM.D.2-90 e a RILEM LUM D.3-90, sendo elas atualizadas em 2004 para as RILEM MDT.D.4 e RILEM MDT.D.5. Em 1991, as normas americanas foram lançadas, sendo estas as ASTM C1196-91 e ASTM C1197-91, sendo sua última versão de atualização lançadas em 2014.

## 2.5 TESTES COM MACACOS PLANOS

Os ensaios com macacos planos, podem ser definidos em dois tipos: simples e duplo. O ensaio simples é realizado para o teste de tensão e o duplo para o teste de deformabilidade.

Segundo Tacas, Gonzales e Aguilar (2019), há uma rigidez inerente dos macacos planos que se opõe à sua expansão, portanto, a pressão externa atuante no macaco plano deve ser corrigida por um fator  $K_m$  em relação a sua pressão interna. Este fator  $K_m$  é resultante de uma calibração laboratorial do material. Outra correção necessária para a pressão efetiva na alvenaria ( $P_{alv}$ ), se deve ao fator  $K_a$ , que é a relação entre a área do macaco plano e a área de atuação nele na alvenaria. Portanto, para o cálculo da pressão efetiva é utilizado a Equação (1), a seguir.

$$(1) P_{alv} = K_m \cdot K_a \cdot P;$$

$P_{alv}$  = Pressão efetiva na alvenaria (MPa);

$K_m$  = fator de calibração devido a rigidez interna do macaco;

$K_a$  = área do macaco plano/área de atuação;

$P$  = Pressão interna do macaco (MPa).

### 2.5.1 Teste de tensão (macaco plano simples)

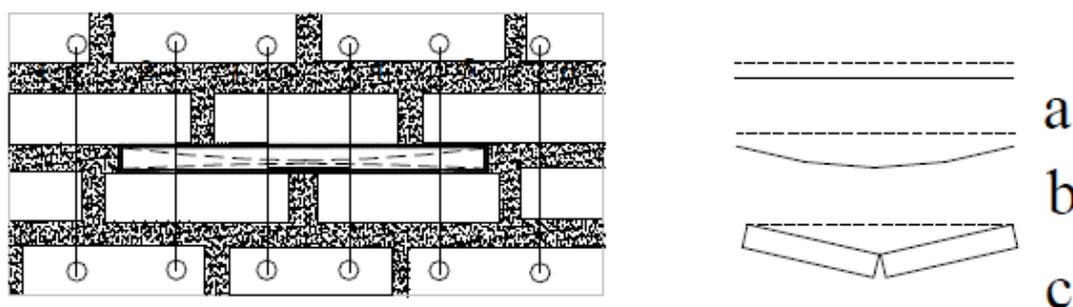
O teste de tensão, de acordo com Rossi (1982), é um ensaio com um macaco plano, que obtêm o valor da tensão local da parede analisada, através de medições de convergência entre pontos simétricos, ou seja, do valor da deformação em torno do macaco plano, em relação a tensão aplicada pelo equipamento.

De acordo com Tacas, Gonzales e Aguilar (2019), o ensaio com a técnica de macaco plano simples se baseia no princípio da liberação de tensão devido à um único corte na argamassa. Após o corte na argamassa, há uma liberação de tensão nesse ponto, gerando uma aproximação da alvenaria superior com a alvenaria inferior ao corte. Para determinar a tensão de compressão atuante no

local, o macaco é inserido na fenda, e tem-se a sua pressão interna aumentada, até que a distância original entre as alvenarias seja retomada ao estado natural.

Segundo Binda e Tiraboschi (1999), o resultado da tensão é dado devido ao “relaxamento” da área analisada, pois é retirado uma junta, gerando uma deformação nas arestas do corte (Figura 18). De acordo com Ronca (1996), após a realização do corte na junta, os valores dos deslocamentos medidos não são mais constantes, como demonstrado na Figura 18 a, b e c. A Figura 18 a demonstra o estado inicial, antes da retirada da argamassa, no qual todos os pontos estão no mesmo nível. Após a retirada da argamassa, é gerado a deformação nas arestas do corte, como mostrado na Figura 18 b. O maior deslocamento é no centro devido às novas distribuições de tensões. De acordo com Binda e Tiraboschi (1999), após a retirada da argamassa o macaco plano é inserido em seu lugar, com isso, ele é inflado e a distância inicial entre dois pontos (demarcados antes da retirada da argamassa) é restaurada, como demonstrado na Figura 18 c, com isso, a tensão exercida pelo macaco plano é equivalente a tensão atuante na parede.

Figura 18 - Deformação nas arestas do corte.



Fonte: Ronca 1996.

De acordo com Binda e Tiraboschi (1999), em caso de paredes com múltiplas folhas, o resultado encontrado é referente à folha externa, não obtendo as características das demais folhas, e estes resultados também se referem aos valores próximos a junta, no qual é assumido que os elementos estruturais da parede tenham características homogêneas.

### 2.5.2 Teste de deformabilidade (macaco plano duplo)

O teste de deformabilidade, de acordo com Rossi (1982), é um ensaio de avaliação não destrutiva realizado por meio de dois macacos planos, que fornece como resultado a curva tensão-deformação do elemento estrutural, permitindo-se estimar o módulo de elasticidade.

De acordo com Tacas, Gonzales e Aguilar (2019), o ensaio com a técnica de macaco plano duplo determina o comportamento da tensão-deformação da alvenaria existente. Após a inserção dos macacos, em aberturas paralelas, a sua pressão interna é elevada gradualmente e, enquanto isso, há uma tensão de compressão atuando na alvenaria confinada entre os macacos. Através das deformações verticais dos pontos de referências adotados, é possível determinar o gráfico tensão-deformação da alvenaria e o módulo de elasticidade.

Segundo Binda e Tiraboschi (1999), a técnica com dois macacos planos determina no local as propriedades mecânicas da alvenaria, como o gráfico tensão-deformação e seu módulo de elasticidade. Para a sua execução, é necessário a retirada de duas juntas de argamassa (Figura 19), inserindo os macacos planos nos cortes e, posteriormente, pressurizados por uma bomba externa (Figura 20).

Figura 19 - Exemplo de corte na argamassa entre as juntas.



. Fonte: Próprio autor.

Figura 20 - Macacos planos inseridos na parede de alvenaria.



. Fonte: Próprio autor.

Após a inserção dos macacos na parede de alvenaria, os mesmos são pressurizados pela bomba externa, transmitindo uma parcela da pressão na área confinada pela alvenaria, gerando um deslocamento, e é medido as deformações causadas pelo aparelho. Para cada ponto de aplicação da tensão, uma deformação é obtida, gerando assim no final uma curva tensão-deformação, para posterior estimativa do módulo de elasticidade da parede e de sua resistência à compressão.

De acordo com Casarin *et al.* (2019), se comparado a técnica de macacos planos com ensaios destrutivos, o módulo de elasticidade é superestimado em cerca de 15 a 20% com a técnica de macacos planos, e a sua performance é melhor em alvenarias regulares do que em elementos não regulares, como paredes com alvenaria de pedras.

## 2.6 RELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E MÓDULO DE ELASTICIDADE

As normas e recomendações, para fins de cálculos em projetos, apresentam o módulo de elasticidade ( $E$ ), ou módulo de deformação longitudinal, como um múltiplo da resistência à compressão do prisma ( $f_p$ ). A NBR 16868-1 (2020) apresenta o valor do  $E$  como de 800 vezes a resistência do prisma ( $f_p$ ) (Equação (2)), enquanto a resistência à compressão simples da alvenaria ( $f$ ) é 70% da resistência característica de compressão simples do prisma (Equação (3)). Estes valores são válidos para projetos de construções modernas de alvenaria de com blocos de concreto, não sendo válidos para estruturas de alvenarias históricas.

$$(2) E = 800 \cdot f_p;$$

$$(3) f_k = 0,7 \cdot f_p.$$

O Eurocode 6 EN 1996-1-1 (2013), relaciona o módulo de elasticidade como 1000 vezes a resistência do prisma para blocos de alvenaria estrutural, e Hamid (2013) sugere uma relação para o módulo de elasticidade como 900 vezes a resistência do prisma.

Fortes, et al. (2017) relatam vários ensaios com blocos de concreto de alta resistência (maior que 16 MPa), em paredes não-grauteadas e grauteadas, com blocos de resistência nominais de 16, 24 e 30 MPa. Os resultados mostraram que os módulos de elasticidade foram maiores que 800 vezes  $f_p$  para paredes ocas, e para paredes grauteadas, foram entre 688 e 848  $f_p$ . Os autores sugerem que para blocos de concreto de alta resistência, seja adotado um valor de  $E = 600$  a  $650 f_p$ .

Cargill, Wo e Schuler (2019) analisaram um banco de dados com mais de 250 testes de compressão *in situ* de antigas construções em alvenaria de tijolos, realizados através dos ensaios com macacos planos, de acordo com a ASTM C1197 (2014), e fizeram uma análise estatística para determinar a relação entre a resistência à compressão e o módulo de elasticidade, levando em consideração a época da construção, localização geográfica e o tipo de material na alvenaria. Para os resultados finais, foram analisados apenas os ensaios que

apresentaram falha na estrutura, ou seja, atingiram o valor final de resistência do material, reduzindo a quantidade de dados para 160 resultados.

Os resultados encontrados para a razão entre rigidez e resistência da alvenaria ( $\eta$ ) são mostrados na Tabela 5, sendo divididos em diferentes conjuntos, considerando a época da construção, antes de 1870, antes de 1900 e pós 1900. Outro conjunto é quanto o tipo de argamassa, foi considerado como “argamassa macia” as alvenarias construídas com argamassas à base de cal, e “argamassa dura” as alvenarias construídas com argamassas à base de cimento. E por último, foram separados os testes realizados nas áreas de Washington, DC e New York, NY. Assim, o mesmo resultado pode estar em mais de um conjunto de dados.

Tabela 5 - Resultados da razão entre rigidez e resistência da alvenaria ( $\eta$ ).

Conjunto de dados	n	$\eta$	
		Média	Coefficiente de variação %
<b>Todos os dados</b>	160	630	12,5
<b>Maciço isolado</b>	155	589	11,1
<b>Antes de 1870</b>	29	721	10,7
<b>Antes de 1900</b>	105	599	8,32
<b>Pós 1900</b>	49	541	10
<b>Argamassa macia</b>	135	622	11,2
<b>Argamassa dura</b>	18	368	6,3
<b>Washington DC</b>	64	458	12,8
<b>New York</b>	36	641	10,3

Fonte: Adaptado de Cargill, Wo e Schuler (2019).

De acordo com Cargill, Wo e Schuler (2019), a alta variabilidade nos resultados são esperados, devido as várias variáveis que podem influenciar o módulo e a resistência à compressão, como o tipo de alvenaria, geometria e qualidade, a formulação da argamassa e sua espessura de junta, mão de obra da época, intemperismo e deterioração da estrutura.

Levando em consideração todos os dados, removendo os maciços isolados, o valor médio do  $\eta$  foi de 589, próximo ao de 550 sugerido na ASCE 41 (2006). Os valores encontrados do  $\eta$  antes do período de 1870 e de argamassa macia, respectivamente 721 e 622, são mais altos, pois de acordo com Cargill, Wo e Schuler (2019) os tijolos fabricados anteriormente à 1870 tem menor resistência que os tijolos mais recentes e que a argamassa macia a base de cal

apresenta menor resistência que a argamassa dura. Os resultados apresentados pós 1900 e de argamassa dura apresentam os valores do multiplicador  $\eta$  menor, respectivamente 541 e 368, indicando um comportamento para alvenarias mais resistente.

## 2.7 CONVERSÃO DE TESTEMUNHOS EXTRAÍDOS PARA MOLDADOS

Segundo a NBR 6118 (2014), em casos que há testemunhos extraídos da estrutura em ensaios realizados no local, pode-se dividir o coeficiente de ponderação da resistência, no estado-limite último (ELU), pelo coeficiente  $\gamma_m$  de 1,1.

Segundo Helene (2011), os resultados dos testemunhos são mais representativos e próximos da resistência efetiva característica do concreto à compressão do que os corpos de prova moldados. Por isso, a redução pelo valor de  $\gamma_m$  é possível.

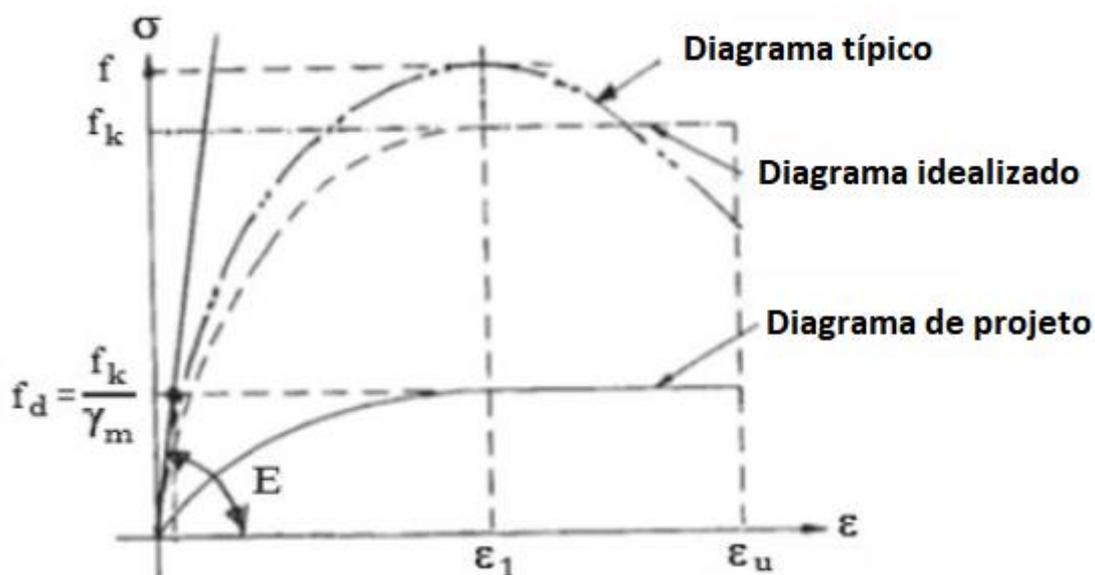
Há uma divergência entre essa majoração entre as normas, o ACI 318 (2005) recomenda que o coeficiente ponderador da resistência pode, nesse caso específico de testemunho extraído do elemento, ser reduzido dividindo-o por 1,21 a 1,25. O Eurocode II. EN 1992 (2004) e a ACI 437 (2003) recomendam dividir por 1,18. Ou seja, a recomendação brasileira permite majorar em 10% o valor da resistência obtida em testemunhos, seguindo orientações da NBR 6118 (2014). Em outras referências, pode-se ar majorar de 11% a 25%, seguindo critério das normas internacionais.

Helene (2011) relata que há outros fatores de ajuste e correção que não são considerados em normativas brasileiras, como o coeficiente de correção devido ao diâmetro, podendo variar de 0,98 a 1,06 na ACI 214.4R (2010), o coeficiente de correção devido a condições de sazonalidade do testemunho, variando de 0,96 a 1,09 na ACI 214.4R (2010), e o coeficiente de correção devido a danificação decorrente da extração (broqueamento), valor adotado de 1,06 na norma ACI 214.4R (2010). Esses seriam específicos do caso de ensaios em cilindros de concreto.

## 2.8 CURVAS TENSÃO-DEFORMAÇÃO DE ALVENARIA DE BLOCOS DE CONCRETO

O Eurocode EN 1996-1-1 (2013) indica que a relação entre tensão e deformação de uma alvenaria em compressão não é linear, porém, pode ser tomada como linear, parabólica ou parabólica retangular, para fins de projeto de uma seção de alvenaria estrutural. O diagrama típico, diagrama idealizado e diagrama de projeto apresentando no Eurocode EN 1996-1-1 (2013) é apresentado na Figura 21, a seguir.

Figura 21 - Relação tensão-deformação para alvenaria em compressão.



Fonte: Adaptado de Eurocode EN 1996-1-1 (2013).

Analisando a Figura 21, a primeira parte do gráfico, a lei de Hooke é válida, ou seja, o trecho elástico da curva, sendo que se houver um carregamento estrutural e posteriormente um descarregamento, não há deformação residual, voltando o material para o comprimento inicial. O módulo de elasticidade do elemento é determinado através da inclinação desta reta.

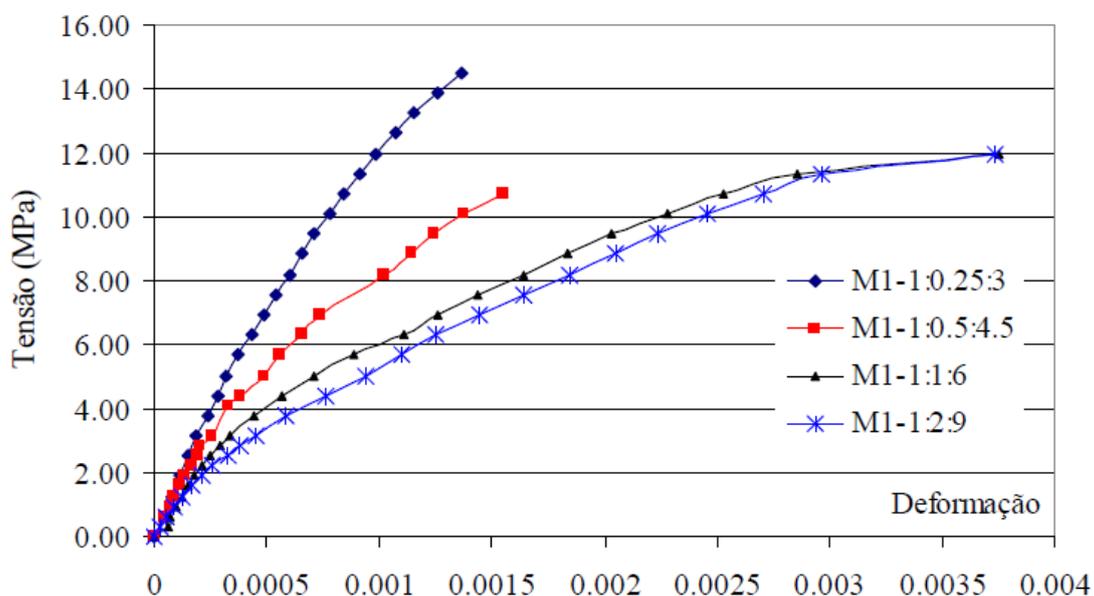
Quando as deformações ultrapassam o limite de proporcionalidade, ou seja, vai para o trecho elasto-plástico, a relação entre tensão e deformação não é mais linear, ou seja, a lei de Hooke não é mais válida, gerando deformação permanente caso haja um carregamento e posterior descarregamento.

Sobre o diagrama tensão-deformação, a deformação na ruptura para alvenaria é variável entre normas, no Eurocode EN 1996-1-1 (2013) é 0,35% para blocos do Grupo 1 (volume máximo de vazios de 25%) e de 0,20% para o Grupo 2 (volume de vazios entre 25% e 50%). No MSJC (ACI 530/TMS 402/ASCE 5) (2011) o valor da deformação da alvenaria é de 0,35% para alvenaria cerâmicos e 0,25% para alvenaria de concreto. A *Canadian Standards Association CSA S304 1-04* define como 0,30%, e a *British Standard Institution BS 5628-2* (1995) e a *Standards Association Of Australia AS 3700* (1998) definem como 0,35% para todas as alvenarias.

Camacho, et al. (2015) relatam uma investigação experimental do comportamento estrutural, resistência à compressão axial e deformabilidade, de blocos de alvenaria estrutural de concreto. Os autores variaram a resistência do bloco, do graute e da taxa de armadura, ensaiando vários prismas, de três fiadas de altura. Como resultados obtiveram a variação da resistência e os diagramas tensão-deformação da alvenaria, concluindo que a deformação na ruptura de alvenarias de blocos de concreto é próxima a 0,20%, sendo este valor inferior ao adotado na normalização brasileira de 0,35%.

Mohamad, Lourenço e Roman (2004) realizaram ensaios de compressão em prismas feitos com blocos de concreto e argamassa. O bloco analisado (M1) foi construído com quatro traços de argamassas, os resultados da curva tensão-deformação são apresentados na Figura 22.

Figura 22 - Diagrama tensão-deformação de prismas.



Fonte: Mohamad, Lourenço e Roman (2004).

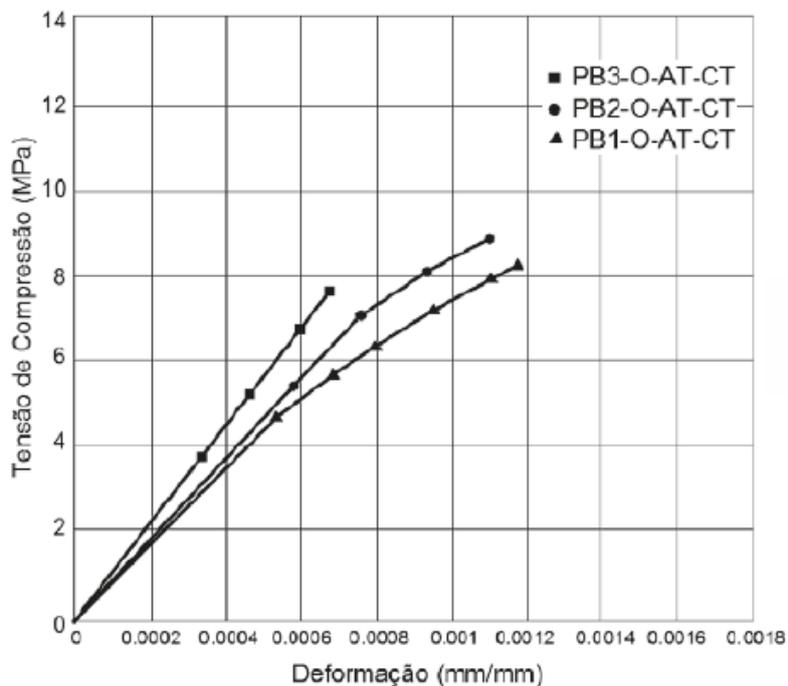
Os dados apresentados na Figura 22 demonstram que, para os blocos designado como M1, é indicado uma diferença na trajetória da curva tensão-deformação para os prismas, em função do tipo de argamassa. Os autores afirmam que quanto menor a resistência à compressão da argamassa, maior é a não-linearidade do conjunto. As curvas mais retílineas tinham argamassas mais resistentes.

Fortes, et al. (2017) avaliaram o efeito da cinta a meia altura, grauteamento e assentamento parcial ou total na relação da curva tensão-deformação de alvenaria de alta resistência em compressão. Para isso, foram analisadas paredes com três resistências de blocos diferentes, com valores nominais de resistência à compressão de 16 (B1), 24 (B2) e 30 (B3) MPa.

Para as paredes ocas de blocos de concreto assentadas com argamassa total e com cinta grauteada a meia altura da parede (PB-O-AT-CT), a curva tensão-deformação (Figura 23) teve um comportamento linear até 75% da carga de ruptura. As paredes ocas assentadas com argamassa parcial e sem cinta a meia altura (PB-O-AP), foi observado comportamento linear, na curva tensão-deformação (Figura 24), até 70% da carga de ruptura. As paredes grauteadas assentadas com argamassa total e cinta grauteada a meia altura da parede (PB-

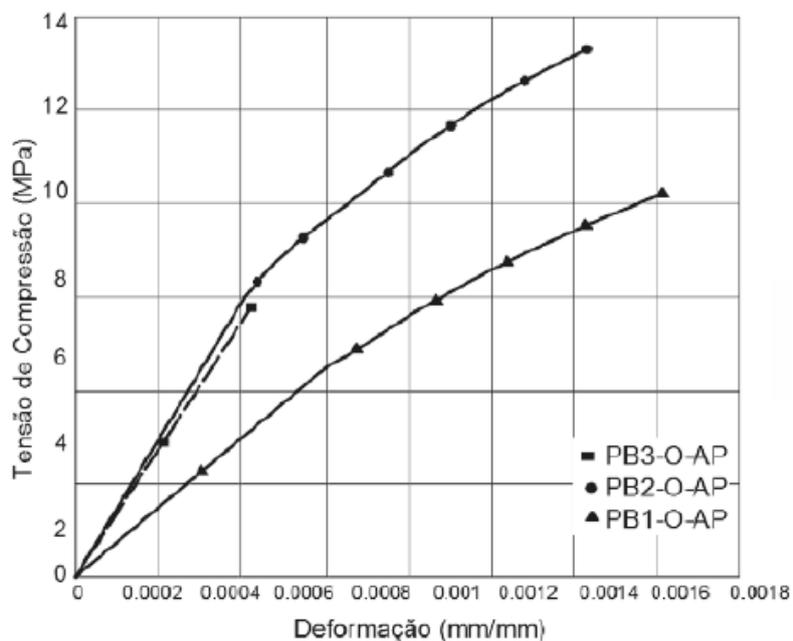
G-AT-CT), obteve o comportamento linear até 60% da carga de ruptura na curva tensão-deformação (Figura 25).

Figura 23 - Curvas de tensão-deformação para as paredes PB-O-AT-CT, considerando as três resistências de blocos.



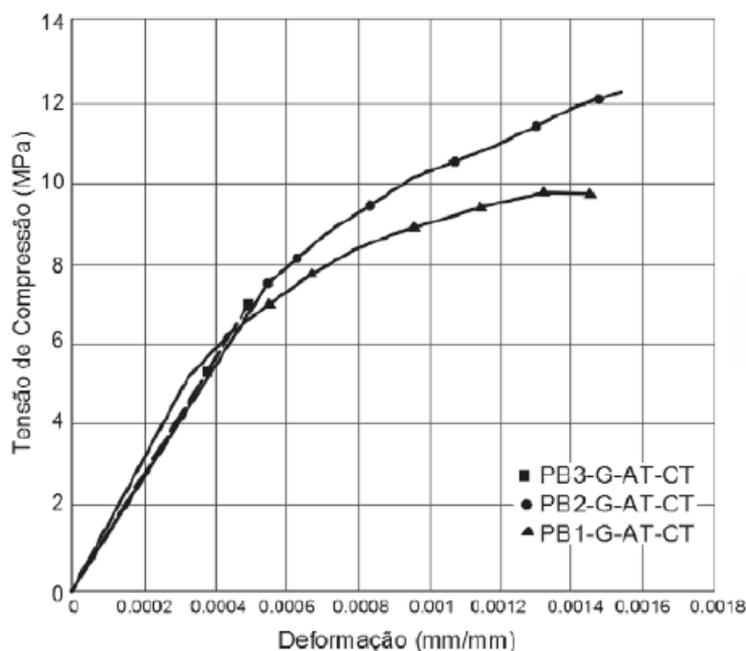
Fonte: Fortes, et al. (2017).

Figura 24 - Curvas de tensão-deformação para as paredes PB-O-AP, considerando as três resistências de blocos.



Fonte: Fortes, et al. (2017).

Figura 25 - Curvas de tensão-deformação para as paredes PB-G-AT-CT, considerando as três resistências de blocos.



Fonte: Fortes et al. (2017).

Os autores observam que esses resultados apresentam que a colocação da cinta a meia altura das paredes de alvenaria, forma de assentamento das argamassas, parcial ou total, e grauteamento das paredes tem pouco efeito no formato da curva tensão-deformação para as paredes. Os gráficos tensão-deformação mostram ruptura frágil de todas as paredes com deformação de ruptura entre 0,10 e 0,15% (compressão simples).

## 2.9 FATOR DE CORREÇÃO EM ENSAIOS DE PRISMAS DE ALVENARIA

Para determinar a resistência à compressão da alvenaria através do ensaio de prismas, a ASTM C1314 (2018) apresenta fatores de correção, que levam em consideração a altura e a espessura do prisma. Caso a razão entre altura e espessura estiver entre os valores de  $h_p/t_p$ , deverá determinar o fator de correção por interpolação linear. Esse fator de correção deve ser multiplicado pela força de resistência do prisma, gerando assim, a resistência à compressão da alvenaria. Os fatores de correção são apresentados na Tabela 6, a seguir, sendo  $h_p$  a altura do prisma e  $t_p$  a espessura do prisma.

Tabela 6 - Fatores de correção em função da relação  $h_p/t_p$  do prisma.

$h_p/t_p$	1,3	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
Fator de correção	0,75	0,86	1,00	1,04	1,07	1,15	1,22

Fonte: Adaptado de ASTM C1314 (2018).

## 2.10 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA TÉCNICA DE MACACO PLANO

### 2.10.1 Vantagens

A técnica com macacos planos é não destrutiva, pois segundo Rossi (1982), os macacos colocados na parede estrutural são facilmente removíveis e com uma pequena restauração na camada de argamassa a estrutura volta a sua condição original, ou seja, os danos causados são mínimos e temporário.

Binda e Tiraboschi (1999) diz que os ensaios com macacos planos determinam as características a compressão e tensão no local da estrutura com uma avaliação *in loco*, não precisando levar nenhum corpo de prova para ensaios laboratoriais, verificando qualquer ponto da estrutura e analisando se há a necessidade de reforços estruturais.

De acordo com Rossi (1982), a técnica com macacos planos tem resultados bastantes confiáveis, pois as características de deformações são medidas em uma estrutura não perturbada, ou seja, no seu local natural, sem modificação externa devido ao seu tamanho, tendo seus resultados com representatividade do comportamento geral da estrutura.

Rossi (1982) diz que a instrumentação é muito simples e o carregamento dos equipamentos é fácil e de rápida instalação, tendo o resultado do ensaio em um tempo rápido.

Segundo Parivallal, et al. (2011), este método avalia a qualidade dos materiais empregados na parede estrutural em análise, pois verifica se a resistência e durabilidade estão condizentes com as especificações necessárias.

### *2.10.2 Desvantagens*

Segundo Rossi (1982), os resultados são bons em estruturas homogêneas, sendo que, caso os elementos sejam heterogêneos, os resultados do ensaio serão em relação apenas a região estudada, não podendo extrapolar os resultados ao resto da construção.

De acordo com Soriani (2016), há uma dificuldade em retirar o macaco plano da junta ao final do ensaio devido a expansão do equipamento, podendo ocasionar algum dano na estrutura.

