

# **Influência do Graute e da Taxa de Armadura no Comportamento da Alvenaria de Blocos de Concreto**

**ENG<sup>a</sup>. BÁRBARA GONÇALVES LOGULLO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de  
Ilha Solteira – UNESP, como parte dos requisitos para  
obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

**ORIENTADOR: PROF. DR. JEFFERSON SIDNEY CAMACHO**

ILHA SOLTEIRA – SP

2006

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação/Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP-Ilha Solteira

L832i Logullo, Bárbara Gonçalves  
Influência do graute e da taxa de armadura no comportamento da alvenaria de blocos de concreto / Bárbara Gonçalves Logullo. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2006  
192 p. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2006

Orientador: Jefferson Sidney Camacho  
Bibliografia: p. 173-177

1. Blocos de concreto. 2. Armaduras. 3. Graute. 4. Alvenaria estrutural.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO:** Influência do Graute e da Taxa de Armadura no Comportamento da Alvenaria de Blocos de Concreto

**AUTORA:** BARBARA GONÇALVES LOGULLO  
**ORIENTADOR:** Prof. Dr. JEFFERSON SIDNEY CAMACHO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em ENGENHARIA CIVIL pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. JEFFERSON SIDNEY CAMACHO  
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. JORGE LUIS AKASAKI  
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. JOÃO BENTO DE HANAI  
Departamento de Engenharia de Estruturas - Escola de Engenharia de São Carlos - USP - São Carlos/SP

Data da realização: 28 de abril de 2006.

  
\_\_\_\_\_  
Presidente da Comissão Examinadora  
Prof. Dr. JEFFERSON SIDNEY CAMACHO

*Dedico aos meus pais:*

*Leandro F. Logullo*

*Maria Inez Gonçalves*

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço, primeiramente, à Deus, que me deu coragem, paciência e sabedoria para realizar este trabalho e superar mais esta fase da minha vida.

Ao professor Jefferson S. Camacho, pela compreensão, paciência, incentivo e instruções nesses anos de convívio e orientação. Pela amizade e respeito, que se construíram durante esse tempo, e, principalmente, pelos esclarecimentos das dúvidas e incertezas que surgiram nesse caminhar, desde a iniciação científica.

Aos meus pais amados, Leandro F. Logullo e Maria Inez Gonçalves, pelo amor e apoio incondicional, pois, se hoje eu consegui mais essa vitória, foram eles que me deram condições para alcançá-la.

Ao meu irmão, sempre um amigo e incentivador, que eu tanto amo e admiro, e, a minha irmãzinha, com toda sua inocência e graça de criança.

Aos amigos que compartilharam esse período da minha vida e que muito me ajudaram: Marcela Jodas, Rodrigo Andolfato, Rodrigo Menossi, Wilson Silva, Flávio Sato, João Paulo da Silva, Ana Flávia da Silva, Thiago Dias, Leandro Guirado, Vinicius Pezatti, Flavia Luz, Luciana Pereira, Máira Sanomya, Aline Botini, Guilherme Martinhon, Juliana Graça e ao querido Jonas Galli.

Aos técnicos do laboratório de engenharia civil da UNESP e aos técnicos do Laboratório Cesp de Engenharia Civil, que contribuíram efetivamente na realização deste trabalho.

Ao Laboratório Cesp de Engenharia Civil, LCEC, representado pelo Eng. Flávio M. Salles, pelo apoio na realização dos ensaios, à Empresa Tatu Prémoldados, pela doação dos blocos utilizados nesta pesquisa e à Fundação de amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pela bolsa de estudo a mim concedida.

# SUMÁRIO

<i>SUMÁRIO</i> .....	1
<i>Lista de Figuras</i> .....	5
<i>Lista de Tabelas</i> .....	8
<i>RESUMO</i> .....	10
<i>ABSTRACT</i> .....	11
<i>1. INTRODUÇÃO</i> .....	12
<i>1.1 Histórico da Alvenaria Estrutural</i> .....	12
<i>1.2 Justificativa</i> .....	17
<i>1.3 Objetivo</i> .....	18
<i>1.4 Estrutura da Dissertação</i> .....	18
<i>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</i> .....	20
<i>2.1 Bloco</i> .....	22
<i>2.2. Argamassa de assentamento</i> .....	25
<i>2.3 Graute</i> .....	29
<i>2.4 Armadura</i> .....	36
<i>2.5 Análise Teórica</i> .....	40
<i>3. ENSAIOS DOS BLOCOS ISOLADOS</i> .....	43
<i>3.1 Procedimento de Ensaio dos Blocos</i> .....	44
<i>3.2 Capeamento dos Blocos</i> .....	44
<i>3.3 Determinação da Resistência à Compressão Axial e Deformabilidade dos Blocos</i> .....	45
<i>3.4 Resultados Obtidos</i> .....	47
<i>3.4.1 Características Físicas dos Blocos</i> .....	47
<i>3.4.2 Blocos classe B1</i> .....	48
<i>3.4.3 Blocos classe B2</i> .....	50
<i>4. ENSAIOS DE PRISMAS VAZIOS E GRAUTEADOS</i> .....	53
<i>4.1 Procedimentos de Execução dos Prismas</i> .....	54
<i>4.2 Argamassa de Assentamento</i> .....	55
<i>4.3 Definição dos Grautes</i> .....	56
<i>4.4 Grauteamento dos Prismas</i> .....	56
<i>4.5 Procedimento de Ensaio dos Prismas - Determinação da Resistência à Compressão Axial e Deformabilidade</i> .....	58
<i>4.6 Resultados dos Componentes</i> .....	60

4.6.1 Resultado da Argamassa dos Prismas Vazios e Grauteados .....	60
4.6.2 Resultado dos Grautes dos Prismas Grauteados .....	60
4.6.2.1 Modo de Ruptura dos Grautes .....	61
4.7 Resultado dos Prismas Vazios.....	62
4.7.1 Prismas Vazios B1 .....	62
4.7.2 Prismas Vazios B2.....	63
4.7.3 Modos de Ruptura – Prismas Vazios.....	64
4.8 Resultado dos Prismas Grauteados.....	65
4.8.1 Prismas B1-G1 .....	65
4.8.2 Prismas B1-G2 .....	66
4.8.3 Modos de Ruptura dos Prismas B1 Grauteados .....	67
4.8.4 Prismas B2-G1 .....	69
4.8.5 Prismas B2-G2 .....	70
4.8.6 Modos de Ruptura dos Prismas B2 Grauteados .....	71
5. ENSAIOS DE PRISMAS ARMADOS.....	73
5.1 Definição das Armaduras.....	74
5.2 Instrumentação das Armaduras .....	75
5.3 Armação e Grauteamento dos Prismas.....	77
5.4 Determinação da Resistência à Compressão Axial e Deformabilidade dos Prismas.....	80
5.5 Resultados dos componentes .....	80
5.5.1 Resultado da Argamassa dos Prismas Armados .....	80
5.5.2 Resultado dos grautes dos Prismas Armados .....	81
5.6 Resultado dos Prismas Armados $\rho_1$ .....	83
5.6.1 Prismas Armados B1-G1- $\rho_1$ .....	83
5.6.2 Prismas Armados B2-G1- $\rho_1$ .....	84
5.6.3 Prismas Armados B1-G2- $\rho_1$ .....	85
5.6.4 Prismas Armados B2-G2- $\rho_1$ .....	87
5.6.5 Modos de Ruptura dos Prismas Armados $\rho_1$ .....	88
5.7 Resultado dos Prismas Armados $\rho_2$ .....	89
5.7.1 Prismas Armados B1-G1- $\rho_2$ .....	89
5.7.2 Prismas Armados B2-G1- $\rho_2$ .....	90
5.7.3 Prismas Armados B1-G2- $\rho_2$ .....	91
5.7.4 Prismas Armados B2-G2- $\rho_2$ .....	92
5.7.5 Modos de Ruptura dos Prismas Armados $\rho_2$ .....	94
5.8 Resultado dos Prismas Armados $\rho_3$ .....	95

5.8.1 Prismas Armados B1-G1- $\rho_3$ .....	95
5.8.2 Prismas Armados B2-G1- $\rho_3$ .....	96
5.8.3 Prismas Armados B1-G2- $\rho_3$ .....	97
5.8.4 Prismas Armados B2-G2- $\rho_3$ .....	98
5.8.5 Modos de Ruptura dos Prismas Armados $\rho_3$ .....	99
6. ENSAIOS DE PAREDES VAZIAS E GRAUTEADAS .....	101
6.1 Procedimentos de Execução das Paredes .....	101
6.2 Argamassa de Assentamento .....	102
6.3 Definição dos Grautes .....	103
6.4 Grauteamento das Paredes .....	103
6.5 Procedimento de Ensaio das Paredes - Determinação da Resistência à Compressão Axial e Deformabilidade das Paredes .....	104
6.6 Resultados dos Componentes .....	106
6.6.1 Resultado da Argamassa das Paredes Vazias e Grauteadas .....	106
6.6.2 Resultado dos Grautes das Paredes Grauteadas .....	106
6.7 Resultado das Paredes Vazias .....	106
6.7.1 Parede Vazia B1 .....	106
6.7.2 Parede Vazia B2 .....	108
6.7.3 Formas de Ruptura das Paredes Vazias .....	109
6.7.4 Parede B1-G1 .....	109
6.7.5 Parede B2-G1 .....	110
6.7.6 Formas de Ruptura das Paredes Grauteadas .....	111
7. ENSAIOS DAS PAREDES ARMADAS .....	113
7.1 Determinação da Resistência à Compressão Axial e Deformabilidade das Paredes .....	116
7.2 Resultados dos componentes .....	117
7.2.1 Resultado da Argamassa das Paredes Armadas .....	117
7.2.2 Resultado dos Grautes das Paredes Armadas .....	118
7.3 Resultado das Paredes Armadas .....	118
7.3.1 Parede B1-G1 Armadas .....	118
7.3.2 Formas de Ruptura das Paredes B1-G1 Armadas .....	121
7.3.3 Parede B2-G1 Armadas .....	122
7.3.4 Formas de Ruptura das Paredes B2-G1 Armadas .....	125
8. AVALIAÇÃO E COMENTÁRIOS DOS RESULTADOS .....	127
8.1 Blocos .....	127
8.2 Prismas .....	129

<i>8.3 Paredes</i> .....	141
<i>8.4 Estimativa teórica da contribuição de blocos, grautes e armaduras nos Prismas e Paredes</i> .....	149
<i>9. CONCLUSÕES</i> .....	168
<i>10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i> .....	173
<i>11. ANEXOS</i> .....	178
<i>ANEXO 1 - AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS</i> .....	178
<i>ANEXO 2</i> .....	186

## Lista de Figuras

Figura 1 – Pirâmide de Gizé.	12
Figura 2 – Coliseo romano. Fonte: In: <a href="http://pt.wikipedia.org/wiki/Coliseu_romano">http://pt.wikipedia.org/wiki/Coliseu_romano</a> .	13
Figura 3 - Conjunto habitacional “Central Parque da Lapa” In: Associação Brasileira de Construção Industrializada.	15
Figura 4 – Foto de um ensaio de um edifício real. Fonte ANDOLFATO (2002, p.3).	16
Figura 5 - Resistência à compressão simples de blocos, argamassas e prismas. Fonte: MOHAMAD (1998, p. 18).	27
Figura 6 - Resistência à compressão (em colunas) das argamassas, blocos e prismas e o fator de eficiência (em linhas). Fonte: CASALI (2003, p. 136).	28
Figura 7 – Resistência do prisma grauteado x Resistência à compressão do graute	31
Figura 8 – Influência da resistência dos grautes na resistência dos prismas	33
Figura 9 – Aumento da resistência de paredes em função do aumento da resistência do graute	34
Figura 10 – Valores médios de resistência à compressão. Fonte: ALY (1994, p. 120).	38
Figura 11 – Representação do Modelo de Reuss (Fonte: Oliveira, 2001, p. 68).	41
Figura 12 – Representação do Modelo de Voigt.	42
Figura 13 – Capeamento dos blocos.	45
Figura 14 – Colagem dos gabaritos para os relógios comparadores.	46
Figura 15 – Esquema de posicionamento dos extensômetros. Fonte: ANDOLFATO (2002, p. 55).	46
Figura 16 – Esquema de ensaio dos blocos.	47
Figura 17 – Sistema de aquisição de dados.	47
Figura 18 – Gráfico Tensão x Deformação dos blocos B1.	49
Figura 19 – Formas de ruína dos blocos B1	50
Figura 20 – Gráfico Tensão x Deformação dos blocos B2.	51
Figura 21 – Formas de ruína dos blocos B2.	52
Figura 22 – Montagem dos prismas	54
Figura 23 – Ruptura de prismas em ensaios pilotos	55
Figura 24 – Grauteamento dos prismas.	57
Figura 25 – Esquema de posicionamento dos LVDT's nos prismas.	58
Figura 26 – Esquema de ensaio do prisma.	59
Figura 27 – Esquema de transporte dos prismas.	59
Figura 28 – Formas de ruína dos grautes.	61
Figura 29 – Gráfico Tensão x Deformação dos Prismas Vazios B1.	63
Figura 30 – Gráfico Tensão x Deformação dos Prismas Vazios B2.	64
Figura 31 – Modo de ruínas dos Prismas Vazios.	65
Figura 32 – Gráfico Tensão x Deformação dos Prismas B1-G1.	66
Figura 33 – Gráfico Tensão x Deformação do Prisma B1-G2.	67
Figura 34 – Modo de ruínas dos Prismas B1 Grauteados.	68
Figura 35 – Gráfico Tensão x Deformação do prisma B2-G1.	69
Figura 36 – Gráfico Tensão x Deformação do prisma B2-G2.	71
Figura 37 – Modo de ruína dos Prismas B2 Grauteados.	72
Figura 38 – Instrumentação das barras de aço.	75
Figura 39 – Curvas de calibração das barras $\rho_1$	76
Figura 40 - Curvas de calibração das barras $\rho_2$	76
Figura 41 - Curvas de calibração das barras $\rho_3$	77
Figura 42 – Gabaritos de posicionamento das barras horizontais.	78
Figura 43 – Armação e grauteamento dos prismas.	79
Figura 44 – Prisma instrumentado.	79
Figura 45 – Esquema de ensaios de prismas armados.	80
Figura 46 – Gráfico Tensão x Deformação dos Prismas B1-G1- $\rho_1$ .	84
Figura 47 – Gráfico Tensão x Deformação do prisma B2-G1- $\rho_1$ .	85
Figura 48 – Gráfico Tensão x Deformação dos Prismas B1-G2- $\rho_1$ .	86
Figura 49 – Gráfico Tensão x Deformação do prisma B2-G2- $\rho_1$ .	87
Figura 50 – Modo de ruína dos Prismas $\rho_1$ .	88
Figura 51 – Gráfico Tensão x Deformação dos Prismas B1-G1- $\rho_2$ .	90
Figura 52 – Gráfico Tensão x Deformação do prisma B2-G1- $\rho_2$ .	91

Figura 53 – Gráfico Tensão x Deformação dos Prismas B1-G2- $\rho_2$ .	92
Figura 54 – Gráfico Tensão x Deformação do prisma B2-G2- $\rho_2$ .	93
Figura 55 – Modo de ruína dos Prismas $\rho_2$ .	94
Figura 56 – Gráfico Tensão x Deformação dos Prismas B1-G1- $\rho_3$ .	95
Figura 57 – Gráfico Tensão x Deformação do prisma B2-G1- $\rho_3$ .	96
Figura 58 – Gráfico Tensão x Deformação dos Prismas B1-G2- $\rho_3$ .	98
Figura 59 – Gráfico Tensão x Deformação do prisma B2-G2- $\rho_3$ .	99
Figura 60 – Modo de ruptura dos Prismas $\rho_3$ .	100
Figura 61 – Montagem das paredes.	102
Figura 62 – Grauteamento das paredes.	103
Figura 63 – Capeamento das paredes.	104
Figura 64 – Equipamento de ensaio das paredes.	105
Figura 65 – Posicionamento das paredes.	105
Figura 66 – Gráfico Tensão x Deformação das paredes Vazias B1.	107
Figura 67 – Gráfico Tensão x Deformação das paredes Vazias B2.	108
Figura 68 – Formas de ruína das paredes vazias.	109
Figura 69 – Gráfico Tensão x Deformação das paredes B1-G1.	110
Figura 70 – Gráfico Tensão x Deformação das paredes B2-G1.	111
Figura 71 – Formas de ruínas das paredes grauteadas.	112
Figura 72 – Curva Tensão x Deformação de $\rho_1$ .	114
Figura 73 – Curva Tensão x Deformação de $\rho_2$ .	115
Figura 74 – Curva Tensão x Deformação de $\rho_3$ .	115
Figura 75 – Parede instrumentada.	116
Figura 76 – Esquema de ensaios das paredes armadas.	117
Figura 77 – Gráfico Tensão x Deformação das paredes B1-G1- $\rho_1$ .	119
Figura 78 – Gráfico Tensão x Deformação das paredes B1-G1- $\rho_2$ .	120
Figura 79 – Gráfico Tensão x Deformação das paredes B1-G1- $\rho_3$ .	121
Figura 80 – Formas de ruínas das paredes B1-G1-Armadas.	122
Figura 81 – Gráfico Tensão x Deformação das paredes B2-G1- $\rho_1$ .	123
Figura 82 – Gráfico Tensão x Deformação das paredes B2-G1- $\rho_2$ .	124
Figura 83 – Gráfico Tensão x Deformação das paredes B2-G1- $\rho_3$ .	125
Figura 84 – Formas de ruínas das paredes B2-G1-Armadas.	126
Figura 85 – Resultados dos prismas vazios, grauteados e armados.	130
Figura 86 – Resultados dos prismas B1.	131
Figura 87 - Resultados dos prismas B2.	132
Figura 88 – Resultados dos prismas B1 e grautes.	133
Figura 89 – Resultados dos prismas B2 e grautes.	134
Figura 90 - Resultados de blocos, grautes, argamassa e prismas.	134
Figura 91 – Resultados de prismas vazios e grauteados.	135
Figura 92 – Resultados dos prismas armados.	136
Figura 93 – Gráfico Tensão x Deformação geral dos Prismas B1.	137
Figura 94 – Gráfico Tensão x Deformação geral dos Prismas B2.	138
Figura 95 – Gráfico Tensão x Deformação dos prismas B1-G1 com armaduras.	139
Figura 96 – Gráfico Tensão x Deformação dos prismas B1-G2 com armaduras.	139
Figura 97 – Gráfico Tensão x Deformação dos prismas B2-G1 com armaduras.	140
Figura 98 – Gráfico Tensão x Deformação dos prismas B2-G2 com armaduras.	140
Figura 99 - Resultados de resistências das paredes.	141
Figura 100 – Resultados de resistência das paredes B1.	143
Figura 101 – Resultados de resistência das paredes B2.	144
Figura 102 – Resultados de resistência das paredes vazias e grauteadas.	145
Figura 103 – Resultados de resistência das paredes grauteadas e armadas	145
Figura 104 – Gráfico Tensão x Deformação das Paredes Vazias e Grauteadas B1.	147
Figura 105 – Gráfico Tensão x Deformação das Paredes Armadas B1.	148
Figura 106 – Gráfico Tensão x Deformação das Paredes Vazias e Grauteadas B2.	148
Figura 107 – Gráfico Tensão x Deformação das Paredes Armadas B2.	149
Figura 108 – Gráfico Tensão x Deformação do graute G1.	151
Figura 109 – Cargas x Deformações experimentais e teóricas dos prismas B1.	153
Figura 110 – Cargas x Deformações experimentais e teóricas dos prismas B2.	153
Figura 111 – Cargas x Deformações experimentais e teóricas das paredes B1.	155
Figura 112 – Cargas x Deformações experimentais e teóricas das paredes B2.	155

<i>Figura 113 – Cargas x Deformações experimentais e teóricas dos prismas armados B1-G1-<math>\rho_1</math>.</i>	157
<i>Figura 114 – Cargas x Deformações experimentais e teóricas dos prismas armados B1-G1-<math>\rho_2</math>.</i>	158
<i>Figura 115 - Cargas x Deformações experimentais e teóricas dos prismas armados B1-G1-<math>\rho_3</math>.</i>	159
<i>Figura 116 - Cargas x Deformações experimentais e teóricas dos prismas armados B2-G1-<math>\rho_1</math>.</i>	159
<i>Figura 117 - Cargas x Deformações experimentais e teóricas dos prismas armados B2-G1-<math>\rho_2</math>.</i>	160
<i>Figura 118 - Cargas x Deformações experimentais e teóricas dos prismas armados B2-G1-<math>\rho_3</math>.</i>	161
<i>Figura 119 - Cargas x Deformações experimentais e teóricas das paredes armadas B1-G1-<math>\rho_1</math>.</i>	163
<i>Figura 120 - Cargas x Deformações experimentais e teóricas das paredes armadas B1-G1-<math>\rho_2</math>.</i>	164
<i>Figura 121 - Cargas x Deformações experimentais e teóricas das paredes armadas B1-G1-<math>\rho_3</math>.</i>	164
<i>Figura 122 - Cargas x Deformações experimentais e teóricas das paredes armadas B2-G1-<math>\rho_1</math>.</i>	165
<i>Figura 123 – Cargas x Deformações experimentais e teóricas das paredes armadas B2-G1-<math>\rho_2</math>.</i>	166
<i>Figura 124 - Cargas x Deformações experimentais e teóricas das paredes armadas B2-G1-<math>\rho_3</math>.</i>	166
<i>Figura 125 – Resultados dos prismas vazios e grauteados.</i>	182
<i>Figura 126 – Resultados das paredes vazias e grauteadas.</i>	183
<i>Figura 127 – Resultados dos prismas grauteados e armados.</i>	184
<i>Figura 128 – Resultados das paredes grauteadas e armadas.</i>	184

## Lista de Tabelas

<i>Tabela 1 – Valores mínimos de resistências da NBR 6136.</i>	23
<i>Tabela 2 – Dimensões padronizadas segunda a NBR 6136.</i>	23
<i>Tabela 3 – Espessura mínima da parede dos blocos, NBR 6136.</i>	23
<i>Tabela 4 - Argamassas de assentamento.</i>	28
<i>Tabela 5 – Proporções da NBR 8798 para dosagem de grautes.</i>	30
<i>Tabela 6 – Ensaio dos blocos.</i>	44
<i>Tabela 7 - Umidade, absorção e área líquida dos blocos.</i>	48
<i>Tabela 8 – Resultados dos ensaios dos blocos B1.</i>	48
<i>Tabela 9 – Resultados dos ensaios dos blocos B2 (A. Bruta).</i>	50
<i>Tabela 10 – Planejamento de ensaio de prismas.</i>	54
<i>Tabela 11 – Traço dos grautes (em massa).</i>	56
<i>Tabela 12 – Ensaio da Argamassa.</i>	60
<i>Tabela 13 – Resultados do graute G1.</i>	60
<i>Tabela 14 - Resultados do graute G2.</i>	61
<i>Tabela 15 – Resultados dos Prismas Vazios B1.</i>	62
<i>Tabela 16 – Resultados dos Prismas Vazios B2.</i>	63
<i>Tabela 17 – Resultados dos Prismas B1-G1.</i>	65
<i>Tabela 18 – Resultados dos Prismas B1-G2.</i>	66
<i>Tabela 19 – Resultados dos Prismas B2-G1.</i>	69
<i>Tabela 20 – Resultados dos Prismas B2-G2.</i>	70
<i>Tabela 21 – Planejamento de ensaio de prismas.</i>	73
<i>Tabela 22 – Definição das armaduras.</i>	74
<i>Tabela 23 – Ensaio da Argamassa.</i>	81
<i>Tabela 24 – Resultados do graute G1.</i>	82
<i>Tabela 25 – Resultados do graute G2.</i>	82
<i>Tabela 26 – Resultados dos Prismas B1-G1-<math>\rho_1</math>.</i>	83
<i>Tabela 27 – Resultados dos Prismas B2-G1-<math>\rho_1</math>.</i>	84
<i>Tabela 28 – Resultados dos Prismas B1-G2-<math>\rho_1</math>.</i>	86
<i>Tabela 29 – Resultados dos Prismas B2-G2-<math>\rho_1</math>.</i>	87
<i>Tabela 30 – Resultados dos Prismas B1-G1-<math>\rho_2</math>.</i>	89
<i>Tabela 31 – Resultados dos Prismas B2-G1-<math>\rho_2</math>.</i>	90
<i>Tabela 32 – Resultados dos Prismas B1-G2-<math>\rho_2</math>.</i>	91
<i>Tabela 33 – Resultados dos Prismas B2-G2-<math>\rho_2</math>.</i>	93
<i>Tabela 34 – Resultados dos Prismas B1-G1-<math>\rho_3</math>.</i>	95
<i>Tabela 35 – Resultados dos Prismas B2-G1-<math>\rho_3</math>.</i>	96
<i>Tabela 36 – Resultados dos Prismas B1-G2-<math>\rho_3</math>.</i>	97
<i>Tabela 37 – Resultados dos Prismas B2-G2-<math>\rho_3</math>.</i>	98
<i>Tabela 38 – Planejamento de ensaio das paredes vazias e grauteadas.</i>	101
<i>Tabela 39 – Resultado das argamassas das paredes.</i>	106
<i>Tabela 40 – Resultados dos grautes das paredes.</i>	106
<i>Tabela 41 – Resultados das paredes Vazias B1.</i>	107
<i>Tabela 42 – Resultados das paredes Vazias B2.</i>	108
<i>Tabela 43 – Resultados das paredes B1-G1.</i>	109
<i>Tabela 44 – Resultados das paredes B2-G1.</i>	110
<i>Tabela 45 – Ensaio das paredes armadas.</i>	113
<i>Tabela 46 – Definição das armaduras.</i>	113
<i>Tabela 47 – Resultado da argamassa das paredes armadas.</i>	117
<i>Tabela 48 – Resultados dos grautes das paredes.</i>	118
<i>Tabela 49 – Resultados das paredes B1-G1-<math>\rho_1</math>.</i>	118
<i>Tabela 50 – Resultados das paredes B1-G1-<math>\rho_2</math>.</i>	119
<i>Tabela 51 – Resultados das paredes B1-G1-<math>\rho_3</math>.</i>	120
<i>Tabela 52 – Resultados das paredes B2-G1-<math>\rho_1</math>.</i>	122
<i>Tabela 53 – Resultados das paredes B2-G1-<math>\rho_2</math>.</i>	123
<i>Tabela 54 – Resultados das paredes B2-G1-<math>\rho_3</math>.</i>	124

Tabela 55 – Relação de áreas dos blocos.	127
Tabela 56 – Relação entre resistência dos prismas com relação às áreas brutas.	127
Tabela 57 - Relação entre resistência das paredes com relação às áreas brutas.	128
Tabela 58 – Deformações médias de ruptura.	136
Tabela 59 – Deformações médias de ruptura das paredes.	146
Tabela 60 – Estimativa de resultados teóricos para os prismas B1-G1 e B2-G1.	152
Tabela 61 - Estimativa de resultados teóricos para as paredes B1-G1 e B2-G1.	154
Tabela 62 - Estimativa de resultados teóricos para os prismas B1-G1- $\rho_1$ , B1-G1- $\rho_2$ e B1-G1- $\rho_3$ .	156
Tabela 63 - Estimativa de resultados teóricos para as paredes B1-G1- $\rho_1$ , B1-G1- $\rho_2$ e B1-G1- $\rho_3$ .	162
Tabela 64 – Grupos de prismas e paredes para análise estatística.	179
Tabela 65 – Tabela da conclusão da ANOVA.	180
Tabela 66 – Resultado da análise estatística.	181
Tabela 67 – Valores medidos para os ensaios de caracterização mecânica dos blocos.	186
Tabela 68 - Umidade, absorção e área líquida.	186
Tabela 69 - Resultados dos blocos B1.	186
Tabela 70 – Resultados dos blocos B2.	186
Tabela 71 – Características dos materiais constituintes da argamassa.	187
Tabela 72 – Características dos materiais constituintes do graute.	187
Tabela 73 – Resultado do graute G1.	187
Tabela 74 – Resultados do graute G2.	187
Tabela 75 - Resultados dos prismas B1-Vazio.	187
Tabela 76 - Resultados dos prismas B2-Vazio.	188
Tabela 77 – Resultados dos prismas B1-G1.	188
Tabela 78 - Resultados dos prismas B2-G1.	188
Tabela 79 - Resultados dos prismas B1-G2.	188
Tabela 80 - Resultados dos prismas B2-G2.	188
Tabela 81 - Resultados dos prismas B1-G1- $\rho_1$ .	189
Tabela 82 – Resultados dos prismas B2-G1- $\rho_1$ .	189
Tabela 83 – Resultados dos prismas B1-G2- $\rho_1$ .	189
Tabela 84 – Resultados dos prismas B2-G2- $\rho_1$ .	189
Tabela 85 - Resultados dos prismas B1-G1- $\rho_2$ .	190
Tabela 86 – Resultados dos prismas B2-G1- $\rho_2$ .	190
Tabela 87 - Resultados dos prismas B1-G2- $\rho_2$ .	190
Tabela 88 - Resultados dos prismas B2-G2- $\rho_2$ .	190
Tabela 89 - Resultados dos prismas B1-G1- $\rho_3$ .	191
Tabela 90 – Resultados dos prismas B2-G1- $\rho_3$ .	191
Tabela 91 – Resultados dos prismas B1-G2- $\rho_3$ .	191
Tabela 92 – Resultados dos prismas B2-G2- $\rho_3$ .	191
Tabela 93 – Resultados das argamassas utilizadas nas paredes.	192
Tabela 94 – Resultados dos grautes G1 adotados nas paredes.	192

## RESUMO

Apresenta-se neste trabalho uma investigação experimental do comportamento da alvenaria estrutural de blocos de concreto, resistência à compressão axial e módulo de elasticidade, em função do emprego de blocos de diferentes resistências, na presença de grautes de resistências variadas e também da existência ou não de armaduras, aplicadas em distintas taxas. Desse modo, são apresentados e comentados os resultados de ensaios de compressão axial em unidades, prismas de três blocos e pequenas paredes, montados com um só tipo de argamassa, mas com blocos de duas resistências distintas, designadas B1 e B2. Os elementos ensaiados são vazios e também preenchidos com grautes de duas resistências, definidas G1 e G2. Além destes, também são ensaiados prismas e paredes armadas, com taxas de armadura  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  e  $\rho_3$ . Portanto, são realizados ensaios em prismas e paredes vazias, prismas e paredes grauteadas com as diferentes combinações de classes de bloco e graute e com a combinação de blocos, grautes e taxas de armadura. Com os resultados obtidos foi verificado que o grauteamento praticamente dobrou a resistência do prisma grauteado, e, nas paredes o acréscimo foi médio de 80%, comparado com prisma e parede vazia na área bruta, porém esse aumento não foi proporcional à relação efetiva de áreas. Os prismas grauteados apresentaram diminuição na deformação de ruptura com a utilização de grautes mais rígidos, e, o grauteamento homogeneizou o comportamento de deformabilidade da alvenaria e do bloco que a constitui, no prisma e na parede. Constatou-se, também, que as armaduras não alteraram o comportamento estrutural dos prismas e paredes, nem na sua resistência à compressão axial e nem na sua deformabilidade.

## ABSTRACT

It is presented in this work an experimental investigation of the structural masonry of concrete blocks behavior, resistance to axial compression and elastic modulus, in function of the utilization of blocks of different resistances, with the presence of grout of varying resistances and the existence or not of armour, applied in distinct taxes. By this way, it's shown and commented the trials results of axial compression in units, three-block prisms and small walls, manufactured with just one type of mortar, but with blocks with two distinct resistances, called B1 and B2. The tested elements are empty and filled with grout of two resistances, defined as G1 and G2. Besides them, armoured prism and walls were tested too, with armour taxes called  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  and  $\rho_3$ . Hence, the trials are executed in empty prisms and walls, grouted prisms and walls with the different combinations of classes of blocks and grouts and with the combination of blocks, grouts and armour taxes. With the obtained results, it was verified that the grout almost doubled the resistance of the grouted prism and, in walls there was an 80% increase, compared with empty prism and walls in brute area, although this increase was not proportional to the effective relation of areas. The grouted prisms presented a decrease in rupture deformation with the utilization of more rigid grouts, and the grout smoothed the deformability behaviour in masonry and in the block that form it, in prisms and walls. It was noticed too, that the armour do not alter the structure behavior of prisms and walls, not even in their resistance to axial compression force, neither to their deformability.

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Histórico da Alvenaria Estrutural

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo bastante antigo. Data das idades mais remotas, quando o homem utilizava blocos espessos de pedra para construir sua habitação. A estrutura e arquitetura dessas edificações eram bem características, como, por exemplo, as espessuras relativamente grandes das paredes e as formas em arco na tentativa de alcançar maiores vãos (FRASSON JUNIOR, 2000, p. 1).

As pirâmides de Gizé (Quéfren, Queóps e Miquerinos), mostradas na Figura 1, onde foram utilizados mais de dois milhões de blocos de pedra, o farol da Alexandria com cerca de 183 metros de altura e o coliseo romano com mais de 500 metros de diâmetro e 50 metros de altura, mostrado na Figura 2 são exemplos expressivos dessas construções.

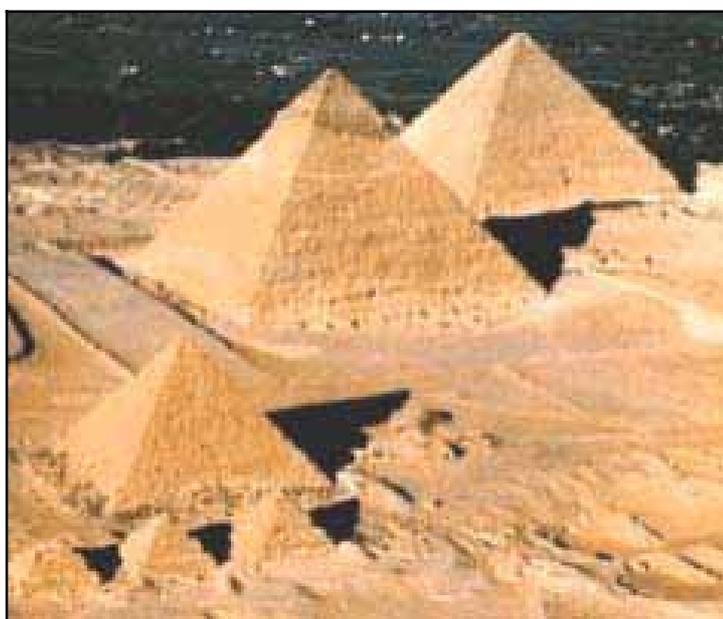


Figura 1 – Pirâmide de Gizé.

Fonte: In: [http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2000/001116\\_piramide.shtml](http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2000/001116_piramide.shtml).



Figura 2 – Coliseo romano. Fonte: In: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Coliseu\\_romano](http://pt.wikipedia.org/wiki/Coliseu_romano).

Apesar das obras marcantes na história da humanidade executadas em alvenaria, somente a partir do século XX foram desenvolvidas teorias racionais visando o dimensionamento desse processo construtivo.

As construções em alvenaria estrutural, até o final do século XIX, eram erguidas segundo regras puramente empíricas, baseadas nos conhecimentos adquiridos ao longo dos séculos (SABBATINI, 1984, p. 8).

No passado, as construções seguiam praticamente o mesmo padrão estético, ou seja, as formas eram simples e não existia nenhum arrojo por parte dos projetistas. As construções possuíam paredes largas, feitas com unidades maciças e unidas através de algum material cimentício, como consequência do desconhecimento das tensões atuantes na alvenaria e da resistência dos materiais empregados. Não existia nenhum código ou normalização que fixassem parâmetros a serem seguidos. O resultado era uma construção de custo oneroso, cuja potencialidade dos materiais não era totalmente explorada (MOHAMAD, 1998, p. 1).

Com o surgimento do cimento hidráulico, na metade do século XIX, os construtores passaram a ter uma nova opção de elemento resistente. Iniciou-se, então, na Europa, em 1850, a fabricação de blocos de concreto simples, pré-moldados, maciços, que se demonstraram de difícil aplicação. Em 1866, surgiram as técnicas de fabricação dos blocos vazados (OLIVEIRA, 1986, p. 4).

Entre os séculos XIX e XX, ocorreu um grande avanço das construções em alvenaria estrutural, especialmente nos EUA e Europa, com a construção de obras de grande porte como o edifício Monadnock construído em Chicago, EUA, entre 1889 e 1891, com 16 pavimentos e 65 metros de altura, cujas paredes inferiores possuem 1,80 metros de espessura.

Por volta de 1890, os blocos de concreto foram também fabricados nos Estados Unidos. Inúmeras pesquisas sobre esse material foram realizadas, culminando com a publicação da “Specification for the Design and the Construction of Load-bearing Concrete Masonry” (1967) pelo National Concrete Masonry Association (GARCIA, 2000, p. 5).

No início do século XX, a alvenaria estrutural entrou em declínio com o surgimento do concreto armado, pois este possibilitava a construção de estruturas mais esbeltas e de grande altura com peças de reduzidas dimensões, restringindo a alvenaria à função de vedação, ocasionando um período de estagnação das pesquisas em alvenaria estrutural.

A partir da década de 50, foi possível a criação de normas para projeto e execução de obras em alvenaria estrutural, fundamentada em uma série de experimentações, realizadas na Europa, fazendo com que essa técnica se tornasse competitiva com as demais técnicas existentes, recuperando seu lugar no mercado.

Segundo Garcia (2000, p. 5), a alvenaria estrutural permaneceu sub-utilizada por muitos anos no Brasil. Isso ocorreu devido a fatores como o maior domínio da tecnologia do concreto armado e a pouca divulgação desse sistema construtivo no conteúdo programático das universidades brasileiras. Somente a partir dos anos sessenta, os blocos estruturais de concreto começaram a ser usados na construção de edifícios.

Em 1966, foram construídos os primeiros prédios em alvenaria armada de blocos de concreto, que possuíam quatro pavimentos, o conjunto habitacional “Central Parque da Lapa”, em São Paulo, SP. Em 1972, construíram-se outros quatro edifícios com doze pavimentos nesse mesmo conjunto, mostrados na Figura 3, representando um marco nacional na utilização dessa técnica.



Figura 3 - Conjunto habitacional “Central Parque da Lapa” In: Associação Brasileira de Construção Industrializada.

Outro exemplo marcante do desenvolvimento da alvenaria estrutural no Brasil é o Edifício Murity, situado na cidade de São José dos Campos, que com seus 16 pavimentos o coloca entre os maiores já construídos neste país (PRISZKULNIK et al, 1977 citado por OLIVEIRA, 1986, p. 8).

Estima-se que tenham sido construídos no Brasil, entre 1964 e 1976, mais de dois milhões de unidades habitacionais em alvenaria estrutural. Porém, os resultados não eram os almejados quanto à qualidade e à durabilidade do produto, tornando-se necessárias pesquisas para eliminar as dúvidas existentes com relação a esse tipo de construção (ARAÚJO, 1995, p. 11).

Outros exemplos podem ser encontrados nas pesquisas desenvolvidas pelo Building Research Institute, Ministry of Construction, no Japão, onde se vê na Figura 4 um edifício de cinco pavimentos. No mesmo centro de pesquisas, através de convênios entre Japão e Estados Unidos, foram desenvolvidos outros estudos em edificações de alvenaria estrutural, dentre os quais destacam-se: dois edifícios de quatro e sete pavimentos, no período de 1979 a 1982, com o objetivo de estudar o desempenho das paredes resistentes, e um edifício de três pavimentos em 1988, também para avaliação estrutural.

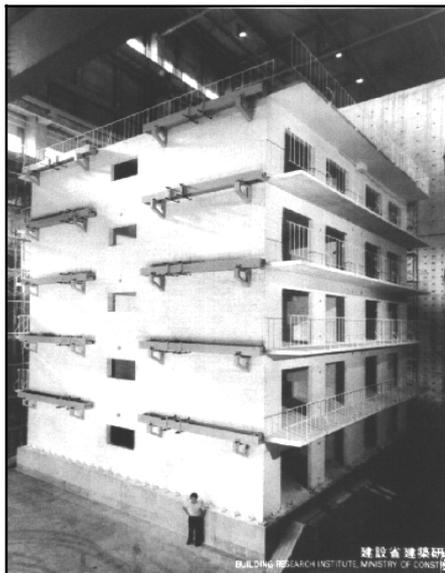


Figura 4 – Foto de um ensaio de um edifício real. *Fonte ANDOLFATO (2002, p.3).*

Dessa forma, apesar de sua chegada tardia, o sistema acabou se firmando como uma alternativa eficiente e econômica para a execução de edificações residenciais e também industriais (RAMALHO e CORRÊA, 2003, p. 5).

A grande vantagem que a alvenaria estrutural apresenta é a possibilidade de incorporar facilmente os conceitos de racionalização, produtividade e qualidade, produzindo, ainda, construções com bom desempenho tecnológico, aliado a baixos custos (ROMAN et al., 1999, p. 6).

A redução de custo e tempo, em uma obra de alvenaria estrutural, torna-se efetiva devido ao fato de que tal estrutura se baseia num sistema construtivo racionalizado no qual os elementos que desempenham a função estrutural são os mesmos que desempenham a função de vedação, a alvenaria (ANDOLFATO, 2002, p. 1).

Diante dessas grandes vantagens, em especial as de origem econômicas, tornou-se cada vez maiores os níveis de interesse por esse sistema construtivo. A alvenaria estrutural começou a ser empregada correntemente, sem uma adequada normalização do processo e dos produtos envolvidos (MEDEIROS, 1993, p. 2).

Dentro desse contexto, insere-se a presente pesquisa, buscando apresentar contribuições para o estudo da caracterização e do comportamento dos materiais utilizados na alvenaria estrutural.

## **1.2 Justificativa**

Impulsionada pelos baixos custos e o déficit habitacional nacional, a alvenaria estrutural apresenta grande potencial de crescimento por propiciar maior racionalidade na execução da obra, redução de consumo e desperdício dos materiais, aumentando a eficiência da mão de obra, além de apresentar nítidas vantagens quanto à diminuição de espessuras de revestimento a serem utilizadas.

Entretanto, muitos problemas relevantes na alvenaria continuam sem respostas. A análise teórica do sistema estrutural de uma obra de alvenaria apresenta uma série de dificuldades, considerando que se trata de um sistema estrutural de placas e chapas, composto por materiais não homogêneos e de comportamento não linear (CAMACHO, RAMALHO e ANDOLFATO, 2001, p. 3).

Até os dias de hoje, os engenheiros projetistas de estruturas não podem utilizar, de forma confiável, dos programas computacionais para cálculo de estruturas, pois dados essenciais para análise, como o módulo de deformação das paredes e mesmo as distribuições e interações das cargas verticais, ainda não estão bem definidas dentro da estrutura como um todo.

Na alvenaria estrutural armada são ainda maiores as incertezas. A inserção de outros materiais, o graute e armadura aumentam as dúvidas e inibem a utilização desse sistema, pois geram insegurança do meio técnico diante do desconhecimento de seu comportamento estrutural.

A compatibilização de todos os elementos envolvidos na alvenaria (bloco, argamassa, graute e armadura) é primordial e indispensável para se maximizar e otimizar o seu desempenho, com o aproveitamento de todo o potencial do sistema. Essa compatibilidade só é possível com o

conhecimento das características dos materiais e dos fenômenos físicos/mecânicos, desenvolvidos na alvenaria quando em regime de trabalho (MENDES, 1998, p. 2).

Os próprios procedimentos descritos pela norma brasileira para a alvenaria estrutural armada são pouco claros e completos, pois muitos parâmetros de avaliação dos componentes (graute e armadura) e seu real comportamento na estrutura, como elemento, são desconhecidos, ocasionando falhas estruturais, elevando os custos e inviabilizando a obra.

### **1.3 Objetivo**

O principal objetivo deste trabalho é desenvolver um estudo sobre a variação do comportamento da alvenaria estrutural de blocos de concreto com a utilização de graute e armadura.

Dessa forma, foi possível ao final do trabalho avaliar a variação real de resistência à compressão axial da alvenaria estrutural grauteada e armada, obtendo parâmetros para avaliar as diferenças de resistência da alvenaria estrutural na presença desses elementos, bem como o comportamento dos materiais no instante de ruptura, fornecendo informações que auxiliarão na proposição de futuros modelos de dimensionamento da alvenaria no estado limite último.

### **1.4 Estrutura da Dissertação**

Neste primeiro capítulo, encontra-se uma breve introdução da alvenaria estrutural, comentando algumas generalidades e histórico da utilização desse material, o problema, os objetivos e a justificativa do trabalho.

No capítulo 2, é apresentada uma revisão da literatura sobre o assunto, onde são abordados aspectos teóricos importantes, como alguns fatores que exercem influência na resistência à compressão e no comportamento de deformabilidade da alvenaria, com exemplos de alguns trabalhos realizados acerca do tema.

