

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**INFLUÊNCIA DA ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO NO  
COMPORTAMENTO DE PRISMAS ESTRUTURAIS DE BLOCOS  
VAZADOS DE CONCRETO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO  
2017**

GABRIELA SPILLER BELLO DOS SANTOS

**INFLUÊNCIA DA ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO NO  
COMPORTAMENTO DE PRISMAS ESTRUTURAIS DE BLOCOS  
VAZADOS DE CONCRETO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para a conclusão do curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – *Câmpus* Pato Branco.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Caroline Anguslki da Luz.

PATO RANCO

2017



## TERMO DE APROVAÇÃO

### INFLUÊNCIA DA ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO NO COMPORTAMENTO DE PRISMAS ESTRUTURAIS COM BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO

#### **Gabriela Spiller Bello Dos Santos**

No dia 24 de novembro de 2017, às 14h45min, na SALA Q 002 da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após argüição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná– UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº45-TCC/2017.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. CAROLINE ANGULSKI DA LUZ (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof<sup>a</sup> Msc. ELOISE APARECIDA LANGARO (DACOC/UTFPR-PB))

Membro 2 da Banca: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. PAÔLA REGINA DALCANAL (DACOC/UTFPR-PB))

## RESUMO

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo no qual a alvenaria exerce, também, a função de suporte no edifício e mesmo sendo uma técnica relativamente antiga, é um campo que ainda apresenta um grande déficit de pesquisas especializadas. Para mudar esse cenário, é preciso conhecer o desempenho da alvenaria estrutural, avaliando seu desempenho mecânico e distinguindo a influência de cada componente envolvido (SILVA, 2004). Assim, este trabalho objetivou determinar a influência da argamassa de assentamento no comportamento de prismas estruturais com blocos vazados de concreto, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico deste sistema construtivo. Para isto, foram avaliados três tipos de argamassa de assentamento, produzidas com diferentes relações a/c e diferentes teores de aglomerantes (cimento e cal), visando avaliar a influência da sua capacidade de deformação e sua resistência mecânica no comportamento dos prismas. Foi possível, então, concluir que argamassas mistas (com cal), produzem misturas mais fracas e mais deformáveis e, conseqüentemente, prismas com menor capacidade de suporte e maior capacidade de deformação. Já as argamassas de cimento, mais resistentes e menos deformáveis, produzem prismas com maior capacidade de suporte e menor capacidade de deformação. Contudo, o acréscimo de resistência dos prismas com o aumento da resistência das argamassas não é significativo, mas é aproximadamente linear.

**Palavras-chave:** Argamassa de assentamento. Capacidade de deformação. Prismas estruturais. Resistência à compressão.

## ABSTRACT

The structural masonry is a constructive system in which masonry exerts, also, the support function in the building and even though it is a relatively old technique, it is a field that still presents a great deficit of specialized research. To change this scenario, it is necessary to know the performance of the structural masonry, evaluating its mechanical performance and distinguishing the influence of each component involved (SILVA, 2004). Like this, the purpose of this work was to determine the influence of mortar laying on the behavior of structural prisms with cast concrete blocks, contributing to the technological development of this constructive system. For this, three types of laying mortar, produced with different a/c ratios and different binder contents (cement and lime), were evaluated in order to evaluate the influence of their deformation capacity and their mechanical resistance on the behavior of the prisms. It was possible, then, to conclude that mixed mortars (with lime), produce weaker and more deformable mixtures and, consequently, prisms with lower bearing capacity and greater deformation capacity. However, cement mortars, which are more resistant and less deformable, produce prisms with higher bearing capacity and less deformation capacity. Though, the increase in resistance of the prisms with increasing mortars resistance is not significant, but is approximately linear.

**Keywords:** Compressive strength. Deformation capacity. Laying mortar. Structural prisms.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Edifício Monadnock em Chicago (1891) .....	17
Figura 2 - Ensaio de compressão de prismas .....	21
Figura 3 - Casa de tijolo, Rio de Contas, Bahia.....	24
Figura 4 - Bloco de concreto .....	26
Figura 5 - Dimensões tridimensionais dos blocos vazados de concreto .....	28
Figura 6 - Dimensões bidimensionais dos blocos vazados de concreto .....	29
Figura 7 - Grauteamento .....	35
Figura 8 - (a) Prisma com bloco de concreto. (b) Mini parede de blocos de concreto...37	
Figura 9 - (a) Prisma oco. (b) Prisma cheio.....	37
Figura 10 - Estado de tensões nos prismas quando submetidos a carga de compressão axial .....	38
Figura 11 - Ruptura do conjunto bloco argamassa.....	40
Figura 12 - Módulo tangencial e módulo secante.....	42
Figura 13 - Curva tensão x deformação .....	43
Figura 14 - Capeamento dos blocos. (a) Jornal úmido para receber a pasta. (b) Capeamento de um dos lados dos blocos. (c) Bloco com os dois lados capeados ..	46
Figura 15 - Ensaio de compressão axial dos blocos .....	46
Figura 16 - Aditivo .....	50
Figura 17 - Balança eletrônica de bancada .....	51
Figura 18 - (a) Misturador mecânico Pavitest. (b) Cuba de aço (capacidade de 5 litros) e pá de metal.....	51
Figura 19 - Índice de consistência. (a) Tronco de cone preenchido de argamassa. (b) Espalhamento .....	52
Figura 20 - Molde prismático de argamassa .....	53
Figura 21 - Moldagem das argamassas .....	51
Figura 22 - Argamassas desmoldadas – primeira etapa .....	51
Figura 23 - Rompimento argamassas testes.....	55
Figura 24 - Argamassa moldadas .....	60
Figura 25 - Argamassas desmoldadas – segunda etapa .....	61
Figura 26 - Ensaio de traço na flexão das argamassas .....	62
Figura 27 - Corpos de prova de argamassa partidos ao meio pelo ensaio de tração na flexão.....	62

Figura 28 - Nove prismas assentados.....	67
Figura 29 - Verificação do nível do prisma .....	68
Figura 30 - Verificação do prumo do prisma.....	68
Figura 31 - Adaptação na prensa.....	69
Figura 32 - Ruptura dos prismas. (a)P2'1. (b) P1'2. (c) P3'6.....	79
Figura 33 - Umedecimento dos jornais.....	92
Figura 34 - Blocos sobre a pasta.....	92
Figura 35 - Conferência do nível dos blocos durante o capeamento .....	93
Figura 36 – Balança .....	94
Figura 37 – Pesagem dos materiais. (a) Cimento (b) Cal (c) Areia .....	94
Figura 38 – Estufa.....	96
Figura 39 - Amostra de areia.....	96
Figura 40 – (a) Peneiras em ordem decrescente. (b) Misturador mecânico.....	97
Figura 41 - Balança eletrônica de bancada .....	98
Figura 42 - Molde tronco-cônico.....	102
Figura 43 - Soquete para uso de preparação de amostras .....	102
Figura 44 - Mesa para índice de consistência .....	102
Figura 45 - Ensaio de índice de consistência. (a) Molde tronco cônico preenchido. .....	103
Figura 46 - Simulação de uma viga biapoiada .....	107
Figura 47 - Assentamento dos prismas.....	113
Figura 48 - P1'1, fissuração.....	119
Figura 49 - P1'1, fissuração lateral.....	119
Figura 50 - P2'1, fissuração traseira.....	120
Figura 51 - P2'1, colapso do bloco inferior .....	120
Figura 52 - P2'1, orifício bloco superior.....	120
Figura 53 - P3'1. (a) Orifício lado esquerdo (b) Fissuração traseira (c) Orifício lado direito .....	121
Figura 54 - P1'2, fissuras traseiras.....	122
Figura 55 - P2'2. (a) Fissuras frontais (b) Zoom da figura (a).....	122
Figura 56 - P2'2, fissuras traseiras.....	123
Figura 57 - P2'2 - Colapso parcial do bloco inferior.....	123
Figura 58 - P3'2. (a) Fissurações frontais iniciais. (b) Deslocamento do concreto do bloco.....	124

Figura 59 - P1'6, fissuras traseiras.....	125
Figura 60 - P2'6. (a) Fissuras frontais. (b) Fissuras traseiras.....	125
Figura 61 - P3'6, fissuras frontais.....	126



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensões padronizadas dos blocos vazados de concreto (NBR 6136) .	27
Tabela 2 - Espessura de paredes e resistência mínimas dos blocos (NBR 6136) ....	27
Tabela 3 - Traços de argamassas de assentamento recomendados pela norma inglesa BSI -5628 .....	32
Tabela 4 - Traços de argamassas de assentamento recomendados pela norma americana ASTM C - 270 .....	33
Tabela 5 - Resistências dos blocos.....	47
Tabela 6 - Características dos blocos utilizados .....	47
Tabela 7 – Especificações cimento Portland.....	48
Tabela 8 - Resumo das características da areia .....	48
Tabela 9 - Traços escolhidos para o ensaio teste .....	50
Tabela 10 - Resumo dos traços escolhidos.....	58
Tabela 11 - Traços utilizados no ensaio .....	58
Tabela 12 - Resumo das amostras de argamassa.....	61
Tabela 13 - Resumo das argamassas dos ensaios.....	64
Tabela 14 - Resumo do TD das argamassas .....	67
Tabela 15 - Resumo das amostras de prismas .....	69
Tabela 16 - Análise gráfica inicial.....	71
Tabela 17 - Análise gráfica posterior.....	71
Tabela 18 - Variação de resistência dos prismas.....	72
Tabela 19 - TD <sub>médio</sub> prismas.....	76
Tabela 20 - Massa unitária cimento .....	95
Tabela 21 - Massa mínima por amostra de ensaio .....	96
Tabela 22 - Conjunto de peneiras (abertura nominal) .....	97
Tabela 23 - Granulometria da areia.....	98
Tabela 24 - Limites de distribuição granulométrica do agregado miúdo .....	99
Tabela 25 - Fator x .....	100
Tabela 26 - Quantidade de material em L .....	101
Tabela 27 - Quantidade de material em g .....	101
Tabela 28 - Cálculo da resistência à tração na flexão das argamassas.....	108
Tabela 29 – Obtenção do comportamento tensão x deformação das argamassas.	112
Tabela 30 - Obtenção do comportamento tensão x deformação dos prismas .....	118

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Variação nas propriedades de uma argamassa, com a alteração da composição relativa de cimento e cal.....	30
---	----

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Distribuição granulométrica da areia .....	49
Gráfico 2 - Ensaio de índice de consistência teste – Média .....	52
Gráfico 3 - Ensaio de compressão axial das argamassas testes - Média .....	55
Gráfico 4 - Deformação argamassas testes - Traços 1 e 2 .....	56
Gráfico 5 - Deformação argamassas testes - Traços 3 e 4 .....	56
Gráfico 6 - Deformação argamassas testes - Traços 5, 6 e 7 .....	57
Gráfico 7 - Média dos índices de consistência – Ensaio .....	59
Gráfico 8 - Ensaio de tração na flexão das argamassas .....	63
Gráfico 9 - Média das resistências das argamassas - Ensaio .....	63
Gráfico 10 - Deformação argamassas - Traço 1 .....	65
Gráfico 11 - Deformação argamassas - Traço 2 .....	65
Gráfico 12 - Deformação argamassas - Traço 6 .....	65
Gráfico 13 - Resistência à compressão dos prismas .....	70
Gráfico 14 - Comparação resistência argamassa x prisma .....	72
Gráfico 15 - Linearidade entre a resistência de prismas e argamassas .....	73
Gráfico 16 - Deformação prismas – Análise inicial .....	74
Gráfico 17 - Deformação prismas - Análise posterior .....	75
Gráfico 18 - Comparação TD argamassa x prisma .....	77
Gráfico 19 - Relação TD argamassas x Resistência Prismas .....	77
Gráfico 20 - Carga admissível da parede estrutural .....	81
Gráfico 21 - Ensaio de índice de consistência teste – 1 .....	103
Gráfico 22 - Ensaio de índice de consistência teste – 2 .....	104
Gráfico 23 - Ensaio de compressão axial das argamassas testes - 1 .....	104
Gráfico 24 - Ensaio de compressão axial das argamassas testes - 2 .....	105
Gráfico 25 - Resistência à compressão axial das argamassas .....	108
Gráfico 26 - Média das resistências à compressão das argamassas .....	109

## LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
A.C.	Antes de Cristo
cm <sup>3</sup>	Centímetro cúbico
g	Gramma
Kg	Quilograma
Kgf	Quilograma-força
KN	Kilonewtons
L	Litro
MPa	MegaPascal
mm	Milímetro
mm <sup>2</sup>	Milímetro quadrado
mm <sup>3</sup>	Milímetro cúbico
N	Newtons
Pr	Paraná
Tf	Tonelada-força

## LISTA DE SÍMBOLOS

$A_{br}$	Área bruta do bloco vazado de concreto
$A_{liq}$	Área líquida do bloco vazado de concreto
$A_{vazios}$	Área dos vazios do bloco vazado de concreto
$A$	Área da seção transversal à aplicação da força
$a/c$	Relação água cimento
$b$	Largura da base do bloco vazado de concreto
$C$	Altura da base do bloco vazado de concreto
$^{\circ}C$	Grau Celsius
$E$	Módulo de Young ou módulo de elasticidade
$f_p$	Resistência média dos prismas
$F$	Força vertical aplicada
$F_f$	Força aplicada no centro do corpo de prova de argamassa
$h$	Altura da parede estrutural
$L$	Distância entre os suportes
$L_i$	Comprimento inicial
$m_{ar}^1$	Massa do recipiente mais agregado para a primeira medida
$m_{ar}^2$	Massa do recipiente mais agregado para a segunda medida
$m_{ar}^3$	Massa do recipiente mais agregado para a terceira medida
$m_{ar}$	Media das massas $m_{ar}^1$ , $m_{ar}^2$ , $m_{ar}^3$
$m_r$	Massa do recipiente
$P_{adm}$	Carga admissível da parede
$\rho_{ar}$	Massa unitária
$R_f$	Resistência à tração na flexão
$t$	Espessura efetiva
TD	Comportamento tensão x deformação

$V$	Volume do recipiente
$Qde_{arg}$	Quantidade de argamassa, em litros
$\sum Traço$	Somatório do traço
$\phi$	Diâmetro
$\sigma$	Tensão
$\sigma_1$	Nível específico de tensão 1
$\sigma_2$	Nível específico de tensão 2
$\Delta L$	Variação do comprimento
$\varepsilon$	Deformação elástica longitudinal
%	Porcentagem

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
1.1 OBJETIVOS .....	18
1.1.1 Objetivo Geral .....	18
1.1.2 Objetivos Específicos.....	18
1.2 JUSTIFICATIVA .....	19
<b>2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO .....</b>	<b>22</b>
2.1 ALVENARIA ESTRUTURAL .....	22
2.1.1 Histórico.....	23
2.1.1.1 No Brasil.....	24
2.2 ELEMENTOS CONSTITUINTES DA ALVENARIA ESTRUTURAL.....	25
2.2.1 Unidades.....	25
2.2.1.1 Blocos vazados de concreto.....	26
2.2.2 Argamassa.....	29
2.2.2.1 Sugestões de traços.....	32
2.2.3 Graute .....	34
2.3 ENSAIOS DE COMPRESSÃO AXIAL DA ALVENARIA ESTRUTURAL .....	35
2.3.1 Prismas .....	37
2.3.2 Mecanismo De Ruptura .....	38
2.3.3 Carga Admissível Da Parede Estrutural .....	40
2.4 CAPACIDADE DE DEFORMAÇÃO.....	41
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>45</b>
3.1 MATERIAIS .....	45
3.1.1 Blocos Vazados De Concreto .....	45
3.1.2 Argamassas .....	47
3.1.2.1 Cimento Portland CP II Z.....	46
3.1.2.2 Areia.....	47
3.1.2.3 Cal hidratada.....	48
3.1.2.4 Aditivo.....	48
3.2 MÉTODOS .....	50
3.2.1 Primeira Etapa: Ensaio Testes.....	50
3.2.1.1 Determinação dos traços.....	48
3.2.1.2 Produção das argamassas testes.....	49

3.2.1.2.1 Mistura dos materiais.....	49
3.2.1.2.2 Ensaio do índice de consistência.....	50
3.2.1.2.3 Moldagem.....	51
3.2.1.2.4 Resistência à compressão.....	53
3.2.1.2.5 Obtenção das deformações.....	54
3.2.2 Escolha Dos Traços e Blocos .....	57
3.2.3 Segunda Etapa: Assentamento dos prismas .....	58
3.2.3.1 Produção das argamassas .....	57
3.2.3.1.1 Mistura dos materiais.....	57
3.2.3.1.2 Ensaio do índice de consistência.....	58
3.2.3.1.3 Moldagem.....	58
3.2.3.1.4 Resistência à compressão.....	59
3.2.3.1.5 Obtenção das deformações.....	63
3.2.3.2 Assentamento dos prismas.....	65
3.2.3.3 Rompimento dos prismas.....	67
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>70</b>
4.1 PARAMÊTROS DOS PRISMAS.....	70
4.1.1 Obtenção Da Resistência À Compressão.....	70
4.1.2 Obtenção Das Deformações.....	73
4.1.3 Modo de ruptura.....	78
4.2 OBTENÇÃO DA CARGA ADMISSÍVEL DA PAREDE ESTRUTURAL.....	79
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>82</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>84</b>
<b>APÊNDICE A – CAPEAMENTO DOS BLOCOS.....</b>	<b>89</b>
<b>APÊNDICE B – CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS .....</b>	<b>91</b>
<b>APÊNDICE C –TRANSFORMAÇÕES DOS TRAÇOS.....</b>	<b>97</b>
<b>APÊNDICE D –PARÂMETROS DAS ARGAMASSAS DO ENSAIO TESTE</b>	
<b>(PRIMEIRA ETAPA) .....</b>	<b>99</b>
<b>APÊNDICE E –PARÂMETROS DAS ARGAMASSAS DO ENSAIO</b>	
<b>(SEGUNDA ETAPA).....</b>	<b>103</b>
<b>APÊNDICE F –PARÂMETROS DOS PRISMAS .....</b>	<b>110</b>
<b>APÊNDICE G –MODO DE RUPTURA DOS PRISMAS .....</b>	<b>116</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo no qual os elementos que fazem a sustentação do edifício são de alvenaria (CAMACHO, 2006).

Embora seja uma técnica relativamente antiga, com registros datados de 4500 A.C., conforme mostra Sinha (2002), a alvenaria estrutural é um campo que ainda apresenta um grande déficit de profissionais especializados, seja na área de projetos ou de execução.

A carência de pessoas capacitadas, pode ser explicada pela ótica na qual a alvenaria estrutural ficou conhecida: sistema construtivo destinado ao segmento popular, o qual caracteriza a maior parcela de empreendimentos no Brasil (TAUIL; RUBENS, 2015), que se contrapõe ao seu emprego original: 'Estrutura-Suporte para Edifícios Altos', como é o caso do Farol de Alexandria, com 183 metros de altura (BASTOS, 1993).

As construções mais arcaicas em alvenaria estrutural foram dimensionadas empiricamente, sem nenhum conhecimento científico conhecido (BASTOS, 1993). Um caso considerado símbolo desse empirismo, é o edifício Monadnock, construído em Chicago em 1891. Essa edificação, possui 16 andares e 65 metros de comprimento, exigindo paredes de 1,8 metros no térreo e 46 centímetros na parte superior, como ilustra a Figura 1 (ARCHINFORM, 2017).



**Figura 1 - Edifício Monadnock em Chicago (1891)**  
Fonte: (STRUCTURAE, 2017).

O edifício Monadnock foi a última grande obra dimensionada em alvenaria estrutural sem nenhum conhecimento científico sobre suas propriedades mecânicas

(BARBOSA, 2004).

Segundo Barbosa (2004), a resistência da argamassa influencia diretamente a resistência da alvenaria, e seu módulo de deformação está diretamente ligado a forma de ruptura da parede, já que a ruína ocorre devido à diferença de deformações entre os elementos constituintes.

Camacho (2006) cita que, conforme a resistência do bloco aumenta, a argamassa passa a exercer importante influencia na resistência final da alvenaria. Já Mata (2006), afirma que o aumento da resistência à compressão da alvenaria com o aumento da resistência da argamassa, é pouco significativo.

Para explicar as divergências de opiniões de Barbosa (2004), Camacho (2006) e Mata (2006), este trabalho visa conhecer a influência da argamassa de assentamento no comportamento dos prismas (elemento que une blocos vazados de concreto com argamassa), para assim, conhecer o comportamento da parede estrutural, quando submetida a cargas verticais de compressão, seguindo a NBR 10837 (1989).

O trabalho foi estruturado em capítulos: o primeiro contendo a introdução ao tema, justificativa, objetivo geral e objetivos específicos; o segundo contemplando uma revisão bibliográfica com os principais conceitos de alvenaria estrutural, blocos de concreto, argamassa, primas e seu modelo de compressão e carga admissível da parede estrutural; o terceiro explicando os materiais e a metodologia utilizada no experimento; o quarto apresentando uma análise dos resultados obtidos e, por fim, no último capítulo, expondo a conclusão obtida.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Determinar a influência da argamassa de assentamento no comportamento mecânico de prismas estruturais de blocos vazados de concreto.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a influência do material constituinte da argamassa de assentamento (e seu proporcionamento) na resistência dos prismas;

- Relacionar a resistência e a capacidade de deformação da argamassa de assentamento com o comportamento estrutural dos prismas;
- Analisar as implicações do emprego de argamassas de assentamento com resistências próximas e superiores às do bloco estrutural.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A alvenaria estrutural é um sistema composto pela união de dois materiais (bloco e argamassa) dispostos em camadas, o qual está, principalmente, exposto aos esforços de compressão. Para um bom desempenho deste sistema, faz-se necessário uma correta interação entre cada elemento e suas camadas (VERMELTFOORT, 2005).

De fato, para uma escolha satisfatória desses materiais, é preciso levar em consideração o comportamento individual dos mesmos e sua interferência no desempenho estrutural da alvenaria (MARGALHA, 2011). Portanto, não só é importante conhecer as propriedades dos materiais que potencializam a resistência da alvenaria, mas também assegurar que as edificações não sejam comprometidas pelos desvios naturais da produção de argamassa em obra (DAFCO, *et al.*, 2009).

Para conhecer o desempenho da alvenaria estrutural, é preciso realizar uma avaliação de seu desempenho mecânico, tornando-se necessário distinguir a influência de cada componente envolvido (SILVA, 2004).

O conhecimento sobre a interferência da resistência e da capacidade de deformação da argamassa, alterando-se as proporções de cada material que a compõe, no comportamento da edificação e a obtenção da carga admissível da parede mediante as resistências obtidas pelos prismas, estabelece a importância deste trabalho.

As divergências encontradas em outros estudos relacionados a interferência estrutural da argamassa na alvenaria, fundamentam a procura por respostas neste segmento, principalmente por não haver informações suficientes sobre como ocorre essa influência. Por isso, esta pesquisa busca esclarecer tais divergências, contribuindo assim, para o desenvolvimento tecnológico deste sistema construtivo.

O desempenho estrutural dos blocos de concreto, quando relacionado aos esforços de compressão, é superior a outros tipos de blocos e, portanto, permitem

construções com um número maior de pavimentos (CORRÊA, 2017). Logo, um estudo relacionado a este tipo de material possui maior relevância no âmbito estrutural de edifícios altos.

A resistência mecânica das argamassas é influenciada por diversos fatores. Dentre os mais notáveis, os quais tomou-se como critério para a definição dos traços, estão a adição de cal na mistura que, conforme Silva e Campiteli (2006), aumenta consideravelmente o índice de vazios da argamassa, provocando uma redução de sua resistência à compressão e um aumento da sua capacidade de deformação e, segundo Mohamad, et al., (2009), a relação água cimento ( $a/c$ ), muitas vezes negligenciada nas especificações dos traços.

As normas inglesa (BSI – 5628) e americana (ASTM C – 270), oferecem uma base bibliográfica para a escolha do traço das argamassas de assentamento para alvenaria estrutural, porém, não determinam a atuação deste elemento no desempenho estrutural<sup>1</sup> do sistema. Por isso, essa publicação pretende conceder subsídios para definições de projeto quanto a adoção da argamassa de assentamento empregada.

Para a determinação da resistência da parede estrutural, realiza-se o chamado ‘Ensaio de compressão de paredes’, que oferece maior precisão dos resultados, mas, sua execução o torna inviável, pois requer protótipos em tamanho real (GOMES, 2001). Então, como alternativa, utiliza-se o ensaio de compressão de prismas, apresentado na Figura 2, que além de econômico, possui tamanho adequado aos laboratórios e máquinas disponíveis, possibilitando o experimento (GOMES, 2001).

---

<sup>1</sup> Entende-se por desempenho estrutural, a capacidade resistente da parede aos esforços de compressão e sua capacidade de deformação.



**Figura 2 - Ensaio de compressão de prismas**  
**Fonte: (POLITÉCNICA ENGENHARIA, 2017).**

O acesso às normas que regulamentam os ensaios e a disponibilidade dos materiais em laboratório, possibilitam a caracterização de como e quanto a resistência da argamassa pode ser capaz de alterar a capacidade de suporte de uma edificação e justifica a viabilidade deste trabalho, que, além disso, pode oferecer subsídios científicos para o correto emprego da argamassa no levantamento da alvenaria estrutural.

## 2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

### 2.1 ALVENARIA ESTRUTURAL

A alvenaria estrutural é caracterizada por dispensar materiais usuais, como o concreto armado, possibilitando um processo construtivo mais simplificado, produtivo e racionalizado, o que permite construções cada vez mais econômicas e de qualidade (ROMAM; FILHO, 2017). Segundo Gomes (2001), esse sistema pode gerar uma economia global de até 30% quando comparado aos outros sistemas construtivos.

Na alvenaria estrutural, as paredes além de possuírem a função de vedação e divisão de ambientes, como na alvenaria convencional, são responsáveis pela transferência de cargas da superestrutura para as fundações, dispensando elementos de suporte, como vigas e pilares (GOMES, 2001).

Sendo assim, os elementos que compõe a alvenaria estrutural, devem resistir às cargas horizontais e verticais que atuam na edificação. Contudo, por apresentar uma baixa resistência à ação das cargas horizontais, deve-se dar prioridade a investigação do comportamento à compressão, para suprir a baixa resistência à tração (GOMES, 2001).

Segundo Camacho (2006), existem, basicamente, quatro classificações para a alvenaria estrutural quanto ao sistema construtivo:

- **Alvenaria estrutural armada:** quando a alvenaria precisa ser reforçada com armadura passiva de aço para resistir aos esforços de tração. As armaduras são aplicadas nas cavidades dos blocos, preenchidos posteriormente, com graute (CAMACHO, 2006).
- **Alvenaria estrutural não armada:** quando a alvenaria resiste aos esforços de tração sem precisar do reforço de uma armadura passiva de aço (CAMACHO, 2006). Esse sistema construtivo é o foco deste trabalho.
- **Alvenaria estrutural parcialmente armada:** é uma definição empregada apenas no Brasil, e refere-se a alvenarias que possuem parte de seus elementos armados e parte não (CAMACHO, 2006).
- **Alvenaria estrutural protendida:** quando a alvenaria precisa ser reforçada com armadura ativa de aço, para resistir aos esforços de tração (CAMACHO, 2006). Esse sistema é pouco utilizado do Brasil, por demandar

um maior investimento econômico por parte dos construtores e por precisar de materiais, mão-de-obra e equipamentos especiais (TAUIL; NESE, 2010), embora seja um sistema qualificado para resistir aos esforços dos ventos e das cargas acidentais (TAUIL; NESE, 2010).

Seja qual for o sistema construtivo adotado para a construção da alvenaria, deve-se ter em mente que seu desempenho é intensamente afetado pela forma de execução e, portanto, exige constante controle e inspeção, tanto de materiais quanto de mão-de-obra (BASTOS, 1993), e como qualquer outro sistema construtivo, exige minucioso planejamento e detalhamento (MEDEIROS; SABBATINI, 1993).

### 2.1.1 Histórico

A alvenaria como elemento de suporte teve origem ainda na Pré-história, onde além de residências, eram também construídas pontes, torres e igrejas baseadas neste processo de construção (CALÇADA, 1998).

As paredes, no entanto, eram levantadas sem nenhum conhecimento científico e possuíam grandes espessuras (CAVALHEIRO, 2013). A técnica empírica utilizada, era a de 'empilhamento de pedra sobre pedra', que não possuía nenhum aperfeiçoamento específico (BARBOSA, 2004).