Segundo Binda e Tiraboschi (1999), uma das dificuldades dos ensaios com macacos planos é a necessidade de uma calibração do macaco plano, e que a pressão de equilíbrio da prensa seja confiável, sendo esse um dos requisitos fundamentais para a execução do teste.

De acordo com Binda e Tiraboschi (1999), outro problema que pode acontecer no ensaio é a distância dos pontos de referência aumentar devido a presença de tensões de tração, neste caso, a continuidade da parede deve ser restaurada com preenchimento do corte de argamassa. Caso haja o surgimento de fissuras na alvenaria, o ensaio deve ser paralisado.

## **2.11 NORMAS E RECOMENDAÇÕES**

As principais normas (ASTM) e recomendações (RILEM) sobre as técnicas de macacos planos são a ASTM C1196-14, ASTM C1197-14, ASTM C1531-16, RILEM MDT.4-04 e RILEM MDT.5-04. Entre as normas brasileiras, não há nenhuma que contemple a utilização dos macacos planos, havendo uma carência sobre este assunto nas normas nacionais.

### *2.11.1 ASTM C1196:14*

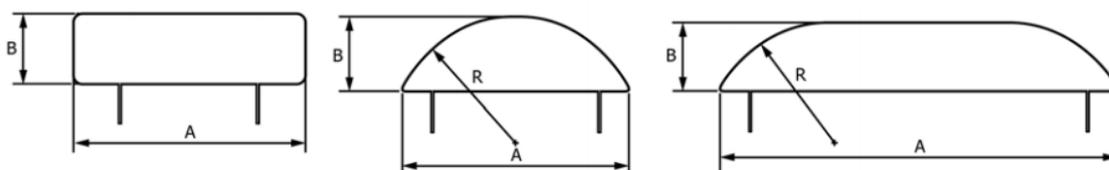
A ASTM C1196:14 se refere ao teste de determinação da tensão de compressão, usando macacos planos, atuante em unidade sólida não reforçada existente, sendo estas unidades alvenaria de pedra, concreto ou argila, cuja área líquida é superior a 75% da área bruta.

A norma diz que o uso de calços pode ser necessário para garantir a transferência uniforme de pressão do macaco plano para a alvenaria, evitando assim espaços livres entre o macaco e a parede.

Quando é retirado a argamassa, é formado uma ranhura, um espaço vazio, assim, a tensão compressiva faz com que a alvenaria de cima se aproxime da alvenaria de baixo. Portanto, a ASTM C1196:14 relata que é possível determinar a tensão de compressão atuante, inserindo um macaco plano na ranhura e aumentando sua pressão interna, até que a distância entre as duas alvenarias volte ao ponto inicial. O estado de tensão atuante compressiva da alvenaria é aproximadamente igual à pressão do macaco plano multiplicada por dois fatores, a de características físicas do macaco plano, como coeficiente de rigidez e pela razão da área de contato do macaco com a alvenaria pela área da ranhura.

Em relação ao macaco plano, é definido que o macaco é um elemento fino e plano, com entrada e saída, pressurizado com fluido hidráulico e apresentado em 3 formatos típicos: retangular, circular e semi retangular (Figura 26).

Figura 26 – Formatos típicos dos macacos planos ASTM C1196:14.



Fonte: Adaptado de ASTM C1196:14.

Como mostrado na Figura 26, a norma limita que a dimensão A deve ser maior ou igual ao comprimento de uma única unidade de alvenaria, com dimensão mínima de 20 cm. A dimensão B deve ser maior ou igual a espessura da largura de uma unidade de alvenaria, com dimensão mínima de 7,5 cm. O raio, R, para os macacos planos circulares e semi retangulares, deve ser igual ao raio da lâmina da serra circular usada para cortar a fenda.

Em relação ao tipo de material utilizado na fabricação, é recomendado o uso de chapas de aço inoxidável, com espessuras entre 0,6 mm até 1,2 mm.

Sobre o tipo de medição da deformação, é recomendado um extensômetro que tenha a capacidade de medir medições de pelo menos 5 mm. A precisão mínima do equipamento é de 0,005% do comprimento do manômetro.

A norma apresenta a necessidade da calibração para determinar o coeficiente de rigidez ( $K_m$ ), que relaciona a pressão interna do macaco com a pressão externa. É recomendado que a máquina de compressão utilizada na calibração tenha uma capacidade mínima de 450 kN. Para a determinação do  $K_m$ , plote os valores da carga interna do macaco plano (manômetro da bomba) pela carga medida pela máquina do ensaio. A inclinação da linha é o fator de conversão. A norma recomenda que refaça a calibração após 5 ensaios ou quando aparecer uma distorção excessiva no macaco.

Sobre o procedimento, é recomendado o uso de pelo menos quatro leitores de medição, igualmente espaçados e alinhados verticalmente. O comprimento mínimo do manômetro deve ser 0,3 do comprimento do macaco plano, e o comprimento máximo de 0,6 do macaco plano.

A tensão compressiva média de atuação na parede é dada pela Equação (1), mostrada no tópico 2.5 Testes com macacos planos.

De acordo com a ASTM C1196:14, estudos indicam que a variação deste ensaio com os laboratoriais é de até 20%, recomendando a realização de pelo menos três ensaios, para verificar os resultados.

#### 2.11.2 ASTM C1197:14

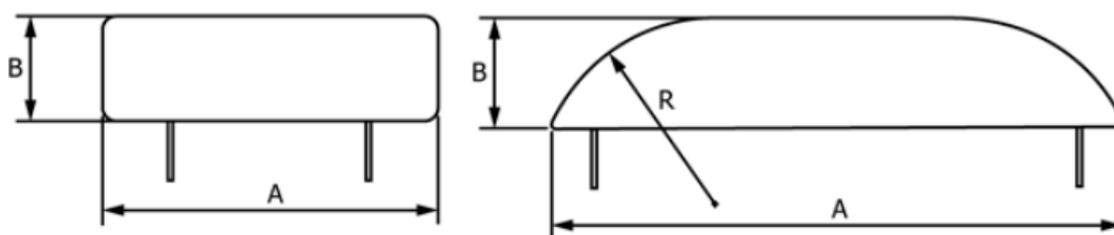
A ASTM C1197:14, se refere ao teste, *in loco*, para a determinação das propriedades de deformação da alvenaria estrutural não armada, utilizando a técnica com macacos planos, instalados em juntas de argamassas cortadas em unidade sólida não reforçada existente, sendo estas unidades alvenaria de pedra, concreto ou argila, cuja área líquida é superior a 75% da área bruta.

Similar a ASTM C1196:14, a ASTM C1197:14 diz que o uso de calços pode ser necessário, evitando espaços vazios, garantindo uma transferência uniforme de pressão do macaco para a alvenaria ensaiada.

A norma resume o ensaio, sendo dois macacos planos, inseridos em duas fendas paralelas que induzem uma tensão de compressão na alvenaria entre os mesmos. Ao aumentar, gradualmente, a tensão nos macacos, vai medindo a deformação da alvenaria confinada, obtendo as propriedades de deformação, como o gráfico tensão-deformação e o módulo de elasticidade, através da inclinação da reta.

Sobre o macaco plano, a norma é similar a ASTM C1196:14, sendo o macaco um elemento fino e plano, com entrada e saída para poder ser pressurizado com fluido hidráulico, porém, para o teste de deformação de carga da alvenaria, os macacos planos são geralmente de 2 formatos, retangular e semi retangular, como mostrado na Figura 27, a seguir.

Figura 27 - Configuração dos macacos planos ASTM C1197:14.



Fonte: Adaptado de ASTM C1197:14.

As dimensões mostradas na Figura 27, tipos de materiais e calibração na ASTM C1197:14 são as mesmas recomendadas na ASTM C1196:14.

Sobre o procedimento de execução do ensaio, a norma recomenda que os rasgos das juntas sejam paralelos, espaçadas em, pelo menos 5 fiadas de blocos e que a distância vertical não ultrapasse 1,5 vezes o comprimento do macaco plano. Esta recomendação, se deve ao fato de que deve haver alvenaria suficiente entre os macacos planos para resistir as forças desenvolvidas durante a pressurização dos macacos durante o ensaio. São recomendados, pelo menos, três pontos de medição de deformação, espaçados igualmente em posição vertical. Os pontos de medição devem ser anexados nas unidades de alvenaria e não nas juntas de argamassa.

De acordo com a ASTM C1197:14, resultados laboratoriais realizados em alvenaria de tijolos antigos, mostram uma variação entre eles de 24%, no qual

este valor está dentro dos limites aceitáveis para alvenaria antiga, sendo que os testes destrutivos realizados através da técnica de prisma, relacionando a mesma parede, tem uma variação de 32%. A norma relata que em relação ao módulo de elasticidade, os ensaios podem superestimá-lo em 15%.

### *2.11.3 RILEM MDT.D.4:04*

A recomendação RILEM MDT.D4 especifica um método, através do uso de macaco plano, para a determinação da tensão de compressão local de alvenaria construída.

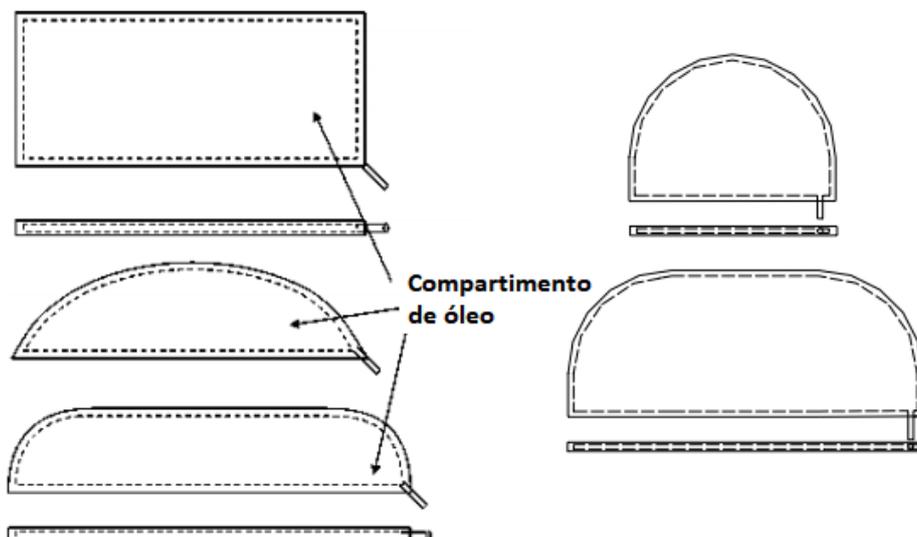
O teste se baseia na liberação da tensão de uma pequena área da alvenaria que foi cortada em um plano perpendicular à sua superfície. Quando há o corte na alvenaria, há uma liberação de tensão, fazendo com que os lados do corte se aproximam. Posteriormente, o macaco plano é inserido nesta fenda e a pressão é aumentada gradativamente, até que os lados do corte voltem a posição inicial. Nesta condição de ensaio, a pressão exercida pelo macaco é igual ao estado de tensão existente na alvenaria, desde que aplicados os fatores de correção, sendo estes a característica do macaco e a proporção entre a área do macaco e a área do corte. Esta recomendação enfatiza que a tensão a ser determinada seja a tensão média sobre a área do corte. Caso o material seja heterogêneo, a tensão fornecida pode não ser a melhor representação de toda a alvenaria, apenas da região estudada.

Segundo a recomendação, não é aconselhável realizar os ensaios sob uma intensa luz solar, chuva forte, ou alguma condição que possa causar alterações no estado natural das amostras ou na instrumentação do teste.

No ensaio, pode ser necessário o uso de calços de aço, com mesma área e formato da planta do macaco, garantindo um ajuste preciso dentro do rasgo.

Sobre o formato dos macacos planos, a RILEM MDT.D.4 diz que normalmente, os macacos retangulares têm uma proporção de 1:2 entre os lados, com espessura entre 5 e 10 mm. Os formatos recomendados são mostrados na Figura 28, sendo que, os formatos circulares só podem ser adotados, quando se usa uma serra circular excêntrica elétrica.

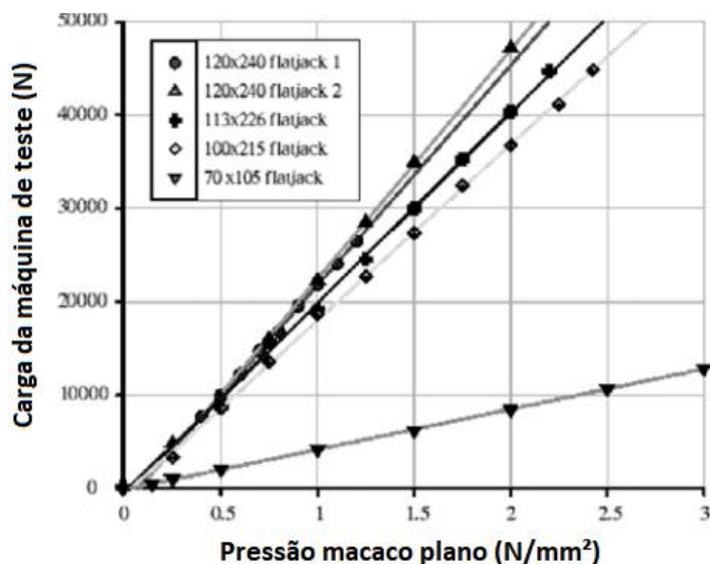
Figura 28 - Configuração dos macacos planos RILEM MDT.D.4 (2004).



Fonte: Adaptado de RILEM MDT.D.4 (2004).

O macaco plano deve ser calibrado, pois ele tem uma rigidez inerente que resiste à expansão quando o macaco é pressurizado, sendo assim, a pressão interna do macaco é maior que a pressão externa aplicada. A precisão mínima da máquina de compressão utilizada deve ser de 10 toneladas. Antes de iniciar o teste, pressurize e despressurize o macaco até a pressão máxima de 7 MPa, por 3 ciclos. Após isso, vai aumentando a pressão gradativamente, com incrementos de 0,5 MPa, anotando a deformação para cada tensão. No final é gerado um gráfico, tensão-deformação, como mostrado na Figura 29, a seguir.

Figura 29 - Exemplo de calibração RILEM MDT.D.4 (2004).



Fonte: RILEM MDT.D.4 (2004).

É recomendável a recalibração a cada 5 ciclos, ou quando houver distorção excessiva aparente.

Para o procedimento do ensaio, é recomendável 4 leitores de medidas, sendo que o comprimento mínimo para o medidor é de 0,3 vezes o comprimento do macaco, e o comprimento máximo é do comprimento do macaco. Quanto a localização, eles devem estar afastados equidistantes e o primeiro e último medidores devem estar localizados a no mínimo 1/8 do comprimento do macaco para dentro.

#### *2.11.4 RILEM MDT.D.5:04*

A recomendação RILEM MDT.D4 (2004) especifica um método de determinação in situ do comportamento da tensão-deformação, através do uso de macacos planos, em alvenaria construída.

O teste é baseado no uso de dois macacos planos aplicando uma tensão em um volume de alvenaria confinada entre eles. Os macacos reagem contra o restante da estrutura, estimando a tensão-deformação, e pela inclinação da reta é possível determinar o módulo de elasticidade.

As recomendações sobre ensaios em condições climáticas não ideais, calibração, uso de calços, tipos de macacos, são semelhantes a RILEM MDT.D.4 (2004).

## **2.12 AVALIAÇÕES ESTRUTURAIS COM MACACOS PLANOS**

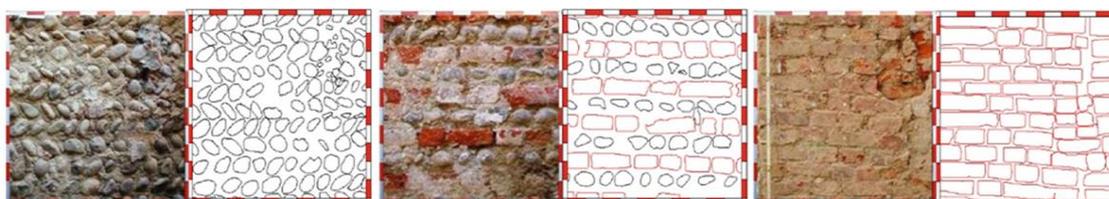
A técnica de macacos planos, para avaliação estrutural, tem sido bastante utilizada desde o início dos anos 80, até os dias de hoje, para avaliar e analisar todo tipo de estruturas, como as históricas. São apresentados a seguir, algumas obras que usaram a técnica de macacos planos para a obtenção de seus dados.

Torre, Cantini e Moiola (2019) apresentaram um estudo em estruturas históricas de Vimercate, distrito de Bianza, Itália, com a finalidade de identificar características dos materiais e técnicas construtivas usados nas obras de

alvenaria, esboçando um esquema das tendências regionais e propondo hipóteses sobre as características detectadas nos edifícios de diversos períodos.

Foram analisados três tipos de paredes representativas da região de Vimercate (Figura 30), sendo a primeira parede composta com seixos de dimensões médias de 6 x 10,2 cm e juntas com espessura média de 2 cm, a segunda parede era de seixos com dimensões médias de 10,3 x 7 cm alternadas com tijolos maciços de 23 x 13 x 8 cm e juntas com espessura média de 2,9 cm, e, a terceira parede era de tijolos maciços de 34 x 14 x 8 cm e junta com espessura média de 2 cm.

Figura 30 - Características geométricas dos três tipos de paredes analisadas.



Fonte: Torre, Cantini e Moiola (2019).

A técnica de macacos planos foi utilizada para a obtenção do módulo de elasticidade das três paredes, determinando que a alvenaria composta somente por seixos apresentou um baixo módulo de elasticidade de 182 MPa. A parede com textura mista de seixo e tijolos maciços apresentou módulo de elasticidade de 643 MPa. A última parede, composta inteiramente de tijolos maciços apresentou o maior módulo de elasticidade, com 4609 MPa.

Casarin *et al.* (2019), utilizou a técnica com macacos planos em diferentes locais históricos de Israel, sendo que as paredes ensaiadas consistiam em calcário e pedras de basalto. Foram ensaiados dois tipos principais de paredes de alvenaria com pedra (Figura 31), uma com face única e paredes com duas faces (tipo de arranjo mais comum na região de Israel). A partir de destes ensaios, determinou-se as caracterizações mecânicas das alvenarias, como o módulo de elasticidade e de qual o período histórico dessas construções.

Figura 31 - Parede de pedra ensaiadas da região de Israel.

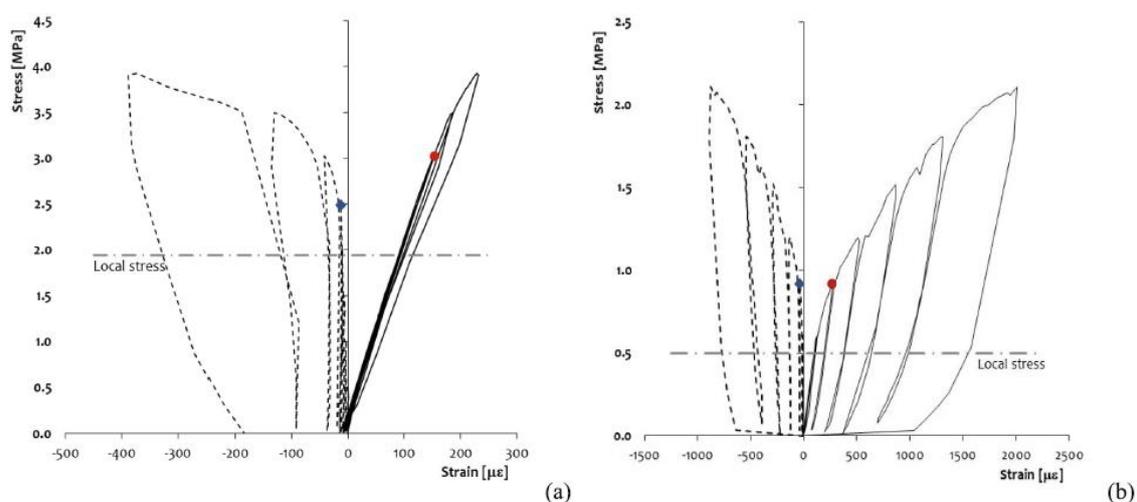


Fonte: Casarin *et al.* (2019).

Os autores relatam que as diferenças mais predominantes nos ensaios realizados são as dimensões e forma das pedras, e a qualidade e espessura das argamassas.

Para uma melhor caracterização das alvenarias históricas estudadas, foi aplicado o teste de tensão com um macaco plano para determinar a tensão atuante, e, posteriormente, realizou-se um teste cíclico com dois macacos planos, realizando aumento gradual da carga de 0,3 MPa. O resultado dos dois ensaios, o primeiro em Cardo em Jerusalém e o outro em Muhraqa em Monte Carmelo, são mostrados na Figura 32, sendo as linhas tracejadas representação das leituras horizontais e as linhas contínuas representam as leituras verticais.

Figura 32 - Ensaio com macaco plano simples e duplo realizado em Cardo (Jerusalém) (a) e em Muhraka (Monte Carmelo) (b).



Fonte: Casarin *et al.* (2019).

Analisando os gráficos da Figura 32, é possível analisar que o ensaio de tensão com macaco plano simples estimou uma força de tensão localizada em Cardo de 2 MPa e a tensão atuante em Muhraka de 0,5 MPa. Os pontos vermelhos e azuis representam o fim da região elástica linear, sendo possível ver que, ultrapassando esse ponto, é gerado uma deformação residual quando retirado o macaco.

Tacas, Gonzales e Aguilar (2019) fizeram ensaios para a determinação das propriedades mecânicas da igreja “*Virgen de la Asuncion*” (Figura 33), localizada em Sacsamarca, Peru, cuja estrutura foi feita em adobe no século XVI. Estas propriedades foram determinadas utilizando testes de macaco plano simples e duplo.

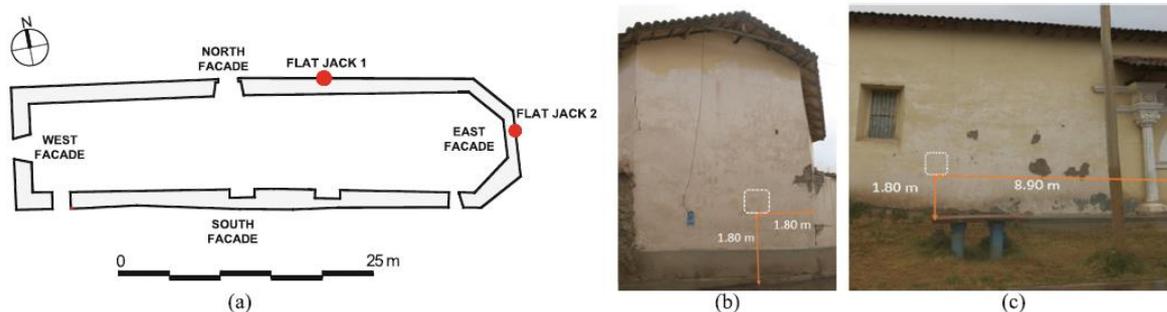
Figura 33 - Igreja “*Virgen de la Asuncion*” feita em adobe no século XVI.



Fonte: Tacas, Gonzales e Aguilar (2019).

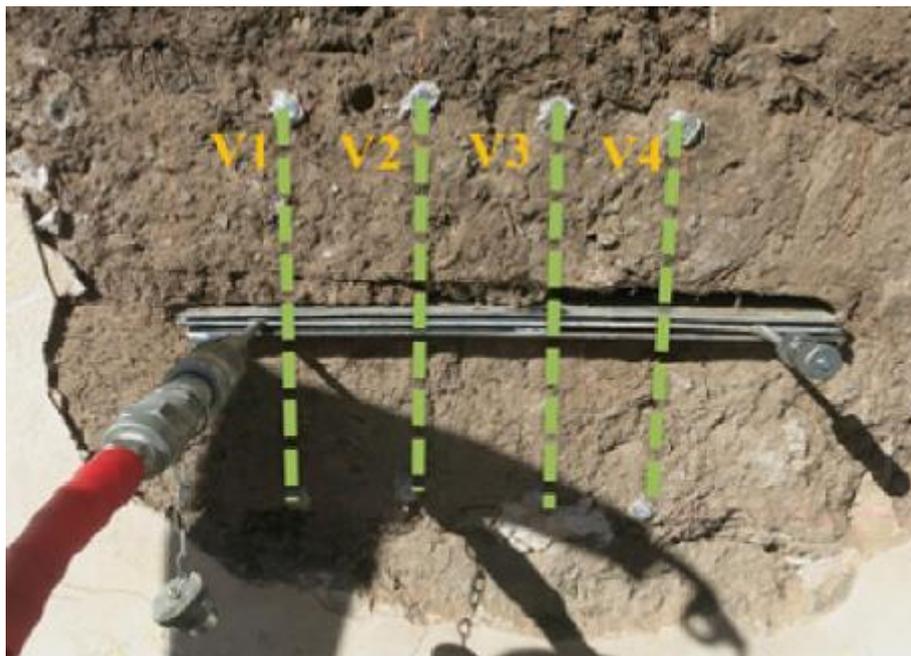
Os testes foram efetivados nas fachadas leste e norte da estrutura, sendo estes dois pontos paredes representativas de alvenaria da igreja e com acesso adequado para o ensaio dos testes, como mostra a Figura 34. O ensaio com macaco plano simples (Figura 35) estimou a tensão de compressão atuante no local, já o ensaio com macaco plano duplo (Figura 36) determinou o comportamento tensão-deformação da estrutura.

Figura 34 - Localização dos ensaios com macacos planos na igreja (a) vista em planta, (b) fachada leste e (c) fachada norte.



Fonte: Adaptado de Tacas, Gonzales e Aguilar (2019).

Figura 35 - Ensaio com macacos planos simples na igreja "Virgen de la Asuncion".



Fonte: Tacas, Gonzales e Aguilar (2019).

Figura 36 - Ensaio com macacos planos duplo na igreja "Virgen de la Asuncion".



Fonte: Tacas, Gonzales e Aguilar (2019).

Os resultados para o teste com macaco plano simples determinaram uma tensão atuante na parede da fachada norte e da fachada leste, respectivamente de 0,11 MPa e 0,13 MPa. Já os ensaios com macaco plano duplo determinaram um módulo de elasticidade de 273 MPa, tendo um coeficiente de variação nos resultados de 29,3%. Os autores afirmam, que estes valores estimados estão dentro de resultados encontrados em outras literaturas.

Aranha, Menon e Sengupta (2019), analisaram a cúpula da residência presidencial da Índia (Figura 26), uma estrutura icônica no estilo indo-sarraceno, cuja construção terminou em 1929. A construção foi feita com alvenaria de blocos de tijolos e concreto armado. Foram encontradas grandes rachaduras na região nordeste do salão (Figura 37) e uma de menor expressão no lado diametral oposto (Figura 38). O objetivo principal para estes ensaios é determinar a causa das trincas. Foram utilizados ensaios destrutivos e determinou-se, através da análise de difração de raio X, que os tijolos eram de boa qualidade, assentados com argamassa, e ensaios não destrutivos para a posterior utilização de um modelo em elementos finitos da estrutura, concluindo-se que as aberturas das fissuras apresentam uma fraqueza inerente ao topo da cúpula.

Figura 37 - Fissura na região nordeste da cúpula da residência presidencial da Índia.



Fonte: Aranha, Menon e Sengupta (2019).

Figura 38 - Fissura na região sudoeste da cúpula da residência presidencial da Índia.

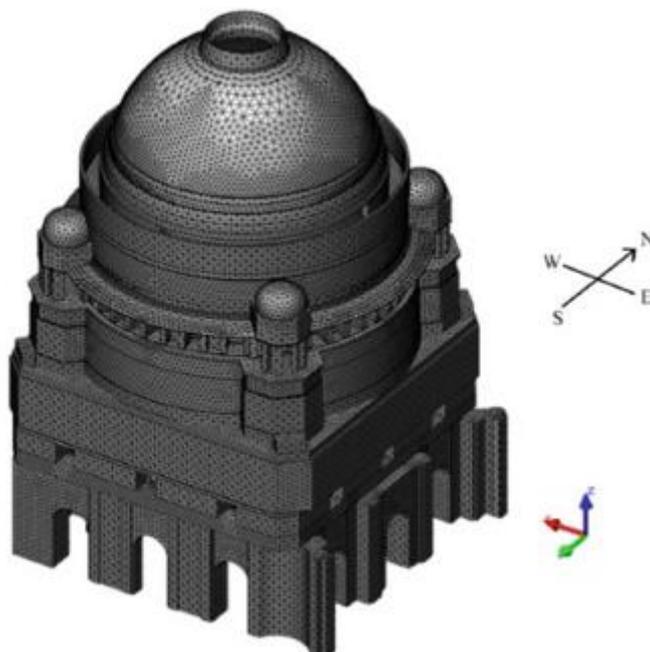


Fonte: Aranha, Menon e Sengupta (2019).

Os testes de tensão e de deformabilidade com o auxílio dos macacos planos, foram usados para determinar as características da estrutura do Salão Durbar. O teste com macaco simples determinou a tensão de compressão atuante na alvenaria de 0,25 MPa. Para o teste com macaco duplo foi determinado o módulo de elasticidade e a curva tensão-deformação resultante. O módulo de elasticidade do limite superior (inclinação da faixa de tensão de 5% a 33%) foi de 3600 MPa e para o limite inferior (inclinação da faixa de tensão de 5% a 100%) foi de 2400 MPa. Foi determinado as tensões nos locais dos ensaios, características da deformabilidade da alvenaria e o módulo de elasticidade.

A partir dos ensaios realizados, foi realizado uma modelagem em elementos finitos da estrutura (Figura 39), revelando que a abertura da escada no canto nordeste da edificação juntamente com a assimetria das paredes do Durbar são os responsáveis pelas fissuras.

Figura 39 - Modelagem em elementos finitos da estrutura.



Fonte: Aranha, Menon e Sengupta (2019).

Fanale, Galeota e Pietrucci (2019) fizeram um estudo de caso de uma ponte antiga (Figura 40) feita de alvenaria em arcos variáveis, com 6 arcos e um comprimento total de 33 m, sendo avaliado a sua capacidade de carga de transporte. A ponte fica perto da região de Campana, Itália, que sofreu um terremoto no ano de 2009. Esta ponte é um ponto estratégico da região, sendo rotineiro a passagem de vários caminhões pesados. Entretanto, esta ponte foi construída para transportar cargas mais leves, então foram feitos ensaios para determinar a capacidade de carga.