Os capítulos 3, 4 e 5 estão descritos, respectivamente, os ensaios em blocos e prismas. Nesses capítulos, estão apresentados os procedimentos de montagem dos corpos-de-prova, instrumentação e resultados obtidos. Os capítulos 6 e 7 referem-se aos ensaios realizados nas pequenas paredes.

O capítulo 8 apresenta um resumo geral dos resultados dos ensaios e comentários, realizando uma comparação desses resultados e avaliando seu comportamento. O capítulo 9 contém as conclusões obtidas e sugestões para trabalhos futuros.

Por fim, no capítulo 10, são mostradas as referências bibliográficas utilizadas, no capítulo 11 constam os anexos, sendo o anexo 1 relativo à uma análise estatística dos resultados e no anexo 2 constam os resultados experimentais completos dos ensaios.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O crescimento atual dos grandes centros urbanos tem aumentado o porte das edificações, levando à construção de edifícios de muitos pavimentos, e, conseqüentemente, buscando o desenvolvimento das técnicas construtivas.

Em resposta às grandes solicitações das obras atuais, a alvenaria estrutural vem caminhando com a introdução de elementos às paredes estruturais que promovam um aumento de sua capacidade resistente e mantenham o conjunto coeso. A utilização da técnica de grauteamento de furos para se obter aumento de resistência à compressão de paredes, se mostra como um procedimento bastante viável.

O início do emprego do graute, na construção de alvenaria, deu-se nos Estados Unidos, em 1930, quando o espaço existente em uma alvenaria formada de duas partes de tijolos era preenchido com graute e reforçado com armaduras (OLIVEIRA, 1986, p. 5).

A primeira construção em alvenaria estrutural de blocos de concreto que teve os vazados preenchidos com graute foi executada em 1943, na cidade de Copenhagem. Tratava-se de um edifício de 9 pavimentos, com paredes de 22 cm de espessura. Em 1950, constroem-se na Inglaterra, Alemanha e Suíça edifícios de até 18 andares com paredes de espessura igual a 15 cm (OLIVEIRA, 1986, p. 5).

Entre os vários métodos construtivos em alvenaria estrutural, o método da alvenaria grauteada, que consiste em preencher os vazios dos blocos de concreto das paredes para aumentar a área resistente, e, conseqüentemente, aumentar a resistência da parede, é uma opção bastante utilizada. No entanto, o comportamento estrutural dessa alvenaria, por ter sido pouco pesquisado, gera dúvidas aos projetistas (ROMAGNA, 2000, p. 2).

Em projetos de estruturas de alvenaria, ocorre com freqüência a necessidade de se preencher com graute certas regiões das paredes resistentes, em pontos onde acontecem concentrações de tensões. Essas regiões podem surgir nas proximidades de elementos concentradores de cargas, nos pontos de apoios de fundações e também nos encontros das próprias paredes. Com

a utilização do graute, aumenta-se a área efetiva da parede resistente, o que aponta para um conseqüente aumento de resistência do elemento (CAMACHO e RODRIGUES, 1999, p. 2).

O desenvolvimento do graute e do seu emprego está, historicamente, ligado à história da própria alvenaria estrutural. A origem do sistema construtivo e de seus componentes pode ser identificada através de obras e marcos históricos de vários povos em todo mundo. Trata-se de um dos processos mais antigos utilizados pelo homem. A composição atual: blocos, argamassa, graute e armadura, é o resultado das mudanças que os elementos de alvenaria sofreram ao longo do tempo (OLIVEIRA, 1986, p. 4).

Para a construção de edifícios altos em alvenaria estrutural é muito utilizada a alvenaria armada, que envolve a incorporação de aço e graute (microconcreto de alto abatimento) nas cavidades das paredes, aumentando sua resistência à compressão e, principalmente, à tração (CALÇADA, 1998, p. 3). A alvenaria estrutural armada é também importante na prevenção do colapso progressivo das estruturas.

Essa técnica construtiva mostrou também a possibilidade do emprego somente do graute quando a necessidade era aumentar a resistência à compressão de paredes não tracionadas, evitando o uso de armadura (CALÇADA, 1998, p. 3).

As unidades de alvenaria, as argamassas, os grautes e armaduras são materiais diferentes, com comportamento e características distintas e com funções e solicitações diferenciados quando unidos, formando a alvenaria estrutural. A compatibilidade entre esses materiais e os blocos estruturais tem sido preocupação de muitas pesquisas (MENDES, 1998, p. 2).

Assim, a análise das paredes de alvenaria é bastante difícil, e isso se deve à sua própria natureza interna, material composto cuja principal característica é a baixa resistência à tração. Essa propriedade é tão importante que determina, fortemente, seu comportamento mecânico (ANDRADE, 1998, p.15).

Nesse sentido, visando a aumentar a resistência à compressão axial das paredes e avaliar o comportamento dos componentes inseridos a ela, estudos têm sido direcionados sobre a utilização do graute e da armadura e seu acréscimo de resistência na alvenaria estrutural.

A utilização de todo potencial da alvenaria só é possível através do conhecimento real das características dos componentes e, principalmente, da maneira correta de sua aplicação. Acredita-se, assim, que a necessidade de realização de estudos específicos sobre os materiais e o comportamento estrutural do elemento parede de alvenaria é primordial e urgente para o desenvolvimento e atualização de normalização nacional, específica e coerente com a realidade e necessidade do país (ALY, 1991, p. 2).

## **2.1 Bloco**

A principal função da alvenaria estrutural é resistir a esforços de compressão. Assim, a resistência de seus componentes é fundamental na resistência global da parede, já que sendo o bloco o principal elemento resistente na alvenaria estrutural, sua resistência é primordial.

Muitos métodos de cálculo de alvenaria estrutural baseiam-se nos valores das resistências dos componentes para estabelecer a verificação da resistência das paredes, utilizando correlações de resistências entre blocos-paredes ou blocos-prismas para estabelecerem a capacidade última de cálculo do elemento estrutural, como é o caso da Norma Britânica (GARCIA, 2000, p. 8).

No Brasil, o cálculo do dimensionamento de resistência, na alvenaria estrutural, é feito a partir de ensaios com prismas de dois blocos, preconizado pela NBR 10837. Segundo essa norma (1994, p.1), bloco vazado é o elemento da alvenaria cuja área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta, sendo área bruta a área de seção perpendicular aos eixos dos furos, sem desconto das áreas dos vazios, e na área líquida são descontadas as áreas máximas dos furos.

Os blocos de concreto usados em alvenaria estrutural são classificados segundo a norma brasileira NBR 6136 (1994, p. 2) em:

- Classe AE – blocos para uso geral, como paredes externas, que podem estar expostas à umidade ou sobre efeito de intempéries e que não recebam revestimento.
- Classe BE – blocos para uso somente acima do solo, em paredes externas com revestimento de argamassa de cimento, ou em paredes não expostas a intempéries.

Essa mesma norma estabelece que as resistências à compressão características devam ser atendidas conforme indicado na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores mínimos de resistências da NBR 6136.

<i>Valores mínimos de <math>f_{bk}</math> (MPa)</i>		
<i>Classe de Resistência</i>	<i>Classe AE</i>	<i>Classe BE</i>
4,5	Não permitida	4,5
6	6	6
7	7	7
8	8	8
9	9	9
10	10	10
11	11	11
12	12	12
13	13	13
14	14	14
15	15	15
16	16	16

As dimensões modulares e as dimensões das paredes dos blocos são mostradas na Tabela 2 e Tabela 3. A NBR 6136 (1994, p. 3) permite uma tolerância de  $\pm 2$  mm para a largura e  $\pm 3$  mm para a altura e o comprimento.

Tabela 2 – Dimensões padronizadas segunda a NBR 6136.

<i>Dimensões nominais (cm)</i>	<i>Designação</i>	<i>Dimensões padronizadas (mm)</i>		
		<i>Largura</i>	<i>Altura</i>	<i>Comprimento</i>
20x20x40	M-20	190	190	390
20x20x40		190	190	190
15x20x40	M-15	140	190	390
15x20x40		140	190	190

Tabela 3 – Espessura mínima da parede dos blocos, NBR 6136.

<i>Designação</i>	<i>Paredes Longitudinais (mm)*</i>	<i>Paredes Transversais</i>	
		<i>Parede (mm)*</i>	<i>Espessura equivalente (mm/m)**</i>
M-15	25	25	188
M-20	32	25	188

\*Média da medida de 3 paredes tomadas no ponto mais estreito.

\*\* Soma das espessuras de todas as paredes transversais dos blocos (em mm) dividida pelo comprimento nominal do bloco (em metros lineares).

Gallegos, citado por Cunha (2001, p. 16), diz que altos valores de resistência dos blocos poderiam ser associados à sua boa qualidade, porém a grande variedade de formas e dimensões dos blocos, principalmente altura, impossibilita relacionar diretamente os

resultados de ensaios de compressão com sua qualidade. Com isso, a resistência à compressão é função não só da resistência intrínseca da unidade, mas também da altura e forma do bloco.

Segundo Sabbatini (1984, p. 122), os requisitos funcionais dos blocos estão associados aos requisitos exigidos das alvenarias, tais como a resistência mecânica e durabilidade, a monoliticidade, que aumentam a resistência de aderência e estão relacionadas com a porosidade, a absorção inicial e os aspectos relacionados à função de vedação.

A resistência à compressão dos blocos é considerada o mais importante parâmetro de projeto do edifício de alvenaria estrutural. Além da resistência à compressão, são também fundamentais para o comportamento adequado das paredes as outras propriedades dos blocos como resistência à tração, capacidade de absorção, porosidade e textura superficial, estabilidade dimensional, resistência ao fogo e durabilidade (MEDEIROS, 1993, p. 23).

A alvenaria, quando carregada axialmente, dependendo da rigidez dos materiais, sofrerá tensões de tração no bloco e confinamento na argamassa. Devido a isso é importante determinar também a resistência à tração dos blocos estruturais (MOHAMAD, 1998, p. 13).

Sabe-se que antes da ruptura ocorre a fissuração da estrutura, provocada por forças de tração que se desenvolvem perpendicularmente à direção do carregamento de compressão. Essa fissuração diminui a capacidade resistente do conjunto, e um aumento expressivo do carregamento pode levá-lo à ruína. Assim, quanto maior for a resistência do bloco à tração maior será a capacidade da parede de resistir a esforços de compressão.

Portanto, sabendo que a resistência das unidades é o principal fator condicionante da resistência da alvenaria, cabe ressaltar que o aumento de resistência dos blocos não resulta em incrementos proporcionais de resistência da alvenaria. Dessa forma, o fator de eficiência da alvenaria, ou seja, a razão entre a resistência da alvenaria e a resistência dos blocos, diminui com o acréscimo da resistência da unidade. Estudos indicam que, no Brasil, esse fator varia entre 25 e 70% para a alvenaria de blocos de concreto (JUSTE, 2001, p. 13).

## **2.2. Argamassa de assentamento**

Segundo a NBR 8798 (1985, p. 3), a argamassa de assentamento é o elemento utilizado na ligação entre os blocos de concreto, garantindo distribuição uniforme de esforços, sendo composta de cimento, agregado miúdo, água e cal.

Uma parede de alvenaria estrutural é composta basicamente por dois componentes: bloco resistente e argamassa de assentamento, sendo incontestável a influência do desempenho da junta de argamassa no funcionamento estrutural da parede.

Segundo Sabbatini (1984, p. 90), a argamassa deve possuir módulo de elasticidade adequado de forma a acomodar as deformações provenientes de movimentos da estrutura e intrínsecas, ou seja, aquelas provocadas por retração na secagem e de origem térmica, sem que ocorra o aparecimento de fissuras.

A insuficiência de aderência entre bloco e junta de argamassa pode prejudicar, praticamente, todas as propriedades de uma parede de alvenaria. Para que a parede seja homogênea e atenda aos requisitos de projeto é fundamental que se estabeleça essa interação (MEDEIROS, 1993, p. 268).

Sabbatini (1984, p. 88) conceitua resistência de aderência como a capacidade da interface unidade-argamassa em absorver esforços normais e tangenciais (tensões de cisalhamento e de tração) geradas na mesma, sem romper-se. Dessa resistência dependem a monoliticidade e a resistência da alvenaria quando submetida a esforços provocados por deformações volumétricas, carregamentos excêntricos e esforços ortogonais à parede.

Machado Junior (1999, p. 549) verificou que traços pobres em cimentos (consumo 218 kg/m<sup>3</sup>) apresentam resistências de aderências menores em prismas de alvenaria estrutural cerâmica, e traços com consumo de 243 kg/m<sup>3</sup> apresentaram resistência de aderência duas vezes e meia maior que o primeiro traço citado. Prado Rocha (1999, p. 468) também constatou que a resistência de aderência da argamassa é maior para argamassa com maior consumo de cimento.

Gomes (1974, p. 137) concluiu que paredes submetidas à compressão simples não precisam ser moldadas com argamassa de resistência superior à resistência dos blocos, com o objetivo de evitar uma argamassa muito rígida que comprometa o comportamento da parede, pois o autor notou que paredes com argamassas, cujas resistências são maiores que a dos blocos, apresentam rupturas bruscas.

Segundo os resultados obtidos por Gomes (1983), citado por Garcia (2000, p. 11), para paredes construídas com blocos de 7,5 MPa, variando a resistência da argamassa em torno de 135%, verificou-se que o acréscimo de resistência dos painéis de parede, com a utilização da argamassa mais resistente, foi de apenas 11,5%.

O autor compara os resultados obtidos com a Norma Inglesa (BS 5628 : Part1/78), a qual indica que para blocos de 7,0 MPa, ao crescer a resistência da argamassa de 6,5 MPa para 16,6 MPa (155%), a resistência à compressão da parede cresce apenas 6%, e, apesar da utilização de argamassas muito resistentes contribuírem para um certo aumento de resistência da parede, verifica-se que a ruptura torna-se excessivamente frágil, não havendo ductilidade suficiente para acomodações da estrutura, diante dos esforços.

Mohamad (1998, p.19) reúne, em seu trabalho, dados de pesquisas diversas comparando as resistências de blocos, argamassas e prismas, a Figura 5 mostra essas comparações e baseado nelas o autor observa que a maioria dos pesquisadores trabalha com níveis de resistência à compressão de argamassa da ordem de 40 a 60% da resistência do bloco na área líquida.

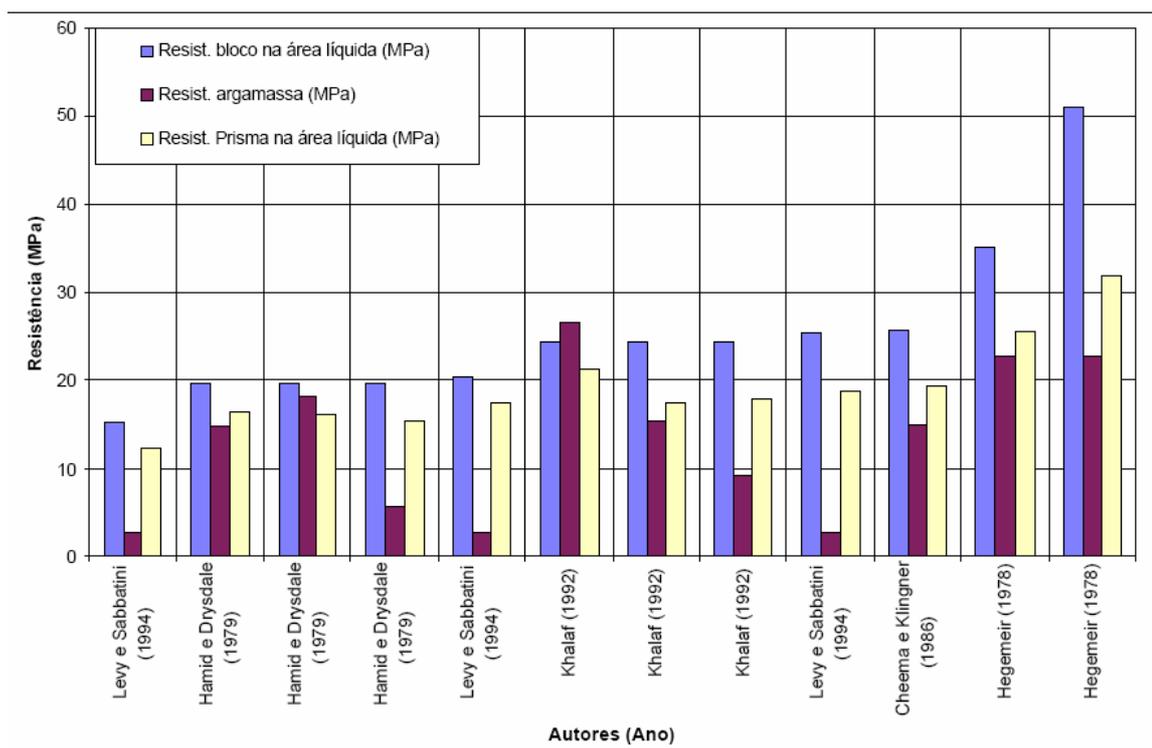


Figura 5 - Resistência à compressão simples de blocos, argamassas e prismas. *Fonte: MOHAMAD (1998, p. 18).*

Entretanto segundo esse mesmo autor, os blocos devem ser compatíveis com o traço da argamassa, recomendando-se que a resistência à compressão da mesma seja de 0,7 a 1 vez a resistência à compressão do bloco na área bruta.

No que diz respeito à forma de ruptura dos prismas, Mohamad (1998, p. 106), verificou que quando foram utilizadas argamassas menos resistentes que os blocos, a ruptura dos prismas se deu de forma “dúctil”, ocorrendo um esfacelamento da parte externa das paredes dos blocos, propagando-se da junta para o restante do bloco. Para argamassas com o mesmo nível de resistência do bloco, na área líquida, a ruptura ocorreu de forma frágil no sentido da seção transversal do prisma.

Casali (2003, p. 91) realizou um trabalho experimental que se baseou no estudo comparativo do comportamento de diferentes tipos de argamassa de assentamento para alvenaria estrutural, as argamassas que foram estudadas são mostradas na Tabela 4.

Tabela 4 - Argamassas de assentamento.

<i>Tipo de Argamassa</i>	<i>Denom.</i>	<i>Traço em volume</i>	<i>Granulometria</i>	<i>Teor de ar incorporado</i>
<i>Mista</i>	<i>Fm</i>	<i>1 : 0,7 : 5</i>	<i>Fina</i>	-
	<i>Mm</i>		<i>Média</i>	-
	<i>Gm</i>		<i>Grossa</i>	-
	<i>Fi</i>	<i>1 : 1 : 5</i>	<i>Fina</i>	-
			<i>Média</i>	-
			<i>Grossa</i>	-
	<i>Fg</i>	<i>1 : 1,3 : 5</i>	<i>Fina</i>	-
			<i>Média</i>	-
			<i>Grossa</i>	-
<i>Industrializada</i>	<i>I1</i>	-	-	<i>15 ± 1</i>
	<i>I2</i>	-	-	<i>18 ± 1</i>
	<i>I3</i>	-	-	<i>21 ± 1</i>

Segundo Casali (2003, p. 135), analisando os resultados, apresentados na Figura 6, percebeu-se um aumento na resistência das argamassas mistas com o aumento do módulo de finura da areia, independente da quantidade de cal. Porém, não foi observada a existência de qualquer relação entre a resistência da argamassa e a quantidade de cal, quando é fixada a granulometria da areia.

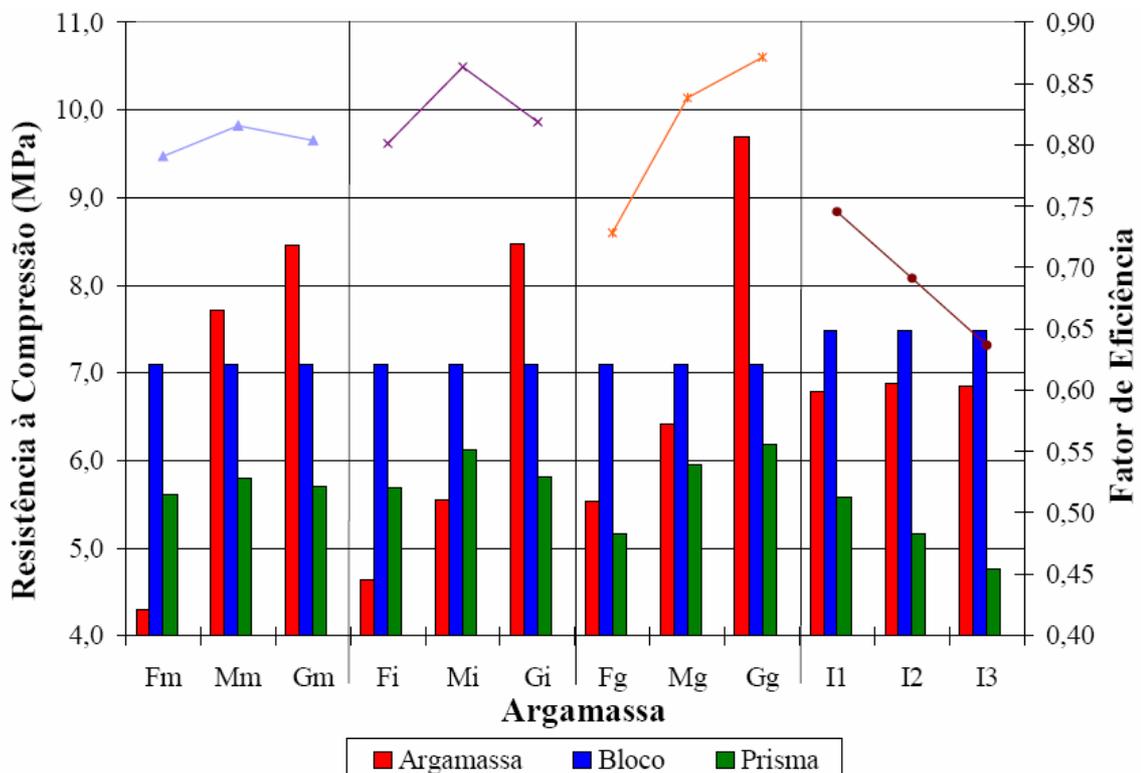


Figura 6 - Resistência à compressão (em colunas) das argamassas, blocos e prismas e o fator de eficiência (em linhas). Fonte: CASALI (2003, p. 136).

Casali (2003, p. 136) verificou, também, que no caso das argamassas industrializadas, não houve diferenças significativas na resistência à compressão para os diferentes teores de ar incorporado, pois a diferença máxima entre esses teores foi de apenas 5,31%. Entretanto, pôde-se observar que o comportamento dos prismas compostos com essas argamassas é bem diferenciado.

Cunha (2001, p. 114) observou que o aumento de resistência da argamassa não influenciou na resistência de prismas, blocos e grauteados, uma vez que grandes aumentos na resistência das argamassas proporcionam acréscimos muito pequenos na resistência à compressão dos prismas de alvenaria.

Romagna (2000, p. 67) também constatou que a influência da resistência da argamassa na resistência dos prismas é, de maneira geral, menos importante para prismas grauteados do que para não grauteados.

Garcia (2000, p. 55) realizou uma compilação de resultados de pesquisas de vários autores os quais observaram que a utilização de argamassas muito mais resistentes do que os blocos é antieconômica, pois o ganho de resistência obtido nos painéis de parede é irrelevante. Como exemplo os ensaios desenvolvidos na EESC a pedido da Cerâmica Selecta, no qual se aumentou 79% da resistência da argamassa, e obteve-se um aumento de 1,9% na resistência dos painéis de parede; e os ensaios realizados por Franco (1987), aumentando-se 45% da resistência da argamassa, obteve-se um aumento de 3,2% na resistência das paredes.

Calçada (1998, p. 130) verificou uma contribuição significativa da argamassa na resistência de prismas de blocos de concreto, já que os fatores de eficiência com relação aos blocos apresentaram valor bastante acima dos citados pela bibliografia. No entanto, o módulo de elasticidade encontrado foi bastante elevado, e isso sugere que a argamassa no prisma tenha apresentado rigidez próxima à do bloco.

### **2.3 Graute**

Segundo Cunha (2001, p. 33), o graute consiste em um concreto fino (microconcreto), formado de cimento, água, agregado miúdo e agregados graúdos de pequenas dimensões (até

9,5 mm) com alta fluidez. Essa fluidez é fundamental para que o graute possa preencher os furos dos blocos de concreto sem sofrer segregação. Além de sua alta fluidez, o graute deve apresentar boa trabalhabilidade e boa capacidade de reter água, evitando perdas excessivas de água para o bloco.

As funções do graute em elementos de alvenaria são aumentar a resistência das paredes, absorvendo uma parcela dos esforços verticais, proporcionar maior estabilidade ao conjunto, aumentando sua rigidez, e solidarizar a armadura à estrutura, permitindo seu posicionamento. Portanto, sua utilização torna-se muitas vezes imprescindível à execução de obras em alvenaria estrutural.

A NBR 8798 (1985, p. 3) divide os grautes em finos e grossos, conforme sua finalidade. Para o preenchimento de espaços pequenos, de forma que sua menor dimensão seja inferior a 50 mm, deve-se adotar grautes mais finos; para espaços maiores, escolhe-se um graute mais grosso, garantindo um preenchimento ideal.

Os furos dos blocos de concreto são grandes o suficiente para optar por um graute grosso, sendo mais interessante por serem mais econômicos (menor consumo de cimento) e apresentarem redução de fissuras causadas pela retração.

As proporções exigidas pela NBR 8798 (1985, p. 6), para dosagem dos grautes, são mostradas na Tabela 5.

Tabela 5 – Proporções da NBR 8798 para dosagem de grautes.

<i>Tipo de Graute</i>	<i>Proporções, em massa, em relação ao cimento</i>				
	<i>Cimento</i>	<i>Cal Hidratada</i>	<i>Agregado miúdo (D<sub>max</sub> = 4,8mm)</i>	<i>Agregado graúdo (D<sub>max</sub> = 19mm)</i>	<i>Água</i>
<i>Graute Fino</i>	1	≤ 0,04	≤ 2,30	-	≤ 0,75
<i>Graute Grosso</i>	1	≤ 0,04	≤ 2,20	≤ 1,70	≤ 0,70

Segundo Cunha (2001, p. 35), para que o bloco e o graute atuem como estrutura homogênea é necessário que exista uma boa aderência entre ambos. A ausência ou fraca aderência entre os blocos e o graute diminuem o caráter do material composto da alvenaria, pois a transferência de tensões entre esses materiais depende dessa aderência.

A falta de aderência na interface graute e paredes internas do bloco compromete o desempenho da alvenaria, pois a mesma é tratada como sendo um material homogêneo similar ao concreto, portanto, perfeitamente ligados (OLIVEIRA, 1986, p. 37).

Para haver essa boa ligação dos materiais (blocos e graute) é necessário que o graute preencha completamente os vazios dos blocos, solidarizando-os, e esse perfeito preenchimento depende de uma boa trabalhabilidade do graute.

A boa trabalhabilidade do graute depende deste possuir elevada fluidez, de forma a penetrar nos vazios dos blocos, além de uma boa coesão mínima, evitando a segregação de seus componentes. Como essas duas propriedades são contrárias, deve-se ter um ponto de equilíbrio entre elas para se obter um graute eficiente (CALÇADA, 1998, p. 36).

A influência da resistência à compressão do graute em prismas foi observada por Drysdale e Hamid, citado por Oliveira (1986, p. 28), o qual diz que em corpos-de-prova grauteados e não grauteados, observou-se que não houve uma contribuição proporcional da resistência do graute para o prisma, fato este explicado por uma expansão lateral do graute, impondo uma tensão de tração no bloco, essa variação pode ser observada na Figura 7.

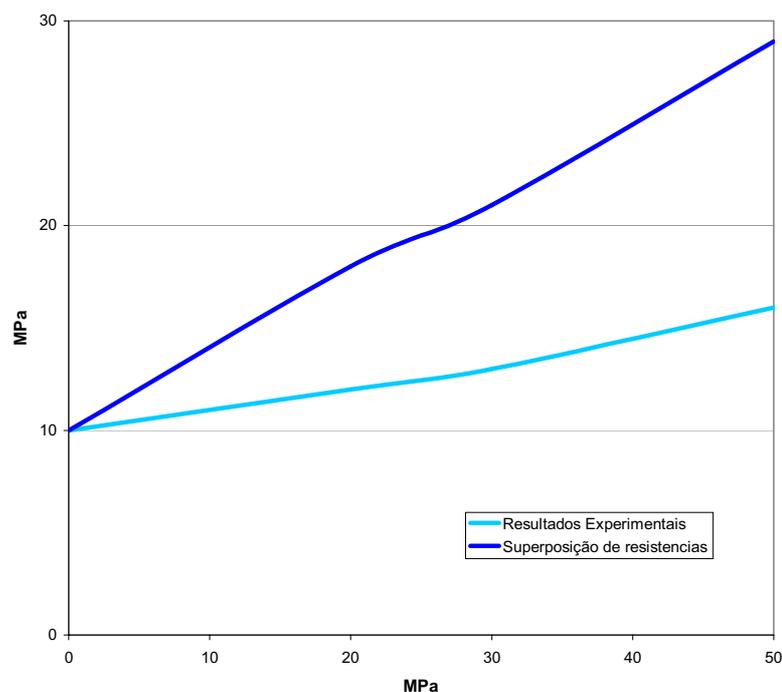


Figura 7 – Resistência do prisma grauteado x Resistência à compressão do graute  
Fonte: OLIVERIA (1986, p. 28).

Segundo Aly e Sabbatini (1994, p. 120), os autores Drysdale e Hamid observaram que o aumento percentual da resistência à compressão do elemento parede de alvenaria grauteada será menor quanto maior for a resistência à compressão dos blocos, admitindo que o valor máximo da resistência à compressão das paredes de blocos é atingida com um nível de deformação menor que o do graute, sendo que, nesse instante, o graute não se encontra confinado, e a capacidade resistente é controlada tanto pela ruptura do bloco como pela própria capacidade resistente que estará submetida a esforços de compressão axial.

Esses autores afirmaram ainda que a tendência do aumento percentual na resistência à compressão das paredes grauteadas em relação às paredes não grauteadas é inversamente proporcional ao aumento da resistência do bloco, utilizada na moldagem das mesmas, ou seja, os maiores ganhos de resistência se dão nos blocos menos resistentes (ALY e SABBATINI, 1994, p. 120).

Segundo Calçada (1998, p. 133), a introdução do graute na estrutura de alvenaria de blocos de concreto pode ser capaz de produzir prismas de resistência superior à obtida para prismas não grauteados na área líquida confeccionados com os mesmos materiais. Provavelmente, esse ganho é obtido com a utilização de graute com resistência adequada e características de deformabilidade compatíveis com a do prisma envolvente. Essa mesma condição parece ser capaz de promover a utilização praticamente total da resistência dos materiais envolventes.

Entretanto essa conclusão contradiz afirmações feitas pelos autores Drysdale e Hamid (1979) e Khalaf et al (1994), citados por Cunha (2001, p. 93), os quais consideram que a resistência dos prismas ocos é maior que a dos prismas grauteados, em relação à área líquida (relação da área total do bloco com os vazios pela área efetiva de paredes desse bloco).

Cunha (2001, p. 93) explica tal contradição pela diferença entre os blocos produzidos no Brasil e os blocos americanos, que apresentam maior resistência e compacidade, acreditando-se que com isso o graute torna-se mais eficiente quando utilizado em conjunto com blocos de menor resistência do que com blocos de resistência mais elevada.

Em seus ensaios, Cunha (2001, p. 113) concluiu que a resistência final de prismas grauteados de blocos de concreto é superior à dos prismas vazios com relação à suas áreas líquidas, independente do tipo de graute e argamassa utilizada, afirmando que seus resultados

mostraram uma integração entre blocos, argamassas e grautes, funcionando como um material monolítico.

Desses resultados experimentais, Cunha (2001, p. 98) comparou, em gráfico, a resistência dos prismas com a resistência dos grautes, mostradas na Figura 8. Essa comparação é válida para os blocos e grautes com as determinadas características adotadas no trabalho experimental do autor.

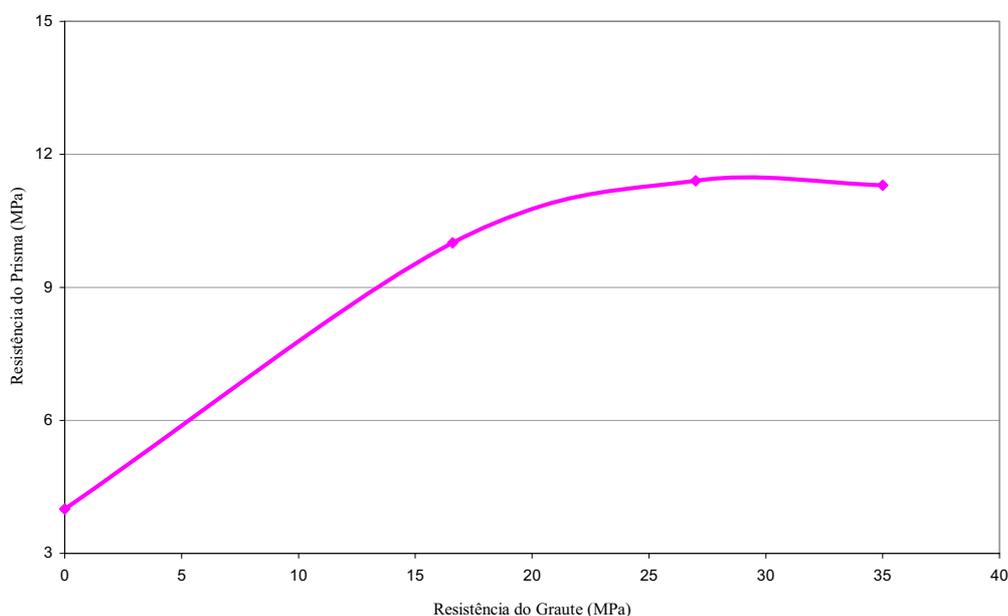


Figura 8 – Influência da resistência dos grautes na resistência dos prismas  
Fonte: CUNHA (2001, p. 98).

Camacho e Rodrigues (1999, p. 9), em seu estudo sobre a influência do graute na resistência da alvenaria, verificaram que o graute permite o aumento de resistência da alvenaria na mesma relação entre a área bruta e a área líquida do bloco, desde que graute e bloco apresentem aproximadamente a mesma resistência. Além de afirmarem que a adoção de grautes cada vez mais resistentes, representa elevação de custo e não contribui muito para o aumento da resistência da alvenaria.

Reafirmando os resultados dos autores acima, Romagna (2000, p. 94) obteve resultados que também mostraram que o uso de grautes com resistência acima das resistências das áreas líquidas dos blocos não traz ganho de resistência para a alvenaria, e os melhores resultados foram obtidos com grautes e blocos de resistências aproximadamente iguais.

Aly (1991, p. 87) verificou, em ensaios com paredes de blocos de concreto, um ganho de resistência entre a parede vazia e grauteada de 46% a 59%, para paredes confeccionadas com blocos de resistência média de 7,0 a 13,3 MPa e com um único graute de 14 MPa, com relação às suas áreas brutas.

Gomes (1974, p. 54) realizou ensaios em paredes de blocos cerâmicos vazias e grauteadas, verificando que, para a alvenaria estrutural, a resistência do graute deve ser no mínimo igual à resistência dos blocos utilizados (área líquida). Esses ensaios mostraram que paredes de blocos com resistência média, próxima a 15 MPa, quando grauteados com grautes de resistência à compressão entre 3 e 11 MPa, aumentam em 24% a resistência final das paredes, enquanto que utilizando grautes com resistência média de 14,8 MPa, a resistência final destas paredes aumentaram em 48%. Entretanto deve-se ressaltar que as paredes dos blocos cerâmicos são normalmente mais finas do que as dos blocos de concreto, e devido ao material constituinte, a instabilização de painéis cerâmicos pode ser mais proeminente.

A Figura 9 ilustra o aumento da resistência à compressão de paredes em função do aumento da resistência à compressão dos grautes encontrados por Gomes (1974).

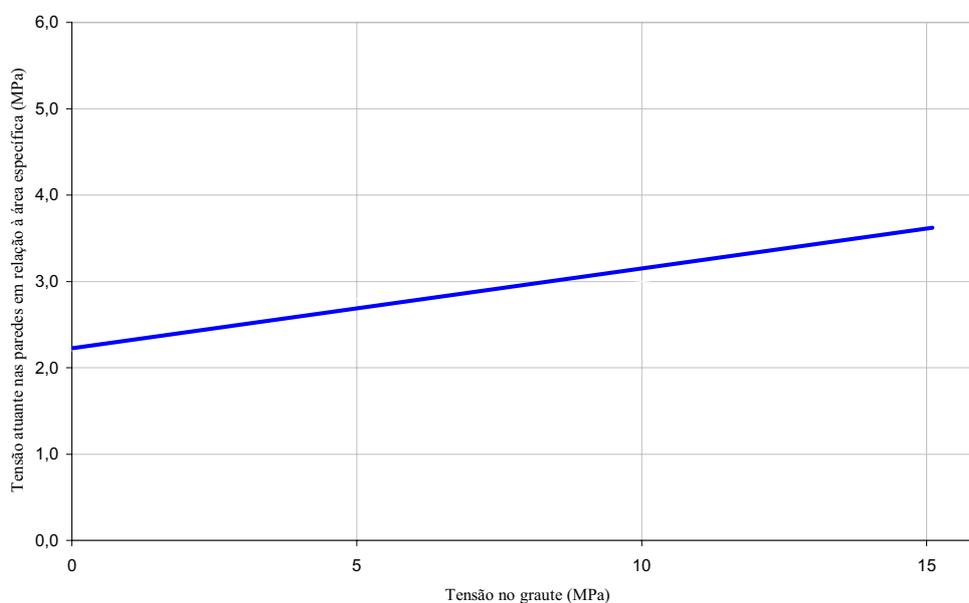


Figura 9 – Aumento da resistência de paredes em função do aumento da resistência do graute  
Fonte: GOMES (1974, p. 54).

Calçada (1998, p. 133) constatou o aumento de resistência do prisma com incremento de resistência no bloco e graute; no entanto, à medida que foram adotados grautes mais

resistentes, a importância da resistência do bloco na resistência do prisma tornou-se menor, tendendo a produzir prismas com pequenas variações de resistência.

Comprovando os resultados de Calçada (1998), Romagna (2000, p. 94) também observou o aumento na resistência dos prismas com o acréscimo da resistência do bloco e do graute, além da constatação da redução da importância da resistência do bloco com o aumento da resistência do graute.

Garcia (2000, p. 74) obteve em ensaios de paredes de alvenaria cerâmica grauteada em 50% de seus vazados, um aumento de 67% na resistência à compressão, e, para um grauteamento de 75% de seus vazados, o acréscimo foi de 84%.

Calçada (1998, p. 134) sugere que a eficiência dos prismas grauteados seja dada pela porcentagem de aproveitamento da resistência potencial, sendo esta dada pela soma das resistências dos blocos e graute com relação a suas áreas de atuação. Dessa maneira é possível avaliar o comportamento conjunto dos materiais, verificando se um acaba por reduzir a capacidade do outro.

Garcia (2000, p. 76) obteve, nos ensaios de paredes cerâmicas, com um grauteamento de 50% e de 75 % dos vazios das paredes, respectivamente, fator de eficiência entre bloco-parede igual a 37% e 47%, entre prisma de dois blocos-parede 57% e 67% e prisma de três blocos-parede 60% e 81%.

Garcia (2000, p. 83) concluiu, também, que o aumento da área grauteada das paredes proporciona maior rigidez aos elementos estruturais, verificando um aumento, no módulo de elasticidade das paredes, igual a 46% com 50% dos vazios da parede grauteada, e 80% com grauteamento de 75% dos vazios das paredes.

Romagna (2000, p. 53) comenta sobre a pouca diferença existente nas resistências dos grautes moldados em corpos-de-prova e extraídos dos vazados dos blocos, o que contradiz a maioria dos pesquisadores os quais afirmam que a resistência do graute, quando na alvenaria, é maior graças à redução do fator água cimento.

Cunha (2001, p. 114) relacionou prismas ocos e grauteados de blocos de concreto, sendo que quanto maior a resistência à compressão dos grautes, menor a fissuração vertical ocorrida nos prismas e maior aparecimento de fissuras inclinadas.

Para paredes cerâmicas sem graute, as cargas de fissuração encontram-se, em média, a 49% da carga de ruptura. Para as paredes grauteadas, esse valor é de 37%, em média, sendo observado nas paredes grauteadas a ruptura do graute por compressão com a formação do tronco de cone e o descolamento das faces dos blocos (GARCIA, 2000, p. 77).

Camacho e Rodrigues (1999, p. 9) verificaram que a forma de ruptura observada para prismas vazios e preenchidos não apresentou diferença significativa, sendo, também, que as deformações últimas sofreram poucos acréscimos.

Romagna (2000, p. 92) observou que as rupturas para os prismas grauteadas foram simultâneas às dos componentes, e acredita-se que esta tenha sido provocada pela expansão lateral do graute com incremento de tensões de tração no bloco.

Cunha (2001, p. 114) afirmou que o aumento da resistência dos grautes promove o aumento da resistência à compressão dos prismas, demonstrando que a resistência do graute comanda a resistência à compressão dos prismas grauteados quando a resistência dos blocos é a mesma. Porém esse crescimento não acontece na mesma proporção do crescimento da resistência à compressão dos grautes. Observou também que o uso de grautes cada vez mais resistentes, com baixas relações água/cimento, não contribui muito para o aumento da resistência dos prismas de alvenaria. Com isso, torna-se inviável o uso desses tipos de graute com o intuito de se aumentar a capacidade portante da estrutura, pois essa medida acarreta em uma elevação do custo da estrutura sem a obtenção do resultado esperado, tornando-se inviável a utilização de blocos de maior resistência.

## **2.4 Armadura**

O uso crescente da alvenaria armada se depara com o problema de se desconhecer qual a parcela de carga que vai para os blocos, para o graute e para as armaduras e se esses elementos trabalham como um único conjunto.

A utilização, em todo seu potencial, dos métodos construtivos de alvenaria estrutural armada de blocos de concreto será possível através de componentes e, principalmente, da maneira correta de aplicação destes. Os projetos desenvolvidos para construção de edifícios habitacionais são baseados em normas estrangeiras, adequadas à realidade econômica, social e política dos países de origem. Essa prática tem conduzido a um comprometimento do uso racional da alvenaria estrutural em nosso país (ALY, 1991, p. 2).

A NBR 10837 (1989, p. 11) indica como taxa mínima para paredes de alvenaria estrutural 0,2% vezes a área bruta da parede, sendo não mais que 2/3 colocados em uma direção, e 1/3 na outra, e o espaçamento máximo das armaduras verticais deve ser o necessário para acomodar o número de barras correspondente à taxa de armadura mínima.

Gomes (1974, p. 140) realizou ensaios, em paredes de alvenaria cerâmica, com taxa mínima de armadura e com graute de resistência aproximadamente igual a dos blocos, sendo a resistência à compressão final das paredes armadas aumentada em 48% em relação às paredes vazias, e, as paredes armadas com taxa de armadura de 0,4%, a resistência aumentou em mais de 50% em relação às paredes não armadas.

Aly (1991, p. 88) obteve em ensaios de paredes de blocos de concreto, com resistência média dos blocos 7,9 MPa, do graute próxima a 14 MPa e com taxas de armadura de 0,2% e 0,3%, um aumento de resistência sempre relativo às paredes vazias de 37% para as paredes apenas grauteadas, de 49% para as paredes com taxa mínima de armadura e 45% para as paredes com 0,3% de armadura.

A Figura 10 mostra o aumento de resistência da alvenaria encontrada nos ensaios realizados por Aly (1994, p. 120), com a inserção de graute e taxas de armadura.