No Brasil, um dos motivos mais influentes desse desconhecimento, segundo Camacho (1986), foi a inversão da metodologia empregada, pois primeiro vieram as construções e depois as pesquisas, quando, para um melhor funcionamento do sistema, o esperado é que sejam feitas várias investigações e pesquisas científicas, antes de sua implantação.

No final do século XIX, começam a surgir novos métodos de construção, mais baratos e que possibilitavam ganho de espaço na edificação, como o concreto e o aço, resultando na relegação a segundo plano da alvenaria estrutural (CAVALHEIRO, 2013).

Porém, em meados do século XX, começam a se desenvolver pesquisas sobre novas técnicas construtivas racionalizadas, que permitiriam a criação de normas para o cálculo das espessuras das paredes e também para a resistência das alvenarias (CAMACHO, 2006). Foi então, que a 'construção civil' se tornava a 'indústria da construção civil' (MOTA, 2001). Tais pesquisas foram aperfeiçoadas por intensas análises experimentais durante os anos de 1960 e 1970, o que possibilitou um grande

avanço na qualidade de cálculo, controle e execução da alvenaria estrutural nos Estados Unidos, Inglaterra, Alemanha e muitos outros países (CAVALHEIRO, 2013).

Medeiros e Sabbatini (1993), estimaram que mais de dois terços de toda a alvenaria dos Estados Unidos, eram feitas com blocos de concreto.

Um edifício construído na Suíça, na década de 1950, pelo engenheiro Paul Haller, com 13 pavimentos, foi o grande marco da alvenaria estrutural não-armada, baseada em conhecimentos científicos (BARBOSA, 2004). Esta edificação foi a pioneira na obtenção da estabilidade da estrutura, considerando a atuação das cargas horizontais, onde foram empregadas paredes de contraventamento, que reduziam substancialmente a dimensão das paredes estruturais (MOTA, 2001).

#### 2.1.1.1 No Brasil

No Brasil, esse processo construtivo se iniciou no período colonial com o emprego da pedra, tijolo de barro cru e taipa de pilão, como ilustra a Figura 3 (CAVALHEIRO, 2013).



**Figura 3 - Casa de tijolo, Rio de Contas, Bahia**  
Fonte: (ALVENARIA DE ADOBE, 2017).

As primeiras pesquisas de origem brasileira ocorreram na década de 30 e tiveram como principal enfoque os elementos cerâmicos (JÚNIOR, 1986).

Até os anos de 1920, com a instalação da indústria de cimento Portland no Brasil, com o amplo emprego das estruturas de aço na Europa e com a facilidade de importação, as produções de alvenaria, no Brasil, se restringiam à alvenaria de vedação (CAVALHEIRO, 2013).

A partir de 1960, os blocos vazados de concreto começam a ser introduzidos no país, com produção totalmente embasada em normas americanas (CAVALHEIRO, 2013).

Hoje, a alvenaria estrutural está altamente disseminada no Brasil, e já conta



com inúmeras normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para cálculo, execução e controle de obras, que possibilitam a construção de edifícios de 10 a 20 pavimentos em alvenaria estrutural armada (CAVALHEIRO, 2013). A continuidade dessa disseminação é assegurada pelo nascimento de novas equipes de pesquisa e fabricantes de blocos estruturais (CAVALHEIRO, 2013).

## 2.2 ELEMENTOS CONSTITUINTES DA ALVENARIA ESTRUTURAL

Os principais elementos constituintes da alvenaria estrutural são as unidades (tijolos ou blocos), a argamassa e o graute (CAMACHO, 2006). A principal propriedade desses elementos e comum a todos eles, é a resistência mecânica, ou seja, a capacidade que cada componente possui de resistir aos esforços atuantes na estrutura (SILVA, 2004).

O desempenho mecânico da alvenaria como um todo, depende do desempenho de cada material que a constitui, logo, o conhecimento sobre cada material e sua influência é de extrema importância, tanto no projeto quanto na execução desse sistema construtivo (ROMAN, 1998). A especificação correta dos elementos, pode prevenir patologias e também evitar o colapso da edificação (ROMAN, 1998).

### 2.2.1 Unidades

As unidades são os componentes mais importantes e resistentes da alvenaria (MEDEIROS; SABBATINI, 1993), e oferecem toda a sustentação necessária à alvenaria estrutural (CAMACHO, 2006).

As unidades são chamadas de tijolos quando suas dimensões não excedem 250 (comprimento) x 120 (largura) x 55 (altura) [mm<sup>3</sup>]. Para dimensões superiores, as unidades são chamadas de blocos (GOMES, 2001).

Os tijolos ou blocos podem ser cerâmicos, de concreto, sílico-calcáreos, entre outros materiais (CAMACHO, 2006).

A resistência das unidades, é o indicador determinante de um projeto de alvenaria estrutural, obtida, geralmente, a partir da área bruta ( $A_{br}$ )<sup>2</sup> (BARBOSA,

---

<sup>2</sup> Segundo a NBR 6136 (2016a), área bruta é a área da seção perpendicular ao eixo dos furos, sem desconto das áreas dos vazios.

2004).

### 2.2.1.1 Blocos vazados de concreto

Os blocos vazados de concreto, como o mostrado na Figura 4, são definidos por Medeiros e Sabbatini (1993) como sendo unidades obtidas pela combinação de cimento Portland, água e agregados (grãos e miúdos)<sup>3</sup>, que posteriormente a mistura, são prensados e vibrados.



**Figura 4 - Bloco de concreto**  
Fonte: (BARBOSA, 2004).

O adjetivo vazado, inseriu-se de forma muito eficiente na denominação dos blocos de concreto para alvenaria estrutural, pois proporcionou uma menor carga por metro quadrado e possibilitou uma maior agilidade no processo construtivo (MOTA, 2001).

Os blocos vazados de concreto, com e sem função estrutural, são normatizados pela NBR 6136 (2016a), que os define como um “elemento para execução de alvenaria, vazado nas faces superior e inferior, cuja área líquida<sup>4</sup> é igual ou inferior a 75% da área bruta”.

Os blocos de concreto são encontrados no mercado com uma enorme variedade de dimensões e texturas (MEDEIROS; SABBATINI, 1993). As dimensões de mercado, indicadas na Tabela 1, são chamadas de nominais, correspondem às medidas reais dos blocos (aquelas produzidas pelos fabricantes) e são normatizadas

---

<sup>3</sup> Segundo a NBR 7211 (2009), agregado miúdo refere-se ao agregado que passa pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e agregado graúdo, faz referências aos agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm.

<sup>4</sup> Segundo a NBR 6136 (2016a), área líquida é a área média da seção perpendicular aos furos, descontadas as áreas médias dos vazios.

pela NBR 6136 (2016a).

**Tabela 1 - Dimensões padronizadas dos blocos vazados de concreto (NBR 6136)**

Família	Dimensões nominais (mm)		
	Largura	Altura	Comprimento
20 x 40	190	190	390
15 x 40	140		390
15 x 30			290
12,5 x 40	115		390
12,5 x 25			240
12,5 x 37,5			365
10 x 40	90		390
10 x 30			290
7,5 x 40	65		390

Adaptado de: (ABNT, 2016a).

As espessuras e resistências mínimas dos blocos vazados de concreto para alvenaria estrutural, exigidos pela NBR 6136 (2016a), são mostradas na Tabela 2.

**Tabela 2 - Espessura de paredes e resistência mínimas dos blocos (NBR 6136)**

Designação	Largura nominal (mm)	Paredes longitudinais <sup>(1)</sup> (mm)	Paredes transversais		Resistência à compressão axial (MPa) <sup>(3)</sup>
			Paredes <sup>(1)</sup> (mm)	Espessura equivalente <sup>(2)</sup> (mm/m)	
A	190	32	25	188	≥8
	140	25	25	188	
B	190	32	25	188	4 a 8
	140	25	25	188	
C	190	18	18	135	≥3
	140	18	18	135	

Adaptado de: (ABNT, 2016a).

(1) Média das medidas das paredes tomadas no ponto mais estreito.

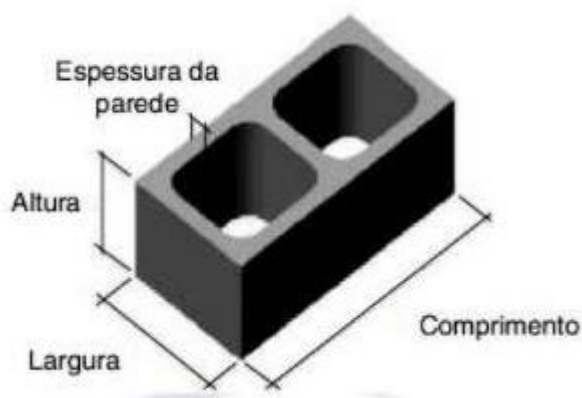
(2) Soma das espessuras de todas as paredes transversais aos blocos (em mm), dividida pelo comprimento nominal do bloco (em metros lineares).

(3) Obtida aos 28 dias.

Para aplicação abaixo do nível do solo, devem ser empregados os blocos de classe A (ABNT, 2016a). Os blocos de classe C devem ser empregados para alvenaria de vedação, permitindo-se o uso para alvenaria estrutural de no máximo um pavimento, blocos de classe C com largura de 90 mm, para alvenaria estrutural de no

máximo dois pavimentos, blocos de classe C com largura de 115 mm e para alvenaria estrutural de até 5 pavimentos, blocos de classe C com largura de 140 e 190 mm (ABNT, 2016a).

A Figura 5 exemplifica as dimensões mencionadas nas Tabelas 1 e 2.



**Figura 5 - Dimensões tridimensionais dos blocos vazados de concreto**  
Fonte: (ABNT, 2016a).

Os primeiros blocos de concreto, maciços e muito pesados, surgiram por volta do ano de 1850 na Europa (SOLÍZ, V. H. V., 1995). Quarenta anos depois, começam a se desenvolver, nos Estados Unidos, os blocos vazados de concreto, consideravelmente mais leves que os antigos (SOLÍZ, V. H. V., 1995) e conhecidos, hoje, como as unidades mais empregadas no Brasil, seguidas dos blocos cerâmicos (BARBOSA, 2004).

O fator que levou a essa grande dissipação dos blocos de concreto, tanto no Brasil, quanto nos Estados Unidos e em outros países, foi o constante surgimento de fábricas automatizadas, que aceleravam a produção e incentivavam as ideias inovadoras dos projetistas (MEDEIROS; SABBATINI, 1993).

Com o surgimento das regulamentações da ABNT, as indústrias começaram a oferecer certificação aos seus produtos, o que complementa a qualidade das mercadorias (TAUIL; NESE, 2010).

Todas as propriedades dos blocos vazados de concreto, inclusive sua resistência, são influenciadas pelo processo de produção pelo qual foram expostos, isto é, dependem das condições de moldagem, compactação, cura e da natureza e proporção dos materiais que os constituem (MEDEIROS; SABBATINI, 1993).

Para um bom desempenho estrutural da parede, os blocos devem apresentar

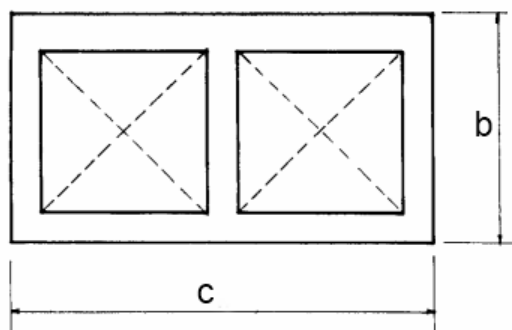
geometria delineada, precisa e padronizada (MEDEIROS; SABBATINI, 1993).

Tanto para classificação dos blocos, quanto para obtenção de suas resistências, se faz necessário conhecer a área bruta e a área líquida desses componentes.

A área bruta pode ser encontrada pela Equação 1.

$$A_{br} = b * c \quad (1)$$

Onde b e C são exemplificados pela Figura 6.



**Figura 6 - Dimensões bidimensionais dos blocos vazados de concreto**  
 Fonte: (BASTOS, 1993).

Já a área líquida pode ser determinada pela Equação 2:

$$A_{liq} = A_{br} - A_{vazios} \quad (2)$$

### 2.2.2 Argamassa

Argamassa é um elemento formado pela junção de um material aglutinante, água e agregado miúdo (areia), que constitui a ligação entre as unidades, propiciando a distribuição uniforme das tensões (CAMACHO, 2006). Embora represente uma pequena parcela na composição final da parede estrutural, cerca de 2% segundo Medeiros e Sabbatini (1993), a argamassa altera consideravelmente o comportamento da alvenaria, principalmente no mecanismo de ruptura (BARBOSA, 2004).

As argamassas podem ser de cal, cimento ou mistas e são conceituadas a seguir (MOTA, 2001).

- **Argamassa de cal:** referem-se às argamassas em que a cal é o único

aglutinante da mistura, em que os máximos valores da resistência mecânica são pequenos (MOTA, 2001).

- **Argamassa de cimento:** correspondem às argamassas em que o cimento é o aglutinante da mistura. São as argamassas que adquirem maior resistência, com maior velocidade (MOTA, 2001). Para misturas consideradas pobres<sup>5</sup>, este tipo de argamassa apresenta pouca trabalhabilidade<sup>6</sup>, ao mesmo tempo que, argamassas consideradas ricas<sup>7</sup>, possuem custo muito elevado e podem provocar o surgimento de fissuras (ROMAN, 1998).
- **Argamassa mista:** compreendem as argamassas compostas pela mistura de dois aglutinantes: cal e cimento. Este tipo de argamassa, quando bem dosada, une as propriedades das argamassas de cal e das argamassas de cimento concomitantemente, formando um material com características adequadas para o assentamento, pois une a resistência mecânica oferecida pelo cimento com a trabalhabilidade ofertada pela cal (MOTA, 2001).

O Quadro 1 mostra a interferência da cal e do cimento, nas duas principais propriedades da argamassa.

**Quadro 1 - Variação nas propriedades de uma argamassa, com a alteração da composição relativa de cimento e cal**

PROPRIEDADES	AUMENTO NA PROPORÇÃO DE CAL	
Resistência a compressão	Descresce	Propriedades melhoradas com maior teor relativo de cimento
Trabalhabilidade	Cresce	Propriedades melhoradas com maior teor relativo de cal

Adaptado de: (SABBATINI, 1998).

Algumas argamassas, geralmente as de cimento com baixa relação água/cimento, podem ser empregadas se adicionado aditivo em sua mistura. O aditivo mais recomendado e utilizado nestes casos, são os aditivos plastificantes, que possuem a função de tornar a argamassa mais trabalhável e com maior capacidade de retenção de água (SABBATINI, 1986).

As principais propriedades das argamassas de assentamento para alvenaria

<sup>5</sup> Argamassas com baixo teor de cimento

<sup>6</sup> Maleabilidade e plasticidade da argamassa ainda no estado fresco, de difícil análise quantitativa (SILVA, 2004).

<sup>7</sup> Argamassas com alto teor de cimento.

são: deformação suficiente para que absorva os esforços atuantes na parede (CAMACHO, 2006), isolamento hidráulico das juntas contra penetração de água, aumento da resistência da parede estrutural a esforços laterais (SILVA, 2004) e potencial aderência aos blocos (ROMAM; FILHO, 2017).

Dentre as propriedades citadas acima, a cal possui influência em três delas: na deformação (fornece plasticidade à argamassa, diminuindo a fissuração), na aderência (pois possui a capacidade de retenção de água) (BARBOSA, 2004) e na resistência mecânica (diminui a resistência por aumentar o índice de vazios da mistura) (SILVA; CAMPITELI, 2006). Tais propriedades são de difícil determinação, pois as propriedades do bloco, particularmente a sucção, podem interferir nas propriedades das argamassas (BARBOSA, 2004).

Segundo Calçada (1998), qualquer tipo de cimento Portland pode ser utilizado em argamassas de assentamento, todavia, os cimentos pozolânicos e de alto forno revelam ser uma boa opção, pois tendem a aumentar a capacidade de retenção de água e a trabalhabilidade da mistura.

A quantidade de água da argamassa, interfere diretamente em sua resistência, pois quanto maior a porção de água adicionada à mistura, menor será a sua capacidade de suporte (MOHAMAD, *et al.*, 2009). Contudo, a água deve ser adicionada em dose suficiente para permitir o manuseio com facilidade da argamassa, ou seja, garantir sua trabalhabilidade (MARGALHA, 2011), para que não atrapalhe o assentamento e a contenção de água (BARBOSA, 2004).

Diferentemente das argamassas com maiores resistências mecânicas, que concentram os recalques de apoio nas fissuras, as argamassas com baixa resistência distribuem melhor estas tensões, o que as tornam, mais adequada para o assentamento de alvenaria (CAMACHO, 2006).

Klein (1967) cita que não se deve utilizar uma argamassa com resistência maior que a “exata” resistência requerida pela parede estrutural.

A argamassa pode ter sua resistência alterada, quando em condição de junta de assentamento, devido as condições de cura a que é exposta. Isso ocorre devido à absorção da água da argamassa fresca pelas unidades, estabelecendo, assim, variações em suas propriedades mecânicas (BARBOSA, 2004).

A união dos blocos através da argamassa, além de possibilitar uma melhor distribuição das tensões, promove uma maior resistência da parede estrutural quanto aos esforços de cisalhamento e flexão (CALÇADA, 1998), porém, quando se trata da

resistência à compressão, não há uma convergência de opiniões e resultados experimentais que comprovem sua interferência.

### 2.2.2.1 Sugestões de traços

Seguindo os critérios do item 2.2.2 e levando-se em consideração as propriedades que uma argamassa de assentamento deve possuir, a Tabela 3 e a Tabela 4 mostram as proporções de cada elemento constituinte das argamassas de assentamento para alvenaria estrutural, recomendadas pelas normas inglesa (BSI – 5628) e americana (ASTM C – 270), respectivamente. A NBR 8798 (1985) fornece recomendações de dosagem da argamassa, mas não sugere traços para o assentamento de alvenaria estrutural.

**Tabela 3 - Traços de argamassas de assentamento recomendados pela norma inglesa BSI -5628**

↑ Aumento da resistência ↓ Aumento da capacidade de acomodação de movimentos devidos ao assentamento, variações de temperatura e umidade	Nomenclatura	TRAÇO (proporção em volume)			Resistência média à compressão aos 28 dias
		Cimento	Cal	Areia	
	(i)	1	0 a 0,25	3	16 MPa
	(ii)	1	0,5	4 a 4,5	6,5 MPa
	(iii)	1	1	5 a 6	3,6 MPa
	(iv)	1	2	8 a 9	1,5 MPa

Adaptado de: (BSI - BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 1992).

A BSI - BRITISH STANDARDS INSTITUTION (1992), não fornece indicações de uso para os traços descritos na Tabela 3, entretanto, permite a visualização (através das flechas) da direção das alterações de propriedades dos mesmos.



**Tabela 4 - Traços de argamassas de assentamento recomendados pela norma americana ASTM C - 270**

Nomenclatura	TRAÇO (proporção em volume)		
	Cimento	Cal	Areia
M	1	0,25	2,25 a 3 vezes a soma dos volumes de cimento e cal
S	1	0,25 a 0,5	
N	1	0,5 a 1,25	
O	1	1,25 a 2,5	
K	1	2,5 a 4,0	

Adaptado de: (ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1997).

Segundo a ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1997), os usos recomendados para cada tipo de argamassa mostrado na Tabela 4 são:

- **Tipo M:** recomendada para alvenaria que possua contato com o solo e exija alta resistência à compressão e durabilidade;
- **Tipo S:** recomendada para alvenaria sujeita à flexão. Possui boa resistência à compressão e à tração;
- **Tipo N:** recomendada para alvenarias expostas, sem contato com o solo. Possui resistência média e boa durabilidade;
- **Tipo O:** recomendada para alvenarias não sujeitas a ambiente agressivo. Possui baixa resistência.

Roman (1998), comenta que os traços das argamassas devem se manter constantes durante toda a construção pois, diferentes resistências em uma mesma edificação, podem acarretar em mudanças no desempenho estrutural da mesma.

A resistência satisfatória da parede estrutural é garantida pela combinação da resistência apropriada do bloco com a resistência adequada da argamassa (PARSEKIAN, *et al.*, 2007).

PARSEKIAN, *et al.* (2007) recomenda o traço 1:0,5:4,5 (cimento: cal: areia, em volume) para edificações sujeitas à grandes esforços de flexão e cisalhamento, e afirma que para construções de múltiplos pavimentos, a resistência mínima da argamassa de assentamento seja de 70% da resistência do bloco.

Usualmente, traços com maior quantidade de cal, como por exemplo o traço 1:1:6 (cimento: cal: areia, em volume), são adequados para edifícios de pequeno porte

(até quatro pavimentos) (PARSEKIAN, *et al.*, 2007).

Como pode-se observar nas Tabelas 3 e 4, as recomendações das normas não abrangem a quantidade de água da mistura. A falta dessa informação implica na obtenção de diferentes argamassas, mesmo se tratando de traços iguais, devido a trabalhabilidade da mistura.

A trabalhabilidade é uma combinação de propriedades reológicas da argamassa no estado fresco: plasticidade, coesão e fluidez (CALÇADA, 1998) e é considerada a mais importante característica da argamassa no estado fresco, porém de difícil determinação (ROMAN, 1998; TRISTÃO, 1995). Vários métodos de ensaio têm sido pesquisados, mas nenhum deles consegue expressar um número apropriado, devido às diversas variáveis que estão envolvidas, como as propriedades dos materiais constituintes e habilidade do pedreiro (TRISTÃO, 1995). Para suprir esta necessidade mede-se a fluidez da argamassa pelo método do índice de consistência (ROMAN, 1998), regulamentado pela NBR 13276 (ABNT, 2016b).

Segundo Roman (1998), uma argamassa possui boa trabalhabilidade quando pode ser espalhada facilmente sobre o bloco, assegurando sua penetração na unidade de alvenaria e possibilitando o assentamento do bloco sem que seu peso provoque posterior escorrimto.

### 2.2.3 Graute

Graute é um concreto que difere dos convencionais no tamanho do agregado e na relação água/cimento (ROMAM; FILHO, 2017).

É um concreto fino, constituído por cimento, água, agregado miúdo e agregados graúdos com dimensões de até 9,5 milímetros (mm) (CAMACHO, 2006), apresentando alta fluidez (ROMAM; FILHO, 2017), sem que haja segregação dos componentes (SOLÍZ, V. H. V., 1995).

Este tipo de concreto é utilizado, obrigatoriamente, na alvenaria estrutural armada, como ilustra a Figura 7, propiciando a transferências de esforços entre eles por meio da aderência (CALÇADA, 1998) e, opcionalmente, para preencher os vazios dos blocos ou quando se deseja aumentar a resistência da parede estrutural sem aumentar a resistência das unidades (ROMAM; FILHO, 2017).



**Figura 7 - Grauteamento**  
**Fonte: (RIVERS, 2017).**

A propriedade mais importante do graute no estado fresco, é a trabalhabilidade, determinada através do ensaio de abatimento do tronco de cone, que varia, geralmente, entre 200 e 280 mm (JÚNIOR, 1986). Estes números, apesar de parecerem elevados, são adequados para a alvenaria estrutural armada, pois os vazios, que se deseja preencher, são pequenos (CALÇADA, 1998).

### 2.3 ENSAIOS DE COMPRESSÃO AXIAL DA ALVENARIA ESTRUTURAL

O desempenho da parede estrutural está diretamente ligado à sua capacidade de suporte, ou seja, à sua resistência mecânica e, portanto, o estudo dessa grandeza é de fundamental importância (SILVA, 2004).

O ensaio de caracterização das paredes de alvenaria estrutural, mais usual e importante, é o ensaio de resistência à compressão (SILVA, 2004). Este ensaio pode ser realizado com blocos individuais, prismas ou paredes de alvenaria (SILVA, 2004).

Os custos do ensaio de paredes são considerados elevados por dependerem de amplos espaços e aparelhos sofisticados para sua realização (GOMES, 2001).

Sendo assim, em substituição ao ensaio de compressão de paredes, surge então, o ensaio de compressão de prismas de alvenaria estrutural, que possui custo relativamente menor e é aceito universalmente como um método seguro e confiável para a determinação indireta da resistência da parede (GOMES, 2001), pois, consideram o efeito da presença da junta de argamassa, do prumo e da qualidade da mão-de-obra (RAMAMURTHY; GANES AN, 1992).

No ensaio de compressão de prismas, a argamassa fica submetida a uma tensão triaxial de compressão, enquanto que, o prisma se submete à uma tensão biaxial de tração-compressão (BARBOSA, 2004).

O estado triaxial de tensões nas argamassas, surge devido à diferença entre as propriedades elásticas dos materiais (GOMES, 2001). Como a argamassa é mais deformável que o bloco, quando comprimida, ela tende a expandir-se lateralmente mais do que eles, porém é impedida pela aderência, a qual restringe sua deformação. Tendo sua deformação restringida, a argamassa fica submetida a tensões de compressão laterais, as quais são compensadas com o surgimento de tensões de tração no bloco, a fim de manter o equilíbrio do conjunto (GOMES, 2001; STEIL, 2003).

Eventualmente, a resistência à compressão axial da parede estrutural com blocos vazados de concreto, pode ser determinada por equações empíricas, sem ensaios laboratoriais (SABBATINI, 1984). Porém, só serão confiáveis, os métodos que englobarem todas as possíveis variáveis que possam ter alguma influência sobre a resistência da parede (SABBATINI, 1984). Júnior (1986) reforça que essas equações não podem ser generalizadas.

A Figura 8 ilustra a diferença entre um prisma e uma mini parede de blocos de concreto.

O prisma, mostrado na Figura 8(a), é representado por três blocos superpostos e duas juntas de argamassa que fazem a união entre os mesmos e a mini parede, mostrada na Figura 8(b), é formada por mais de um bloco, colocados lado a lado, formando uma linha contínua.

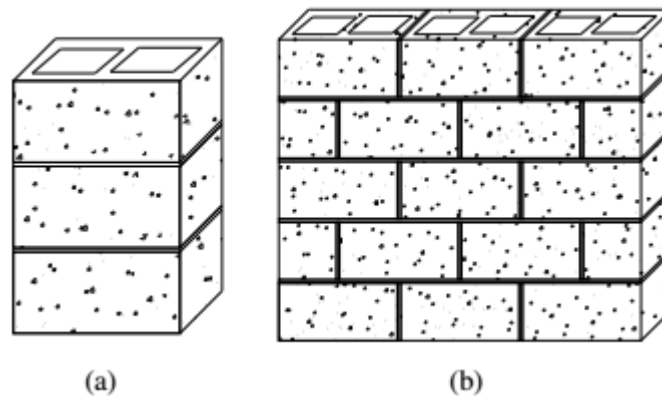


Figura 8 - (a) Prisma com bloco de concreto. (b) Mini parede de blocos de concreto  
Fonte: (MATA, 2006).

### 2.3.1 Prismas

Pela definição da NBR 8215 (1983), norma que regulamenta os procedimentos para ensaio de prismas de blocos vazados de concreto, existem dois tipos de prismas:

- **Prisma oco:** “refere-se ao conjunto formado por dois blocos de concreto, unidos por uma junta de argamassa, destinado ao ensaio de compressão axial da alvenaria estrutural” (ABNT, 1983). A Figura 9(a) ilustra este tipo de prisma.
- **Prisma cheio:** refere-se a esse mesmo conjunto, porém com os vazios preenchidos com graute, como mostra a Figura 9(b).

Os prismas são elementos utilizados em laboratório para presumir a resistência da parede real que será construída em obra (CAMACHO, 2006).

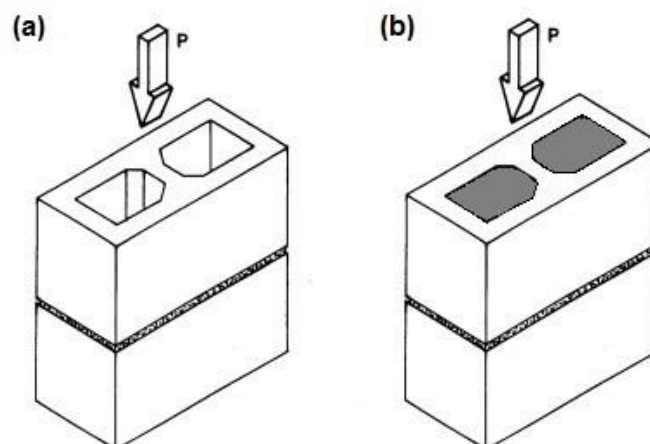


Figura 9 - (a) Prisma oco. (b) Prisma cheio  
Adaptada de: (BASTOS, 1993).