Figura 40 - Ponte histórica romana de Campana/Itália.



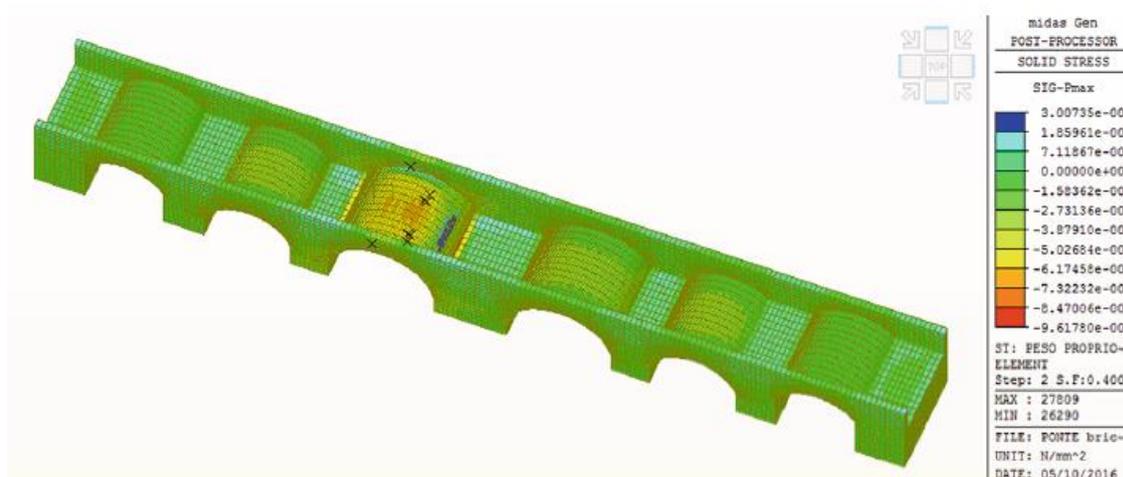
Fonte: Fanale, Galeota e Pietrucci (2019).

Foi realizado vários ensaios *in loco*, como inspeção visual, varreduras termográficas e ondas eletromagnéticas para a identificação dos materiais, estado de degradação e propriedades mecânicas. A composição da ponte foi de alvenaria de pedras calcárias irregulares, argamassa de cal com baixa qualidade e núcleo interno com materiais não definidos, caracterizado com alto índice de vazios.

O ensaio com macaco plano simples determinou uma tensão de compressão atuante no fundo da ponte de 0,35 MPa. O macaco plano duplo determinou a curva tensão-deformação da alvenaria estimando uma resistência à compressão de 1,65 MPa, e o módulo de elasticidade de 2838 MPa.

Com os resultados encontrados nos ensaios, foi desenvolvido um modelo em elementos finitos da ponte, para avaliar a ponte, baseando-se nas diretrizes do código técnico italiano DT 213/2015 (*Istruzioni per la Valutazione della Sicurezza Strutturale di Ponti Stradali in Muratura*). Analisando os resultados limites, foi possível determinar que há uma fragilidade no terceiro e quarto vão da ponte, que são os mais longos. A análise não linear foi feita com incrementos de cargas, e determinou-se que com 40% da carga total começa a aparecer trincas (Figura 41) e aos 50% os padrões de trincas estão avançados (Figura 42).

Figura 41 - Incremento de carga com 40%, surgimento das primeiras fissuras.



Fonte: Fanale, Galeota e Pietrucci (2019).

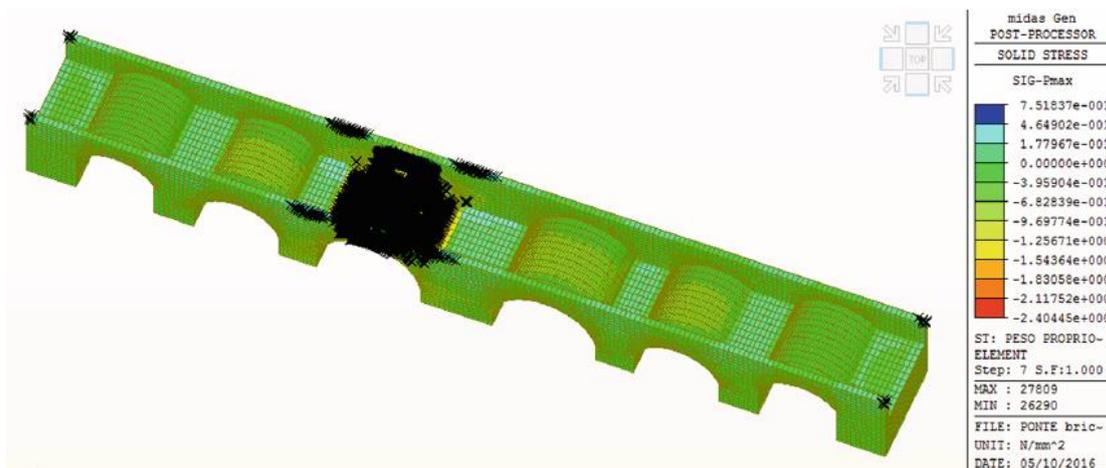
Figura 42 - Incremento de carga com 50%, padrão avançado de trincas.



Fonte: Fanale, Galeota e Pietrucci (2019).

Na última etapa da análise, com os incrementos da carga em 100% (Figura 43), a análise não linear mostra que a abóbada da ponte está totalmente quebrada, chegando a uma tensão máxima de compressão de 2,4 MPa e tensão máxima de compressão de 0,7 MPa.

Figura 43 - Incremento de carga com 100%, abóbada da ponte totalmente quebrada.



Fonte: Fanale, Galeota e Pietrucci (2019).

Fanale, Galeota e Pietrucci (2019) concluíram que o valor de adequação da ponte é de 40% da carga ativa necessária no código italiano CNR-DT 213/2015.

Olivito, Porzio e Tedesco (2019) fizeram uma avaliação na vulnerabilidade de um edifício histórico de alvenaria de um antigo Colégio Jesuíta do século XVII (Figura 44). A construção sofreu um terremoto, causando instabilidades estruturais em alguns pontos da estrutura. Foram avaliados a resistência mecânica da estrutura histórica através de três ensaios com macacos planos, determinando qual a força compressiva atuante em várias paredes de alvenaria. Foi encontrado um valor médio de resistência à compressão de 3,16 MPa. Estudos realizados em alvenaria com materiais semelhantes de calcarenito, encontraram valores de resistência à compressão de 1,4 a 2,4 MPa, mostrando que a alvenaria examinada atingiu uma maior resistência.

Figura 44 - Edifício histórico de um antigo Colégio Jesuíta localizado em Amantea, Itália.



Fonte: Olivito, Porzio e Tedesco (2019).

Chesi, Ingrassia e Sumini (2019) fizeram uma investigação de edifícios de alvenaria que sofreram abalos sísmicos na região de Nápoles, Itália, sendo que foram utilizados ensaios não destrutivos, como a técnica de macacos planos, análise termográfica e análise sônica. A análise sônica, juntamente com a técnica de macacos planos, determinou as características mecânicas das

paredes de alvenaria, obtendo-se o módulo de elasticidade e a força de compressão atuante na região.

A análise termográfica foi usada para determinar a localização dos elementos estruturais que não eram visíveis, pois foram incorporados com tijolos não estruturais. O teste com macaco plano determinou o módulo de elasticidade da parede de alvenaria, encontrando um valor de 1620 MPa, e juntamente com a análise sônica, determinou que as paredes de alvenaria do edifício histórico são de tufo, conjunto de rochas com baixa densidade e facilmente desagregáveis.

Motisi *et al.* (2019) fizeram uma investigação estrutural e um planejamento urbano, para uma futura restauração, de um patrimônio cultural presente no Patrimônio Mundial da UNESCO de 2012, o “*Bahrain Pearling Path*” (Figura 45), localizado em Barém, estando presente prédios residenciais e armazéns. Essa investigação tinha o propósito de definir as características das paredes de alvenaria de pedra e dos pisos de madeira.

Figura 45 - Patrimônio cultural “*Bahrain Pearling Path*” (Barém).

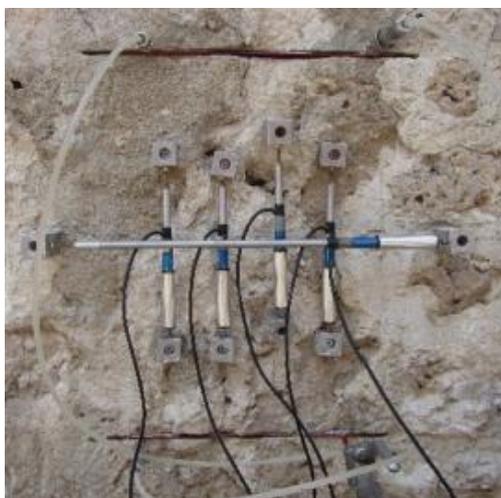


Fonte: Motisi *et al.* (2019).

Foram realizados vários ensaios com a técnica de macaco plano duplo (Figura 46) nos elementos de alvenaria determinando que o material original tem uma capacidade estrutural limitada e um comportamento inelástico, gerando uma resistência média igual a 0,60 MPa. Como mostra a Figura 47, foram feitos

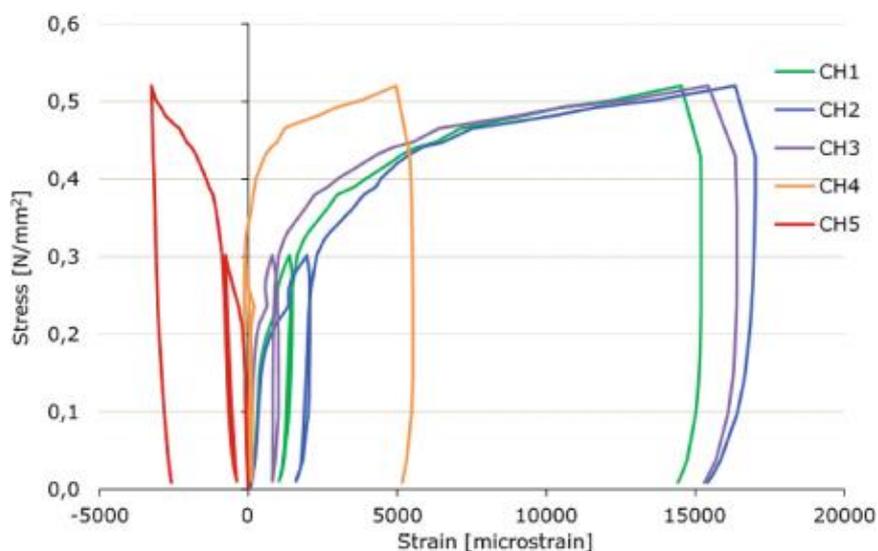
dois ciclos de carregamento nos ensaios, o primeiro ciclo chegou até uma tensão de 0,30 MPa e no segundo um pouco mais que 0,50 MPa, demonstrando uma deformação residual, quando retirado a carga dos equipamentos, comprovando assim o seu comportamento inelástico. Alguns ensaios foram afetados devido a rotações nos blocos de alvenaria, devido à presença de vazios na parede. Foi confirmado com inspeções visuais a presença relevante de vazios e cavidades. Os autores concluíram que deve ser realizadas intervenções de restauração dos elementos estruturais, como, por exemplo, a reconstrução parcial das paredes de alvenaria.

Figura 46 - Ensaio com macacos planos em alvenaria histórica (Barém).



Fonte: Motisi *et al.* (2019).

Figura 47 - Curva tensão-deformação obtida pelo ensaio com macacos planos.



Fonte: Motisi *et al.* (2019).

Parsekian *et al.* (2019) fizeram uma avaliação para determinar a capacidade de carga estrutural de uma estrutura histórica, localizada em Bananal/SP, Brasil, conhecida como Sobrado Vallim (Figura 48). O edifício está desocupado e com um sistema de escoramento que foi instalado para evitar possíveis colapsos estruturais. No primeiro andar, as paredes exteriores são feitas de terra batida, com espessura aproximada de 0,90 m, as internas transversais também são de terra batida, já as paredes longitudinais foram construídas com tijolos tipo adobe. Para o segundo andar, as paredes externas são de tijolos adobe e as internas são tanto de terra batida ou de tijolos adobe.

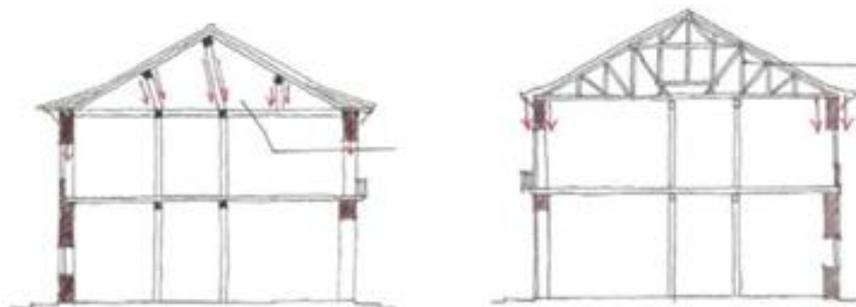
Figura 48 - Sobrado Vallim, Bananal/SP.



Fonte: Parsekian *et al.* (2019).

As deformações no edifício começaram a ser observadas em 1980, pois, de acordo com os autores, o sistema de madeiramento original do teto era apoiado pelas paredes externas e internas, porém, quando reformaram o local, transformando-o em uma escola, o sistema de teto foi substituído por nove treliças transversais, alterando os apoios originais e subsequentemente o caminho de cargas levou a uma maior concentração nas paredes externas, como mostrado na Figura 49, a seguir.

Figura 49 - Caminho das cargas original e caminho das cargas após a reforma.



Fonte: Parsekian *et al.* (2019).

Para a determinação de um reforço estrutural, foram usados macacos planos para determinar a tensão de compressão das paredes externas do primeiro andar de terra batida, e para as paredes do segundo andar, foram retirados corpos de provas para testes laboratoriais.

Segundo Parsekian *et al.* (2019), este ensaio talvez seja uma das primeiras aplicações, do teste com macacos planos, em elementos de terra batida. Duas fendas na parede de terra batida foram retiradas cuidadosamente, com aproximadamente 45 cm de comprimento e 12 cm de profundida. As ranhuras ficaram afastadas em uma distância de 50 cm, em relação a outra, como mostrado na Figura 50, a seguir.

Figura 50 - Ensaio com macaco plano duplo nas paredes externas de terra batida.



Fonte: Parsekian *et al.* (2018).

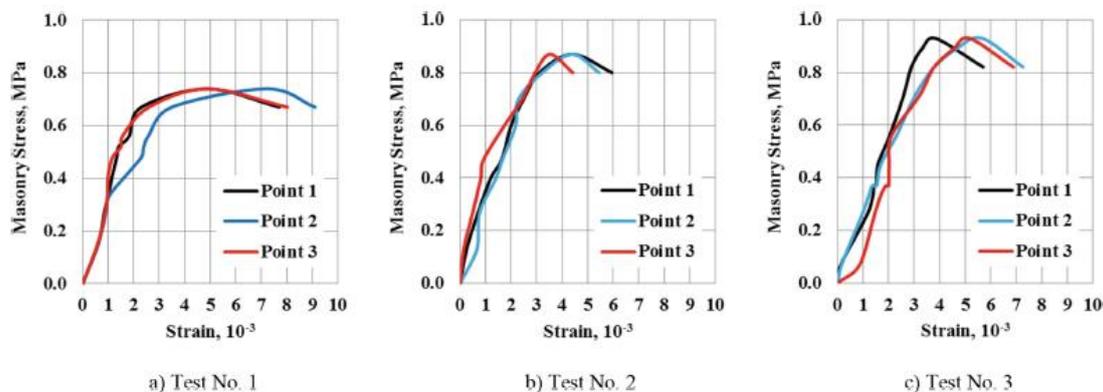
Para a realização do ensaio, a pressão foi aplicada a um incremento de 0,1 MPa, até uma pressão de 0,6 MPa, posteriormente foi aplicado incrementos de 0,05 MPa, até a interrupção devido a propagação de uma fissura horizontal (Figura 51). Os resultados da curva tensão-deformação dos três pontos são apresentados na Figura 52.

Figura 51 - Propagação de fissura horizontal no ensaio com macaco plano duplo.



Fonte: Parsekian *et al.* (2018).

Figura 52 - Resultados da tensão-deformação do ensaio com macaco plano duplo.



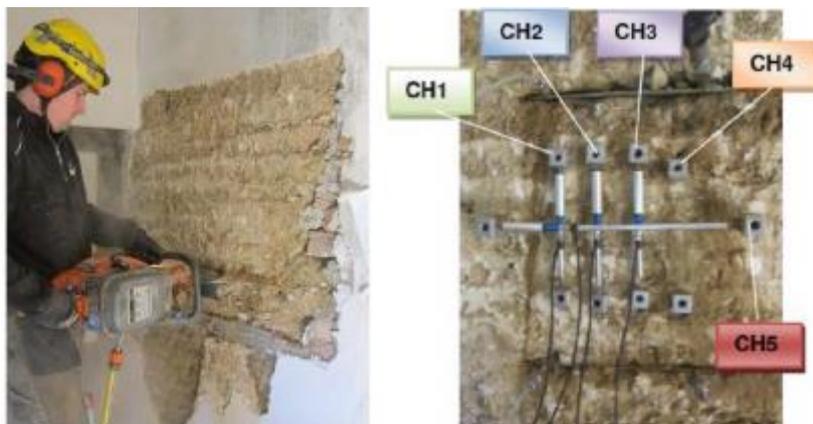
Fonte: Parsekian *et al.* (2018).

Analisando os resultados encontrados, foi determinado que a tensão de compressão média resistente das paredes é de 0,85 MPa, e o módulo de elasticidade foi definido, pelo procedimento descrito por Suprenant e Schuller (1994), que o módulo de elasticidade é a inclinação da reta que liga as tensões correspondentes a 5% e 50% da tensão de compressão encontrada, logo o módulo de elasticidade encontrado foi de 320 MPa. Para as amostras do segundo andar, foi realizado o teste de compressão de prisma, o resultado médio foi de 1,73 MPa, com variação de 17,5%.

Com os resultados dos testes, será realizado um projeto de reforço estrutural para o edifício Sobrado Vallim.

Manzoni *et al.* (2019) trabalharam em conjunto para uma abordagem de conservação de uma estrutura histórica da Idade Média, localizado em Siena, Itália. Foi utilizado a técnica de macacos planos em estrutura com elementos de adobe (Figura 53) e alvenaria de tijolo para estimar o módulo de elasticidade da parede.

Figura 53 - Ensaio com macacos planos em parede de adobe em Siena-Itália.



Fonte: Manzoni *et al.* (2019).

Foram realizados nove ensaios com macacos planos duplos, pelo menos um para cada fase histórica de construção, determinando o módulo de elasticidade e a tipologia da alvenaria, os resultados são mostrados na Tabela 7, a seguir.

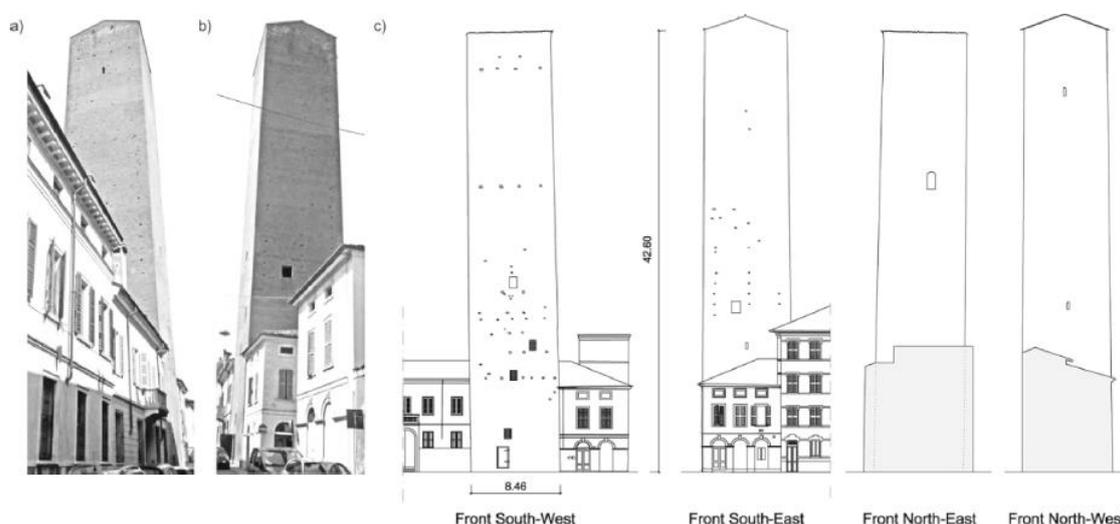
Tabela 7 - Comparação dos resultados dos ensaios com macaco plano.

Ensaio	Módulo de Elasticidade (MPa)	Tipologia da alvenaria
1	1245	Alvenaria de tijolo, argamassa de lama
2	X	Alvenaria de tijolo, argamassa de cal
3	3461	Alvenaria de tijolo, argamassa de lama
4	8268	Alvenaria de tijolo, argamassa de cal
5	1380	Alvenaria de tijolo, argamassa de lama
6a	X	Alvenaria de tijolo, argamassa de lama, parede interna de adobe
6b	4170	Alvenaria de tijolo, argamassa de lama e cal, parede interna de adobe
6c	306	Adobe
7a	7874	Alvenaria de tijolo, argamassa de lama
7b	4510	Alvenaria de tijolo, argamassa de lama

Fonte: Adaptado de Manzoni *et al.* (2019).

Saisi *et al.* (2019) fizeram um procedimento experimental para determinar a condição estrutural da Torre de Zuccaro (Figura 54), localizada em Mântua, Itália. A torre foi afetada por deterioração natural, envelhecimento do material, falta de manutenção e eventos excepcionais, como um terremoto em 2012.

Figura 54 - Vistas da Torre de Zuccaro.



Fonte: Saisi *et al.* (2019).

Foram registrados a presença de uma rachadura vertical internamente na área sudoeste (Figura 55), sérios danos no canto de dentro da área sudoeste (Figura 56) e descontinuidade da alvenaria na região nordeste da torre (Figura 57).

Figura 55 - Rachadura vertical na área sudoeste da Torre de Zuccaro.



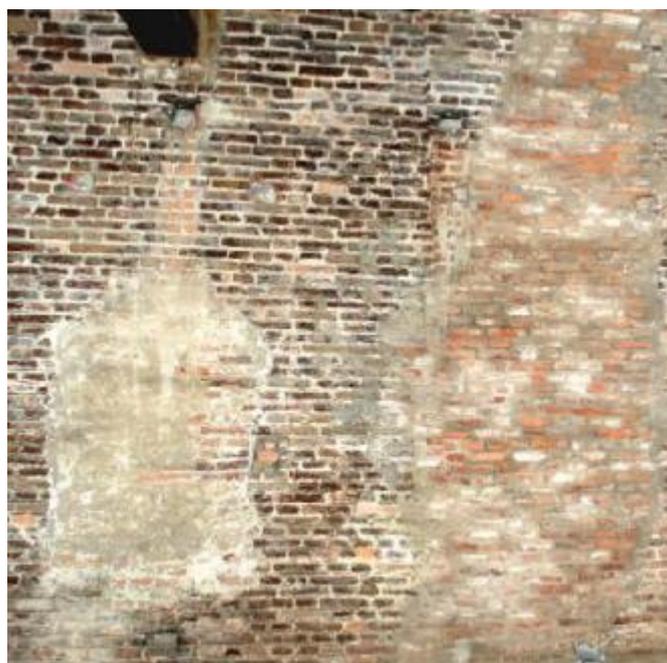
Fonte: Saisi *et al.* (2019).

Figura 56 - Danos no canto sudoeste da Torre de Zuccaro.



Fonte: Saisi *et al.* (2019).

Figura 57 - Descontinuidade da alvenaria na área nordeste da Torre de Zuccaro.



Fonte: Saisi *et al.* (2019).

Foram realizados 14 ensaios com macaco plano simples, determinando a força de compressão, atuante nos elementos da parede de alvenaria de tijolos. Os resultados são mostrados na Tabela 8, a seguir.

Tabela 8 - Detalhes e resultados do teste com macaco plano simples

Ensaio	Localização	Lado	Comprimento (m)	Tensão (MPa)
1	Nordeste	Interno	1,20	0,17
2	Nordeste	Interno	1,20	1,25
3	Sudoeste	Interno	1,20	1,83
4	Noroeste	Interno	1,35	0,70
5	Sudeste	Interno	1,50	2,00
6	Noroeste	Interno	1,80	0,98
7	Sudoeste	Externo	2,20	0,78
8	Sudoeste	Interno	2,40	0,74
9	Noroeste	Interno	16,60	0,44
10	Nordeste	Interno	16,70	0,49
11	Sudeste	Externo	17,20	0,74
12	Nordeste	Externo	17,10	0,70
13	Noroeste	Externo	17,10	0,75
14	Sudoeste	Externo	17,40	0,53

Fonte: Saisi *et al.* (2019).

É possível analisar na Tabela 8, que a distribuição de tensão não é regular, com valores de pico no canto leste, sendo relatado pelos autores que há uma descontinuidade da alvenaria nessa região. Os resultados foram satisfatórios, demonstrando que as metodologias utilizadas foram aplicadas por vários autores em diferentes estudos de caso, indicando confiabilidade nos dados obtidos, concluindo que há a necessidade de ações de preservação e monitoramento contínuo.

Os métodos que utilizam os macacos planos tradicionais têm uma aplicação para avaliar construções históricas de alvenarias com uma resistência de 2,1 a 6,9 MPa, porém, algumas estruturas têm uma tensão de compressão maior que 6,9 MPa. Sendo assim, Ogden, Schuller e Woodham (2020) desenvolveram um novo macaco plano para alvenarias de pedra com alta resistência.

Para o desenvolvimento do novo macaco plano, foi realizado uma pesquisa complementar realizado ao macaco plano desenvolvido em Soriani (2016) na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), utilizando-se de chapas finas de metal com uma barra de aço reforçando ao redor de toda a borda do macaco plano, diminuindo assim qualquer falha referente as soldas. O protótipo realizado é mostrado na Figura 58.

Figura 58 - Macaco plano desenvolvido para alvenaria de pedra com alta resistência à compressão.



Fonte: Ogden, Schuller e Woodham (2020).

Durante os ensaios de calibração, o novo macaco plano foi capaz de suportar 31 MPa de pressão interna antes de sua ruptura. Os macacos planos de alta pressão foram utilizados em campo, com bons resultados em alvenarias com resistência superior a 6,9 MPa, até 15,2 MPa.

### **3. PROGRAMA EXPERIMENTAL**

A seguir, será apresentado os materiais e métodos para esta pesquisa, as hipóteses definidas, classificação do tipo de pesquisa, juntamente com o desenvolvimento das etapas para a realização desta dissertação.

#### **3.1 TEMA DA PESQUISA**

Validação da técnica de macacos planos em estruturas de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto, estimando o módulo de elasticidade da alvenaria através de curva deformação vs deformação, e confirmando se a resistência mínima característica à compressão do bloco ( $f_{bk}$ ), indicada em projeto, está em de acordo com os materiais empregados na obra.

#### **3.2 HIPÓTESE**

A técnica de macacos planos, com o novo macaco plano de duas abas desenvolvido, tem uma facilidade de execução, comparado aos ensaios destrutivos, permitindo uma economia de dinheiro e tempo. É possível determinar, *in loco*, a curva tensão-deformação da alvenaria e o módulo de elasticidade dos blocos. Através do módulo de elasticidade, é estimado a resistência à compressão da parede ensaiada.

#### **3.3 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA**

Este trabalho se classifica como uma pesquisa aplicada, pois tem como objetivo a validação da técnica dos macacos planos, gerando uma aplicação prática deste ensaio em uma obra de alvenaria com blocos de concreto vazados.

#### **3.4 FONTES DE INFORMAÇÃO**

Para a realização deste trabalho houve uma revisão bibliográfica e uma pesquisa em campo sobre os macacos planos e sua aplicação em blocos de concreto vazados. Primeiramente, foi projetado um novo macaco plano e levado

para uma obra, testando-os na mesma. Para a execução do ensaio, foi seguido os procedimentos descritos em Soriani (2016), RILEM MDT.D.5:04 e ASTM C1197:14.

### **3.5 MÉTODO DE PESQUISA**

O método de pesquisa deste projeto é de pesquisa experimental, sendo realizada uma pesquisa qualitativa sobre o ensaio, analisando um grupo de ensaios em obra, avaliando-se detalhadamente seu funcionamento, desde a aplicação do macaco plano, obtenção das medidas experimentais de tensão-deformação e avaliação dos resultados.