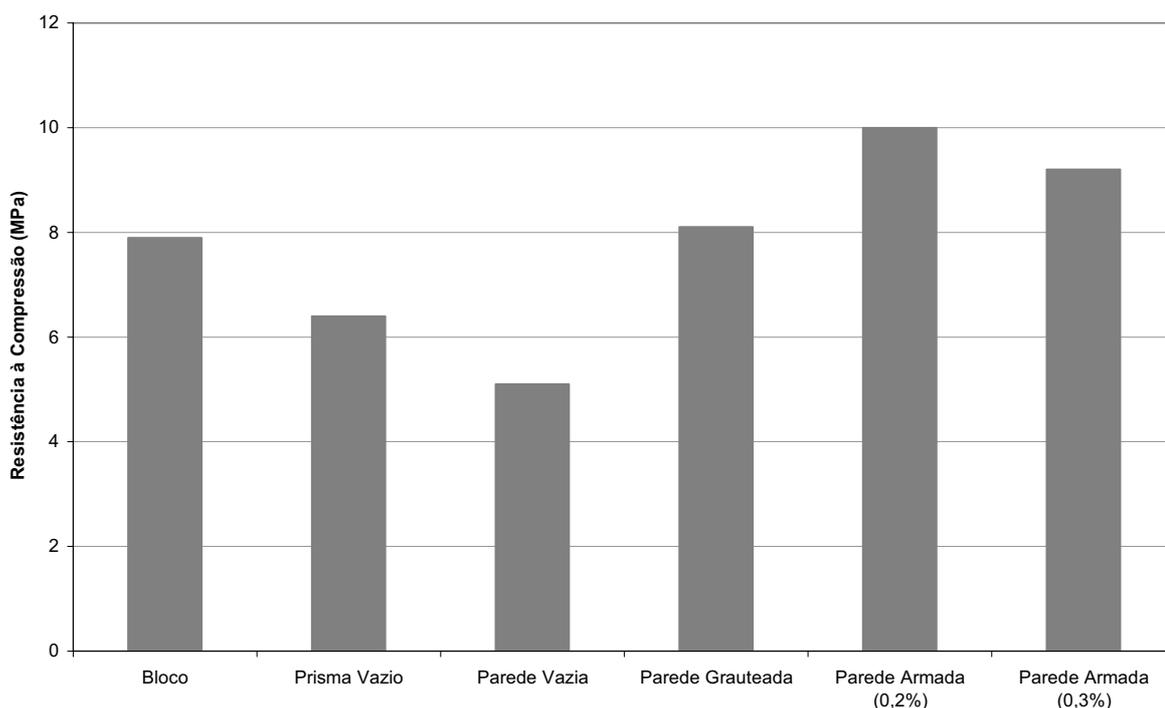


Figura 10 – Valores médios de resistência à compressão. Fonte: ALY (1994, p. 120).

Quanto ao comprimento das emendas, a NBR 10837 (1989, p. 18) estabelece que este deve ser suficiente para transferir as tensões admissíveis por aderência e não inferior a 40 vezes o diâmetro da barra; entretanto, em ensaios realizados por Gomes (1974, p. 140), não houve diferenças sensíveis na carga de ruptura por causa das emendas, ocorrendo mudanças apenas na forma de ruptura, recomendando que o comprimento das emendas seja maior ou igual a 30 vezes o diâmetro da barra.

Gomes (1974, p. 142) afirma ainda que a eficiência das armaduras diminui com o aumento do diâmetro das barras, fato este explicado pela falta de cobertura das barras de maior diâmetro, a diferença do coeficiente de Poisson entre o aço e o graute e um possível escorregamento da armadura.

Andrade (1998, p. 93) conclui que, em paredes de alvenaria armada, as armaduras contribuem muito pouco para problemas de instabilidade. Mesmo quando se considera a armadura comprimida colaborante, estas também contribuem pouco na resistência à compressão. Assim, a principal função da armadura é redistribuir melhor os esforços (principalmente quando os componentes apresentarem grandes variabilidades em suas propriedades) e conferir uma

melhor homogeneidade na alvenaria, diminuindo as possibilidades de modos de ruptura secundária, diferentes da ruptura da seção crítica.

Com relação ao módulo de deformação das paredes, Aly (1991, p. 91) obteve uma variação na resistência de 36% das paredes vazias para as grauteadas, 49% entre paredes vazias e armadas com 0,2%, e de 56% das paredes vazias com as armadas com 0,3%.

Gomes (1974, p. 138) verificou que os valores medidos, experimentalmente, dos módulos de deformação das paredes são menores que valores calculados teoricamente a partir de normas estrangeiras, sendo que estas superestimam em até 20% os valores obtidos experimentalmente. O autor concluiu ainda (1974, p. 66) que o módulo de paredes não armadas e armadas pode ser avaliado com base na determinação do módulo de deformação dos prismas.

Em seus ensaios, Gomes (1974, p. 138) revelou que as armaduras horizontais concentram tensões que reduzem a resistência das paredes em virtude de seu efeito de cunha sobre as paredes dos blocos. Desse modo, exercem uma ação de corte nas paredes internas dos blocos, o que se manifestou pela expulsão das paredes externas dos mesmos na ruptura. Na carga de serviço, não foi constatado tal fato, assim o autor recomenda que as armaduras horizontais não ultrapassem 7,9 mm de diâmetro.

Andrade (1998, p. 93) explica que experimentações numéricas e físicas mostram que a carga crítica da parede de alvenaria é muito sensível à excentricidade. Nos ensaios das paredes submetidas a compressão, essa sensibilidade prejudica os resultados, provocando variabilidades aparentes. Nesse tipo de ensaio, o controle da verticalidade do eixo da peça é muito difícil, pequenos desvios provocam grandes variações na carga crítica. Então, quando se ensaiam paredes à compressão centrada na realidade, os resultados são afetados por uma excentricidade acidental que transforma o ensaio em flexo-compressão. Dessa forma, um procedimento mais coerente seria ensaiar paredinhas com baixa altura, e, depois, aplicar o efeito de esbeltez nos resultados.

Gomes (1974, p. 139) constatou que o modo de ruptura usual de paredes armadas, submetidas à compressão simples, caracteriza-se pela ruptura dos blocos. O autor (1974, p.140) observou, ainda, que, após a ruptura das paredes, o graute apresentava-se fendilhado no sentido das

armaduras, e, em algumas paredes, notou-se a ocorrência de fendilhamento longitudinal ao longo da menor dimensão da parede.

Andrade (1998, p. 92) afirma que as paredes armadas apresentam fundamentalmente dois modos de ruptura: a ruptura por flexão, caracterizada por ruptura da ligação argamassa na região da armadura de tração e/ou esmagamento da zona comprimida e ruptura por cisalhamento, caracterizada por fissuras de tração diagonal.

O modo de ruptura das paredes de alvenaria, submetidas à compressão simples perpendicular à fiada, caracteriza-se pelo aparecimento de fissuras verticais de tração, paralelas à atuação da carga. Essas fissuras iniciam-se nos blocos e propagam-se pela parede. A carga última é atingida juntamente com o aumento e a multiplicação dessas fissuras. Esse modo de ruptura foi observado por vários autores, tais como Franco, Gomes, Medeiros e outros (ANDRADE, 1998, p. 16).

## **2.5 Análise Teórica**

A previsão da resistência à compressão axial e do comportamento de deformabilidade de paredes de alvenaria estrutural não foi ainda determinado com exatidão pelos pesquisadores da área. Embora tenham ocorridos muitos avanços no conhecimento teórico de estruturas de alvenaria, a tecnologia ainda necessita de modelos de cálculo mais apurados que possibilitem uma análise mais fiel de resultados experimentais. A introdução de outros materiais às paredes estruturais, como o graute e armadura, que é o caso do presente trabalho dificulta ainda mais esta avaliação teórica do desempenho estrutural da alvenaria.

Mehta & Monteiro, (1994, p. 476), explicam que os dois modelos mais simples, em termos de deformabilidade, usados para simular material composto, são os modelos de Voigt e modelo de Reuss. No modelo de Voigt, as faces são arranjadas segundo uma configuração em paralelo, impondo uma condição de deformação uniforme. No modelo de Reuss, as faces são arranjadas segundo uma configuração em série, impondo uma condição de tensão uniforme.

Oliveira (2001, p. 68) explica que, a grosso modo, que uma parede de alvenaria submetida à compressão axial comporta-se como um elemento composto de diferentes componentes (blocos e camadas de argamassa) associados em série. Numa primeira aproximação, pode-se dizer que a deformabilidade de uma parede é dada pelo modelo de Reuss.

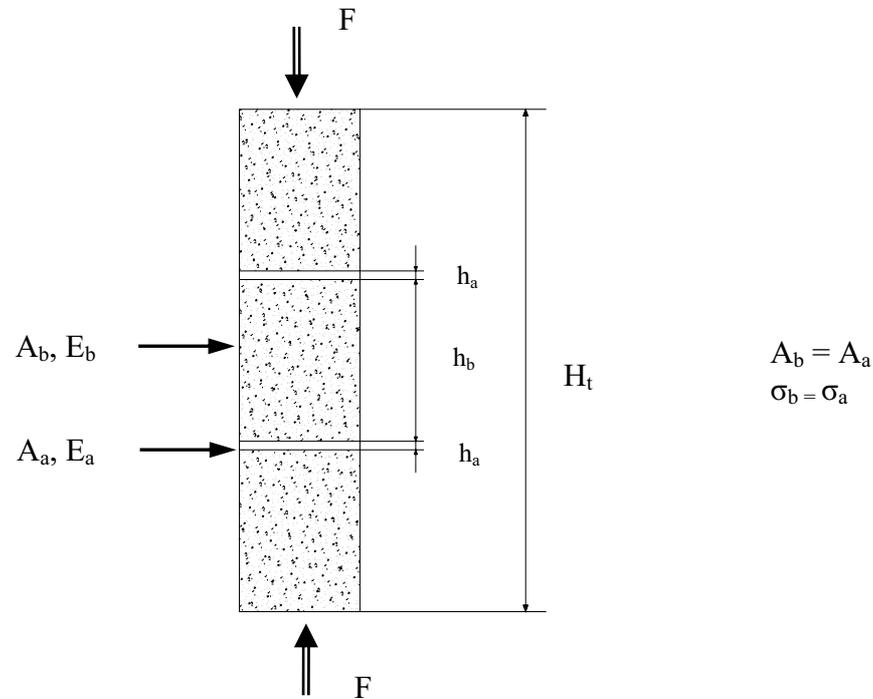


Figura 11 – Representação do Modelo de Reuss (Fonte: Oliveira, 2001, p. 68).

O modelo de associação em série é ilustrativo da associação de blocos e camadas de argamassa e pode dar uma indicação da deformabilidade de uma parede nos primeiros estágios de carregamento. No entanto, o modelo de Reuss não é a forma mais correta de reproduzir fielmente as condições de deformação da parede, pois há juntas verticais entre os blocos e que a argamassa de assentamento já colocada não tem as mesmas propriedades medidas em corpos-de-prova (Oliveira, 2001, p. 68).

Na representação da alvenaria armada e grauteada, será adotado o conjunto de bloco mais argamassa mostrado como o modelo de série de Reuss e associado a este conjunto os outros elementos, o graute e a armadura. Assim será admitida que a alvenaria vazia seja um elemento único ao qual serão inseridos outros materiais, utilizando-se o modelo de Voigt.

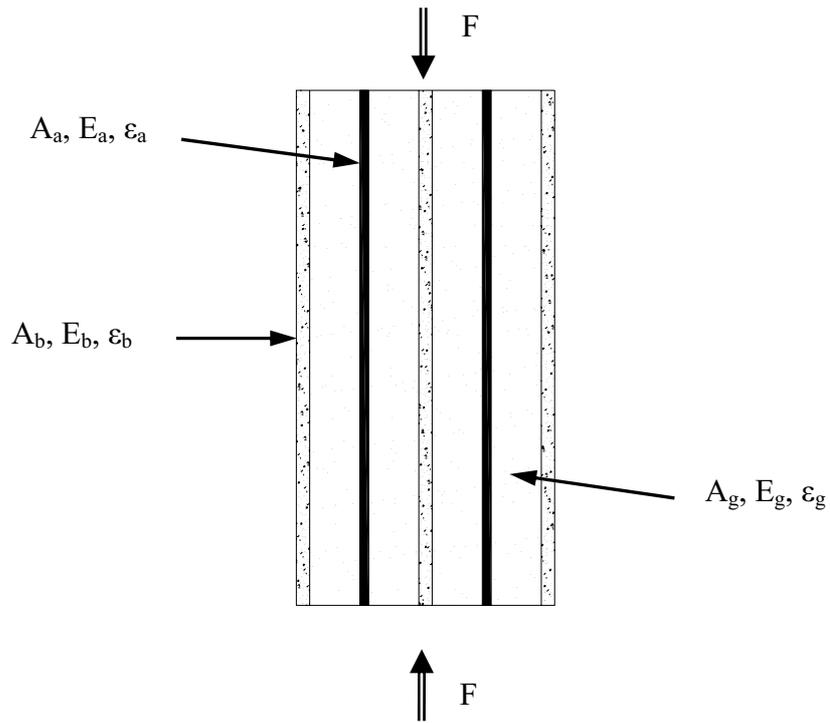


Figura 12 – Representação do Modelo de Voigt.

Empregando o modelo de Voigt, citado por Oliveira (2001, p.70) pode-se mensurar a deformabilidade da parede de alvenaria armada e grauteada representada acima, considerando-se que as características individuais dos materiais fossem fielmente representadas na parede de alvenaria.

$$F = F_1 + F_2 + F_3 \quad \text{e} \quad \epsilon = \epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon_3$$

$$\epsilon = \frac{\sigma_{eq.}}{E_{eq.}} \quad \text{e} \quad \sigma_{eq.} = \frac{F}{A_1 + A_2 + A_3}$$

$$E_{eq.} = \frac{E_1 A_1 + E_2 A_2 + E_3 A_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

### **3. ENSAIOS DOS BLOCOS ISOLADOS**

Essa etapa do trabalho experimental envolveu ensaios, para determinação das características físicas, e ensaios finais de resistência à compressão dos blocos de concreto definidos. O trabalho foi desenvolvido no laboratório do Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutural - NEPAE na Unesp - Faculdade de Engenharia Civil de Ilha Solteira.

Portanto, serão aqui descritos os procedimentos de execução e ensaios das unidades (blocos) na determinação de suas características físicas e submetidos à esforços de compressão simples, e, como resultados, serão apresentadas resistências últimas, deformabilidade e correlações entre resistências.

#### **Blocos**

Segundo Franco (1987, p. 15), os blocos representam normalmente de 80% a 95% do total da alvenaria, portanto eles devem atender aos requisitos de desempenho essenciais para as unidades de alvenaria, como: resistência mecânica, durabilidade, dimensões padronizadas, tolerância dimensional, massa e facilidade de manuseio, entre outras. Sendo assim, é fundamental que se conheçam as suas propriedades para o entendimento da alvenaria como um todo.

Os blocos utilizados, neste trabalho, foram recebidos direto da fábrica, fornecidos pela empresa Tatu, localizada no município de Limeira – SP, sendo pedidos duas classes distintas, de acordo com suas resistências nominais, 4,5 e 10,0 MPa, designadas B1 e B2, respectivamente. Contudo, com a realização dos ensaios de compressão, verificaram-se resistências superiores às nominais, iguais a 8,64 (B1) e 15,76 (B2) MPa.

As dimensões dos blocos inteiros são 14 cm x 19 cm x 29 cm, e dos meios-blocos 14 cm x 19 cm x 14 cm (largura x altura x comprimento). Os blocos foram recebidos em um único lote, com 300 blocos inteiros e 100 meios-blocos de cada classe.

Quanto às características visuais, que também podem ocasionar o comprometimento da capacidade resistente dos blocos, as amostras apresentaram aspecto homogêneo, e as arestas vivas estavam livres de trincas e imperfeições.

Para a realização dos ensaios de caracterização física dos blocos (área líquida, absorção e teor de umidade) foram utilizados dois corpos-de-prova, e para os ensaios de resistência à compressão axial, foram adotados seis corpos-de-prova de cada classe, mostrados na Tabela 6.

Tabela 6 – Ensaios dos blocos.

<i>Tipo de Ensaio</i>	<i>Corpo-de-Prova</i>	<i>Nº Amostras</i>	<i>Resistências</i>	<i>Deformações</i>
<i>Caracterização Física</i>	<i>Bloco B1</i>	2	--	--
<i>Caracterização Física</i>	<i>Bloco B2</i>	2		----
<i>Compressão</i>	<i>Bloco B1</i>	6	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>
<i>Compressão</i>	<i>Bloco B2</i>	6	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>

### 3.1 Procedimento de Ensaio dos Blocos

Na determinação das características físicas dos blocos foram adotados os procedimentos preconizados pela norma brasileira MB 3459 (1991, p. 1-3), sendo realizada a determinação da área líquida, teor de umidade e absorção dos blocos, sendo tomadas todas as precauções citadas na norma, para obtenção de resultados confiáveis. Para a determinação da resistência à compressão axial foram utilizados os procedimentos preconizados pela NBR 7184 (1992, p. 1-2).

### 3.2 Capeamento dos Blocos

A utilização do capeamento das superfícies dos corpos-de-prova a serem ensaiados faz-se necessária para garantir o paralelismo entre suas faces. A norma NBR 7184 (1992, p. 2) indica para a regularização das faces dos corpos-de-prova que sejam utilizadas pastas ou argamassa à base de gesso, enxofre, cimento, pozolana ou outro qualquer material, e que a espessura média do capeamento não deve exceder 3 mm.

Os resultados obtidos por Maurício, Camacho e Andolfato (2004, p. 31) indicaram o gesso e o enxofre como sendo os materiais para capeamento mais indicados para estudos experimentais de resistência à compressão axial de blocos de concreto para alvenaria estrutural. Baseado nesses resultados, optou-se por utilizar o gesso como material de capeamento, devido ao fato de esse material ser de manipulação mais fácil.

Assim, o capeamento foi feito com uma pasta de gesso nas proporções de 1,0 : 0,6 (gesso : água). Os corpos-de-prova foram capeados com uma fina camada dessa mistura, garantindo a regularidade de sua superfície, que se apresentou plana e uniforme no momento do ensaio. Para a realização desse capeamento foi utilizado um capeador metálico próprio para esse fim, promovendo a regularização e paralelismo das faces capeadas, que pode ser observado na Figura 13.



Figura 13 – Capeamento dos blocos.

### **3.3 Determinação da Resistência à Compressão Axial e Deformabilidade dos Blocos**

Para a determinação da resistência à compressão axial dos blocos foram utilizados os procedimentos descritos pela norma NBR 7184, citados em 3.1. Como não existem, na atual norma brasileira, procedimentos para a realização da medida do módulo de elasticidade de blocos de alvenaria, foram adotados procedimentos comumente utilizados em laboratórios de pesquisas, utilizando-se relógios comparadores e células de carga.

Os relógios foram fixados nos blocos através de gabaritos colados nestes. Esses gabaritos são cantoneiras metálicas coladas a uma distância  $L = 9$  cm, sendo localizadas em faces

diagonalmente opostas e entre o septo lateral e o septo central dos blocos. Para tal posicionamento foram utilizados gabaritos para colagem dessas cantoneiras como mostrado na Figura 14.

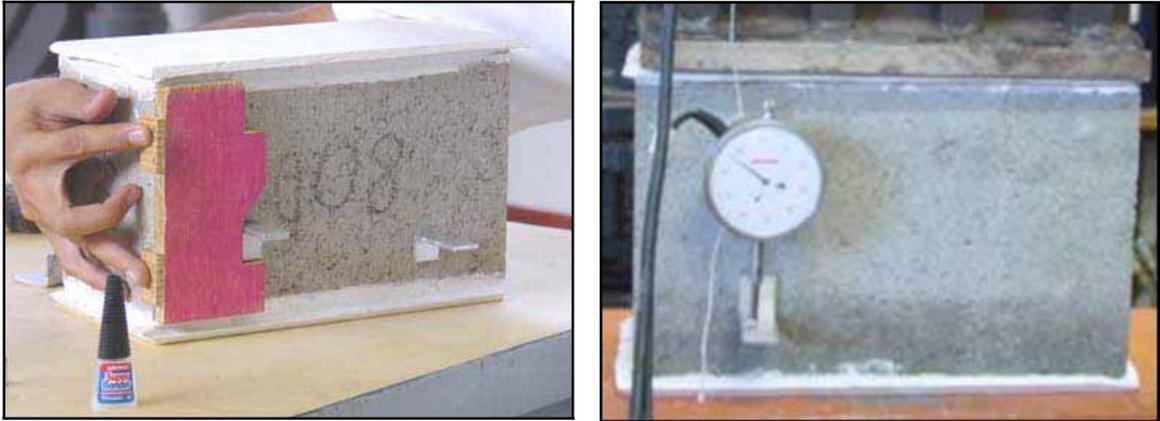


Figura 14 – Colagem dos gabaritos para os relógios comparadores.

Também foram utilizados, em alguns blocos das amostras, extensômetros elétricos, instalados a meia altura e no centro do bloco, como observado na Figura 15. Nesses blocos foram utilizados também os relógios comparadores.

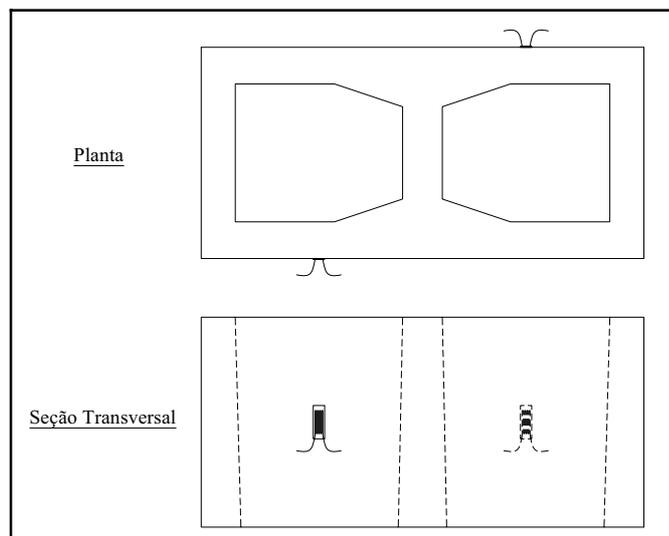


Figura 15 – Esquema de posicionamento dos extensômetros. Fonte: ANDOLFATO (2002, p. 55).

A célula de carga utilizada possui capacidade de 1000 kN e foi posicionada entre a prensa universal e o perfil metálico. Todos os ensaios foram realizados com auxílio de um sistema de aquisição de dados DASY LAB 6.0, no qual eram ligados os equipamentos para aquisição instantânea dos dados, relógios comparadores, extensômetros elétricos e célula de carga.



Figura 16 – Esquema de ensaio dos blocos.



Figura 17 – Sistema de aquisição de dados.

### **3.4 Resultados Obtidos**

#### **3.4.1 Características Físicas dos Blocos**

Os resultados obtidos para a determinação da área líquida, teor de umidade e absorção de água dos blocos estão contidos na Tabela 7. Os valores de massa e altura de cada bloco estão no anexo, e os valores de umidade, absorção e área líquida de cada corpo-de-prova também.

Tabela 7 - Umidade, absorção e área líquida dos blocos.

<i>Bloco</i>	<i>Umidade (%)</i>	<i>Absorção (%)</i>	<i>A.liq. (cm<sup>2</sup>)</i>
<i>B1</i>	24,93	6,86	227,92
<i>B2</i>	41,34	4,79	289,67

A área bruta das duas classes de blocos ensaiados é 406 cm<sup>2</sup>. Fazendo uma relação da área líquida com a bruta, para cada classe de bloco, tem-se:

- ✓ para B1: área líquida é igual a 56,1 % da área bruta;
- ✓ para B2: área líquida é igual a 71,3 % da área bruta;

De posse desses valores, conclui-se, segundo a NBR 6136 (1994, p. 1) que as unidades estudadas se enquadram dentro da classificação de blocos vazados, ou seja, a área líquida é inferior a 75 % da área bruta. Os valores de absorção dos blocos ensaiados também estão dentro dos limites de aceitação da mesma norma (1994, p. 4), que determina o valor máximo de absorção como sendo 10 %.

### 3.4.2 Blocos classe B1

#### Resistência à Compressão Axial

Os procedimentos de ensaios foram executados conforme citado anteriormente, sendo observado que não houve problemas perceptíveis de execução em nenhum corpo-de-prova. Os valores médios dos resultados obtidos para carga de ruptura e resistência à compressão são mostrados na Tabela 8 e os dados completos em anexo.

Tabela 8 – Resultados dos ensaios dos blocos B1.

<i>CP</i>	<i>Carga (kN)</i>	<i>Resistência (A. Bruta) (MPa)</i>	<i>Resistência (A.Líquida) (MPa)</i>
<i>Média</i>	357,86	8,64	15,39
<i>Desv. Pad.</i>	26,44	0,64	1,14
<i>Coef. Var</i>	7,39%	7,39%	7,39%

A tensão média de ruptura dos blocos (8,64 MPa) se mostrou superior à informada pelo fabricante (4,5 MPa), apresentando um aumento de 92% com relação à resistência nominal esperada.

## Deformabilidade

As deformações nos blocos foram definidas a partir dos resultados dos 6 ensaios realizados com os relógios comparadores e uma unidade instrumentada também com extensômetro. A seguir é apresentada a curva *Tensão x Deformação* das unidades, sendo a tensão relativa à área bruta dos blocos.

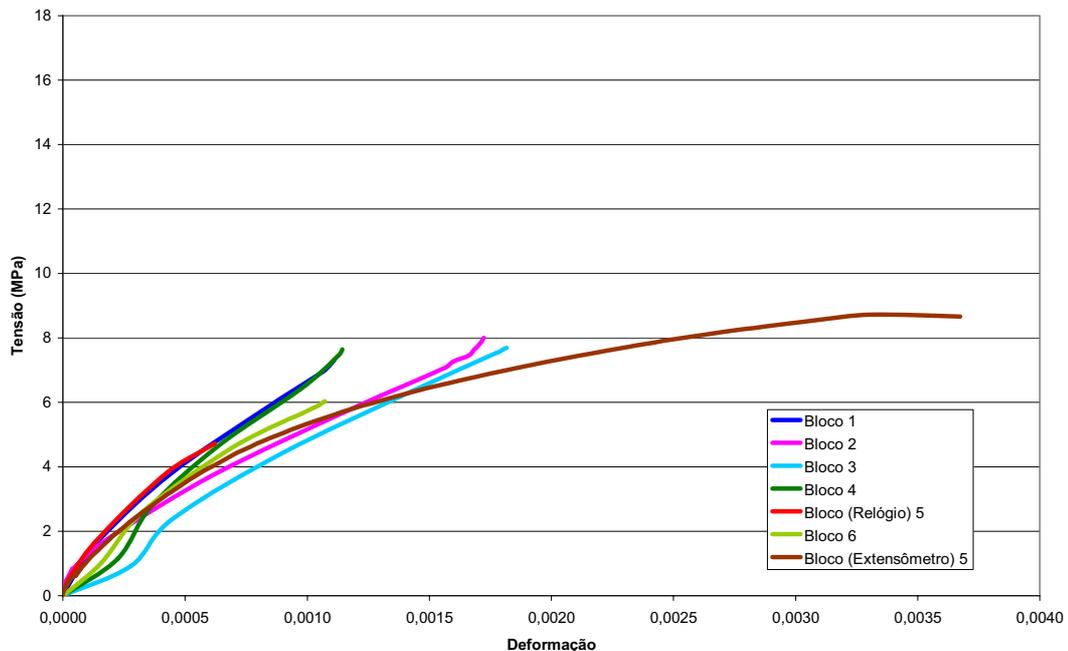


Figura 18 – Gráfico *Tensão x Deformação* dos blocos B1.

A curva “Bloco (Extensômetro) 5” é referente à leitura obtida pelo extensômetro elétrico, colado no mesmo corpo-de-prova onde havia o relógio de curva “Bloco (Relógio) 5”. As demais são referentes às deformações lidas nas outras unidades pelos relógios comparadores que foram retirados antes da ruptura dos blocos. A curva permite notar um comportamento próximo das unidades ensaiadas, e foi obtida uma deformação de ruptura, pela leitura do extensômetro, de 3,3%.

## Modo de Ruptura

As formas da ruína dos blocos B1 são mostradas na Figura 19, verificando que foram semelhantes os modos de ruptura das unidades, apresentando uma ruptura tipo tronco piramidal e brusca, com pouca percepção de fissuras nos blocos, que segundo Calçada (1998, p.107) são formas típicas de ruptura de blocos de concreto.



Figura 19 – Formas de ruína dos blocos B1

### 3.4.3 Blocos classe B2

#### Resistência à Compressão Axial

Os valores médios de resistência à compressão são mostrados na Tabela 9 e os dados completos se encontram em anexo.

Tabela 9 – Resultados dos ensaios dos blocos B2 (A. Bruta).

<i>CP</i>	<i>Carga (kN)</i>	<i>Resistência (A. Bruta) (MPa)</i>	<i>Resistência (A. Líquida) (MPa)</i>
<i>Média</i>	652,78	15,76	22,09
<i>Desv. Pad.</i>	57,95	1,40	1,96
<i>Coef. Var</i>	8,88%	8,88%	8,88%

Novamente foi constatado que a tensão média de ruptura encontrada (15,67 MPa) é superior à fornecida pelo fabricante (10,0 MPa), apresentando um aumento de 56,7% da resistência obtida para a nominal.

Apesar do aumento das resistências nominais, observa-se que elas são suficientemente distantes, viabilizando o uso dos blocos no preparo dos prismas, ou seja, atendendo à proposta de se utilizar dois blocos de classes de resistências diferentes no programa de ensaios.

#### Deformabilidade

As deformações nos blocos, obtidas para essa classe, foram definidas a partir de 3 corpos-de-prova, utilizando sempre os relógios comparadores, e, em uma unidade, também o extensômetro elétrico, sendo que os relógios foram retirados antes da ruptura dos blocos. A

seguir é apresentada a curva *Tensão x Deformação* da unidade, com a tensão relativa à área bruta.

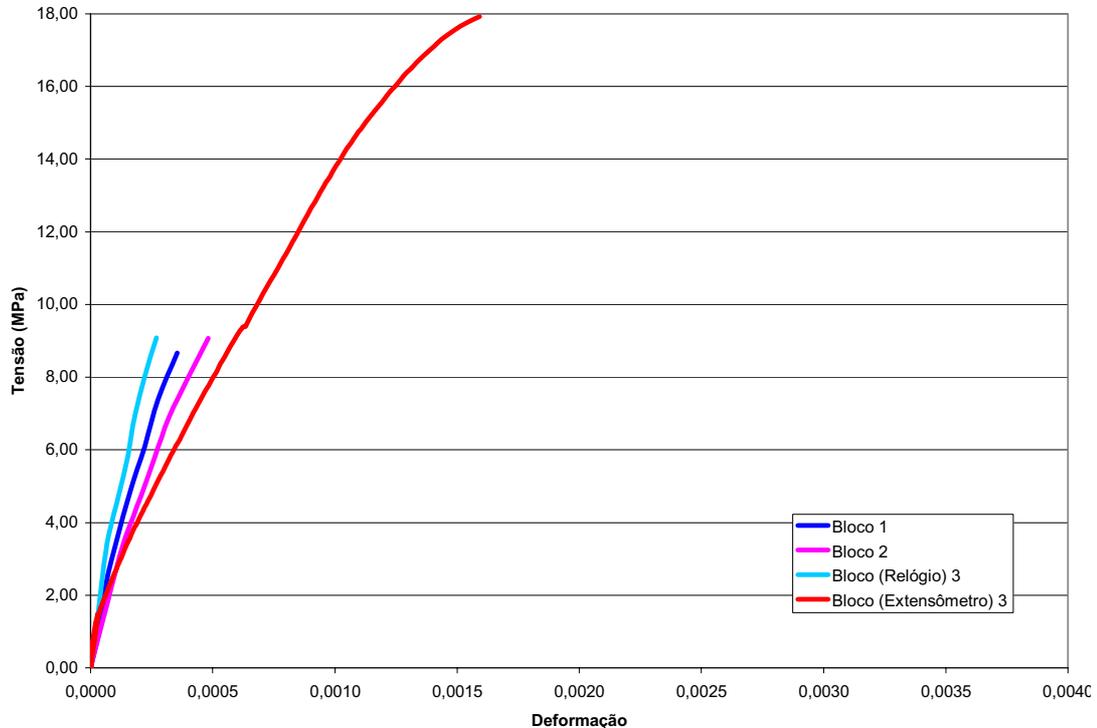


Figura 20 – Gráfico *Tensão x Deformação* dos blocos B2.

A curva “Bloco (Extensômetro) 3” refere-se às leituras realizadas pelo extensômetro colado no mesmo corpo-de-prova da curva “Bloco (Relógio) 3”. Percebeu-se que essas curvas foram as que mostraram as maiores diferenças nas deformações obtidas; contudo, com valores de tensão inferiores a 2 MPa, as curvas coincidem. Foi observado que os blocos B2 apresentam uma rigidez superior aos da classe B1, apresentando uma deformação de ruptura igual a 1,6%, lida pela unidade instrumentada com o extensômetro.

### **Modo de Ruptura**

As formas de ruínas dos blocos são mostradas na Figura 21, sendo observado o mesmo comportamento de ruptura dos blocos da classe B1, sem aparecimento de fissuras visíveis e uma ruptura tipo tronco piramidal não avisada, devido ao efeito de confinamento no topo e na sua base, também observada por Calçada (1998, p. 107).



Figura 21 – Formas de ruína dos blocos B2.

#### **4. ENSAIOS DE PRISMAS VAZIOS E GRAUTEADOS**

A NBR 8215 (1983, p. 1) define prisma como o conjunto composto pela justaposição de dois blocos de concreto, unidos por junta de argamassa, destinados ao ensaio de compressão axial. Esses ensaios em prismas são adotados como base para se calcular a resistência de projeto da alvenaria à compressão por muitas normas de cálculo.

Os ensaios em prismas vêm sendo empregados por muitos pesquisadores para a determinação da resistência a compressão da alvenaria estrutural. Esses ensaios apresentam a vantagem de serem mais rápidos e econômicos do que os ensaios de paredes (ROMAGNA, 2000, p. 19).

A relação entre altura e espessura do prisma é um fator importante para validar a resistência do prisma com a da alvenaria. Normalmente, é considerado que uma relação altura-espessura, aproximadamente igual a cinco, seja suficiente para eliminar os efeitos dos pratos da prensa e apresentar valores precisos de resistência à compressão axial da alvenaria.

No presente trabalho, decidiu-se trabalhar com prisma de três blocos de concreto, apesar da norma NBR 8215 (1983, p. 1) indicar apenas dois blocos. Essa decisão foi tomada pela experiência de pesquisadores que têm demonstrado melhores resultados nos elementos desse tipo e pelas especificações da norma americana ASTM C 1314 – 03b (2004, p. 366), a qual especifica que a relação da altura com a espessura do prisma ( $h/t$ ) deve estar entre 1,3 e 5. Para os prismas ensaiados neste estudo, a relação encontrada foi de 4,21.

Também foram utilizadas duas resistências distintas de graute, sendo elas baseadas nas resistências dos blocos em suas áreas líquidas. Essa decisão foi tomada devido às conclusões de vários autores como Calçada (1998), Romagna (2000) e Cunha (2001) sobre a melhor otimização de resistências de prismas cheios. Os grautes foram denominados de G1 e G2, conforme suas resistências e foram combinados com as diferentes classes de blocos.

Assim, foram executadas três unidades de prismas B1-G1 e três de prismas B1-G2, três B2-G1 e três B2-G2, além de três unidades de prismas vazios para cada classe de blocos B1 e B2, mostrados na Tabela 10, totalizando 18 prismas.

Tabela 10 – Planejamento de ensaio de prismas.

<i>Corpo-de-prova</i>	<i>Nº amostras</i>	<i>Resistências</i>	<i>Deformações</i>
<i>Prisma vazio B1</i>	3	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>
<i>Prisma vazio B2</i>	3	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>
<i>Prisma B1-G1</i>	3	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>
<i>Prisma B1-G2</i>	3	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>
<i>Prisma B2-G1</i>	3	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>
<i>Prisma B2-G2</i>	3	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>

Faz-se necessário citar que, neste trabalho, foram designados prismas grauteados aqueles das combinações apenas de blocos e grautes. Os prismas em que foram inseridas também as armaduras serão chamados de prismas armados, apesar de também possuírem o graute como elemento importante.

#### 4.1 Procedimentos de Execução dos Prismas

A execução dos prismas de blocos de concreto foi realizada segundo os procedimentos preconizados pela NBR 8215 (1983, p. 1-2), para preparo e ensaio à compressão dos mesmos. Essa norma recomenda que os prismas devam permanecer nas condições de temperatura e umidade de assentamento, ao abrigo do sol e vento, durante o tempo estipulado para o ensaio.

Todos os prismas foram executados por um mesmo pedreiro, sendo utilizados gabaritos para certificar o prumo e nível dos prismas, garantindo após o assentamento que os corpos-de-prova permanecessem no laboratório, expostos ao ambiente, porém protegidos do sol e intempéries.



Figura 22 – Montagem dos prismas

## 4.2 Argamassa de Assentamento

Cabe aqui ressaltar que o presente trabalho não tem enfoque no estudo da argamassa, e sim nos blocos, grautes e armaduras. Portanto, não serão realizados ensaios específicos para a argamassa, será definido o traço adequado aos blocos e utilizado sempre o mesmo.

A argamassa utilizada nesta pesquisa foi confeccionada em laboratório, sendo utilizado um traço misto, em volume 1 : 0,5 : 4,5 (cimento : cal : areia) com a relação a/c (água/cimento) igual a 1,27. Esse traço foi adotado por ser comumente utilizado em obras de alvenaria e possuir boa resistência à compressão, garantindo que a argamassa não influenciasse os resultados dos ensaios dos prismas.

Em uma etapa piloto de ensaios em prismas, realizada com os blocos citados (B1) e utilizando uma argamassa industrializada, foi verificado que apesar da argamassa possuir uma resistência à compressão igual a 6 MPa, ela apresentou um esmagamento precoce nos prismas, diminuindo muito a resistência da alvenaria, sendo que o fator de eficiência médio desses prismas com relação aos seus blocos foi inferior a 30%. Portanto, foi optada pela utilização de uma argamassa confeccionada que tivesse um comportamento mais resistente na junta do prisma. A figura abaixo ilustra a ruptura de um prisma vazio com a argamassa industrializada.



Figura 23 – Ruptura de prismas em ensaios pilotos

As características dos materiais utilizados na confecção da argamassa encontram-se no anexo. Durante a montagem dos prismas com a argamassa confeccionada, foram extraídos dois corpos-de-prova cilíndricos por mistura de argamassa, com dimensões 5 x 10 cm (diâmetro x

altura), e, após os 28 dias, os corpos-de-prova foram ensaiados a compressão axial de acordo com os procedimentos especificados pela NBR 7215 (1991, p.2).

### 4.3 Definição dos Grautes

A dosagem experimental tem por finalidade determinar uma proporção ideal de materiais componentes do graute. Ao se escolher um traço de graute, deve-se levar em consideração outros fatores além de sua resistência à compressão, como a perda de água para os blocos, a qual está relacionada com a capacidade de retenção de água do graute e provoca a redução da relação a/c, influenciando também na resistência à compressão (CUNHA, 2001, p. 65).

Nesta pesquisa, foram utilizados dois traços de graute com resistências nominais à compressão de 17 e 30 MPa e consistência também nominal de  $200 \pm 30$  mm. Para definição desses traços, foi utilizado o manual de dosagem de concretos de Silva (1975, p. 9). Os traços calculados foram confeccionados e moldados três corpos-de-prova para ensaios pilotos. Realizou-se um ajuste dos traços obtidos, e foram moldados novos corpos-de-prova para ensaios e assim determinados os traços finais em massa, mostrados na Tabela 11. Foram confeccionados corpos-de-prova dos grautes de 15 x 30 cm (diâmetro x altura), e as características dos materiais constituintes dos grautes são mostradas em tabelas no anexo.

Tabela 11 – Traço dos grautes (em massa).

<i>Corpo-de-Prova</i>	<i>Resistência (MPa)</i>	<i>Cimento</i>	<i>Areia</i>	<i>Pedrisco</i>	<i>a/c</i>
<i>Graute G1</i>	17	1	1,83	2,17	0,67
<i>Graute G2</i>	30	1	1,2	1,8	0,55

### 4.4 Grauteamento dos Prismas

Nos prismas em que foram inseridos os grautes foi tomado o cuidado das juntas serem rasadas, e as rebarbas aparadas, além de limpar perfeitamente o fundo dos furos dos blocos sem manuseá-los, conforme preconiza a NBR 8215 (1983, p. 2).

Para a realização do grauteamento, foram adotados os procedimentos descritos também na NBR 8215 (1983, p. 1-2), que prescreve, que o grauteamento, deve ser realizado  $24 \pm 2h$  após

o assentamento, que estes devem permanecer nas mesmas condições durante o tempo para o ensaio, e, no transporte, deve-se garantir que não ocorram impactos que possam romper a aderência argamassa/bloco durante o manuseio.

Foi realizado o capeamento com pasta de gesso, conforme em 3.3, em todas as faces inferiores dos prismas antes do assentamento, as faces superiores foram capeadas após o grauteamento dos corpos-de-prova com chapas de vidro, mantendo-se o nível dos prismas.

Cada classe de graute foi executada em uma única mistura e o grauteamento foi executado pelo mesmo operador, realizado em três camadas e socado com haste metálica com 15 golpes por camada. Após o grauteamento, todos os corpos-de-prova foram cobertos por um filme plástico, para que evitasse a perda excessiva de água para o ambiente, e permaneceram no laboratório para cura.



Figura 24 – Grauteamento dos prismas.

## 4.5 Procedimento de Ensaio dos Prismas - Determinação da Resistência à Compressão Axial e Deformabilidade

Para o ensaio de determinação da resistência dos prismas, foram adotados os mesmos procedimentos preconizados pela norma NBR 7184, descritos no item 3.1, utilizados para os blocos.

Na determinação da resistência à compressão dos prismas, cheios e vazios, foram adotados os métodos da NBR 7184 (1992, p. 1-2). Como para bloco, não existem, na norma, procedimentos para determinação do módulo de elasticidade dos prismas de blocos de concreto. Foram utilizados os mesmo métodos adotados nos blocos para medir os deslocamentos da alvenaria e das unidades centrais dos prismas.

Foram utilizados LVDT, medidores de deslocamentos, para determinar o encurtamento da alvenaria, com acréscimos de carga. Utilizaram-se cantoneiras como gabaritos para fixar os relógios a uma distância  $L = 40$  cm, na face do prisma e entre o septo central e lateral do bloco, medindo assim a deformação na alvenaria, como realizado nos blocos.



Figura 25 – Esquema de posicionamento dos LVDT's nos prismas.

Para avaliar a deformação da unidade, foram utilizados extensômetros elétricos, colados diretamente nos blocos de segunda fiada do prisma, entre os septos e em faces diagonalmente opostas. O extensômetro foi colado em apenas um corpo-de-prova por combinação. Utilizou-

se uma célula de carga com capacidade de 1000 kN, posicionada entre a prensa e a chapa metálica, conforme realizado nos ensaios dos blocos.



Figura 26 – Esquema de ensaio do prisma.

O transporte dos prismas foi realizado com um guincho ligado a uma ponte rolante com capacidade de 7,5 toneladas, sendo confeccionado um dispositivo para travar e colocar o prisma em um carrinho para que fosse levado até a prensa de ensaio, como mostrado na Figura 27. Novamente, todos os dados foram capturados pelo sistema de aquisição DASY LAB 6.0, no qual foram ligados os LVDT, extensômetros elétricos e a célula de carga.



Figura 27 – Esquema de transporte dos prismas.

## 4.6 Resultados dos Componentes

### 4.6.1 Resultado da Argamassa dos Prismas Vazios e Grauteados

Foram realizados ensaios de compressão axial de 8 corpos-de-prova de argamassa, retirados durante o assentamento dos prismas, conforme descrito no item 4.2. Esses corpos-de-prova foram obtidos de todas as argamassas confeccionadas, sendo retirados pares de cada mistura. Os resultados são mostrados na Tabela 12 e verificou-se a não existência de valores espúrios.

Tabela 12 – Ensaio da Argamassa.

Mistura	CP	Carga (kN)	Resistência (MPa)
A1	1	14,50	7,24
	2	12,40	6,19
A2	3	15,80	7,89
	4	13,30	6,64
A3	5	10,80	5,39
	6	12,00	5,99
A4	7	14,60	7,29
	8	15,00	7,49
	Média	13,55	6,77
	Desv. Pad.	1,71	0,85
	Coef. Var.	12,64%	12,64%

### 4.6.2 Resultado dos Grautes dos Prismas Grauteados

Foram realizados ensaios à compressão axial de 8 corpos-de-prova de cada tipo de graute, conforme descrito em 4.3, sendo que esses corpos-de-prova foram retirados na ocasião do grauteamento dos prismas.

#### Graute G1

Os resultados médios de compressão axial do graute G1 são mostrados na Tabela 13 e os valores completos estão na Tabela 73 em anexo, sendo verificados a não existência de dados espúrios.

Tabela 13 – Resultados do graute G1.

CP	Carga (kN)	Resistência (MPa)	Abatimento do Tronco de Cone (mm)
Média	150,63	18,80	22,67
Desv. Pad.	13,81	1,72	25,17
Coef. Var	9,17%	9,17%	0,11

## Graute G2

Os resultados do graute G2 são apresentados na Tabela 14, onde foi constatado a não existência de valores espúrios. Os valores completos estão na Tabela 74 no anexo.