Para realização do ensaio de compressão axial dos prismas, a NBR 8215 (1983) propõe dois métodos:

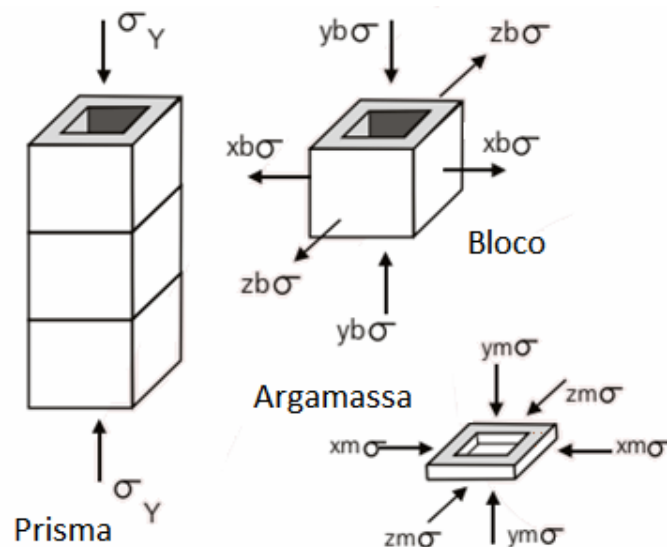
- **Método A:** método utilizado para obtenção da resistência à compressão de alvenarias produzidas em laboratório (ABNT, 1983);
- **Método B:** método utilizado para obtenção da resistência à compressão de alvenaria produzidas no local da obra (ABNT, 1983).

### 2.3.2 Mecanismo De Ruptura

Por ser um conjunto de componentes (blocos e argamassas), o mecanismo de ruptura da alvenaria, é de fundamental importância quando se deseja conhecer melhor o seu comportamento estrutural (MOHAMAD; RIZZATTI; ROMAN, 2012).

A análise do modo de ruptura ajuda validar os resultados experimentais e evitar rompimentos indesejados (GOMES, 2001).

O comportamento dos prismas, quando submetidos a cargas verticais de compressão, são exemplificados pela Figura 10, que demonstra a distribuição das tensões nas argamassas e nos blocos durante a atuação destas cargas (ROMAN, 1998).



**Figura 10 - Estado de tensões nos prismas quando submetidos a carga de compressão axial**  
Adaptado de: (ROMAN, 1998; DRYSDALE, HAMID, 1979).

Conforme ilustrado na Figura 10, as argamassas são submetidas à tensões

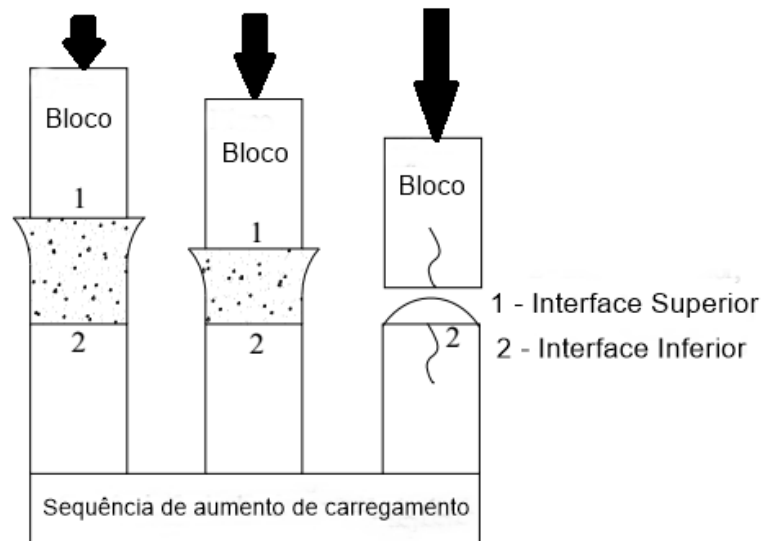
triaxiais, verticais e horizontais, de compressão e os blocos submetidos à tensões biaxiais horizontais de tração, sugerindo que a ruptura da alvenaria pode acontecer de duas maneiras: através da fissuração do bloco (quando este atingir seu limite de resistência à tração) ou pela junta de argamassa (quando esta atingir seu limite de resistência à compressão) (MOHAMAD; RIZZATTI; ROMAN, 2012).

Quanto mais deformável for a argamassa (menor o Módulo de Elasticidade) maiores serão as tensões de tração geradas e, por conseguinte, haverá queda na resistência à compressão do prisma (LA ROVERE, 1997). Por isso, é recomendado que se adapte a resistência da argamassa à resistência da unidade, para que assim o mecanismo de ruptura ocorra pela fissuração do bloco, podendo, ocasionalmente, haver esmagamentos concentrados (MOHAMAD; RIZZATTI; ROMAN, 2012).

As tensões que se desenvolvem na alvenaria, são decorrentes das limitações de deformações à qual a estrutura está exposta, ou seja, essas tensões são ocasionadas pelo impedimento das deformações laterais máximas de seus elementos (MOHAMAD; RIZZATTI; ROMAN, 2012).

A análise do modo de ruptura dos prismas serve para, além de validar os resultados experimentais, evitar que alguns modos de ruptura indesejados surjam na parede (GOMES, 2001).

A Figura 11 exhibe o processo de ruptura esperado de uma alvenaria, onde inicialmente ocorre o esmagamento da argamassa e posterior esfacelamento da superfície de contato entre bloco e argamassa com surgimento de fissuras (MOHAMAD, *et al.*, 2009).



**Figura 11 - Ruptura do conjunto bloco argamassa**  
Adaptado de: (MOHAMAD, ET AL.,2009).

### 2.3.3 Carga Admissível Da Parede Estrutural

A partir das resistências obtidas pelos prismas ( $f_p$ ) aos 28 dias de idade, é possível determinar a resistência da parede de alvenaria estrutural por meio da fórmula citada pela NBR 10837 (1989) e apresentada na Equação 3. Por isso, é importante que os prismas sejam assentados nas condições mais próximas de construção (SANTOS; PRUETER; SADULA, 2013).

$$P_{adm} = 0,20 * f_p * \left[ 1 - \left( \frac{h}{40 * t} \right)^3 \right] * A_{liq} \quad (3)$$

Onde:

$P_{adm}$  Carga admissível da parede de alvenaria estrutural.

$f_p$  Resistência média dos três prismas, rompidos aos 28 dias.

$h$  Altura real da parede, quando esta, é apoiada na base e no topo.

$t$  Espessura real da parede sem contar os eventuais revestimentos, quando esta não possui enrijecedor<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> Elemento estrutural vinculado a uma parede resistente, a fim de obter enrijecimento horizontal (ABNT, 1989).



$A_{liq}$  Área líquida.

## 2.4 CAPACIDADE DE DEFORMAÇÃO

Além da resistência mecânica, é importante também conhecer a capacidade de deformação das argamassas de assentamento.

A propriedade que mede a capacidade de deformação de um material é chamada de 'Módulo de Elasticidade' e pode ser determinada pela Equação 4.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (4)$$

Onde  $\sigma$  é a tensão<sup>9</sup> determinada pela Equação 5.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (5)$$

E  $\varepsilon$  é a Deformação Elástica Longitudinal<sup>10</sup>, determinada pela Equação 6.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_i} \quad (6)$$

Pela Equação 4, percebe-se que módulo e deformação são inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior a deformação dos materiais, menor será o seu módulo e vice-versa.

Em materiais elásticos, a deformação ocorre sem que se desenvolvam fissuras e, cessada a sollicitação, o material volta às suas dimensões originais (SILVA; BARROS; MONTE, 2008). Porém, no caso das argamassas, a situação é diferente, pois seu mecanismo de deformação inclui microfissuras (SILVA; BARROS; MONTE, 2008). Desse modo, as Equações 4, 5 e 6 não representam o real comportamento deste material e, portanto, o termo 'Módulo de Deformação' se torna mais adequado (SILVA; BARROS; MONTE, 2008).

<sup>9</sup> Propriedade que representa a resposta interna aos esforços externos atuantes sobre um corpo (TÉOFILO, 2017)

<sup>10</sup> Propriedade que representa a variação de uma dimensão qualquer de um corpo, por unidade da mesma dimensão, quando esse corpo é submetido a um esforço (TÉOFILO, 2017).

Muitos autores, como Jones (1967), Drysdale e Hamid (1979), Calçada (1998), Mohamad (1998) e Barbosa (2004), comentam sobre possíveis equações e metodologias que possam determinar o ‘Módulo de Deformação’, no entanto, não há qualquer convergência de opiniões entre eles e todos os estudos são baseados em normas e publicações internacionais e a maioria relacionados ao concreto (SILVA; BARROS; MONTE, 2008; BARBOSA, 2004).

Os procedimentos mais conhecidos para a determinação do Módulo de Deformação, são divididos em métodos estáticos e dinâmicos. Os ensaios estáticos são destrutivos e consistem na aplicação de carga, com concomitante medição da deformação, traçando-se a curva tensão x deformação (SILVA; BARROS; MONTE, 2008). A partir dessa curva, é possível calcular o módulo de duas maneiras: módulo secante ou módulo tangencial, como mostra a Figura 12.

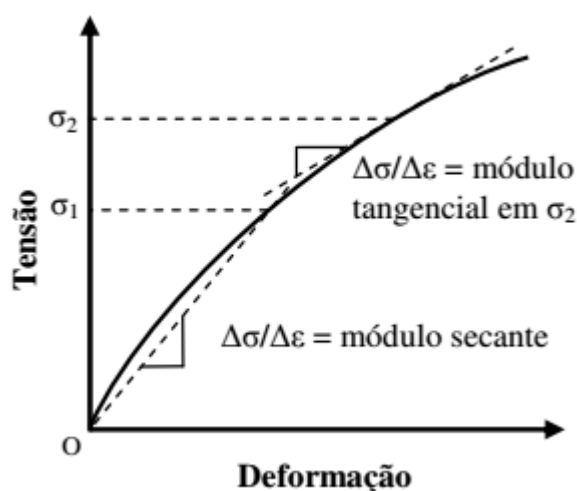


Figura 12 - Módulo tangencial e módulo secante  
Fonte: (TÉOFILO, 2017).

As  $\sigma_1$  e  $\sigma_2$ , exibidas na Figura 12, são níveis específicos de tensão, definidas apenas, para o concreto, variando conforme a normatização utilizada (TÉOFILO, 2017).

Os principais ensaios estáticos são:

- Módulo de Deformação Estático à Compressão: consiste na obtenção da curva tensão x deformação por meio do ensaio de compressão. As principais normas que regulamentam este ensaio referem-se, apenas, à madeira e ao concreto (SILVA; BARROS; MONTE, 2008).

- Módulo de Deformação à Tração na Flexão: mede a deformação a partir do ensaio de tração na flexão. Não é regido por nenhuma norma brasileira e, raramente, é empregado no país (SILVA; BARROS; MONTE, 2008).

Já os ensaios dinâmicos, não destrutivos, são realizados através da propagação de ondas e não permitem traçar a curva tensão-deformação (SILVA; BARROS; MONTE, 2008). Os principais ensaios dinâmicos são:

- Módulo de Deformação Dinâmico Pelo Ultrassom: faz a leitura do tempo que ondas de choque elásticas longitudinais levam para atravessar o corpo de prova, através de impulsos gerados e recebidos por transdutores (JONES, 1967). Também não possui normatização brasileira
- Módulo de Deformação Dinâmico pela Frequência de Ressonância: o módulo de deformação é encontrado através de um osciloscópio, que capta a frequência mais baixa de ressonância emitido por um aparelho específico de vibração (JONES, 1967). As normas que regulamentam este ensaio, dizem respeito ao concreto e às pedras calcárias.

Para entender os resultados dos ensaios que determinam o módulo de deformação, é preciso conhecer as curvas típicas de tensão x deformação e seus principais pontos. A Figura 13 mostra as curvas tensão x deformação típicas de materiais frágeis e dúcteis.

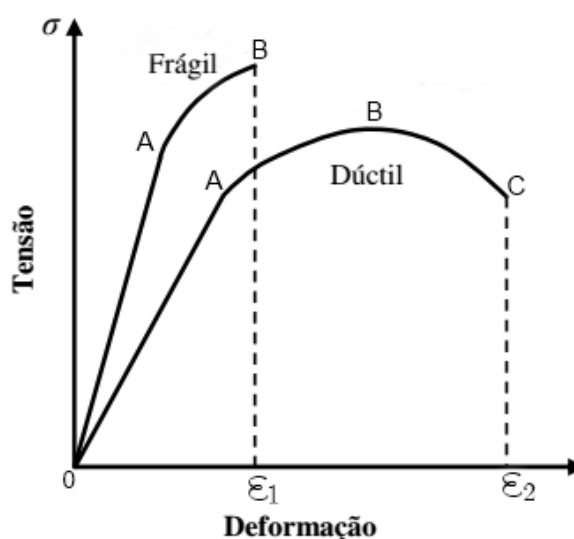


Figura 13 - Curva tensão x deformação  
Adaptado de: (TÉOFILO, 2017).

Os principais pontos destacados na Figura 13 são:

- Ponto A: representa o limite de proporcionalidade, onde tensão e deformação

formam uma reta (BAYER, 2013);

- Ponto B: corresponde a tensão máxima. A partir desse ponto, para materiais dúcteis, inicia-se o processo de encruamento/endurecimento, ou seja, a seção começa a reduzir (estricção) (BAYER, 2013). Para materiais frágeis esse ponto representa a ruptura (BAYER, 2013).
- Ponto C: equivale ao ponto de ruptura para materiais dúcteis (BAYER, 2013).

Desta forma, conclui-se que os materiais frágeis não possuem fase de ruptura (trecho B-C), pois rompem assim que atingem a tensão máxima (ponto B).

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

Os experimentos realizados para determinar a interferência da argamassa de assentamento na capacidade de suporte e de deformação dos prismas estruturais de blocos vazados de concreto, foram divididos em duas etapas.

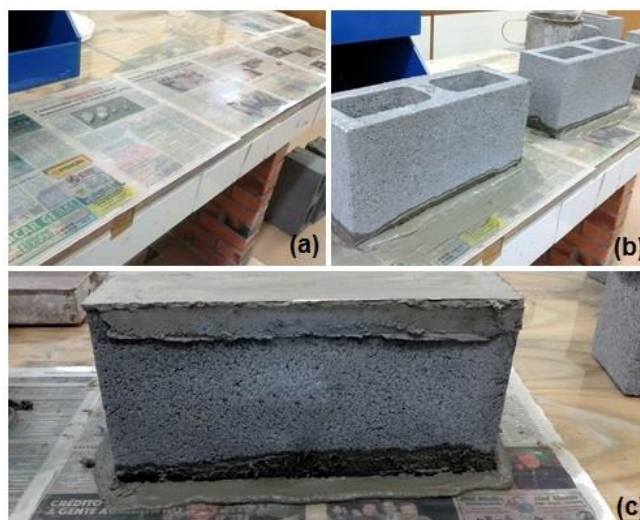
A primeira, visou selecionar o bloco de concreto com resistência compatível à da prensa e produzir sete tipos de argamassas com diferentes resistências e capacidade de deformação, para definir quais seriam os traços utilizados para o assentamento dos prismas. A segunda, consistiu na realização de ensaios de compressão axial de prismas, assentados com os três traços escolhidos

#### **3.1 MATERIAIS**

##### **3.1.1 Blocos Vazados De Concreto**

Foram realizados ensaios de compressão axial de blocos individuais de 3 empresas da região, a fim de auferir a resistência característica dos blocos a serem utilizados. Nenhuma das três empresas forneciam laudos das resistências de seus blocos, mas todas alegavam produzi-los conforme recomendações da NBR 6136 (ABNT, 2016a).

Para que o ensaio de compressão axial dos blocos fosse efetivo, os blocos foram capeados com uma pasta de cimento, conforme ilustra a Figura 14.



**Figura 14 - Capeamento dos blocos. (a) Jornal úmido para receber a pasta. (b) Capeamento de um dos lados dos blocos. (c) Bloco com os dois lados capeados**

**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

Todo o processo de capeamento é apresentado no Apêndice A.

Em seguida foram realizados os ensaios de compressão axial, como mostra a Figura 15, utilizando-se a prensa EMIC modelo DP6.04 com capacidade de 200 Tf.



**Figura 15 - Ensaio de compressão axial dos blocos**  
**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

Os resultados dos rompimentos são exibidos na Tabela 5, onde a tensão, em MPa, é obtida pela divisão da força pela área bruta dos blocos com as alterações de unidades necessárias.

**Tabela 5 - Resistências dos blocos**

Blocos	Força (Kgf)	Área (mm <sup>2</sup> )	Tensão (MPa)
Empresa 1	83560	54600	15,3
Empresa 2	40050	54600	7,3
Empresa 2	43780	54600	8,0
Empresa 3	29400	54600	5,4
Empresa 3	34810	54600	6,4

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

Devido a capacidade restrita de 30 Tf da prensa em que os prismas seriam rompidos, escolheu-se trabalhar com os blocos vazados de concreto fornecidos pela Empresa 3.

As características dos blocos escolhidos estão descritas na Tabela 6.

**Tabela 6 - Características dos blocos utilizados**

Resistência mecânica (MPa)	Dimensões (mm) <sup>(A)</sup>			Paredes(mm)		Área (mm <sup>2</sup> )	
	Largura	Altura	Comprimento	Longitudinais	Trasnversais	Bruta	Líquida
5,9 - Classe B	140	180	390	30	30	54600	25800

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

<sup>(A)</sup> Dimensões médias obtidas por três determinações executadas, conforme recomenda a NBR 6136 (2016a).

Por possuírem resistência entre 4 e 8 MPa, os blocos foram enquadrados na classe B, conforme especificações da NBR 6136 (2016a).

### 3.1.2 Argamassas

As argamassas foram obtidas pela mistura de cimento Portland CP II Z, areia, cal hidratada, água e aditivo. Cada material é especificado a seguir.

#### 3.1.2.1 Cimento Portland CP II Z

O cimento utilizado durante todo o experimento foi o Cimento Portland CP II Z (Cimento Portland composto com pozolana) da Itambé, cujas propriedades atendem as argamassas de assentamento (ITAMBÉ, 2017).

As especificações básicas para o cimento utilizado são indicadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Especificações cimento Portland

Cimento Portland Itambé - Junho/2017						
CP II Z 32	Blaine <sup>(A)</sup> (cm <sup>2</sup> /g)	Resistência a compressão (MPa)			Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )
		1 dia	7 dias	28 dias		
	3620	12	33,6	42,4	2,98	1,2

Adaptado de: (ITAMBÉ, 2017).

<sup>(A)</sup> Superfície específica determinada através de um aparelho chamado permeabilímetro. Caracteriza a finura, que influi no grau de atividade do cimento (ITAMBÉ, 2017).

As características mostradas na Tabela 7 foram obtidas diretamente da ITAMBÉ, exceto a massa unitária<sup>11</sup>, que foi determinada a partir das recomendações da NBR NM 45 (2006b). Todo o processo para obtenção da massa unitária do cimento é relatado no Apêndice B.

### 3.1.2.2 Areia

Para caracterização da areia, realizou-se o ensaio de granulometria, seguindo a padronização exigida pela NBR 7217 (1987) e o ensaio de massa unitária, baseando-se nas recomendações da NBR NM 45 (2006b). Todo o procedimento é descrito no Apêndice B e os resultados são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Resumo das características da areia

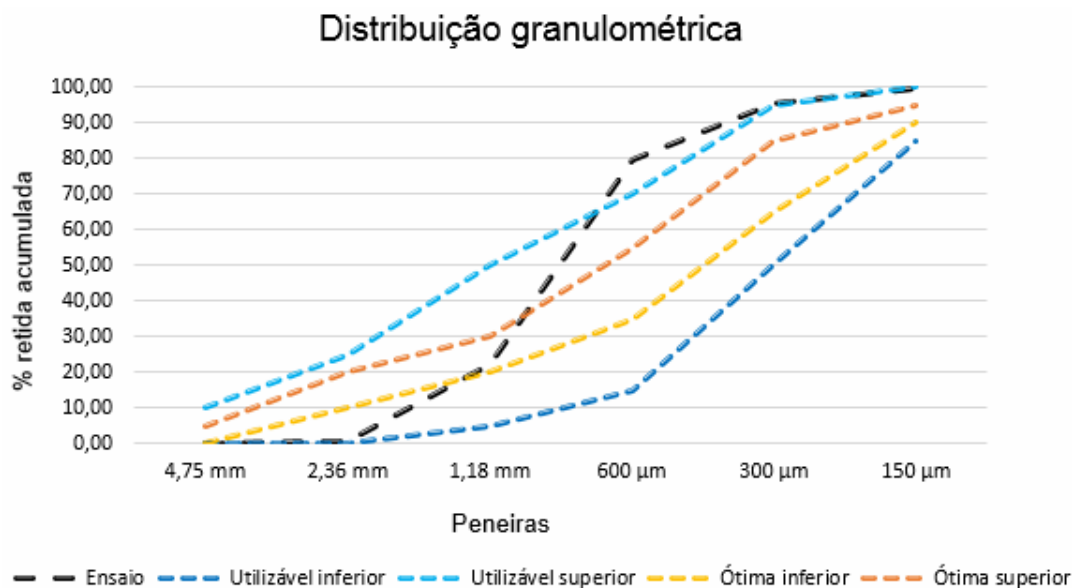
Módulo de finura	Dimensão máx. característica	Massa unitária
2,98	2,4 mm	1,7 g/cm <sup>3</sup>

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

A distribuição granulométrica da areia, assim como os limites da zona ótima e utilizável, são apresentados no Gráfico 1.

<sup>11</sup> Relação entre a massa do agregado e o volume ocupado por ele (ABNT, 2006b).





**Gráfico 1 - Distribuição granulométrica da areia**

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

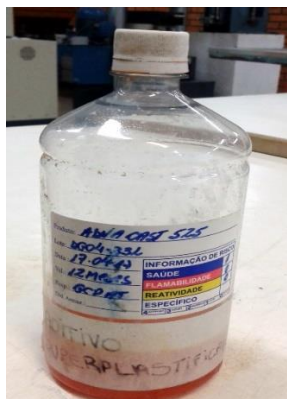
Nota-se pelo Gráfico 1 que a areia encontra-se dentro da zona utilizável recomendada pela NBR 7211 (2009), com apenas um ponto fora do esperado.

### 3.1.2.3 Cal hidratada

A cal utilizada no experimento, foi a Cal Hidrata CH – III da Intercal, com massa unitária igual a  $0,7 \text{ g/cm}^3$ , determinada a partir das recomendações da NBR NM 45 (2006b).

### 3.1.2.4 Aditivo

Utilizou-se aditivo superplastificante ADVA CAST 525 da marca GRACE, conforme mostra a Figura 16.



**Figura 16 - Aditivo**  
**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

## 3.2 MÉTODOS

### 3.2.1 Primeira Etapa: Ensaio Testes

#### 3.2.1.1 Determinação dos traços

A fim de conhecer a resistência das argamassas a serem utilizadas no assentamento dos prismas, foram escolhidos sete traços principais de argamassa, como mostra a Tabela 9, baseando-se nas recomendações das normas americana e inglesa e nas indicações de Parsekian, et al. (2007), já que não existem normas brasileiras que sugiram traços de argamassas de assentamento para alvenaria estrutural.

**Tabela 9 - Traços escolhidos para o ensaio teste**

Traço	Proporção (em volume)				
	Cimento	Cal	Areia	a/c	Aditivo (g)
1	1	0	3	1,2	-
2	1	0,5	4,5	2	-
3	1	1	6	2,2	-
4	1	0	3	1,5	-
5	1	1	8	1,7	-
6	1	0	3	0,9	15,2
7	1	2	9	3	22,9

**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

Dentre os traços recomendados, nenhum possui a indicação da quantidade de água que deve ser utilizada. Portanto, as relações a/c, definidas na Tabela 9, foram

obtidas conforme a consistência apresentada em cada traço durante a mistura.

Todos os traços foram escolhidos visando a obtenção de argamassas com resistências e capacidades de deformação distintas, variando-se, a relação a/c e o teor de cal em cada mistura, sem definir um padrão de consistência ideal.

### 3.2.1.2 Produção das argamassas testes

#### 3.2.1.2.1 Mistura dos materiais

Inicialmente, com intuito de atingir resultados mais precisos e evitar a inclusão de outras variáveis, todos os traços foram convertidos em massa. O procedimento adotado para essa conversão é relatado no Apêndice C.

Posteriormente, os materiais foram pesados na balança da Figura 17, e misturados na argamassadeira da Figura 18.



**Figura 17 - Balança eletrônica de bancada**  
Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).



**Figura 18 - (a) Misturador mecânico Pavitest. (b) Cuba de aço (capacidade de 5 litros) e pá de metal**  
Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

#### 3.2.1.2.2 Ensaio do índice de consistência

Depois de misturadas, as argamassas foram submetidas ao ensaio de índice de consistência, com o objetivo de avaliar as relações a/c escolhidas, conforme recomenda a NBR 13276 (2016b).

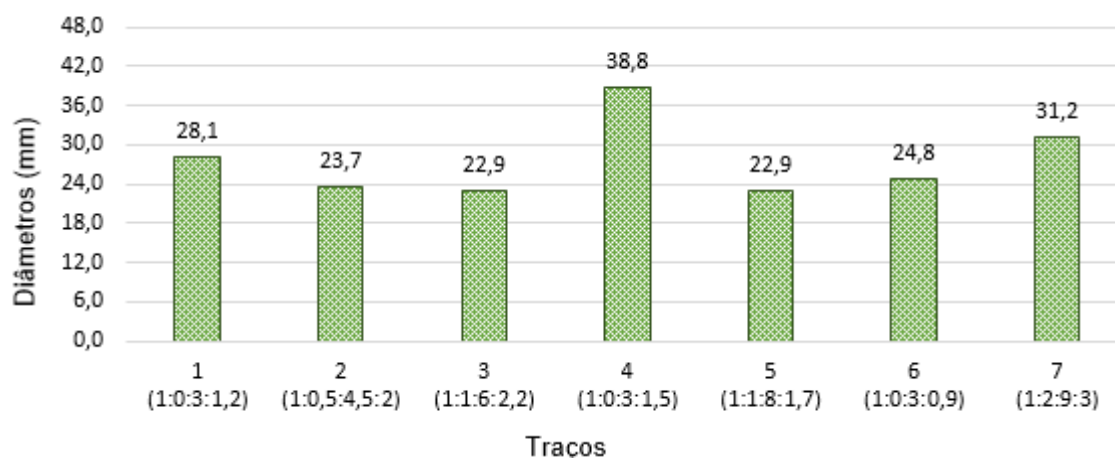
O índice de consistência foi obtido pela média de três diâmetros diferentes, medidos a partir do espalhamento da mistura, na 30ª descida da mesa *Flow Table*,

como ilustra a Figura 19.



**Figura 19 - Índice de consistência. (a) Tronco de cone preenchido de argamassa. (b) Espalhamento**  
 Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

O Gráfico 2 apresenta o índice de consistência de cada traço. O procedimento completo deste ensaio e os resultados individuais são descritos no Apêndice D.



**Gráfico 2 - Ensaio de índice de consistência teste – Média**  
 Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

Como o objetivo do trabalho era avaliar diferentes resistências de argamassas e não fixar a consistência delas, a grande variação dos índices de consistência (de 22,9 a 38,8 mm), mostrada no Gráfico 2, foi esperada.

Observa-se, pelo Gráfico 2, que os traços 2, 3 e 5 (com presença de cal) produziram os menores índices de consistência, o que contradiz a afirmação de Sabbatini (1998), mencionada no Quadro 1, de que a cal aumenta a trabalhabilidade da mistura.

### 3.2.1.2.3 Moldagem

Depois da obtenção do índice de consistência, preencheu-se os moldes prismáticos<sup>12</sup> de 4 x 4 x 16 cm, mostrados na Figura 20, com duas camadas de argamassa intercaladas por 30 quedas da mesa de adensamento, conforme ilustra a Figura 21.