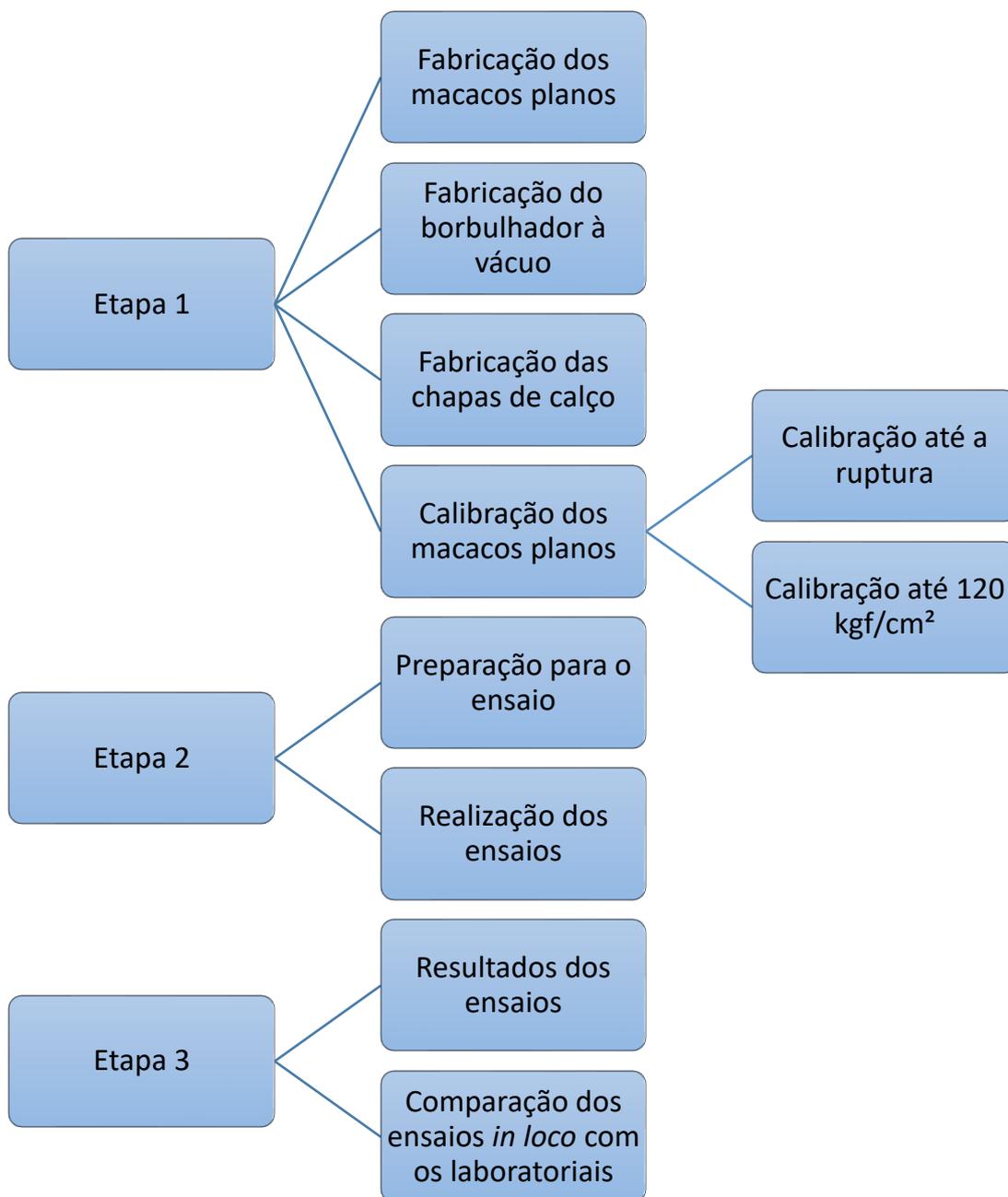
### **3.6 FASES DO PROGRAMA EXPERIMENTAL**

Este trabalho foi dividido em três principais etapas, sendo que a primeira etapa contempla a preparação para os ensaios (montagem da parede para teste e compra de materiais), a fabricação dos macacos planos, chapas com alças e do borbulhador para desinflar os macacos, e os ensaios laboratoriais, como a calibração e o ensaio livre com o borbulhador à vácuo. A segunda etapa foi a realização dos ensaios *in loco*, onde os macacos planos e o borbulhador foram testados, em um edifício executado de alvenaria estrutural, na cidade de Vinhedo/SP. Foram definidos detalhes, como a preparação pré, durante e pós ensaio no local, incluindo critérios de paradas estipuladas para cada ensaio. A terceira etapa do programa experimental foi a análise, tratamento estatístico dos resultados e discussão da viabilidade do método, no qual foram comparados os resultados dos novos macacos com ensaios laboratoriais.

### **3.7 FLUXOGRAMA**

A Figura 59 apresenta o fluxograma para a realização das etapas para a execução deste trabalho de dissertação.

Figura 59 - Fluxograma do programa experimental.



Fonte: Próprio autor.

### 3.8 ETAPA 1

A primeira etapa contempla a preparação para os ensaios, construção das paredes para teste, fabricação dos macacos planos, das chapas para encunhamento e do borbulhador e a calibração final.

### 3.8.1 Amostra de alvenaria para teste com macacos

Primeiramente, foi construído duas paredes com blocos vazados de concreto, com dimensões de 1,80 m de altura e 1,60 m de largura, para serem testadas com a técnica de macacos planos. Esta parede teve o propósito apenas para treinar o manuseio dos equipamentos, não sendo considerado os resultados encontrados no ensaio. Para os resultados do ensaio serem semelhantes com a realidade, a parede ensaiada apresenta um sistema de reação vertical, ou seja, foi confinada. Para isso, foi montado um pórtico metálico (Figura 60), que funciona como sistema de travamento da parede, confinando-a verticalmente para haver reação vertical com a aplicação do macaco plano.

Figura 60 - Pórtico metálico.



Fonte – Próprio autor.

Após a montagem do pórtico, foi levantado as duas paredes de alvenaria com blocos vazados de concreto (Figura 61), sendo construídas para testar a técnica com macaco planos, verificando como utilizar os equipamentos e eventuais dificuldades durante o processo. Para isto, foram utilizados blocos de concreto com dimensões de 19 x 14 x 39 cm (h x l x c), com resistência característica de 6,20 MPa, sendo blocos de classe B, da família 15 x 40 e argamassa industrializada com resistência de 4 MPa, da marca Votomassa.

Figura 61 - Pórtico metálico e amostra de alvenaria construída.



Fonte: Próprio autor.

### 3.8.2 *Fabricação dos macacos planos*

Como este estudo com macacos planos em alvenaria estrutural executada com blocos vazados de concreto é um estudo inédito, houve a demanda de se desenvolver um novo protótipo. Para a confecção dos novos macacos planos foi adaptado os macacos planos utilizados em Soriani (2016),

sendo utilizado os materiais requisitados pela ASTM C1197-14. A norma recomenda que o macaco plano seja compatível com a alvenaria em estudo: o seu comprimento deve ser maior ou igual ao comprimento de um bloco, ou seja, maior ou igual à 39 cm; as chapas utilizadas são de INOX S 304, com espessura média de 0,9 mm e variação de 0,3 mm. Foi adotado a chapa com menor espessura recomendada pela norma, de 0,6 mm, pois quanto menor a rigidez do macaco, menor a tensão necessária para a deformação da chapa, sendo assim, uma chapa mais fina tem uma eficiência maior ao sistema.

O protótipo final do macaco plano desenvolvido em Soriani (2016), tem as dimensões de 40,0 x 3,3 x 0,4 cm (Figura 8), enquanto que os macacos planos fabricados e sugeridos em normas, como na ASTM C1197-14, são, em modo geral, mais retangulares. Uma empresa de grande renome mundial na fabricação de macacos planos é a Atkinson-Noland & Associates, Inc., no qual, as dimensões do seu macaco plano são de 40,6 x 10,2 x 0,38 cm (Figura 1).

Enquanto a capacidade de aplicação de pressão dos macacos usuais, como o importado mostrado na Figura 1, chega no máximo a 7 MPa, o novo macaco desenvolvido nas pesquisas em Soriani (2016), mostrado na Figura 8, chegou a uma resistência de 33 MPa, resultando em um equipamento com aplicação em estruturas de alvenaria com maior solicitação.

Os macacos planos desenvolvidos neste trabalho foram fabricados com duas abas, no qual havia uma conexão através de tubos de inox entre as abas, facilitando e otimizando a execução, pois há uma diminuição na quantidade de mangueiras e uma redução no risco de vazamento. Nos ensaios apresentados em Soriani (2016), os macacos eram conectados por mangueiras que passavam por fora da parede, sendo que este tipo de conexão necessita de acesso aos dois lados da parede. Já com o novo macaco, o acesso se limita a apenas um lado.

Para a concretização desta pesquisa, foi realizado uma pareceria com duas empresas, a F.A. Oliva e a Plano&Plano, que gentilmente patrocinaram os custos do mestrado, como as viagens, custo dos materiais, mão de obra e ofereceram uma edificação em alvenaria estrutural, executada com blocos

vazados de concreto, localizada na cidade de Vinhedo/SP, para a realização dos ensaios.

Para a fabricação dos novos macacos planos, houve a implicação em procurar um novo fabricante. A Agência de Inovação da UFSCar indicou a PEPTHUS Usinagem, que foi uma empresa que ajudou na confecção dos novos macacos planos, fazendo toda a parte de usinagem, desde os cortes da peça, dobras, solda ponto e até a procura dos materiais. Em relação a solda TIG, foi feito uma parceria com a escola SENAI de São Carlos para a realização desta parte da fabricação.

O novo macaco plano foi idealizado para que reagisse apenas na parte maciça dos blocos, sendo composto por duas abas, conectadas por tubos, como mostrado na Figura 62.

Figura 62 - Macaco plano de duas abas.



Fonte: Próprio autor.

Para a fabricação do protótipo, foi usado chapa de INOX S304, com espessura de 0,6 mm, sendo realizado cortes em retângulos, com dimensões de 330 x 400 mm, mostrado na Figura 63, a seguir.

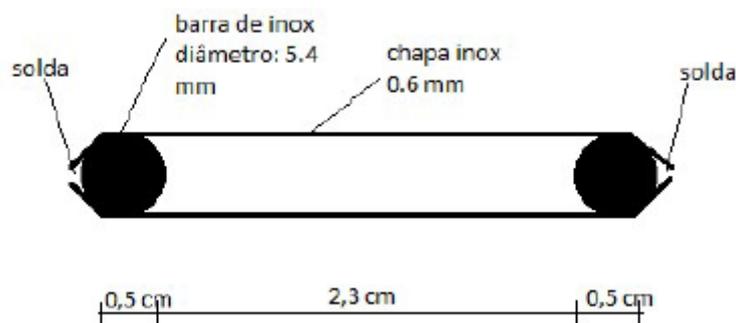
Figura 63 - Chapa INOX S304 cortada.



Fonte – Próprio autor.

Para ter um reforço entre as chapas, foi adicionado entre elas uma barra de aço INOX com diâmetro de 5,4 mm, como mostrado no corte da Figura 64, a seguir.

Figura 64 - Corte do macaco plano.



Fonte: Soriani (2016).

A barra de aço INOX, com diâmetro de 5,4 mm, foi utilizada como reforço, onde as chapas INOX são soldadas. Esta barra foi cortada e dobrada, resultando em um aro retangular, com os cantos arredondados, como mostrado na Figura 65. Cantos arredondados são para evitar a concentração de tensões, pois em casos retangulares, há um acúmulo de tensões nos cantos.

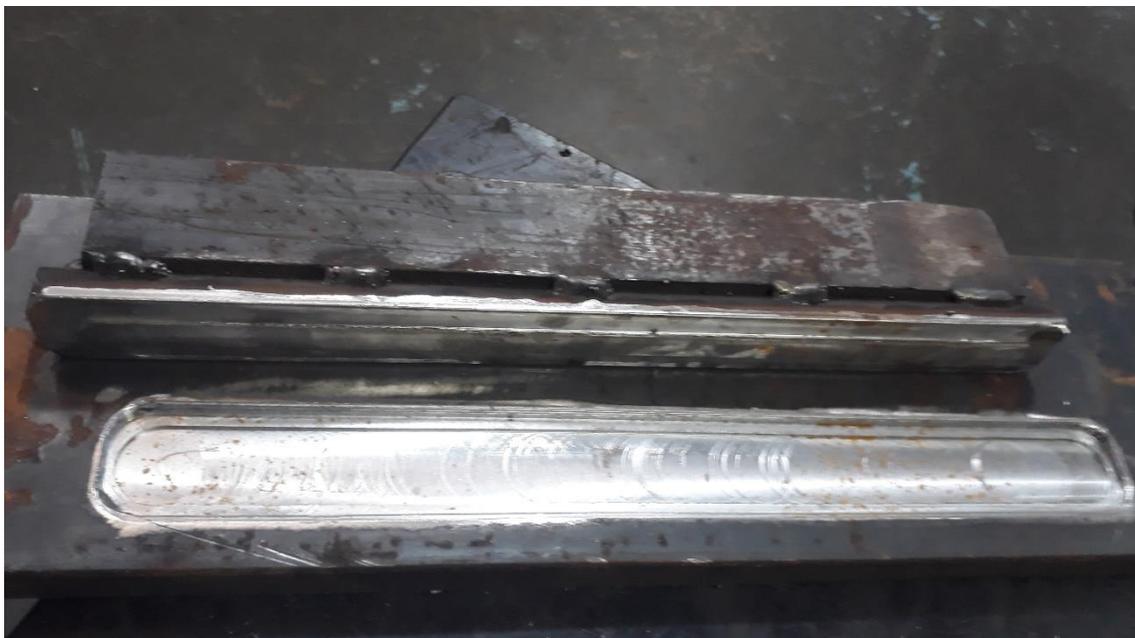
Figura 65 - Aro de barra de aço INOX cortada, dobrada e soldada.



Fonte: Próprio autor.

É desejado que as chapas estejam com dimensões maiores que ao aro retangular, para isso, foi fabricado uma matriz para a dobra das chapas (Figura 66) e foi utilizado para tal serviço uma prensa (Figura 67), com força de 15 tf, gerando cortes padronizados e com uma pequena curvatura (Figura 68), para o armazenamento dos óleos e para auxiliar o borbulhador à vácuo para desinflar o sistema.

Figura 66 - Matriz desenvolvida para dobra da chapa.



Fonte: Próprio autor.

Figura 67 - Matriz prensando a chapa.



Fonte: Próprio autor.

Figura 68 - Resultado final da chapa INOX.



Fonte: Próprio autor.

Para a fixação da barra de aço INOX entre as chapas, foi utilizado solda Ponta e, posteriormente, foi realizado a solda TIG. A solda Ponta aumentou a vedação do sistema e a resistência à pressão interna no macaco plano, gerando

uma solicitação reduzida da solda TIG. A confecção e resultado final da solda Ponto é mostrado, respectivamente, nas Figura 69 e Figura 70, a seguir.

Figura 69 - Confecção da solda Ponto.



Fonte: Próprio autor.

Figura 70 - Solda Ponto finalizada.



Fonte: Próprio autor.

A solda Ponto foi de extrema importância, pois utilizando apenas a solda TIG, houve uma deformação excessiva na chapa, levando a imperfeição do macaco plano, como mostrado na Figura 71, a seguir.

Figura 71 - Chapa deformada, sem a utilização da solda Ponto.



Fonte: Próprio autor.

Após a confecção do conjunto chapa, barra e solda Ponta, os materiais foram levados para a Escola SENAI de São Carlos, sendo realizado a confecção da solda TIG (Figura 72). Devido a espessura da chapa INOX, a amperagem da solda tem que ser baixa, em torno de 30 Amperes, para evitar deformações excessivas nas chapas. A Solda TIG tem como objetivo a união dos elementos chapa e barra, vedando o sistema final. O resultado final da Solda TIG é mostrado na Figura 73, a seguir.

Figura 72 - Confecção da solda TIG.



Fonte: Próprio autor.

Figura 73 - Solda TIG finalizada.



Fonte: Próprio autor.

Com as abas do macaco plano finalizado, a empresa PHEPTUS Usinagem realizou a furação para uma posterior soldagem dos tubos capilares que interligavam as duas abas.

As ligações das abas com os tubos são pontos críticos. Como não se deseja restos de materiais que poderiam contaminar a solda, não foi utilizado nenhum líquido ou óleo para facilitar o processo de furação. Assim, foi adotado um procedimento com 3 etapas, sendo cada etapa utilizado uma broca diferente para perfurar as abas.

Primeiramente, foi realizado um furo de centro, com broca de centro de diâmetro de 2,5 mm (Figura 74), servindo como um guia para os próximos furos. Posteriormente, foi utilizado uma broca com diâmetro de 2,8 mm, finalizando o furo (Figura 75). Com a finalização deste furo, foi utilizado uma terceira broca, com diâmetro de 3,2 mm (Figura 76), resultando em orifícios com exatamente o mesmo diâmetro do tubo capilar, fazendo com que a inserção ficasse justa, evitando assim futuros vazamentos.

Figura 74 - Broca de centro com 2,5 mm de diâmetro.



Fonte: Próprio autor.

Figura 75 - Broca de 2,8 mm de diâmetro.



Fonte: Próprio autor.

Figura 76 - Broca de 3,2 mm de diâmetro.



Fonte: Próprio autor.

Com os orifícios finalizados, os macacos foram retornados para a Escola SENAI de São Carlos para a soldagem das abas e dos tubos capilares. Os tubos capilares são de diâmetro de 3,2 mm, com parede grossa de espessura de 0,8 mm. Os tubos capilares foram cortados com comprimento de aproximadamente 110 mm (Figura 77), pois na soldagem destes tubos, os centros das duas abas deveriam ficar em uma distância de 115 mm para o centro das abas do macaco plano coincidir com o centro das áreas de contato dos blocos.

Figura 77 - Tubos capilares e abas.



Fonte: Próprio autor.

As Figura 78 e Figura 79 apresentam os protótipos finalizados. Ao todo, foram fabricados 8 macacos planos, ou seja, 4 pares completos, com dimensões, em cada aba, de 40,0 x 3,3 x 0,4 cm, com distância, de centro a centro, entre abas de 115 mm.

Figura 78 - Protótipo finalizado.



Fonte: Próprio autor.

Figura 79 - Conjunto de macacos planos.



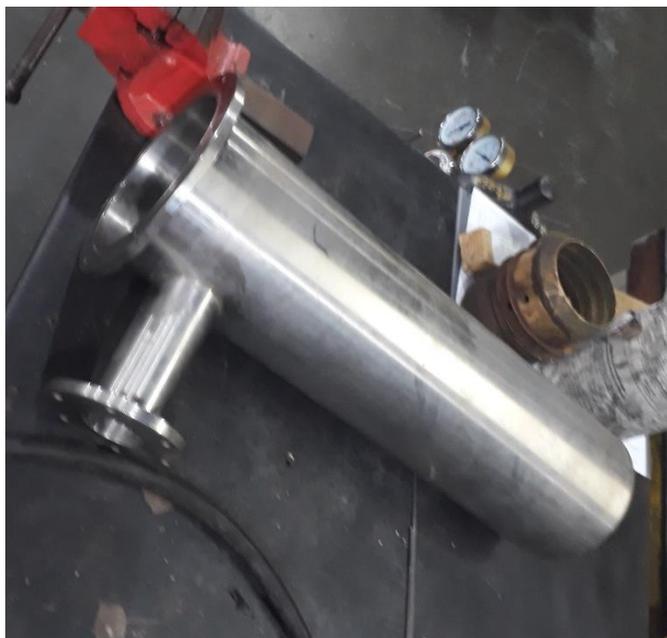
Fonte: Próprio autor.

### 3.8.3 Borbulhador à vácuo

Foi desenvolvido um sistema para desinflar o macaco plano, com a intenção de auxiliar sua retirada da junta após a finalização do teste. Estudos anteriores demonstram a dificuldade de retirada do macaco plano na finalização do ensaio, ocasionada pela expansão que o mesmo sofreu entre as juntas. Pensando nisso, foi fabricado um borbulhador à vácuo com a finalidade de desinflar o macaco, facilitando a sua retirada. Não foi encontrado em nenhuma literatura um equipamento como este, sendo um estudo inédito para auxiliar a execução dos ensaios com macacos planos.

O borbulhador desenvolvido foi composto por um vaso (Figura 80), com diâmetro de 150 mm e altura de 800 mm. No fundo do vaso há uma abertura para retirar o óleo acumulado durante o ensaio (Figura 81). Na lateral do vaso tem uma saída (Figura 82) e uma tampa feita com um tubo para auxiliar o caminho do óleo (Figura 83). A tampa lateral é conectada a uma mangueira de borracha trançada para alta pressão que está conectada ao macaco plano, e na parte superior, é conectado à bomba de vácuo. O sistema completo do borbulhador à vácuo é mostrado na Figura 84.

Figura 80 - Vaso do borbulhador.



Fonte: Próprio autor.

Figura 81 - Saída no fundo para escoar o óleo acumulado.



Fonte: Próprio autor.

Figura 82 - Saída lateral do vaso do borbulhador.



Fonte: Próprio autor.

Figura 83 - Tampa lateral.



Fonte: Próprio autor.

Figura 84 - Esquema do borbulhador à vácuo.



Fonte: Próprio autor.

Para o funcionamento do borbulhador a bomba à vácuo é ligada, gerando uma pressão negativa dentro do recipiente. Devido a pressão negativa causada pela bomba à vácuo, o óleo presente dentro do macaco é puxado para dentro do borbulhador, e, conseqüentemente, o macaco é desinflado, facilitando a sua retirada ao final do ensaio.

#### 3.8.4 Chapas para auxiliar a retirada do macaco

Para a realização do ensaio, o macaco plano é inserido entre chapas, com a função de trabalhar como cunhas e distribuir a tensão de forma mais homogênea para a alvenaria, evitando a transmissão de forças em pequenas aberturas da alvenaria. Foram fabricados chapas de inox de 0,5 mm, com largura igual ao do macaco plano, de 40 cm. Foram realizados dois oblongos (Figura 85) nas chapas, no qual funcionam como duas alças, facilitando a retirada das chapas, e por conseqüência, a retirada dos macacos devido ao espaço gerado.

Figura 85 - Chapas inox com dois oblongos.



Fonte: Próprio autor

### 3.8.5 Calibração dos macacos

Os testes de calibração dos macacos planos foram realizados no Laboratório de Sistema Estruturais da Engenharia Civil da UFSCar. Esses testes tem o principal objetivo de relacionar o valor da pressão interna com a força externa do macaco plano e conhecer a capacidade máxima de pressão do macaco desenvolvido. A pressão interna do macaco é a que a bomba transmite para ele, ou seja, a leitura do manômetro na saída da bomba. A força externa é a força que o macaco aplica através da sua face, sendo a leitura mostrada na prensa hidráulica. Este procedimento de calibração para os macacos planos é exposto na ASTM C 1197 (2014).

Para a realização da calibração, o macaco plano é posicionado na prensa hidráulica entre dois pratos de metal da prensa. Para evitar cargas com excentricidade, o macaco plano deve ser posicionado centralizado nos pratos de metal (Figura 86). O macaco é confinado entre cunhas metálicas na prensa, gerando uma distribuição mais homogênea da tensão, conectado à bomba e pressurizado posteriormente. Como o macaco está confinado entre os pratos de metal, ele aplica uma força externa que é transmitida para a prensa, que foi programada para reagir a carga aplicada, gerando uma força equivalente. Sendo assim, é possível encontrar a relação entre a força externa aplicada (leitura da prensa hidráulica) e a pressão interna (leitura do manômetro acoplado à bomba) e. O sistema completo da calibração é mostrado na Figura 87.

Figura 86 - Teste de calibração do macaco plano na prensa hidráulica.



Fonte: Próprio autor.

Figura 87 - Macaco conectado com à bomba.



Fonte: Próprio autor.

Com o conhecimento da relação força externa vs pressão interna, é possível correlacioná-las através de um coeficiente de correlação ( $K$ ), sendo este um dado muito importante, pois na obra só será possível determinar a pressão interna, porém é necessário saber a força externa de aplicação. Este trabalho relacionou a força resultante na máquina com a pressão do manômetro, e os cálculos de tensão foram calculados na área bruta do bloco. Portanto, o coeficiente  $K$  já é o coeficiente total, no qual é o produto entre o coeficiente da razão entre a área do macaco plano e a área do corte ( $K_a$ ) e o coeficiente de rigidez interno ( $K_m$ ).

O ensaio foi realizado com todos os macacos fabricados, sendo determinado como coeficiente de rigidez a média entre os dois macacos utilizados em cada ensaio. O primeiro protótipo foi levado até a ruptura,

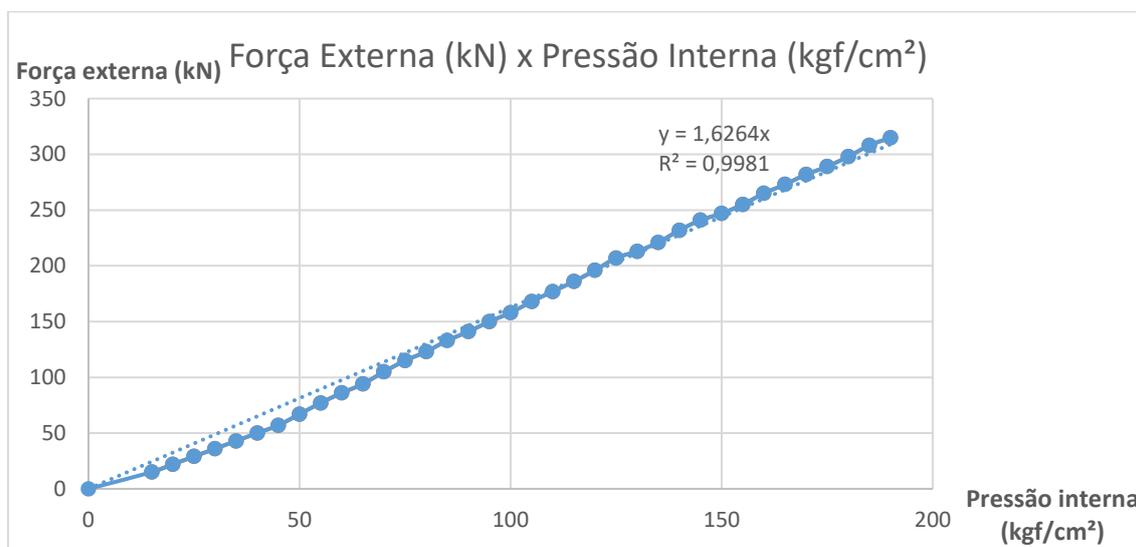
verificando qual a pressão máxima que o macaco plano suporta. Já os demais ensaios foram limitados a uma pressão interna de 120 kgf/cm<sup>2</sup> (12 MPa). Nos ensaios foi padronizado um incremento de pressão de 5 kgf/cm<sup>2</sup> (0,5 MPa), iniciando a primeira leitura a 20 kgf/cm<sup>2</sup> (2 MPa), sendo este valor a primeira leitura do manômetro utilizado.

### 3.8.5.1 Resultados do teste de calibração até a ruptura

O Macaco Plano Protótipo 1 foi ensaiado até a sua ruptura. Houve vazamento de óleo na região da solda. A pressão interna máxima foi de 190 kgf/cm<sup>2</sup> (19 MPa) e força de externa de 315 kN.

A Figura 88 apresenta a curva com os pontos de leitura do ensaio, relacionando a força externa pela pressão interna.

Figura 88 - Curva que relaciona a força externa pela pressão interna do Macaco Plano Protótipo 1.



Fonte: Próprio autor.

Para uma melhor análise, foi adicionado uma linha de tendência, que relaciona a curva como um todo, para a obtenção do coeficiente de correlação da força externa vs pressão interna.

Como é possível ver no gráfico da Figura 88, houve um comportamento linear do material até a sua ruptura. Através da linha de regressão ajustada (linha tracejada) foi determinado o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,9927. Este

valor indica uma boa correlação da curva com a reta aproximada, afirmando o comportamento linear do material.

Através da inclinação da reta, pode-se determinar o coeficiente angular, este coeficiente correlaciona o valor da força externa do macaco plano com a pressão interna. O valor de correlação encontrado de 1,63 para o Macaco Plano Protótipo 1.

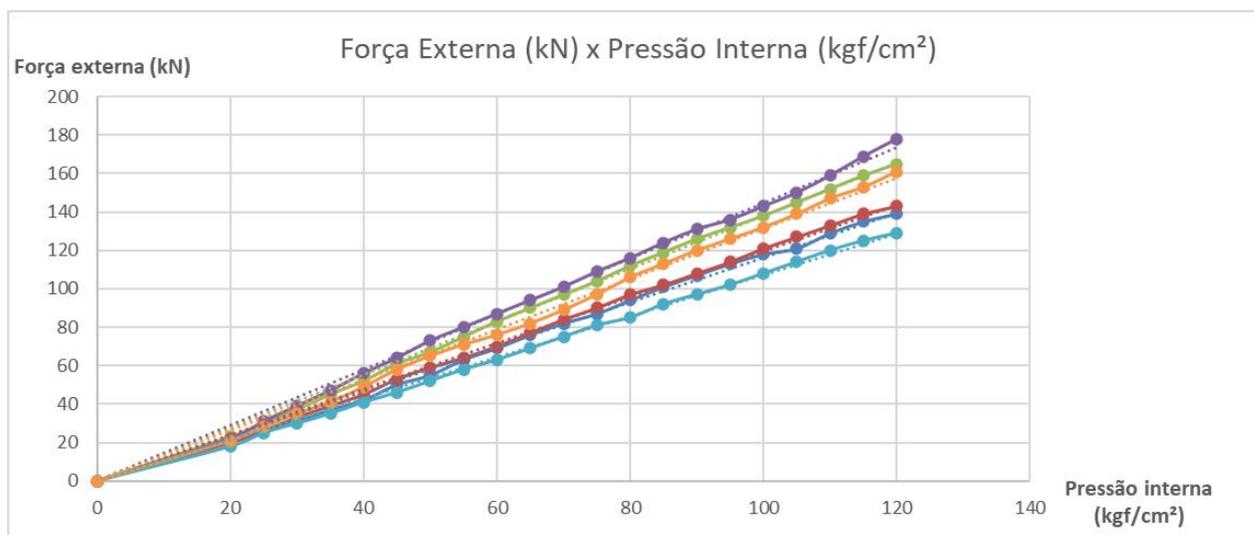
Os valores obtidos neste primeiro ensaio foram satisfatórios, possibilitando a aplicação deste ensaio em alvenaria estrutural com blocos de concreto vazados.

#### 3.8.5.2 Resultados do teste de calibração até 120 kgf/cm<sup>2</sup> (12 MPa)

Todos os macacos planos que foram para obra foram calibrados até a pressão interna de 120 kgf/cm<sup>2</sup> (12 MPa). Alguns macacos não chegaram até a pressão interna desejada, vazando na região da solda TIG, sendo assim, foram levados novamente ao SENAI para um reforço na região vazada. Após isso, foram calibrados novamente.

Os resultados da calibração dos Macacos Planos 1, 2, 3, 4, 5 e 6 são mostrados na Figura 89, apresentando a curva Força Externa (kN) vs Pressão Interna (kgf/cm<sup>2</sup>), sendo que a linha azul escuro representa o teste 1, a linha vermelha o teste 2, a linha verde o teste 3, a linha roxa o teste 4, a linha azul clara o teste 5 e a linha laranja o teste 6.

Figura 89 - Curva que relaciona a pressão interna com a força aplicada do Macaco Plano 1 (azul escuro), 2 (vermelha), 3 (verde), 4 (roxa), 5 (azul clara) e 6 (laranja).