Tabela 14 - Resultados do graute G2.

<i>CP</i>	<i>Carga (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>	<i>Abatimento do Tronco de Cone (mm)</i>
<i>Média</i>	<i>220,00</i>	<i>27,46</i>	<i>230,00</i>
<i>Desv. Pad.</i>	<i>28,91</i>	<i>3,61</i>	<i>10,00</i>
<i>Coef. Var</i>	<i>13,14%</i>	<i>13,14%</i>	<i>0,004</i>

### 4.6.2.1 Modo de Ruptura dos Grautes

Todos os corpos-de-prova dos dois tipos de grautes ensaiados seguiram a mesma forma de ruptura, e suas ruínas podem ser observadas na Figura 28.



Figura 28 – Formas de ruína dos grautes.

## 4.7 Resultado dos Prismas Vazios

### 4.7.1 Prismas Vazios B1

#### Resistência à Compressão Axial – Prismas Vazios B1

Os ensaios de compressão axial foram realizados segundo procedimentos descritos em 4.5. Os resultados médios de tensões de ruptura se encontram na Tabela 15, e os resultados completos estão em anexo. Verificou-se não terem valores espúrios nos resultados.

Tabela 15 – Resultados dos Prismas Vazios B1.

<i>CP</i>	<i>Carga de Fissuração (kN)</i>	<i>Carga de Ruptura (kN)</i>	<i>Resistência (MPa) (A. Líquida)</i>	<i>Resistência (MPa) (A. Bruta)</i>
<i>Média</i>	223,33	233,33	10,04	5,63
<i>Desv. Pad.</i>	5,77	14,43	0,62	0,35
<i>Coef. Var</i>	2,59%	6,19%	6,19%	6,19%

A tensão média de ruptura dos prismas Vazios B1, se comparada às unidades B1, apresentaram um fator de eficiência de 65% (área bruta). Segundo Prudêncio Jr (2003, p. 20), a alvenaria de blocos de concreto apresenta fatores de eficiência variando entre 0,75 e 0,92 para prismas não grauteados, já Ramalho e Corrêa (2003, p. 79), afirmam que os valores da eficiência prisma-bloco, para a prática corrente no Brasil, variam de 0,5 a 0,9 para blocos de concreto.

#### Deformabilidade – Prismas Vazios B1

O gráfico *Tensão x Deformação* dos prismas apresenta-se na Figura 29, sendo a tensão relativa à área bruta dos prismas. A observação da curva dos extensômetros mostra que as deformações do bloco no prisma e do bloco isolado apresentaram resultados distintos, sendo ressaltado, que o confinamento do bloco isolado e do bloco inserido ao prisma é diferente no momento do ensaio. As curvas de deformações das alvenarias, representadas pelos prismas (LVDT), tiveram um mesmo comportamento entre si, contudo diferenciados das curvas dos blocos isolados, medidos pelos extensômetros, lembrando-se, que a deformabilidade dos prismas envolvem as juntas de argamassas e dos blocos não.

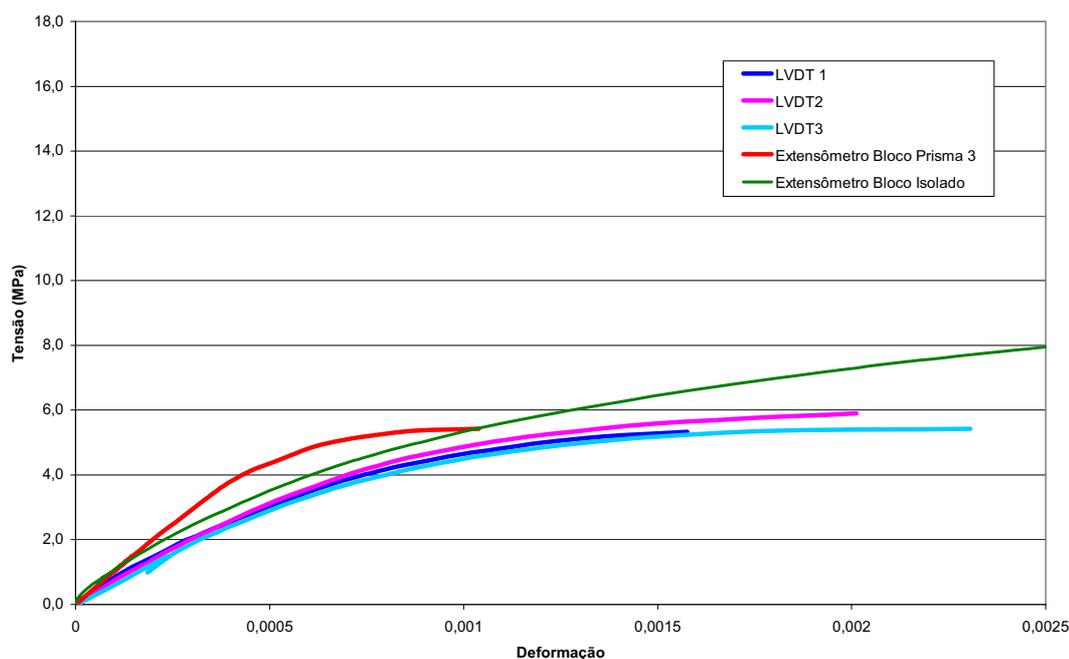


Figura 29 – Gráfico *Tensão x Deformação* dos Prismas Vazios B1.

#### 4.7.2 Prismas Vazios B2

##### Resistência à Compressão Axial – Prismas Vazios B2

Os ensaios foram realizados de acordo com o item 4.5 e os resultados médios de tensões se encontram na Tabela 16, os valores completos estão na Tabela 76 em anexo. Foi verificada a não existência de valores espúrios nos dados.

Tabela 16 – Resultados dos Prismas Vazios B2.

<i>CP</i>	<i>Carga de Fissuração (kN)</i>	<i>Carga de Ruptura (kN)</i>	<i>Resistência (MPa) A. bruta</i>	<i>Resistência (MPa) A. Líquida</i>
<i>Média</i>	296,67	321,67	7,77	10,89
<i>Desv. Pad.</i>	28,87	12,58	0,30	0,43
<i>Coef. Var</i>	9,73%	3,91%	3,91%	3,91%

O fator de eficiência dos prismas Vazios B2 com relação aos blocos B2 foi de 50%, inferior à eficiência encontrada para a classe B1, o que é natural para blocos de maior resistência.

##### Deformabilidade – Prismas Vazios B2

A seguir é apresentado o gráfico *Tensão x Deformação* da alvenaria medido pelo LVDT e pelo extensômetro, no qual a tensão se refere à área bruta dos prismas. As curvas dos LVDT mostraram um comportamento da alvenaria constante para todos os corpos-de-prova

ensaiados, sendo verificada uma deformação média de ruptura próxima a 1,9‰, e para os prismas Vazios B1 foi perto de 1,97‰.

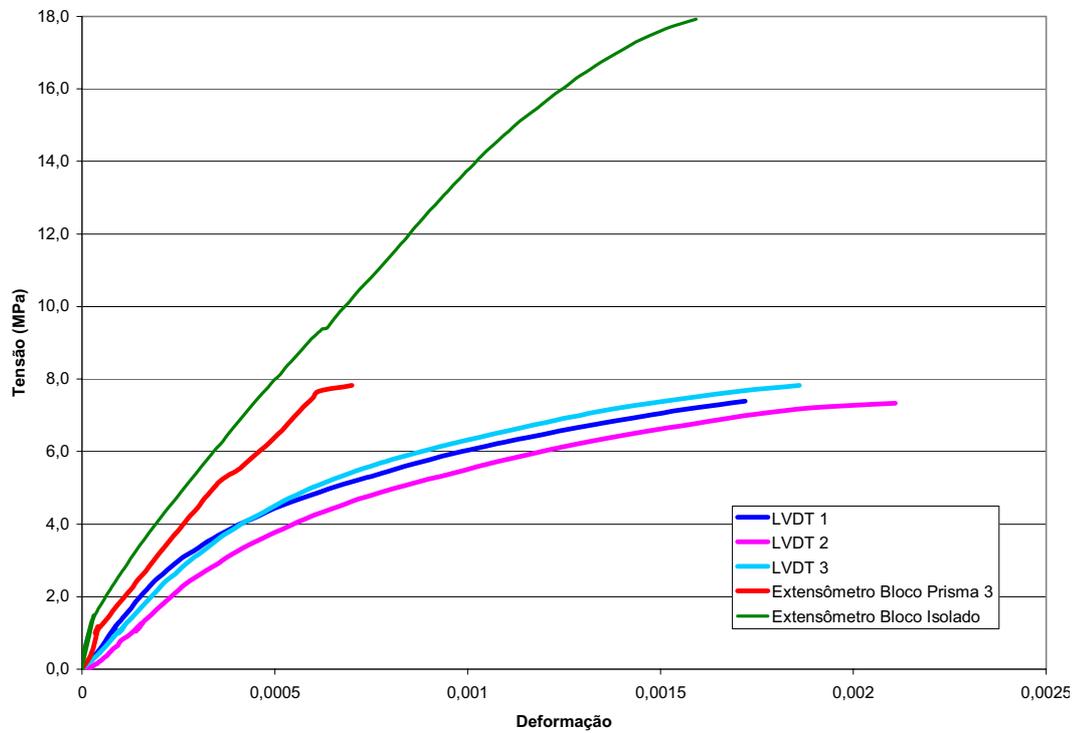


Figura 30 – Gráfico *Tensão x Deformação* dos Prismas Vazios B2.

### 4.7.3 Modos de Ruptura – Prismas Vazios

Não foram observadas alterações nas formas de ruína dos prismas vazios para as duas classes de blocos (B1 e B2), sendo comum uma ruptura não avisada do corpo-de-prova. Verificou-se que, nos prismas vazios, a argamassa trabalhou bem, acomodando boa parte das deformações e não interferindo na carga de ruptura do prisma.



Figura 31 – Modo de ruínas dos Prismas Vazios.

## 4.8 Resultado dos Prismas Grauteados

### 4.8.1 Prismas B1-G1

#### Resistência à Compressão Axial – Prismas B1-G1

Os procedimentos de ensaios foram os mesmos descritos em 4.5. Os resultados médios estão na Tabela 17, os quais não apresentaram dados espúrios.

Tabela 17 – Resultados dos Prismas B1-G1.

<i>CP</i>	<i>Carga de Fissuração (kN)</i>	<i>Carga de Ruptura (kN)</i>	<i>Resistência (MPa) A. Bruta</i>
<i>Média</i>	383,33	467,67	11,29
<i>Desv. Pad.</i>	40,41	17,50	0,42
<i>Coef. Var</i>	10,54%	3,74%	3,74%

#### Deformabilidade – Prismas B1-G1

A curva *Tensão x Deformação* da alvenaria (LVDT) de B1-G1 e a curva do extensômetro são dadas na Figura 32, na qual se observa que as curvas dos prismas (LVDT) e do bloco (extensômetro) coincidiram, ou seja, apresentaram as mesmas deformações ao longo do carregamento. Esse fato mostra que a inserção do graute ao prisma igualou a rigidez do prisma com a do bloco, trabalhando como um único elemento, comportamento também verificado por Cunha (2001, p. 113) em seus experimentos.

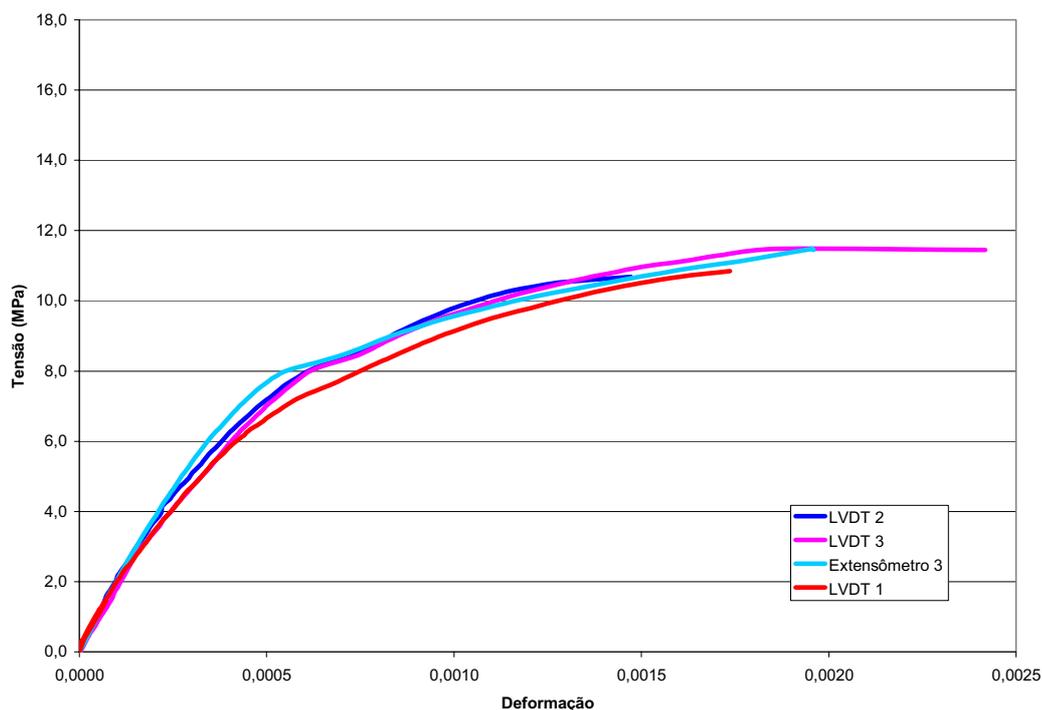


Figura 32 – Gráfico *Tensão x Deformação* dos Prismas B1-G1.

## 4.8.2 Prismas B1-G2

### Resistência à Compressão Axial – Prismas B1-G2

Os resultados médios de tensões de ruptura dos prismas se encontram na Tabela 18.

Tabela 18 – Resultados dos Prismas B1-G2.

<i>CP</i>	<i>Carga de Fissuração (kN)</i>	<i>Carga de Ruptura (kN)</i>	<i>Resistência (MPa) A. Bruta</i>
<i>Média</i>	396,67	435,00	10,50
<i>Desv. Pad.</i>	15,28	50,74	1,23
<i>Coef. Var</i>	3,85%	11,67%	11,67%

A tensão média de ruptura dos prismas B1-G2 (10,50 MPa) não apresentou aumento significativo com relação aos prismas Vazios B1 (10,04 MPa) em suas áreas líquidas, e foi verificado a partir do teste t de student, que com 95% de nível de confiança essas médias não podem ser consideradas diferentes, e não ocorreram valores espúrios dos dados.

Os prismas B1-G2 apresentaram um coeficiente de variação alto (11,7%), se comparado às outras combinações, entretanto, na execução dos ensaios, não foi detectado nenhum problema que pudesse causar tais variações.

### Deformabilidade – Prismas B1-G2

A seguir é mostrado os gráficos *Tensão x Deformação* da alvenaria e da unidade, no qual pode-se observar que apesar dos prismas B1-G2 apresentarem variações na carga final, não houve diferenças em suas curvas de deformação, mostrando que todos os corpos-de-prova apresentaram um mesmo comportamento de deformabilidade.

Verifica-se também que as deformações ocorridas no bloco (extensômetro) e as ocorridas nos prismas (LVDT) foram iguais, as curvas foram coincidentes, demonstrando novamente que o grauteamento do prisma levou o conjunto bloco, argamassa e graute ao mesmo comportamento de deformabilidade.

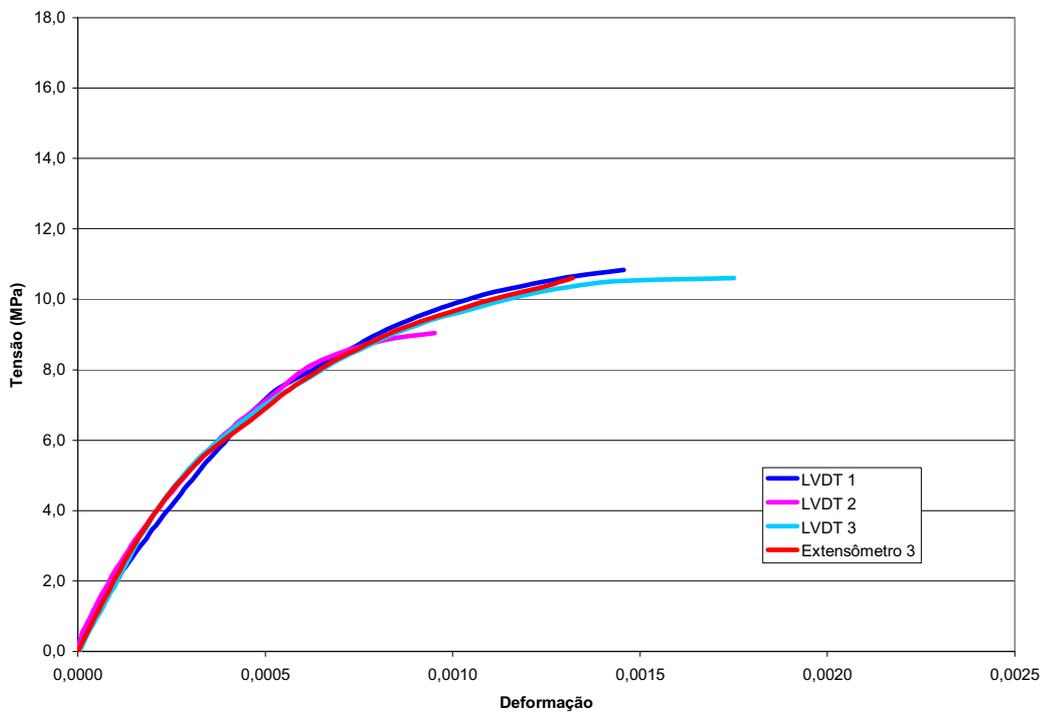


Figura 33 – Gráfico *Tensão x Deformação* do Prisma B1-G2.

### 4.8.3 Modos de Ruptura dos Prismas B1 Grauteados

As formas de ruínas dos prismas B1-G1 e B1-G2 (Figura 34) se mostraram bastante parecidas, não havendo variações perceptíveis ao modo de ruptura para as diferentes combinações dos grautes.

Foi verificado, primeiramente, o surgimento de fissuras verticais nas faces dos prismas, e, depois, a ruptura deste, sendo esse tipo de ruptura observado também por Cunha (2001, p. 114), Romagna (2000, p. 92) e Calçada (1998, p.110). Notou-se também que houve a expulsão das faces dos blocos dos prismas, e pôde-se observar também a ruptura dos grautes que continham fissuras verticais vistas nas paredes dos prismas, formas estas verificadas por Gomes (1974, p. 140). Observou-se que a argamassa apresentou resistência muito boa na junta do prisma, não sendo verificado sua ruptura em nenhum dos prismas.



Figura 34 – Modo de ruínas dos Prismas B1 Grauteados.

#### 4.8.4 Prismas B2-G1

##### Resistência à Compressão Axial – Prismas B2-G1

Os resultados médios de tensões de ruptura se encontram abaixo.

Tabela 19 – Resultados dos Prismas B2-G1.

<i>CP</i>	<i>Carga de Fissuração (kN)</i>	<i>Carga de Ruptura (kN)</i>	<i>Resistência (MPa) A. Bruta</i>
<i>Média</i>	<i>501,67</i>	<i>635,00</i>	<i>15,33</i>
<i>Desv. Pad.</i>	<i>68,25</i>	<i>31,22</i>	<i>0,75</i>
<i>Coef. Var</i>	<i>13,61%</i>	<i>4,92%</i>	<i>4,92%</i>

A tensão média de ruptura dos prismas B2-G1 (15,3 MPa) apresentou um aumento de 4,4 MPa com relação à tensão média dos prismas Vazios B2 (10,9 MPa), área líquida, representando um ganho na resistência da alvenaria de 41%, muito maior que o aumento conseguido com a utilização de G1 aos prismas de blocos B1. Foram analisadas, através do teste t de student, que as médias de tensões com 95% de confiança não podem ser consideradas iguais, e foi constatado não existirem valores espúrios nos resultados.

##### Deformabilidade – Prismas B2-G1

A seguir é apresentado o gráfico *Tensão x Deformação* dos prismas B2-G1.

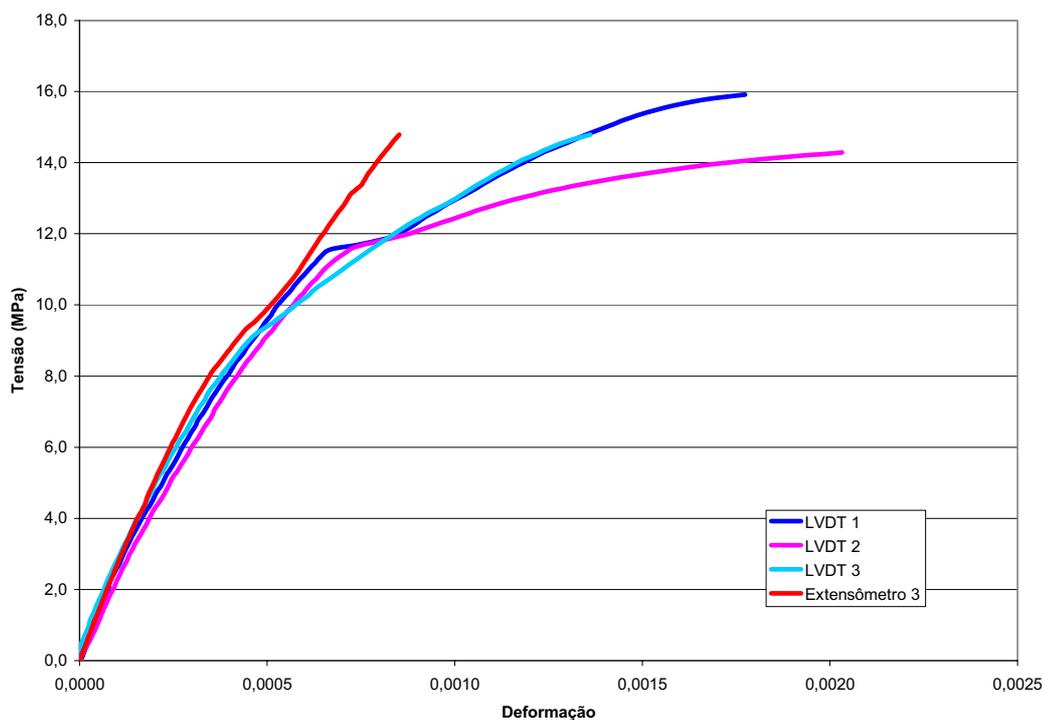


Figura 35 – Gráfico *Tensão x Deformação* do prisma B2-G1.

A análise das curvas permite notar que até em tensões próximas a 11 MPa, a alvenaria e a unidade deformaram-se da mesma maneira; com tensões superiores, houve pequenas variações nas deformações dos prismas, obtendo uma deformação de ruptura média (LVDT) igual a 1,9‰.

#### 4.8.5 Prismas B2-G2

##### Resistência à Compressão Axial – Prismas B2-G2

Na Tabela 20 consta os resultados médios, obtidos nos ensaios. Os valores completos estão na Tabela 80 em anexo, não foram encontrados valores espúrios.

Tabela 20 – Resultados dos Prismas B2-G2.

<i>CP</i>	<i>Carga de Fissuração (kN)</i>	<i>Carga de Ruptura (kN)</i>	<i>Resistência (MPa) A. Bruta</i>
<i>Média</i>	<i>561,67</i>	<i>628,33</i>	<i>15,17</i>
<i>Desv. Pad.</i>	<i>12,58</i>	<i>56,20</i>	<i>1,36</i>
<i>Coef. Var</i>	<i>2,24%</i>	<i>8,94%</i>	<i>8,94%</i>

A tensão média de ruptura dos prismas B2-G2 (15,2 MPa) apresentou um aumento de 51% na resistência da alvenaria, comparada com os primas Vazios B2 (10,9 MPa), áreas líquidas. Entretanto, comparando-se a tensão média B2-G2 com a tensão média obtida para B2-G1 (15,3 MPa), percebe-se que, a partir do teste t de student, com 95% de confiança, as médias não podem ser consideradas diferentes. Portanto, não houve alteração na resistência da alvenaria com o aumento da resistência do graute G1 utilizado para o G2.

##### Deformabilidade – Prismas B2-G2

A seguir, encontra-se o gráfico *Tensão x Deformação* dos prismas B2-G2. A observação das curvas demonstram um comportamento bastante próximo dos três corpos-de-prova ensaiados, verificando deformações dos prismas (LVDT) e do bloco (extensômetro) bastante próximas, mantendo o comportamento das outras combinações, sendo que todo o conjunto deformou-se de maneira semelhante, apresentando uma deformação de ruptura média de 1,43‰.

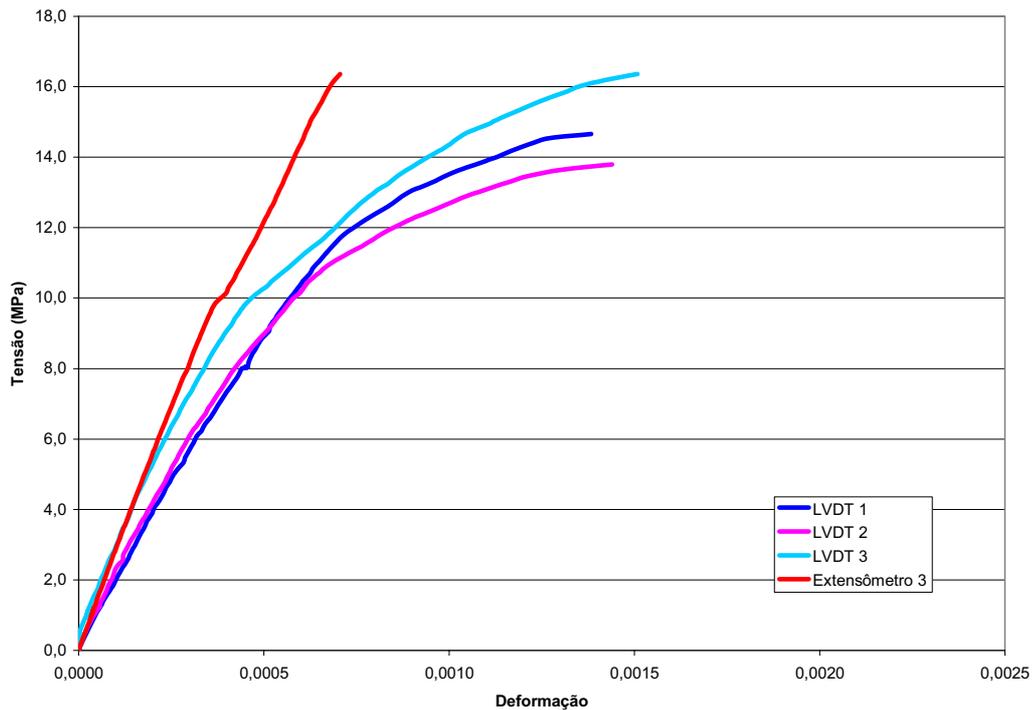


Figura 36 – Gráfico *Tensão x Deformação* do prisma B2-G2.

#### 4.8.6 Modos de Ruptura dos Prismas B2 Grauteados

As formas de ruptura dos prismas B2-G1 e B2-G2 foram novamente muito semelhantes às formas de rupturas das outras combinações de prismas, com o surgimento de fissuras verticais nas faces dos prismas, até sua ruptura. Após as primeiras fissuras, os prismas normalmente resistiam uma considerável parcela de carga, na Figura 37 são mostradas as formas de ruínas obtidas.

De acordo com Cunha (2001, p.114), esse tipo de fissura é comum em prismas grauteados, sendo provenientes do estado uniaxial de compressão e biaxial de tração aos quais os blocos estão submetidos. Mohamad (1998, p. 92) também percebeu fissuras desse tipo em seus prismas com graute, afirmando que a causa mais provável desse tipo de ruptura é a expansão do graute.



Figura 37 – Modo de ruína dos Prismas B2 Grauteados.

## 5. ENSAIOS DE PRISMAS ARMADOS

Neste capítulo, são apresentados os prismas que serão armados com taxas variadas e combinados com os prismas já estudados no capítulo anterior (prismas apenas grauteados) dando continuidade ao objetivo do trabalho que é avaliar a influência da taxa de armadura e graute no comportamento da alvenaria estrutural.

Deve-se ressaltar, novamente, que os prismas grauteados, analisados no capítulo anterior, foram assim chamados por terem apenas o graute como elemento adicional à alvenaria. Os novos prismas, que serão mostrados e discutidos neste capítulo, designados prismas armados, são as combinações dos blocos e grautes já estudados com a inserção de taxas de armaduras resistentes à alvenaria.

Foram repetidas as combinações de blocos e grautes estudados, e a elas foram combinadas três taxas de armaduras distintas. Assim, foram variadas as duas classes de blocos (B1 e B2) com os dois grautes definidos (G1 e G2), com três taxas de armaduras ( $\rho_1$ ,  $\rho_2$  e  $\rho_3$ ), totalizando a execução de 12 combinações diferentes.

Tabela 21 – Planejamento de ensaio de prismas.

<i>Corpo-de-prova</i>	<i>Nº amostras</i>	<i>Resistências</i>	<i>Deformações</i>
<i>Prisma B1-G1-<math>\rho_1</math></i>	<i>3</i>	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>
<i>Prisma B1-G2-<math>\rho_1</math></i>	<i>3</i>	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>
<i>Prisma B2-G1-<math>\rho_1</math></i>	<i>3</i>	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>
<i>Prisma B2-G2-<math>\rho_1</math></i>	<i>3</i>	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>
<i>Prisma B1-G1-<math>\rho_2</math></i>	<i>3</i>	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>
<i>Prisma B1-G2-<math>\rho_2</math></i>	<i>3</i>	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>
<i>Prisma B2-G1-<math>\rho_2</math></i>	<i>3</i>	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>
<i>Prisma B2-G2-<math>\rho_2</math></i>	<i>3</i>	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>
<i>Prisma B1-G1-<math>\rho_3</math></i>	<i>3</i>	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>
<i>Prisma B1-G2-<math>\rho_3</math></i>	<i>3</i>	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>
<i>Prisma B2-G1-<math>\rho_3</math></i>	<i>3</i>	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>
<i>Prisma B2-G2-<math>\rho_3</math></i>	<i>3</i>	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>

A execução dos prismas foi realizada segundo os mesmos procedimentos definidos em 4.1, verificando todos os detalhes para que não houvesse diferenças, como o ambiente de cura, o pedreiro que realizou a execução dos prismas, o tempo de mistura da argamassa e o capeamento dos corpos-de-prova.

A argamassa utilizada foi a mesma, com traço em volume de 1 : 0,5 : 4,5 (cimento : cal : areia) adotando os mesmos materiais. Na ocasião do grauteamento, foram retirados corpos-de-prova cilíndricos de 5 x 10 cm e ensaiados à compressão de acordo com o item 4.2.

Os grautes utilizados foram os traços anteriormente definidos (G1 e G2), utilizando-se também os mesmos materiais. Novamente, retiraram-se corpos-de-prova cilíndricos para ensaio, mantendo-se os procedimentos descritos em 4.3.

## 5.1 Definição das Armaduras

As taxas de armadura foram definidas segundo as recomendações da norma brasileira NBR 10837 (1989, p. 11) sendo que a primeira taxa adotada é referente à taxa mínima para paredes de alvenaria. Como essa norma não define taxa máxima para paredes de alvenaria armada, foi utilizada a recomendação de taxa máxima de armadura para pilares de alvenaria estrutural como a segunda taxa de armadura no trabalho, e a terceira taxa adotada foi uma intermediária às anteriores.

Assim, definiu-se a taxa mínima de 0,2% vezes a área bruta do prisma; portanto, foi utilizado  $\rho_1 = 0,15\%$  da área bruta do prisma. Como taxa intermediária foi utilizada  $\rho_2 = 0,4\%$  da área bruta do prisma, sendo esse um valor mediano, e a taxa máxima adotada foi  $\rho_3 = 1,0\%$  vezes a área bruta do prisma.

Definidas as taxas de armaduras, estas foram passadas a armaduras comerciais, de forma a se adequarem aos corpos-de-prova. As armaduras que foram utilizadas na execução dos prismas armados são observadas abaixo.

Tabela 22 – Definição das armaduras.

<i>Taxa de Armadura</i>	<i>Área de aço (cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Armadura executada</i>
$\rho_1 = 0,15\%$	0,63	2 $\Phi$ 6,3 mm
$\rho_2 = 0,40\%$	1,60	2 $\Phi$ 10,0 mm
$\rho_3 = 1,0\%$	4,00	2 $\Phi$ 16,0 mm

## 5.2 Instrumentação das Armaduras

Para a verificação das deformações ocorridas nas armaduras, foram instrumentadas barras de aço com extensômetros elétricos colados a elas, tornando possível a verificação das deformações ocorridas nas barras dos prismas, com o acréscimo de tensões ao corpo-de-prova. Portanto, foram instrumentadas as barras de cada combinação de prisma.

Foi preparada a superfície de cada barra na qual seria colado o extensômetro, sendo ela lixada (para retirada das mossas) e limpa na região central, onde posteriormente seria realizada a colagem. Passada essa etapa e feita a ligação dos terminais dos extensômetros, foram verificados todos os terminais elétricos para evitar possíveis problemas de curto circuito entre os extensômetros e as barras. A Figura 38 mostra o esquema de colagem dos extensômetros nas barras.

Colados os extensômetros, estes foram protegidos contra possíveis impactos mecânicos e infiltração de água. Para tanto, foi passado um silicone impermeabilizante sobre a área instrumentada, e, então, encapou-se a região com fita de auto-fusão.



Figura 38 – Instrumentação das barras de aço.

Antes da armação e grauteamento dos prismas, foi realizada uma calibração das barras de aço que estavam instrumentadas de modo a se obter as curvas de calibração de todas elas. Essas curvas são mostradas abaixo.

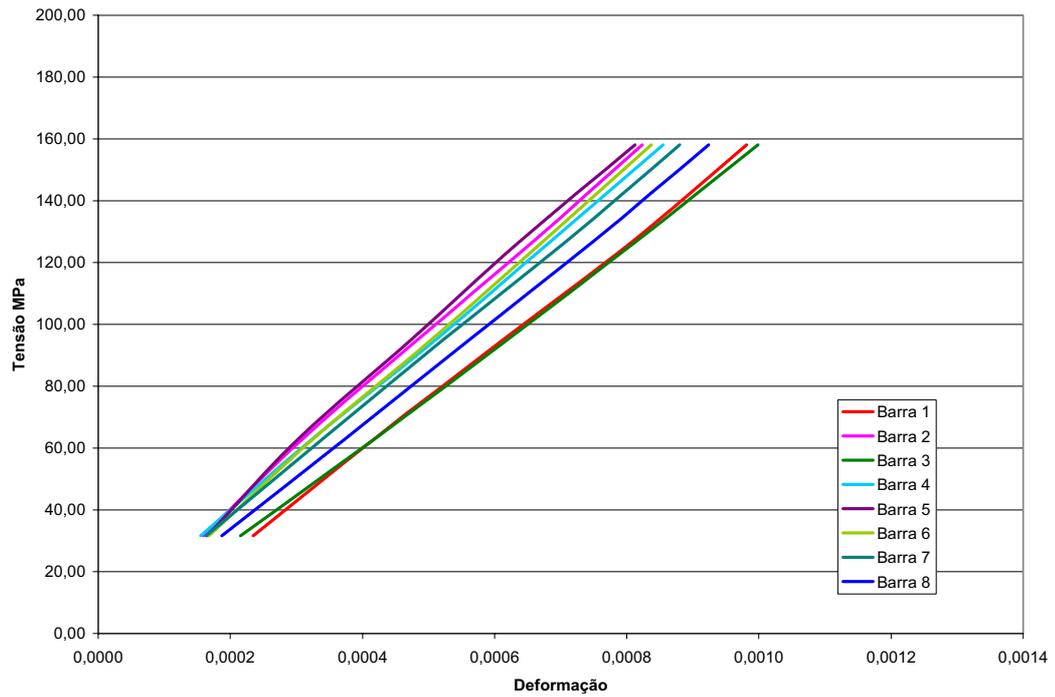


Figura 39 – Curvas de calibração das barras  $\rho_1$

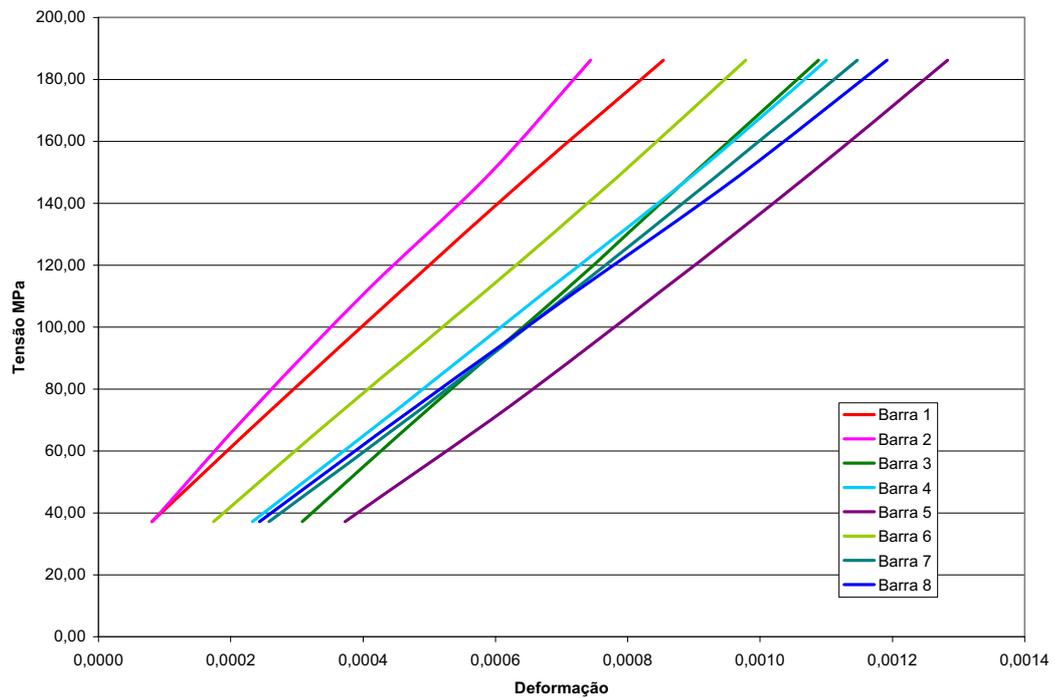


Figura 40 - Curvas de calibração das barras  $\rho_2$

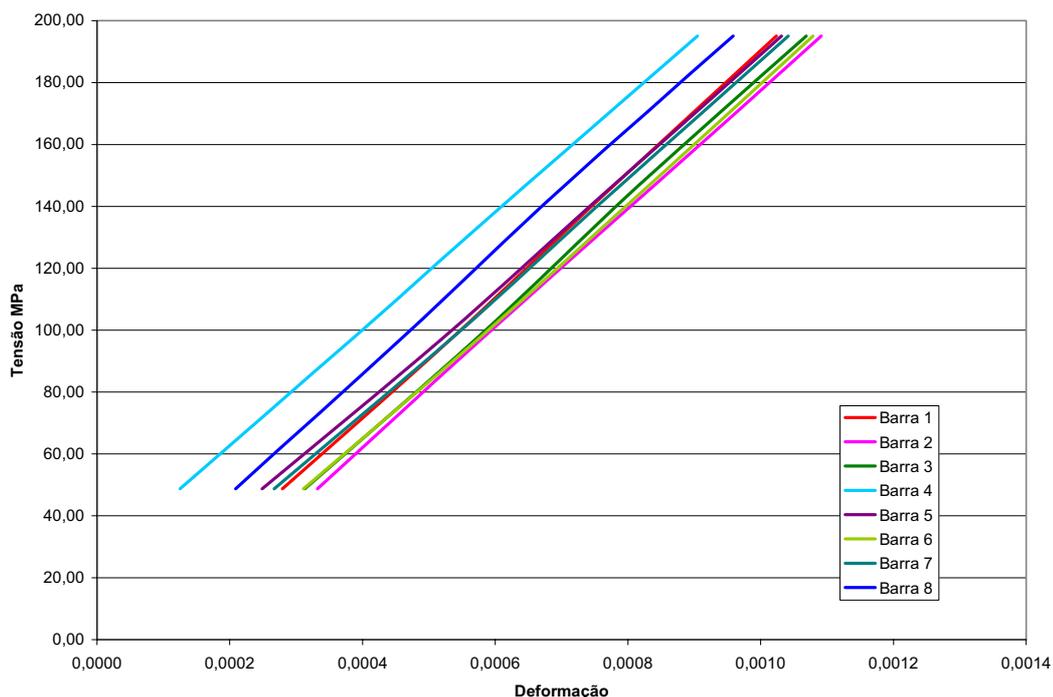


Figura 41 - Curvas de calibração das barras  $\rho_3$

### 5.3 Armação e Grauteamento dos Prismas

Durante a execução dos prismas, foi tomado o cuidado de limpar os excessos de argamassa nas juntas e no fundo dos blocos dos prismas, como realizado anteriormente e descrito em 4.4.

Antes da realização da armação e grauteamento dos prismas, foram cortadas as barras e preparados gabaritos horizontais que mantivessem as barras em posição vertical no centro dos vazios dos prismas. Para tanto, foram confeccionadas pequenas barras de aço e soldadas em pontos próximos aos extremos dos prismas, de forma que estas posicionassem a barra dentro do vazio e impedissem movimentações durante o grauteamento.



Figura 42 – Gabaritos de posicionamento das barras horizontais.

Posicionadas as barras, foi realizado o grauteamento dos prismas conforme descrito em 4.4, sendo importante comentar que a mistura de cada tipo de graute foi realizada em três etapas que foram separadas pelas três taxas de armaduras. Foi confeccionado o graute G1 (única mistura) e o graute G2 (única mistura), e foram grauteados os seis prismas de cada graute, correspondentes à primeira taxa de armadura ( $\rho_1$ ). Outra mistura foi feita de G1 e G2 para os prismas de armadura  $\rho_2$ , e, novamente, realizou-se o mesmo processo para  $\rho_3$ .



Figura 43 – Armação e grauteamento dos prismas.

Nos prismas que continham as barras instrumentadas, os fios de ligação foram passados sempre pela junta superior de argamassa, como mostra a Figura 44. Todos os procedimentos de ensaios foram os mesmos descritos em 4.5.



Figura 44 – Prisma instrumentado.

## **5.4 Determinação da Resistência à Compressão Axial e Deformabilidade dos Prismas**

A determinação da resistência à compressão e a deformabilidade dos prismas foi realizada conforme citado em 4.6, utilizando medidores de deformação da alvenaria (LVDT) e célula de carga em todos os prismas, e alguns corpos-de-prova contendo também extensômetro elétrico. Todos os dados foram adquiridos pelo sistema de aquisição citado.

Nos corpos-de-prova, que continham as barras instrumentadas foram colados também extensômetros elétricos nos blocos, conforme descrito em 3.4, visando a avaliar os quinhões de carga que foram absorvidos por cada um dos elementos constituintes dos prismas (bloco e armadura).



Figura 45 – Esquema de ensaios de prismas armados.

## **5.5 Resultados dos componentes**

### **5.5.1 Resultado da Argamassa dos Prismas Armados**

Foram realizados ensaios à compressão axial de 12 corpos-de-prova de argamassa, retirados durante o assentamento dos prismas armados, conforme descrito no item 4.2. Os corpos-de-

prova foram obtidos de todas as argamassas confeccionadas, sendo retirados pares de cada mistura. Os resultados são mostrados na Tabela 23, sendo verificados a não existência de valores espúrios.

Tabela 23 – Ensaio da Argamassa.

<b>Mistura</b>	<b>CP</b>	<b>Carga (kN)</b>	<b>Resistência (MPa)</b>
<b>A1</b>	1	9,50	4,74
	2	8,75	4,37
<b>A2</b>	3	11,75	5,87
	4	12,75	6,37
<b>A3</b>	5	17,25	8,61
	6	16,25	8,11
<b>A4</b>	7	11,25	5,62
	8	11,75	5,87
<b>A5</b>	5	11,00	5,49
	6	10,00	4,99
<b>A6</b>	7	11,75	5,87
	8	14,50	7,24
	<i>Média</i>	12,21	6,10
	<i>Desv. Pad.</i>	2,60	1,30
	<i>Coef. Var</i>	21,31%	21,31%

Foi observado uma alta variação nos resultados dos ensaios de compressão dos corpos-de-prova de argamassa; entretanto, as tensões médias finais, se comparada com a tensão final das argamassas dos prismas grauteados, a partir do teste t de student, com 95% de confiança, não podem ser consideradas diferentes.