**Figura 20 - Molde prismático de argamassa**  
Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).



**Figura 21 - Moldagem das argamassas**  
Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

O procedimento se repetiu para os sete traços do experimento teste.

As argamassas permaneceram nos moldes por 60 horas<sup>13</sup> e depois de desmoldadas (ver Figura 22), foram colocadas em uma câmara com temperatura igual a  $(23 \pm 2)$  °C e umidade relativa do ar de  $(60 \pm 5)$  %, conforme recomenda a NBR 13279 (2005), por 28 dias até o rompimento.

<sup>12</sup> Os moldes prismáticos receberam uma fina camada de óleo vegetal antes de serem preenchidos com argamassa, para facilitar a desmoldagem dos corpos de prova.

<sup>13</sup> Tempo recomendado pela NBR 13279 (2005) para desmolde das argamassas:  $(48 \pm 24)$  horas.



**Figura 22 - Argamassas desmoldadas – primeira etapa**  
 Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

Pode-se observar, pela Figura 22, que as argamassas dos traços 6 e 7 quebraram durante a tentativa de desmolde em 60 horas e, portanto, permaneceram nos moldes até o dia da ruptura, para evitar mais quebras. Acredita-se que esse fenômeno ocorreu devido à adição do aditivo superplastificante, que retarda a pega, impossibilitando a desforma em 60 horas. Notou-se que estas argamassas ficaram arenosas, sobrando muita areia nas faces dos moldes na primeira tentativa de desforma.

#### 3.2.1.2.4 Resistência à compressão

Antes da realização do ensaio de compressão axial, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de tração flexão<sup>14</sup>.

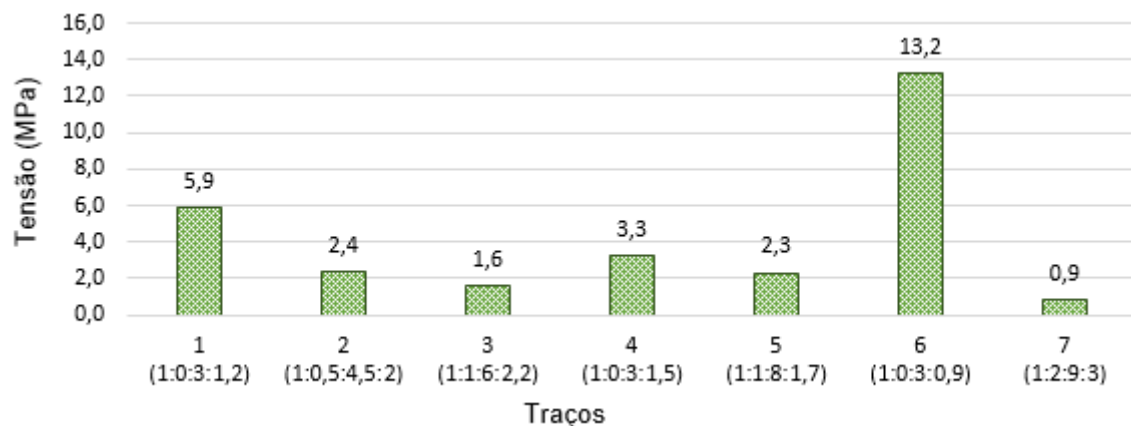
Posteriormente, realizou-se o rompimento das argamassas aos 28 dias de idade, na prensa EMIC DL30000 com capacidade de 30000N, conforme mostra a Figura 23.

<sup>14</sup> O ensaio de tração na flexão será explicado com mais detalhes no item 3.2.3.1.4 pois não se verificou a necessidade da geração de relatórios/resultados para os ensaios testes, pois os valores não seriam ocupados na escolha dos traços para o ensaio propriamente dito.



**Figura 23 - Rompimento argamassas testes**  
**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

O Gráfico 3 mostra a resistência mecânica média obtida para os sete traços. Os resultados individuais deste ensaio são apresentados no Apêndice D.



**Gráfico 3 - Ensaio de compressão axial das argamassas testes - Média**  
**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

Observa-se, pelo Gráfico 3 que, quanto maior a relação a/c e a proporção de cal nas misturas (traços 2, 3, 5 e 7), menores são as resistências das argamassas. Como consequência, as argamassas sem cal e com relação a/c menores (traços 1, 4 e 6) obtiveram resistências maiores, confirmando as afirmações de Mohamad, et al. (2009) e Silva e Campiteli (2006), de que a cal aumenta o índice de vazios da mistura, diminuindo sua resistência mecânica.

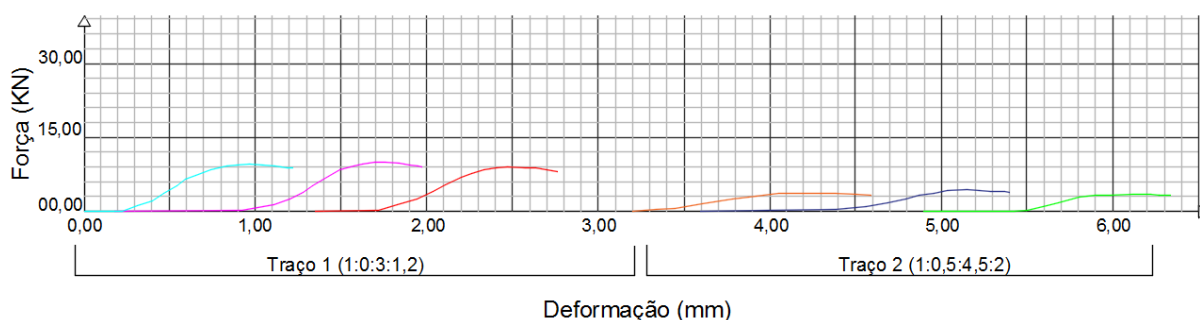
Além disso, é possível perceber que o objetivo da primeira etapa foi atingido, pois variando-se as relações a/c e os teores de cal das misturas, conseguiu-se obter argamassas com resistências distintas uma das outras.

### 3.2.1.2.5 Obtenção das deformações

Em um estudo complementar, no ensaio de compressão axial das argamassas, além das forças máximas de compressão suportadas por cada corpo de prova, obteve-se também, o gráfico Força x Deformação.

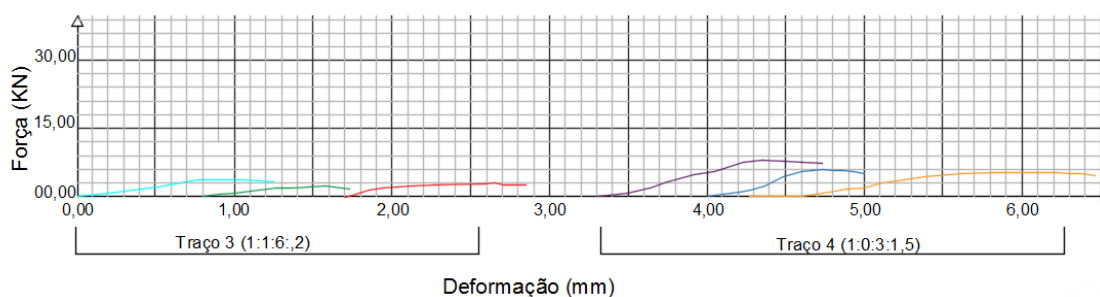
Devido a indisponibilidade de extensômetros no laboratório, as deformações foram obtidas através do deslocamento do prato da prensa.

Os Gráficos 4, 5 e 6 mostram as curvas obtidas para todos os traços.



**Gráfico 4 - Deformação argamassas testes - Traços 1 e 2**  
**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

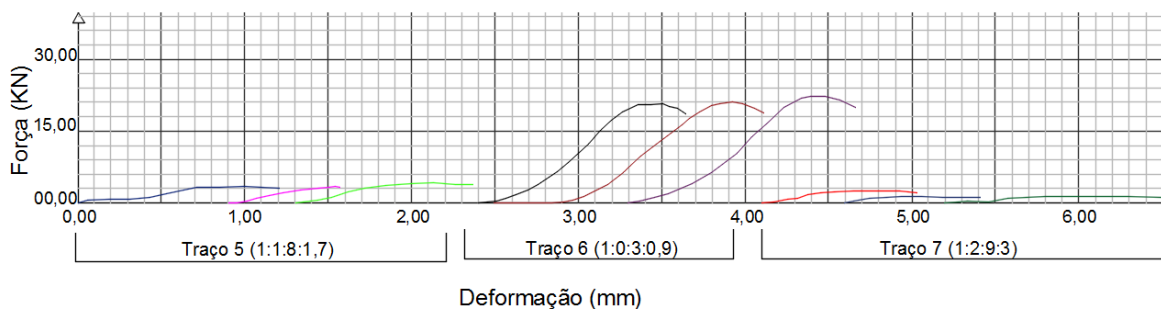
Analisando o Gráfico 4, identifica-se que o traço 2 (com cal) apresentou argamassas com menor resistência mecânica e maior deformação quando comparadas às argamassas do traço 1 (sem cal), conforme indicaram Barbosa (2004) e Silva e Campitelli (2006).



**Gráfico 5 - Deformação argamassas testes - Traços 3 e 4**  
**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

O Gráfico 5 reforça, mais uma vez, as afirmações de Barbosa (2004) e Silva e Campitelli (2006), chegando-se as mesmas conclusões apresentadas no Gráfico 4.





**Gráfico 6 - Deformação argamassas testes - Traços 5, 6 e 7**  
**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

A partir do Gráfico 6, é possível perceber, novamente, a influência da cal na capacidade de deformação da argamassa, pois quando dois traços com teores de cal diferentes são comparados, conclui-se que, o traço com maior teor de cal (traço 7) apresenta maior deformação e menor capacidade de suporte do que o traço com menor teor de cal (traço 5).

Em resumo, comparando-se os Gráficos 4, 5 e 6, percebe-se que quanto maior a resistência da argamassa, mais vertical fica a curva Força x Deformação, ou seja, menor é a deformação da argamassa. Repara-se, também, que as misturas com presença de cal, produziram curvas mais horizontais, ou seja, argamassas com maior deformação, conforme mencionou Barbosa (2004).

### 3.2.2 Escolha Dos Traços e Blocos

Após a realização de todos os ensaios testes, pode-se chegar na escolha dos traços e blocos em que os prismas seriam assentados.

Para um maior aprofundamento do estudo da interferência da resistência argamassa na resistência da parede estrutural, optou-se, primeiramente, por traços que atendessem a sugestão de Parsekian (2007), de que a argamassa deve possuir resistência mínima de 70% da resistência do bloco e traços que oferecessem argamassas com resistência igual e menor que este valor recomendado.

Tendo em vista que o bloco escolhido, foi o bloco da Empresa 3 de Pato Branco - Pr, com resistência média de 5,9 MPa, foram escolhidos os traços: 1 (por ter resistência igual à do bloco), 2 (por ter resistência inferior à do bloco) e 4 (por ter resistência inferior e próxima a recomendada de 70 % à resistência do bloco).

A Tabela 10 mostra um resumo das principais características dos três traços escolhidos.

Tabela 10 - Resumo dos traços escolhidos

Traço	Proporção								Consistência (mm)	Resistência a compressão (MPa)
	Em volume				Em massa (g)					
	Cimento	Cal	Areia	a/c	Cimento	Cal	Areia	Água		
1	1	0	3	1,2	270,0	0,0	1140,8	270,0	28,1	5,9
2	1	0,5	4,5	2	180,0	184,0	1140,8	300,0	23,7	2,4
4	1	0	3	1,5	270,0	0,0	1140,8	337,5	38,8	3,3
Resistência bloco: 5,9 MPa					70% da Resistência do bloco: 4,1 MPa					

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

### 3.2.3 Segunda Etapa: Assentamento dos prismas

#### 3.2.3.1 Produção das argamassas

##### 3.2.3.1.1 Mistura dos materiais

Seguindo os mesmos procedimentos realizados na mistura dos materiais na primeira etapa, começou-se a produção dos três traços escolhidos.

Durante o decorrer da mistura, observou-se que argamassa do traço quatro (escolhido anteriormente por ter resistência igual a, aproximadamente, 70% da resistência do bloco) ficou muito fluida para o assentamento<sup>15</sup>. Portanto, trocou-se o traço 4 pelo traço 6. O traço 6 foi escolhido, porque os demais traços continham maior relação a/c, e, portanto, as argamassas ficariam ainda mais fluidas.

A Tabela 11 mostra a quantidade de materiais<sup>16</sup> usada para os três novos traços.

Tabela 11 - Traços utilizados no ensaio

Traço	Quantidade material (em g)				
	Cimento	Cal	Areia	Água	Aditivo
1 (1:0:3:1,2)	1200,0	0,0	5070,0	1200,0	0,0
2 (1:0,5:4,5:2)	800,0	184,0	5070,0	1333,0	0,0
6 (1:0:3:0,9)	1200,0	0,0	5070,0	900,0	18,6

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

<sup>15</sup> A escolha inicial dos traços envolveu apenas a resistência das argamassas, não levando em consideração a trabalhabilidade delas. Só durante a tentativa de assentamento dos prismas é que se verificou que a argamassa do traço 4 estava muito fluida, escorrendo completamente pelos blocos, impossibilitando o assentamento.

<sup>16</sup> Quantidade necessária para assentamento dos três prismas e moldagem dos 3 corpos de prova de argamassa para cada traço.

Observa-se pela Tabela 11, que no traço 6 foi adicionado 3,4 gramas a mais de aditivo superplastificante do que o previsto anteriormente pela Tabela 9, afim de tornar a argamassa mais trabalhável e com maior capacidade de retenção de água (SABBATINI, 1986).

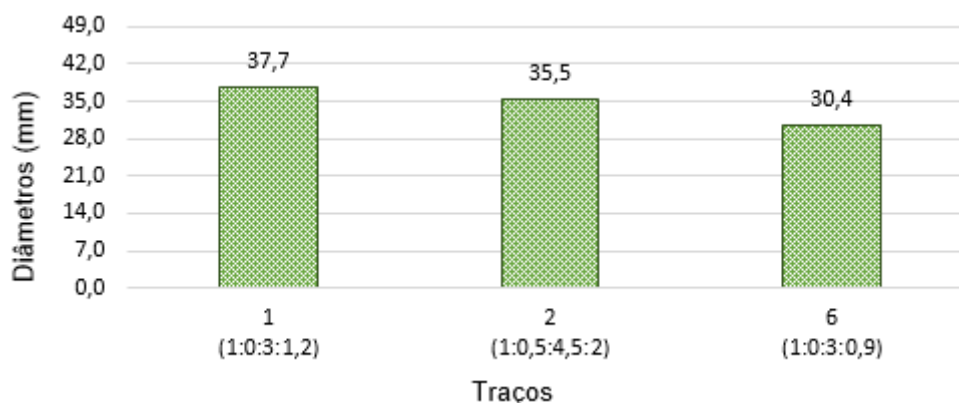
A mudança de traço e a adição de aditivo foram feitas devido à possibilidade ou não do assentamento dos prismas.

É importante destacar que cada traço de argamassa foi produzido em massa e em quantidade suficiente para preencher os moldes prismáticos e para assentar os três prismas, assegurando a constância da quantidade de cada material empregado na mistura.

### 3.2.3.1.2 Ensaio do índice de consistência

Para cada traço foram obtidos, seguindo os mesmos procedimentos anteriores, os índices de consistência, através da medida dos três diâmetros.

O relatório de ensaio do índice de consistência é mostrado no Apêndice E e a média para cada traço é mostrado pelo Gráfico 7.



**Gráfico 7 - Média dos índices de consistência – Ensaio**  
**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

Pode-se observar pelo Gráfico 7 que, mesmo sendo mantidas as mesmas condições experimentais<sup>17</sup>, as médias dos índices de consistência obtidas no ensaio foram maiores que as obtidas nos testes (cerca de 34% maior para o traço 1, 50% maior para o traço 2 e 23% maior para o traço 6).

A hipótese para esse acontecimento pode estar relacionada com a areia: mistura de diferentes granulometrias em um mesmo depósito. A areia caracterizada e

<sup>17</sup> Cimento e cal de mesmo lote, materiais rigorosamente pesados e areia seca em estufa.

utilizada no ensaio teste foi retirada das camadas mais superficiais do depósito, enquanto que a areia utilizada nos ensaios, era proveniente das camadas mais profundas, devido ao intervalo de tempo entre as duas produções.

### 3.2.3.1.3 Moldagem

Depois da obtenção dos índices de consistência, as argamassas foram colocadas nos moldes.

As argamassas moldadas, de todos os traços, são mostradas na Figura 24.



**Figura 24 - Argamassa moldadas**  
Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

Os corpos de prova das argamassas foram mantidos nos moldes por 7 dias para evitar quebras, porém, mesmo sendo desmoldadas em um tempo bem superior ao recomendado pela norma, os corpos de prova CP1'2 e CP 2'2 da argamassa do traço 2 (com presença de cal) ficaram muito frágeis e romperam-se ao desmoldar, como pode-se observar na Figura 25, impossibilitando a obtenção da resistência à tração na flexão.



Figura 25 - Argamassas desmoldadas – segunda etapa  
Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

#### 3.2.3.1.4 Resistência à compressão

Para o rompimento das argamassas, 28 dias depois da produção, utilizou-se novamente a prensa EMIC DL30000.

A Tabela 12 mostra um resumo das condições de ensaio dos corpos de prova de argamassas.

Tabela 12 - Resumo das amostras de argamassa

Traço	Nº amostras		Idade	Condições de cura	
	Flexão	Compressão		Temperatura	Umidade
1 (1:0:3:1,2)	3	6	28 dias	(23±2)°C	(60±5) %
2 (1:0,5:4,5:2)	3	6			
6 (1:0:3:0,9)	3	6			

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

Primeiramente os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de tração na flexão como exibe a Figura 26.



**Figura 26 - Ensaio de tração na flexão das argamassas**  
**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

O ensaio de tração na flexão, divide os corpos de prova em dois, conforme mostra a Figura 27, possibilitando o ensaio de compressão axial nas duas metades obtidas.

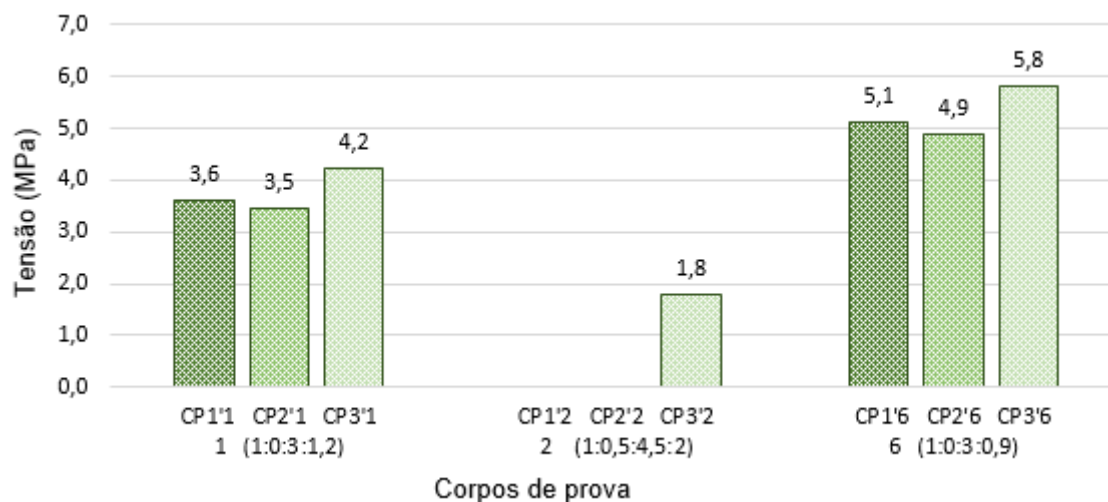


**Figura 27 - Corpos de prova de argamassa partidos ao meio pelo ensaio de tração na flexão**  
**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

A partir da força que a prensa fornece, é possível calcular a resistência à tração na flexão das argamassas. O método de cálculo e o relatório de ensaio seguiram as recomendações da NBR 13279 (2005) e são expostos no Apêndice E.

O Gráfico 8<sup>18</sup> mostra os resultados obtidos.

<sup>18</sup> Não foi possível obter a resistência à tração na flexão dos corpos de prova CP1'2 e CP2'2 devido à quebra dos mesmos durante a desforma.



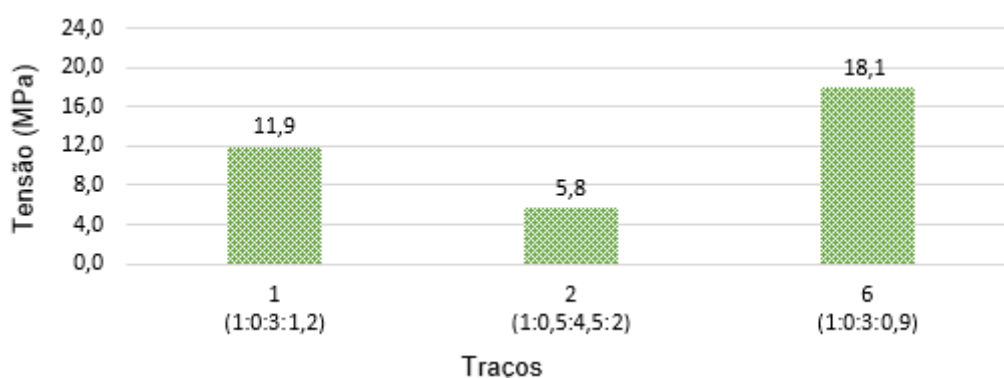
**Gráfico 8 - Ensaio de tração na flexão das argamassas**

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

Pode-se afirmar, através do Gráfico 8, que quanto maior a relação a/c das argamassas, menor é a sua resistência à tração.

Seguindo os mesmos procedimentos descritos anteriormente, foi realizado o ensaio de compressão axial das argamassas. O relatório completo do ensaio e os resultados individuais de cada corpo de prova, são expostos no Apêndice E.

O Gráfico 9 mostra a resistência à compressão média das duas metades de cada corpo de prova ensaiado.



**Gráfico 9 - Média das resistências das argamassas - Ensaio**

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

Quando se compara o Gráfico 9 com o Gráfico 3, nota-se uma diferença considerável nas resistências das argamassas obtidas nos testes e no ensaio. A maior diferença encontrada foi no traço 2, que apresentou um aumento de, mais ou menos, 142% em sua resistência, enquanto que o traço 1 apresentou uma diferença de,

aproximadamente, 100% e o traço 6 uma diferença de 37%. Mais uma vez, a hipótese dessa diferença se relaciona com a granulometria da areia.<sup>19</sup>

Outro fato que chama bastante atenção, é quando se compara os resultados de resistência com os índices de consistência. O esperado era que, como as argamassas do ensaio ficaram mais fluidas (índices de consistência maiores), as resistências destas, seriam menores no ensaio do que as obtidas nos testes. Porém, o que se observa é exatamente o contrário: a resistência aumentou com o aumento do índice de consistência e esse aumento seguiu uma tendência: o maior aumento do índice (50%) e da resistência (142%) foi no traço 2, seguida do traço 1 com aumento de 34% no índice e 100% na resistência e por último o traço 6, com aumento de 23% no índice e 37% na resistência.

Apesar do ensaio ter apresentado resistência de argamassa totalmente diferente das argamassas testes, conseguiu-se obter argamassas com variação de aproximadamente 6 MPa entre si, o que possibilita resultados de comparação eficientes.

E, mais uma vez, as afirmações de Silva e Campiteli (2006) e Mohamad, et al., (2009), se confirmam, pois, o traço 2, com cal e maior relação a/c produziu a argamassa mais fraca, enquanto que o traço 6, com menor relação a/c e sem teor de cal, produziu a argamassa mais forte.

A Tabela 13 mostra um resumo dos três traços de argamassa utilizados no ensaio.

**Tabela 13 - Resumo das argamassas dos ensaios**

Traço	Proporção									Consistência (mm)	Resistência mecânica (MPa)	
	Em volume				Em massa (g)						Flexão	Compressão
	Cimento	Cal	Areia	a/c	Cimento	Cal	Areia	Água	Aditivo			
1	1	0	3	1,2	1200	0	5070	1200	0,0	37,7	3,8	11,9
2	1	0,5	4,5	2	800	184	5070	1333	0,0	35,5	-	5,8
6	1	0	3	0,9	1200	0	5070	900	18,6	30,4	5,3	18,1
Resistência bloco: 5,9 MPa						70% da Resistência do bloco: 4,1 MPa						

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

Verifica-se pela Tabela 13 que, no final, as argamassas ficaram com resistência superior a 70% da resistência do bloco, obtendo-se uma argamassa com resistência aproximadamente igual a do bloco (traço 2) e duas argamassas com resistência

<sup>19</sup> Como a areia utilizada pertencia a um mesmo depósito, um novo ensaio granulométrico foi dispensado.

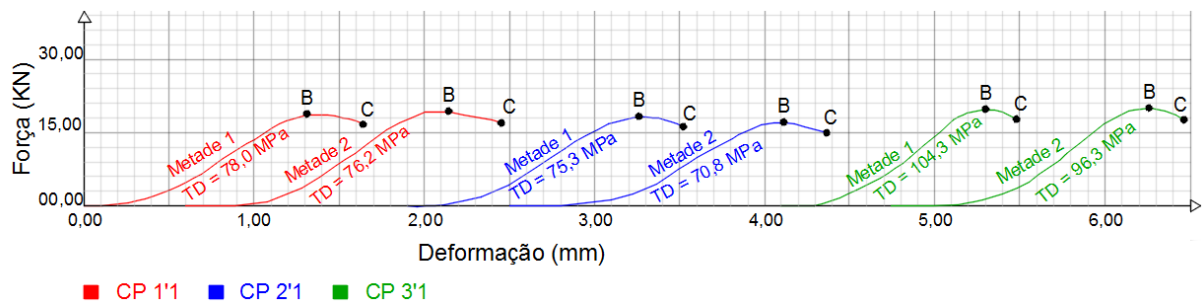


superior à do bloco (traços 1 e 6).

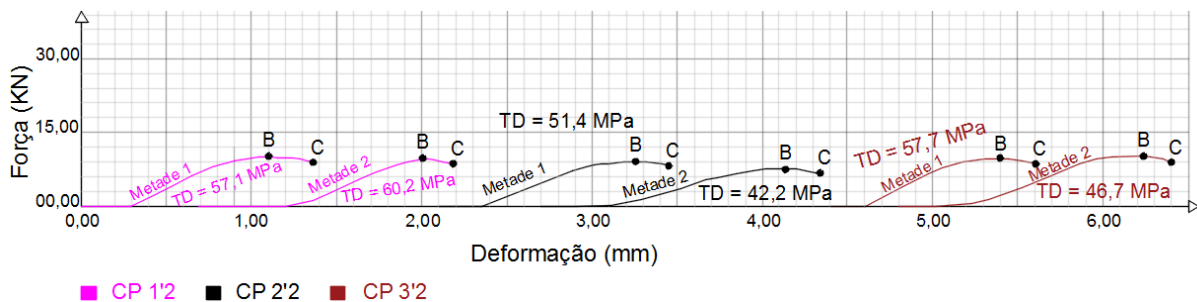
### 3.2.3.1.5 Obtenção das deformações

Assim como nos ensaios testes, foram obtidas as curvas Força x Deformação para cada traço escolhido. Lembrando que, devido a indisponibilidade de extensômetros no laboratório, as deformações foram obtidas através do deslocamento do prato da prensa.

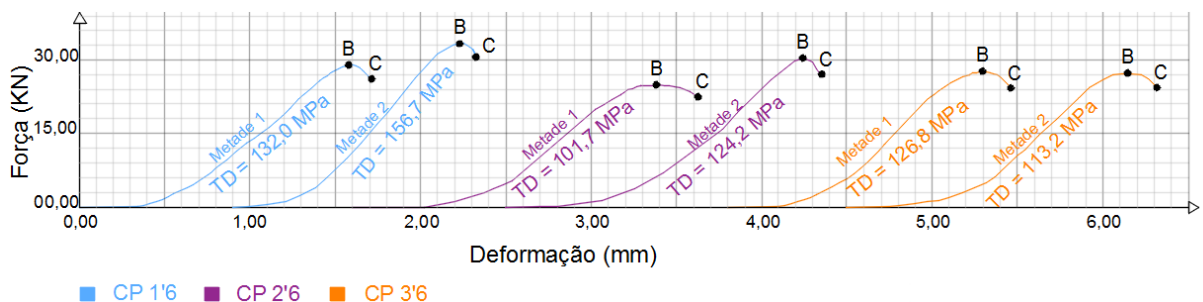
Os Gráficos 10, 11 e 12 mostram as curvas obtidas para os traços 1, 2 e 6 respectivamente.