Fonte: Próprio autor.

A Tabela 9 exibe os resultados dos ensaios de calibração, apresentando o coeficiente de determinação  $R^2$  e o coeficiente de correlação entre a força externa vs pressão interna dos macacos planos.

Tabela 9 - Valores do coeficiente de determinação  $R^2$  e do coeficiente de correlação (K) dos macacos planos.

Macaco Plano	$R^2$	Coeficiente de correlação Força Externa vs Pressão Externa (K)
1	0,9968	1,16
2	0,9980	1,20
3	0,9980	1,38
4	0,9972	1,45
5	0,9982	1,07
6	0,9962	1,31

Fonte: Próprio autor.

Analisando a Figura 89 e a Tabela 9, todos os macacos planos apresentaram comportamento linear.

Observando os valores encontrados na Tabela 9, foram adotados 3 grupos de macacos, Macacos 1 e 2, 3 e 4, e 5 e 6, pois, *in loco*, iriam trabalhar juntos. Assim, foi realizado a média dos coeficientes correlação de força externa

vs pressão interna, adotando como coeficiente de correlação (K) os valores apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Coeficiente de rigidez interno (K) dos Grupos de Macacos Planos.

Grupo	Macaco Plano	Coeficiente de correlação (K)
1	1 e 2	1,18
2	3 e 4	1,42
3	5 e 6	1,19

Fonte: Próprio autor.

### 3.8.6 Ensaio livre com o borbulhador à vácuo

Para testar o borbulhador realizou-se um ensaio livre, verificando qual a eficiência do equipamento. Para isso, primeiramente, foi medido a largura inicial, no centro, de um macaco plano. Posteriormente, foi aplicado uma tensão no macaco, inflando-o, e medido a largura resultante. Soltou-se a pressão da bomba do macaco e marcou-se 5 minutos, esperando uma retração inicial. Após este período, o macaco não estava mais retraindo, o borbulhador à vácuo foi conectado no macaco plano, como mostra a Figura 90, por um período de 5 minutos e anotado a largura final do macaco plano. Os resultados podem ser analisados na Tabela 11, a seguir.

Figura 90 - Ensaio livre com o borbulhador à vácuo.



Fonte: Próprio autor.

Tabela 11 - Largura inicial, largura após a aplicação da tensão, largura após 5 minutos ao ar livre e largura final após o uso dos macacos planos.

<b>Macaco plano</b>	<b>1 (mm)</b>	<b>2 (mm)</b>
<b>Largura inicial</b>	12,4	14,51
<b>Largura após a aplicar a tensão</b>	18,58	18,71
<b>Largura após 5 minutos</b>	17,39	17,64
<b>Largura final após o uso da bomba à vácuo</b>	16,66	16,81
<b>Eficiência</b>	4%	5%

Fonte: Próprio autor.

Pode-se notar que o borbulhador à vácuo teve uma eficiência em torno de 5%, sendo que no primeiro e segundo ensaios houve uma retração, respectivamente, de 0,73 mm e 0,83 mm. O borbulhador retirou muito óleo de dentro do macaco.

### **3.9 ETAPA 2 (TESTE COM MACACOS PLANOS)**

A segunda etapa se consiste na realização dos ensaios *in loco* utilizando a técnica de macaco plano duplo. Para a avaliação do método de ensaio com macacos planos, os mesmos foram ensaiados em uma obra real de alvenaria estrutural com blocos vazados de concreto, de 4 andares (térreo mais três pavimentos), localizada na cidade de Vinhedo/SP, concedida, gentilmente, pelas empresas F.A. Oliva e Plano&Plano.

Foram realizadas 7 leituras, em diferentes pontos da edificação, visando a obtenção do módulo de elasticidade, estimativa da resistência da parede e se a resistência atuante está dentro do limite mínimo de resistência exigida em projeto. Foi verificado se o borbulhador à vácuo e as chapas de calço obtiveram êxito em facilitar a retirada dos macacos ao final dos ensaios. Os engenheiros responsáveis pela obra disponibilizaram os resultados dos ensaios laboratoriais para serem comparados com os resultados *in loco*.

### 3.9.1 *Aplicação de carga*

Com o auxílio de dois macacos planos inéditos desenvolvidos, este trabalho adaptou o teste de deformabilidade. O macaco inferior é conectado à bomba externa pressurizando todo o sistema através da inserção de óleo. Com a inserção do óleo no interior dos macacos, os mesmos inflam, e como estão encunhados na junta da parede, transmite uma força na área de contato entre os macacos e os blocos, gerando a tensão aplicada pelo sistema.

A tensão aplicada pelo sistema na alvenaria é determinada pela multiplicação entre a pressão aplicada pela bomba externa, que é aferida através de um manômetro, pelo coeficiente de correlação (K), definido no processo de calibração do macaco plano, correlacionando a força externa pela pressão interna. Posteriormente, é dividido essa força externa pela área bruta do bloco. Assim, será gerado a tensão externa na área bruta do ensaio, podendo ser vista na Equação (5), a seguir.

$$(5) P_{\text{alv}} = K \cdot P / A_{\text{bruta}}, \text{ sendo:}$$

$P_{\text{alv}}$ : tensão aplicada pelo macaco na alvenaria;

K: coeficiente de correlação entre a pressão interna e força externa;

P: pressão aplicada pela bomba;

$A_{\text{bruta}}$ : área bruta do bloco.

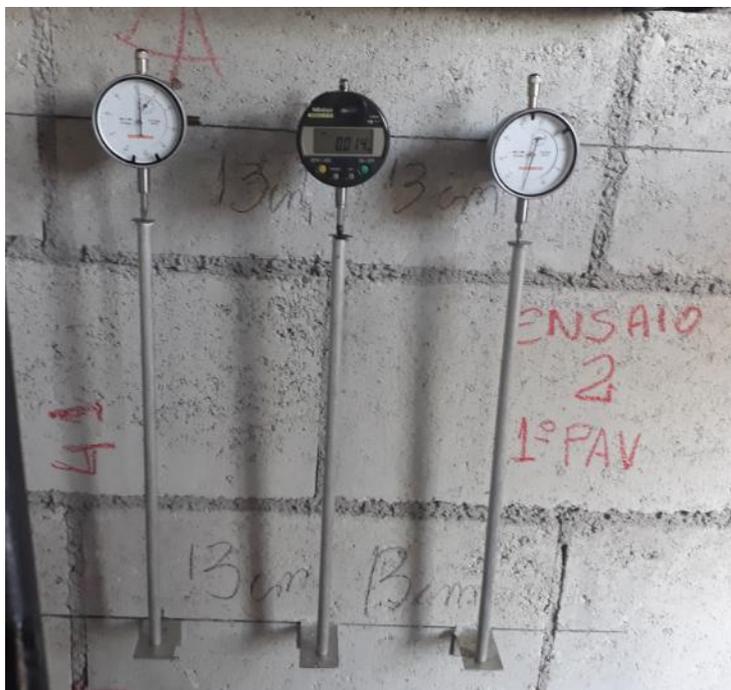
### 3.9.2 *Leitura das deformações*

Segundo uma análise experimental que Suprenant e Schuller (1994) fizeram, as deformações, em ensaios com macacos planos duplos, obtidas na região central são os resultados mais precisos, pois a região mais próxima no final do rasgo tem uma influência maior da restrição da parede entorno do ensaio. Seguindo essas análises, os pontos de leitura de deformação, neste trabalho, serão localizados na região central do ensaio.

Para o cálculo do módulo de elasticidade da parede, as deformações consideradas são as mensuradas na região ensaiada entre os macacos. Foram lidos 5 pontos no total, sendo estes, 3 na parte da frente (Figura 91) e 2 na parte

de trás da parede (Figura 92), sendo respeitado a quantidade mínima de 3 pontos de leitura de deformação de acordo com a ASTM C1197 (2014).

Figura 91 - 3 pontos de leitura de deformação na parte da frente.



Fonte: Próprio autor.

Figura 92 - 2 pontos de leitura de deformação na parte de trás.



Fonte: Próprio autor.

Outras imposições consideradas pela ASTM C1197-14 são quanto à distância vertical entre os pontos de leitura de um instrumento de medida, sendo de pelo menos 20 cm. Neste trabalho, foi adotado uma distância vertical de 41 cm, como mostrado na Figura 91, anteriormente. A precisão do instrumento de medida deve ser de, pelo menos, 0,005% da distância vertical, ou seja, para o caso deste trabalho, de 0,00205 cm (0,0205 mm). O relógio número 2 (digital), o central da Figura 91, tem a precisão de 0,001 mm, e os demais relógios (analógicos), tem a precisão de 0,005 mm.

### 3.9.3 *Procedimentos de ensaio*

#### 3.9.3.1 Posicionamento dos macacos planos

Quanto a distância vertical dos macacos, a ASTM C1197 (2014) propõe uma distância de 1,5 vezes o comprimento do macaco, sendo que, para este ensaio, a distância máxima seria de 60 cm, pois o macaco tem 40 cm de comprimento. Foi adotado uma distância de três fiadas de blocos, para deixar os blocos inteiros e cortar na argamassa, totalizando uma distância entre macacos de 59 cm (três blocos de 19 cm mais duas argamassas de 1 cm).

O posicionamento escolhido na parede é a região central, como mostrado na Figura 93, pois é a região que apresenta a menor concentração de tensões, não há a presença de graute, pois nos cantos de paredes há o graute para o posicionamento das ferragens construtivas, e menor influência das lajes.

Figura 93 - Posicionamento dos macacos planos na parede.



Fonte: Próprio autor.

### 3.9.3.2 Equipamento e materiais

A bomba utilizada para a realização do ensaio é da marca Enerpac, sendo sua capacidade de pressão de até 70 MPa. O manômetro instalado na bomba tem capacidade de 300 kgf/cm<sup>2</sup> (30 MPa) com precisão de 5 kgf/cm<sup>2</sup> (0,5 MPa). A mangueira hidráulica, que ligava a bomba no macaco plano inferior, era de trama dupla de aço inox revestido por borracha, com capacidade de 80 MPa, e suas conexões eram industriais do tipo engate rápido da marca Swagelok. A mangueira que conectava o macaco inferior ao superior era de borracha

trançada para alta pressão, com capacidade de 80 MPa. As conexões e mangueiras são mostradas na Figura 94, a seguir.

Figura 94 - Conexões e mangueiras.



Fonte: Próprio autor.

Para a leitura das deformações, foram utilizados relógios comparadores, 4 relógios analógicos da marca Digimess, com curso de 10 mm e precisão de 0,005 mm, e um relógio digital da marca Mitutoyo, com curso de 12,7 mm (0,5") e precisão de 0,001 mm. Para a fixação do sistema de leitura, foi utilizado um sistema de base nos relógios, e este sistema de base foi colado na parede com cola quente, como mostrado na Figura 95.

Figura 95 - Relógio analógico e digital, respectivamente, colocados com cola quente.



Fonte: Próprio autor.

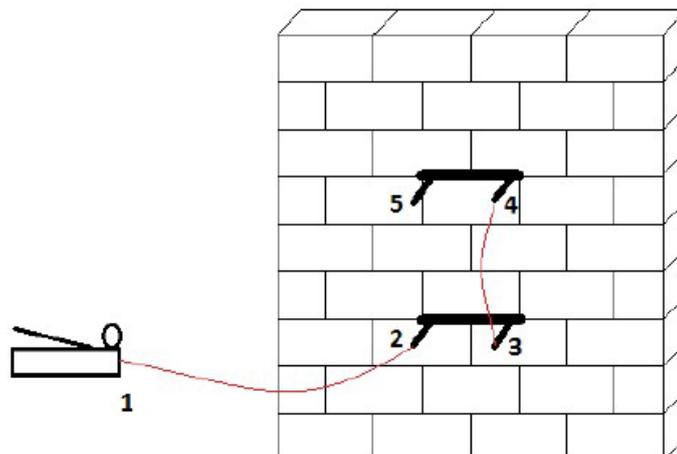
Para a o rasgo nas juntas da parede de alvenaria, foi utilizado furadeira portátil, com borchas de 10 mm, fresa de 10 mm e uma serra elétrica.

Os resultados da deformação do ensaio foram anotados a mão e transmitidos para o programa Excel posteriormente, armazenando os dados dos resultados e gerando as curvas tensão-deformação.

### 3.9.3.3 Conexão entre os macacos

Devido os macacos planos serem em abas duplas, a realização do ensaio pode ser feita em apenas uma face da parede, sem a necessidade de alocação dos equipamentos na parte de trás da alvenaria, com exceção das chapas e relógios para medição da deformação. Para este trabalho, a bomba externa (1) é conectada ao macaco inferior (2), que se conecta, através da sua saída (3), ao macaco superior (4) que está com o segundo tubo fechado (5). Detalhes do processo na Figura 96, a seguir.

Figura 96 - Conexão adotada no teste em uma face da parede.



Fonte: Soriani (2016)

#### 3.9.3.4 Sistema de medição de deformação

Para a determinação da deformação linear ( $\epsilon$ ), é utilizado a Equação (6), a seguir.

(6)  $\epsilon = \Delta L / L$ , sendo:

$\Delta L$ : variação de comprimento;

$L$ : comprimento inicial.

Para a leitura das deformações, pares de pontos foram adotados com alinhamento vertical, distanciados de 41 cm.

O relógio comparador e a base para a haste vertical foram posicionados, respectivamente, no ponto superior e inferior. Iniciando o ensaio, o sistema começa a se deformar, então a distância entre o relógio e a base diminui, conseqüentemente, a haste altera o curso do apalpador do relógio e é encontrado a variação de comprimento. A haste vertical foi cortada e padronizada para que a distância do centro do relógio até a sua base inferior fosse de 41 cm. O sistema de medição da deformação é mostrado nas Figura 97 e Figura 98, a seguir.

Figura 97 - Sistema de medição de deformação na parte da frente.



Fonte: Próprio autor.

Figura 98 - Sistema de medição de deformação na parte de trás.

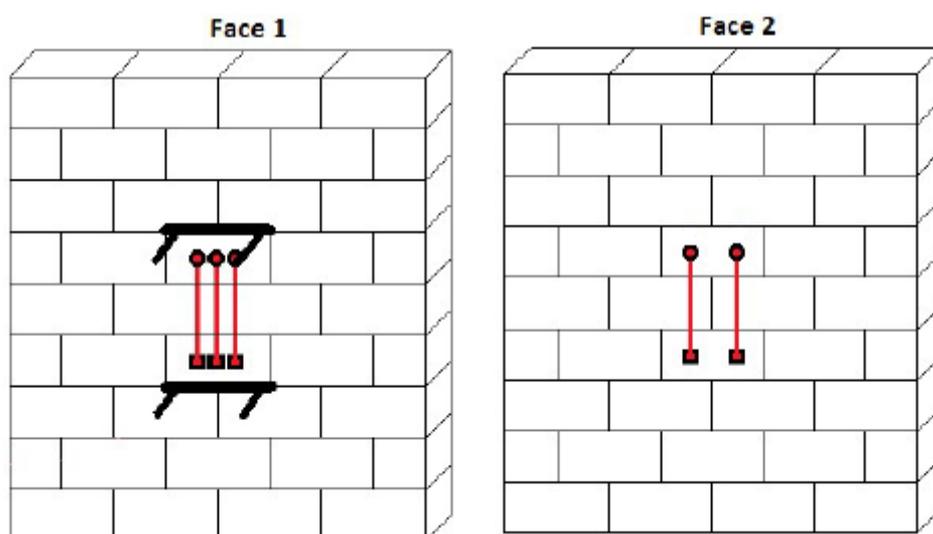


Fonte: Próprio autor.

### 3.9.3.5 Posição dos pontos de leitura de deformação

Segundo a ASTM C1197 (2014), é recomendado que a distância horizontal entre as medidas dos pontos deve ser superior a  $1/8$  do comprimento total do macaco plano, sendo uma distância mínima de 5 cm para este trabalho. Foi adotado uma distribuição equidistante de  $1/3$  do tamanho do bloco, na parte frontal, totalizando 13 cm (Figura 91), e de  $1/2$  do tamanho do bloco, na parte traseira, totalizando 19 cm (Figura 92). Os pontos de leitura podem ser vistos na Figura 99, a seguir.

Figura 99 - Pontos de leitura de deformação.



Fonte: Adaptado de Soriani (2016).

### 3.9.3.6 Preparação para início dos testes

Primeiramente, são realizadas marcações com giz na parede que irá ser ensaiada (Figura 100), delimitando a região de ensaio, marcando as juntas que serão retiradas.

Figura 100 - Marcação das juntas a serem retiradas.



Fonte: Próprio autor

Após as marcações, foram realizados os rasgos nas juntas de argamassas superiores e inferiores. Nessa fase, foi utilizado uma furadeira com broca de 10 mm, realizando furos consecutivos, posteriormente, para uma maior limpeza, foi utilizado uma fresa de 10 mm. Pelo fato do macaco duplo ser inserido em apenas uma face, houve a necessidade de usar a serra elétrica circular para uma limpeza no centro dos blocos, pois o bloco pode estar com a face desregular, e ter restos de argamassas entre os blocos. É mostrado na Figura 101 o uso da furadeira e da serra elétrica para a remoção da junta de argamassa, e na Figura 102, a parede com o rasgo finalizado.

Figura 101 - Processo de remoção da junta de argamassa.



Fonte: Próprio autor.

Figura 102 - Rasgo finalizado na parede.



Fonte: Próprio autor.

Após isso, foi feito a marcação do posicionamento dos relógios comparadores. Os relógios são fixados em uma base através de parafuso e

porca e, posteriormente, esta base com os relógios e a base inferior são coladas com cola quente. A haste vertical é apoiada entre a base inferior e o relógio, como mostrado na Figura 103.

Figura 103 - Sistema de leitura de deformação.



Fonte: Próprio autor.

O próximo passo foi a inserção dos macacos nos rasgos executados. A espessura da junta é de 10 mm, as duas chapas inox usadas para encunhamento eram de espessura de 0,5 mm, restando 9 mm para o macaco plano. Porém, em obra, não era possível obter o macaco com essa espessura, pois não há equipamentos, como uma prensa laboratorial, para murchar o macaco após a sua aplicação. Foram utilizados métodos não convencionais para murchar o macaco *in loco*, sendo descritos no próximo tópico, para diminuir sua espessura final. Em alguns casos, foram necessários cortar alguns milímetros do bloco, para que o macaco plano entrasse na parede, principalmente para atravessar a aba até o outro lado, pois no centro dos blocos ficavam restos de argamassas e o macaco não passava. É mostrado na Figura 104, a seguir, o macaco encunhado entre as chapas.

Figura 104 - Macaco encunhado na junta.



Fonte: Próprio autor.

Com os macacos inseridos na parede, a bomba externa foi conectada ao macaco inferior, que se conectava, através de outra mangueira, com o macaco superior. O líquido utilizado no reservatório da bomba manual é o óleo hidráulico H 68. A Figura 105, mostra o sistema completo montado.

Figura 105 - Sistema completo montado.

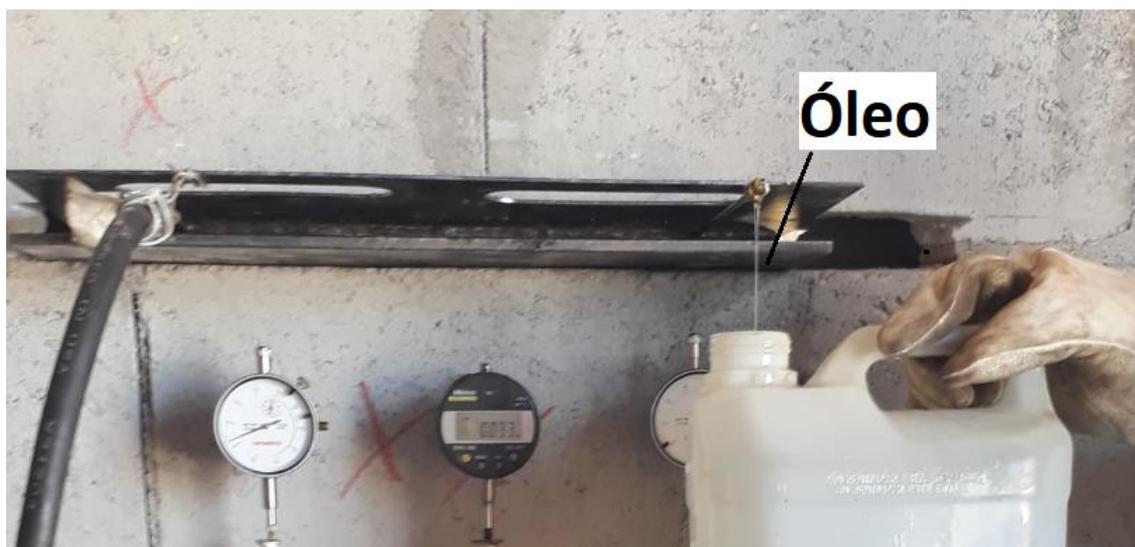


Fonte: Próprio autor.

### 3.9.3.7 Procedimento do teste

A primeira etapa do ensaio é tirar todo o ar de dentro dos macacos (sangramento) e preencher todo o sistema com óleo. A saída do macaco superior é aberta, permitindo a saída do ar, e o bombeamento continuava até que o óleo saísse de forma contínua, como mostrado na Figura 106.

Figura 106 - Sangramento do sistema.



Fonte: Próprio autor.

Apesar das cunhas, fatores como acomodação dos blocos e superfície irregular, podem gerar espaços vazios. Com isso, foi utilizado o procedimento utilizado em Soriani (2016) para que o macaco inflasse ficando totalmente encunhado. Para isso, antes de iniciar de fato o ensaio, era aplicado uma pressão de 2 MPa, inflando o macaco e preenchendo o espaço vazio. Posteriormente a pressão era zerada, e passados 5 minutos, era repetido o procedimento.

Com os macacos encunhados, era iniciado o bombeamento do sistema. O sistema era bombeado até atingir a pressão inicial de 20 kgf/cm<sup>2</sup> (2 Mpa), este é o primeiro ponto de leitura do manômetro, depois incrementos de 5 kgf/cm<sup>2</sup> (0,5 MPa) até a interrupção do ensaio (os critérios de parada e fatores de correlação serão explicados no próximo tópico). Para cada pressão, foi anotado as deformações marcadas nos cinco relógios.

### 3.9.3.8 Fatores da calibração e critério de parada

A pressão externa aplicada pelo macaco plano é diferente da pressão interna (pressão aplicada pela bomba). Portanto, foi determinado uma correlação entre a força externa e a pressão interna, como mostrado anteriormente na Tabela 10, adotando para cada grupo de macaco um coeficiente de correlação (K), sendo estes valor de 1,18 para os macacos do Grupo 1, 1,42 para os do Grupo 2 e 1,19 para os macacos do Grupo 3.

Como apresentado pela construtora responsável pela obra ensaiada, o engenheiro estrutural determinou  $f_{bk}$  mínimo de 4 MPa e assentamento de argamassa somente nas paredes longitudinais do bloco. Quando há argamassamento parcial nos blocos, a resistência característica à compressão simples da alvenaria deve ser corrigida por um fator de 0,80, como mostrado no Tópico 2.3 (Técnica de prisma).

Como determinado no Tópico 2.7 (Conversão de testemunhos extraídos para moldados), em casos que há testemunhos da estrutura, ou em ensaios realizados no local, pode-se dividir por 1,1 o coeficiente de ponderação da resistência no estado-limite último (ELU), assim, será considerado essa ponderação no critério de parada do ensaio.

Para relacionar a resistência do prisma ( $f_{pk}$ ) com a resistência do bloco ( $f_{bk}$ ), foi utilizado a Tabela 3, apresentada no Tópico 2.1.3 (Prismas), que definiu a relação  $f_{pk}/f_{bk}$  de 0,80, para blocos vazados de concreto com  $f_{bk}$  de 4 MPa.

Os ensaios de prismas são padronizados com 2 blocos, no ensaio com macaco plano neste trabalho, o prisma ensaiado *in loco* é com 3 blocos, portanto, como apresentado no Tópico 2.9 (Fator de correção em ensaios de prismas de alvenaria), deverá ser feita uma correção de acordo com a Tabela 6. Os resultados são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Fator de correção entre prisma de 2 blocos para 3 blocos.

	Prisma	
	Dois blocos	Três blocos
$h_p$ (mm)	390	590
$t_p$ (mm)	140	140
$h_p/t_p$	2,8	4,2
<b>Fator de correção</b>	1,06	1,16
<b>Correção dois blocos para três blocos</b>	0,91	

Fonte: Próprio autor.

Portanto, considerando todos esses fatores, o critério de parada do ensaio será de 2,1 MPa, como mostrado na Tabela 13, a seguir.

Tabela 13 - Critério de parada do ensaio com macaco plano.

<b>fbk</b> (MPa)	4
<b>Ponderação da resistência</b> ( $\gamma_m$ )	1,1
<b>Relação prisma e bloco</b> ( $f_{pk}/f_{bk}$ )	0,8
<b>Argamassa parcial</b>	0,8
<b>Correção prisma 2 blocos para 3</b>	0,91
<b>Critério de Parada</b> (MPa)	2,1

Fonte: Próprio autor.

Como mostrado na Tabela 10, foi determinado diferentes valores de coeficiente de correlação de força externa por tensão interna (K) entre os grupos de macaco plano, conforme valores aferidos na calibração. É mostrado a seguir, para os Grupos 1 (K=1,18), 2 (K=1,42) e 3 (K=1,19), respectivamente, nas Tabela 14, Tabela 15 e Tabela 16, a pressão necessária na bomba para atingir a tensão externa exigida no critério de parada.

Tabela 14 - Pressão interna, força e pressão externa do macaco plano para o Grupo 1, com  $K = 1,18$ .

<b>Pressão bomba (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Força = K x P (kN)</b>	<b>Força/área bruta (N/mm<sup>2</sup>)</b>
<b>20</b>	23,6	0,43
<b>25</b>	29,5	0,54
<b>30</b>	35,4	0,65
<b>35</b>	41,3	0,76
<b>40</b>	47,2	0,86
<b>45</b>	53,1	0,97
<b>50</b>	59,0	1,08
<b>55</b>	64,9	1,19
<b>60</b>	70,8	1,30
<b>65</b>	76,7	1,40
<b>70</b>	82,6	1,51
<b>75</b>	88,5	1,62
<b>80</b>	94,4	1,73
<b>85</b>	100,3	1,84
<b>90</b>	106,2	1,95
<b>95</b>	112,1	2,05
<b>100</b>	118,0	2,16

Fonte: Próprio autor.

Tabela 15 - Pressão interna, força e pressão externa do macaco plano para o Grupo 2, com  $K = 1,42$ .

<b>Pressão bomba (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Força = K x P (kN)</b>	<b>Força/área bruta (N/mm<sup>2</sup>)</b>
<b>20</b>	28,4	0,52
<b>25</b>	35,5	0,65
<b>30</b>	42,6	0,78
<b>35</b>	49,7	0,91
<b>40</b>	56,8	1,04
<b>45</b>	63,9	1,17
<b>50</b>	71,0	1,30
<b>55</b>	78,1	1,43
<b>60</b>	85,2	1,56
<b>65</b>	92,3	1,69
<b>70</b>	99,4	1,82
<b>75</b>	106,5	1,95
<b>80</b>	113,6	2,08

Fonte: Próprio autor.

Tabela 16 - Pressão interna, força e pressão externa do macaco plano para o Grupo 3, com  $K = 1,19$ .

<b>Pressão bomba</b> (kgf/cm <sup>2</sup> )	<b>Força = K x P</b> (kN)	<b>Força/área bruta</b> (N/mm <sup>2</sup> )
20	23,8	0,44
25	29,8	0,54
30	35,7	0,65
35	41,7	0,76
40	47,6	0,87
45	53,6	0,98
50	59,5	1,09
55	65,5	1,20
60	71,4	1,31
65	77,4	1,42
70	83,3	1,53
75	89,3	1,63
80	95,2	1,74
85	101,2	1,85
90	107,1	1,96
95	113,1	2,07

Fonte: Próprio autor.

Analisando as tabelas anteriores, foi determinado que a pressão da bomba deve atingir a pressão de 100 kgf/cm<sup>2</sup> (10MPa) para os macacos do Grupo 1, 80 kgf/cm<sup>2</sup> (8 MPa) para os macacos do Grupo 2 e 95 kgf/cm<sup>2</sup> (9,5 MPa) para os macacos do Grupo 3, assim, atingindo a pressão externa de 2,1 MPa, como determinado no critério de parada do ensaio.

Para critérios comparativos, foi analisado a eficiência do conjunto dos macacos, que divide a pressão externa pela pressão interna, determinando a correlação de tensão que é transmitida. O fator de correlação, pressão externa máxima e pressão interna máxima, para cada grupo, é mostrada na Tabela 17.

Tabela 17 - Pressão interna máxima, pressão externa máxima e eficiência para cada grupo de macacos.

<b>Grupo</b>	<b>Pressão interna máxima</b> (MPa)	<b>Pressão externa máxima</b> (MPa)	<b>Fator de correlação</b>
<b>1</b>	10,0	2,16	0,22
<b>2</b>	8,0	2,08	0,26
<b>3</b>	9,5	2,07	0,22

Fonte: Próprio autor.

### 3.9.4 Testes realizados

Foram realizados 7 testes, *in loco*, na cidade de Vinhedo/SP, em uma obra gentilmente cedida pela F.A. Oliva, sendo ensaiadas paredes de um edifício real de 4 andares (térreo + 3 pavimentos), com blocos com  $f_{bk}$  de projeto de 4 MPa. Neste ensaio, o macaco plano de abas dupla foi inserido em apenas uma face vertical da parede, porém aplicando pressão nas duas faces horizontais do bloco. Foram utilizados 5 pontos de leitura de deformação, sendo 3 na face da parede frontal e 2 na face oposta.

Os rasgos nas juntas foram apenas os horizontais na região do macaco, em Soriani (2016) foram adicionados rasgos verticais nas juntas, porém concluiu-se que não houve diferenças significativas, portanto, foi optado na remoção da argamassa na região horizontal apenas.

A numeração adotada para os relógios comparadores é mostrada na Figura 107, sendo 1, 2 e 3 referentes aos pontos de leituras da face frontal, e os números 4 e 5 se referem aos pontos da face oposta.