### 5.5.2 Resultado dos grautes dos Prismas Armados

Foram realizados ensaios à compressão axial de 5 corpos-de-prova de cada tipo de graute, conforme descrito em 4.3, sendo que esses corpos-de-prova foram retirados da mesma mistura dos grautes que foram utilizados nos prismas armados. Esses grautes foram executados em três etapas, sendo cada uma referente ao grauteamento de uma taxa de armadura como já foi explicado, totalizando 15 corpos-de-prova de cada tipo de graute.

#### Graute G1

Os resultados de compressão axial do graute G1 são apresentados na Tabela 24, sendo que foi verificada a existência de valores espúrios, e retirados estes do resultado final.

Tabela 24 – Resultados do graute G1.

<i>CP's dos prismas com armadura <math>\rho_1</math></i>			<i>CP's dos prismas com armadura <math>\rho_2</math></i>			<i>CP's dos prismas com armadura <math>\rho_3</math></i>		
<i>CP</i>	<i>Carga (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>	<i>CP</i>	<i>Carga (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>	<i>CP</i>	<i>Carga (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>
1	--	--	1	172,50	21,53	1	145,00	18,10
2	--	--	2	145,00	18,10	2	130,00	16,23
3	--	--	3	164,00	20,47	3	172,00	21,47
4	128,00	15,98	4	124,00	15,48	4	150,00	18,72
5	134,00	16,73	5	124,00	15,48	5	--	--
<i>Média</i>	131,00	16,35	<i>Média</i>	145,90	18,21	<i>Média</i>	149,25	18,63
<i>Desv. Pad. Coef. Var</i>	4,24 3,24%	0,53 3,24%	<i>Desv. Pad. Coef. Var</i>	22,33 15,31%	2,79 15,31%	<i>Desv. Pad. Coef. Var</i>	17,39 11,65%	2,17 11,65%

Foram observadas variações nas médias finais, e valores de coeficientes de variação altos dos grautes G1 nas diferentes fases do grauteamento, contudo, a partir do teste t de student, com 95% de confiança, as médias não podem ser consideradas diferentes.

## Graute G2

Os resultados de compressão axial do graute G2 são apresentados na Tabela 25, tendo sido verificada a existência de valores espúrios, e retirados estes do resultado final.

Tabela 25 – Resultados do graute G2.

<i>CP's dos prismas com armadura <math>\rho_1</math></i>			<i>CP's dos prismas com armadura <math>\rho_2</math></i>			<i>CP's dos prismas com armadura <math>\rho_3</math></i>		
<i>CP</i>	<i>Carga (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>	<i>CP</i>	<i>Carga (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>	<i>CP</i>	<i>Carga (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>
1	180,00	22,47	1	293,00	36,57	1	168,00	20,97
2	214,00	26,71	2	280,00	34,95	2	190,00	23,72
3	250,00	31,21	3	176,00	21,97	3	186,00	23,22
4	167,00	20,85	4	236,00	29,46	4	220,00	27,46
5	153,00	19,10	5	278,00	34,70	5	185,00	23,09
<i>Média</i>	192,80	24,07	<i>Média</i>	252,60	31,53	<i>Média</i>	195,25	24,37
<i>Desv. Pad. Coef. Var</i>	39,16 20,31%	4,89 20,31%	<i>Desv. Pad. Coef. Var</i>	47,88 18,96%	5,98 18,96%	<i>Desv. Pad. Coef. Var</i>	16,64 8,52%	2,08 8,52%

Novamente, foram observadas variações nas médias finais e valores de coeficientes de variação altos dos grautes G2 nas diferentes fases do grauteamento; entretanto, a partir do teste t de student, com 95% de confiança, as médias não podem ser consideradas diferentes.

## 5.6 Resultado dos Prismas Armados $\rho_1$

### 5.6.1 Prismas Armados B1-G1- $\rho_1$

#### Resistência à Compressão Axial – Prismas B1-G1- $\rho_1$

Os procedimentos de ensaios foram os mesmos descritos em 4.4, e os resultados médios estão na Tabela 26, os quais foram verificados não apresentarem dados espúrios.

Tabela 26 – Resultados dos Prismas B1-G1- $\rho_1$ .

<i>CP</i>	<i>Carga de Fissuração (kN)</i>	<i>Carga de Ruptura (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>
<i>Média</i>	325,00	422,50	10,20
<i>Desv. Pad.</i>	35,00	19,84	0,48
<i>Coef. Var</i>	10,77%	4,70%	4,70%

A utilização da armadura  $\rho_1$ , na combinação B1-G1, não resultou em aumento de resistência da alvenaria. A média final obtida nos prismas B1-G1 foi 11,29 MPa, e B1-G1- $\rho_1$  foi 10,20 MPa, podendo-se constatar, assim, a partir do teste t de student, que com 95% de confiança, as médias não podem ser consideradas diferentes, concluindo que a taxa de armadura nessa combinação não alterou a resistência da alvenaria.

#### Deformabilidade – Prismas B1-G1- $\rho_1$

A curva *Tensão x Deformação* da alvenaria (LVDT) de B1-G1- $\rho_1$  e as curvas dos extensômetros (bloco e armadura) são dadas na Figura 46, sendo que o valor de tensão obtido é referente à carga de ruptura, dividida pela área do prisma e as medidas de deformações são individuais de cada instrumento, em todos os prismas.

Observando as curvas verifica-se um comportamento muito próximo da alvenaria (LVDT), com o da unidade (extensômetro do bloco), que também foi observado nas combinações apenas de blocos e grautes. Já a curva referente à armadura apresentou um comportamento distante dos demais elementos.

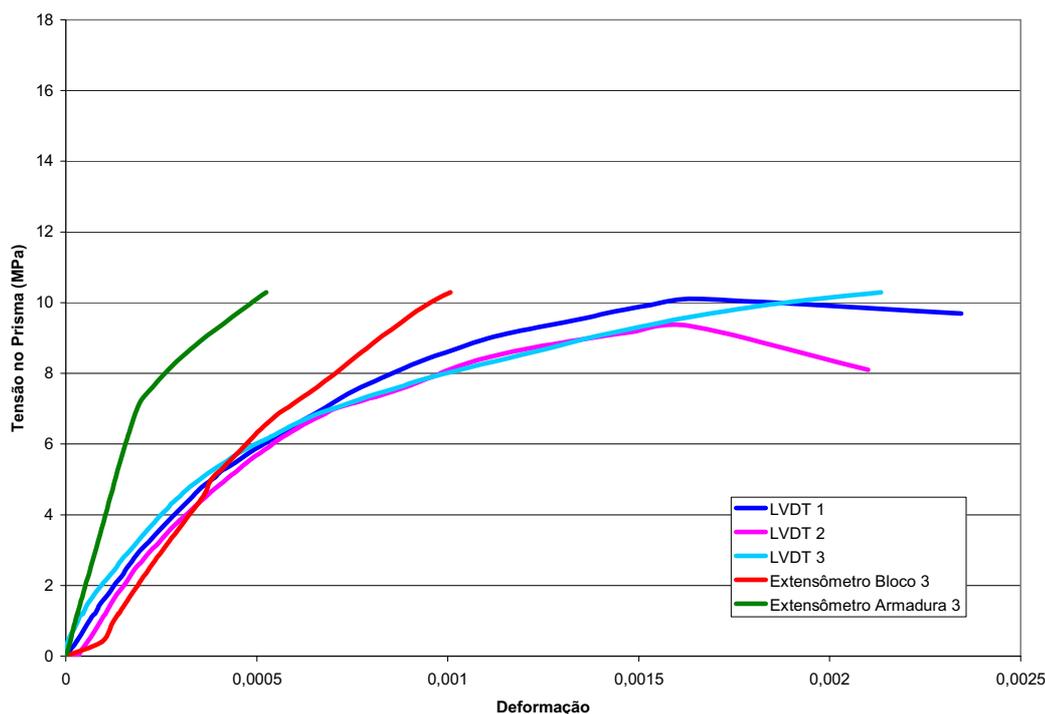


Figura 46 – Gráfico *Tensão x Deformação* dos Prismas B1-G1-ρ<sub>1</sub>.

### 5.6.2 Prismas Armados B2-G1-ρ<sub>1</sub>

#### Resistência à Compressão Axial – Prismas B2-G1-ρ<sub>1</sub>

Os resultados médios de tensões de ruptura se encontram na Tabela 27, sendo que os valores completos estão no anexo.

Tabela 27 – Resultados dos Prismas B2-G1-ρ<sub>1</sub>.

<i>CP</i>	<i>Carga de Fissuração (kN)</i>	<i>Carga de Ruptura (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>
<i>Média</i>	515,83	590,00	14,25
<i>Desv. Pad.</i>	45,43	26,65	0,64
<i>Coef. Var</i>	8,81%	4,52%	4,52%

Novamente, foi obtido um valor de resistência final de B2-G1-ρ<sub>1</sub> (14,25 MPa) inferior ao obtido na combinação B2-G1 (15,33 MPa), sendo que verificando a diferença das médias, a partir do teste t de student, com 95% de confiança não se pode afirmar que as médias são significativamente diferentes, concluindo que a inserção de ρ<sub>1</sub>, nessa alvenaria, não alterou sua resistência.

### Deformabilidade – Prismas B2-G1- $\rho_1$

O gráfico *Tensão x Deformação* da alvenaria, do bloco e da armadura, é dado a seguir, onde novamente a tensão é referente à carga final, dividida pela área do prisma, e as deformações foram obtidas separadamente por cada instrumento.

Observando as curvas de deformação dos prismas, percebe-se um comportamento bastante semelhante das curvas dos LVDT com a do extensômetro, mostrando mesmas deformabilidades nas unidades e alvenaria, como também foi verificado em B2-G1. Novamente, a armadura apresentou comportamento elástico diferente.

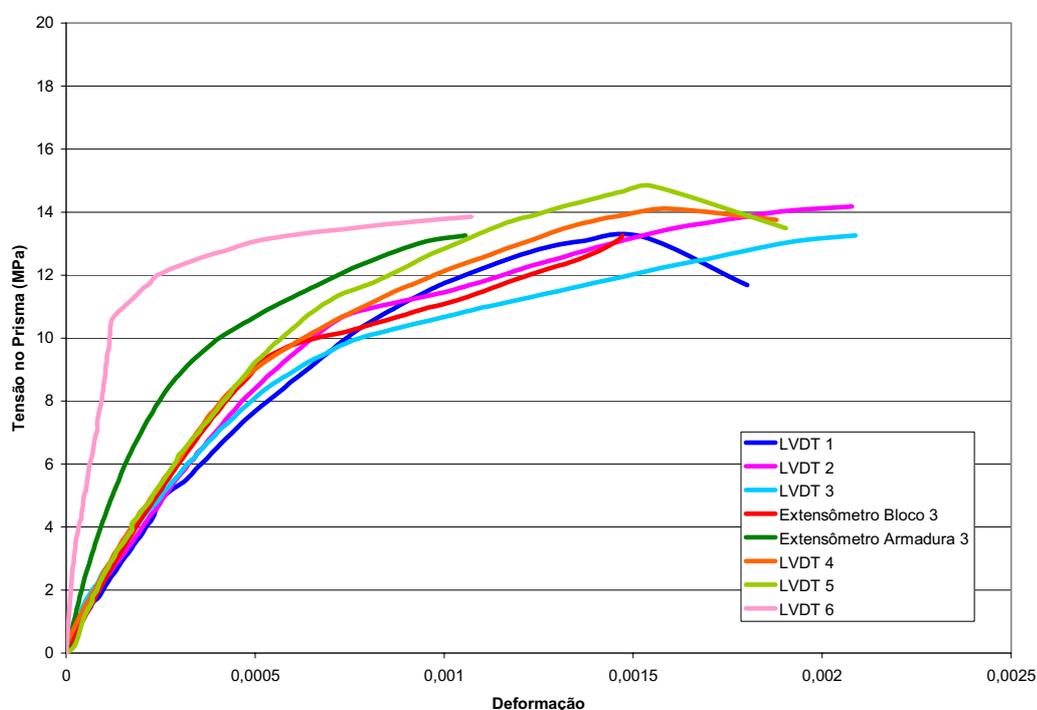


Figura 47 – Gráfico *Tensão x Deformação* do prisma B2-G1- $\rho_1$ .

### 5.6.3 Prismas Armados B1-G2- $\rho_1$

#### Resistência à Compressão Axial – Prismas B1-G2- $\rho_1$

Os resultados médios de compressão axial desses prismas estão na Tabela 28, os quais foram verificados não terem dados espúrios. Os valores completos estão na Tabela 83 em anexo.

Tabela 28 – Resultados dos Prismas B1-G2- $\rho_1$ .

<i>CP</i>	<i>Carga de Fissuração (kN)</i>	<i>Carga de Ruptura (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>
<i>Média</i>	453,33	493,33	11,91
<i>Desv. Pad.</i>	56,86	36,43	0,88
<i>Coef. Var</i>	12,54%	7,38%	7,38%

A tensão média final dos prismas B1-G2- $\rho_1$  (11,91 MPa) obteve um aumento de 13,4% na resistência da alvenaria se comparada com B1-G2 (10,50 MPa); entretanto, verificando a diferença significativa das médias, a partir do teste t de student, com 95% de confiança, elas não podem ser ditas diferentes, concluindo novamente que a utilização de  $\rho_1$  não alterou a carga de ruptura dos prismas.

### Deformabilidade – Prismas B1-G2- $\rho_1$

A curva *Tensão x Deformação* da alvenaria (LVDT) de B1-G2- $\rho_1$  e a curva do extensômetro é dada na Figura 48, com as tensões relativas à área bruta do prisma.

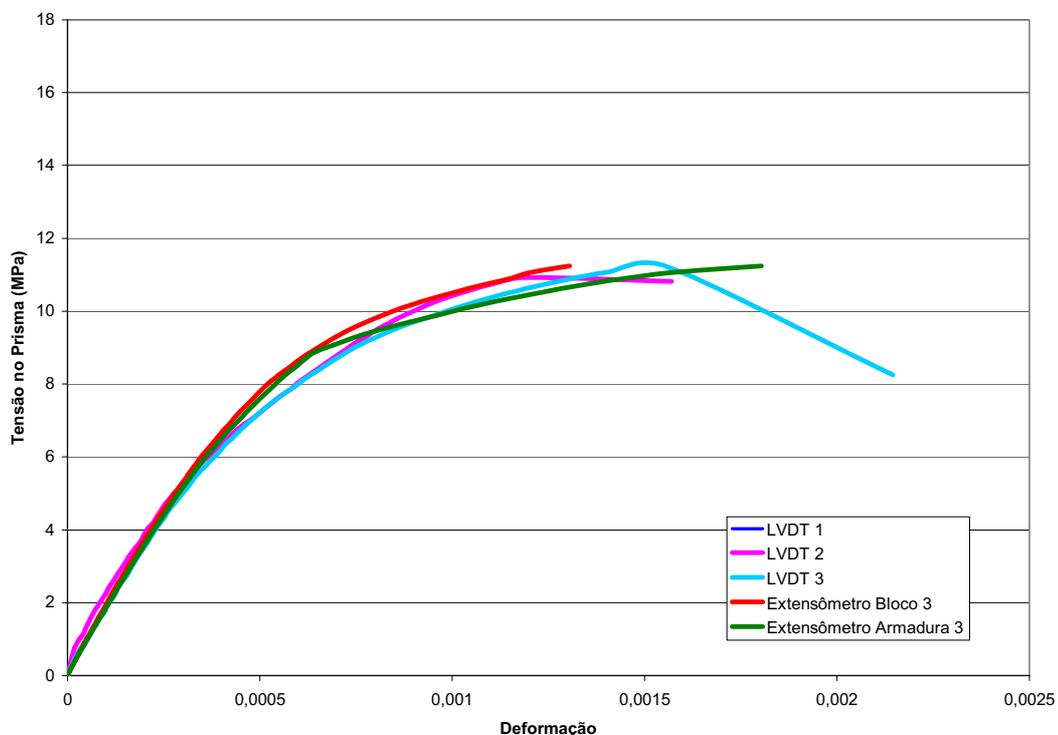


Figura 48 – Gráfico *Tensão x Deformação* dos Prismas B1-G2- $\rho_1$ .

As curvas mostram um comportamento igual de todos os elementos, prismas (LVDT), bloco (extensômetro) e armadura (extensômetro), apresentando deformabilidades iguais.

### 5.6.4 Prismas Armados B2-G2- $\rho_1$

#### Resistência à Compressão Axial – Prismas B2-G2- $\rho_1$

Os resultados médios de tensões de ruptura se encontram na Tabela 29.

Tabela 29 – Resultados dos Prismas B2-G2- $\rho_1$ .

<i>CP</i>	<i>Carga de Fissuração (kN)</i>	<i>Carga de Ruptura (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>
<i>Média</i>	608,33	647,50	15,64
<i>Desv. Pad.</i>	88,69	82,81	2,00
<i>Coef. Var</i>	14,58%	12,79%	12,79%

#### Deformabilidade – Prismas B2-G2- $\rho_1$

A seguir, é apresentado a curva *Tensão x Deformação* dos prismas B2-G2- $\rho_1$ , onde verificou-se, novamente, que as deformações apresentadas pelos prismas e pelo bloco são muito parecidas, enquanto a armadura teve um comportamento menos deformável.

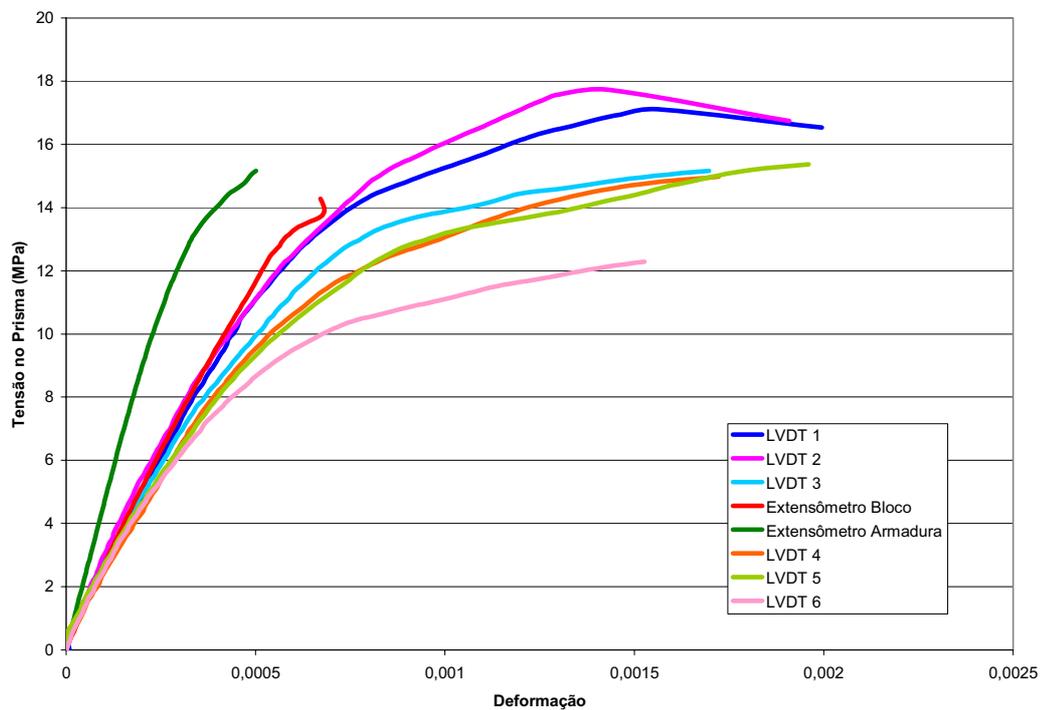


Figura 49 – Gráfico Tensão x Deformação do prisma B2-G2- $\rho_1$ .

### 5.6.5 Modos de Ruptura dos Prismas Armados $\rho_1$

As formas de ruptura dos prismas, com taxa de armadura  $\rho_1$ , foram semelhantes em todas as combinações, sendo caracterizadas pelo aparecimento de uma fissura vertical principal no centro do prisma, que seguia com o aumento do carregamento até levar o prisma à ruptura, e após o surgimento dessa primeira fissura foi comum o aparecimento de fissuras paralelas a ela. Os modos de ruínas são mostrados na Figura 50. Foram verificadas, também, em alguns casos, fissuras verticais nos grautes, principalmente na direção em que estavam contidas as armaduras.

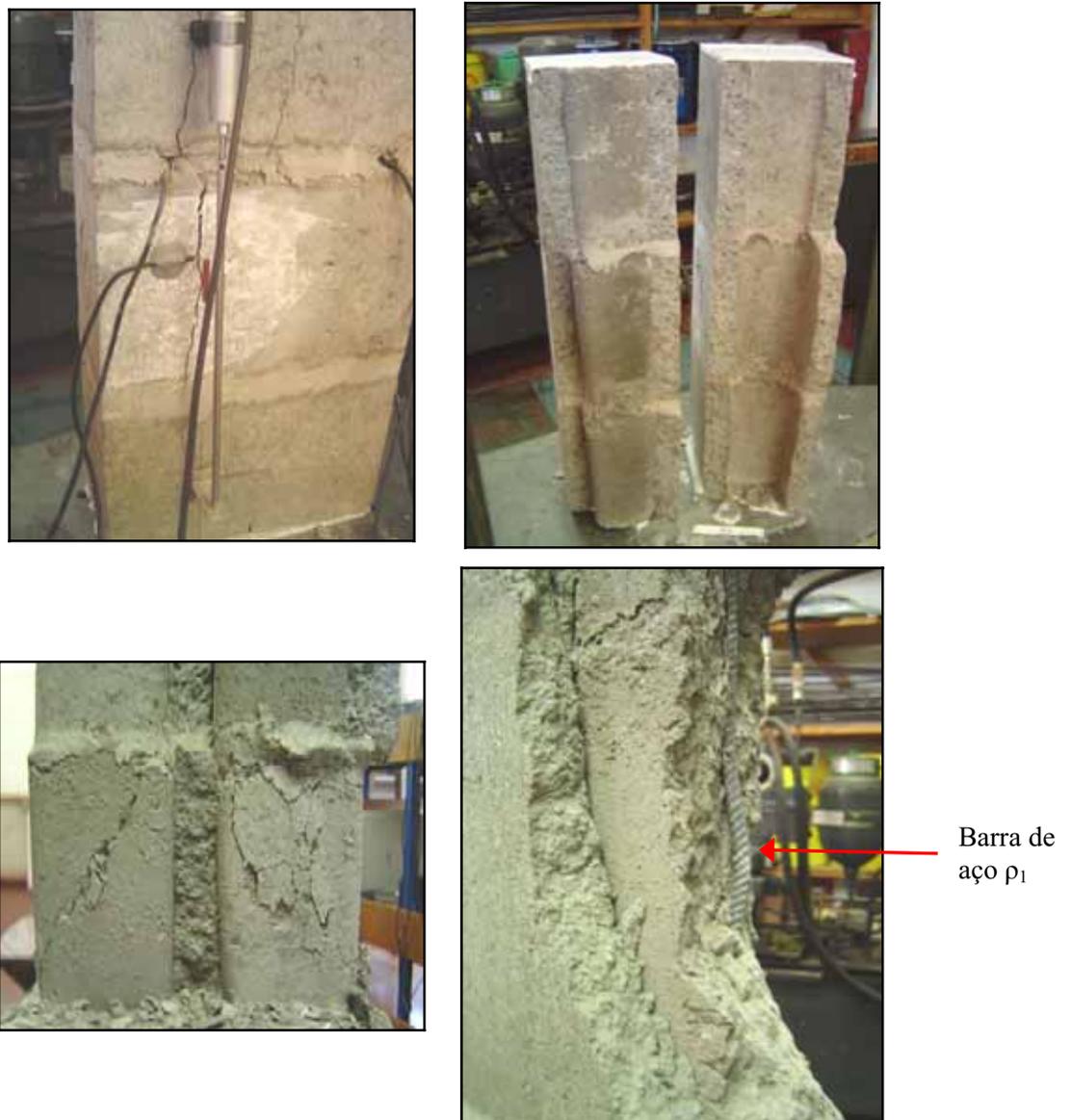


Figura 50 – Modo de ruína dos Prismas  $\rho_1$ .

## 5.7 Resultado dos Prismas Armados $\rho_2$

### 5.7.1 Prismas Armados B1-G1- $\rho_2$

#### Resistência à Compressão Axial – Prismas B1-G1- $\rho_2$

Os procedimentos de ensaios foram os mesmos descritos em 5.4 e os resultados médios estão na Tabela 30, nos quais foi verificada a ausência dados espúrios.

Tabela 30 – Resultados dos Prismas B1-G1- $\rho_2$ .

<i>CP</i>	<i>Carga de Fissuração (kN)</i>	<i>Carga de Ruptura (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>
<i>Média</i>	425,00	471,67	11,39
<i>Desv. Pad.</i>	49,50	40,10	0,97
<i>Coef. Var</i>	11,65%	8,50%	8,50%

Analisando as diferenças das médias finais de ruptura das combinações B1-G1, B1-G1- $\rho_1$  e B1-G1- $\rho_2$ , a partir do teste t de student, com 95% de nível de confiança, não se pode afirmar que elas são diferentes, mostrando assim que não houve acréscimos de resistência à compressão final do prisma com a utilização dessas duas taxas de armaduras.

#### Deformabilidade – Prismas B1-G1- $\rho_2$

A curva *Tensão x Deformação* da alvenaria (LVDT) de B1-G1- $\rho_2$  e a curva do extensômetro são dadas na Figura 51, onde se percebe um comportamento comumente observado, sendo obtidas curvas de deformabilidade dos prismas (LVDT) e do bloco (extensômetro) coincidentes, e a curva da armadura com deformações inferiores às demais. Da mesma maneira dos prismas com armadura  $\rho_1$ , a tensão do gráfico refere-se à carga de ruptura do prisma dividido, pela sua área, com as deformações obtidas separadamente para cada elemento, em todas as combinações.

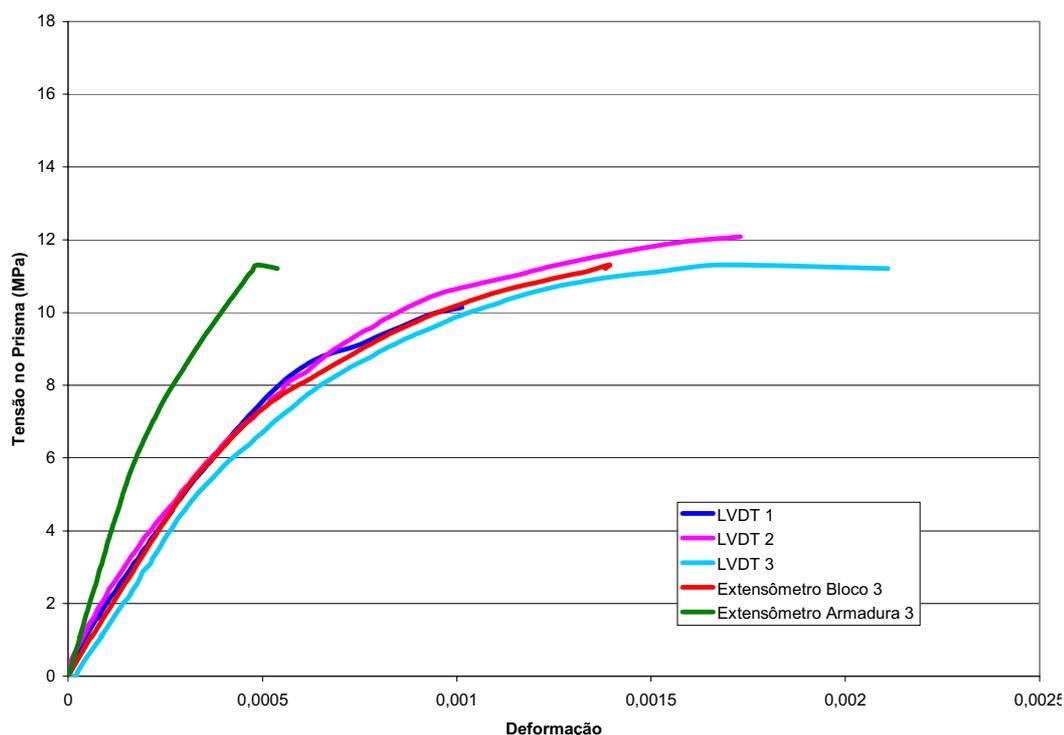


Figura 51 – Gráfico *Tensão x Deformação* dos Prismas B1-G1- $\rho_2$ .

## 5.7.2 Prismas Armados B2-G1- $\rho_2$

### Resistência à Compressão Axial – Prismas B2-G1- $\rho_2$

Os resultados médios de tensões de ruptura se encontram na Tabela 31.

Tabela 31 – Resultados dos Prismas B2-G1- $\rho_2$ .

<i>CP</i>	<i>Carga de Fissuração (kN)</i>	<i>Carga de Ruptura (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>
<i>Média</i>	520,00	574,58	13,87
<i>Desv. Pad.</i>	75,43	54,85	1,32
<i>Coef. Var</i>	14,51%	9,55%	9,55%

### Deformabilidade – Prismas B2-G1- $\rho_2$

A seguir, é apresentado o gráfico *Tensão x Deformação* da alvenaria e da unidade dos prismas B2-G1- $\rho_2$ .

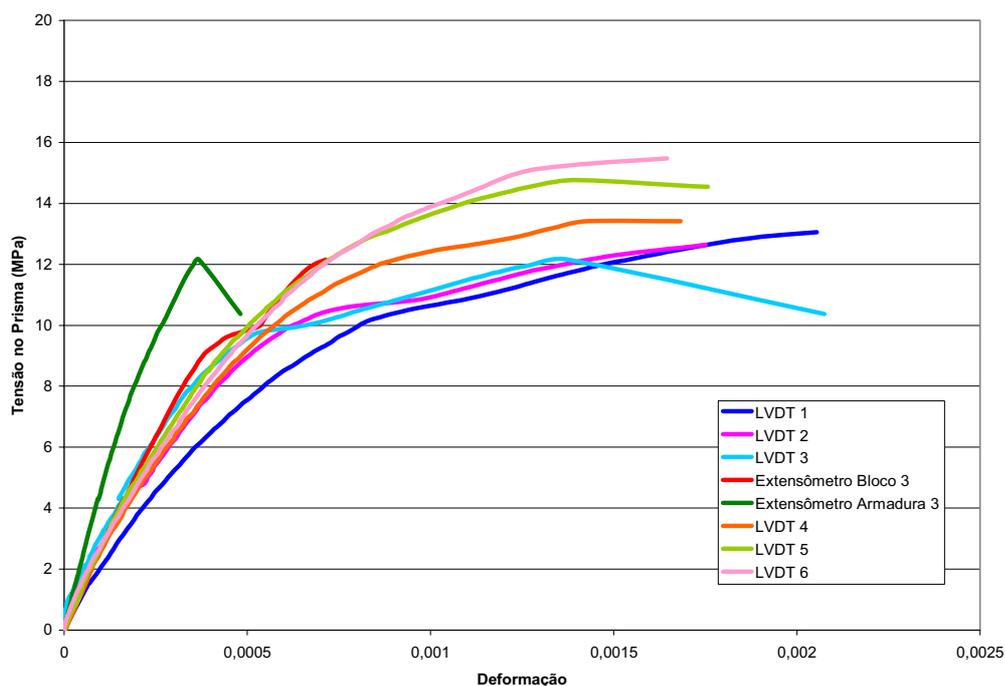


Figura 52 – Gráfico *Tensão x Deformação* do prisma B2-G1- $\rho_2$ .

Apesar de diminuir a resistência final comparada com a combinação correspondente sem armadura, os prismas B2-G1- $\rho_2$  apresentaram o mesmo comportamento de deformabilidade da maioria dos outros prismas armados, curvas de deformação da alvenaria e do bloco próximas, e armadura mais rígida.

### 5.7.3 Prismas Armados B1-G2- $\rho_2$

#### Resistência à Compressão Axial – Prismas B1-G2- $\rho_2$

Os procedimentos de ensaios foram descritos em 4.4, e os resultados médios estão na Tabela 32, nos quais não foram encontrados dados espúrios.

Tabela 32 – Resultados dos Prismas B1-G2- $\rho_2$ .

<i>CP</i>	<i>Carga de Fissuração (kN)</i>	<i>Carga de Ruptura (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>
<i>Média</i>	385,00	456,67	11,03
<i>Desv. Pad.</i>	80,47	40,65	0,98
<i>Coef. Var</i>	20,90%	8,90%	8,90%

Verificadas as tensões de ruptura médias das combinações B1-G2- $\rho_2$ , B1-G2- $\rho_1$  e B1-G2, não são constatadas diferenças significativas, a partir do teste t de student, com 95% de confiança.

### Deformabilidade – Prismas B1-G2- $\rho_2$

A curva *Tensão x Deformação* da alvenaria (LVDT) de B1-G2- $\rho_2$  e a curva do extensômetro são dadas na Figura 53. Observando os resultados dessas curvas, percebe-se que as deformações de prismas, bloco e armadura apresentaram um comportamento de deformabilidade bastante próximo, com deformações semelhantes.

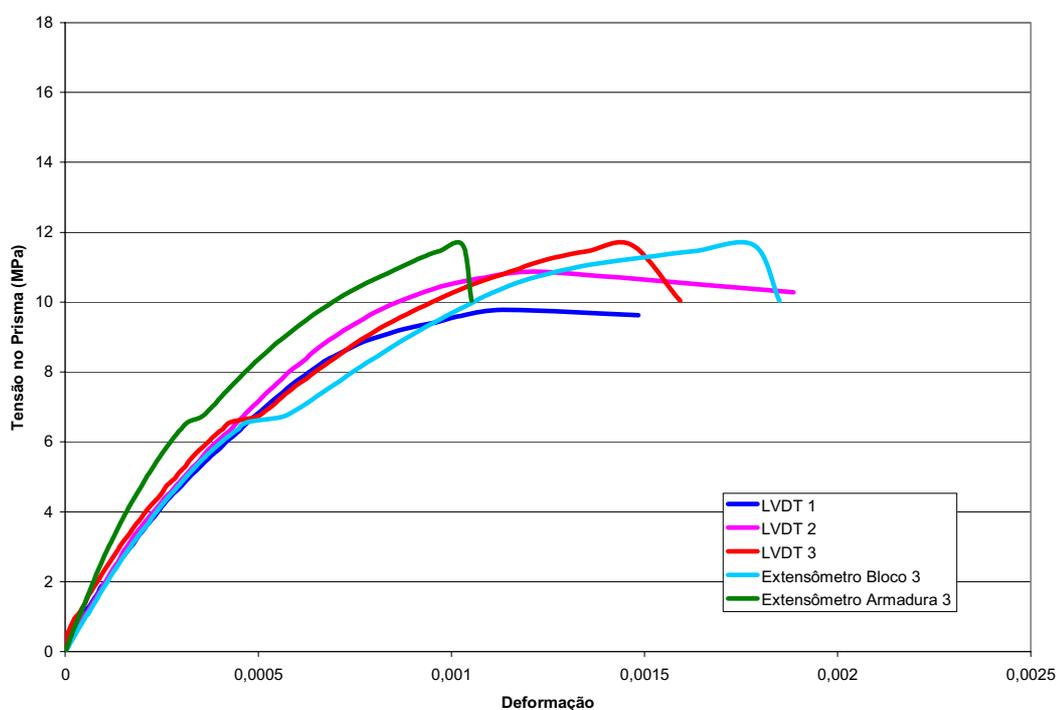


Figura 53 – Gráfico *Tensão x Deformação* dos Prismas B1-G2- $\rho_2$ .

### 5.7.4 Prismas Armados B2-G2- $\rho_2$

#### Resistência à Compressão Axial – Prismas B2-G2- $\rho_2$

Os resultados médios de tensões de ruptura se encontram na Tabela 33, sendo que os valores completos estão na Tabela 88 em anexo. Foi verificado a ausência de valores espúrios.

Tabela 33 – Resultados dos Prismas B2-G2- $\rho_2$ .

<i>CP</i>	<i>Carga de Fissuração (kN)</i>	<i>Carga de Ruptura (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>
<i>Média</i>	531,67	652,08	15,75
<i>Desv. Pad.</i>	99,63	39,41	0,95
<i>Coef. Var</i>	18,74%	6,04%	6,04%

A carga de ruptura dos prismas dessa combinação não mostrou diferenças significativas com as cargas de ruptura dos prismas B2-G2- $\rho_2$  e com B2-G2, concluído através do teste t de student, com 95 % de confiança. Assim, novamente, foi constatada a não influência da taxa de armadura na resistência final dos prismas.

### Deformabilidade – Prismas B2-G2- $\rho_2$

A seguir, é apresentado o gráfico *Tensão x Deformação* da alvenaria e da unidade. Observando as curvas dos prismas, verifica-se que todas elas apresentaram deformações próximas, sendo constatado comportamentos de deformabilidade semelhante nos prismas, blocos e um pouco superior na armadura, como obtido em outras combinações (B2-G1- $\rho_2$ , B1-G2- $\rho_2$  e B1-G2- $\rho_1$ ).

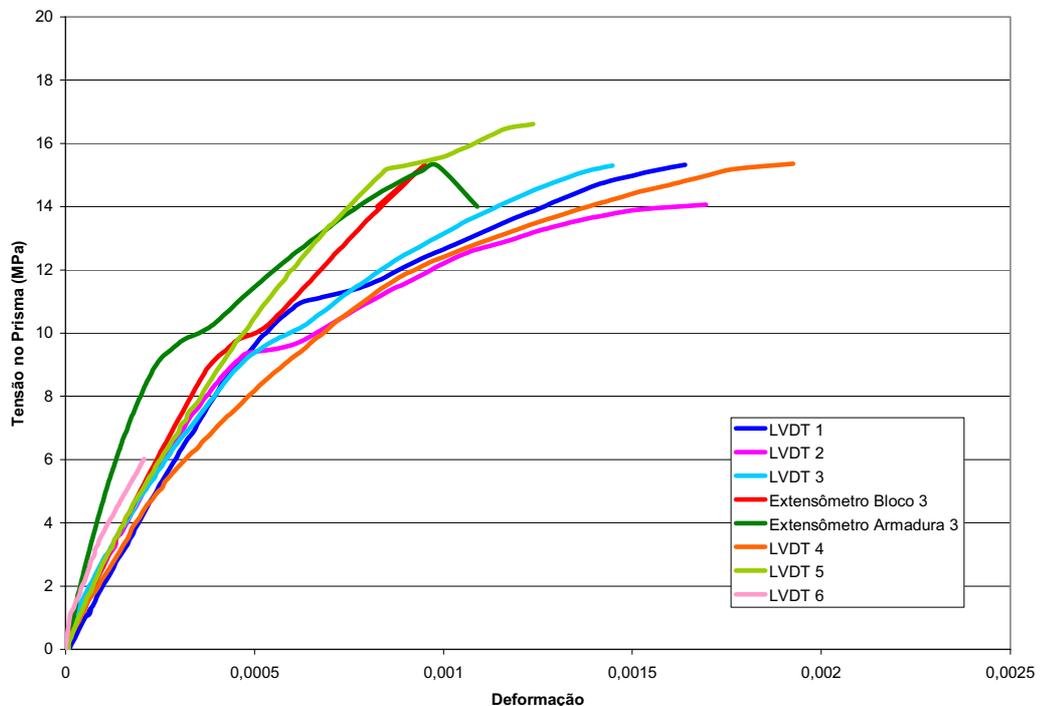


Figura 54 – Gráfico *Tensão x Deformação* do prisma B2-G2- $\rho_2$ .

### 5.7.5 Modos de Ruptura dos Prismas Armados $\rho_2$

As formas de ruína dos prismas em que foi utilizada a taxa de armadura  $\rho_2$  são mostradas na Figura 55. Durante a execução dos ensaios, foi percebido o aparecimento de fissuras verticais no centro do prisma, seguido da abertura de outras fissuras nas faces do prisma, culminando na ruptura do mesmo. Observou-se, também, fissuras e o fendilhamento do graute dos corpos-de-prova, como constatou Gomes (1974, p. 140). Entretanto, não foi notada falha nas barras de aço, permanecendo as barras sem sinais aparentes de ruptura.



Figura 55 – Modo de ruína dos Prismas  $\rho_2$ .

## 5.8 Resultado dos Prismas Armados $\rho_3$

### 5.8.1 Prismas Armados B1-G1- $\rho_3$

#### Resistência à Compressão Axial – Prismas B1-G1- $\rho_3$

Os procedimentos de ensaios foram os mesmos, descritos em 4.4 e os resultados médios estão na Tabela 34, nos quais não foram verificados dados espúrios.

Tabela 34 – Resultados dos Prismas B1-G1- $\rho_3$ .

<i>CP</i>	<i>Carga de Fissuração (kN)</i>	<i>Carga de Ruptura (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>
<i>Média</i>	440,00	488,33	11,73
<i>Desv. Pad.</i>	51,32	20,97	0,51
<i>Coef. Var</i>	11,66%	4,29%	4,32%

#### Deformabilidade – Prismas B1-G1- $\rho_3$

A curva *Tensão x Deformação* da alvenaria (LVDT) de B1-G1- $\rho_3$  e a curva do extensômetro são dadas na Figura 56, onde se observou o comportamento constante dos prismas já estudados, com deformações muito próximas nos prismas (LVDT) e um pouco superior na armadura (extensômetro).

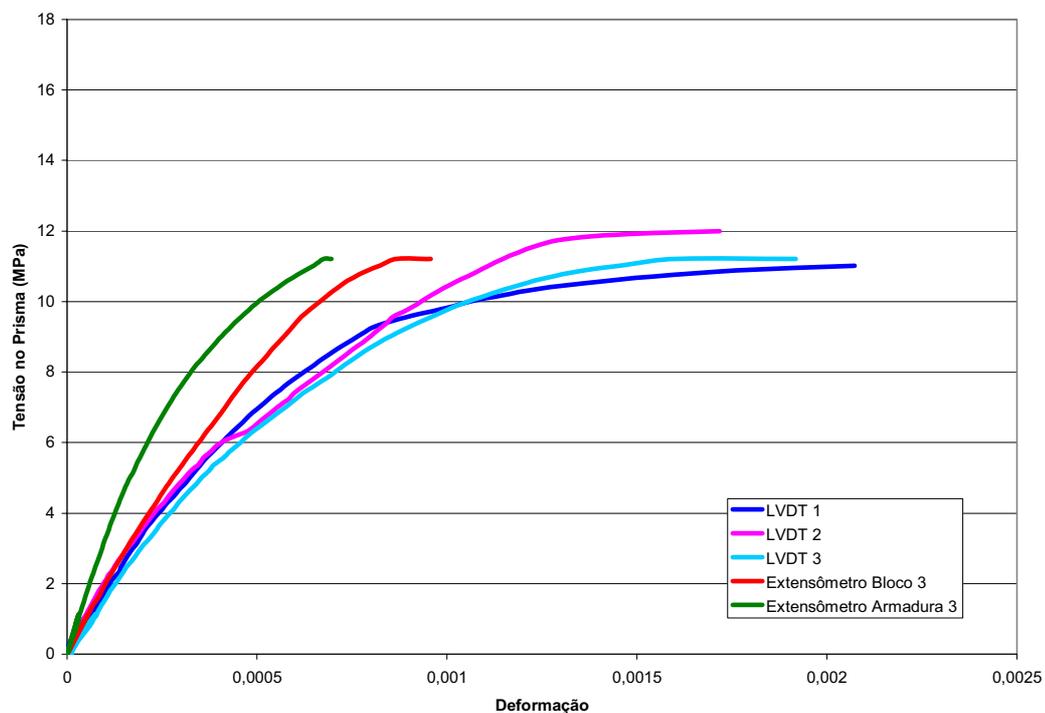


Figura 56 – Gráfico *Tensão x Deformação* dos Prismas B1-G1- $\rho_3$ .

## 5.8.2 Prismas Armados B2-G1- $\rho_3$

### Resistência à Compressão Axial – Prismas B2-G1- $\rho_3$

Os resultados médios de tensões de ruptura se encontram na Tabela 35, sendo que os valores completos estão no anexo.

Tabela 35 – Resultados dos Prismas B2-G1- $\rho_3$ .

<i>CP</i>	<i>Carga de Fissuração (kN)</i>	<i>Carga de Ruptura (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>
<i>Média</i>	<i>577,50</i>	<i>621,67</i>	<i>15,01</i>
<i>Desv. Pad.</i>	<i>25,05</i>	<i>20,35</i>	<i>0,49</i>
<i>Coef. Var</i>	<i>4,34%</i>	<i>3,27%</i>	<i>3,27%</i>

### Deformabilidade – Prismas B2-G1- $\rho_3$

A seguir é apresentado o gráfico *Tensão x Deformação* da alvenaria, da unidade e da armadura.