**Gráfico 10 - Deformação argamassas - Traço 1**  
Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).



**Gráfico 11 - Deformação argamassas - Traço 2**  
Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).



**Gráfico 12 - Deformação argamassas - Traço 6**  
Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

Nos Gráficos 10, 11 e 12<sup>20</sup>, identifica-se dois pontos importantes: o ponto B que corresponde a tensão máxima do material e o ponto C que representa o ponto de ruptura. Percebe-se que, mesmo sendo um material considerado frágil, todas as argamassas apresentaram fase de ruptura (trecho B-C), característica típica de materiais dúcteis, resultado este, não convencional e que se opõe à bibliografia.

É possível verificar, pelos Gráficos 10, 11 e 12, que houve uma uniformidade nas curvas de cada uma das amostras, pois todos os corpos de provas seguiram o mesmo padrão de curvatura para cada um dos traços. Além disso, é possível perceber que o objetivo inicial do trabalho foi, novamente, atingido, pois variando-se as relações a/c e os teores de cal das misturas, conseguiu-se obter argamassas com capacidade de deformações distintas uma das outras.

Todos os métodos de determinação do 'Módulo de Deformação', além de não possuírem normatização específica para argamassas, necessitam de aparelhos peculiares para a sua execução. Portanto, neste trabalho, apenas para fins comparativos, optou-se pela verificação do comportamento tensão x deformação, abreviado pela sigla TD<sup>21</sup>, por meio de uma aproximação linear da curva Força x Deformação obtida nos ensaios de compressão axial. Decidiu-se por trabalhar com essa aproximação, para que se pudesse auferir a influência da deformação das argamassas na capacidade de deformação dos prismas.

Diante disso, faz-se uso das Equações 4, 5 e 6, a fim de estipular valores para o comportamento tensão x deformação das argamassas ensaiadas. A planilha com todos os cálculos realizados, é mostrada no Apêndice E e os resultados são exibidos nos Gráficos 10, 11 e 12.

Em resumo, observa-se que quanto maior a resistência da argamassa, menor é a sua deformação, conforme indica a Tabela 14.

---

<sup>20</sup> Nota-se que algumas curvas apresentam variação da deformação sem variação da força. Isso ocorre devido ao espaço deixado entre a unidade e a placa de compressão no início do ensaio. Este fato não provoca qualquer interferência nos resultados pois o ensaio só é válido, quando a força é diferente de 0.

<sup>21</sup> O comportamento tensão x deformação será análogo ao módulo de deformação, mas como será determinado por uma aproximação, optou-se por nomeá-lo com uma sigla diferente.

**Tabela 14 - Resumo do TD das argamassas**

Traço	Resistência (MPa)	TD <sub>médio</sub> (MPa)
2 (1:0,5:4,5:2)	5,8	52,5
1 (1:0:3:1,2)	11,9	83,5
6 (1:0:3:0,9)	18,1	125,8

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

Os resultados da Tabela 14, mostram que o traço 2 (argamassa mista) apresentou o menor TD, ou seja, foi a argamassa que mais se deformou com a aplicação da carga. Isso ocorre devido a adição de cal na mistura, que conforme Silva e Campiteli (2006), aumenta consideravelmente o índice de vazios da argamassa, provocando um aumento da sua capacidade de deformação.

### 3.2.3.2 Assentamento dos prismas

Como a produção foi realizada em laboratórios, adotou-se o método A de execução, conforme recomenda a NBR 8215 (1983).

Foram produzidos, três prismas por ensaio, os quais foram capeados, ou seja, receberam uma fina camada de uma pasta a base de cimento, como ilustra a Figura 28, para que as imperfeições dos blocos fossem reduzidas e assim as tensões atuantes, durante o ensaio, fossem uniformemente distribuídas em todo o perímetro do bloco (BARBOSA, 2004). As espessuras das juntas de argamassa foram mantidas constantes durante todo o assentamento, com espessura igual a 10 mm.



**Figura 28 - Nove prismas assentados**  
Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

A pasta à base de cimento é recomendada pela norma brasileira NBR 12118 (2013), porém em outros países, como na Austrália, por exemplo, o capeamento é

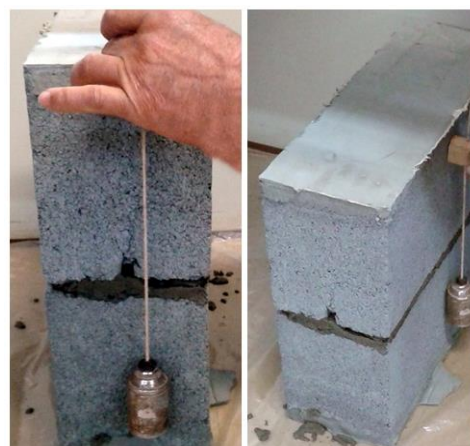
realizado com madeira compensada com espessuras que variam de 4 a 6 mm (BARBOSA, 2004).

Ao contrário dos blocos cerâmicos, os blocos de concreto não devem ser umedecidos antes do assentamento, pois, segundo Roman (1998), isto causaria deformações, de expansão e contração, que seriam prejudiciais à integridade da alvenaria.

Em cada prisma foram verificados o nível, como mostra a Figura 29 e o prumo dos 4 lados do prisma, como mostra a Figura 30, para que não houvesse interferência no ensaio de compressão.



**Figura 29 - Verificação do nível do prisma**  
Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).



**Figura 30 - Verificação do prumo do prisma**  
Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

### 3.2.3.3 Rompimento dos prismas

Passados 28 dias do assentamento, cada prisma foi submetido ao ensaio de compressão axial, como ilustra a Figura 31, com o auxílio da prensa EMIC DL30000.



**Figura 31 - Adaptação na prensa**  
**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

Para o rompimento dos prismas, realizou-se uma adaptação na prensa. Foram colocadas duas placas metálicas<sup>22</sup> com alça, a fim de permitir uma distribuição uniforme de tensões e deformações no elemento.

Da mesma forma, devido a indisponibilidade de extensômetros no laboratório, as deformações dos prismas foram obtidas através do deslocamento do prato da prensa.

A Tabela 15 mostra um resumo das condições de ensaio dos prismas.

**Tabela 15 - Resumo das amostras de prismas**

Traço argamassa	Nº amostras prismas	Idade	Condições de cura
1 (1:0:3:1,2)	3	28 dias	Condições de temperatura e umidade de assentamento (ambiente) ao abrigo do sol e vento
2 (1:0,5:4,5:2)	3		
6 (1:0:3:0,9)	3		

**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

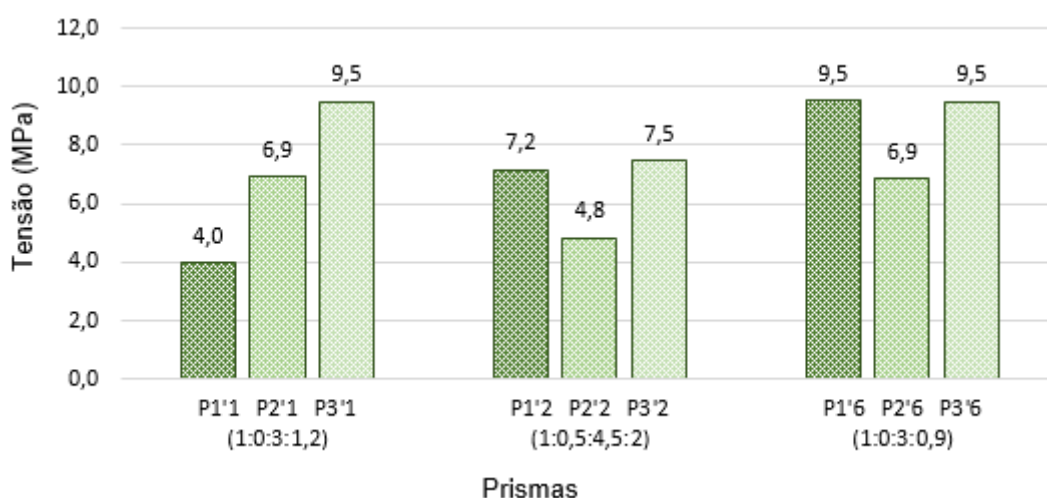
<sup>22</sup> A placa superior foi amarrada com corda, para que ela não caísse quando o bloco se rompesse.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 PARAMÊTROS DOS PRISMAS

#### 4.1.1 Obtenção Da Resistência À Compressão

O Apêndice F mostra o relatório completo do ensaio de compressão axial dos prismas e o Gráfico 13 apresenta os resultados obtidos.



**Gráfico 13 - Resistência à compressão dos prismas**  
**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

Constata-se, pelo Gráfico 13, uma grande disparidade de resultados entre os prismas de uma mesma amostra<sup>23</sup>. Essa discrepância pode ser decorrente da falta de uniformidade da junta de argamassa durante o assentamento, a qual pode ser visualizada no Apêndice G e também proveniente da variação de resistência dos blocos utilizados.

A Tabela 16 evidencia a variação de resistências entre prismas de um mesmo traço, através de uma análise gráfica inicial<sup>24</sup>.

<sup>23</sup> Prismas assentados com blocos de um mesmo lote e mesma argamassa.

<sup>24</sup> O processo de cálculo do desvio padrão e do coeficiente de variação é exposto no Apêndice F.

**Tabela 16 - Análise gráfica inicial**

Traço	$\bar{X}^{(A)}$ (MPa)	DP <sup>(B)</sup> (MPa)	CV <sup>(C)</sup> (%)
1 (1:0:3:1,2)	6,8	2,8	40,3
2 (1:0,5:4,5:2)	6,5	1,4	22,2
6 (1:0:3:0,9)	8,6	1,5	17,8

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

(A) Média.

(C) Desvio padrão.

(B) Coeficiente de variação.

Pela Tabela 16, é possível notar um grande desvio padrão na amostra do traço 1, quando comparado com o desvio padrão dos outros traços, o que origina um maior coeficiente de variação.

A fim de amenizar a discrepância entre as resistências dos prismas, realizou-se, para cada traço, uma nova análise, chamada de análise gráfica posterior<sup>25</sup>, excluindo os prismas com resistências mais distantes da média (P1'1, P2'2 e P2'6).

Os resultados são indicados na Tabela 17.

**Tabela 17 - Análise gráfica posterior**

Traço	$\bar{X}^{(A)}$ (MPa)	DP <sup>(B)</sup> (MPa)	CV <sup>(C)</sup> (%)
1 (1:0:3:1,2)	8,2	1,8	21,9
2 (1:0,5:4,5:2)	7,3	0,2	3,1
6 (1:0:3:0,9)	9,5	0,0	0,0

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

(A) Média.

(C) Desvio padrão.

(B) Coeficiente de variação.

Pode-se observar, pela Tabela 17, que nesta nova análise, o desvio padrão das amostras diminuiu consideravelmente, chegando a ser nulo no traço 6. Contudo, a variação na capacidade de suporte média dos prismas não apresentou mudança significativa entre uma análise e outra, como aponta a Tabela 18.

<sup>25</sup> O processo de cálculo do desvio padrão e do coeficiente de variação é exposto no Apêndice F.

Tabela 18 - Variação de resistência dos prismas

Resistência dos prismas (MPa)		
Variação de resistência entre os traços	Análise gráfica inicial	Análise gráfica posterior
2 e 1	0,3	0,9
1 e 6	1,8	1,3

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

Percebe-se, pela Tabela 18, que mesmo excluindo-se os prismas com resistências mais distantes da média (análise gráfica posterior), a variação de resistência entre os traços continuou pouco significativa, pois do traço 2 para o traço 1 a variação de resistência dos prismas foi de, apenas, 0,9 MPa e do traço 1 para o 6, essa variação foi de 1,3 MPa.

O Gráfico 14 fornece uma visão mais clara sobre a influência da resistência da argamassa na resistência dos prismas. Por fornecer resultados mais precisos e confiáveis, considerou-se a análise gráfica posterior.

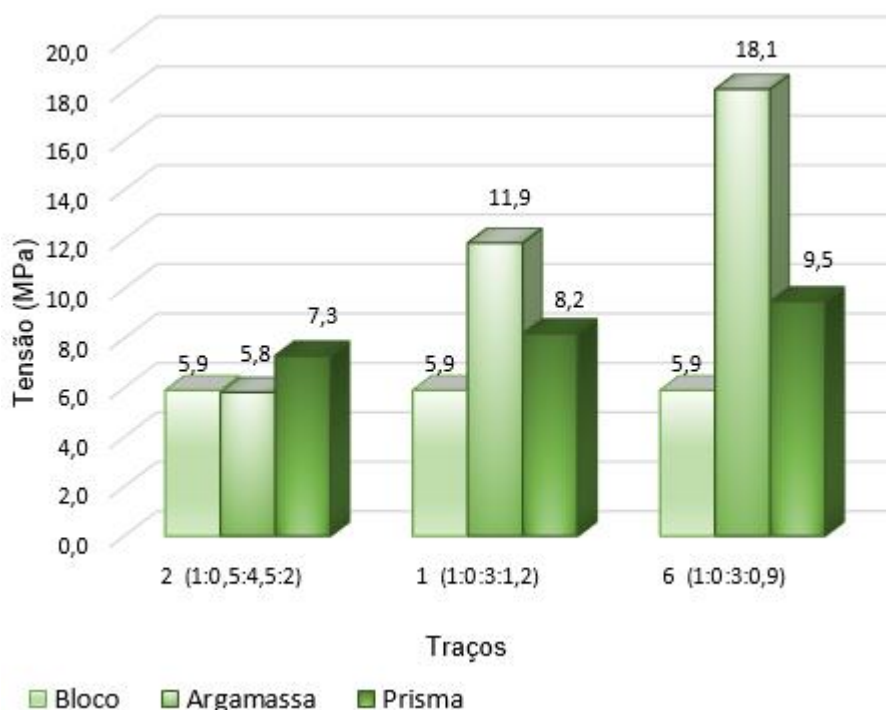


Gráfico 14 - Comparação resistência argamassa x prisma

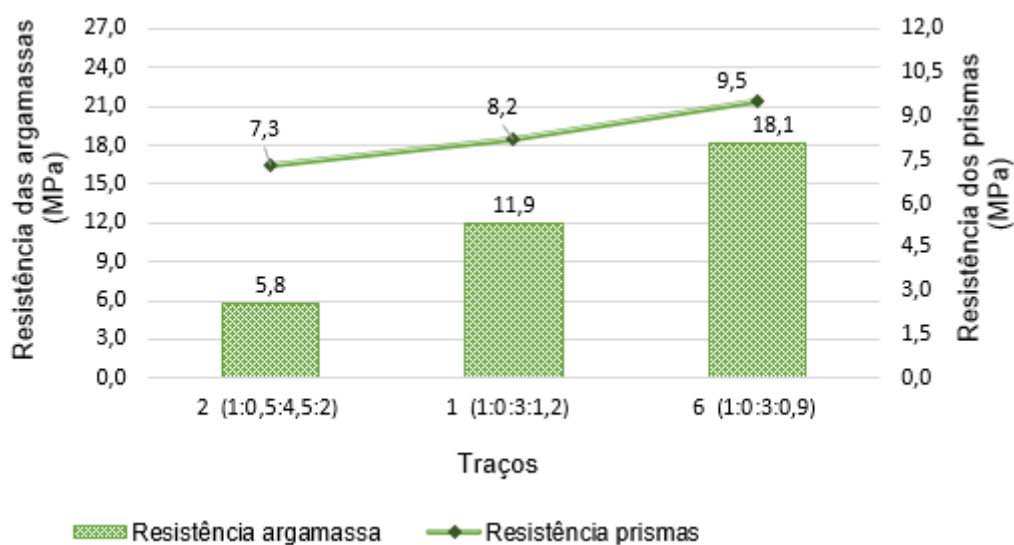
Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

Pode-se observar pelo Gráfico 14, que conforme a resistência da argamassa aumenta, a resistência dos prismas também aumenta. Porém, este aumento não é significativo, pois do traço 2 para o traço 1, tem-se um aumento de, apenas, 0,9 MPa



na resistência dos prismas e do traço 1 para o traço 6, esse acréscimo é de, somente, 1,3 MPa. Ou seja, ao comparar o traço 2 com o traço 6, observa-se que é preciso variar cerca de 12 MPa na resistência da argamassa, para se obter uma variação de, aproximadamente, 2 MPa na resistência do prisma.

Contudo, é possível perceber que o incremento de resistência dos prismas com o aumento de resistência das argamassas é praticamente linear, como mostra o Gráfico 15.

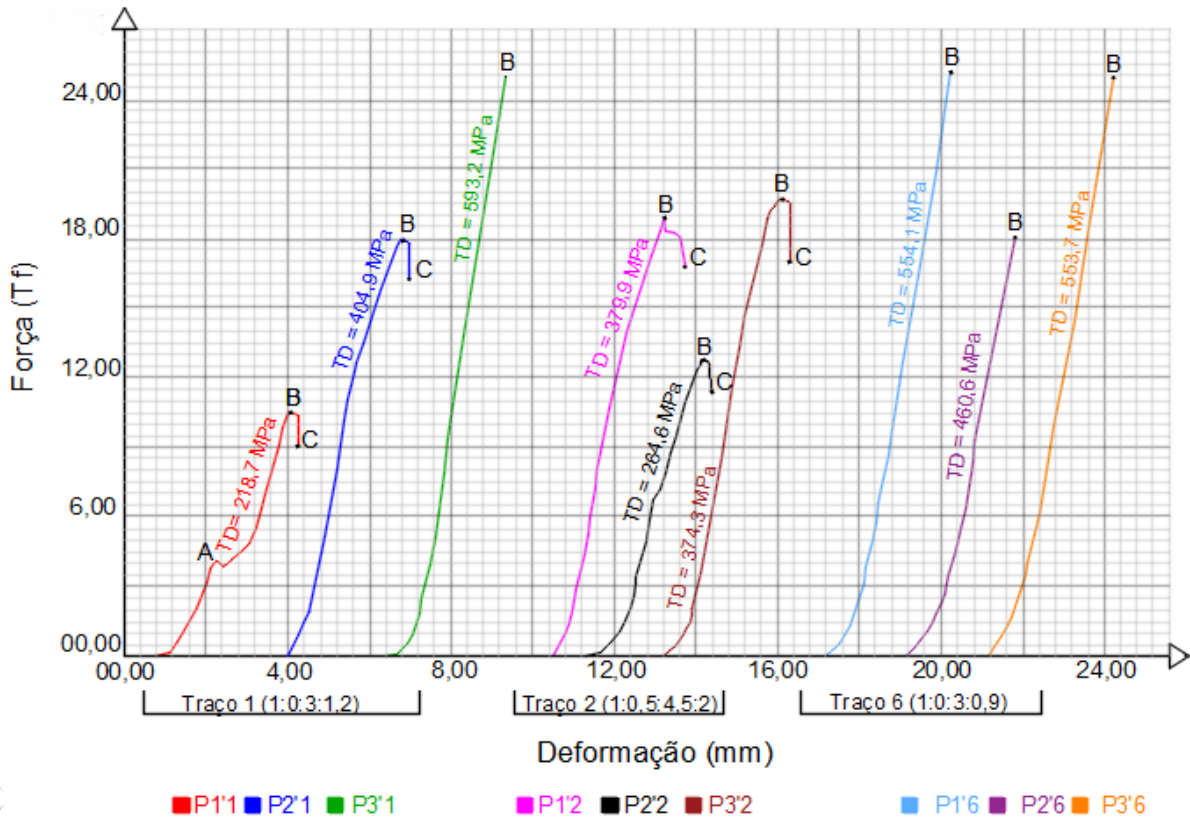


**Gráfico 15 - Linearidade entre a resistência de prismas e argamassas**  
 Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

Visualiza-se, a partir do Gráfico 15, que o aumento de resistências entre as argamassas, em torno de 6 MPa, produziu um aumento praticamente linear de, em média, 1,1 MPa na capacidade de suporte dos prismas.

#### 4.1.2 Obtenção Das Deformações

Assim como efetuado com as argamassas, a partir do ensaio de compressão axial, obteve-se as deformações correspondentes de cada prisma, com base no deslocamento dos pratos da prensa. O Gráfico 16 mostra essas deformações.



**Gráfico 16 - Deformação prismas – Análise inicial**  
 Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

A partir das curvas Força x Deformação obtidas da prensa, foi possível, calcular valores para o comportamento tensão x deformação (TD) dos prismas, fazendo-se uso das Equações 4, 5 e 6.

A planilha com todos os cálculos realizados, é mostrada no Apêndice F e os resultados são exibidos no Gráfico 16.

Pelo Gráfico 16 é possível perceber que os prismas P1'1, P2'2 e P2'6 apresentaram variações nas deformações e no comportamento tensão x deformação, assim como observado nas resistências. Deste modo, optou-se pela exclusão dos mesmos, como mostra o Gráfico 17.

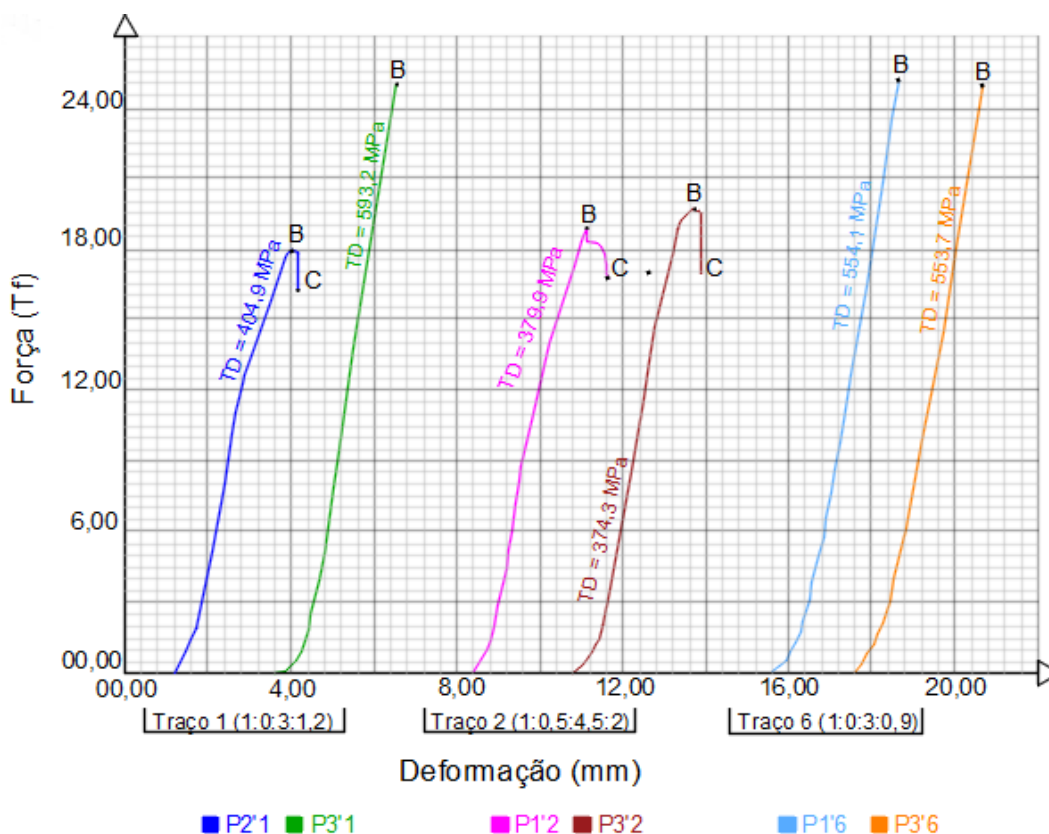


Gráfico 17 - Deformação prismas - Análise posterior

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

Fazendo-se um estudo comparativo, após a exclusão dos prismas mais discrepantes, pode-se notar pelo Gráfico 17, que:

- Os prismas assentados com argamassa do traço 6 (mais resistente) apresentaram um comportamento totalmente frágil em 100% das unidades, ou seja, romperam ao atingir a tensão máxima (ponto B), não apresentando fase de ruptura;
- Os prismas assentados com argamassa do traço 2 (mais fraca e com adição de cal) mostraram, também, um comportamento frágil, afinal trata-se de prismas com blocos de concreto (material frágil). Porém, após atingir a tensão máxima, continuaram se deformando, apresentando um pequeno trecho na fase de ruptura (trecho B-C) em 100% das unidades.

Pode-se concluir, então, que as argamassas com presença de cal, produzem prismas com maior deformação e com comportamento menos frágil, principalmente quando se refere a fase de ruptura.

- Já os prismas assentados com a argamassa do traço 1, apresentaram comportamento totalmente diferentes. O P2'1 se aproximou do comportamento

dos prismas com argamassa do traço 2, apresentando uma pequena fase de ruptura (trecho B-C). E o P3'1 se assemelhou aos prismas do traço 6, apresentando comportamento totalmente frágil, rompendo-se ao atingir o Limite de Resistência (ponto B).

As diferenças de comportamento citadas acima, podem ser reforçadas pelo resumo do comportamento tensão x deformação dos prismas, mostrado na Tabela 19.

**Tabela 19 - TD<sub>médio</sub> prismas**

Traço	Resistência argamassa (MPa)	TD <sub>médio</sub> prismas (MPa)
2 (1:0,5:4,5:2)	5,8	377,1
1 (1:0:3:1,2)	11,9	499,0
6 (1:0:3:0,9)	18,1	553,9

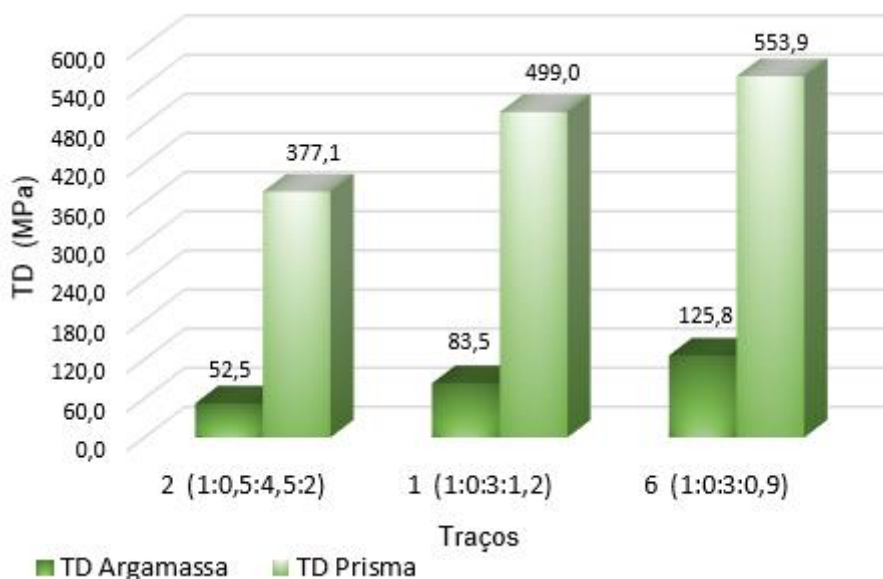
**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

Pela Tabela 19, é possível identificar que o aumento da resistência à compressão da argamassa diminuiu a capacidade de deformação do prisma, ou seja, contribuiu para a ruptura frágil. Por exemplo, a argamassa mista (traço 2) produziu prismas com módulo TD menor, logo com maiores deformações, quando comparados aos prismas assentados com argamassa do traço 6. Em outras palavras, argamassas mistas (com cal), produzem prismas com maior capacidade de absorção de deformações.

Assim, conclui-se que, alvenarias assentadas com argamassas mais fracas e com presença de cal na mistura, apresentarão melhor desempenho na absorção dos esforços estruturais.

Com os dados da Tabela 19 percebe-se, também, que a variação do comportamento tensão x deformação não é linear, sendo maior a variação do traço 1 para o traço 6 (54,9 MPa) do que a variação do traço 2 para o 1 (121,9 MPa).

O Gráfico 18 faz uma comparação entre o comportamento tensão x deformação das argamassas e dos prismas.