Figura 107 - Numeração adotada aos relógios comparadores.



Fonte: Próprio autor.

Finalizado o ensaio, os equipamentos são retirados. Primeiramente é utilizado o borbulhador à vácuo para desinflar o macaco de dentro da parede, como mostrado na Figura 108. Porém, *in loco*, a utilização do borbulhador não

foi eficiente, pois não houve uma percepção de facilidade para remover o macaco apenas com seu uso. Percebe-se que houve uma diminuição na quantidade de óleo acumulado dentro do macaco, facilitando a limpeza de todo o material posteriormente.

Figura 108 - Sistema do borbulhador à vácuo.



Fonte: Próprio autor.

Já as chapas para auxiliar a retirada do macaco foram de grande ajuda, facilitando a retirada do macaco, como mostrado na Figura 109. Ela é facilmente retirada da parede, por consequência, o macaco também é extraído com facilidade.

Figura 109 - Retirada das chapas.



Fonte: Próprio autor.

Após a retirada dos macacos da parede, era necessário desinflá-lo para a realização de um novo ensaio, devido a espessura final, mostrada na Figura 110.

Figura 110 - Macaco plano inflado após o ensaio.



Fonte: Próprio autor.

Porém, *in loco*, não é possível utilizar a prensa hidráulica do laboratório para desinflar o equipamento, assim, foi improvisado um procedimento para desinflar o macaco plano em obra. Foram confeccionadas duas chapas, com grande rigidez, com espessura de 2,4 cm, no qual o macaco plano foi colocado entre elas, passando um veículo com uma das rodas sobre as chapas, exercendo uma compressão no macaco, desinflando-o. Esse procedimento mostrou eficácia em desinflar o macaco, porém, recomenda-se um estudo de algum equipamento para melhorar esse procedimento. As Figura 111 e Figura 112 mostram a realização do procedimento.

Figura 111 - Procedimento para desinflar o macaco plano.



Fonte: Próprio autor.

Figura 112 - Óleo retirado devido ao procedimento de desinflar o macaco.



Fonte: Próprio autor.

Os macacos após esse procedimento foram aptos a refazer o ensaio, chegando a um ciclo de até 4 ensaios.

Ao final dos ensaios, foi utilizado argamassa para uma pequena restauração da estrutura (Figura 113), voltando a sua condição original, demonstrando que os danos causados pelos ensaios são mínimos e temporários.

Figura 113 - Restauração da estrutura com argamassa.



Fonte: Próprio autor.

#### 3.9.4.1 Ensaio 1

O ensaio 1 foi realizado com os macacos do Grupo 1, sendo realizado no pavimento térreo. O ensaio foi interrompido quando a pressão da bomba externa atingiu  $100 \text{ kgf/cm}^2$  (10 MPa). A distância vertical entre os leitores de deformação foi de 41 cm. A Figura 114 apresenta o sistema completo para o ensaio,

mostrando o sistema de medição de deformação montado, a bomba hidráulica conectada ao macaco inferior, o macaco inferior conectado ao macaco superior, sendo este macaco superior com a saída fechada.

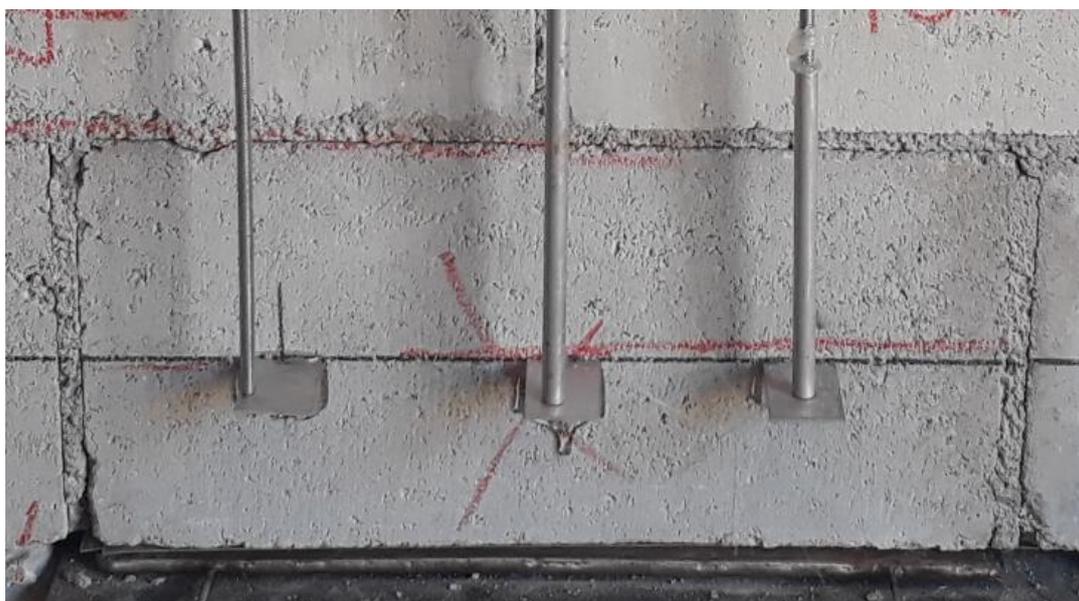
Figura 114 - Sistema completo para o ensaio com macaco plano duplo.



Fonte: Próprio autor.

Neste ensaio, durante a retirada da argamassa do bloco, houve um contato forte não proposital no bloco, fazendo com que o mesmo descolasse da parede frontal, como mostrado na Figura 115, mostrando a necessidade de um cuidado maior durante a retirada da argamassa. Os dados obtidos neste ensaio, são apresentados na Tabela 18, sendo os pontos de leitura 1, 2 e 3 referentes à região da frente, e os pontos 4 e 5 referentes à face oposta da parede.

Figura 115 - Bloco descolado da parede frontal.



Fonte: Próprio autor.

Tabela 18 - Dados obtidos no ensaio 1 no pavimento térreo.

Pressão bomba (kgf/cm <sup>2</sup> )	Leitura do relógio (x 0,01 mm)				
	1	2	3	4	5
20	17,0	15,8	15,0	0,0	0,0
25	21,0	18,9	17,5	0,5	0,5
30	23,0	20,8	19,0	1,0	1,5
35	24,0	21,7	20,0	2,0	2,0
40	26,0	23,2	22,0	3,0	3,5
45	27,0	24,3	22,5	3,5	4,5
50	28,0	25,2	23,5	4,5	5,5
55	29,0	26,0	24,0	5,5	6,5
60	29,5	26,9	25,0	6,5	7,5
65	30,0	27,8	26,0	7,5	8,5
70	31,0	28,6	26,5	8,5	10,0
75	32,0	29,5	27,5	9,0	11,0
80	33,0	30,3	28,0	10,0	12,5
85	33,5	31,1	29,0	11,5	13,5
90	34,0	32,0	30,0	12,0	14,0
95	35,0	33,8	31,0	12,5	15,0
100	36,0	34,8	32,0	13,0	15,5

Fonte: Próprio autor.

### 3.9.4.2 Ensaio 2

O ensaio 2 foi realizado com os macacos do Grupo 1, sendo realizado no primeiro andar. O ensaio foi interrompido quando a pressão da bomba externa atingiu 100 kgf/cm<sup>2</sup> (10 MPa). A distância vertical entre os leitores de deformação foi de 41 cm. A Tabela 19 apresenta os dados obtidos neste ensaio.

Tabela 19 - Dados obtidos no ensaio 2 no primeiro andar.

Pressão bomba (kgf/cm <sup>2</sup> )	Leitura do relógio (x 0,01 mm)				
	1	2	3	4	5
20	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5
25	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0
30	1,5	0,0	0,5	1,5	1,5
35	2,0	0,7	1,0	2,0	2,0
40	2,5	1,2	1,5	2,0	2,5
45	3,0	1,6	2,0	2,5	3,0
50	3,5	2,1	2,5	3,5	3,5
55	4,0	2,9	3,0	4,0	4,0
60	4,5	3,3	3,5	4,5	4,5
65	5,0	4,1	4,0	5,0	5,0
70	6,0	4,7	4,5	6,0	6,0
75	7,0	5,5	5,0	6,5	6,5
80	7,5	6,1	5,5	6,5	7,5
85	8,0	6,8	6,0	7,5	8,0
90	9,0	7,4	6,5	8,0	8,5
95	9,5	8,0	7,0	8,5	9,0
100	10,0	8,6	7,5	9,0	9,5

Fonte: Próprio autor.

### 3.9.4.3 Ensaio 3

O ensaio 3 foi realizado com os macacos do Grupo 1, sendo realizado no térreo. O ensaio foi interrompido quando a pressão da bomba externa atingiu 100 kgf/cm<sup>2</sup> (10 MPa). A distância vertical entre os leitores de deformação foi de 41 cm. A Tabela 20 apresenta os dados obtidos neste ensaio.

Tabela 20 - Dados obtidos no ensaio 3 no pavimento térreo.

Pressão bomba (kgf/cm <sup>2</sup> )	Leitura do relógio (x 0,01 mm)				
	1	2	3	4	5
20	1,5	0,4	0,0	1,0	0,0
25	2,0	0,8	1,0	1,5	0,5
30	2,0	1,2	1,0	1,5	1,0
35	2,5	1,6	1,5	2,0	1,0
40	3,0	2,1	2,0	2,5	2,0
45	3,5	2,3	2,5	2,5	2,0
50	4,0	2,7	3,0	3,0	2,5
55	4,5	3,2	3,0	3,5	3,0
60	5,0	3,6	3,5	3,5	3,5
65	5,5	3,8	4,0	4,0	4,0
70	6,0	4,1	4,0	4,0	4,0
75	6,0	4,9	4,5	5,0	5,0
80	6,5	5,3	5,0	5,0	5,0
85	6,5	5,8	5,0	5,5	5,5
90	7,5	6,1	5,5	6,0	6,0
95	7,5	6,7	6,0	6,5	6,5
100	8,0	7,2	6,5	7,0	7,0

Fonte: Próprio autor.

#### 3.9.4.4 Ensaio 4

O ensaio 4 foi realizado com os macacos do Grupo 1, sendo realizado no primeiro andar. A previsão de parada seria quando a pressão da bomba externa atingisse 100 kgf/cm<sup>2</sup> (10 MPa), porém, houve vazamento na região da solta quando a leitura do manômetro atingiu 60 kgf/cm<sup>2</sup> (6,0 MPa). A distância vertical entre os leitores de deformação foi de 41 cm. A Tabela 21 apresenta os dados obtidos neste ensaio.

Tabela 21 - Dados obtidos no ensaio 4 no primeiro andar.

Pressão bomba (kgf/cm <sup>2</sup> )	Leitura do relógio (x 0,01 mm)				
	1	2	3	4	5
20	5,0	1,7	1,0	0,0	1,0
25	5,5	2,3	2,0	1,0	2,0
30	6,0	3,0	3,0	2,0	3,0
35	7,5	3,9	4,0	3,0	4,0
40	8,0	4,9	4,5	4,0	5,0
45	9,0	5,9	5,5	5,0	6,0
50	10,5	7,1	6,5	6,0	7,0
55	11,5	8,0	8,0	6,5	8,0
60	12,5	9,4	9,0	7,0	8,5

Fonte: Próprio autor.

### 3.9.4.5 Ensaio 5

O ensaio 5 foi realizado com os macacos do Grupo 3, sendo realizado no segundo andar. O ensaio foi interrompido quando a pressão da bomba externa atingiu 950 kgf/cm<sup>2</sup> (9,50 MPa). A distância vertical entre os leitores de deformação foi de 41 cm. A Tabela 22 apresenta os dados obtidos neste ensaio.

Tabela 22 - Dados obtidos no ensaio 5 no segundo andar.

Pressão bomba (kgf/cm <sup>2</sup> )	Leitura do relógio (x 0,01 mm)				
	1	2	3	4	5
20	1,5	0,7	0,0	3,5	3,5
25	2,0	1,2	0,0	4,5	4,5
30	2,5	1,8	0,0	5,0	5,0
35	3,0	2,5	0,0	6,0	6,5
40	4,0	3,0	0,0	7,0	7,5
45	4,5	3,7	1,0	8,5	9,0
50	5,0	4,0	1,5	9,5	10,0
55	5,5	4,4	2,0	10,0	11,0
60	6,0	5,1	2,5	11,0	13,0
65	6,5	5,8	3,0	12,5	14,5
70	7,0	6,4	4,5	14,0	16,5
75	8,0	6,9	5,0	15,5	18,0
80	9,0	7,4	5,0	16,5	19,5
85	10,0	8,2	7,0	18,0	22,0
90	10,5	8,5	8,0	20,0	24,0
95	11,0	9,1	8,5	21,0	25,0

Fonte: Próprio autor.

### 3.9.4.6 Ensaio 6

O ensaio 6 foi realizado com os macacos do Grupo 3, sendo realizado no segundo andar. O ensaio foi interrompido quando a pressão da bomba externa atingiu 950 kgf/cm<sup>2</sup> (9,50 MPa). A distância vertical entre os leitores de deformação foi de 41 cm. A Tabela 23 apresenta os dados obtidos neste ensaio. Durante o processo de desinflar o macaco, houve vazamento do macaco plano na região da solda, impossibilitando a continuação dos ensaios com este grupo de macacos.

Tabela 23 - Dados obtidos no ensaio 6 no segundo andar.

Pressão bomba (kgf/cm <sup>2</sup> )	Leitura do relógio (x 0,01 mm)				
	1	2	3	4	5
20	0,0	0,1	0,0	0,0	1,0
25	1,0	0,4	0,0	1,0	2,0
30	1,0	0,5	0,0	2,0	2,5
35	1,5	0,9	1,0	3,0	4,0
40	1,5	1,2	1,5	4,5	5,0
45	2,0	1,7	2,0	6,0	6,0
50	2,0	2,1	2,0	6,5	6,5
55	2,5	2,7	2,5	7,0	7,5
60	3,0	3,1	2,5	8,0	8,0
65	4,0	3,6	3,0	8,5	8,5
70	4,0	4,2	4,0	8,5	9,0
75	5,0	4,9	4,5	9,0	9,5
80	5,5	5,5	5,0	10,0	10,0
85	6,0	6,0	6,0	10,5	10,5
90	6,5	6,6	6,5	11,5	11,0
95	7,0	7,1	7,0	12,0	11,5
100	7,5	7,4	7,5	12,5	12,0

Fonte: Próprio autor.

### 3.9.4.7 Ensaio 7

O ensaio 7 foi realizado com os macacos do Grupo 2, sendo realizado no segundo andar. A previsão de parada seria quando a pressão da bomba externa atingisse 80 kgf/cm<sup>2</sup> (8 MPa), porém, houve vazamento na região da solda quando a leitura do manômetro atingiu 70 kgf/cm<sup>2</sup> (7 MPa). A distância vertical entre os leitores de deformação foi de 41 cm. Além do rompimento do macaco

plano antes da tensão desejada, houve falha na leitura dos relógios 4 e 5, pois o bloco na parte de trás da parede descolou um pouco e não houve leitura de deformação. A Tabela 24 apresenta os dados obtidos neste ensaio.

Tabela 24 - Dados obtidos no ensaio 7 no segundo andar.

Pressão bomba (kgf/cm <sup>2</sup> )	Leitura do relógio (x 0,01 mm)				
	1	2	3	4	5
20	2,0	1,9	2,0	ERRO	ERRO
25	8,0	8,2	8,5		
30	14,5	15,0	15,0		
35	19,0	19,4	20,0		
40	21,5	22,7	22,5		
45	24,0	25,6	25,5		
50	25,0	26,6	27,0		
55	26,0	28,0	28,0		
60	27,0	28,8	29,0		
65	28,5	30,1	30,5		
70	29,5	30,9	31,5		

Fonte: Próprio autor.

## 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo é apresentado a terceira etapa para a realização do trabalho, apresentando os resultados encontrados com a técnica com macacos planos duplos, comparando-os com os resultados laboratoriais.

### 4.1 ETAPA 3

A terceira etapa consiste na análise e tratamento estatístico dos resultados, determinando a curva tensão-deformação para cada ensaio, estimando o seu módulo de elasticidade e sua resistência da parede. Nesta etapa foi comparado os resultados obtidos pelo ensaio com os resultados laboratoriais disponibilizado pela construtora da obra. Os resultados laboratoriais do ensaio de prisma são mostrados nos anexos A, B, C e D.

#### 4.1.1 *Levantamentos considerados sobre a tensão e a deformação do ensaio*

As paredes eram submetidas a tensão proveniente dos macacos planos, nas duas faces horizontais do bloco, fazendo com que a pressão externa exercida em todo macaco fosse igual, assim, não há deformações por flexão.

A região da alvenaria analisada está confinada entre os macacos planos, no qual, toda a deformação ocorrida nesta região, durante o ensaio, é adquirida devido as tensões exercidas pelos macacos planos. O peso próprio e demais carregamentos verticais da parede não são considerados atuantes.

Para o cálculo das deformações, foram retiradas as deformações iniciais devido a acomodação dos blocos, mesmo fazendo o procedimento de encunhamento do macaco plano, descrito no tópico 3.9.3.7 (Procedimento do teste), houve acomodação inicial no ensaio. Após a retirada da acomodação inicial, foi calculado a deformação para cada ensaio, realizando a média dessas deformações encontradas e, posteriormente, traçado a curva tensão-deformação média do ensaio.

Com o gráfico tensão-deformação traçado, foi determinado, através da inclinação da região com comportamento retilíneo e elástico, o módulo de

elasticidade e estimado a resistência da parede, comparando os resultados encontrados com os laboratoriais.

#### 4.1.2 Resultados dos testes

##### 4.1.2.1 Ensaio 1

Pelo meio dos dados coletados no ensaio 1, apresentados anteriormente na Tabela 18, foi obtido os resultados da deformação, calculada com a utilização dos fatores previamente mencionados. A Tabela 25 apresenta as deformações calculadas e a pressão lida pelo manômetro do ensaio 1. A última coluna apresenta a média das deformações.

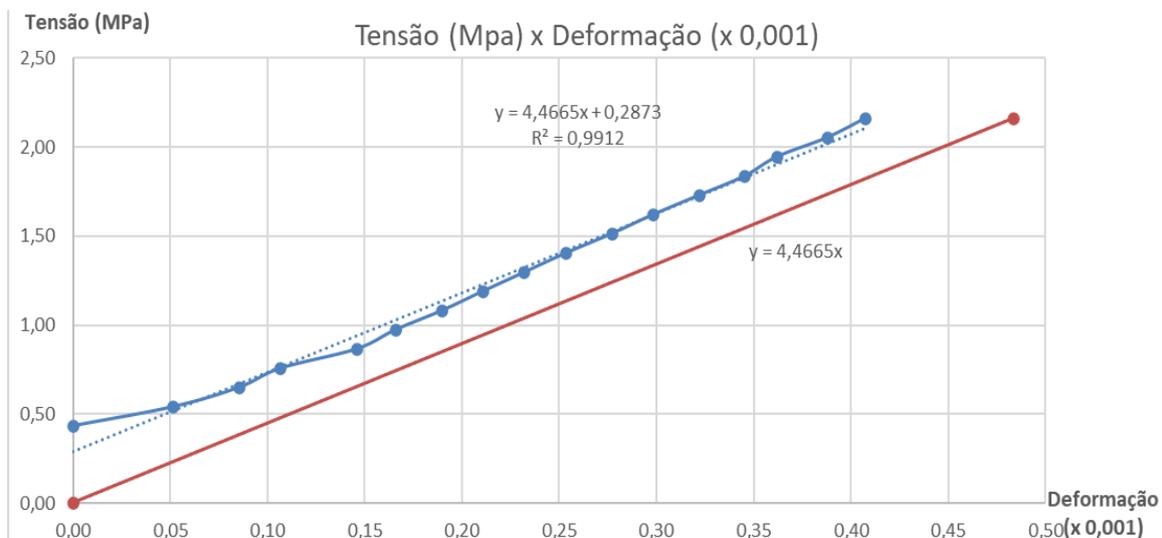
Tabela 25 - Deformações do ensaio 1.

Pressão (MPa)		Deformação (x 0,001)					
Bomba	Macaco	1	2	3	4	5	Média
2,0	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,5	0,54	0,10	0,08	0,06	0,01	0,01	0,05
3,0	0,65	0,15	0,12	0,10	0,02	0,04	0,09
3,5	0,76	0,17	0,14	0,12	0,05	0,05	0,11
4,0	0,86	0,22	0,18	0,17	0,07	0,09	0,15
4,5	0,97	0,24	0,21	0,18	0,09	0,11	0,17
5,0	1,08	0,27	0,23	0,21	0,11	0,13	0,19
5,5	1,19	0,29	0,25	0,22	0,13	0,16	0,21
6,0	1,30	0,30	0,27	0,24	0,16	0,18	0,23
6,5	1,40	0,32	0,29	0,27	0,18	0,21	0,25
7,0	1,51	0,34	0,31	0,28	0,21	0,24	0,28
7,5	1,62	0,37	0,33	0,30	0,22	0,27	0,30
8,0	1,73	0,39	0,35	0,32	0,24	0,30	0,32
8,5	1,84	0,40	0,37	0,34	0,28	0,33	0,35
9,0	1,95	0,41	0,40	0,37	0,29	0,34	0,36
9,5	2,05	0,44	0,44	0,39	0,30	0,37	0,39
10,0	2,16	0,46	0,46	0,41	0,32	0,38	0,41

Fonte: Próprio autor.

A Figura 116 apresenta a curva inicial tensão-deformação do ensaio 1 (curva azul) e sua linha de tendência (tracejado). Foi considerado as deformações a partir de 0,5 MPa, devido a acomodação inicial, e determinado o módulo de elasticidade. Posteriormente, a curva foi corrigida, levando-a para a origem, gerando a curva tensão-deformação final, mostrada na cor vermelha.

Figura 116 - Curva inicial tensão-deformação e linha de tendência do ensaio 1 e curva final corrigida do ensaio 1.



Fonte: Próprio autor.

#### 4.1.2.2 Ensaio 2

Os dados do ensaio 2 foram apresentados anteriormente na Tabela 19. A Tabela 26 apresenta as deformações calculadas para o ensaio 2.

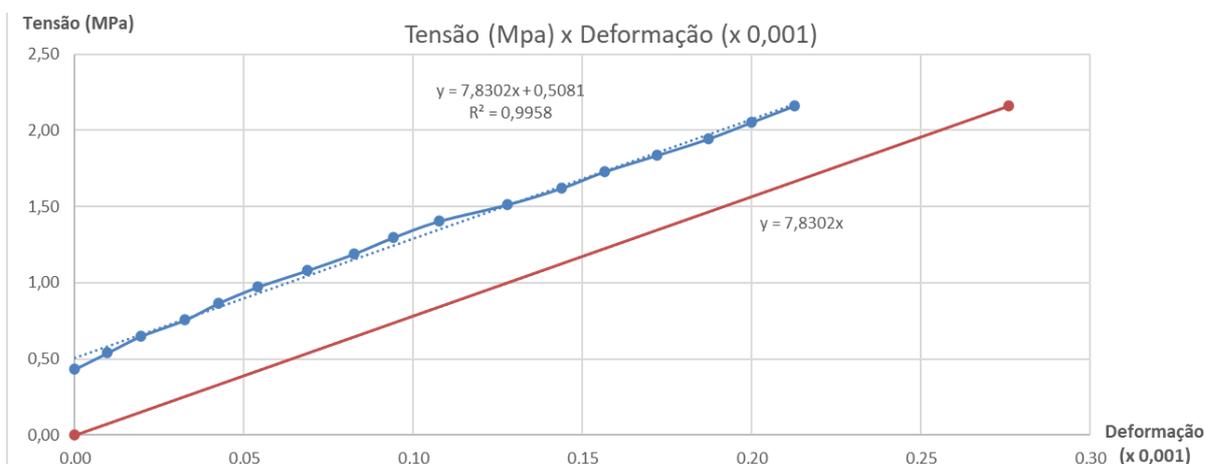
Tabela 26 - Deformações do ensaio 2.

Pressão (MPa)		Deformação (x 0,001)					Média
Bomba	Macaco	1	2	3	4	5	
2,0	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,5	0,54	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
3,0	0,65	0,04	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02
3,5	0,76	0,05	0,02	0,02	0,04	0,04	0,03
4,0	0,86	0,06	0,03	0,04	0,04	0,05	0,04
4,5	0,97	0,07	0,04	0,05	0,05	0,06	0,05
5,0	1,08	0,09	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07
5,5	1,19	0,10	0,07	0,07	0,09	0,09	0,08
6,0	1,30	0,11	0,08	0,09	0,10	0,10	0,09
6,5	1,40	0,12	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11
7,0	1,51	0,15	0,11	0,11	0,13	0,13	0,13
7,5	1,62	0,17	0,13	0,12	0,15	0,15	0,14
8,0	1,73	0,18	0,15	0,13	0,15	0,17	0,16
8,5	1,84	0,20	0,17	0,15	0,17	0,18	0,17
9,0	1,95	0,22	0,18	0,16	0,18	0,20	0,19
9,5	2,05	0,23	0,20	0,17	0,20	0,21	0,20
10,0	2,16	0,24	0,21	0,18	0,21	0,22	0,21

Fonte: Próprio autor.

A Figura 117 apresenta a curva tensão-deformação do ensaio 2, juntamente com a linha de tendência e a curva corrigida tensão-deformação final.

Figura 117 - Curva tensão-deformação e linha de tendência do ensaio 2 e curva final corrigida do ensaio 2.



Fonte: Próprio autor.

#### 4.1.2.3 Ensaio 3

Os dados do ensaio 3 foram apresentados anteriormente na Tabela 20. A Tabela 27 apresenta as deformações calculadas para o ensaio 3.

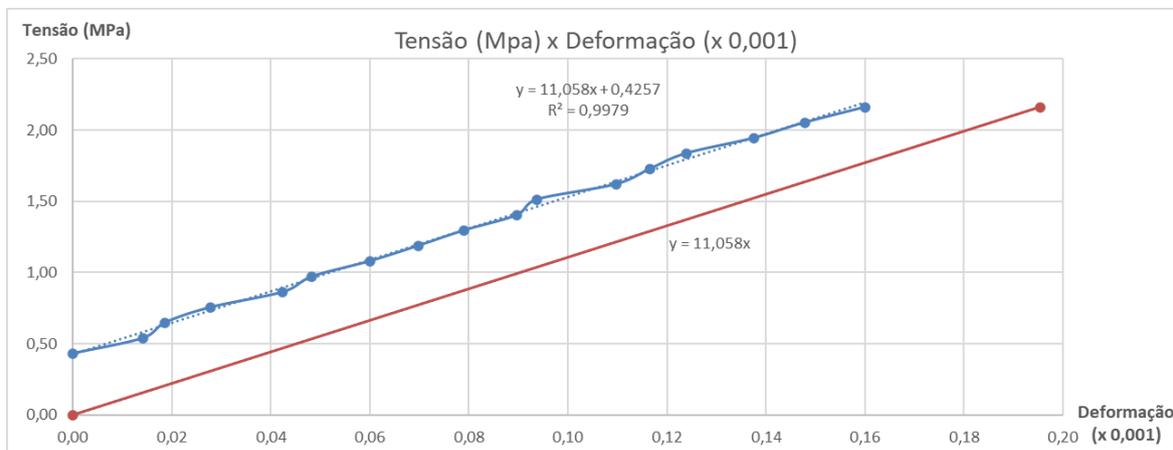
Tabela 27 - Deformações do ensaio 3.

Pressão (MPa)		Deformação (x 0,001)					Média
Bomba	Macaco	1	2	3	4	5	
2,0	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,5	0,54	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
3,0	0,65	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02
3,5	0,76	0,02	0,03	0,04	0,02	0,02	0,03
4,0	0,86	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04
4,5	0,97	0,05	0,05	0,06	0,04	0,05	0,05
5,0	1,08	0,06	0,06	0,07	0,05	0,06	0,06
5,5	1,19	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07
6,0	1,30	0,09	0,08	0,09	0,06	0,09	0,08
6,5	1,40	0,10	0,08	0,10	0,07	0,10	0,09
7,0	1,51	0,11	0,09	0,10	0,07	0,10	0,09
7,5	1,62	0,11	0,11	0,11	0,10	0,12	0,11
8,0	1,73	0,12	0,12	0,12	0,10	0,12	0,12
8,5	1,84	0,12	0,13	0,12	0,11	0,13	0,12
9,0	1,95	0,15	0,14	0,13	0,12	0,15	0,14
9,5	2,05	0,15	0,15	0,15	0,13	0,16	0,15
10,0	2,16	0,16	0,17	0,16	0,15	0,17	0,16

Fonte: Próprio autor.

A Figura 118 apresenta a curva tensão-deformação do ensaio 3, juntamente com a linha de tendência e a curva corrigida tensão-deformação final.

Figura 118 - Curva tensão-deformação e linha de tendência do ensaio 3 e curva final corrigida do ensaio 3.



Fonte: Próprio autor.

#### 4.1.2.4 Ensaio 4

Os dados do ensaio 4 foram apresentados anteriormente na Tabela 21. A Tabela 28 apresenta as deformações calculadas para o ensaio 4.