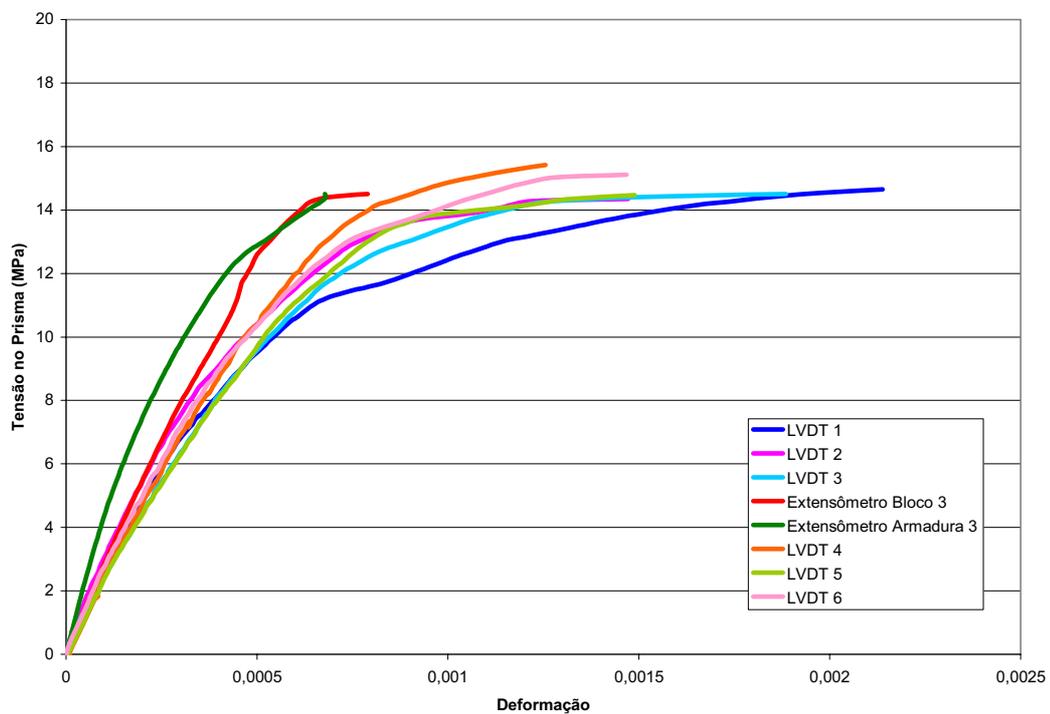


Figura 57 – Gráfico *Tensão x Deformação* do prisma B2-G1- $\rho_3$ .

### 5.8.3 Prismas Armados B1-G2- $\rho_3$

#### Resistência à Compressão Axial – Prismas B1-G2- $\rho_3$

Os procedimentos de ensaios foram descritos em 4.4, e os resultados médios estão na Tabela 36, nos quais não foram verificados dados espúrios.

Tabela 36 – Resultados dos Prismas B1-G2- $\rho_3$ .

<i>CP</i>	<i>Carga de Fissuração (kN)</i>	<i>Carga de Ruptura (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>
<i>Média</i>	<i>416,67</i>	<i>485,83</i>	<i>11,79</i>
<i>Desv. Pad.</i>	<i>14,14</i>	<i>42,52</i>	<i>1,03</i>
<i>Coef. Var</i>	<i>3,39%</i>	<i>8,75%</i>	<i>8,71%</i>

Verificando as médias de rupturas dos prismas de combinação B1-G2, a partir do teste t de student, com 95% de confiança, pôde-se afirmar que todas as médias não são significativamente diferentes, portanto, a inserção das taxas de armadura não representou ganho de resistência dos prismas.

#### Deformabilidade – Prismas B1-G2- $\rho_3$

A curva *Tensão x Deformação* da alvenaria (LVDT) de B1-G2- $\rho_3$  e a curva do extensômetro são dadas na Figura 58. Observando as curvas de B1-G2- $\rho_3$ , pôde-se perceber que as deformações ocorridas em prismas e bloco foram muito próximas, sendo que as curvas se sobrepõem. A armadura apresentou deformações menores, sendo esse comportamento comum à maioria das combinações analisadas.

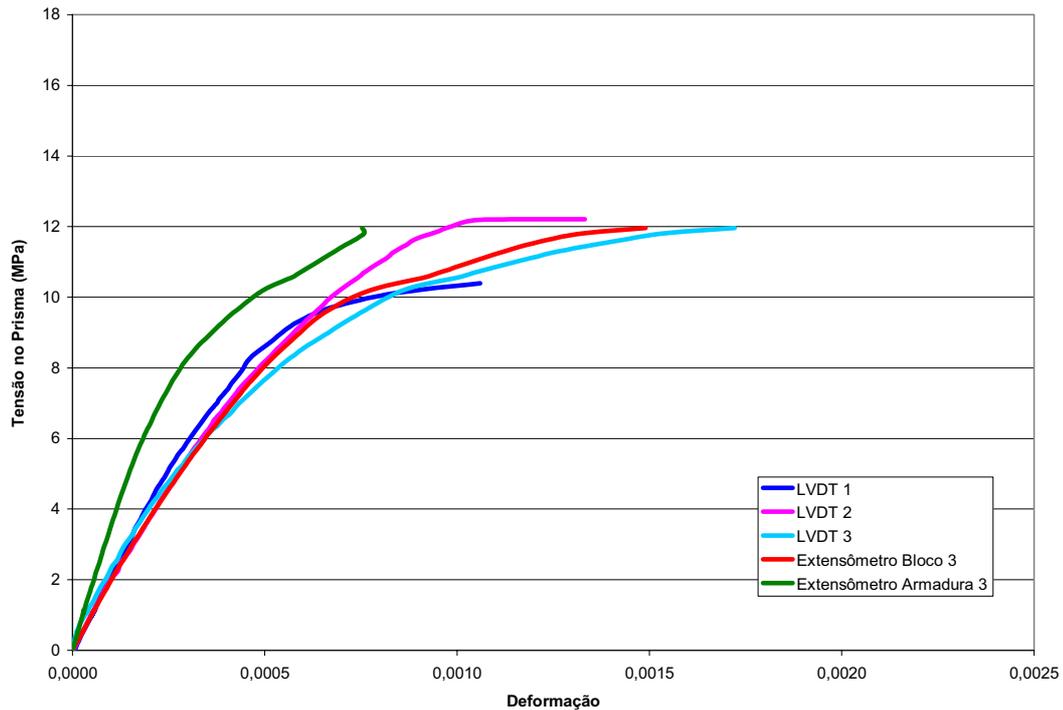


Figura 58 – Gráfico *Tensão x Deformação* dos Prismas B1-G2- $\rho_3$ .

#### 5.8.4 Prismas Armados B2-G2- $\rho_3$

##### Resistência à Compressão Axial – Prismas B2-G2- $\rho_3$

Os resultados médios de tensões de ruptura se encontram na Tabela 37, sendo que os valores completos estão na Tabela 92, em anexo.

Tabela 37 – Resultados dos Prismas B2-G2- $\rho_3$ .

<i>CP</i>	<i>Carga de Fissuração (kN)</i>	<i>Carga de Ruptura (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>
<i>Média</i>	668,33	716,25	17,30
<i>Desv. Pad.</i>	78,66	52,74	1,27
<i>Coef. Var</i>	11,77%	7,36%	7,36%

##### Deformabilidade – Prismas B2-G2- $\rho_3$

A seguir é apresentado o gráfico *Tensão x Deformação* da alvenaria e da unidade. Observando que os comportamentos mantiveram-se comuns às demais combinações, com deformabilidades iguais entre prisma e bloco, e a armadura apresentando-se um pouco mais rígida.

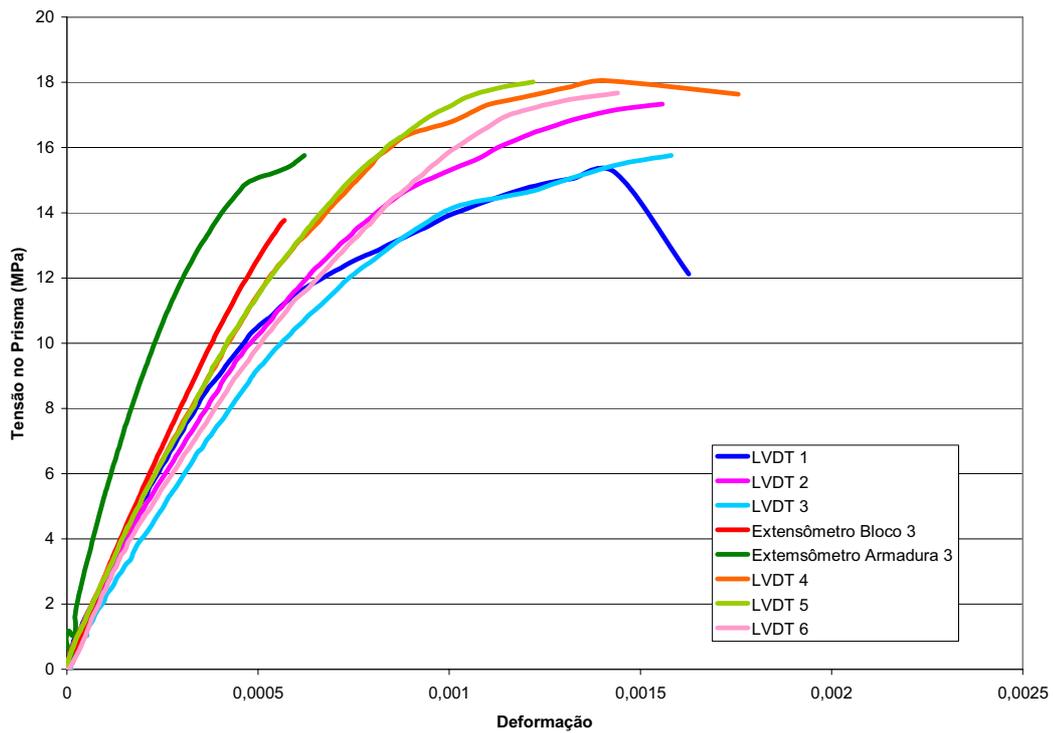


Figura 59 – Gráfico *Tensão x Deformação* do prisma B2-G2- $\rho_3$ .

### 5.8.5 Modos de Ruptura dos Prismas Armados $\rho_3$

As formas de ruína dos prismas armados com  $\rho_3$  podem ser observadas na Figura 60, não apresentando novidades em seus modos de ruptura, se comparados com as demais combinações de prismas armados estudadas.

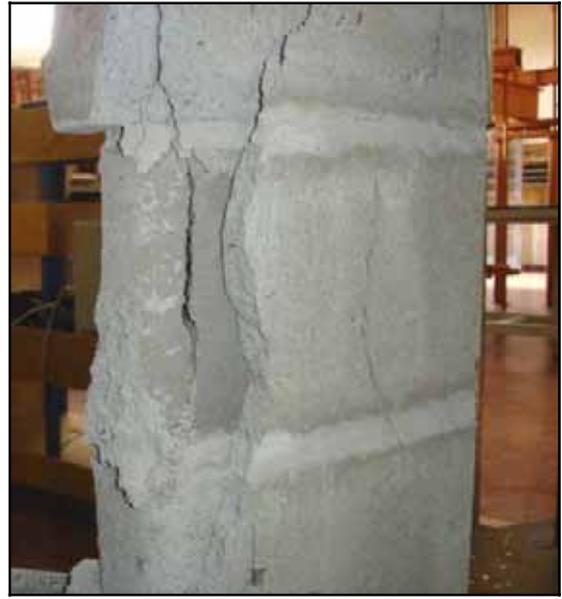


Figura 60 – Modo de ruptura dos Prismas  $\rho_3$ .

## 6. ENSAIOS DE PAREDES VAZIAS E GRAUTEADAS

Esta etapa do trabalho apresenta a montagem e ensaio de pequenos painéis de alvenaria com dimensões de 100 x 90 cm (altura x comprimento), ou seja, são pequenas paredes de alvenaria estrutural de blocos de concreto com três blocos de comprimento e cinco fiadas de altura (blocos de 14 x 19 x 29 cm).

Dando continuidade à proposta do trabalho, será executada paredes vazias, apenas grauteadas e com variadas taxas de armadura, com as mesmas combinações entre blocos, grautes e armaduras utilizadas nos prismas. Neste capítulo serão apresentadas as paredes vazias e com graute.

Serão utilizadas as duas classes de blocos B1 e B2, adotadas durante todo o trabalho. O graute utilizado será apenas um dos dois tipos adotados no trabalho (G1 e G2), sendo aquele que apresentou maior fator de eficiência entre bloco e prisma. As armaduras utilizadas serão as mesmas taxas também adotadas nos prismas ( $\rho_1$ ,  $\rho_2$  e  $\rho_3$ ).

Portanto, serão executadas no total 20 paredes; entretanto, neste capítulo serão apresentadas apenas 8, mostradas a seguir.

Tabela 38 – Planejamento de ensaio das paredes vazias e grauteadas.

<b><i>Corpo-de-prova</i></b>	<b><i>Nº amostras</i></b>	<b><i>Resistências</i></b>	<b><i>Deformações</i></b>
<i>Parede vazia B1</i>	2	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>
<i>Parede vazia B2</i>	2	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>
<i>Parede B1-G1</i>	2	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>
<i>Parede B2-G1</i>	2	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>

Novamente, serão designadas de paredes grauteadas aquelas que contenham apenas o graute inserido, e as paredes chamadas de armadas conterão grautes e armaduras, como nos prismas.

### 6.1 Procedimentos de Execução das Paredes

A execução das paredes foi realizada conforme os procedimentos prescritos pela NBR 8949 (1985, p. 2-5), para preparo e ensaio dos mesmos. Todas as paredes foram executadas por um

único pedreiro, o mesmo que realizou a montagem dos prismas. Foram utilizados prumo e nível para garantir a verticalidade das paredes, e, depois de confeccionadas, elas foram mantidas em ambiente de laboratório, durante o tempo de preparo para o ensaio.

As paredes foram executadas sobre uma base de concreto armado de dimensões 120 x 30 x 40 cm (comprimento x largura x altura) de forma a possibilitar a movimentação e posicionamento delas para o ensaio.



Figura 61 – Montagem das paredes.

## 6.2 Argamassa de Assentamento

A argamassa de assentamento, utilizada nas paredes foi a mesma utilizada nos prismas, sendo seu traço em volume de 1 : 0,5 : 4,5 (cimento : cal : areia fina), e, a/c de 1,27.

### 6.3 Definição dos Grautes

O graute utilizado nas paredes foi apenas um tipo, o G1, com o traço em massa 1: 1,83 : 2,17, com a relação a/c (água/cimento) igual a 0,67, por ter apresentado maior fator de eficiência nos resultados de blocos e prismas.

### 6.4 Grauteamento das Paredes

O grauteamento das paredes foi realizado conforme descrito na norma NBR 8949 (1985, p. 4), sendo tomadas as mesmas precauções dos prismas, como limpar o fundo dos furos e rasar as rebarbas das juntas. Todo grauteamento foi executado em seqüência, sendo retiradas amostras dos grautes, corpos-de-prova 15 x 30 cm, e o lançamento e adensamento foram realizados pelo mesmo operador, com três camadas e 15 golpes por camada.

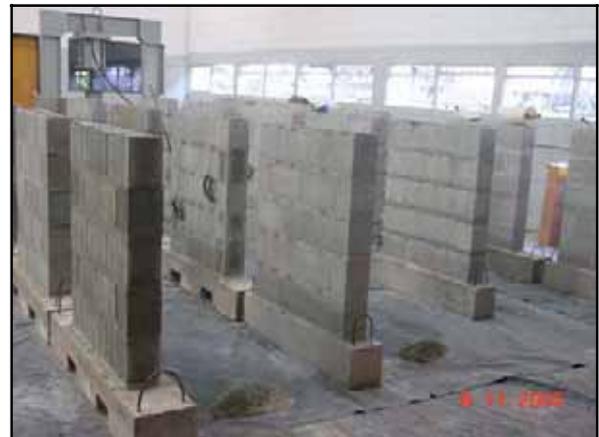


Figura 62 – Grauteamento das paredes.

No capeamento das paredes, utilizou-se pasta de gesso nas proporções 1 : 0,6 ( gesso : água) e foi realizado com uma chapa espessa de vidro e nível.



Figura 63 – Capeamento das paredes.

### **6.5 Procedimento de Ensaio das Paredes - Determinação da Resistência à Compressão Axial e Deformabilidade das Paredes**

Para a determinação da resistência à compressão das paredes, foi adotada os procedimentos preconizados pela norma NBR 8949 (1985, p. 4-6). Os ensaios foram realizados no Laboratório de Engenharia Civil da CESP, em uma prensa universal com capacidade de 5000 kN.

Foram utilizados LVDT, medidores de deslocamentos, para determinar o encurtamento da alvenaria com os acréscimos de carga. Utilizaram-se cantoneiras como gabaritos para fixar os LVDT a uma distância  $L = 80$  cm, na face da parede no segundo vazio do bloco, e na outra face diametralmente oposta, também no segundo vazio do bloco, colocados na primeira e na última fiada da parede, e foi empregada uma haste prolongadora.

Para avaliar a deformação da unidade, foram utilizados extensômetros elétricos colados diretamente nos blocos de terceira fiada da parede, na mesma direção dos LVDT. O extensômetro foi colado em apenas um corpo-de-prova, por combinação. Utilizou-se uma célula de carga com capacidade de 1600 kN, posicionada entre a prensa e o perfil metálico, utilizado para uniformizar o carregamento. Os dados foram capturados pelo sistema de

aquisição DASY LAB 6.0, ao qual foram ligados os LVDT, extensômetros elétricos e a célula de carga.



Figura 64 – Equipamento de ensaio das paredes.

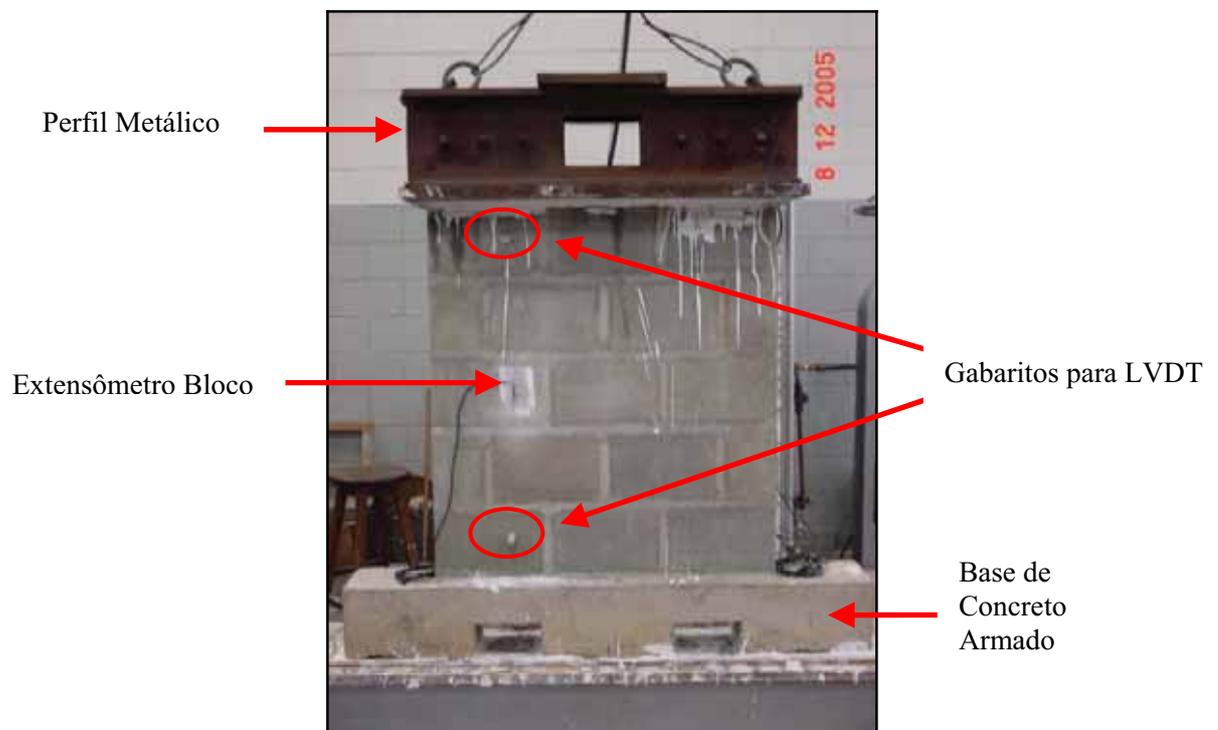


Figura 65 – Posicionamento das paredes.

## 6.6 Resultados dos Componentes

### 6.6.1 Resultado da Argamassa das Paredes Vazias e Grauteadas

Durante a execução das 20 paredes, foram retirados 16 corpos-de-prova de 5 x 10 cm da argamassa de assentamento utilizada, e os resultados médios são mostrados a seguir, tendo sido verificado não existirem valores espúrios.

Tabela 39 – Resultado das argamassas das paredes.

<i>CP</i>	<i>Carga de Ruptura (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>
<i>Média</i>	<i>11,06</i>	<i>5,52</i>
<i>Desv. Pad.</i>	<i>2,27</i>	<i>1,13</i>
<i>Coef. Var</i>	<i>20,54%</i>	<i>20,54%</i>

### 6.6.2 Resultado dos Grautes das Paredes Grauteadas

Foram realizados ensaios à compressão axial de 6 corpos-de-prova de graute, sendo que esses corpos-de-prova foram retirados na ocasião do grauteamento dos prismas, e os resultados são mostrados abaixo.

Tabela 40 – Resultados dos grautes das paredes.

<i>CP</i>	<i>Carga de Ruptura (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>
<i>Média</i>	<i>345,17</i>	<i>19,15</i>
<i>Desv. Pad.</i>	<i>27,16</i>	<i>1,51</i>
<i>Coef. Var</i>	<i>7,87%</i>	<i>7,87%</i>

## 6.7 Resultado das Paredes Vazias

### 6.7.1 Parede Vazia B1

#### Resistência à Compressão Axial – Parede Vazia B1

A Tabela 41 mostra os resultados completos dos ensaios de compressão axial realizados nas paredes Vazias B1, que apresentou um coeficiente de variação bastante baixo.

Tabela 41 – Resultados das paredes Vazias B1.

<i>CP</i>	<i>Carga de Ruptura (kN)</i>	<i>Resistência (MPa) (A Líquida)</i>	<i>Resistência (MPa) (A Bruta)</i>
<i>B1-Vazia</i>	535,46	7,67	4,31
<i>B1-Vazia</i>	555,33	7,96	4,47
<i>Média</i>	545,40	7,81	4,39
<i>Desv. Pad.</i>	14,06	0,20	0,11
<i>Coef. Var</i>	2,58%	2,58%	2,58%

### Deformabilidade – Paredes Vazias B1

O gráfico da curva *Tensão x Deformação* das paredes vazias B1 é mostrado na Figura 66, com relação à área líquida e bruta da parede, respectivamente. A tensão observada no gráfico é com relação à carga de ruptura da parede, dividida pela sua área (líquida e bruta); e as deformações medidas foram obtidas individualmente por cada instrumento, LVDT e extensômetro (bloco e armadura), em todas as paredes ensaiadas, da mesma maneira adotadas nos resultados dos prismas.

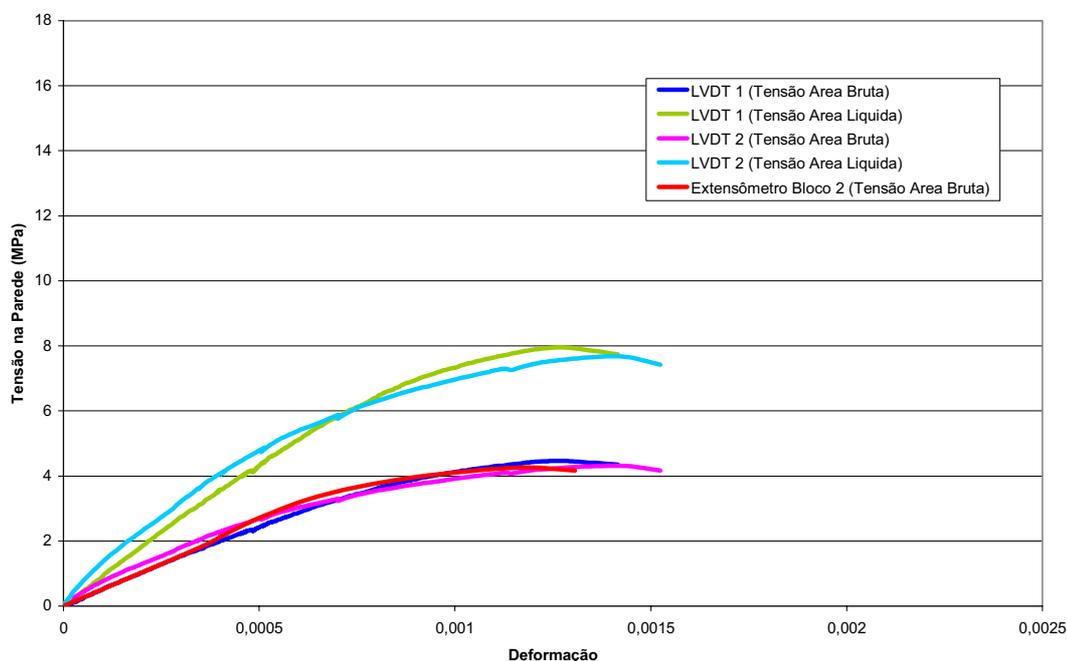


Figura 66 – Gráfico *Tensão x Deformação* das paredes Vazias B1.

## 6.7.2 Parede Vazia B2

### Resistência à Compressão Axial – Parede Vazia B2

A Tabela 42 mostra os resultados completos das paredes Vazias B2, apresentando, novamente, um baixo coeficiente de variação, demonstrando uma boa eficiência dos ensaios.

Tabela 42 – Resultados das paredes Vazias B2.

<i>CP</i>	<i>Carga de Ruptura (kN)</i>	<i>Resistência (MPa) (A Líquida)</i>	<i>Resistência (MPa) (A Bruta)</i>
<i>B2-Vazia</i>	<i>1050,00</i>	<i>11,85</i>	<i>8,45</i>
<i>B2-Vazia</i>	<i>985,00</i>	<i>11,11</i>	<i>7,93</i>
<i>Média</i>	<i>1017,50</i>	<i>11,48</i>	<i>8,19</i>
<i>Desv. Pad.</i>	<i>45,96</i>	<i>0,52</i>	<i>0,37</i>
<i>Coef. Var</i>	<i>4,52%</i>	<i>4,52%</i>	<i>4,52%</i>

### Deformabilidade – Paredes Vazias B2

O gráfico *Tensão x Deformação* das paredes Vazias B2 é mostrado a seguir, onde se observa um comportamento muito próximo das duas paredes ensaiadas com as tensões referentes à área líquida e bruta, e as curvas *Tensão x Deformação* da alvenaria (LVDT) e do bloco (extensômetro) são também muito semelhantes, assim como o obtido para as paredes Vazias B1.

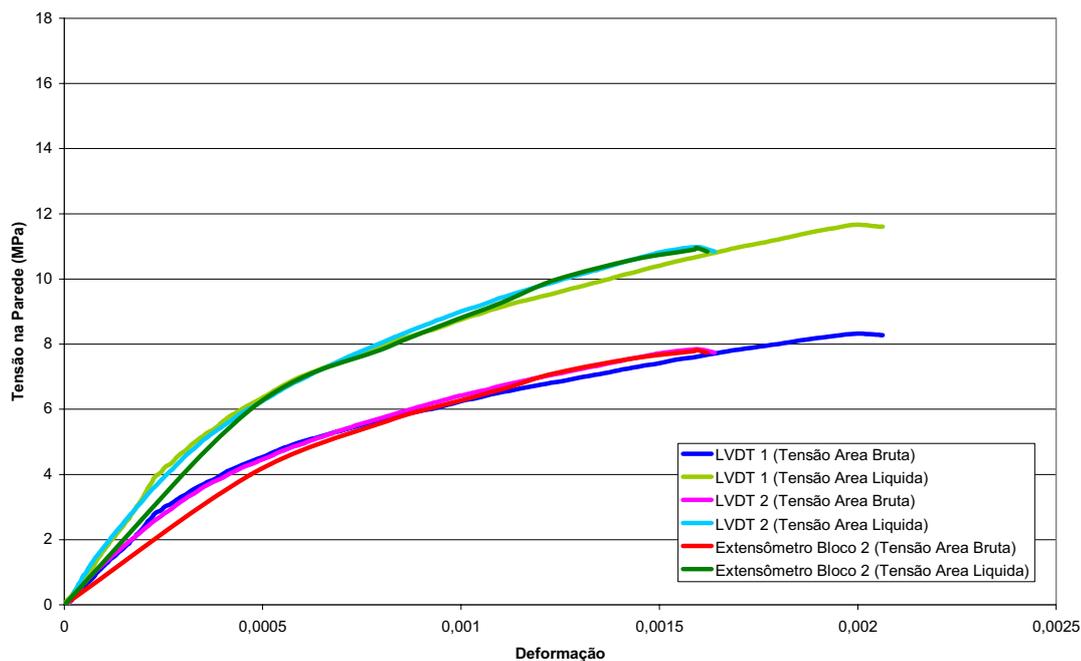


Figura 67 – Gráfico *Tensão x Deformação* das paredes Vazias B2.

### 6.7.3 Formas de Ruptura das Paredes Vazias

Os modos de ruptura das paredes ocorreram com pouco aparecimento de fissuras visíveis nas paredes; de maneira geral ocorreu de forma brusca e não avisada nas fiadas inferiores das paredes, acontecendo o rompimento do conjunto da alvenaria, ou seja, blocos e juntas de argamassa, conforme observado, também, por MAURÍCIO (2005, p. 81). As formas de ruína podem ser observadas abaixo.



Figura 68 – Formas de ruína das paredes vazias.

### 6.7.4 Parede B1-G1

#### Resistência à Compressão Axial – Parede B1-G1

A Tabela 43 mostra os resultados completos das paredes grauteadas B1-G1, onde se verificou um coeficiente de variação próximo a zero. O grauteamento das paredes Vazias B1 representaram um ganho de resistência de 44% com relação à área bruta.

Tabela 43 – Resultados das paredes B1-G1.

<i>CP</i>	<i>Carga de Ruptura (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>
<i>B1-G1</i>	<i>975,25</i>	<i>7,85</i>
<i>B1-G1</i>	<i>976,49</i>	<i>7,86</i>
<i>Média</i>	<i>975,87</i>	<i>7,86</i>
<i>Desv. Pad.</i>	<i>0,88</i>	<i>0,01</i>
<i>Coef. Var</i>	<i>0,09%</i>	<i>0,09%</i>

## Deformabilidade – Paredes B1-G1

A curva *Tensão x Deformação* das paredes B1-G1 é mostrada na Figura 69, apresentando deformabilidade bastante próxima para as duas alvenarias (LVDT) e também para o bloco (extensômetro). Nos resultados de prismas e paredes armadas a tensão é relativa a carga final, dividida pela área do corpo-de-prova, já as deformações são individuais.

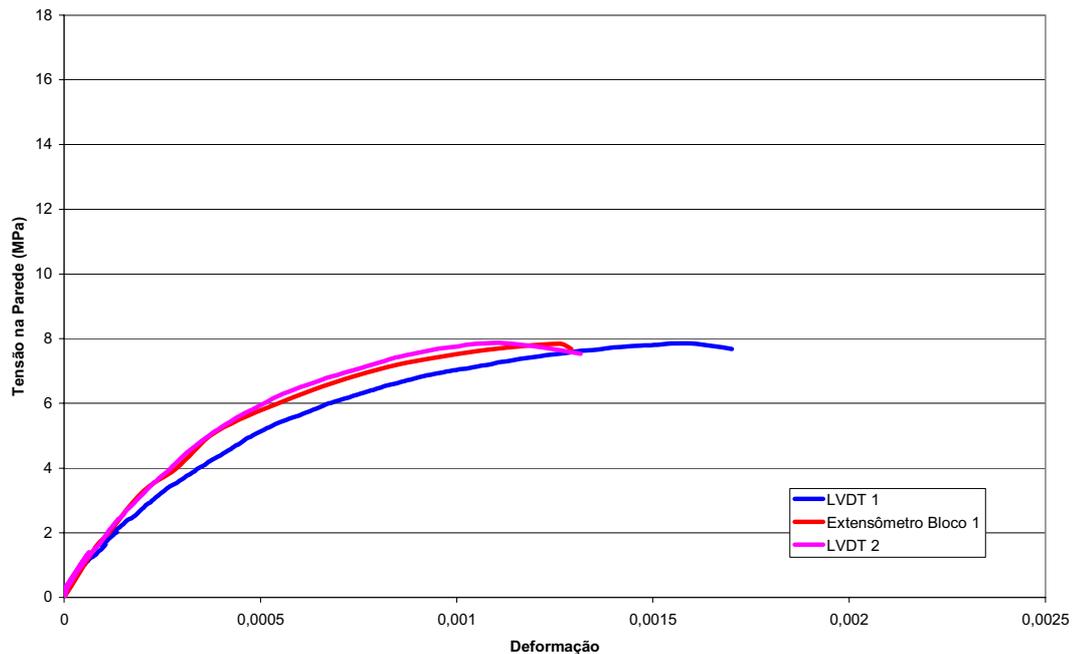


Figura 69 – Gráfico *Tensão x Deformação* das paredes B1-G1.

## 6.7.5 Parede B2-G1

### Resistência à Compressão Axial – Parede B2-G1

A Tabela 53 mostra os resultados completos das paredes B2-G1. Verificando que o grauteamento das paredes vazias B2 representou um ganho de 46% na resistência final da alvenaria com relação à área bruta das paredes vazias, e, novamente, tiveram baixos coeficientes de variação.

Tabela 44 – Resultados das paredes B2-G1.

<i>CP</i>	<i>Carga de Ruptura (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>
<i>B2-G1</i>	<i>1820,00</i>	<i>14,65</i>
<i>B2-G1</i>	<i>1950,00</i>	<i>15,70</i>
<i>Média</i>	<i>1885,00</i>	<i>15,17</i>
<i>Desv. Pad.</i>	<i>91,92</i>	<i>0,74</i>
<i>Coef. Var</i>	<i>4,88%</i>	<i>4,88%</i>

## Deformabilidade – Paredes B2-G1

O gráfico *Tensão x Deformação* das paredes B2-G1 é mostrado abaixo, onde se observa um comportamento muito próximo das duas paredes ensaiadas e também um comportamento de deformabilidade muito semelhante entre alvenaria (LVDT) e bloco (extensômetro).

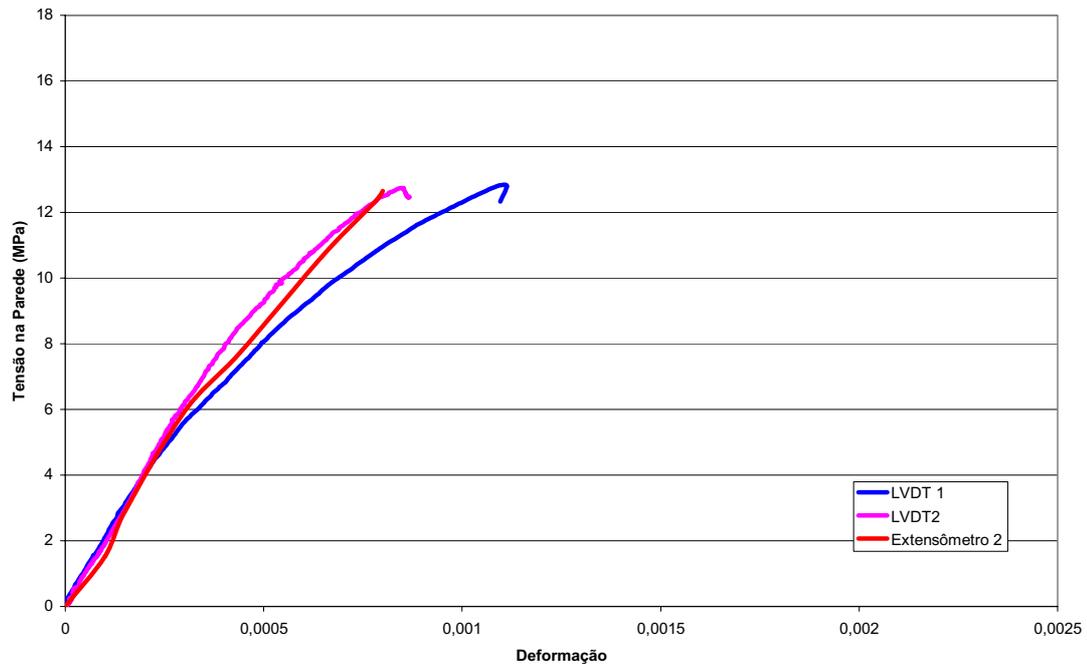


Figura 70 – Gráfico *Tensão x Deformação* das paredes B2-G1.

### 6.7.6 Formas de Ruptura das Paredes Grauteadas

As paredes grauteadas, assim como as paredes vazias, não apresentaram fissuração visível antes do momento da ruptura, sendo que as fissuras surgiram seguidas pela ruptura da parede. Essas fissuras apresentaram-se a  $45^{\circ}$  da extremidade das paredes, subindo às fiadas superiores, sendo verificado, em alguns casos, o deslocamento das paredes dos blocos e o graute no interior da parede sem fissuras visíveis.



Figura 71 – Formas de ruínas das paredes grauteadas.

## 7. ENSAIOS DAS PAREDES ARMADAS

Neste capítulo serão apresentadas as paredes armadas, nas quais foram adotadas as taxas de armadura já definidas e utilizadas nos prismas, anteriormente mostrados, empregando apenas um tipo de graute (G1), combinado com as duas classes de blocos (B1 e B2).

Portanto, foram executadas paredes de blocos (B1 e B2) com o graute G1, como mostradas no capítulo anterior, e a elas inseridas as taxas de armaduras  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  e  $\rho_3$ , definidas e utilizadas nos prismas, sendo um total de 12 paredes armadas.

Tabela 45 – Ensaio das paredes armadas.

<i>Corpo-de-prova</i>	<i>Nº amostras</i>	<i>Resistências</i>	<i>Deformações</i>
<i>Parede B1-G1-<math>\rho_1</math></i>	2	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>
<i>Parede B1-G1-<math>\rho_2</math></i>	2	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>
<i>Parede B1-G1-<math>\rho_3</math></i>	2	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>
<i>Parede B2-G1-<math>\rho_1</math></i>	2	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>
<i>Parede B2-G1-<math>\rho_2</math></i>	2	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>
<i>Parede B2-G1-<math>\rho_3</math></i>	2	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>

A execução das paredes foi realizada segundo os mesmos procedimentos definidos anteriormente, sendo que as 20 paredes foram montadas em uma única etapa. A argamassa utilizada foi a mesma, com traço em volume de 1 : 0,5 : 4,5 (cimento : cal : areia), com a/c de 1,27, adotando os mesmos materiais. Na ocasião da montagem das paredes, foram retirados corpos-de-prova cilíndricos de 5 x 10 cm e ensaiados à compressão.

O graute utilizado foi o mesmo traço (G1), utilizando-se também os mesmos materiais e novamente retiraram-se corpos-de-prova cilíndricos (15 x 30 cm) para ensaio. As armaduras utilizadas foram também as mesmas bitolas comerciais, aumentando-se apenas a quantidade, estas são mostradas a seguir.

Tabela 46 – Definição das armaduras.

<i>Taxa de Armadura</i>	<i>Área de aço (cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Armadura executada</i>
<i><math>\rho_1 = 0,15\%</math></i>	<i>1,89</i>	<i>6 <math>\Phi</math> 6,3 mm</i>
<i><math>\rho_2 = 0,40\%</math></i>	<i>4,80</i>	<i>6 <math>\Phi</math> 10,0 mm</i>
<i><math>\rho_3 = 1,0\%</math></i>	<i>12,00</i>	<i>6 <math>\Phi</math> 16,0 mm</i>

Para a verificação das deformações ocorridas nas armaduras, novamente, foram instrumentadas barras de aço com extensômetros elétricos colados a elas, tornando possível a verificação das deformações ocorridas nas barras das paredes, com o acréscimo de tensões ao corpo-de-prova, sendo instrumentadas duas barras de cada tipo de parede.

A preparação, instrumentação e proteção das barras foram realizadas da mesma forma adotada para os prismas, e já descrito. Antes da realização do grauteamento das paredes, as barras instrumentadas foram aferidas, sendo dado suas curvas a seguir.

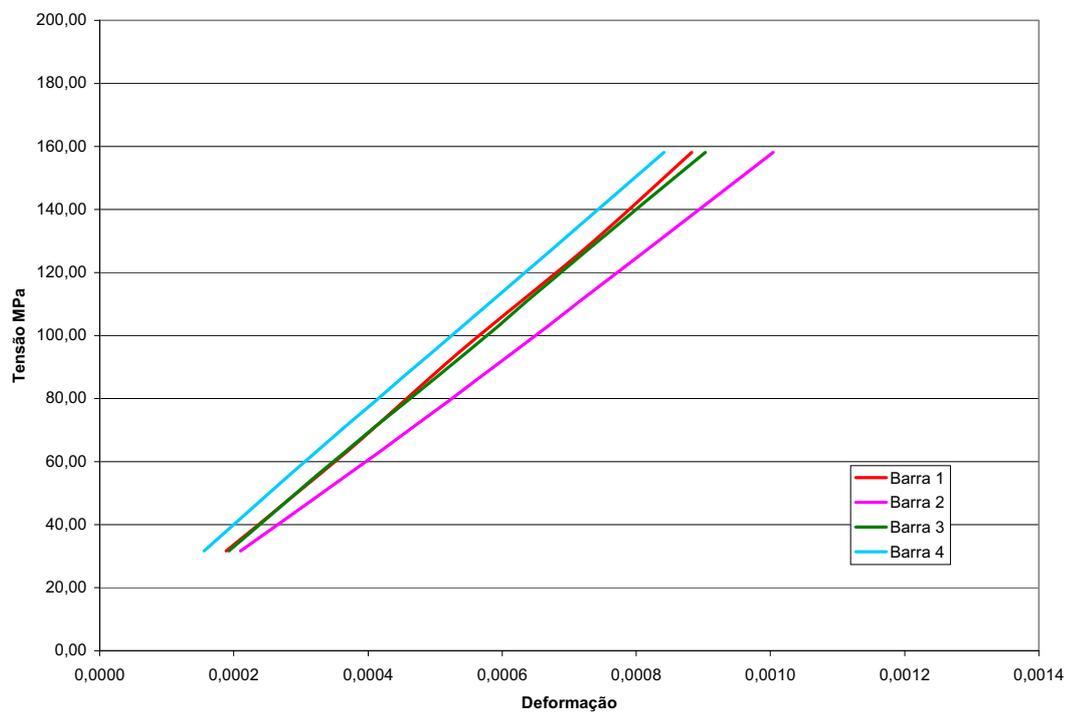


Figura 72 – Curva *Tensão x Deformação* de  $\rho_1$ .

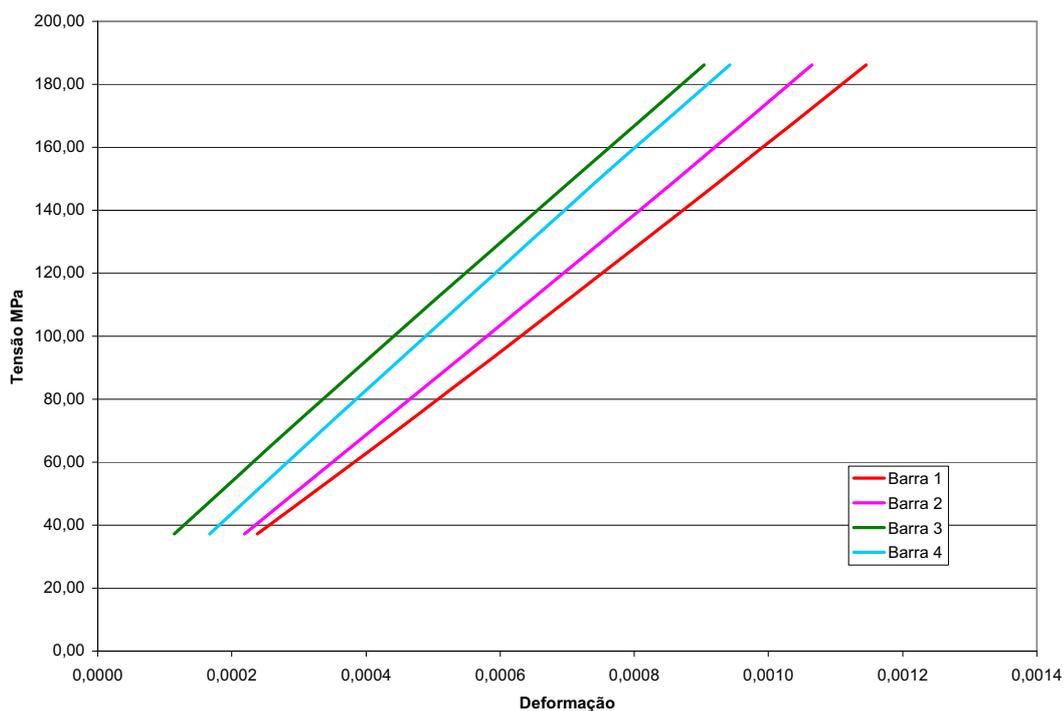


Figura 73 – Curva *Tensão x Deformação* de  $\rho_2$ .