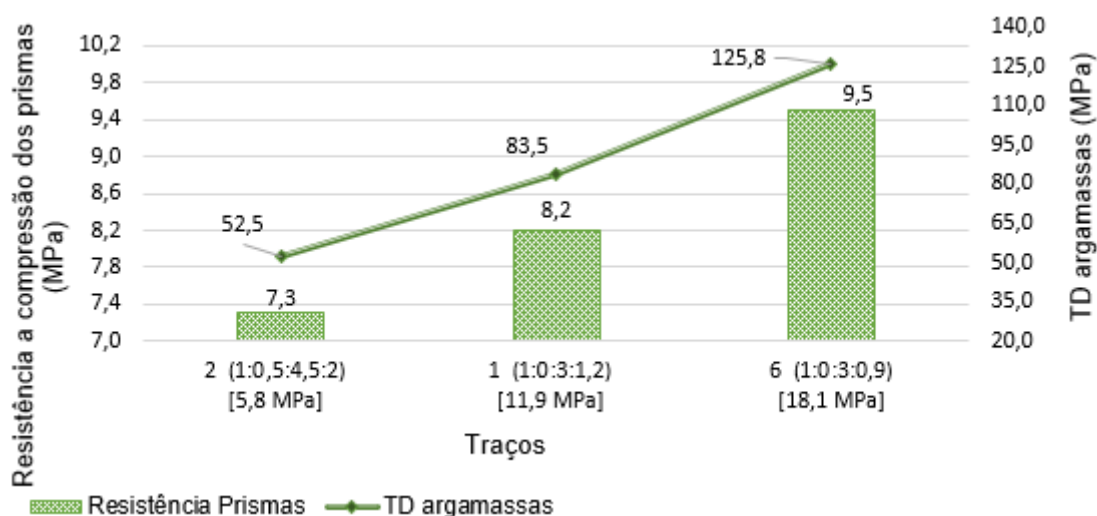


**Gráfico 18 - Comparação TD argamassa x prisma**

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

Pode-se observar pelo Gráfico 18 que, conforme o módulo TD da argamassa aumenta, o TD dos prismas também aumenta. Porém, percebe-se que este incremento não é linear pois, do traço 2 para o traço 1 tem-se um aumento de 31 MPa na argamassa e 121,9 MPa no prisma, enquanto que, do traço 1 para o 6, tem-se um aumento de, aproximadamente, 42 MPa na argamassa, e um acréscimo de 54,9 MPa no prisma.

Após todas essas análises, conclui-se que o módulo TD das argamassas possui influência direta com a resistência dos prismas, conforme ilustra o Gráfico 19.



**Gráfico 19 - Relação TD argamassas x Resistência Prismas**

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

O Gráfico 19 mostra que, quanto maior o TD das argamassas, maior é a capacidade de suporte dos prismas, o que comprova a afirmação de La Rovere (1997), de que quanto menor o módulo de elasticidade da argamassa, menor será a resistência à compressão do prisma, devido ao aumento das tensões de tração geradas nos blocos para manter o equilíbrio do conjunto.

#### 4.1.3 Modo de ruptura

Cada prisma apresentou um modo de ruptura diferente durante os ensaios de compressão, não apresentando um padrão de fissuração em nenhum dos traços.

Segundo Mohamad, Rizzatti e Roman (2012) a ruptura da alvenaria pode acontecer pela fissuração da junta de argamassa ou pela fissuração do bloco, sendo este segundo, considerado o mais adequado.

Em resumo, observou-se que, mesmo em traços com resistências maiores à do bloco (traços 1 e 6), todos os prismas romperam pela fissuração da unidade, ou seja, todos os prismas atingiram seus limites de resistência à tração, o que se contrapõe às ideias de Mohamad, Rizzatti e Roman (2012), os quais afirmam que, para a ruptura acontecer pela fissuração do bloco, é necessário que se ajuste à resistência da argamassa a resistência da unidade.

Constatou-se que não houve um padrão definido de fissuração e ruptura. O prisma P3'1, por exemplo, apresentou pequenas fissuras verticais, muito semelhantes aos prismas do traço 6 e o prisma P2'1 apresentou colapso do bloco inferior, se assemelhando ao processo de ruptura dos prismas do traço 2, que em 100% das unidades ocorreu esfacelamento da face do bloco. E, ainda que, a maioria dos blocos possuíssem um orifício lateral, apenas o prisma P1'1 apresentou fissuração proveniente do orifício, indicando que o mesmo não influenciou na ruptura dos prismas.

A Figura 32 mostra as fissurações mais comuns encontradas nos três traços. A descrição da ruptura e seus principais aspectos, para cada prisma, são apresentados, em detalhe, no Apêndice G.



**Figura 32 - Ruptura dos prismas. (a) P2'1 (traço 1). (b) P1'2 (traço 2). (c) P3'6 (traço 6)**  
**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

As fissuras dos prismas, inclusive as apresentadas na Figura 32, serão chamadas de  $w, y, z$ , sendo  $y$  as fissuras com espessura intermediária,  $w$  as fissuras mais espessas que  $y$ , e  $z$  as fissurações mais finas que  $y$ , ou seja,  $w > y > z$ .

Observou-se que, em geral, as fissuras do traço 1 eram do tipo  $y$ , as fissuras do traço 2 exibiram espessuras  $w$  e os prismas do traço 6 apresentaram fissurações de espessura  $z$ . O que leva a conclusão de que argamassas mais fracas, provocam fissuras mais espessas nos blocos, enquanto que, argamassas mais fortes, provocam fissuras mais estreitas. A hipótese para esse acontecimento, é que por serem mais deformáveis, as argamassas mais fracas, provocam maiores tensões de tração nos blocos, do que as argamassas mais fortes.

Em síntese, pode-se concluir que, argamassas menos resistentes provocam o esfacelamento das paredes dos blocos, que segundo Mohamad (1998)<sup>26</sup>, reproduz uma ruptura “dúctil”, chamada neste trabalho de ruptura menos frágil, enquanto que argamassas mais resistentes provocam fissurações transversais, que segundo Mohamad (1998), descreve uma ruptura frágil. Essa conclusão pode ser confirmada, também, pelas curvas de deformações dos prismas, onde 100% dos prismas assentados com a argamassa mais fraca (traço 2) apresentaram fase de ruptura (trecho B-C), característica típica de materiais dúcteis.

## 4.2 OBTENÇÃO DA CARGA ADMISSÍVEL DA PAREDE ESTRUTURAL

Para correlacionar as resistências obtidas pelo ensaio de compressão axial dos

<sup>26</sup> Mohamad (1998), considera argamassas mais ou menos resistentes em função da resistência do bloco na área líquida que, para este trabalho, estaria em torno de 12 MPa.

prismas com a resistência final da parede estrutural, faz-se uso da Equação 7, recomendada pela NBR 10837 (1989).

$$P_{adm} = 0,20 * f_p * \left[ 1 - \left( \frac{h}{40 * t} \right)^3 \right] * A_{liq} \quad (7)$$

Onde:

$P_{adm}$  Carga admissível da parede de alvenaria estrutural.

$f_p$  Resistência média dos três prismas, rompidos aos 28 dias.

$h$  Altura real da parede, quando esta, é apoiada na base e no topo.

$t$  Espessura real da parede sem contar os eventuais revestimentos, quando esta não possui enrijecedor<sup>27</sup>.

$A_{liq}$  Área líquida.

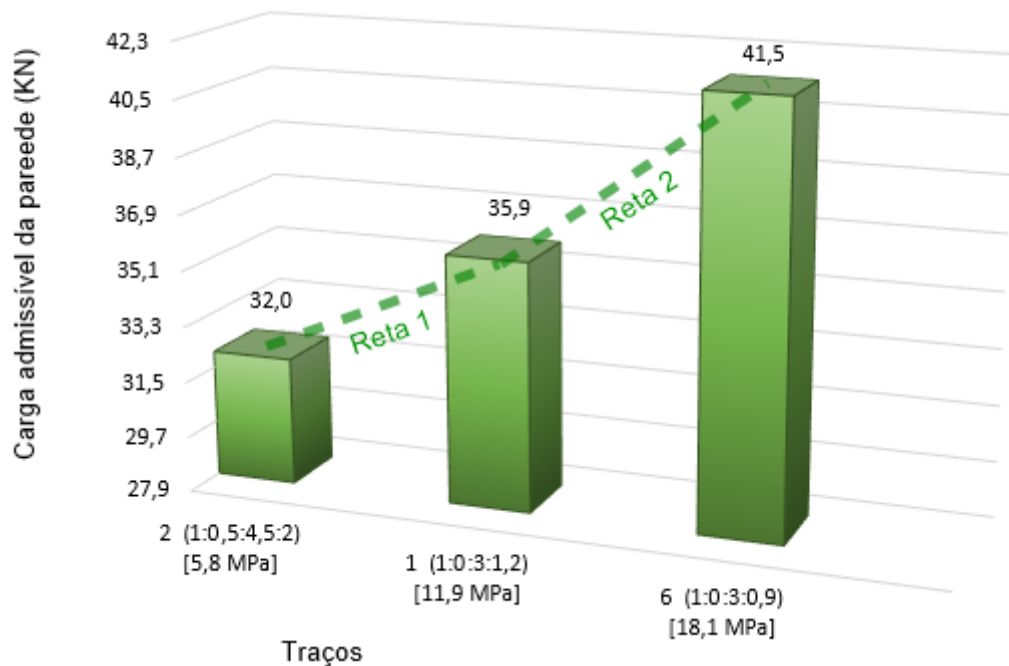
Para fins comparativos, adotou-se uma parede comum de 3 metros de altura, considerando-a apoiada na base e no topo, e com espessura de 14 cm, correspondente a largura dos blocos vazados de concreto.

Os resultados obtidos são mostrados no Gráfico 20.

---

<sup>27</sup> Elemento estrutural vinculado a uma parede resistente, a fim de obter enrijecimento horizontal (ABNT, 1989).





**Gráfico 20 - Carga admissível da parede estrutural**  
**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

Verifica-se, pelo Gráfico 20, que quanto maior a resistência da argamassa, maior a capacidade de suporte da parede e que, este acréscimo, é praticamente linear. Essa linearidade, pode ser melhor visualizada a partir das retas 1 e 2, que possuem, aproximadamente, a mesma inclinação e por, apenas, 850 N, não se tornam uma única reta.

## 5 CONCLUSÃO

Como resultado geral das análises realizadas, conclui-se que a resistência à compressão da parede de alvenaria estrutural com blocos vazados de concreto, é sensível à variação da resistência à compressão da argamassa. Pode-se afirmar que, embora essa variação seja pouca significativa, é aproximadamente linear, pois um aumento de 6 MPa, na resistência da argamassa de traço 2 (1:0,5:4,5:2 – argamassa mais fraca, com teor de cal na mistura e maior relação a/c) para a argamassa de traço 1 (1:0:3:1,2 – argamassa de resistência intermediária, sem cal) provocou um acréscimo de 0,9 MPa na capacidade de suporte dos prismas, assim como, para uma mesma variação de 6 MPa, entre as argamassas de traço 1 e 6 (1:0:3:0,9 – argamassa mais forte, sem cal e menor relação a/c), provocou um aumento de 1,3 MPa na resistência dos prismas.

Nota-se, portanto, que quanto maior a relação água/cimento e o teor de cal na argamassa, menor será a resistência da mesma e, conseqüentemente, menor será a capacidade de suporte do prisma.

Afirma-se também que, mesmo fazendo-se uso de uma aproximação linear, a variação do comportamento tensão x deformação (TD) das argamassas (acrescentando-se cal ou aumentando-se a relação a/c na mistura) provoca variação no comportamento dos prismas, pois quanto maior a deformação da argamassa, maior será a deformação dos prismas e conseqüentemente, maior a deformação da parede estrutural.

Neste sentido assegura-se que quanto mais deformável for a argamassa, maiores serão as tensões de tração geradas nos blocos e, conseqüentemente, menor será a resistência à compressão do prisma, conforme mostrou La Rovere (1997).

Deste modo, constata-se que entre as divergências de opiniões de autores como Barbosa (2004), Camacho (2006) e Mata (2006), o terceiro foi o que estabeleceu resultados semelhantes ao deste trabalho, acordando que o aumento da resistência à compressão da alvenaria com o aumento da resistência da argamassa é pouco significativo, sendo mais importante a aplicação de argamassas menos resistentes e mais deformáveis (MATA, 2006).

Logo, para obter um aumento significativo na resistência do prisma e na capacidade de suporte da alvenaria, é preferível que se aumente a resistência do

bloco, ao invés de acrescer a resistência da argamassa.

Assim, as argamassas mistas são as mais indicadas para o assentamento da alvenaria estrutural com blocos vazados de concreto, pois unem a resistência mecânica oferecida pelo cimento com a trabalhabilidade ofertada pela cal (MOTA, 2001) e distribuem melhor as tensões de compressão atuantes da estrutura (CAMACHO, 2006).

Conclui-se, também, que a escolha da resistência da argamassa de assentamento não deve ser baseada na comparação com a resistência do bloco, pois a diferença na capacidade de suporte dos prismas assentados com argamassas de resistências próximas ou superiores às do bloco é insignificante.

Levando-se em consideração os mecanismos de ruptura apresentados por cada um dos prismas, alega-se que, em geral, prismas assentados com argamassas mais fracas, possuirão ruptura considerada “dúctil”<sup>28</sup> e prismas assentados com argamassas mais fortes, apresentarão ruptura frágil, como mencionou Mohamad (1998).

Nota-se a necessidade da continuação deste estudo para aumentar os conhecimentos sobre a influência da argamassa no comportamento dos prismas estruturais. Logo, como sugestão para trabalhos futuros, ficam as análises de mais traços de argamassas, incluindo uma argamassa com resistência menor que a do bloco, pesquisas com maior número de prismas, experimentos que incluam blocos de diferentes resistências, estudos que levem em consideração outros fatores que podem influenciar a resistência da parede, como espessura da junta e absorção do bloco e, também, trabalhos que incluam o uso de extensômetros para determinação dos ‘Módulos de Deformação’.

---

<sup>28</sup> “Dúctil” foi uma expressão de Mohamad (1998), a qual foi reescrita, neste trabalho, como ruptura menos frágil.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 8215 - Prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural - Preparo e ensaio à compressão.** Rio de Janeiro: [s.n.], 1983. 2 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 8798 - Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto.** Rio de Janeiro: [s.n.], 1985. 15 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 7217 - Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro: [s.n.], 1987. 3 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 10837 - Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto.** Rio de Janeiro: [s.n.], 1989. 21 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 7184 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Determinação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro: [s.n.], 1992a. 2 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 7186 - Bloco vazado de concreto simples para alvenaria com função estrutural.** Rio de Janeiro: [s.n.], 1992b.

\_\_\_\_\_. **NBR 7215 - Cimento Portland - Determinação da resistência a compressão.** Rio de Janeiro: [s.n.], 1996. 8 p.

\_\_\_\_\_. **NBR NM-ISO 2395 - Peneiras de ensaio e ensaio de peneiramento - Vocabulário.** Rio de Janeiro: [s.n.], 1997. 9 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 13279 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.** Rio de Janeiro: [s.n.], 2005. 13 p.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 45 - Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Rio de Janeiro: [s.n.], 2006b. 8 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211 - Agregados para concreto - Especificação.** Rio de Janeiro: [s.n.], 2009. 12 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 12118 - Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria -**

**Métodos de ensaio.** Rio de Janeiro: [s.n.], 2013. 14 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 6136 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria.** Rio de Janeiro: [s.n.], 2016a. 10 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 13276 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.** Rio de Janeiro: [s.n.], 2016b. 3 p.

**ALVENARIA DE ADOBE.** Slide Share, 2017. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/abianchipaula/arquitetura-do-brasil-adobeequipe-14>>. Acesso em: 05 maio 2017.

**ARCHINFORM.** Monadnock Building, 2017. Disponível em: <<https://eng.archinform.net/projekte/6406.htm>>. Acesso em: 08 abr. 2017.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C-270 - Standard specification for mortar for unit masonry.** Pennsylvania: [s.n.], 1997.

BARBOSA, Claudius D. S. **Resistência e deformabilidade de blocos vazados de concreto e suas correlações com as propriedades mecânicas do material constituinte.** Universidade de São Paulo, São Carlos, p. 162, 2004.

BASTOS, Paulo S. D. S. **Contribuição ao projeto de edifícios em alvenaria estrutural pelo método das tensões admissíveis.** Universidade de São Paulo. São Paulo: [s.n.], 1993. 252 p.

BAYER, Paulo S. **Ensaio dos Materiais.** Instituto Federal de Santa Catarina. Joinville: [s.n.], 2013. 22 p.

BSI - BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BSI-5628 - Code of practice for use of masonry. Part 1 - Structural use of unreinforced masonry.** London: [s.n.], 1992.

BUFFON, Salete S. D. O. **Propriedades Mecânicas dos Materiais.** Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro: [s.n.], 2015. 6 p.

CALÇADA, Luciana M. L. **Avaliação do comportamento de prismas grauteados e não grauteados de blocos de concreto.** Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis: [s.n.], 1998. 187 p.

CAMACHO, Jefferson S. **Alvenaria estrutural não armada- parâmetros básicos a serem considerados no projeto dos elementos resistentes**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. [S.I.]: Dissertação de mestrado, 1986.

CAMACHO, P. D. J. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. Ilha Solteira: NEPAE - Núcleo de ensino e pesquisa da alvenaria estrutural, 2006. Acesso em: 03 abr. 2017.

CAVALHEIRO, Odilon P. **Alvenaria estrutural: Tão antiga e tão atual**. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria: [s.n.], 2013. 8 p. Disponível em: <<http://www.ceramicapdo.com.br/downloads/cavalheiro1.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2017.

**CAZZA MATERIAIS DE CONTRUÇÃO**. Blocos cerâmicos, 2017. Disponível em: <<http://www.cavazza.com.br/listing-category/blocos-ceramicos/page/3/>>. Acesso em: 05 maio 2017.

**SISTEMAS CONSTRUTIVOS PARA HABITAÇÃO POPULAR**. [26 de maio de 2015]. [S.I.]. Entrevista concedida a [S.I.].

CORRÊA, Márcio R. S. **Alvenarias estrutural e de vedação: diferenças e vantagens**. 2017.[s.n.], 2017. Disponível em: <[http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/alvenarias-estrutural-e-de-vedacao-diferencas-e-vantagens\\_11989\\_10\\_0](http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/alvenarias-estrutural-e-de-vedacao-diferencas-e-vantagens_11989_10_0)>. Acesso em: 22 mar. 2017.

DAFCO, D. A. et al. **Estudo da influência da composição da argamassa na resistência da alvenaria de blocos cerâmicos**, Goiana, p. 6, 2009. Disponível em: <<http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v14n4/v14n4a07.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2017.

DRYSDALE, Robert G.; HAMID, Ahmad A. **Behavior of concrete block masonry under axial compression**. 1979.Journal Proceedings., 1979.

FK COMÉRCIO. **Dicas de blocos cerâmicos estrutural**. ISSN [http://www.fkcomercio.com.br/dicas\\_de\\_blocos\\_ceramicos\\_estrutural.html](http://www.fkcomercio.com.br/dicas_de_blocos_ceramicos_estrutural.html). Acesso em: 22 mar. 2017.

GIL, Antonio C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª. ed. São Paulo: Atlas S. A, 2002.

GOMES, Itamar R. **Simulação numérica do ensaio de compressão de prismas de alvenaria pelo método dos elementos finitos com comportamento de interface**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis : [s.n.], 2001. 182 p.

HAMID A. A ; DRYSDALE R.G.. **Suggested failure criteria for grouted masonry under axial compressive**. [S.l.]: American concrete institute journal, v. 10, 1979.

HENDRY, A. W.; SINHA, B. P.; DAVIES, S. R. **Design of masonry structures**. 3. ed. Edinburgh: E & FN SPON, 2004. 279 p. Disponível em: <[http://dlia.ir/Scientific/e\\_book/Technology/Engineering\\_Civil\\_Engineering\\_\(General\)/TA\\_630\\_695\\_Structural\\_Engineering\\_\(General\)/020628.pdf](http://dlia.ir/Scientific/e_book/Technology/Engineering_Civil_Engineering_(General)/TA_630_695_Structural_Engineering_(General)/020628.pdf)>. Acesso em: 27 mar. 2017.

ITAMBÉ. **Relatórios de ensaio. Itambé - cimento para toda obra**, 2017. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/relatorios-de-ensaio/?pro=369>>. Acesso em: 31 julho 2017.

JONES, R. **Les essais non destructifs des bétons**. Éditions Eryolles, Paris, p. 165, 1967.

JÚNIOR, Luiz R. P. **Resistência compressão da alvenaria e correlação entre a resistência de unidades, prismas e paredes**. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: [s.n.], 1986. 144 p.

KLEIN, A. **Multistorey Flat Buildings in Calcium Silicate Bricks and Blocks, and the Testing of Wall Panels of Bricks, Blocks and Mortar for Calculated Masonry**. Proceedings of International Symposium on Autoclaved Calcium Silicate Building Products: [s.n.], v. 239, 1967.

LA ROVERE, Henriette L. **Análise do comportamento mecânico de prismas de alvenaria de blocos de concreto por M.E.F**. Anais da XXVIII Jornadas Sulamericanas de Engenharia de Estrutura, São Carlos - São Paulo, v. 1, p. 179-188, 1997.

MANZIONE, Leonardo. **Projeto e execução de alvenaria estrutural**. 2ª. ed. [S.l.]: O nome da rosa, 2007. Acesso em: 17 mar. 2017.

MARGALHA, Maria G. **Argamassas**. Évora: FCT-UNL: Departamento de Engenharia Civil, 2011. 32 p. Disponível em: <<https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/4969>>. Acesso em: 17 mar. 2017.

MATA, Rodrigo C. D. **Influência do padrão de argamassamento na resistência a compressão de prismas e mini-paredes de bloco estrutural de blocos de concreto**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: [s.n.], 2006.

MEDEIROS, Jonas S.; SABBATINI, Fernando H. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projetos**. Boletim técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo, p. 24, 1993. Acesso em: 10 maio 2017.

MELO, M. C. **Projeto arquitetônico: Necessidades e dificuldades do arquiteto frente às particularidades do processo construtivo de alvenaria estrutural**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: [s.n.], 2006. 124 p.

MOHAMAD, G. **Comportamento mecânico na ruptura de prismas de blocos de concreto**. UFSC. [S.l.]: Dissertação de Mestrado, 1998.

MOHAMAD, G. et al. **Caracterização mecânica das argamassas de assentamento para alvenaria estrutural – previsão e modo de ruptura**. *Materia*, Rio de Janeiro, v. 14, p. 844, 16 jul. 2009. ISSN 2. Disponível em: <<http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo11076/>>. Acesso em: 22 mar. 2017.

MOHAMAD, Gihad; RIZZATTI, Eduardo; ROMAN, Humberto R. **Modo de ruptura, deformabilidade e resistência de pequenas paredes estruturais**. 21 novembro 2012. Disponível em: <<http://aldowerle.blogspot.com.br/2012/11/modo-de-ruptura-deformabilidade-e.html>>. Acesso em: 11 maio 2017.

MORESI, Eduardo. **Metodologia de Pesquisa**. Brasília - DF: Universidade Católica de Brasília, 2003.



MOTA, Jacqueline Á. R. **Influência da junta vertical na resistência à compressão de prismas em alvenaria estrutural de blocos de concreto e blocos de concreto celular autoclavado**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: [s.n.], 2001. 223 p. Acesso em: 10 maio 2017.

PARSEKIAN, Guilherme A. et al. **Retração em alvenaria estrutural**. *Téchne*, n. 119, p. 6, fevereiro 2007. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/119/artigo287417-6.aspx>>. Acesso em: 24 maio 2017.

POLITÉCNICA ENGENHARIA. **Controle tecnológico de concreto e materiais**, 2017. Disponível em: <<http://www.politecnicaengenharia.com.br/servicos/concreto/1>>. Acesso em: 05 maio 2017.

RAMAMURTHY, K.; GANES AN, T. P. **Behaviour of concrete hollow block masonry prism under axial compression**. *ASCE Journal of Structural Engineering*, v. 112, p. 605-613, março 1992.

RIVERS, Chico. **Sistemas contrutivos**. Comunidade da Construção, 2017. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/sistemas-construtivos/1/materiais/qualidade/9/materiais.html>>. Acesso em: 08 maio 2017.

ROMAM, Humberto; FILHO, Sérgio P. **Manual de alvenaria de blocos cerâmicos**. 2017. 18p. Instituto Federal do Rio Grande do Norte., 2017. Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-civil-ii-1/manual-de-alvenaria-estrutural>>. Acesso em: 05 maio 2017.

ROMAN, H. R. E. A. **Análise de alvenaria estrutural**. 1998. 38p. Universidade Coporativa Caixa. GDA. NPC. UFSC, 1998. Disponível em: <<http://docslide.com.br/documents/modulo-2-final-corrigido.html>>. Acesso em: 11 maio 2017.

SABBATINI, Fernando H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria sílico-cálcica**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo: Dissertação de Mestrado em Engenharia, 1984. 298 p.

\_\_\_\_\_. **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente -**

**Boletim técnico.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo: Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1986. 28 p.

\_\_\_\_\_. **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente.** Escola Politécnica da USP. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998. 47 p. (2ª ed).

SANTOS, Jaqueline C. P. D.; PRUETER, Luiz G.; SADULA, Tatyana. **Estudo comparativo da resistência à compressão de prismas de argamassa química e argamassa convencional industrializada.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba: [s.n.], 2013. 74 p.

SCHANKOSKI, Rudiele A. **Influência do tipo de argamassa nas propriedades mecânicas de alvenarias estruturais de blocos de concreto de alta resistência.** Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: [s.n.], 2012. 207 p.

SILVA, Angelo J. D. C. E. **Alvenaria.** 2004. 13p. Universidade Católica de Pernambuco. Recife, 2004. Acesso em: 05 maio 2017.

SILVA, Fernanda B.; BARROS, Mércia M. S. B. D.; MONTE, Renata. **Determinação do módulo de deformação de argamassas: avaliação dos métodos de ensaio e formatos de corpo-de-prova.** ENTAC, Fortaleza, p. 10, Outubro 2008.

SILVA, N. G.; CAMPITELI, V. C. **Influência dos finos e da cal nas propriedades das argamassas,** Florianópolis, p. 10, ago. 2006.

SINHA, B. P. **Development and potential of structural masonry.** 2002. 16p. Seminário sobre Paredes de Alvenaria. Porto, 2002. Acesso em: 04 maio 2017.

SOLÍZ, V. H. V. **Efeito da altura na resistência à compressão de prismas de alvenaria de blocos cerâmicos vazados com ou sem graute.** Universidade Federal Fluminense. Niterói: Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, 1995. (143).

STEIL, Rafael D. O. **Efeito da geometria do bloco de concreto e do tipo de argamassa no desempenho à compressão de prismas de alvenaria não grauteados.** Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: [s.n.], 2003. 178 p.

**STRUCTURAE.** Monadnock building, 2017. Disponível em: <<https://structurae.net/structures/monadnock-building/photos>>. Acesso em: 05 maio 2017.

TAUIL, Carlos A.; NESE, Flávio J. M. **Alvenaria estrutural**. 1. ed. São Paulo: PINI Ltda, 2010. 188 p. Acesso em: 10 maio 2017.

TAUIL, Carlos A.; RUBENS, Monge. **Sistemas construtivos para habitação popular**. 2015.[s.n.], 2015. Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/noticias-detalhes.php?cod=7066>>. Acesso em: 03 junho 2017.

TÉOFILO, Jorge. **Estrutura e Propriedades dos Materiais**. [S.l.]: [s.n.], 2017. 36 p.

TRISTÃO, Fernando A. **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: [s.n.], 1995. 218 p.

VERMELTFOORT, Arduïnus T. **Brick-mortar interaction in masonry under compression**. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2005. 237 p. Disponível em: <<https://pure.tue.nl/ws/files/1681281/200510997.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2017.

## APÊNDICE A – CAPEAMENTO DOS BLOCOS

O capeamento dos blocos vazados de concreto, exigido pela NBR 12118 (2013), se deu através da colocação de jornais sobre uma mesa de vidro (plana e nivelada) e posterior umedecimento destes com água, conforme mostra a Figura 33.