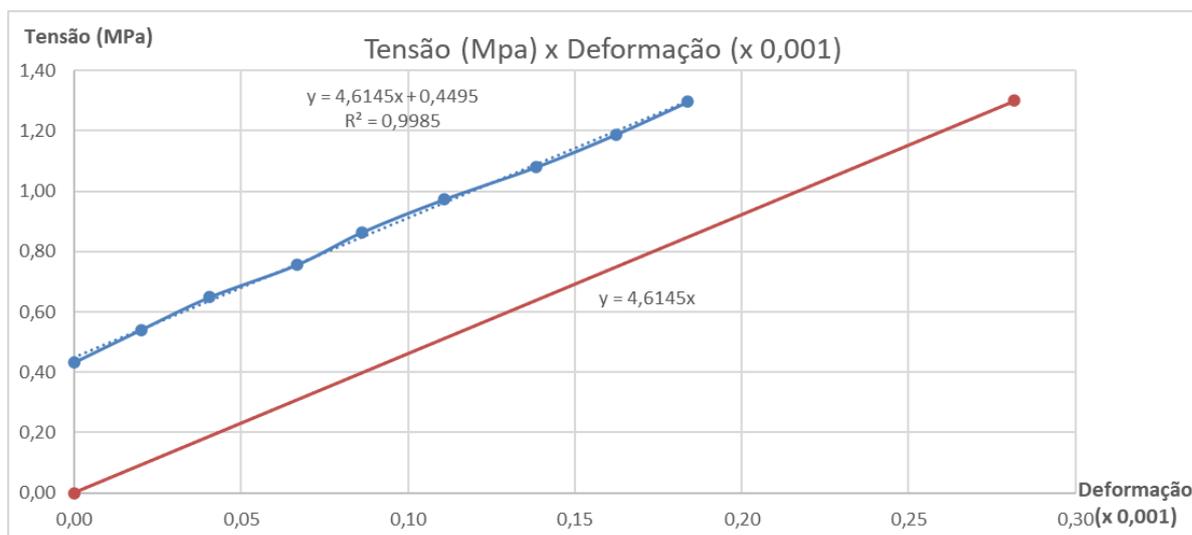
Tabela 28 - Deformações do ensaio 4.

Pressão (MPa)		Deformação (x 0,001)					Média
Bomba	Macaco	1	2	3	4	5	
<b>2,0</b>	<b>0,43</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>2,5</b>	<b>0,54</b>	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>3,0</b>	<b>0,65</b>	0,02	0,03	0,05	0,05	0,05	0,04
<b>3,5</b>	<b>0,76</b>	0,06	0,05	0,07	0,07	0,07	0,07
<b>4,0</b>	<b>0,86</b>	0,07	0,08	0,09	0,10	0,10	0,09
<b>4,5</b>	<b>0,97</b>	0,10	0,10	0,11	0,12	0,12	0,11
<b>5,0</b>	<b>1,08</b>	0,13	0,13	0,13	0,15	0,15	0,14
<b>5,5</b>	<b>1,19</b>	0,16	0,15	0,17	0,16	0,17	0,16
<b>6,0</b>	<b>1,30</b>	0,18	0,19	0,20	0,17	0,18	0,18

Fonte: Próprio autor.

A Figura 119 apresenta a curva tensão-deformação do ensaio 4, juntamente com a linha de tendência e a curva corrigida tensão-deformação final.

Figura 119 - Curva tensão-deformação e linha de tendência do ensaio 4 e curva final corrigida do ensaio 4.



Fonte: Próprio autor.

#### 4.1.2.5 Ensaio 5

Os dados do ensaio 5 foram apresentados anteriormente na Tabela 22. A Tabela 29 apresenta as deformações calculadas para o ensaio 5.

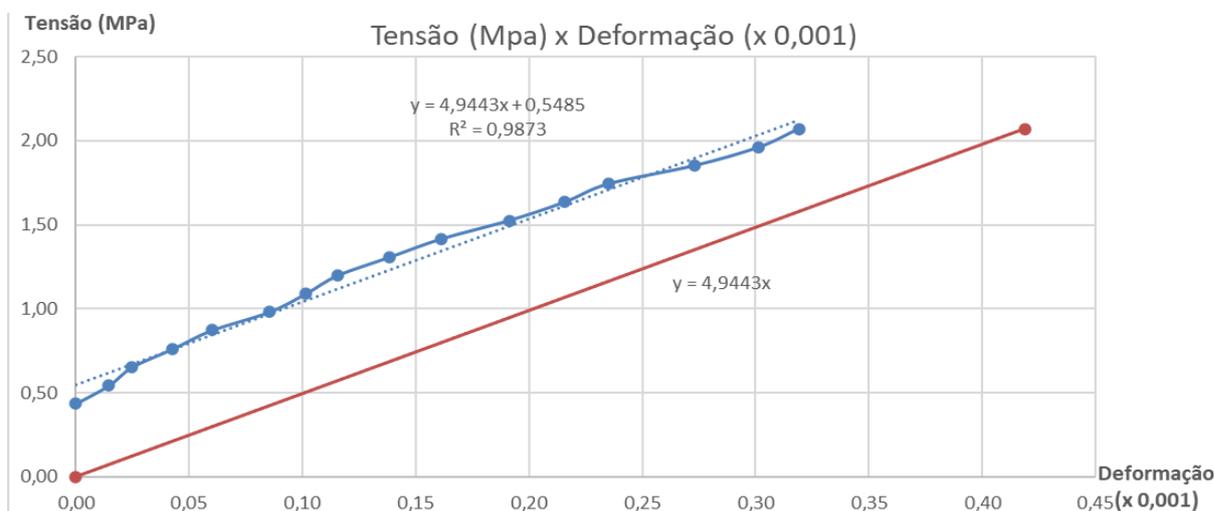
Tabela 29 - Deformações do ensaio 5.

Pressão (MPa)		Deformação (x 0,001)					Média
Bomba	Macaco	1	2	3	4	5	
2,0	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,5	0,54	0,01	0,01	0,00	0,02	0,02	0,01
3,0	0,65	0,02	0,03	0,00	0,04	0,04	0,02
3,5	0,76	0,04	0,04	0,00	0,06	0,07	0,04
4,0	0,87	0,06	0,06	0,00	0,09	0,10	0,06
4,5	0,98	0,07	0,07	0,02	0,12	0,13	0,09
5,0	1,09	0,09	0,08	0,04	0,15	0,16	0,10
5,5	1,20	0,10	0,09	0,05	0,16	0,18	0,12
6,0	1,31	0,11	0,11	0,06	0,18	0,23	0,14
6,5	1,42	0,12	0,12	0,07	0,22	0,27	0,16
7,0	1,53	0,13	0,14	0,11	0,26	0,32	0,19
7,5	1,63	0,16	0,15	0,12	0,29	0,35	0,22
8,0	1,74	0,18	0,16	0,12	0,32	0,39	0,24
8,5	1,85	0,21	0,18	0,17	0,35	0,45	0,27
9,0	1,96	0,22	0,19	0,20	0,40	0,50	0,30
9,5	2,07	0,23	0,20	0,21	0,43	0,52	0,32

Fonte: Próprio autor.

A Figura 120 apresenta a curva tensão-deformação do ensaio 5, juntamente com a linha de tendência e a curva corrigida tensão-deformação final.

Figura 120 - Curva tensão-deformação e linha de tendência do ensaio 5 e curva final corrigida do ensaio 5.



Fonte: Próprio autor.

#### 4.1.2.6 Ensaio 6

Os dados do ensaio 6 foram apresentados anteriormente na Tabela 23. A Tabela 30 apresenta as deformações calculadas para o ensaio 6.

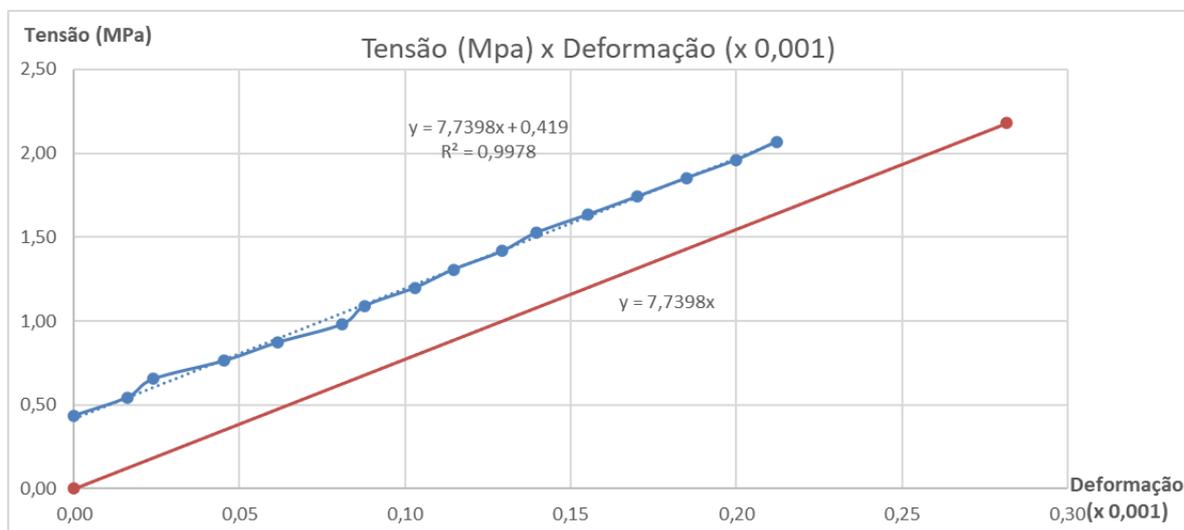
Tabela 30 - Deformações do ensaio 6.

Pressão (MPa)		Deformação (x 0,001)					
Bomba	Macaco	1	2	3	4	5	Média
2,0	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,5	0,54	0,02	0,01	0,00	0,02	0,02	0,02
3,0	0,65	0,02	0,01	0,00	0,05	0,04	0,02
3,5	0,76	0,04	0,02	0,02	0,07	0,07	0,05
4,0	0,87	0,04	0,03	0,04	0,11	0,10	0,06
4,5	0,98	0,05	0,04	0,05	0,15	0,12	0,08
5,0	1,09	0,05	0,05	0,05	0,16	0,13	0,09
5,5	1,20	0,06	0,06	0,06	0,17	0,16	0,10
6,0	1,31	0,07	0,07	0,06	0,20	0,17	0,11
6,5	1,42	0,10	0,09	0,07	0,21	0,18	0,13
7,0	1,53	0,10	0,10	0,10	0,21	0,20	0,14
7,5	1,63	0,12	0,12	0,11	0,22	0,21	0,16
8,0	1,74	0,13	0,13	0,12	0,24	0,22	0,17
8,5	1,85	0,15	0,14	0,15	0,26	0,23	0,18
9,0	1,96	0,16	0,16	0,16	0,28	0,24	0,20
9,5	2,07	0,17	0,17	0,17	0,29	0,26	0,21

Fonte: Próprio autor.

A Figura 121 apresenta a curva tensão-deformação do ensaio 6, juntamente com a linha de tendência e a curva corrigida tensão-deformação final.

Figura 121 - Curva tensão-deformação e linha de tendência do ensaio 6 e curva final corrigida do ensaio 6.



Fonte: Próprio autor.

#### 4.1.2.7 Ensaio 7

Os dados do ensaio 7 foram apresentados anteriormente na Tabela 24. A Tabela 31 apresenta as deformações calculadas para o ensaio 7.

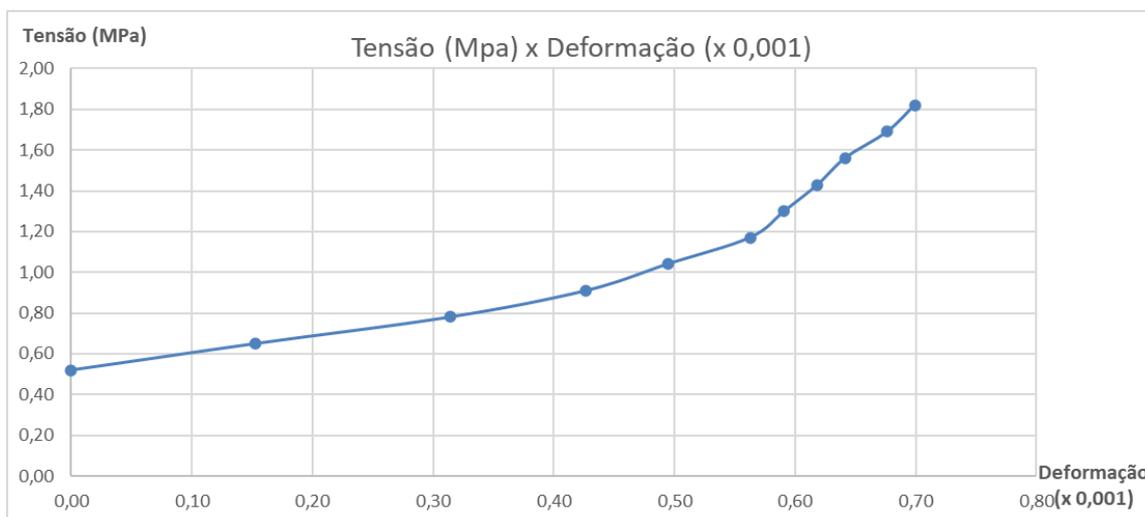
Tabela 31 - Deformações do ensaio 7.

Pressão (MPa)		Deformação (x 0,001)					Média
Bomba	Macaco	1	2	3	4	5	
2,0	0,52	0,00	0,00	0,00	ERRO	ERRO	0,00
2,5	0,65	0,15	0,15	0,16			0,15
3,0	0,78	0,30	0,32	0,32			0,31
3,5	0,91	0,41	0,43	0,44			0,43
4,0	1,04	0,48	0,51	0,50			0,49
4,5	1,17	0,54	0,58	0,57			0,56
5,0	1,30	0,56	0,60	0,61			0,59
5,5	1,43	0,59	0,64	0,63			0,62
6,0	1,56	0,61	0,66	0,66			0,64
6,5	1,69	0,65	0,69	0,70			0,68
7,0	1,82	0,67	0,71	0,72			0,70

Fonte: Próprio autor.

A Figura 122 apresenta a curva tensão-deformação do ensaio 7.

Figura 122 - Curva tensão-deformação do ensaio 7.



Fonte: Próprio autor.

Como pode ser visto na Figura 122, os cinco primeiros pontos de leitura apresentaram um comportamento diferente, resultado de uma acomodação inicial. Sendo observado isso, foi retirado essa acomodação e considerado apenas a variação de pressão e de deformação a partir do sexto ponto de leitura. A Tabela 32 apresenta os novos valores de deformação calculado para o ensaio 7.

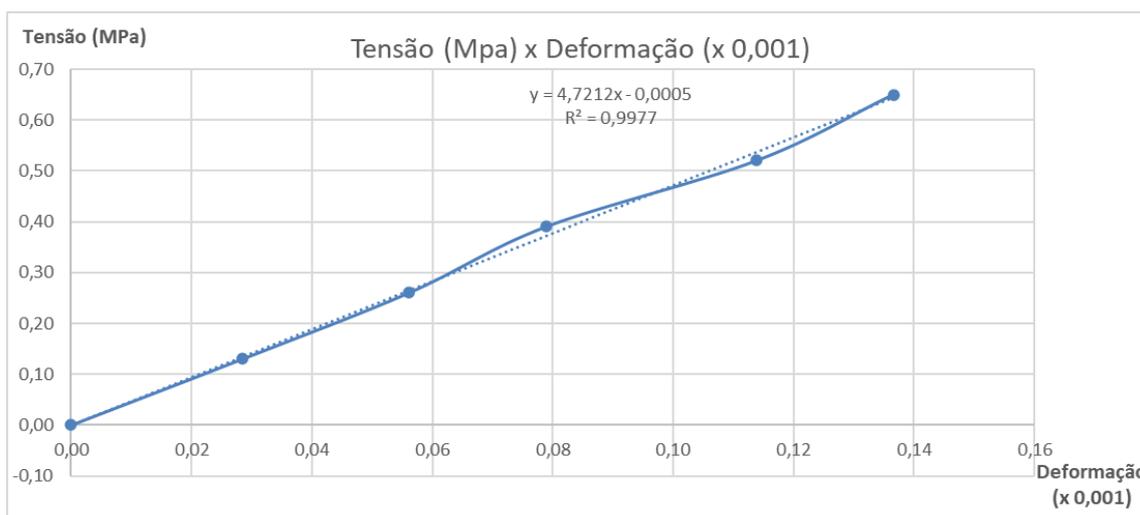
Tabela 32 - Novas deformações do ensaio 7.

Pressão (MPa)		Deformação (x 0,001)					Média
Bomba	Macaco	1	2	3	4	5	
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	ERRO	ERRO	0,00
0,5	0,13	0,02	0,02	0,04			0,03
1,0	0,26	0,05	0,06	0,06			0,06
1,5	0,39	0,07	0,08	0,09			0,08
2,0	0,52	0,11	0,11	0,12			0,11
2,5	0,65	0,13	0,13	0,15			0,14

Fonte: Próprio autor.

A Figura 123 apresenta a nova curva tensão-deformação do ensaio 7, juntamente com a linha de tendência.

Figura 123 - Nova curva tensão-deformação e linha de tendência do ensaio 7.



Fonte: Próprio autor.

#### 4.1.3 Análise dos resultados

##### 4.1.3.1 Módulo de elasticidade

As curvas tensão-deformação apresentaram um comportamento linear, portanto, essa curva foi aproximada para uma reta, através da linha de tendência linear. O módulo de elasticidade da parede foi determinado através da inclinação dessa reta. Esses módulos são referentes à área bruta, ou seja, a tensão considerada foi calculada com o valor da área do bloco inteiro, para ser comparado com os resultados laboratoriais que foram obtidos através da área bruta também.

A Tabela 33 apresenta os valores adotados do módulo de elasticidade para cada ensaio realizado com a técnica com macaco plano duplo e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da linha de tendência linear com os pontos da curva.

Tabela 33 - Módulos de elasticidade e  $R^2$  para os ensaios realizados com a técnica com macaco plano.

Ensaio	Módulo de elasticidade (MPa)	$R^2$
1	4466	0,9912
2	7830	0,9958
3	11058	0,9979
4	4614	0,9985
5	4944	0,9873
6	7740	0,9978
7	4721	0,9977

Fonte: Próprio autor.

#### 4.1.3.2 Tensão máxima aplicada em cada ensaio

A Tabela 34 apresenta a tensão máxima aplicada em cada ensaio e compara com o valor de critério de parada calculado no Tópico 3.9.3.8 (Fatores da calibração e critério de parada).

Tabela 34 - Comparação da tensão máxima aplicada com o critério de parada.

Ensaio	Tensão máxima (MPa)	Critério de parada (MPa)	Situação
1	2,16	2,10	Ok
2	2,16		Ok
3	2,16		Ok
4	1,30		Não atingiu
5	2,07		Ok
6	2,07		Ok
7	0,65		Não atingiu

Fonte: Próprio autor.

Como demonstrado na Tabela 34, os ensaios 1, 2, 3, 5 e 6 atingiram o valor do critério de parada, apresentando comportamento linear, comprovando assim que a parede estudada está de acordo com o  $f_{bk}$  mínimo exigido em projeto.

Nos ensaios 4 e 7, os macacos romperam antes de atingir a tensão mínima prevista, sendo assim, seria necessário refazer os ensaios nestes pontos

para determinar se a estrutura está de acordo com o  $f_{bk}$  mínimo exigido em projeto. Posteriormente será analisada cada ensaio individualmente.

#### 4.1.3.3 Estimativa da resistência da parede

Como mostrado no tópico 2.6 (Relação entre resistência à compressão e módulo de elasticidade), a relação entre módulo de elasticidade e resistência no prisma varia de autores para autores de 800 a 1000 vezes. Neste trabalho, foi usado um intervalo entre esses valores, comparando com os resultados laboratoriais. Para determinar a resistência da parede, foi usado as equações presentes no tópico 2.6 (Relação entre resistência à compressão e módulo de elasticidade).

A Tabela 35 apresenta os valores estimados para a resistência do prisma, no qual  $f_p$  (1000) e  $f$  (1000) são, respectivamente, a resistência do prisma e resistência da parede considerando o E como 1000 vezes o  $f_p$ , e  $f_p$  (800) e  $f$  (800) são, respectivamente, a resistência do prisma e resistência da parede considerando o E como 800 vezes o  $f_p$ .

Tabela 35 - Módulo de elasticidade, resistência do prisma e resistência da parede dos ensaios realizados.

Ensaio	Módulo de elasticidade (MPa)	$f_p$ (1000) (MPa)	$f_p$ (800) (MPa)	$f$ (1000) (MPa)	$f$ (800) (MPa)
1	4466	4,47	5,58	3,13	3,91
2	7830	7,83	9,79	5,48	6,85
3	11058	11,06	13,82	7,74	9,68
4	4614	4,61	5,77	3,23	4,04
5	4944	4,94	6,18	3,46	4,33
6	7740	7,74	9,68	5,42	6,77
7	4721	4,72	5,90	3,30	4,13

Fonte: Próprio autor.

Analisando a Tabela 35, foi determinado o intervalo da estimativa da resistência do prisma e da resistência da parede para cada ensaio. Esse resultado é mostrado na Tabela 36, juntamente com o local de cada ensaio.

Tabela 36 - Intervalo da estimativa da resistência do prisma e da resistência da parede.

Ensaio	Local	$f_p$ (MPa)	$f$ (MPa)
1	Térreo	$4,47 \leq f_p \leq 5,58$	$3,13 \leq f \leq 3,91$
2	1º pav	$7,83 \leq f_p \leq 9,79$	$5,48 \leq f \leq 6,85$
3	Térreo	$11,06 \leq f_p \leq 13,82$	$7,74 \leq f \leq 9,68$
4	1º pav	$4,61 \leq f_p \leq 5,77$	$3,23 \leq f \leq 4,04$
5	2º pav	$4,94 \leq f_p \leq 6,18$	$3,46 \leq f \leq 4,33$
6	2º pav	$7,74 \leq f_p \leq 9,68$	$5,42 \leq f \leq 6,77$
7	2º pav	$4,72 \leq f_p \leq 5,90$	$3,30 \leq f \leq 4,13$

Fonte: Próprio autor.

#### 4.1.3.4 Resultados laboratoriais, ensaio de prisma

A empresa F.A. Oliva, responsável pela obra, gentilmente ofereceram os ensaios laboratoriais, sendo realizados ensaios de prisma de acordo com a NBR 15961-2 (2011). Os resultados completos dos ensaios são mostrados nos Anexos A, B, C e D. Nestes ensaios são indicadas a carga de ruptura, tensão de ruptura na área bruta, a resistência média e resistência característica estimada. Não foi realizado o ensaio para a determinação do módulo de elasticidade, então foi estimado um intervalo do módulo de elasticidade, como realizado no tópico anterior, através da resistência média dos blocos.

A Tabela 37 mostra as resistências média estimada dos ensaios laboratoriais, juntamente com os respectivos andares dos blocos ensaiados e os valores estimados para o módulo de elasticidade, no qual  $f_p$  é a resistência do prisma, o E (800) e E (1000) são, respectivamente, o módulo de elasticidade considerando o E como 800 vezes o  $f_p$  e o E como 1000 vezes o  $f_p$ .

Tabela 37 - Resistência do prisma e módulo de elasticidade estimado.

Andar	$f_p$ (MPa)	E (800) (MPa)	E (1000) (MPa)
Térreo	5,3	4240	5300
Primeiro	4,9	3920	4900
Segundo	4,9	3920	4900
Substituição *	11,8	9440	11800
* blocos utilizados em todos os andares com resistência maior que indicada em projeto			

Fonte: Próprio autor.

Analisando a Tabela 37, foi determinado o intervalo da estimativa do módulo de elasticidade do ensaio de prisma. O resultado é mostrado na Tabela 38, juntamente com o andar do ensaio.

Tabela 38 - Intervalo da estimativa do módulo de elasticidade.

Andar	E (MPa)
<b>Térreo</b>	4240 ≤ E ≤ 5300
<b>Primeiro</b>	3920 ≤ E ≤ 4900
<b>Segundo</b>	3920 ≤ E ≤ 4900
<b>Substituição *</b>	9440 ≤ E ≤ 11800
* blocos utilizados em todos os andares com resistência maior que indicada em projeto	

Fonte: Próprio autor.

#### 4.1.3.5 Análise comparativa

A Tabela 39 compara o intervalo da estimativa da resistência do prisma do ensaio com os macacos planos com o ensaio de prisma, e a Tabela 40 compara o intervalo da estimativa do módulo de elasticidade do ensaio de prisma com o módulo de elasticidade estimado pelo ensaio com os macacos planos.

Tabela 39 - Comparação entre a resistência do prisma do ensaio com os macacos planos e o ensaio de prisma.

Ensaio	Local	f <sub>p</sub> ensaio de prisma (MPa)	f <sub>p</sub> ensaio macaco plano (MPa)
<b>1</b>	Térreo	5,3	4,47 ≤ f <sub>p</sub> ≤ 5,58
<b>2</b>	1º pav	11,8	7,83 ≤ f <sub>p</sub> ≤ 9,79
<b>3</b>	Térreo	11,8	11,06 ≤ f <sub>p</sub> ≤ 13,82
<b>4</b>	1º pav	4,9	4,61 ≤ f <sub>p</sub> ≤ 5,77
<b>5</b>	2º pav	4,9	4,94 ≤ f <sub>p</sub> ≤ 6,18
<b>6</b>	2º pav	11,8	7,74 ≤ f <sub>p</sub> ≤ 9,68
<b>7</b>	2º pav	4,9	4,72 ≤ f <sub>p</sub> ≤ 5,90

Fonte: Próprio autor.

Tabela 40 - Comparação entre o módulo de elasticidade do ensaio com macaco plano e o ensaio de prisma.

Ensaio	Local	E ensaio macaco plano (MPa)	E ensaio de prisma (MPa)
1	Térreo	4466	4240 ≤ E ≤ 5300
2	1º pav	7830	9440 ≤ E ≤ 11800
3	Térreo	11058	9440 ≤ E ≤ 11800
4	1º pav	4614	3920 ≤ E ≤ 4900
5	2º pav	4944	3920 ≤ E ≤ 4900
6	2º pav	7740	9440 ≤ E ≤ 11800
7	2º pav	4721	3920 ≤ E ≤ 4900

Fonte: Próprio autor.

Os próximos tópicos irão analisar cada ensaio e os resultados encontrados nas Tabela 39 e Tabela 40.

#### 4.1.3.6 Análise ensaio 1

O ensaio 1, realizado no pavimento térreo, atingiu a pressão externa do macaco plano de 2,1 MPa, definido no critério de parada, garantindo que a mínima resistência característica à compressão do bloco ( $f_{bk}$ ) indicada em projeto foi atendida.

Para este ensaio, foi estimado uma resistência do prisma um intervalo entre 4,47 MPa e 5,58 MPa. Os ensaios laboratoriais definiram uma resistência média de prisma de 5,3 Mpa. O intervalo calculado pelo ensaio com macaco plano está dentro da resistência estimada com o ensaio de prisma.

O módulo de elasticidade estimado através da curva tensão-deformação, com a técnica de macaco plano duplo, foi de 4466 MPa. Este valor está dentro do intervalo de 4240 MPa e 5300 MPa do módulo de elasticidade adotado com o ensaio laboratorial de prisma.

#### 4.1.3.7 Análise ensaio 2

O ensaio 2, realizado no primeiro pavimento, atingiu a pressão externa do macaco plano de 2,1 MPa, definido no critério de parada, garantindo que a

mínima resistência característica à compressão do bloco ( $f_{bk}$ ) indicada em projeto foi atendida.

Para este ensaio, foi estimado uma resistência do prisma um intervalo entre 7,83 MPa e 9,79 MPa. Os ensaios laboratoriais definiram uma resistência média de prisma de 11,8 Mpa. Os resultados encontrados foram menores do que o previsto nos ensaios laboratoriais.

O módulo de elasticidade estimado através da curva tensão-deformação, com a técnica de macaco plano duplo, foi de 7830 MPa. Este valor é um resultado menor do que o intervalo de 9440 MPa e 11800 MPa do módulo de elasticidade adotado com o ensaio laboratorial de prisma.

Essa diminuição na resistência do prisma e no módulo de elasticidade pode ser justificado ao fato, de acordo com os engenheiros da obra, pela mistura dos blocos previstos para o segundo andar com blocos variados, ou seja, pode ter blocos com  $f_p$  de 4,9 MPa e 11,8 MPa. Todos os blocos estão bem acima do que o mínimo exigido em projeto.

#### 4.1.3.8 Análise ensaio 3

O ensaio 3, realizado no pavimento térreo, atingiu a pressão externa do macaco plano de 2,1 MPa, definido no critério de parada, garantindo que a mínima resistência característica à compressão do bloco ( $f_{bk}$ ) indicada em projeto foi atendida.

Para este ensaio, foi estimado uma resistência do prisma um intervalo entre 11,06 MPa e 13,82 MPa. Os ensaios laboratoriais definiram uma resistência média de prisma de 11,8 Mpa. O intervalo calculado pelo ensaio com macaco plano está dentro da resistência estimada com o ensaio de prisma.

O módulo de elasticidade estimado através da curva tensão-deformação, com a técnica de macaco plano duplo, foi de 11058 MPa. Este valor está dentro do intervalo de 9440 MPa e 11800 MPa do módulo de elasticidade adotado com o ensaio laboratorial de prisma.

#### 4.1.3.9 Análise ensaio 4

O ensaio 4, realizado no primeiro pavimento, atingiu a pressão externa do macaco plano de 1,3 MPa, rompendo antes de chegar aos 2,1 MPa definido no critério de parada. Portanto não foi possível garantir, nesta parede ensaiada, que a mínima resistência característica à compressão do bloco ( $f_{bk}$ ) indicada em projeto foi atendida. Para isto, deverá substituir os macacos e refazer o ensaio.

Para este ensaio, foi estimado uma resistência do prisma um intervalo entre 4,61 MPa e 5,77 MPa. Os ensaios laboratoriais definiram uma resistência média de prisma de 4,9 Mpa. O intervalo calculado pelo ensaio com macaco plano está dentro da resistência estimada com o ensaio de prisma.

O módulo de elasticidade estimado através da curva tensão-deformação, com a técnica de macaco plano duplo, foi de 4614 MPa. Este valor está dentro do intervalo de 3920 MPa e 4900 MPa do módulo de elasticidade adotado com o ensaio laboratorial de prisma.

#### 4.1.3.10 Análise ensaio 5

O ensaio 5, realizado no segundo pavimento, atingiu a pressão externa do macaco plano de 2,1 MPa, definido no critério de parada, garantindo que a mínima resistência característica à compressão do bloco ( $f_{bk}$ ) indicada em projeto foi atendida.

Para este ensaio, foi estimado uma resistência do prisma um intervalo entre 4,94 MPa e 6,18 MPa. Os ensaios laboratoriais definiram uma resistência média de prisma de 4,9 Mpa. O intervalo calculado pelo ensaio com macaco plano está muito próximo da resistência estimada com o ensaio de prisma.

O módulo de elasticidade estimado através da curva tensão-deformação, com a técnica de macaco plano duplo, foi de 4944 MPa. Este valor está muito próximo do intervalo de 3920 MPa e 4600 MPa do módulo de elasticidade adotado com o ensaio laboratorial de prisma.