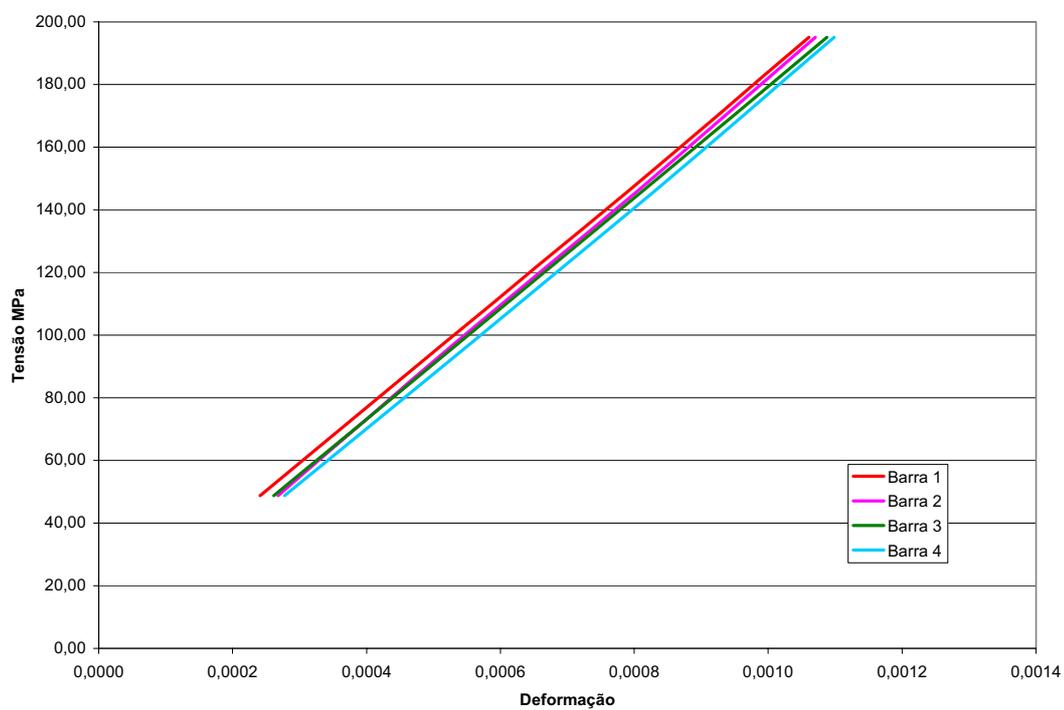


Figura 74 – Curva *Tensão x Deformação* de  $\rho_3$ .

Antes da realização da armação e grauteamento das paredes, as barras foram cortados e preparados gabaritos horizontais que as mantivessem na posição vertical no centro dos vazios.

Posicionadas as barras, foram grauteadas e capeadas as paredes em uma única etapa, da mesma maneira que foi realizada com as paredes apenas grauteadas.

Nas paredes que continham as barras instrumentadas, os fios de ligação foram passados sempre pela junta superior de argamassa, como mostra a Figura 75, mantendo-se os mesmos procedimentos de ensaios utilizados nas paredes vazias e apenas grauteadas.

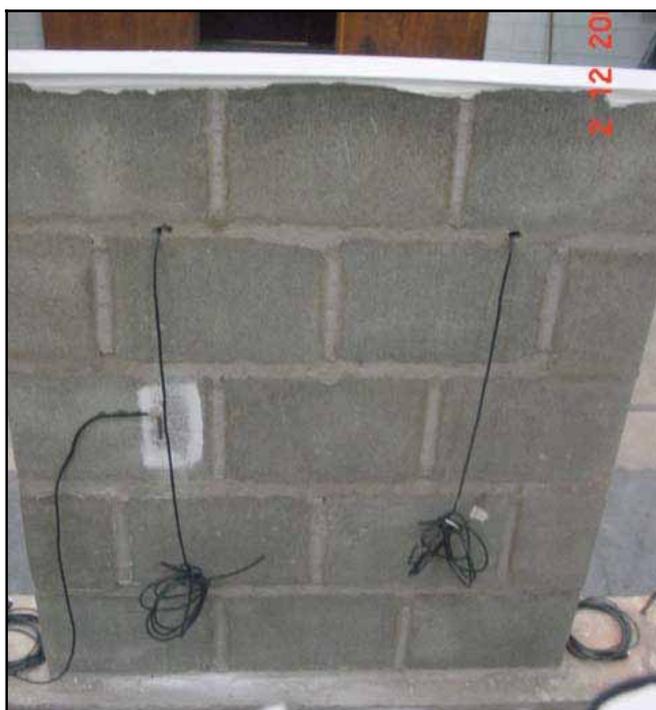


Figura 75 – Parede instrumentada.

## **7.1 Determinação da Resistência à Compressão Axial e Deformabilidade das Paredes**

A determinação da resistência à compressão e a deformabilidade das paredes foram realizadas conforme citado em 6.5, utilizando medidores de deformação da alvenaria (LVDT) e célula de carga em todas as paredes, algumas contendo também extensômetro elétrico. Todos os dados foram adquiridos pelo sistema de aquisição citado.

Nos corpos-de-prova, que continham as barras instrumentadas, foram colados também extensômetros elétricos nos blocos, conforme descrito em 6.5, visando avaliar os quinhões de

carga que foram absorvidos por cada um dos elementos constituintes da parede (bloco e armadura).

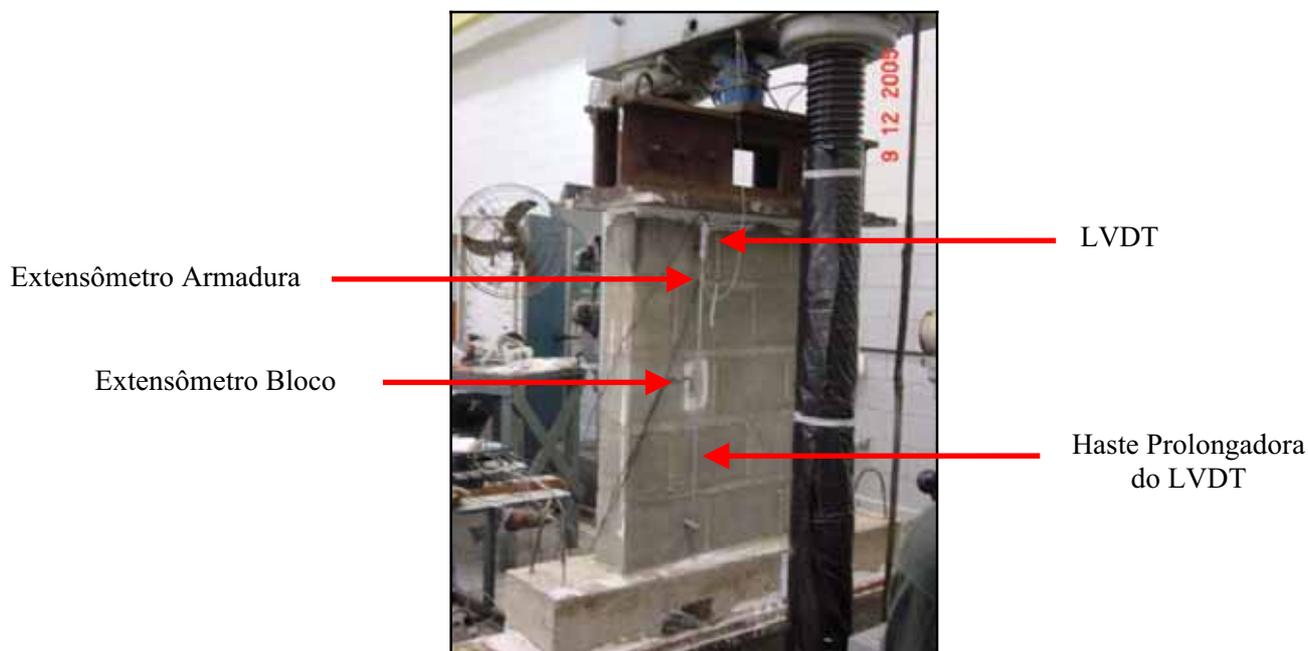


Figura 76 – Esquema de ensaios das paredes armadas.

## 7.2 Resultados dos componentes

### 7.2.1 Resultado da Argamassa das Paredes Armadas

Como explicado, anteriormente, as 20 paredes foram executadas em uma única etapa, sendo retirados nesse período, 16 corpos-de-prova de argamassa, sendo que os resultados da argamassa de assentamento das paredes armadas são os mesmos das paredes vazias e grauteadas, mostrados novamente a seguir.

Tabela 47 – Resultado da argamassa das paredes armadas.

<i>CP</i>	<i>Carga de Ruptura (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>
<i>Média</i>	<i>11,06</i>	<i>5,52</i>
<i>Desv. Pad.</i>	<i>2,27</i>	<i>1,13</i>
<i>Coef. Var</i>	<i>20,54%</i>	<i>20,54%</i>

## 7.2.2 Resultado dos Grautes das Paredes Armadas

O grauteamento das paredes também foi realizado em uma única etapa, paredes grauteadas e armadas, e o resultado dos corpos-de-prova retirados durante o grauteamento é dado abaixo.

Tabela 48 – Resultados dos grautes das paredes.

<i>CP</i>	<i>Carga de Ruptura (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>
<i>Média</i>	345,17	19,15
<i>Desv. Pad.</i>	27,16	1,51
<i>Coef. Var</i>	7,87%	7,87%

## 7.3 Resultado das Paredes Armadas

### 7.3.1 Parede B1-G1 Armadas

#### Resistência à Compressão Axial – Parede B1-G1- $\rho_1$

A Tabela 49 mostra os resultados das paredes B1-G1- $\rho_1$ , apresentando uma variação superior à encontrada nos resultados das paredes vazias e grauteadas.

Tabela 49 – Resultados das paredes B1-G1- $\rho_1$ .

<i>CP</i>	<i>Carga de Ruptura (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>
<i>B1-G1-<math>\rho_1</math></i>	1252,30	10,08
<i>B1-G1-<math>\rho_1</math></i>	1062,22	8,55
<i>Média</i>	1157,26	9,32
<i>Desv. Pad.</i>	134,41	1,08
<i>Coef. Var</i>	11,61%	11,61%

#### Deformabilidade – Paredes B1-G1- $\rho_1$

A tensão dada no gráfico a seguir é referente à carga média final das paredes dividida pela área total, e as deformações foram obtidas, separadamente, pelos instrumentos (como em todos os corpos-de-prova armados no trabalho).

O gráfico de *Tensão x Deformação* das paredes B1-G1- $\rho_1$  é mostrado abaixo, onde se observa um comportamento coincidente da alvenaria (LVDT) e extensômetros (bloco e armadura) na parede instrumentada.

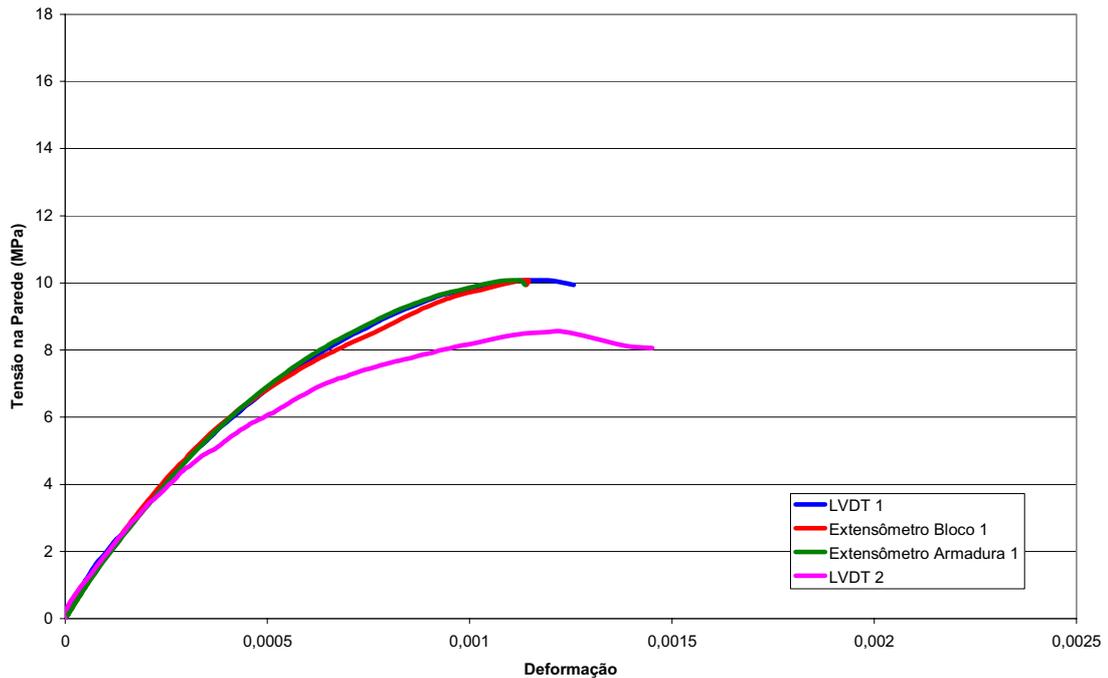


Figura 77 – Gráfico *Tensão x Deformação* das paredes B1-G1- $\rho_1$ .

### Resistência à Compressão Axial – Parede B1-G1- $\rho_2$

A Tabela 50 mostra os resultados das paredes B1-G1- $\rho_2$ .

Tabela 50 – Resultados das paredes B1-G1- $\rho_2$ .

<i>CP</i>	<i>Carga de Ruptura (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>
<i>B1-G1-<math>\rho_2</math></i>	<i>1293,30</i>	<i>10,41</i>
<i>B1-G1-<math>\rho_2</math></i>	<i>1067,19</i>	<i>8,59</i>
<i>Média</i>	<i>1180,24</i>	<i>9,50</i>
<i>Desv. Pad.</i>	<i>159,88</i>	<i>1,29</i>
<i>Coef. Var</i>	<i>13,55%</i>	<i>13,55%</i>

### Deformabilidade – Paredes B1-G1- $\rho_2$

A curva *Tensão x Deformação* das paredes B1-G1- $\rho_2$  é mostrada abaixo, onde se observa um comportamento muito próximo das duas paredes ensaiadas e também da alvenaria (LVDT) com os extensômetros (bloco e armadura).

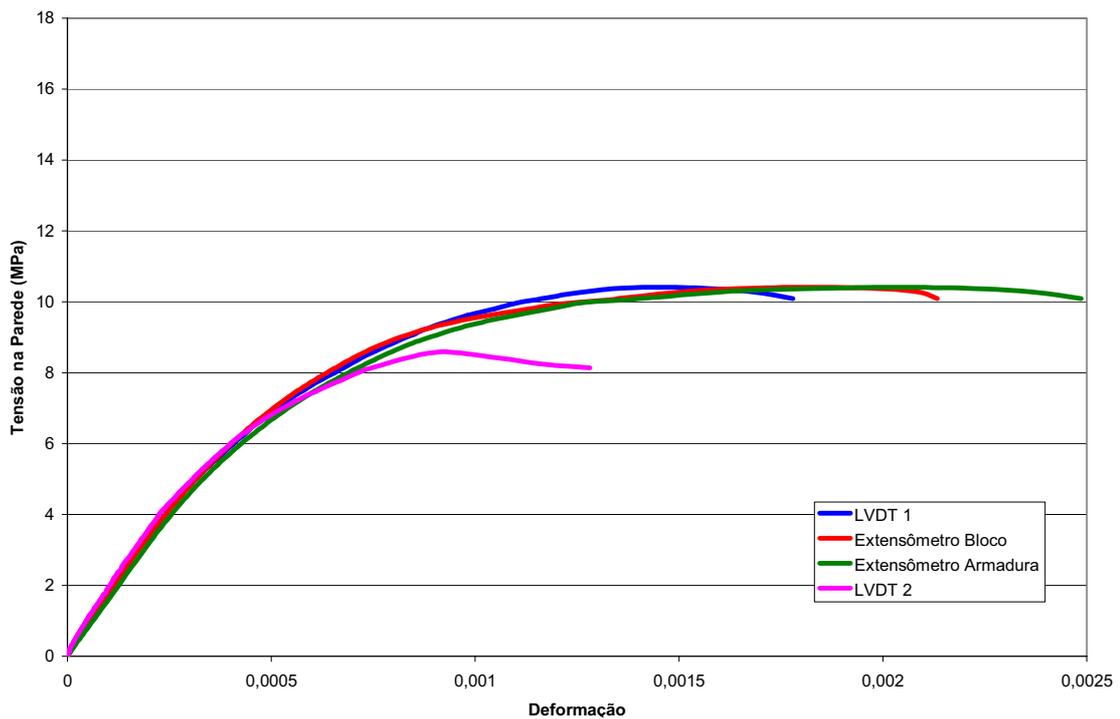


Figura 78 – Gráfico *Tensão x Deformação* das paredes B1-G1- $\rho_2$ .

### Resistência à Compressão Axial – Parede B1-G1- $\rho_3$

A tabela abaixo mostra os resultados dos ensaios das paredes B1-G1- $\rho_3$ .

Tabela 51 – Resultados das paredes B1-G1- $\rho_3$ .

<i>CP</i>	<i>Carga de Ruptura (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>
<i>B1-G1-<math>\rho_3</math></i>	<i>1087,07</i>	<i>8,75</i>
<i>B1-G1-<math>\rho_3</math></i>	<i>1175,27</i>	<i>9,46</i>
<i>Média</i>	<i>1131,17</i>	<i>9,11</i>
<i>Desv. Pad.</i>	<i>62,37</i>	<i>0,50</i>
<i>Coef. Var</i>	<i>5,51%</i>	<i>5,51%</i>

### Deformabilidade – Paredes B1-G1- $\rho_3$

O gráfico *Tensão x Deformação* das paredes B1-G1- $\rho_3$  é mostrado Figura 79, sendo que, novamente, as curvas da alvenaria (LVDT) e dos extensômetros (bloco e armadura) coincidiram.

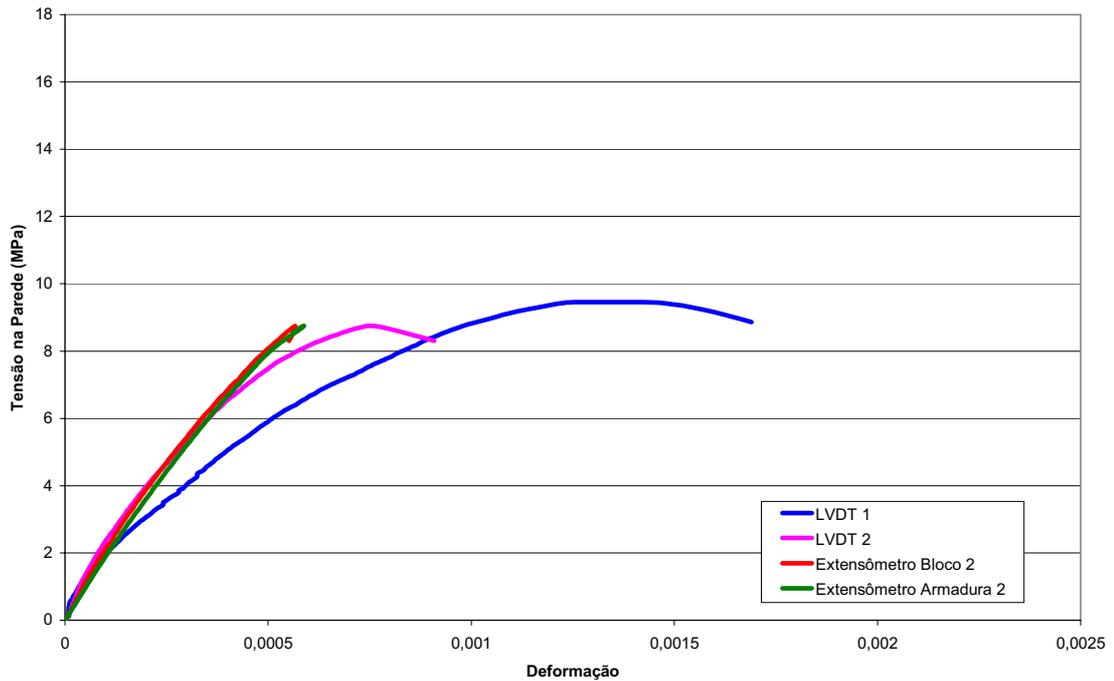


Figura 79 – Gráfico *Tensão x Deformação* das paredes B1-G1-p<sub>3</sub>.

### 7.3.2 Formas de Ruptura das Paredes B1-G1 Armadas

De maneira geral, não houve novidades nas formas de ruptura das paredes armadas com relação às paredes grauteadas, não foram verificadas fissuras durante o carregamento, o aparecimento de fissuras foi seguido de uma ruptura brusca, e as fissuras tiveram um caminhamento das extremidades inferiores da parede subindo a 45<sup>0</sup>, em alguns casos, foi observado o rompimento das paredes dos blocos e a ruína do graute em seu interior, expondo as barras de aço. Esses modos de ruína podem ser observados a seguir.



Figura 80 – Formas de ruínas das paredes B1-G1-Armadas.

### 7.3.3 Parede B2-G1 Armadas

#### Resistência à Compressão Axial – Parede B2-G1- $\rho_1$

A Tabela 52 a seguir apresenta os resultados das paredes B2-G1- $\rho_1$ .

Tabela 52 – Resultados das paredes B2-G1- $\rho_1$ .

<i>CP</i>	<i>Carga de Ruptura (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>
<i>B1-G1-<math>\rho_1</math></i>	<i>1770,00</i>	<i>14,25</i>
<i>B1-G1-<math>\rho_1</math></i>	<i>1690,00</i>	<i>13,60</i>
<i>Média</i>	<i>1730,00</i>	<i>13,93</i>
<i>Desv. Pad.</i>	<i>56,57</i>	<i>0,46</i>
<i>Coef. Var</i>	<i>3,27%</i>	<i>3,27%</i>

### Deformabilidade – Paredes B2-G1- $\rho_1$

O gráfico de *Tensão x Deformação* das paredes B2-G1- $\rho_1$  é mostrado abaixo, sendo a tensão relativa à carga da parede pela sua área.

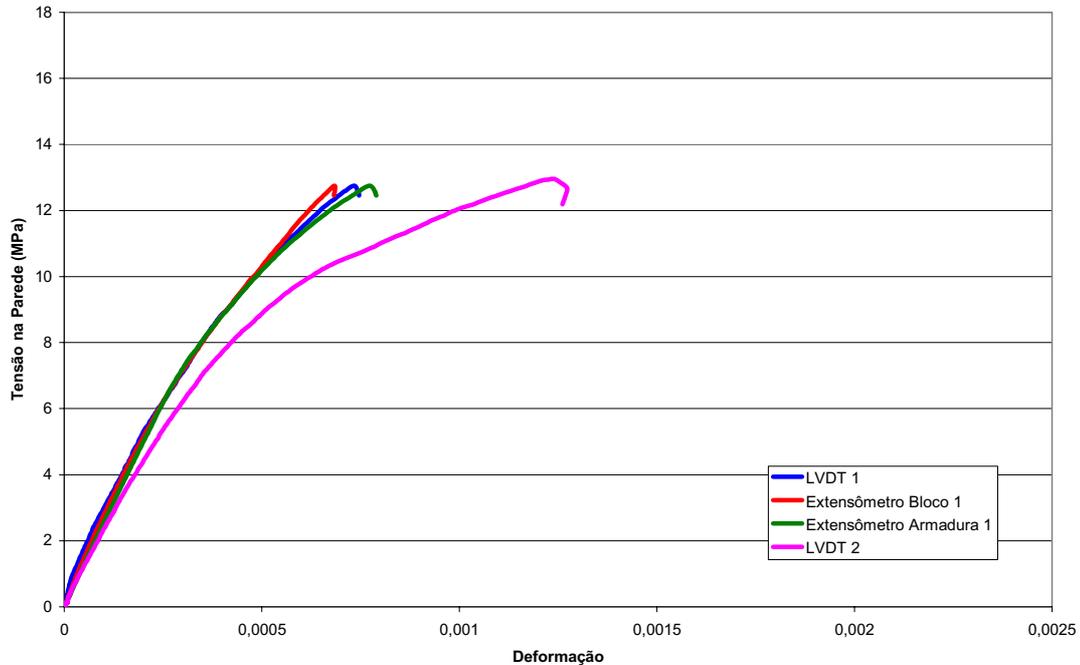


Figura 81 – Gráfico *Tensão x Deformação* das paredes B2-G1- $\rho_1$ .

### Resistência à Compressão Axial – Parede B2-G1- $\rho_2$

A Tabela 53 mostra os resultados dos ensaios das paredes B2-G1- $\rho_2$ , que apresentou uma variação bastante pequena.

Tabela 53 – Resultados das paredes B2-G1- $\rho_2$ .

<i>CP</i>	<i>Carga de Ruptura (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>
<i>B1-G1-<math>\rho_2</math></i>	<i>1960,00</i>	<i>15,78</i>
<i>B1-G1-<math>\rho_2</math></i>	<i>1980,00</i>	<i>15,94</i>
<i>Média</i>	<i>1970,00</i>	<i>15,86</i>
<i>Desv. Pad.</i>	<i>14,14</i>	<i>0,11</i>
<i>Coef. Var</i>	<i>0,72%</i>	<i>0,72%</i>

### Deformabilidade – Paredes B2-G1- $\rho_2$

A curva *Tensão x Deformação* das paredes B2-G1- $\rho_2$  é mostrada abaixo, onde se observa um mesmo comportamento dos elementos das paredes.

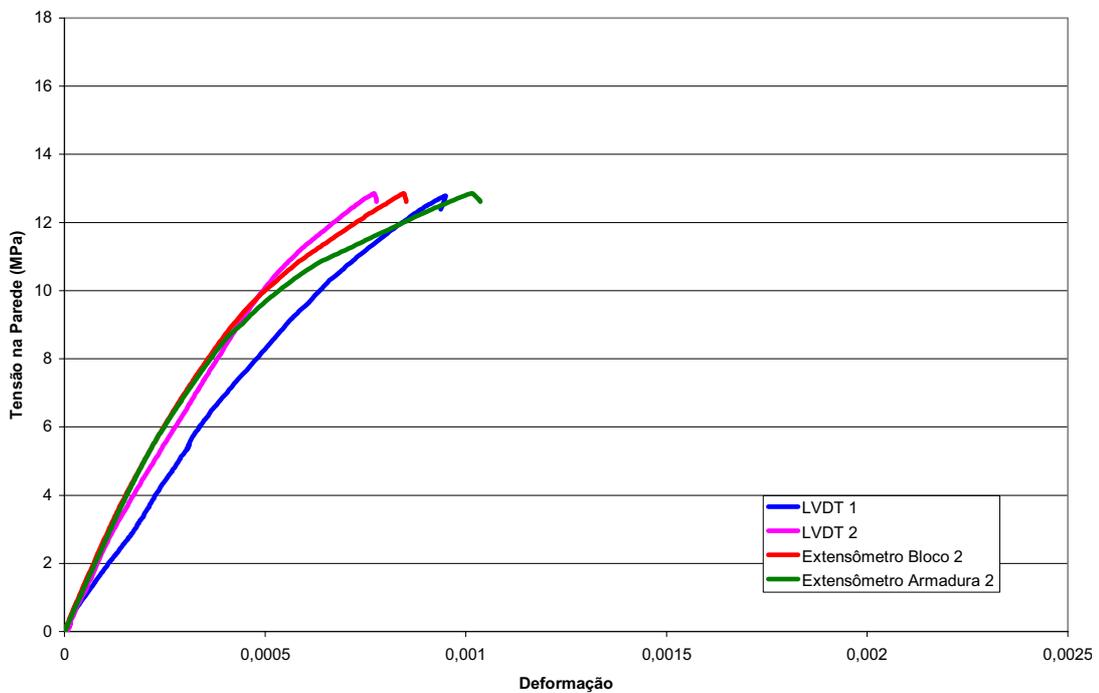


Figura 82 – Gráfico *Tensão x Deformação* das paredes B2-G1- $\rho_2$ .

### Resistência à Compressão Axial – Parede B2-G1- $\rho_3$

A tabela abaixo apresenta os resultados completos das paredes B2-G1- $\rho_3$ .

Tabela 54 – Resultados das paredes B2-G1- $\rho_3$ .

<i>CP</i>	<i>Carga de Ruptura (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>
<i>B1-G1-<math>\rho_3</math></i>	<i>2400,00</i>	<i>19,32</i>
<i>B1-G1-<math>\rho_3</math></i>	<i>1900,00</i>	<i>15,29</i>
<i>Média</i>	<i>2150,00</i>	<i>17,31</i>
<i>Desv. Pad.</i>	<i>353,55</i>	<i>2,85</i>
<i>Coef. Var</i>	<i>16,44%</i>	<i>16,44%</i>

### Deformabilidade – Paredes B2-G1- $\rho_3$

O gráfico *Tensão x Deformação* das paredes B2-G1- $\rho_3$  é mostrado na Figura 83, onde se observa um comportamento próximo das paredes ensaiadas e dos extensômetros, tendo como tensão a carga média da parede dividida pela sua área.

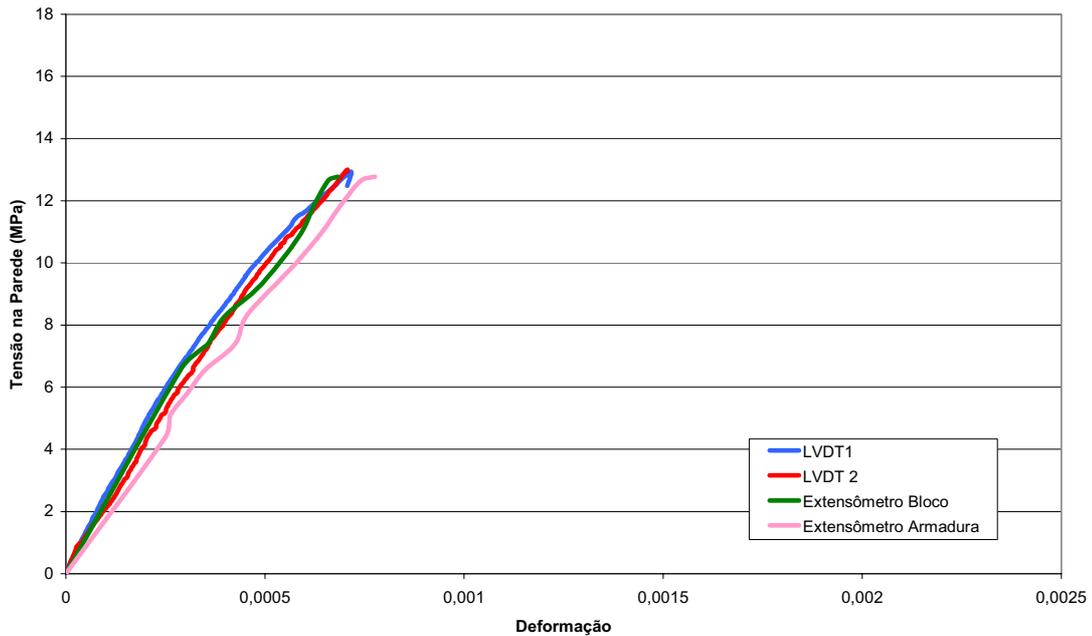


Figura 83 – Gráfico *Tensão x Deformação* das paredes B2-G1- $\rho_3$ .

### 7.3.4 Formas de Ruptura das Paredes B2-G1 Armadas

Os modos de ruptura das paredes B2-G1 armadas apresentaram o mesmo comportamento das paredes armadas B1 e das paredes apenas grauteadas. Sendo que duas paredes B2-G1 Armadas apresentaram pequenas fissuras na fiada inferior da parede, com 90% da carga de ruptura.



Figura 84 – Formas de ruínas das paredes B2-G1-Armadas.

## 8. AVALIAÇÃO E COMENTÁRIOS DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão mostrados os resultados obtidos para caracterização da alvenaria, através dos ensaios em blocos, prismas e paredes, apresentando comparações dos resultados encontrados.

### 8.1 Blocos

Apesar das duas classes de blocos se encontrarem com suas classificações de blocos vazados (porcentagem entre área líquida e área bruta) de acordo com a NBR 6136 (1994, p. 1), elas apresentaram valores diferentes das áreas líquidas: a classe B1 possui 227,92 cm<sup>2</sup> de área líquida, e a classe B2 289,67 cm<sup>2</sup>, gerando dificuldade de comparação entre as duas classes de blocos. As relações entre área líquida e área bruta das duas classes de blocos são dadas a seguir.

Tabela 55 – Relação de áreas dos blocos.

<i>Bloco</i>	<i>A.líquida/A.bruta</i>
<i>B1</i>	1,78
<i>B2</i>	1,40

Visando a avaliar a influência do graute nos prismas e paredes com relação à área efetivamente grauteada foram avaliadas as relações entre resistência de prismas e paredes cheias e vazias (todas em relação à suas áreas brutas), esses valores são dados na tabela abaixo.

Tabela 56 – Relação entre resistência dos prismas com relação às áreas brutas.

<i>Prisma</i>	<i>B1-Vazio A. Bruta</i>	<i>B1-Gi A. Bruta</i>	<i>B1-Gi / B1-Vazio</i>
<i>B1-G1</i>	5,63	11,29	2,00
<i>B1-G2</i>	5,63	10,50	1,86

<i>Prisma</i>	<i>B2-Vazio A. Bruta</i>	<i>B2-Gi A. Bruta</i>	<i>B2-Gi / B2-Vazio</i>
<i>B2-G1</i>	7,77	15,33	1,97
<i>B2-G2</i>	7,77	15,17	1,95

Tabela 57 - Relação entre resistência das paredes com relação às áreas brutas.

<i>Parede</i>	<i>B1-Vazia A. Bruta</i>	<i>B1-G1 A. Bruta</i>	<i>B1-G1 / B1-Vazia</i>
<i>B1-G1</i>	4,39	7,86	1,79
<i>Prisma</i>	<i>B2-Vazio A. Bruta</i>	<i>B2-G1 A. Bruta</i>	<i>B2-G1 / B2-Vazia</i>
<i>B2-G1</i>	8,19	15,17	1,85

Analisando os fatores de eficiência dos prismas de bloco B1, entre os prismas vazios e seus respectivos prismas grauteados (área bruta), verificou-se que o aumento de resistência ficou perto de 2, ou seja, com uma relação de área efetiva de grauteamento igual a 1,78, o graute apresentou um acréscimo médio de 93% na resistência do prisma. O mesmo fato ocorreu com as paredes, que com a área efetiva grauteada de 1,78, apresentaram aumento de 79% em relação às paredes vazias.

Para os prismas de bloco B2, essa mesma análise mostra que com uma relação de área efetiva de graute igual a 1,40, o aumento médio de resistência do graute para os prismas foi de 96%, e para as paredes foi 85%. Assim, verifica-se que com uma área efetiva menor de grauteamento na classe de blocos B2 prismas e paredes obtiveram um ganho de resistência igual ou um pouco acima do obtido na sua respectiva classe B1, que tem uma área efetiva de graute superior.

Esse fato pode ser explicado pela menor resistência à compressão do bloco B1 que, conseqüentemente, apresenta também menor resistência à tração, possibilitando que a expansão do graute rompa as paredes do bloco B1, que são mais finas, com um carregamento menor, além de que o graute inserido em B1 tem maior área efetiva, possuindo também uma maior capacidade de expansão lateral. Já as paredes dos blocos B2 apresentam maior espessura e resistência aliada ao fato de que a área de graute é menor, diminuindo a expansão lateral desse graute, no interior do prisma e parede, aumentando a resistência final dos corpos-de-prova grauteados B2.

Esses resultados contradizem os comentários feitos por Aly e Sabbatini (1994, p. 120) os quais afirmaram que o aumento percentual na resistência à compressão das paredes grauteadas, em relação às paredes não grauteadas, é inversamente proporcional ao aumento da resistência do bloco utilizado. No entanto, não foi constatado esse fato nos ensaios realizados, ao contrário, os blocos de maior resistência (inclusive na área líquida) apresentaram maior

capacidade de otimizar o desempenho do graute em seu interior, elevando a resistência da alvenaria.

Merece atenção, também, a utilização de apenas um tipo de argamassa de assentamento em todo o trabalho, pois as relações entre resistência do bloco e da argamassa não foram mantidas para as duas classes de blocos, sendo a argamassa utilizada mais apropriada, em termos de resistência, para os blocos B1. Porém, durante a execução dos ensaios não se percebeu falhas no comportamento estrutural da argamassa em nenhuma das classes de blocos, não constatando influência da argamassa nos resultados de prismas e paredes.

Autores como Gomes (1974), Cunha (2001), Romagna (2000) e Garcia (2000) citam que a resistência da argamassa deva estar entre 40 e 60% da resistência do bloco na sua área líquida, e muitos resultados mostraram que a influência da argamassa em elementos de alvenaria grauteada é pequena.

## **8.2 Prismas**

A Figura 85 mostra os resultados médios de carga de ruptura dos prismas das duas classes de blocos, prismas vazios, grauteados e armados.

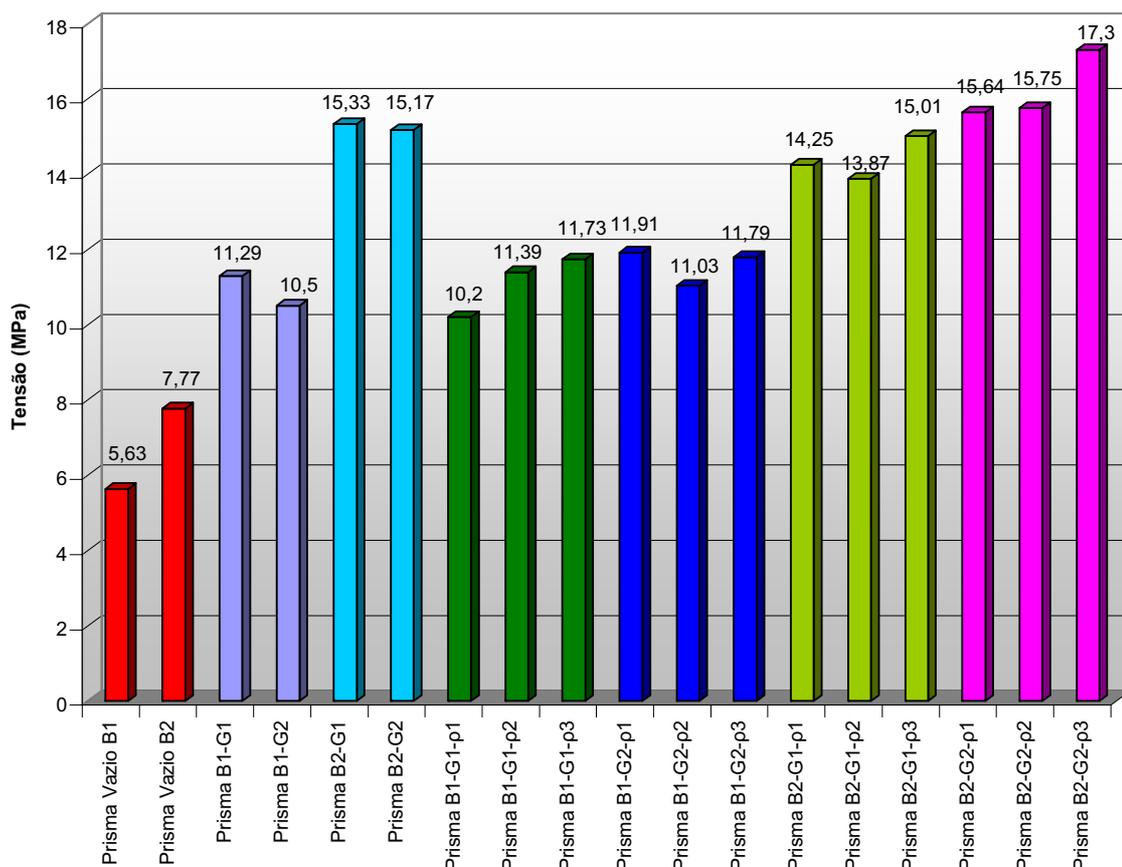


Figura 85 – Resultados dos prismas vazios, grauteados e armados.

Comparando o aumento da resistência dos prismas vazios com os grauteados nas duas classes de blocos, percebeu-se um aumento expressivo na alvenaria desses prismas vazios (relação à área bruta) para os grauteados. Apesar do aumento de resistência com a utilização do graute, as variações de resistência dos grautes adotados representaram acréscimos mínimos na resistência do prisma. Esse fato foi também constatado por Romagna (2000, p. 55) em seus ensaios com prismas de blocos de concreto de resistência próxima a 14 MPa, argamassa de 8 MPa e grautes de 15 e 27 MPa, obtendo-se para esses prismas, resistências de 17,05 e 17,84 MPa, respectivamente.

Cunha (2001, p.92 e 99), em seu trabalho experimental, novamente, obteve resultados semelhantes, utilizando blocos de concreto de 6 MPa, uma argamassa de 8 MPa e grautes de 17, 27 e 35 MPa, encontrando as resistências dos prismas de 10,20, 11,40 e 11,70 MPa.

O expressivo aumento da resistência dos prismas vazios com o grauteamento foi constatado também por outros autores como Camacho e Rodrigues (1999), Calçada (1998), entre outros os quais verificaram que a introdução do graute na alvenaria de blocos de concreto pode levar a elementos de resistência elevada, desde que os materiais inseridos sejam adequados.

As Figura 86 e 87 apresentam o ganho de resistência da alvenaria apenas com relação à inserção dos grautes e armaduras, ou seja, expressam as combinações de grautes e armaduras nos prismas com blocos B1 e B2, respectivamente.

Observando estas figuras, constatam-se variações de resistências muito pequenas entre as combinações de prismas com grautes e armaduras, apesar de um aumento real na resistência desses prismas com relação aos seus respectivos prismas vazios (área bruta).

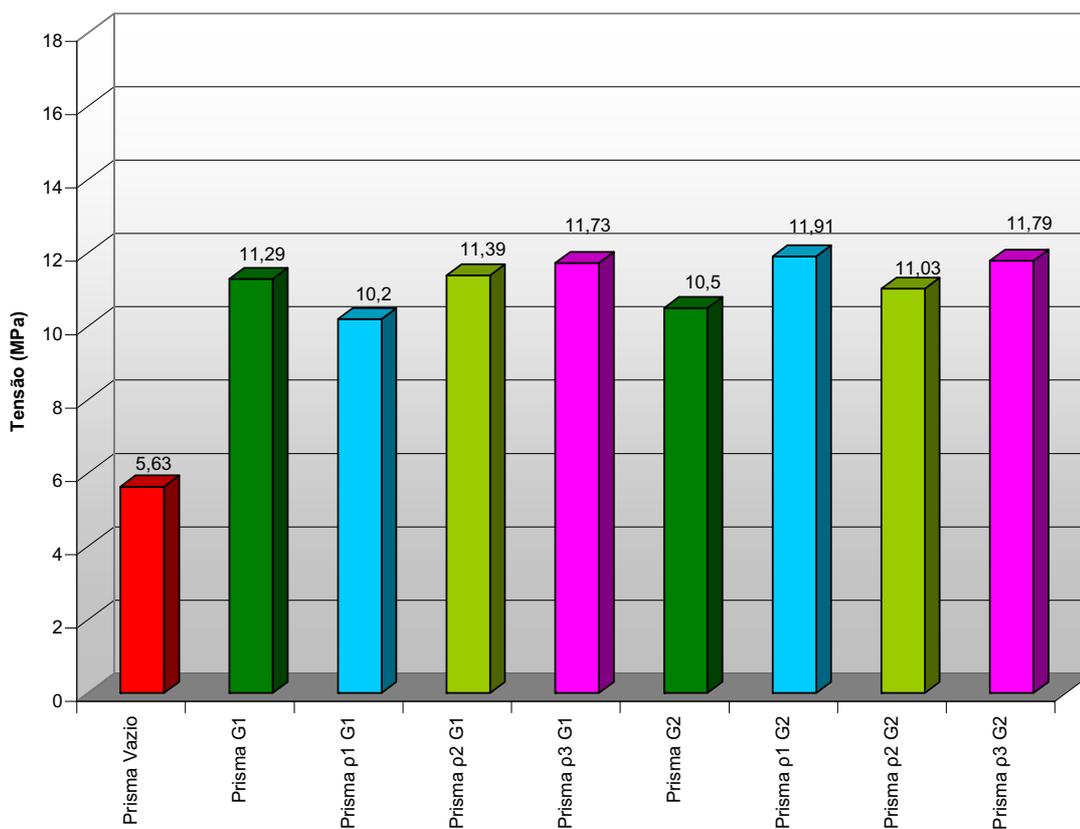


Figura 86 – Resultados dos prismas B1.