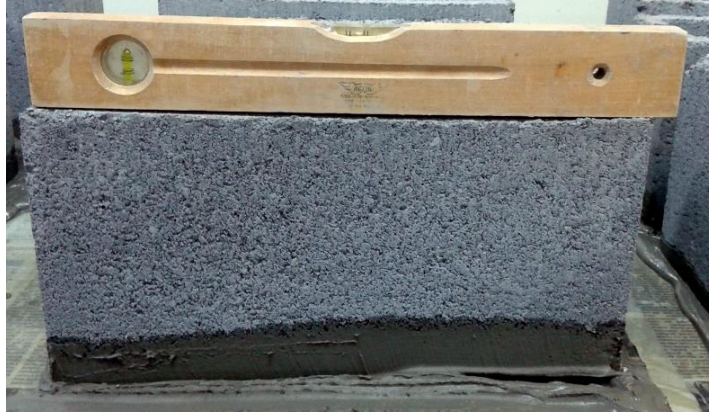
**Figura 33 - Umedecimento dos jornais**  
Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

Em seguida, produziu-se uma pasta de cimento (mistura de água e cimento) e despejou-a sobre os jornais umedecidos. Após o espalhamento da pasta, os blocos foram colocados sobre a pasta, como ilustra a Figura 34.



**Figura 34 - Blocos sobre a pasta**  
Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

Em cada um dos blocos foi verificado o nível para também garantir que a carga fosse distribuída uniformemente, como mostra a Figura 35.



**Figura 35 - Conferência do nível dos blocos durante o capeamento**  
**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

## APÊNDICE B – CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

### B.1 - DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA

A determinação da massa unitária seguiu o método C, que se refere à materiais no estado solto, recomendado pela NBR NM 45 (2006b). Foram realizados três ensaios para cada um dos três materiais: cimento, cal e areia.

Primeiramente, escolheu-se um recipiente com volume conhecido e determinou-se sua massa. Posteriormente, encheu-se o recipiente até que o mesmo transbordasse e regularizou-se a camada superficial com uma régua.

Com o auxílio da balança mostrada na Figura 36, cada material foi pesado, como ilustra a Figura 37.



Figura 36 – Balança  
Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

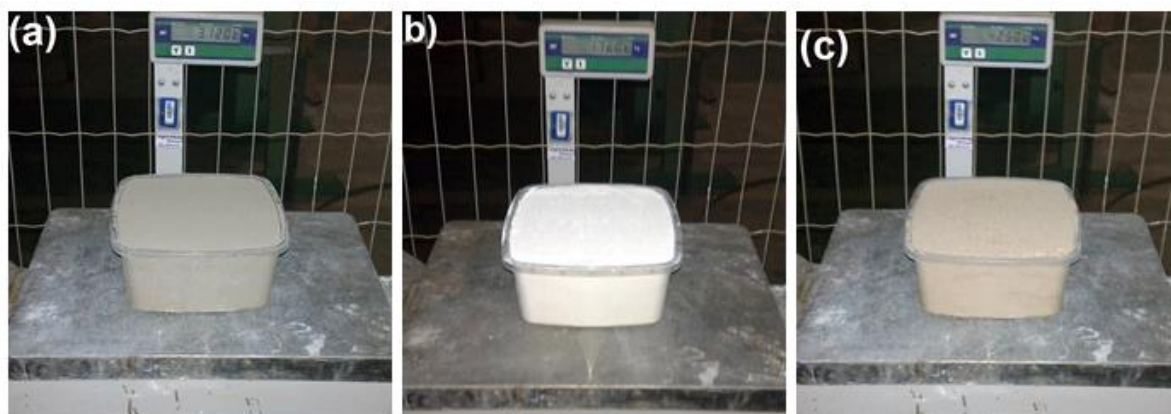


Figura 37 – Pesagem dos materiais. (a) Cimento (b) Cal (c) Areia  
Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

O processo é repetido três vezes, para cada material.

A massa unitária, então, é obtida pela Equação 8:

$$\rho_{ar} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (8)$$

Os resultados obtidos são mostrados na Tabela 20.

**Tabela 20 - Massa unitária cimento**

Material	Cimento	Areia	Cal
Característica			
$m_r$ (g)	60	60	60
$V$ (cm <sup>3</sup> )	2500	2500	2500
$m_{ar}$ 1 (g)	3090	4270	1770
$m_{ar}$ 2 (g)	2990	4270	1760
$m_{ar}$ 3 (g)	3100	4280	1770
$m_{ar}$ (g)	3060	4273,3	1767
$\rho_{ar}$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,2	1,7	0,7

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

## B. 2 GRANULOMETRIA DA AREIA

O ensaio de granulometria da areia foi composto por duas amostras de 2 kg de areia seca na estufa da Figura 38, em temperatura de 110 °C, como mostra a Figura 39, que atende a quantidade mínima de material exigida pela NBR 7217 (1987), mostrada na Tabela 21, para dimensão máxima característica do agregado miúdo de 4,8 mm, conforme definido no item 2.2.1.1.



**Figura 38 – Estufa**  
**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**



**Figura 39 - Amostra de areia**  
**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

**Tabela 21 - Massa mínima por amostra de ensaio**

<b>Dimensão máxima característica do agregado (mm)</b>	<b>Massa mínima de amostra de ensaio (kg)</b>
< 4,8	0,5
6,3	3
> 9,5 e < 25	5
32 e 38	10
50	20
64 e 76	30

**Adaptado de: (ABNT, 1987).**

As peneiras mostradas na Figura 40(a), foram montadas em ordem de abertura de malha decrescente, padronizadas pela NBR 2395 (1997) e indicadas pela Tabela 22, com tampa e fundo, e posteriormente agitadas no misturador mecânico mostrado pela Figura 40(b).



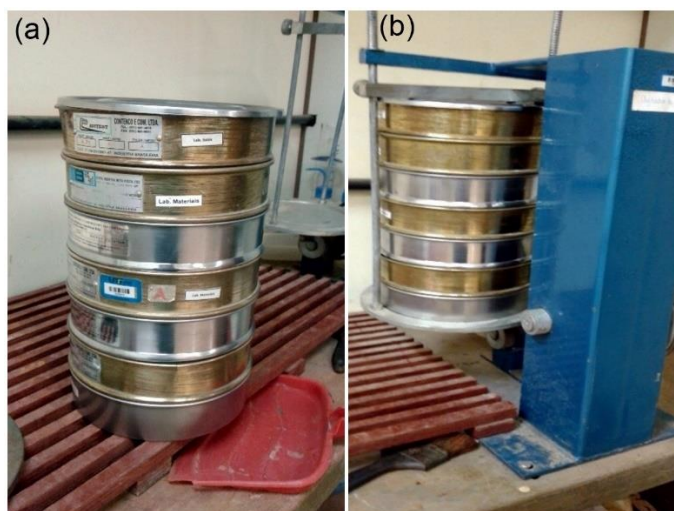


Figura 40 – (a) Peneiras em ordem decrescente. (b) Misturador mecânico  
Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

Tabela 22 - Conjunto de peneiras (abertura nominal)

Série normal (mm)	Série intermediária (mm)	Série normal (mm)	Série intermediária (mm)
75	-	9,5	-
-	63	-	6,3
-	50	4,75	-
37,5	-	2,36	-
-	31,5	1,18	-
-	25	0,6	-
19	-	0,3	-
-	12,5	0,15	-

Adaptado de: (ABNT, 2009).

Depois da agitação do material, determinou-se a massa de areia retida em cada uma das peneiras e no fundo, com o auxílio da balança eletrônica de bancada da marca CopyMaq Balanças mostrada na Figura 41.



**Figura 41 - Balança eletrônica de bancada**  
**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

A partir das quantidades de material acumulado em cada uma das peneiras, mostrados na Tabela 23, pode-se determinar a porcentagem retida (dividindo-se a massa retida em cada peneira pela massa total) e a porcentagem retida acumulada, como também exibe a Tabela 23.

**Tabela 23 - Granulometria da areia**

Peneira (mm)	Amostra 1			Amostra 2			Média	
	Massa retida (g)	% retida	% retida acum.	Massa retida (g)	% retida	% retida acum.	% retida	% retida acum.
4,8	0,0	0,0	0,0	2,6	0,1	0,1	0,1	0,1
2,4	12,1	0,6	0,6	13,4	0,7	0,8	0,6	0,7
1,2	641,2	32,1	32,7	214,1	10,7	11,5	21,4	22,1
0,6	944,3	47,2	79,9	1351,8	67,6	79,1	57,4	79,5
0,4	327,3	16,4	96,2	316,8	15,8	94,9	16,1	95,6
0,15	69,7	3,5	99,7	91,8	4,6	99,5	4,0	99,6
Fundo	5,8	0,3	100,0	9,6	0,5	100,0	0,4	100,0
<b>Total</b>	2000,4	100,0		2000,1	100,0		100,0	
<b>Módulo de Finura</b>								<b>2,98</b>
<b>Dimensão máxima característica (mm)</b>								<b>2,4</b>

**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

O módulo de finura, apresentado na Tabela 23, representa a soma das porcentagens retidas acumuladas, em massa, da areia nas peneiras da série normal, dividida por 100. Este parâmetro mostra que a areia se encaixa da zona utilizável superior, conforme sugere a Tabela 24.

**Tabela 24 - Limites de distribuição granulométrica do agregado miúdo**

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

NOTA 1: O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90

NOTA 2: O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20

NOTA 3: O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50

**Adaptado de: (ABNT, 2009).**

A dimensão máxima característica da areia, definida pela NBR 7217 (1987) como sendo a dimensão correspondente à abertura nominal, em mm, da malha de peneira (série normal ou intermediária) que representa a porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% (ABNT, 1987), é de 2,4 mm como mostra a Tabela 23.

## APÊNDICE C – TRANSFORMAÇÕES DOS TRAÇOS

Para calcular a quantidade de cada um dos materiais que compõe os traços, é necessário conhecer o fator  $x$ , determinado pela Equação 9, onde a  $Qde_{arg}$  é quantidade de argamassa necessária para o ensaio.

$$x = \frac{Qde_{arg}}{\sum \text{Traço}} \quad (9)$$

A Tabela 25 mostra os valores de  $x^{29}$  obtidos para cada um dos traços do ensaio teste, no qual foram utilizados 0,9 L de argamassa por traço.

**Tabela 25 - Fator x**

Fator x		
Traço	$\sum$ Traço	x
1	4	0,23
2	6	0,15
3	8	0,11
4	4	0,23
5	5	0,18
6	4	0,23
7	12	0,08

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

A partir disso, multiplica-se a proporção de cada traço pelo fator  $x$ , obtendo-se a quantidade de material<sup>30</sup>, em litros, conforme mostra a Tabela 26.

<sup>29</sup> Valores com duas casas decimais por serem muito pequenos.

<sup>30</sup> Valores com duas casas decimais por serem muito pequenos.

**Tabela 26 - Quantidade de material em L**

Quantidade material (em L)				
Traço	Cimento	Cal	Areia	Água
1	0,23	0,00	0,68	0,27
2	0,15	0,08	0,68	0,30
3	0,11	0,11	0,68	0,25
4	0,23	0,00	0,68	0,34
5	0,09	0,09	0,72	0,31
6	0,23	0,00	0,68	0,20
7	0,08	0,15	0,68	0,23

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

Para resultados mais precisos, os traços foram convertidos em massa, multiplicando-se as quantidades mostradas na Tabela 26, pelas massas unitárias de cada material, tomando-se cuidado com as unidades empregadas e adotando-se a massa específica da água igual 1g/cm<sup>3</sup>.

Os resultados e quantidades finais de cada traço<sup>31</sup> estão mostrados na Tabela 27, onde pode-se observar a adição de aditivo superplastificante nos traços 6 e 7 para aumentar a trabalhabilidade das argamassas sem aumentar a relação a/c.

**Tabela 27 - Quantidade de material em g**

Quantidade material (em g)					
Traço	Cimento	Cal	Areia	Água	Aditivo
1	270,0	0,0	1140,8	270,0	0,0
2	180,0	184,0	1140,8	300,0	0,0
3	135,0	76,5	1140,8	247,5	0,0
4	270,0	0,0	1140,8	337,5	0,0
5	108,0	61,2	1216,8	306,0	0,0
6	270,0	0,0	1140,8	202,5	15,2
7	90,0	102,0	1140,8	225,0	22,9

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

Para os ensaios (segunda etapa) seguiu-se os mesmos procedimentos, porém adotando uma quantidade de argamassa igual a 4 litros.

<sup>31</sup> Os valores foram alterados para precisão de uma casa decimal, devido a precisão da balança.

## APÊNDICE D – PARÂMETROS DAS ARGAMASSAS DO ENSAIO TESTE (PRIMEIRA ETAPA)

### D.1 – ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA

Para realização do ensaio do índice de consistência, recomendado pela NBR 13276 (2016b), ocupou-se um molde tronco-cônico, como o da Figura 42, um soquete de aço zincado da marca Pavitest, mostrado na Figura 43 e uma mesa Flow Table, exibida na Figura 44.



**Figura 42 - Molde tronco-cônico**  
Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).



**Figura 43 - Soquete para uso de preparação de amostras**  
Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

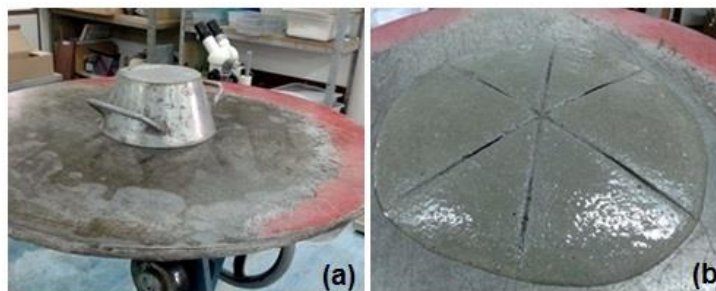


**Figura 44 - Mesa para índice de consistência**  
Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

Primeiramente, o molde tronco-cônico foi preenchido, conforme ilustra a Figura 45(a), por três camadas, de alturas aproximadamente iguais, sucessivas de argamassa, aplicando-se, respectivamente 15, 10 e 5 golpes com o soquete. Em seguida, o molde tronco-cônico foi retirado lentamente da mesa, permitindo que a

argamassa fosse despejada sobre ela. A manivela foi, então, acionada, possibilitando que a mesa subisse e caísse 30 vezes em 30 segundos.

Na 30ª descida da mesa, mediu-se o espalhamento do molde tronco-cônico em três diâmetros diferentes, como mostra a Figura 45(b).

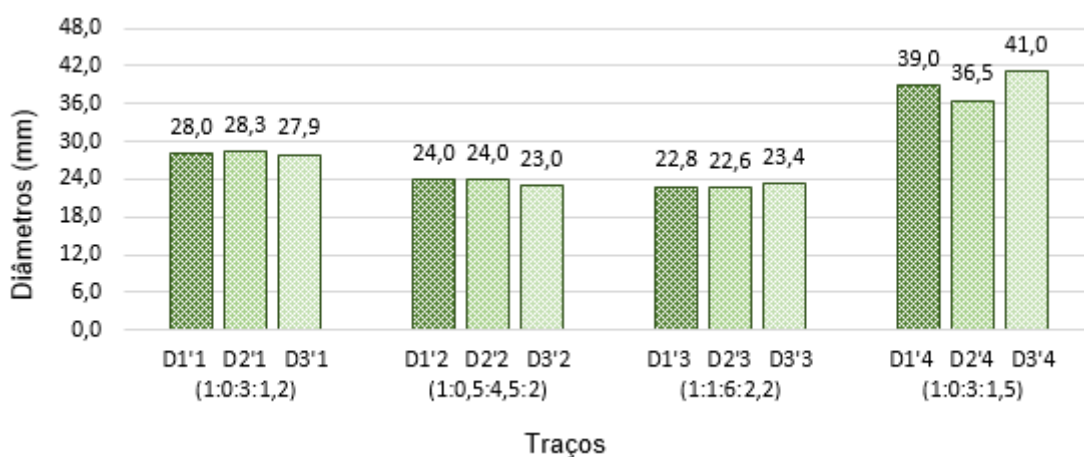


**Figura 45 - Ensaio de índice de consistência. (a) Molde tronco cônico preenchido.**

**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

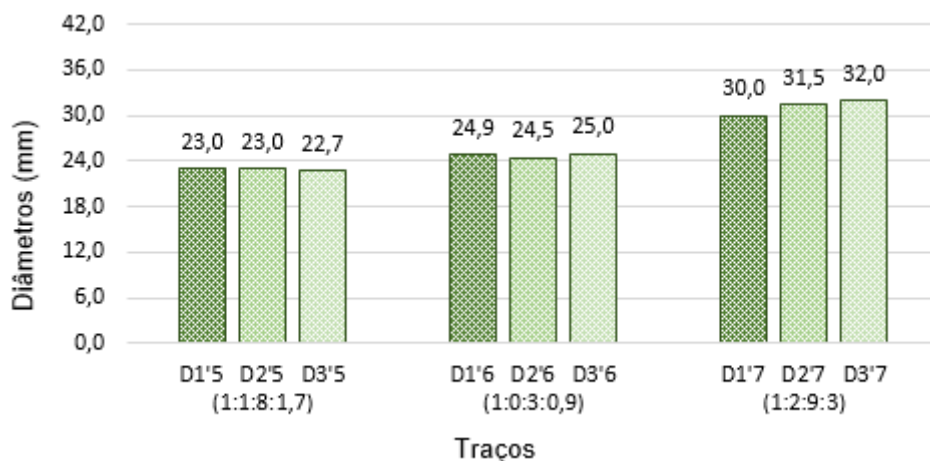
O índice de consistência foi obtido pela média dos três diâmetros medidos para cada traço. Os resultados são mostrados pelos Gráficos 21 e 22.

O Gráfico 21 expõe os resultados obtidos para os traços 1, 2, 3 e 4 e o Gráfico 22 mostra os resultados dos traços 5, 6 e 7, onde D1'1 corresponde ao primeiro diâmetro medido do traço 1, D2'1 corresponde ao segundo diâmetro medido do traço 1 e assim sucessivamente para todos os traços.



**Gráfico 21 - Ensaio de índice de consistência teste – 1**

**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

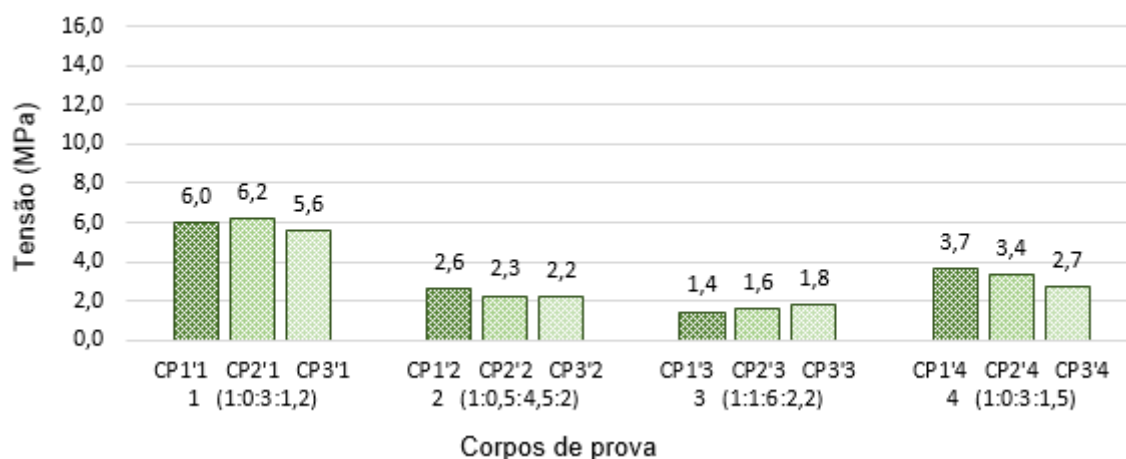


**Gráfico 22 - Ensaio de índice de consistência teste – 2**  
**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

## D.2 – RESULTADOS DO ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL

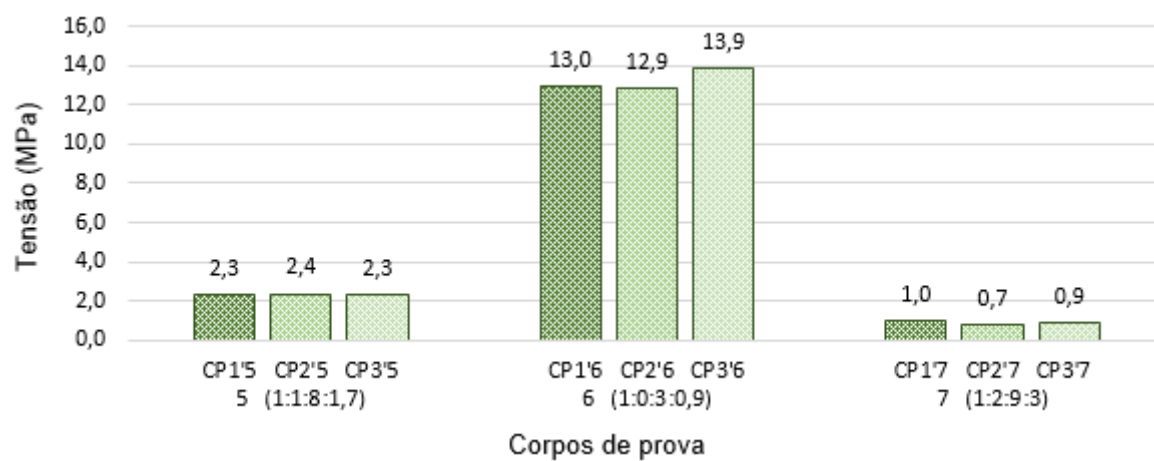
As resistências mecânicas das argamassas testes, obtidas pelo ensaio de compressão axial na prensa EMIC DL30000, são mostradas nos Gráficos 23 e 24.

O Gráfico 23 apresenta os resultados dos traços 1, 2, 3 e 4 e o Gráfico 24 mostra os resultados dos traços 5, 6 e 7, onde CP 1'1 corresponde ao corpo de prova 1 do traço 1, CP 2'1 corresponde ao corpo de prova 2 do traço 1 e assim sucessivamente para todos os corpos de prova realizados.



**Gráfico 23 - Ensaio de compressão axial das argamassas testes - 1**  
**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**





**Gráfico 24 - Ensaio de compressão axial das argamassas testes - 2**

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

**APÊNDICE E – PARÂMETROS DAS ARGAMASSAS DO ENSAIO  
(SEGUNDA ETAPA)**

**E.1 – RELATÓRIO DOS ÍNDICES DE CONSISTÊNCIA**

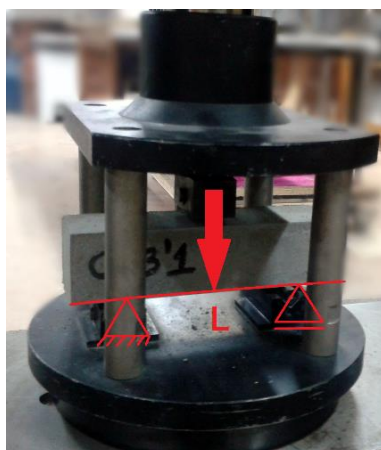
<b>RELATÓRIO DE ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA - 1</b>	
<b>DATA DE ENSAIO</b>	
14/08/2017	
<b>INDICAÇÃO DOS ELEMENTOS EMPREGADOS - ARGAMASSA</b>	
Traço 1 (cimento:cal:areia:a/c): 1:0:3:1,2 em volume	
<b>MEDIDAS DOS DIÂMETROS</b>	
Diâmetro 1 (mm):	38,0
Diâmetro 2 (mm):	36,0
Diâmetro 3 (mm):	39,0
<b>ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA</b>	<b>37,7</b>

<b>RELATÓRIO DE ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA - 2</b>	
<b>DATA DE ENSAIO</b>	
14/08/2017	
<b>INDICAÇÃO DOS ELEMENTOS EMPREGADOS - ARGAMASSA</b>	
Traço 2 (cimento:cal:areia:a/c): 1:0,5:4,5:2 em volume	
<b>MEDIDAS DOS DIÂMETROS</b>	
Diâmetro 1 (mm):	35,0
Diâmetro 2 (mm):	35,5
Diâmetro 3 (mm):	36,0
<b>ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA</b>	<b>35,5</b>

<b>RELATÓRIO DE ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA - 3</b>	
<b>DATA DE ENSAIO</b>	
14/08/2017	
<b>INDICAÇÃO DOS ELEMENTOS EMPREGADOS - ARGAMASSA</b>	
Traço 6 (cimento:cal:areia:a/c): 1:0:3:0,9 em volume	
<b>MEDIDAS DOS DIÂMETROS</b>	
Diâmetro 1 (mm):	30,0
Diâmetro 2 (mm):	31,0
Diâmetro 3 (mm):	30,1
<b>ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA</b>	<b>30,4</b>

## E.2 – ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO

O ensaio de tração na flexão das argamassas, simula uma viga biapoiada com dois balanços, submetida a uma carga vertical centrada, como descreve a Figura 46 e fornece a carga máxima absorvida pela argamassa até sua ruptura.



**Figura 46 - Simulação de uma viga biapoiada**  
**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

A partir da força máxima de tração fornecida pela prensa, é possível calcular a resistência à flexão a partir da Equação 10, indicada pela NBR 13279 (2005).

$$R_f = \frac{1,5 * F_f * L}{40^3} \quad (10)$$

Para exemplificar, a Equação 11 mostra o cálculo realizado para o corpo de prova CP1'1, onde L é igual a 100 mm.

$$R_f = \frac{1,5 * 1538 * 100}{40^3} = 3,61 \text{MPa} \quad (11)$$

A Tabela 28 exibe os resultados para todos os corpos de prova.

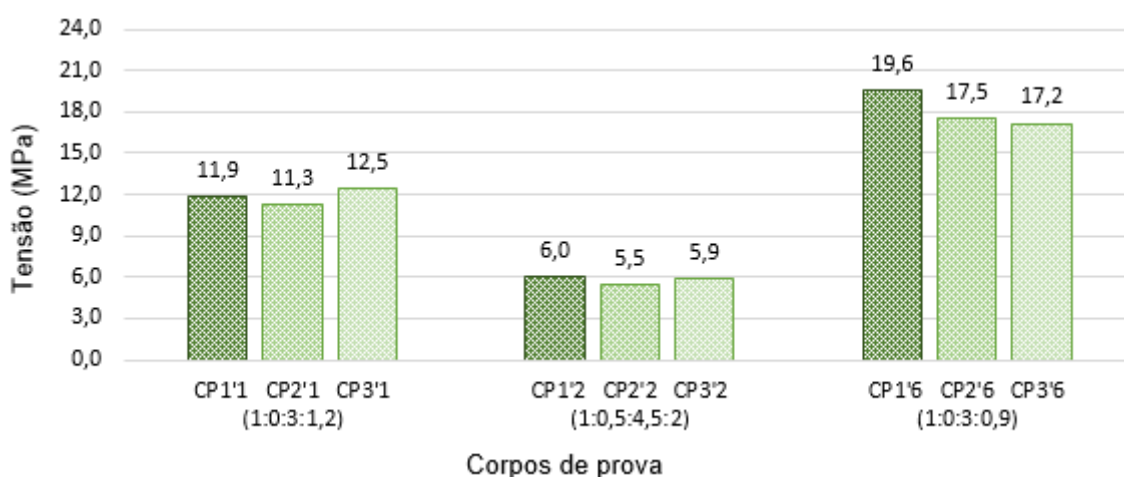
**Tabela 28 - Cálculo da resistência à tração na flexão das argamassas**

CP	Força (N)	L (mm)	Resistência à flexão (MPa)
1'1	1538	100	3,6
2'1	1478	100	3,5
3'1	1798	100	4,2
1'2	-	100	-
2'2	-	100	-
3'2	769	100	1,8
1'6	2188	100	5,1
2'6	2078	100	4,9
3'6	2477	100	5,8

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

### E.3 – RESULTADOS DO ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL

As resistências mecânicas médias das duas metades de argamassas da segunda etapa, obtidas pelo ensaio de compressão axial na prensa EMIC DL30000, são mostradas no Gráfico 25. Por exemplo, para o CP2'1 a resistência de 11,3 MPa é resultado da média entre a resistência da metade 1 (11,4 MPa) e da metade 2 (11,1 MPa), mostradas no item E.4 do Apêndice E.



**Gráfico 25 - Resistência à compressão axial das argamassas**

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

O Gráfico 26 mostra a resistência à compressão média dos três corpos de prova para cada traço.