#### 4.1.3.11 Análise ensaio 6

O ensaio 6, realizado no segundo pavimento térreo, atingiu a pressão externa do macaco plano de 2,1 MPa, definido no critério de parada, garantindo que a mínima resistência característica à compressão do bloco ( $f_{bk}$ ) indicada em projeto foi atendida.

Para este ensaio, foi estimado uma resistência do prisma um intervalo entre 7,74 MPa e 9,68 MPa. Os ensaios laboratoriais definiram uma resistência média de prisma de 11,8 Mpa.

O módulo de elasticidade estimado através da curva tensão-deformação, com a técnica de macaco plano duplo, foi de 7740 MPa, sendo o intervalo do módulo de elasticidade adotado pelo ensaio laboratorial de 9440 MPa e 11800 MPa.

Essa diminuição na resistência do prisma e no módulo de elasticidade pode ser justificado como no ensaio 2, no qual, de acordo com os engenheiros da obra, houve misturas dos blocos previstos para o segundo andar com blocos variados, ou seja, pode ter blocos com  $f_p$  de 4,9 MPa e 11,8 MPa. Todos os blocos estão bem acima do que o mínimo exigido em projeto.

#### 4.1.3.12 Análise ensaio 7

O ensaio 4, realizado no primeiro pavimento, atingiu a pressão externa do macaco plano de 1,82 MPa, rompendo antes de chegar aos 2,1 MPa definido no critério de parada. Foi notado uma deformação excessiva, como mostrado no tópico 4.1.2.7, ocasionado devido a um mal encunhamento do macaco plano. Sendo assim, foi considerado apenas as leituras entre as tensões de 1,17 e 1,82 MPa. Então, a pressão externa atingida no ensaio foi a variação entre esses resultados, no qual o  $\Delta P$  foi de 0,65 MPa. Portanto não foi possível garantir, nesta parede ensaiada, que a mínima resistência característica à compressão do bloco ( $f_{bk}$ ) indicada em projeto foi atendida. Para isto, deverá substituir os macacos, encunhar melhor e refazer o ensaio.

Para este ensaio, foi estimado uma resistência do prisma um intervalo entre 4,72 MPa e 5,90 MPa. Os ensaios laboratoriais definiram uma resistência

média de prisma de 4,9 Mpa. O intervalo calculado pelo ensaio com macaco plano está dentro da resistência estimada com o ensaio de prisma.

O módulo de elasticidade estimado através da curva tensão-deformação, com a técnica de macaco plano duplo, foi de 4721 MPa. Este valor está dentro do intervalo de 3920 MPa e 4900 MPa do módulo de elasticidade adotado com o ensaio laboratorial de prisma.

## 5. CONCLUSÕES

As conclusões são apresentadas a seguir, dividindo-as por temas.

### 5.1 DESENVOLVIMENTO DE UM NOVO MACACO PLANO

A fabricação e validação dos novos macacos planos com abas duplas para ensaios em alvenaria existente executada com blocos vazados de concretos foi obtido. O fator de correlação entre a pressão interna e força externa foi possível através da calibração.

O protótipo desenvolvido chegou a uma pressão interna de 19 MPa e força externa de 315 kN, demonstrando que tem potencial para aplicações em blocos vazados de concreto de alta resistência.

### 5.2 EQUIPAMENTO DE BORBULHADOR À VÁCUO DESENVOLVIDO

O borbulhador à vácuo é uma ideia inédita para este tipo de ensaio, não sendo encontrado em nenhuma literatura equipamento com a funcionalidade de facilitar a retirada do macaco plano da junta no final do ensaio. No ensaio livre, é possível ver que o borbulhador desinflou o macaco plano, porém, *in loco*, não foi eficiente, não facilitando a remoção do macaco pós ensaio.

O borbulhador à vácuo retirou bastante óleo acumulado de dentro dos macacos planos, diminuindo a quantidade de óleo restante no ensaio, facilitando posteriormente a limpeza do material.

### 5.3 CHAPAS DE ENCUNHAMENTO PARA AUXILIAR A RETIRADA DOS MACACOS

As chapas, feitas com 2 oblongos, para calço do macaco plano na parede, foram de grande sucesso em sua aplicabilidade. Funcionando como encunhamento dos macacos e como distribuidor de tensões, estas chapas, quando retirados da parede, geram um espaço para a retirada dos macacos planos, facilitando a retirada dos macacos, mesmo inflados.

#### **5.4 ENSAIOS COM A TÉCNICA COM MACACOS PLANOS EM ALVENARIA DE BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO**

A aplicabilidade da técnica com macaco plano duplo, para verificar que a resistência mínima característica à compressão do bloco ( $f_{bk}$ ), indicada em projeto, está em de acordo com os materiais empregados foi validada.

No teste com os macacos planos, as juntas foram retiradas nas duas faces dos blocos, necessitando de acesso nos dois lados.

A técnica com macaco plano é aplicável em obras, sendo possível certificar que é um ensaio viável, chegando à tensão necessária.

Não houve danos causados na estrutura pelos ensaios com a técnica de macaco plano, necessitando-se apenas de uma pequena restauração da argamassa retirada, voltando a sua condição original, mostrando que os danos causados na estrutura pelos ensaios com a técnica de macaco plano são mínimos e temporários.

#### **5.5 RESULTADOS COM OS TESTES DE MACACOS PLANOS**

Nos ensaios que não houve ruptura do macaco plano foi possível garantir que a mínima resistência característica à compressão do bloco ( $f_{bk}$ ) indicada em projeto foi atendida.

Com a técnica, foi determinado a curva tensão-deformação, e através da sua inclinação, obteve-se o módulo de elasticidade e estimado um intervalo da resistência do prisma.

Os resultados foram comparados com ensaios laboratoriais, que realizaram ensaio de prisma. Os resultados dos intervalos estimados estavam dentro do esperado, demonstrando valores satisfatórios e validando a técnica com macaco plano.

Devido a processo de encunhamento, ou de blocos descolarem durante a retirada da argamassa, recomenda-se a realização de mais de um ensaio em

paredes com propriedades semelhantes, obtendo-se assim um valor característico.

## **5.6 CONCLUSÕES GERAIS**

O estudo evidenciou a aplicabilidade dos equipamentos e procedimentos desenvolvidos para o ensaio de deformabilidade com macaco plano duplo, demonstrando a viabilidade técnica deste teste em paredes de alvenaria de blocos vazados de concreto.

## **5.7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

- É desejável a avaliação da técnica com macaco plano em um grande número de paredes, obtendo assim mais estudo e variação dos resultados;
- Fazer ensaios destrutivos com amostradas das paredes ensaiadas com os macacos planos, definindo assim seu módulo de elasticidade e resistência característica à compressão do prisma, comparando os resultados com os dados obtidos com os macacos planos, verificando qual a precisão deste ensaio;
- Desenvolver novos equipamentos de macacos planos para a realização em alvenaria de blocos cerâmicos;
- Melhorar o processo de fabricação dos macacos, pois alguns macacos vazaram na região da solda durante a calibração;
- Fabricar novos macacos planos em impressora 3D, eliminando as soldas das chapas, formando um único elemento e diminuindo os erros de fabricação. Consequentemente, diminuirá a chances de vazamentos nas soldas, criando equipamentos mais resistentes;
- Melhorar a funcionalidade do borbulhador à vácuo. Testar uma bomba à vácuo com maior potência, verificando se há uma melhora nesse tipo de equipamento;
- Realizar ensaios com o teste de tensão. Neste trabalho foi realizado apenas estudos com o teste de deformabilidade (macaco plano duplo), o

ensaio para o teste de tensão (macaco plano simples) poderia ser verificado, validando as duas técnicas em alvenaria de blocos vazados de concreto; e

- Medir as deformações com sensores de deslocamento linear (LVDT), sendo assim uma instrumentação mais precisa, obtendo um resultado melhor do comportamento estrutural estudado.

## 6. REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, **ACI 214.4R-10**: Guide for obtaining cores and interpreting compressive strength results. ACI Committee 214. Farmington Hills, MI, 2010.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, **ACI 318**: Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05), ACI Committee 318, Farmington Hills, MI, 2005.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, **ACI 437**: Strength evaluation of existing concrete structures (ACI 437-03), ACI Committee 437, Farmington Hills, MI, 2003.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, **ASCE/SEI 41-06**: Seismic Rehabilitation of Existing Buildings. Reston, Va. 2006.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Standard C 1196-14**: In-situ compressive stress within solid unit masonry estimated using flat-jack measurements. 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Standard C 1197-14**: In-situ measurement of masonry deformability properties using flat-jack method. 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Standard C 1314-18**: Standard test method for compressive strength of masonry prisms. 2018.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Standard C 1531-16**: In-situ measurement of masonry mortar joint shear strength index. 2016.

ARANHA, C.A.; MENON, A.; SENGUPTA, A. K. **Analysis of the dome of India's Presidential Residence**. In: Aguilar R., Torrealva D., Moreira S., Pando M. A., Ramos L. F. (eds) Structural Analysis of Historical Constructions. RILEM Bookseries, vol 18. Springer, Cham. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – requisitos**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281: Argamassa para assentamento de paredes e tetos – requisitos**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15812-2: Alvenaria estrutural – blocos cerâmicos. Parte 2: execução e controle de obra**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 15961-2: Alvenaria estrutural - blocos de concreto. Parte 2: execução e controle de obra**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 16522: Alvenaria de blocos de concreto – métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 16868-1: Alvenaria estrutural. Parte 1: projeto**. Rio de Janeiro, 2020.

BERNARDO, J. A. **Modelagem numérica de ensaios de macacos planos de grande área (LFJ) para determinação da deformação de maciços rochosos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Nova Lisboa. 171 p. 2011.

BINDA, L.; TIRABOSCHI, C. **Flat-jack test: a slightly destructive technique for diagnosis of brick and stone masonry structures**. International Journal for Restoration of Buildings and Monuments, v.5, p. 449-472. 1999.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **Code of practice for structural use of masonry. Part 2 – Structural use of reinforced and prestressed masonry. – BS 5628-2**. London. 1995.

CAMACHO, J.S. **Projeto de edifício de alvenaria estrutural**. Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, São Paulo, 2006.

CAMACHO, J.S.; LOCULLO, B.G.; PARSEKIAN, G.A.; SOUDAIS, P.R.N. **Influência do graute e da taxa de armadura no comportamento à**

**compressão da alvenaria de blocos de concreto.** Ver. IBRACON Estrut. Mater. vol.8, n.3, pp.341-364, 2015.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. **Design of masonry structures. – CSA S304.1-04.** Toronto. 2004.

CARGILL, N.; WO, S; SCHULLER, M. **Relationship between compressive strength and modulus for existing masonry construction.** 13<sup>th</sup> North American Masonry Conference. Salt Lake City, UT, USA. 2019.

CASARIN, F.; RONEN, M.; SCHAFFER, Y.; ITALIA, R.; BENETTA, M. D.; KYLER, M. R.; CESCATTI, E. **Mechanical characterization of masonry typologies in Israel via Flat Jack Tests.** In: Aguilar R., Torrealva D., Moreira S., Pando M. A., Ramos L. F. (eds) Structural Analysis of Historical Constructions. RILEM Bookseries, vol 18. Springer, Cham. 2019.

CHESI, C.; INGRASSIA, A.; SUMINI, V. **Seismic pounding analysis of Palazzotto Borbonico “Vecchio” and “Nuovo” in Naples.** In: Aguilar R., Torrealva D., Moreira S., Pando M. A., Ramos L. F. (eds) Structural Analysis of Historical Constructions. RILEM Bookseries, vol 18. Springer, Cham. 2019.

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE. CNR-DT 213. **Istruzioni per la Valutazione della Sicurezza Strutturale di Ponti Stradali in Muratura.** 2015.

CONCU, G.; DE NICOLO, B.; VALDÉS, M. **Prediction of building limestone physical and mechanical properties by means of ultrasonic p-wave velocity.** The Scientific World Journal, v. 2014, p 1-8, 2014.

EUROCODE 2: EN 1992-1-1: **Design of concrete structures – Part 1-1: General rules for buildings.** Brussels. 2004.

EUROCODE 6: EN 1996-1-1: **Design of Masonry Structures – Part 1-1: General rules for buildings – Rules for reinforced and unreinforced masonry.** Brussels. 2013.

FANALE, L.; GALEOTA, D.; PIETRUCCHI, A. **Case study: assessment of the load-carrying capacity of multi-span masonry ancient roman arch bridge situated in “Campana”, near L’Aquila City (IT).** In: Aguilar R., Torrealva D., Moreira S., Pando M. A., Ramos L. F. (eds) Structural Analysis of Historical Constructions. RILEM Bookseries, vol 18. Springer, Cham. 2019.

FORTES, E. S.; PARSEKIAN, G. A.; CAMACHO J. S.; FONSECA, F. S. **Resistência a compressão da alvenaria estrutural com blocos de concreto de alta resistência.** Ver. IBRACON Estrut. Mater. vol. 10 no. 6 São Paulo. 2017.

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

HAMID, A. **NDD – Evaluation of masonry structures.** in Encontro Mensal da ABECE, Brasil. 2013.

HELENE, P. R. L. **Análise da resistência à compressão do concreto em estruturas acabadas com vistas à revisão da segurança.** Revista ALCONPAT, vol. 1, n.1, pág. 64-89. 2011.

KHAN, F.; **Multi-sensing NDT approaches for inspection of structural components.** PhD, Civil Architectural and Environmental Engineering Department, Drexel University, Philadelphia, 2015.

LATKA, D.; SEREGA, S.; MATYSEK, P. **Estimation of mortar compressive strength based on specimens extracted from masonry bed joints.** In: Aguilar R., Torrealva D., Moreira S., Pando M. A., Ramos L. F. (eds) Structural Analysis of Historical Constructions. RILEM Bookseries, vol 18. Springer, Cham. 2019.

MAIER, L. B.; ROSSI, P. P.; LANDRIANI, G. S. **Diagnostic analysis of masonry buildings.** In 1ASBE Symposium, Itália. 8 p. 1983.

MANNING, E.; RAMOS, L. F.; FERNANDES, F. M. **Numerical modeling of single tube-jack and flat-jack tests in an unreinforced masonry wall with regular typology.** In: Aguilar R., Torrealva D., Moreira S., Pando M. A., Ramos L. F. (eds) Structural Analysis of Historical Constructions. RILEM Bookseries, vol 18. Springer, Cham. 2019.

MANZONI, E.; CASARIN, F.; DANDRIA, S.; DUSI, A.; GIAMELLO, M.; GIORGI, E.; GABBRIELLI, F.; MAGRINI, A.; RANDAZZO, F. **The Medieval Grange of Cuna – Siena (Italy) – Interdisciplinary studies on Masonry Structures.** In: Aguilar R., Torrealva D., Moreira S., Pando M. A., Ramos L. F. (eds) Structural Analysis of Historical Constructions. RILEM Bookseries, vol 18. Springer, Cham. 2019.

MASONRY STANDARD INSTITUTION. **Code of practice for structural use of masonry. Part 2 – Structural use of reinforced and prestressed masonry.** BS 5628-2. London. 1995.

MASONRY STANDARDS JOINT COMMITTEE. **Building code requirements for masonry structures (ACI 530/TMS 402/ASCE 5).** 2011.

MAZER, W. - **Inspeção e ensaios em estruturas de concreto.** Apucarana, 2012. UTFPR

MEOLA, C. A. **A new approach for estimation of defects detection with infrared thermography.** Measurement Science and Technology, v. 15, n. 9, p. R27-R58, 2007.

MOHAMAD, G.; LOURENÇO, P.B.; ROMAN, H.R. **Ensaio de compressão em prismas de blocos de concreto à compressão – deformabilidade e modo de ruptura.** Engenharia: Estudo e Pesquisa., Portugal, 2004.

MOTISI, M.; CASARIN, F.; RIZZI, G.; PIANON, F.; ZAMARA, A.; GOMEZ-ROBLES, L. **The Bahrain pearling path: urban planning, structural investigation and design of the strengthening interventions.** In: Aguilar R., Torrealva D., Moreira S., Pando M. A., Ramos L. F. (eds) Structural Analysis of Historical Constructions. RILEM Bookseries, vol 18. Springer, Cham. 2019.

OGDEN, G. D.; SCHULLER, M. P.; WOODHAM, D. B. **Development of a flatjack for testing high strength masonry.** 17<sup>th</sup> International Brick and Block Masonry Conference from Historical to Sustainable Masonry. Poland. 2020.

OLIVITO, R. S.; PORZIO, S.; TEDESCO, A. **An interdisciplinary approach for the seismic vulnerability assessment of historic masonry buildings: the case study of the Ex Jesuits College in Amantea (Italy).** In: Aguilar R., Torrealva D., Moreira S., Pando M. A., Ramos L. F. (eds) Structural Analysis of Historical Constructions. RILEM Bookseries, vol 18. Springer, Cham. 2019.

PARIVALLAL, S.; KESAVAN, K.; RAVISANKAR, K.; SUNDRAM, B.A.; AHMED, A.K.F. **Evaluation of in-situ stress in masonry structures by flat jack technique.** In Proceedings of the National Seminar & Exhibition on Non-destructive Evaluation, India. 8 p. 2011.

PARSEKIAN, G. A. (Org.). **Parâmetros de projeto de alvenaria estrutural com blocos de concreto.** São Carlos: EdUFSCar, 2012. v. 1. 85p.

PARSEKIAN, G. A.; BARRETO, D.; CARRILHO, M.; DOMSCHKE, V.; FONSECA, F. S. **The Sobrado Vallim Rehabilitation Project**. In: Aguilar R., Torrealva D., Moreira S., Pando M. A., Ramos L. F. (eds) *Structural Analysis of Historical Constructions*. RILEM Bookseries, vol 18. Springer, Cham. 2019.

PARSEKIAN, G. A.; HAMID, A. A.; DRYSDALE, R.G. **Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural**. 2. ed. São Carlos, Ed. EdUFSCar, 625p, 2014.

PARSEKIAN, G. A.; MELO, M. M. **Alvenaria estrutural em blocos cerâmicos: projeto, execução e controle**. 1. ed. São Paulo: O Nome da Rosa, v. 1. 245 p, 2010.

RILEM MDT.D.04: **Rilem Recommendation MDT.D.04**: In situ stress tests behavior based on the flat jack. 2004.

RILEM MDT.D.05: **Rilem Recommendation MDT.D.05**: In situ stress-strain behavior tests based on the flat jack. 2004.

RONCA, P. **New developments on the mechanical interpretation of the in-situ Flat jack test**. National Congress “La Meccanica delle Murature tra Teoria e Progetto”, University of Messina, Italy-18/20 Sept. 1996, pp. 135-143.

ROSSI, P. P. **Analysis of Mechanical Characteristics of Brick Masonry by Means of non-destructive “in Situ” Tests**. in 6<sup>th</sup> International Brick Masonry Conference. Rome. Italy. 1982.

SABBATINI, F. H. **Patologia das argamassas de revestimento – aspectos físicos**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO, 3., 1986, São Paulo. Anais... São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, p. 67-76, 1986.

SAISI, A.; TEREZONI, S.; RUCCOLO, A.; GENTILE, C. **Safety of the architectural heritage: Structural assessment of the Zuccaro’s Tower in Mantua**. In: Aguilar R., Torrealva D., Moreira S., Pando M. A., Ramos L. F. (eds) *Structural Analysis of Historical Constructions*. RILEM Bookseries, vol 18. Springer, Cham. 2019.

SORIANI, M. O. **Desenvolvimento da técnica de macacos planos na avaliação de estruturas de alvenaria com blocos vazados de concreto**.

2016. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016.

SORIANI, M. O.; PARSEKIAN, G. A.; SANCHES, E. R. **Macacos planos na avaliação de alvenarias com blocos vazados de concreto.** Revista Concreto & Construções, IBRACON v. 82, 2016.

SUPRENANT, B. C.; SCHULLER, M. P. **Nondestructive evaluation & testing of masonry structures.** 194p. The Aberdeen Group, Addison, 1994.

STANDARDS ASSOCIATIONS OF AUSTRALIA. **Masonry Structures. AS 3700.** 2ed. Sydney. 1998.

TACAS, K.; GONZALES, M.; AGUILAR, R. **Mechanical characterization of adobe constructions using flat jack tests: Case study of the Virgen de la Asunción de Sacsamarca Church.** In: Aguilar R., Torrealva D., Moreira S., Pando M. A., Ramos L. F. (eds) Structural Analysis of Historical Constructions. RILEM Bookseries, vol 18. Springer, Cham. 2019.

TORRE, S. T.; CANTINI, L.; MOIOLI, R. **Stone masonry with brick stripe courses: study on a historical building technique diffused in Brianza District.** In: Aguilar R., Torrealva D., Moreira S., Pando M. A., Ramos L. F. (eds) Structural Analysis of Historical Constructions. RILEM Bookseries, vol 18. Springer, Cham. 2019.

## 7. ANEXO

### A. Ensaio de prisma Bloco A – Pavimento Térreo

#### Determinação da Resistência Característica de Prisma Oco

Material	Prisma (14x39x39 cm) de Bloco Estrutural de Concreto.
Resistência	Fp Real 3,2 Mpa
Quantidade	06 amostras.
Local de aplicação	Bloco A – Pavimento Térreo
Procedência	Blocos Guarani
Interessado	<b>RESIDENCIAL VILA GARIBALDI.</b>

Identificação das Amostras					Dimensões Médias (mm) L x C x H	Área Bruta (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (KN)	TENSÃO DE RUPTURA f <sub>e</sub> (MPa)	
Nº.	Lote	Data Mold.	Data Ensaio	Idade					
5.392	103.351	23/08/19	20/09/19	28	140,0 x 390,0 x 390,0	54600,0	341,70	<b>6,3</b>	
5.393	103.351	23/08/19	20/09/19	28	140,0 x 390,0 x 390,0	54600,0	233,90	<b>4,3</b>	
5.394	103.351	23/08/19	20/09/19	28	140,0 x 390,0 x 390,0	54600,0	304,30	<b>5,6</b>	
5.395	103.351	23/08/19	20/09/19	28	140,0 x 390,0 x 390,0	54600,0	272,70	<b>5,0</b>	
5.396	103.351	23/08/19	20/09/19	28	140,0 x 390,0 x 390,0	54600,0	283,60	<b>5,2</b>	
5.397	103.351	23/08/19	20/09/19	28	140,0 x 390,0 x 390,0	54600,0	293,20	<b>5,4</b>	
<b>Resistência Média f<sub>em</sub></b>								<b>5,3 MPa</b>	
<b>Resistência Característica estimada f<sub>ek,est</sub></b>								<b>4,1 MPa</b>	
Avaliação da Resistência					Resistência Característica f <sub>ek,1</sub> = 4,1 MPa (Ø x fe1) = f <sub>ek,2</sub> = 3,8 MPa maior resultado entre f <sub>ek,1</sub> e f <sub>ek,2</sub> = f <sub>ek,3</sub> = 4,1 MPa 85% da Média = f <sub>ek,4</sub> = 4,5 MPa				

- Ensaio realizado pelo Método da A.B.N.T. e se refere exclusivamente ao material enviado ao Laboratório.
- Certificado de Aferição da Máquina de Ensaio à Compressão nº 18071901/RG – EMIC Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda.

## B. Ensaio de prisma Bloco A – 1º Pavimento

## Determinação da Resistência Característica de Prisma Oco

Material	Prisma (14x39x39 cm) de Bloco Estrutural de Concreto.
Resistência	Fp Real 3,2 Mpa
Quantidade	06 amostras.
Local de aplicação	Bloco A – 1º Pavimento
Procedência	Blocos Guarani
Interessado	<b>RESIDENCIAL VILA GARIBALDI.</b>

Identificação das Amostras					Dimensões Médias (mm) L x C x H	Área Bruta (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (KN)	TENSÃO DE RUPTURA $f_c$ (MPa)	
Nº.	N. Fiscal	Data Mold.	Data Ensaio	Idade					
6.049	103.957	06/09/19	08/10/19	32	140,0 x 390,0 x 390,0	54600,0	263,15	<b>4,8</b>	
6.050	103.957	06/09/19	08/10/19	32	140,0 x 390,0 x 390,0	54600,0	327,11	<b>6,0</b>	
6.051	103.957	06/09/19	08/10/19	32	140,0 x 390,0 x 390,0	54600,0	262,84	<b>4,8</b>	
6.052	103.957	06/09/19	08/10/19	32	140,0 x 390,0 x 390,0	54600,0	298,54	<b>5,5</b>	
6.053	103.957	06/09/19	08/10/19	32	140,0 x 390,0 x 390,0	54600,0	260,12	<b>4,8</b>	
6.054	103.957	06/09/19	08/10/19	32	140,0 x 390,0 x 390,0	54600,0	200,00	<b>3,7</b>	
<b>Resistência Média <math>f_{em}</math></b>								<b>4,9 MPa</b>	
<b>Resistência Característica estimada <math>f_{ek,est}</math></b>								<b>3,6 MPa</b>	
Avaliação da Resistência					Resistência Característica $f_{ek,1} = 3,6$ MPa ( $\emptyset \times f_{e1}$ ) = $f_{ek,2} = 3,3$ MPa maior resultado entre $f_{ek,1}$ e $f_{ek,2}$ = $f_{ek,3} = 3,6$ MPa 85% da Média = $f_{ek,4} = 4,2$ MPa				

- Ensaio realizado pelo Método da A.B.N.T. e se refere exclusivamente ao material enviado ao Laboratório.
- Certificado de Aferição da Máquina de Ensaio à Compressão nº 18071901/RG – EMIC Equipamentos e Sistemas de Ensaio Lt

## C. Ensaio de prisma Bloco A – 2º Pavimento

---

 Determinação da Resistência Característica de Prisma Oco
 

---

Material	Prisma (14x39x39 cm) de Bloco Estrutural de Concreto.
Resistência	Fp Real 3,2 Mpa
Quantidade	06 amostras.
Local de aplicação	Bloco A – 2º Pavimento
Procedência	Blocos Guarani
Interessado	<b>RESIDENCIAL VILA GARIBALDI.</b>

Identificação das Amostras					Dimensões Médias (mm) L x C x H	Área Bruta (mm²)	Carga de Ruptura (KN)	TENSÃO DE RUPTURA $f_c$ (MPa)
Nº	N. Fiscal	Data Mold.	Data Ensaio	Idade				
6.524	104.320	17/09/19	15/10/19	28	140,0 x 390,0 x 390,0	54600,0	240,71	<b>4,4</b>
6.525	104.320	17/09/19	15/10/19	28	140,0 x 390,0 x 390,0	54600,0	223,78	<b>4,1</b>
6.526	104.320	17/09/19	15/10/19	28	140,0 x 390,0 x 390,0	54600,0	299,86	<b>5,5</b>
6.527	104.320	17/09/19	15/10/19	28	140,0 x 390,0 x 390,0	54600,0	296,78	<b>5,4</b>
6.528	104.320	17/09/19	15/10/19	28	140,0 x 390,0 x 390,0	54600,0	239,65	<b>4,4</b>
6.529	104.320	17/09/19	15/10/19	28	140,0 x 390,0 x 390,0	54600,0	314,39	<b>5,8</b>

Resistência Média  $f_{em}$  **4,9 MPa**Resistência Característica estimada  $f_{ek,est}$  **4,1 MPa**

Avaliação da Resistência	Resistência Característica $f_{ek,1} = 4,1$ MPa ( $\bar{O} \times f_{e1}$ ) = $f_{ek,2} = 3,6$ MPa maior resultado entre $f_{ek,1}$ e $f_{ek,2} = f_{ek,3} = 4,1$ MPa 85% da Média = $f_{ek,4} = 4,2$ MPa
--------------------------	--

- Ensaio realizado pelo Método da A.B.N.T. e se refere exclusivamente ao material enviado ao Laboratório.
- Certificado de Aferição da Máquina de Ensaio à Compressão nº 18071901/RG – EMIC Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda

## D. Ensaio de prisma Bloco em todos os pavimentos

---

 Determinação da Resistência Característica de Bloco de Concreto
 

---

Material **Bloco Estrutural de Concreto - 14x19x39 cm.**  
 Resistência **fbk 4,0 Mpa.**  
 Quantidade **13 amostras.**  
 Procedência **Blocos Guarani**  
 Referência **Rastreabilidade pela Obra**  
 Interessado **RESIDENCIAL VILA GARIBALDI.**

Identificação das Amostras			Dimensões Médias (mm)				Área Bruta (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (KN)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO f b (MPa)	
Amostra	Nota Fiscal	Data Ensaio	L x C x H							
6.636	93.710	14/01/19	140,00	x	390,00	x	190,00	54600,00	587,83	10,77
6.637	93.710	14/01/19	140,00	x	390,00	x	190,00	54600,00	631,18	11,56
6.638	93.710	14/01/19	140,00	x	390,00	x	190,00	54600,00	734,52	13,45
6.639	93.710	14/01/19	140,00	x	390,00	x	190,00	54600,00	553,50	10,14
6.640	93.710	14/01/19	140,00	x	390,00	x	190,00	54600,00	618,68	11,33
6.641	93.710	14/01/19	140,00	x	390,00	x	190,00	54600,00	552,22	10,11
6.642	93.710	14/01/19	140,00	x	390,00	x	190,00	54600,00	783,81	14,36
6.643	93.710	14/01/19	140,00	x	390,00	x	190,00	54600,00	563,96	10,33
6.644	93.710	14/01/19	140,00	x	390,00	x	190,00	54600,00	780,39	14,29
6.645	93.710	14/01/19	140,00	x	390,00	x	190,00	54600,00	644,84	11,81
Resistência Média f <sub>bm</sub>									<b>11,8 MPa</b>	
Resistência Característica f <sub>bk,est</sub>									<b>9,7 MPa</b>	
Avaliação da Resistência [f <sub>b</sub> x $\psi$ ] < [f <sub>bk,est</sub> ]			Resistência Característica Estimada f <sub>bk,est</sub> = 9,3 MPa							
			Menor Resistência (f <sub>b</sub> ) x ( $\psi$ ) = 9,7 MPa							

- Certificado de Aferição da Máquina de Ensaio à Compressão nº 18071901/RG – EMIC Equipamentos e Sistemas de Ensaio Lt