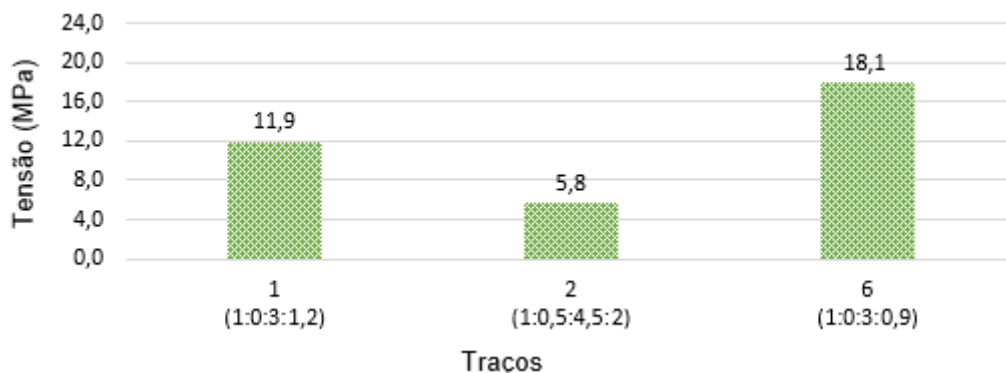




Gráfico 26 - Média das resistências à compressão das argamassas

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

#### E.4 – RELATÓRIOS DO ENSAIO DE COMPRESSÃO

ENSAIO DE RUPTURA DOS CORPOS DE PROVA DE ARGAMASSAS 1					
DATA DE MOLDAGEM			DATA DE ROMPIMENTO		
14/08/2017			11/09/2017		
INDICAÇÃO DOS ELEMENTOS EMPREGADOS - ARGAMASSA					
Traço 1 (cimento:cal:areia:a/c): 1:0:3:1,2 em volume					
CONDIÇÕES DE CURA					
Os corpos de prova foram mantidos em condições de temperatura de (23±2)°C e umidade relativa do ar (60±5) %, conforme recomenda o item 3 da NBR 13279 (2005).					
TENSÃO DE RUPTURA - COMPRESSÃO					
Identificação	Área líquida (mm <sup>2</sup> )	Força (N)		Tensão (MPa)	
		Metade 1	Metade 2	Metade 1	Metade 2
CP 1'1	1600	18964	19019	11,9	11,9
CP 2'1	1600	18309	17679	11,4	11,0
CP 3'1	1600	19868	20035	12,4	12,5
Tensão média de compressão (MPa)				11,9	
TENSÃO DE RUPTURA - FLEXÃO					
Identificação	Altura (mm)	Força (N)		Tensão (MPa)	
CP 1'1	40	1538		3,6	
CP 2'1	40	1478		3,5	
CP 3'1	40	1798		4,2	
Tensão média de flexão (MPa)				3,8	

ENSAIO DE RUPTURA DOS CORPOS DE PROVA DE ARGAMASSAS 2					
DATA DE MOLDAGEM			DATA DE ROMPIMENTO		
14/08/2017			11/09/2017		
INDICAÇÃO DOS ELEMENTOS EMPREGADOS - ARGAMASSA					
Traço 2 (cimento:cal:areia:a/c): 1:0,5:4,5:2 em volume					
CONDIÇÕES DE CURA					
Os corpos de prova foram mantidos em condições de temperatura de $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa do ar $(60\pm 5)\%$ , conforme recomenda o item 3 da NBR 13279 (2005).					
TENSÃO DE RUPTURA (MPa)					
Identificação	Área líquida ( $\text{mm}^2$ )	Força (N)		Tensão (MPa)	
		Metade 1	Metade 2	Metade 1	Metade 2
CP 1'2	1600	9769	9538	6,1	6,0
CP 2'2	1600	9040	8577	5,7	5,4
CP 3'2	1600	9230	9714	5,8	6,1
Tensão média (MPa)				5,8	
TENSÃO DE RUPTURA - FLEXÃO					
Identificação	Altura (mm)	Força (N)		Tensão (MPa)	
CP 1'2	40	-		-	
CP 2'2	40	-		-	
CP 3'2	40	769		1,8	
Tensão média de flexão (MPa)				-	
					

ENSAIO DE RUPTURA DOS CORPOS DE PROVA DE ARGAMASSAS 3					
DATA DE MOLDAGEM			DATA DE ROMPIMENTO		
14/08/2017			11/09/2017		
INDICAÇÃO DOS ELEMENTOS EMPREGADOS - ARGAMASSA					
Traço 6 (cimento:cal:areia:a/c): 1:0:3:0,9 em volume + aditivo					
CONDIÇÕES DE CURA					
Os corpos de prova foram mantidos em condições de temperatura de (23±2)°C e umidade relativa do ar (60±5) %, conforme recomenda o item 3 da NBR 13279 (2005).					
TENSÃO DE RUPTURA (MPa)					
Identificação	Área líquida (mm²)	Força (N)		Tensão (MPa)	
		Metade 1	Metade 2	Metade 1	Metade 2
CP 1'6	1600	29567	33096	18,5	20,7
CP 2'6	1600	25222	30793	15,8	19,2
CP 3'6	1600	27589	27340	17,2	17,1
Tensão média (MPa)				18,1	
TENSÃO DE RUPTURA - FLEXÃO					
Identificação	Altura (mm)	Força (N)		Tensão (MPa)	
CP 1'1	40	2188		5,1	
CP 2'1	40	2078		4,9	
CP 3'1	40	2477		5,8	
Tensão média de flexão (MPa)				5,3	
					

### E.5 – OBTENÇÃO DA RELAÇÃO TENSÃO X DEFORMAÇÃO

Para cada corpo de prova, verificou-se o comportamento tensão x deformação, seguindo as Equações 5, 6 e 4, onde A é a área da seção transversal à aplicação da força e igual a 6400 mm², e L é o comprimento do corpo de prova na direção da força, igual a 40 mm (altura da argamassa).

As Equações 12, 13 e 14 mostram os cálculos realizados para a metade 1 do corpo de prova CP1'1 para exemplificar.

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{18964}{1600} = 11,85 \text{ MPa} \quad (12)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_i} = \frac{1,52}{40} = 0,038 \quad (13)$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{11,85}{0,038} = 311,9 \text{MPa} \quad (14)$$

Os resultados para todos os corpos de prova podem ser visualizados na Tabela 29.

**Tabela 29 – Obtenção do comportamento tensão x deformação das argamassas**

CP	Metade	Força (N)	Área (mm <sup>2</sup> )	Tensão (MPa)	Deformação (mm)	$\varepsilon$ (mm/mm)	TD (MPa)
1'1	1	18964	6400	2,96	1,52	0,03800	78,0
	2	19019	6400	2,97	1,56	0,03900	76,2
2'1	1	18309	6400	2,86	1,52	0,03800	75,3
	2	17679	6400	2,76	1,56	0,03900	70,8
3'1	1	19868	6400	3,10	1,19	0,02975	104,3
	2	20035	6400	3,13	1,30	0,03250	96,3
1'2	1	9769	6400	1,53	1,07	0,02675	57,1
	2	9538	6400	1,49	0,99	0,02475	60,2
2'2	1	9040	6400	1,41	1,10	0,02750	51,4
	2	8577	6400	1,34	1,27	0,03175	42,2
3'2	1	9230	6400	1,44	1,00	0,02500	57,7
	2	9714	6400	1,52	1,30	0,03250	46,7
1'6	1	29567	6400	4,62	1,40	0,03500	132,0
	2	33096	6400	5,17	1,32	0,03300	156,7
2'6	1	25222	6400	3,94	1,55	0,03875	101,7
	2	30793	6400	4,81	1,55	0,03875	124,2
3'6	1	27589	6400	4,31	1,36	0,03400	126,8
	2	27340	6400	4,27	1,51	0,03775	113,2

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).



## APÊNDICE F – PARÂMETROS DOS PRISMAS

### F.1 – ASSENTAMENTO DOS PRISMAS

Com os blocos já capeados, os prismas foram assentados, com a ajuda de um pedreiro terceirizado, como mostra a Figura 47.









**Figura 47 - Assentamento dos prismas**  
**Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2017.**




Decidiu-se chamar um profissional terceirizado, pela maior qualidade no serviço de assentamento, devido ao tempo de prática no ramo (mesmo sendo prática de assentamento com blocos cerâmicos, que possui uma diferença considerável na execução). A decisão foi tomada a partir de alguns testes de assentamento realizada pela autora, que não foram bem-sucedidos.

### F. 2 RELATÓRIOS DO ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL DOS PRISMAS

A seguir são mostrados os relatórios de ensaio de rupturas dos prismas. A tensão média mostrada em cada um deles, foi obtida a partir da exclusão do prisma com resistência mais discrepante (em fundo verde).

RELATÓRIO DE ENSAIO DE RUPTURA DOS PRISMAS - 1			
DATA DE ASSENTAMENTO		DATA DE ROMPIMENTO	
14/08/2017		11/09/2017	
INDICAÇÃO DOS ELEMENTOS EMPREGADOS			
Blocos de concreto		Argamassa	
Resistência média (MPa)	Tamanho (mm)	Traço 1 (cimento:cal:areia:a/c)	
5,9	140 x 190 x 390	1:0:3:1,2 em volume	
CONDIÇÕES DE CURA			
Os corpos de prova foram mantidos em condições de temperatura e umidade de assentamento (ambiente), ao abrigo de sol e vento, durante 28 dias, conforme recomenda o item 5.1.1.4 da NBR 8215 (1983).			
TENSÃO DE RUPTURA (MPa)			
Identificação	Área líquida (mm <sup>2</sup> )	Força (N)	Tensão (MPa)
Prisma 1'1	25800	103294	4,0
Prisma 2'1	25800	179249	6,9
Prisma 3'1	25800	245085	9,5
TENSÃO MÉDIA (MPa)			8,2
DESCRIÇÃO DO MODO DE RUPTURA			
Prisma 1'1	Observou-se que a ruptura aconteceu na abertura já existente do bloco. A frande fissura atravessou de um bloco ao outro, ultrapassando a argamassa.		
Prisma 2'1	A ruptura foi frágil, destruindo parcialmente os blocos.		
Prisma 3'1	Os blocos apresetaram apenas pequenas fissuras, que não atravessavam de um bloco para outro.		

RELATÓRIO DE ENSAIO DE RUPTURA DOS PRISMAS - 2			
DATA DE ASSENTAMENTO		DATA DE ROMPIMENTO	
14/08/2017		11/09/2017	
INDICAÇÃO DOS ELEMENTOS EMPREGADOS			
Blocos de concreto		Argamassa	
Resistência média (MPa)	Tamanho (mm)	Traço 2 (cimento:cal:areia:a/c)	
5,9	140 x 190 x 390	1:0,5:4,5:2 em volume	
CONDIÇÕES DE CURA			
Os corpos de prova foram mantidos em condições de temperatura e umidade de assentamento (ambiente), ao abrigo de sol e vento, durante 28 dias, conforme recomenda o item 5.1.1.4 da NBR 8215 (1983).			
TENSÃO DE RUPTURA (MPa)			
Identificação	Área líquida (mm <sup>2</sup> )	Força (N)	Tensão (MPa)
Prisma 1'2	25800	185023	7,2
Prisma 2'2	25800	124940	4,8
Prisma 3'2	25800	193313	7,5
TENSÃO MÉDIA (MPa)			7,3
DESCRIÇÃO DO MODO DE RUPTURA			
Prisma 1'2	Destruição parcial do bloco. Com destacamento de concreto, apresentando ruptura frágil.		
Prisma 2'2	As fissuras foram espessas, de grande proporção, facilmente visíveis. A fissura não passava de um bloco ao outro.		
Prisma 3'2	Houve destacamento da placa de concreto, com rachaduras profundas e espessas.		

<b>RELATÓRIO DE ENSAIO DE RUPTURA DOS PRISMAS - 3</b>			
<b>DATA DE ASSENTAMENTO</b>		<b>DATA DE ROMPIMENTO</b>	
14/08/2017		11/09/2017	
<b>INDICAÇÃO DOS ELEMENTOS EMPREGADOS</b>			
<b>Blocos de concreto</b>		<b>Argamassa</b>	
Resistência média (MPa)	Tamanho (mm)	Traço 6 (cimento:cal:areia:a/c)	
5,9	140 x 190 x 390	1:0:3:0,9 em volume + aditivo	
<b>CONDIÇÕES DE CURA</b>			
Os corpos de prova foram mantidos em condições de temperatura e umidade de assentamento (ambiente), ao abrigo de sol e vento, durante 28 dias, conforme recomenda o item 5.1.1.4 da NBR 8215 (1983).			
<b>TENSÃO DE RUPTURA (MPa)</b>			
<b>Identificação</b>	<b>Área líquida (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Força (N)</b>	<b>Tensão (MPa)</b>
<b>Prisma 1'6</b>	25800	245285	<b>9,5</b>
<b>Prisma 2'6</b>	25800	176732	<b>6,9</b>
<b>Prisma 3'6</b>	25800	245145	<b>9,5</b>
<b>TENSÃO MÉDIA (MPa)</b>			<b>9,5</b>
<b>DESCRIÇÃO DO MODO DE RUPTURA</b>			
<b>Prisma 1'6</b>	Apresentou poucas fissuras, pequenas e superficiais.		
<b>Prisma 2'6</b>	Apresentou pequenas fissuras, que não ultrapassavam de um bloco ao outro.		
<b>Prisma 3'6</b>	Apresentou fissuras pequenas, que não ultrapassavam de um bloco ao outro. As fissuras não podiam ser vistas de longe.		

### F.3 – CÁLCULO DO DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO

Os cálculos dos parâmetros utilizados nas análises gráficas (inicial e posterior) foram realizados com base nas Equações 15 e 16, que mostram como obter o desvio padrão e o coeficiente de variação, respectivamente.

$$DP = \sqrt{\frac{\sum |x - \bar{x}|^2}{n-1}} \quad (15)$$

Onde:

- DP Desvio padrão.
- $\sum$  Somatório de.
- X Valor do conjunto de dados.
- $\bar{X}$  Média do conjunto de dados.
- n Número de dados.

$$CV = \frac{DV}{\bar{x}} * 100 \quad (16)$$

Onde:

- CV Coeficiente de variação.

### F.4 – OBTENÇÃO DA RELAÇÃO TENSÃO X DEFORMAÇÃO

A partir dos resultados de deformação obtidos pela prensa, foi possível analisar o comportamento tensão x deformação, seguindo as Equações 4, 5 e 6, onde  $A=54600\text{mm}^2$  (considerando-se a largura igual a 140 mm e o comprimento igual a 390 mm) e  $L=370$  mm correspondente a altura do prisma (altura de dois blocos mais 10 mm da junta de argamassa aproximadamente).

As Equações 17, 18 e 19 mostram os resultados dos cálculos realizados para

o prisma P1'1 para exemplificar.

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{103294}{54600} = 1,9 \text{MPa} \quad (17)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_i} = \frac{3,2}{370} = 0,00865 \quad (18)$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{1,9}{0,00865} = 218,7 \text{MPa} \quad (19)$$

Os resultados para todos os prismas são mostrados na Tabela 30, onde o  $TD_{\text{médio}}$  foi obtido pela média dos dois prismas utilizados na análise posterior, ou seja, com exclusão dos prismas que apresentaram resultados discrepantes (P1'1, P2'2 e P2'6, evidenciados em verde).

**Tabela 30 - Obtenção do comportamento tensão x deformação dos prismas**

Prismas	Força (N)	Área (mm <sup>2</sup> )	Tensão (MPa)	Deformação (mm)	$\varepsilon$ (mm/mm)	TD (MPa)	$TD_{\text{Médio}}$ (MPa)
1'1	103294	54600	1,9	3,2	0,00865	218,7	499,0
2'1	179249	54600	3,3	3,0	0,00811	404,9	
3'1	245085	54600	4,5	2,8	0,00757	593,2	
1'2	185023	54600	3,4	3,3	0,00892	379,9	377,1
2'2	124940	54600	2,3	3,2	0,00865	264,6	
3'2	193313	54600	3,5	3,5	0,00946	374,3	
1'6	245285	54600	4,5	3,0	0,00811	554,1	553,9
2'6	176732	54600	3,2	2,6	0,00703	460,6	
3'6	245145	54600	4,5	3,0	0,00811	553,7	

Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

## APÊNDICE G –MODO DE RUPTURA DOS PRISMAS

### G.1 – PRISMAS ASSENTADOS COM ARGAMASSA DO TRAÇO 1 (1:0:3:1,2 – RESISTÊNCIA INTERMEDIÁRIA)

- P1'1 (Prisma 1 do traço 1)

Este prisma apresentou fissuração frontal no bloco inferior, que começou na argamassa e se estendeu por todo o bloco com uma inclinação de 45°, como mostra a Figura 48, e fissuração em uma de suas laterais que se estendeu por todo o prisma, atravessando a argamassa, como mostra a Figura 49. Acredita-se que a fissuração lateral ocorreu devido ao orifício que o bloco superior apresentava (seta vermelha na Figura 49), pois se torna um ponto de concentrações de tensões durante a aplicação da carga.



**Figura 48 - P1'1, fissuração frontal**  
**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**



**Figura 49 - P1'1, fissuração lateral**  
**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

Nota-se, também, pela Figura 48, que no ponto onde a fissura teve início, houve o esfacelamento da junta de argamassa. A hipótese para este acontecimento pode estar relacionada ao mecanismo de ruptura do prisma, onde a argamassa, sujeita à compressão, aumenta as tensões de tração no bloco, originando a fissuração, que

consequentemente, faz parte da junta se desagregar da superfície dos blocos.

- P2'1 (Prisma 2 do traço 1)

A ruptura desse prisma foi súbita e abrupta. As fissurações começaram na parte de trás e se iniciaram na argamassa, atravessando toda a altura do prisma, como mostra a Figura 50 . A ruptura aconteceu pelo colapso do bloco inferior, como exibe a Figura 51, onde o bloco ficou parcialmente destruído.



**Figura 50 - P2'1, fissuração traseira**  
Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017)



**Figura 51 - P2'1, colapso do bloco inferior**  
Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

Diferentemente do prisma P1'1, o prisma P2'1 não apresentou fissurações laterais, mesmo possuindo um orifício no bloco superior, como mostra a Figura 52.

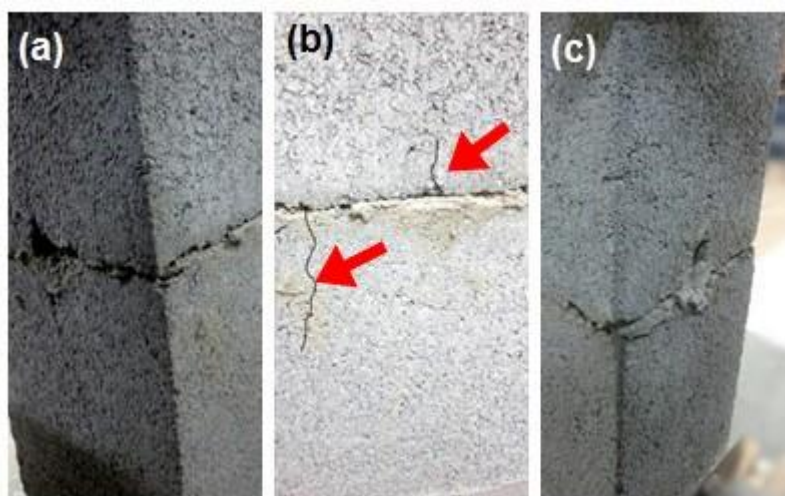


**Figura 52 - P2'1, orifício bloco superior**  
Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).



- P3'1 (Prisma 3 do traço 1)

Este prisma apresentou apenas duas pequenas fissuras traseiras no lado esquerdo, uma no bloco superior e outra no bloco inferior, como observa-se pela Figura 53(b), mesmo apresentando orifícios nas duas laterais, conforme mostram as Figura 53(a) e Figura 53(c) .

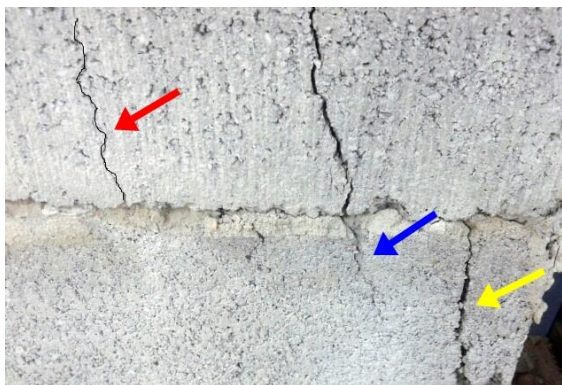


**Figura 53 - P3'1. (a) Orifício lado esquerdo (b) Fissuração traseira (c) Orifício lado direito**  
Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

## G.2 – PRISMAS ASSENTADOS COM ARGAMASSA DO TRAÇO 2 (1:0,5:4,5:2 – MENOR RESISTÊNCIA)

- P1'2 (Prisma 1 do traço 2)

Este prisma apresentou fissuras traseiras de grande proporção nos dois blocos, como mostra a Figura 54. A primeira fissura mais estreita (seta vermelha), a segunda espessa, que atravessou a argamassa (seta azul) e a última que esfacelou o canto superior do bloco inferior (seta amarela).

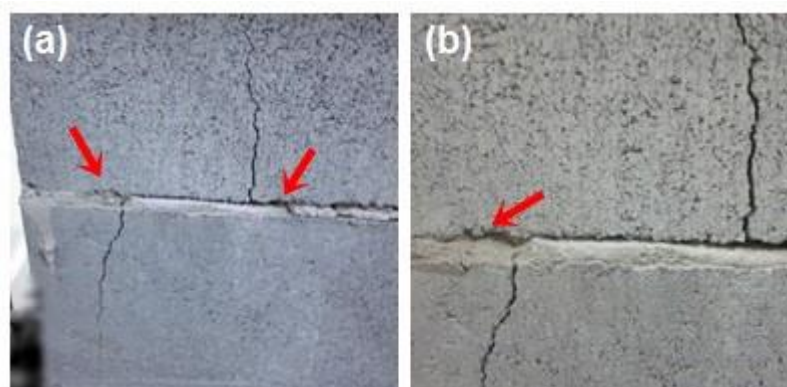


**Figura 54 - P1'2, fissuras traseiras**  
**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

Verifica-se, também, pela Figura 54, que houve esfacelamento da junta de argamassa em vários pontos, tanto na seção onde ocorreu fissuração, como em seções em que não surgiam fissuras.

- P2'2 (Prisma 2 do traço 2)

O prisma P2'2 foi um dos únicos que apresentou fissuração nas duas faces. A Figura 55, ilustra as fissuras frontais, espessas e praticamente a 90°.



**Figura 55 - P2'2. (a) Fissuras frontais (b) Zoom da figura (a)**  
**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

Observa-se, pela Figura 55, que houve esfacelamento da argamassa tanto nas seções fissuradas, quanto em seções não fissuradas.

A Figura 56 mostra as fissuras traseiras, estreitas e com inclinação de, aproximadamente, 45°.



**Figura 56 - P2'2, fissuras traseiras**  
**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

Além do deslocamento da junta de argamassa, o prisma P2'2 apresentou colapso do bloco inferior, como ilustram as Figura 57.

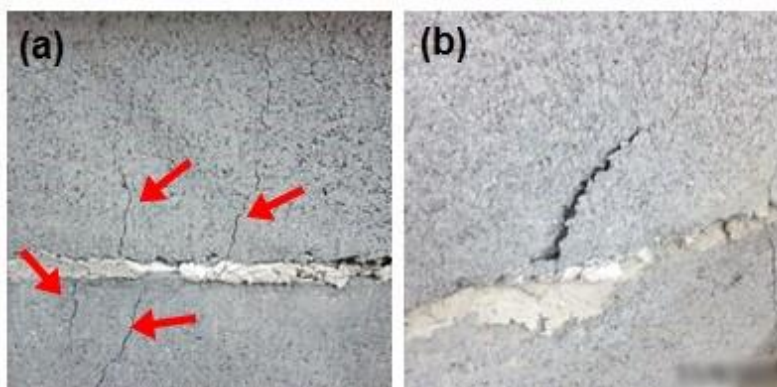


**Figura 57 - P2'2 - Colapso parcial do bloco inferior**  
**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

A Figura 57 mostra o processo de ruptura esperado da alvenaria, explicado por Mohamad, et. al. (2009), onde a argamassa continua aderente à superfície do bloco inferior e se desgruda da superfície do bloco superior.

- P3'2 (Prisma 3 do traço 2)

Este prisma apresentou fissuras estreitas frontais intercaladas entre um bloco e outro, como mostra a Figura 58(a) e deslocamento da camada de concreto do bloco superior, conforme a Figura 58(b).



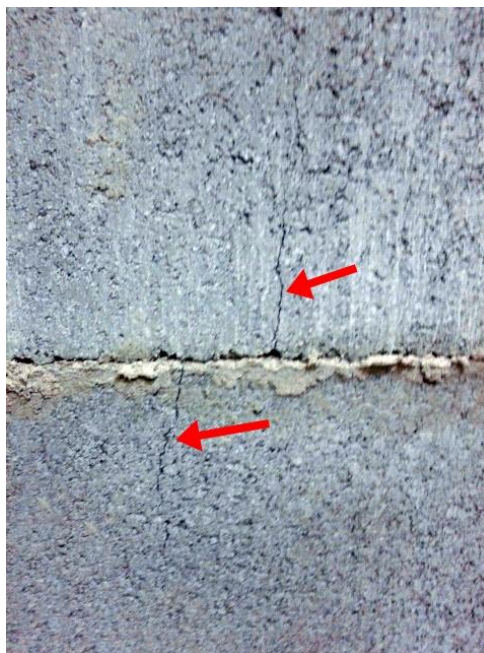
**Figura 58 - P3'2. (a) Fissurações frontais iniciais. (b) Deslocamento do concreto do bloco**  
Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).

A hipótese para o esfacelamento das faces dos blocos, observado em todos os prismas do traço 2, está relacionada ao surgimento de altas tensões de tração nos blocos devido à baixa capacidade de deformação da argamassa que, na situação de confinamento como junta, é impedida de se expandir lateralmente, conforme explanam Gomes (2001) e Steil (2003).

### G.3 – PRISMAS ASSENTADOS COM ARGAMASSA DO TRAÇO 6 (1:0:3:0,9 – MAIOR RESISTÊNCIA)

- P1'6 (Prisma 1 do traço 6)

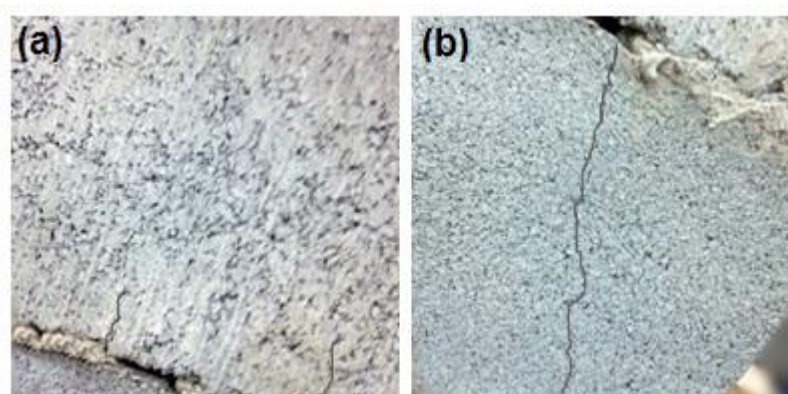
O prisma 1'6 fissurou apenas na parte de trás. As fissuras foram pequenas, estreitas e praticamente imperceptíveis, como mostra a Figura 59.



**Figura 59 - P1'6, fissuras traseiras**  
**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

- P2'6 (Prisma 2 do traço 6)

O prisma P2'6 exibiu mínimas fissurações frontais e uma fissura traseira estreita, porém longa, conforme mostra a Figura 60.



**Figura 60 - P2'6. (a) Fissuras frontais. (b) Fissuras traseiras**  
**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

Identifica-se, pela Figura 60(b), que a fissura traseira ocorreu na seção onde havia falta de argamassa e, provavelmente por isso, foi mais extensa que a fissura frontal, que ocorreu na seção onde havia argamassa (Figura 60(a)).

- P3'6 (Prisma 3 do traço 6)

As fissuras do prisma P3'6 foram estreitas e praticamente imperceptíveis, porém, a do bloco superior foi longa, como ilustra a Figura 61.



**Figura 61 - P3'6, fissuras frontais**

**Fonte: (AUTORIA PRÓPRIA, 2017).**

Assim como aconteceu com o prisma P2'6, a fissura mais extensa do prisma P3'6, mostrada pela Figura 61, ocorreu em uma seção onde havia falta de argamassa.