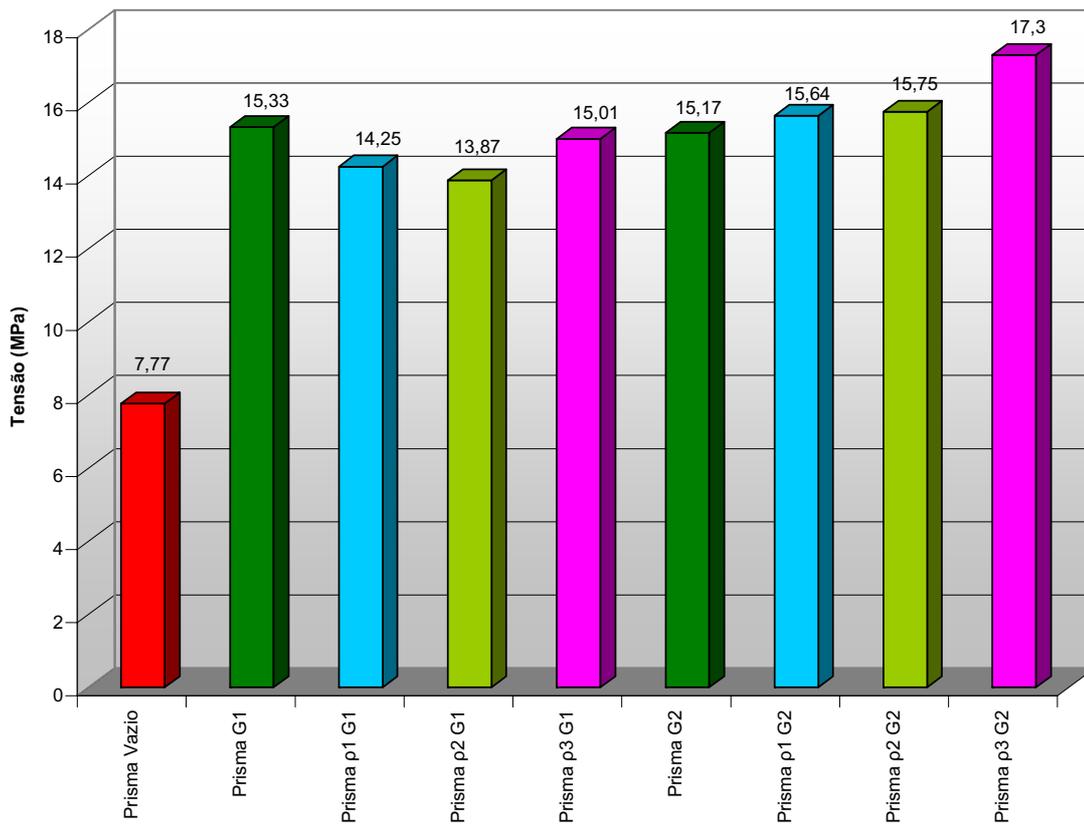


Figura 87 - Resultados dos prismas B2.

Como já foi mencionado, o grauteamento dos prismas foi realizado a cada taxa de armadura, e, apesar de ter sido utilizado os mesmos traços (em massa) e procedimentos de execução, as resistências finais dos grautes apresentaram variações. Visando a avaliar as possíveis influências dessas variações, nas resistências dos prismas são apresentadas as Figura 88 e 89, que mostram as cargas de ruptura dos grautes e de seus respectivos prismas.

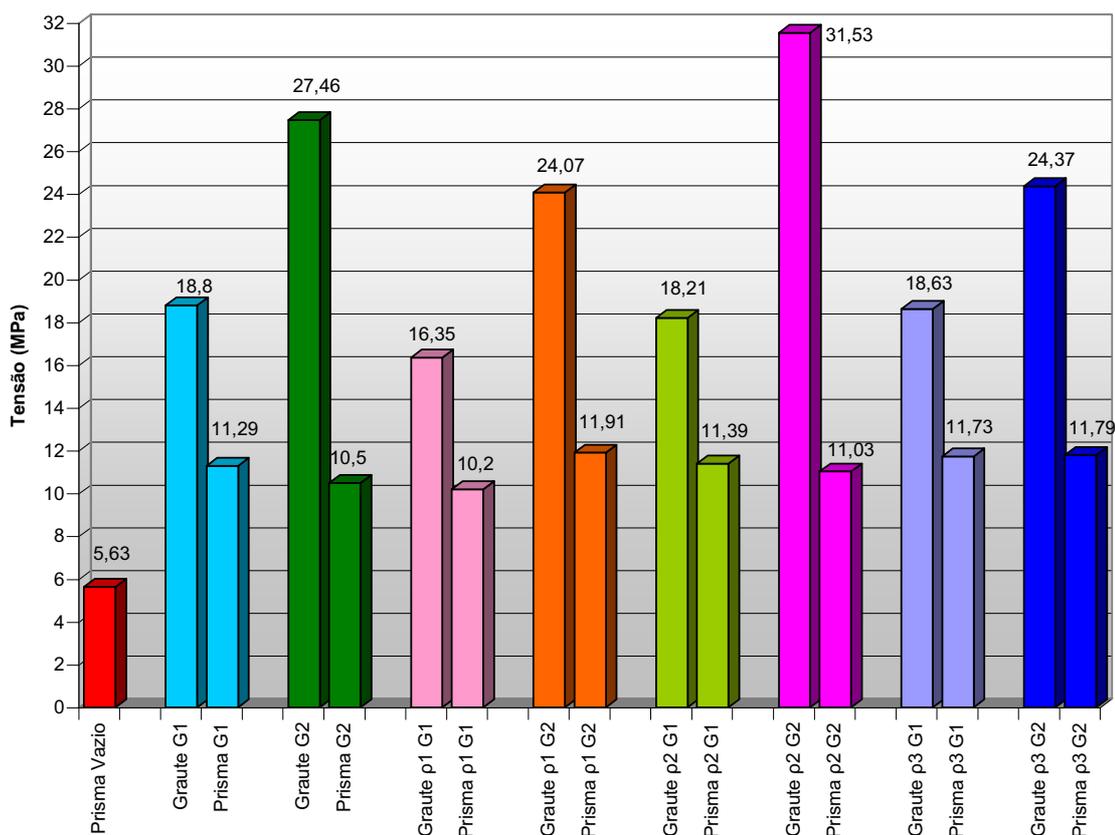


Figura 88 – Resultados dos prismas B1 e grautes.

Na Figura 88 fica evidente que os picos de resistências dos grautes não culminaram nos prismas mais resistentes, além de constatar que, apesar da grande diferença entre os valores extremos de resistências dos grautes (16,35 a 31,53 MPa), as resistências dos prismas não tiveram esse mesmo comportamento, apresentando pouca variação na carga de ruptura com as distintas combinações (10,20 a 11,91 MPa). Além de ter sido demonstrado que, estatisticamente, as médias de G1 entre si não podem ser consideradas diferentes, e demonstrou-se que médias de G2 entre si, também, não podem ser consideradas diferentes.

A Figura 89 mostra as cargas de ruptura de prismas B2 e seus respectivos grautes utilizados. Apesar de esses prismas apresentarem maior sensibilidade às variações de grautes e armadura, foi verificado o mesmo comportamento da classe B1, onde os picos de resistência dos grautes (16,35 a 31,53 MPa) não geraram variações proporcionais de resistências aos prismas (13,87 a 17,30 MPa), e, novamente, deve-se ressaltar que foram verificadas que as médias dos grautes (G1 e G2) não podem ser consideradas diferentes.

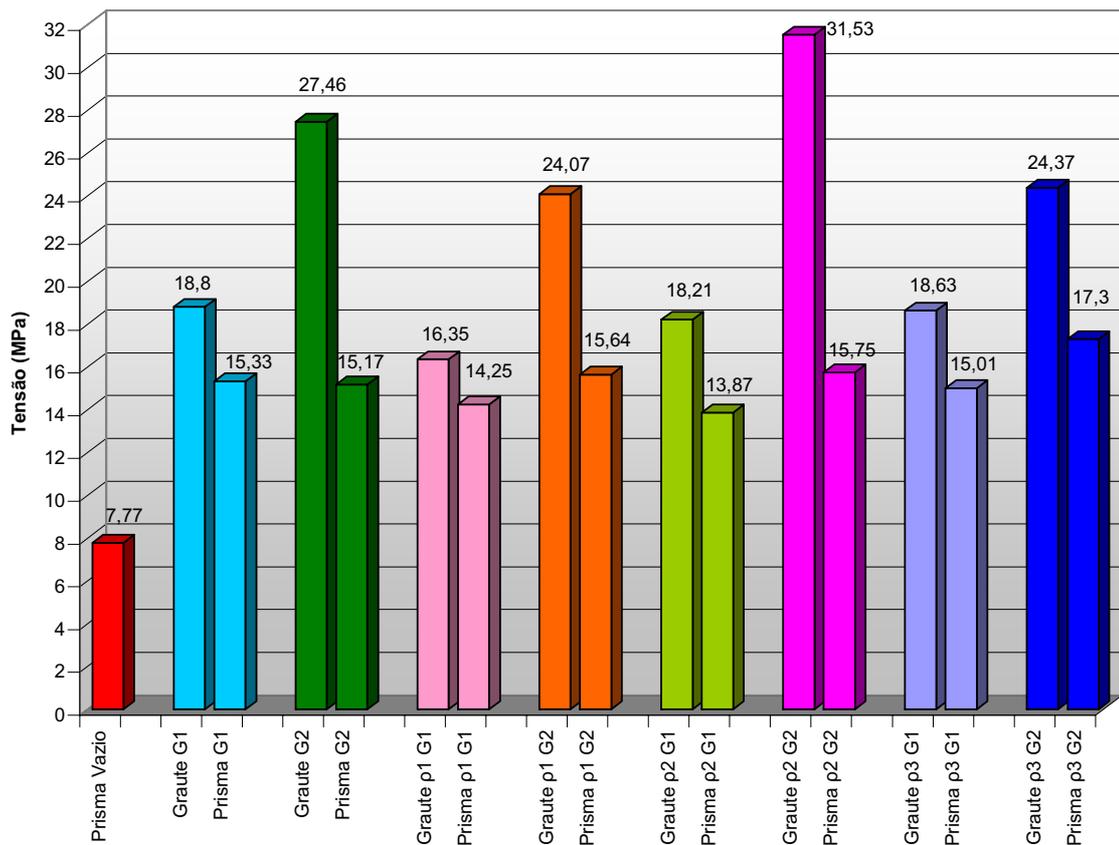


Figura 89 – Resultados dos prismas B2 e gautes.

A Figura 90 mostra todos os resultados, simultaneamente, de argamassas, gautes, blocos e prismas armados.

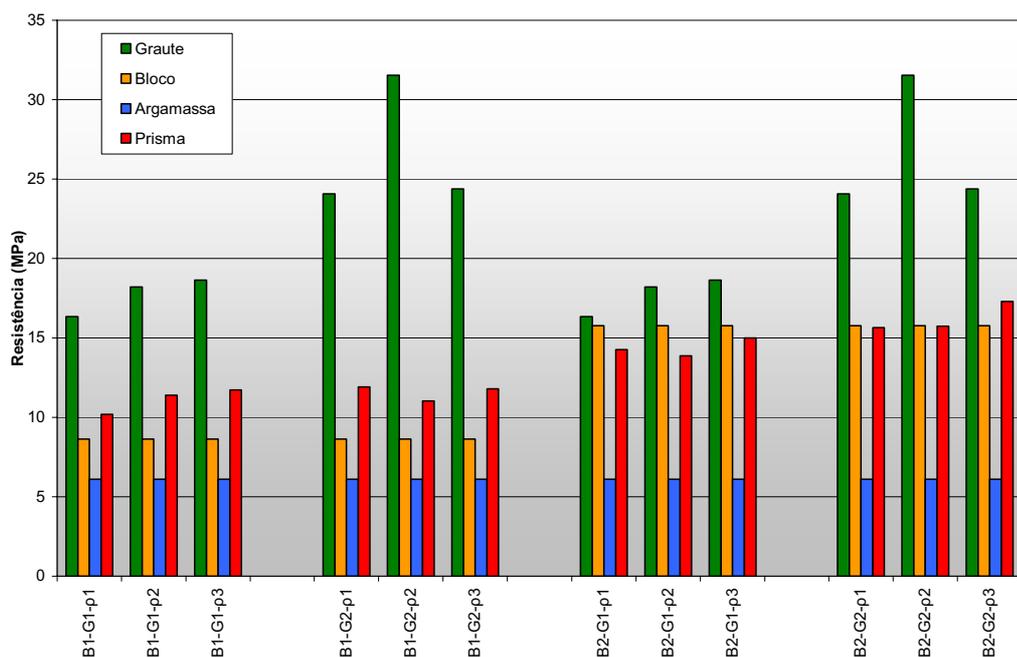


Figura 90 - Resultados de blocos, gautes, argamassa e prismas.

A Figura 91 mostra os resultados de tensões dos prismas vazios (área líquida) e grauteados de blocos B1 e B2. Comparando os valores do gráfico, observa-se o efeito da maior resistência das paredes, aliada à menor área de graute dos blocos B2 comentados, pois os prismas de blocos B1 não tiveram ganho de resistência com o grauteamento, comparando com seus respectivos prismas vazios na área líquida, e os prismas B2 apresentaram acréscimo com os dois tipos de grautes inseridos.

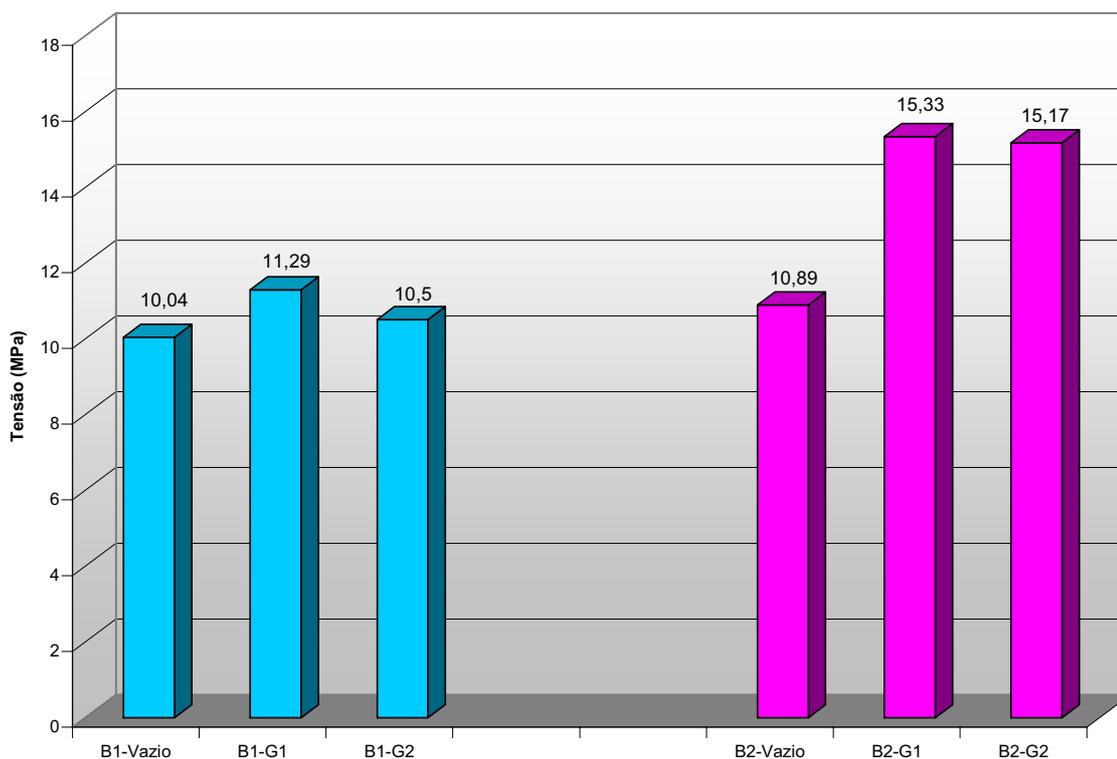


Figura 91 – Resultados de prismas vazios e grauteados.

A Figura 92 mostra os resultados das tensões de ruptura, fixando os valores de blocos e grautes e variando apenas as taxas de armaduras. Observando esta figura, percebe-se um aumento médio da resistência dos prismas da classe de blocos B1 para B2. Entretanto, as variações relativas às armaduras mostraram-se diferentes em todas as combinações, não apresentando um comportamento comum na variação de resistência das combinações de prismas; além destas variações serem muito pequenas dentro dos conjuntos de mesma combinação, não permitindo avaliar ganhos.

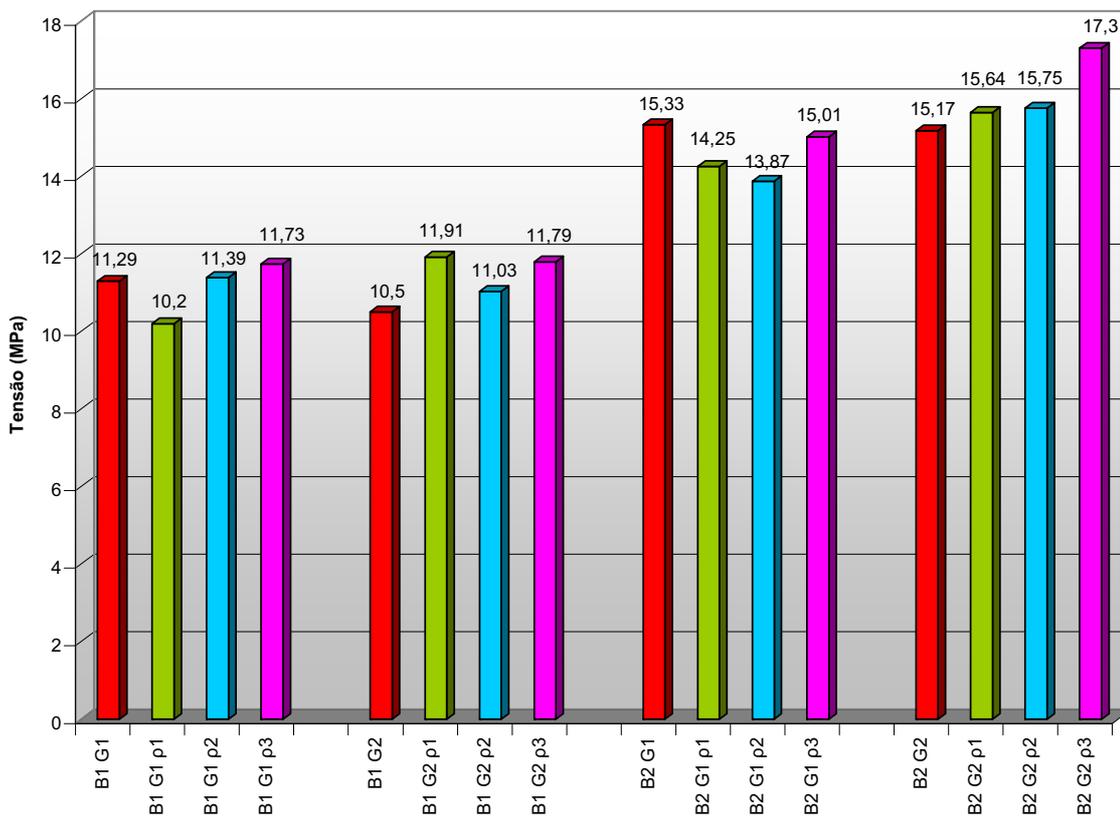


Figura 92 – Resultados dos prismas armados.

As deformações médias, obtidas no momento de ruptura dos prismas, podem ser vistas na Tabela 58 abaixo.

Tabela 58 – Deformações médias de ruptura.

<i>Prisma</i>	<i>Resistência (MPa)</i>	<i>Def. de Ruptura (%)</i>	<i>CV Def. de Rup. (%)</i>
<i>Vazio B1</i>	5,63	1,97	17,86
<i>B1-G1</i>	11,29	1,70	11,76
<i>B1-G2</i>	10,50	1,43	28,20
<i>Vazio B2</i>	7,77	1,90	10,53
<i>B2-G1</i>	15,33	1,90	5,26
<i>B2-G2</i>	15,17	1,43	4,03
<i>B1-G1-ρ1</i>	10,20	1,77	16,34
<i>B1-G1-ρ2</i>	11,39	1,60	34,80
<i>B1-G1-ρ3</i>	11,73	1,90	10,53
<i>B1-G2-ρ1</i>	11,91	1,33	17,32
<i>B1-G2-ρ2</i>	11,03	1,63	14,14
<i>B1-G2-ρ3</i>	11,79	1,37	22,35
<i>B2-G1-ρ1</i>	14,25	1,67	22,98
<i>B2-G1-ρ2</i>	13,87	1,67	15,95
<i>B2-G1-ρ3</i>	15,01	1,63	18,44
<i>B2-G2-ρ1</i>	15,64	1,73	10,74
<i>B2-G2-ρ2</i>	15,75	1,56	17,32
<i>B2-G2-ρ3</i>	17,30	1,43	10,50

Analisando as deformações médias de ruptura, não se verifica relações destas com os as taxas de armaduras, pois o aumento da área de aço não representou aumento de rigidez ao corpo-de-prova. Observando apenas os prismas vazios e grauteados nas duas classes de blocos, percebeu-se uma redução de deformação com a utilização de G2, mostrando um aumento da rigidez dos prismas grauteados com ele, apesar desse comportamento não ter se repetido para os prismas armados. Contudo, as deformações de ruptura mantiveram-se na faixa de 1,3 a 2,0 ‰ para todos os prismas estudados.

Com o intuito de analisar os comportamentos das curvas de *Tensão x Deformação* das combinações de prismas vazios e grauteados, e também dos prismas grauteados com os armados, são dados a seguir os gráficos, sendo a tensão adotada em todos os gráficos referente à carga de ruptura dos prismas, dividido pela sua área bruta.

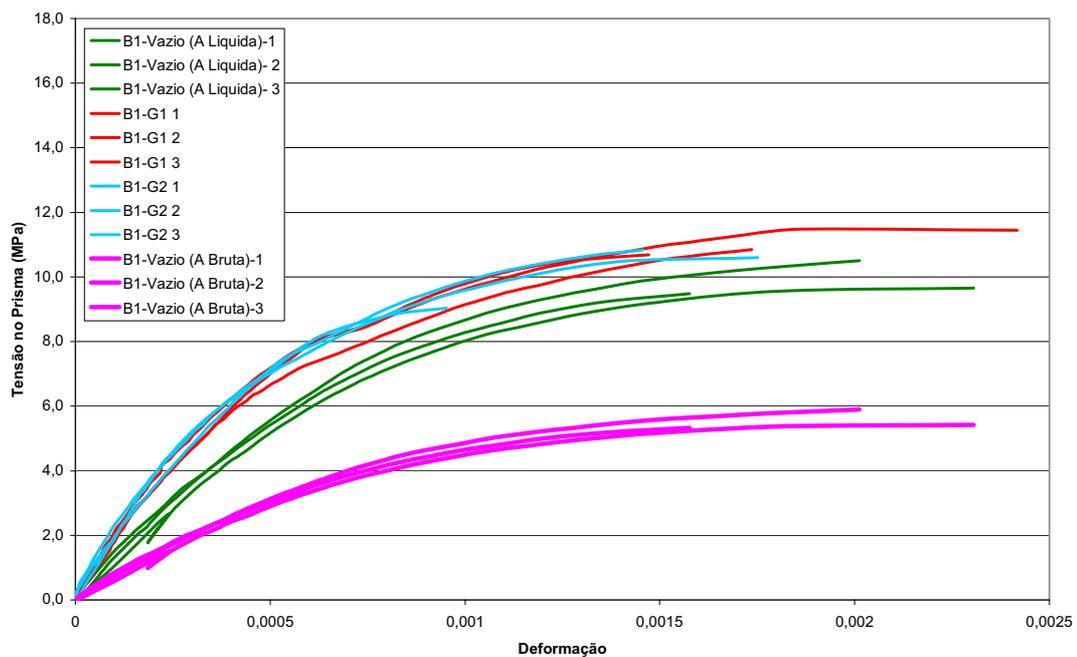


Figura 93 – Gráfico *Tensão x Deformação* geral dos Prismas B1.

Na Figura 93 é mostrada a curva dos prismas B1, na qual se verifica que os prismas grauteados com G1 e G2 apresentaram um comportamento muito próximo entre si e com os prismas vazios em relação à suas áreas líquidas.

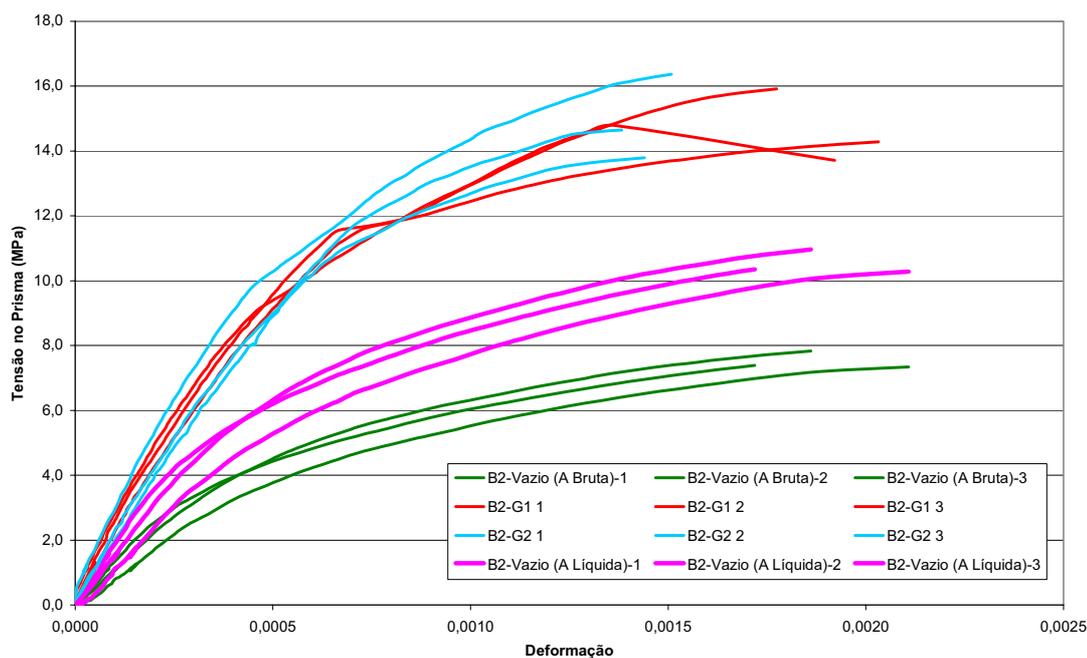


Figura 94 – Gráfico *Tensão x Deformação* geral dos Prismas B2.

Observando o gráfico de *Tensão x Deformação* dos prismas vazios e grauteados de B2, constata-se novamente, um mesmo comportamento de deformabilidade dos prismas grauteados com G1 e G2. É percebido que os prismas grauteados apresentaram menores deformações do que os prismas vazios na área líquida para um mesmo nível de tensão, fato que não ocorreu nos prismas de blocos B1 que tiveram deformações muito próximas entre os grauteados e os vazios (área líquida), demonstrando um aumento de rigidez dos prismas de bloco B2.

A figura abaixo mostra a curva *Tensão x Deformação* dos prismas B1-G1 com as três taxas de armadura, onde se observa que o comportamento das curvas é semelhante para todas as taxas de armaduras.

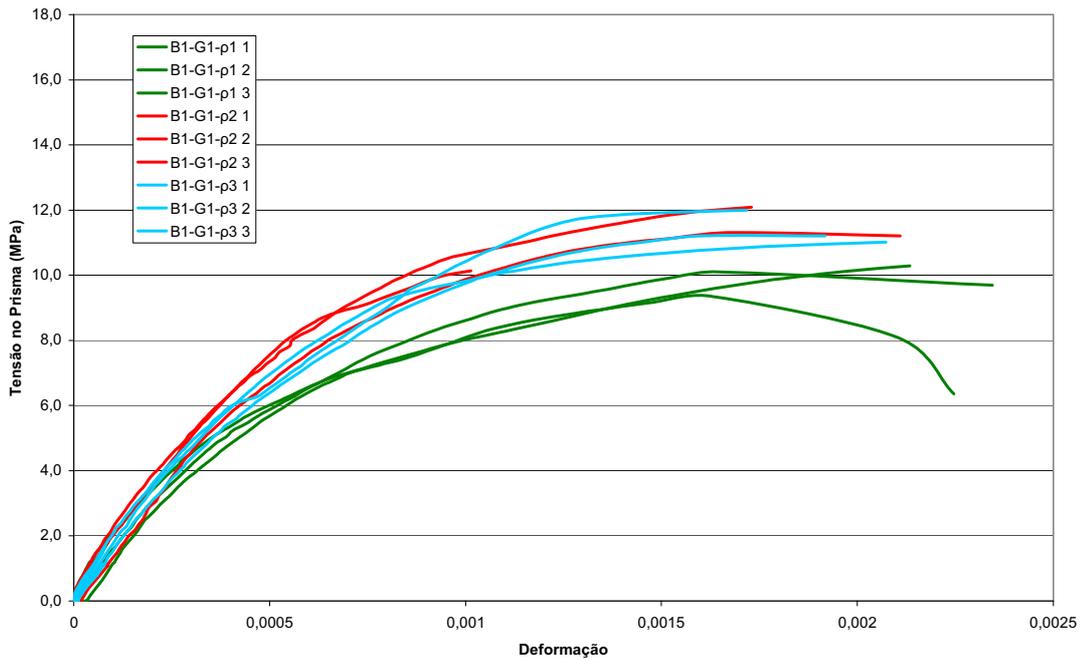


Figura 95 – Gráfico *Tensão x Deformação* dos prismas B1-G1 com armaduras.

Na Figura 96 observa-se o comportamento dos prismas B1-G2 com as armaduras, verificando que as curvas tiveram o comportamento de deformabilidade muito próximo.

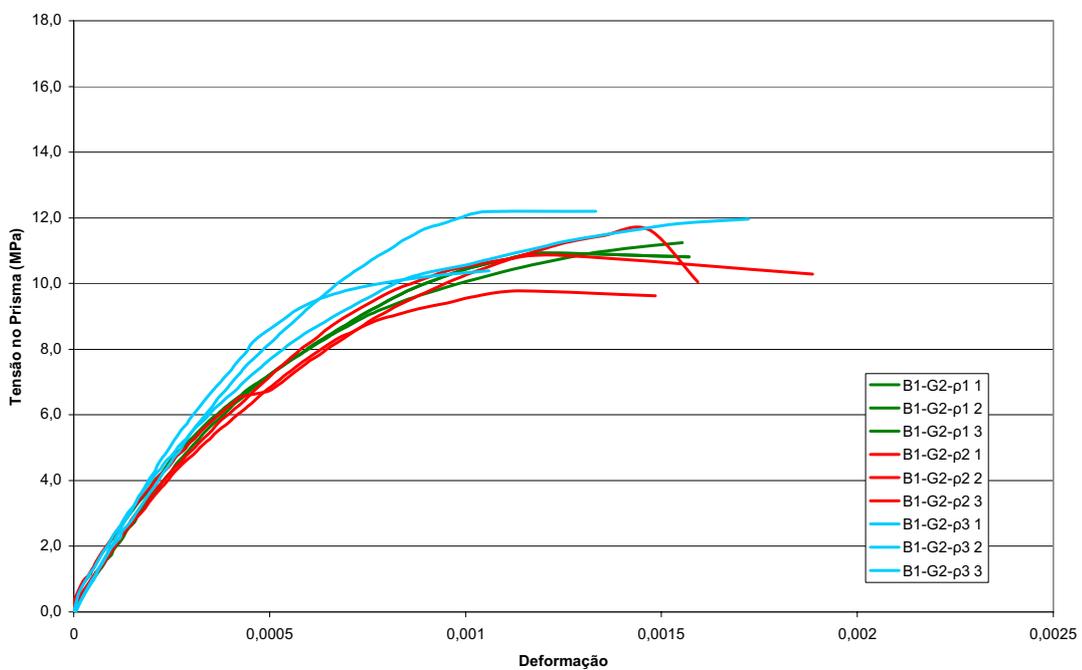


Figura 96 – Gráfico *Tensão x Deformação* dos prismas B1-G2 com armaduras.

Abaixo é dado o gráfico dos prismas B2-G1, no qual se verifica um mesmo comportamento dos prismas, independente da taxa armadura.

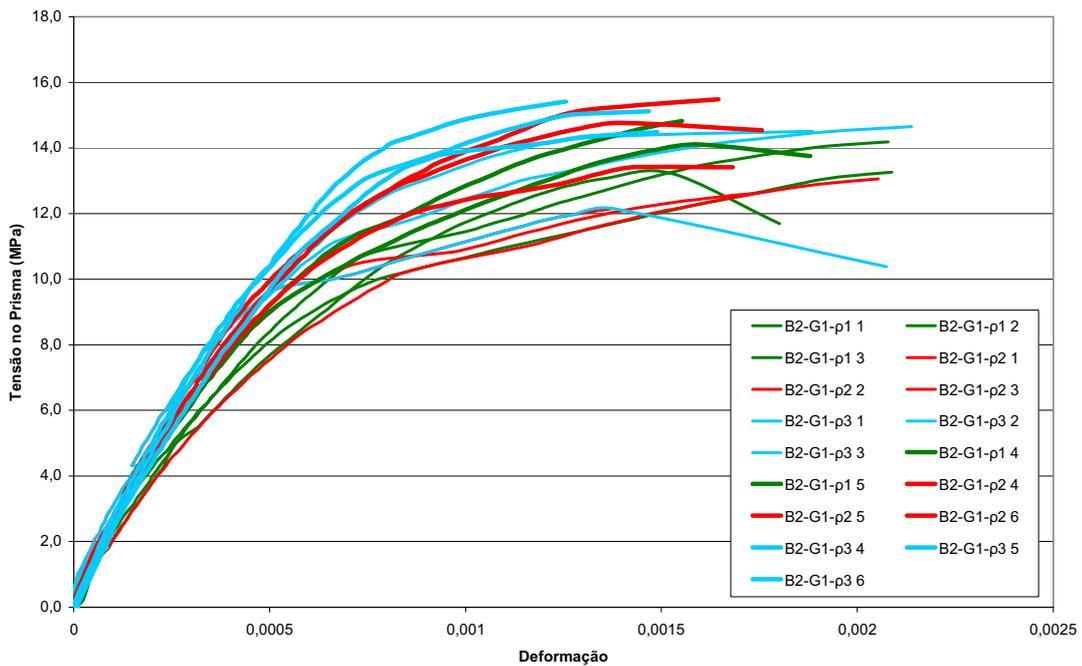


Figura 97 – Gráfico *Tensão x Deformação* dos prismas B2-G1 com armaduras.

Os prismas B2-G2 são mostrados a seguir e obtiveram o mesmo comportamento de deformabilidade para as três taxas de armaduras, resultado encontrado em todas as combinações de armaduras estudadas, ou seja, os prismas armados com as duas classes de blocos e com os dois tipos de grautes utilizados apresentaram suas curvas *Tensão x Deformação* muito próximas entre as combinações de blocos e grautes.

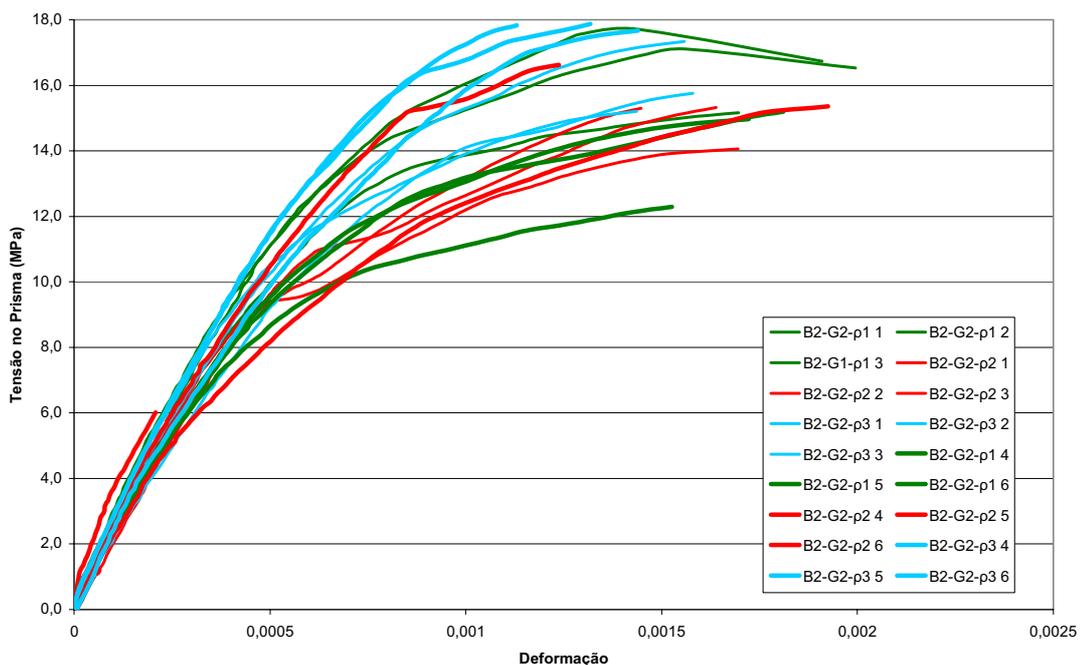


Figura 98 – Gráfico *Tensão x Deformação* dos prismas B2-G2 com armaduras.

### 8.3 Paredes

A Figura 99 mostra os resultados médios de resistência das paredes vazias (área bruta), grauteadas e armadas das duas classes de blocos.

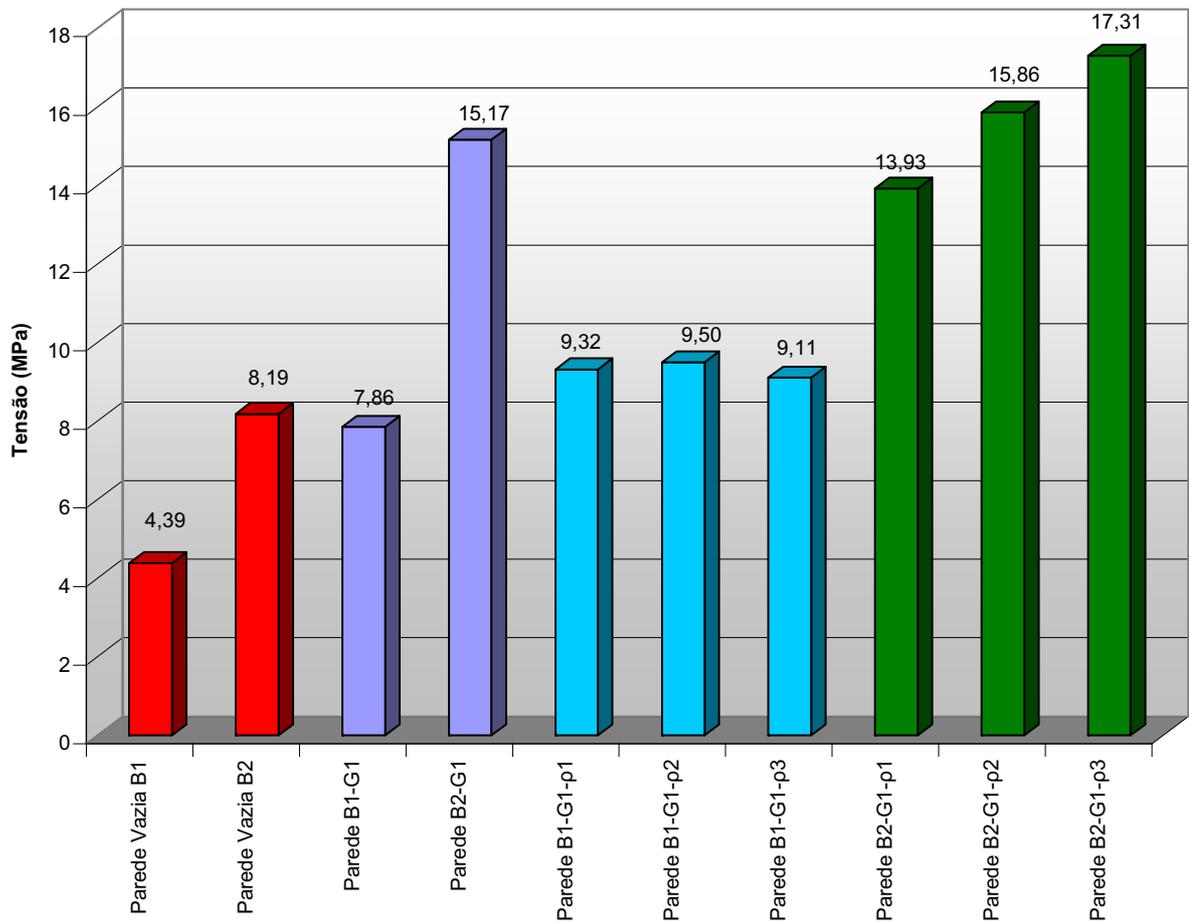


Figura 99 - Resultados de resistências das paredes.

Observando-se a figura, percebe-se um grande aumento de resistência das paredes vazias (área bruta) para suas respectivas paredes grauteadas, nas duas classes de blocos; comportamento este também observado nos prismas, onde o grauteamento praticamente dobrou a resistência dos elementos vazios em suas áreas brutas.

A inserção das taxas de armadura ( $\rho_1$ ,  $\rho_2$  e  $\rho_3$ ), nas paredes de blocos B1, não gerou variação na resistência dessas paredes em relação à parede apenas grauteada de B1. As paredes armadas B2 apresentaram um pequeno aumento de resistência com a armadura, sendo 12% o aumento de resistência da parede B2-G1- $\rho_1$  para B2-G1- $\rho_2$ , e de 8,4% entre a parede B2-G1- $\rho_2$

e B2-G1- $\rho_3$ ; entretanto, se comparado com a resistência da parede grauteada, esse acréscimo de resistência não é contínuo.

Aly e Sabbatini (1994, p. 120) obtiveram resultados semelhantes em seus ensaios com paredes armadas de blocos de concreto. Utilizando bloco com resistência de 7,9 MPa e graute com 14 MPa, suas paredes vazias alcançaram uma resistência de 5,1 MPa, paredes grauteadas 8,1 MPa, paredes armadas, com taxa de armadura de 0,2% da área bruta, a resistência foi igual a 10,0 MPa, e paredes com taxa de 0,3% obtiveram 9,2 MPa. Um outro tipo de bloco, de resistência de 9,3 MPa e o mesmo graute de 14 MPa, encontraram paredes vazias com 6,4 MPa, paredes grauteadas com 9,9 MPa, e paredes armadas com 0,2% de taxa, a resistência foi 10,8 MPa, e paredes armadas com 0,3% obtiveram 12,3MPa.

Esse fato pode ser entendido, pois, nos níveis de deformação da alvenaria, a armadura pouco contribuiu para o aumento da resistência da parede, pois com uma área de armadura de 1,89 cm<sup>2</sup> (área relativa à taxa de armadura  $\rho_1$ ), adotando um E médio do aço igual a 21 GPa com a deformação de ruptura da parede 1,8‰, obtivemos uma contribuição em carga da armadura próxima de 71 kN, valor muito pequeno se comparado com a carga final da parede na ordem de 1.500 kN.

Andrade (1998, p. 93) concluiu, através de estudo de resultados experimentais de outros autores, que, nas paredes armadas, as barras de aço contribuem muito pouco na resistência à compressão axial, sendo a principal função da armadura redistribuir melhor os esforços e conferir uma melhor homogeneidade na alvenaria, sendo essa afirmação coerente com os resultados encontrados.

As figuras a seguir mostram as resistências de paredes vazias (área bruta), grauteadas e armadas, separadas pelas classes de blocos B1 e B2, ou seja, expressam a variação de resistência da alvenaria apenas com relação à inserção dos grautes e armaduras.

Observando a Figura 100 e Figura 101, constatam-se pequenas variações de resistências entre as diferentes taxas de armaduras, e a parede grauteada, obteve um aumento real na resistência

da parede apenas grauteada com relação à parede vazia (área bruta), sendo esse aumento de 44% nas paredes B1 e 46% nas paredes B2.

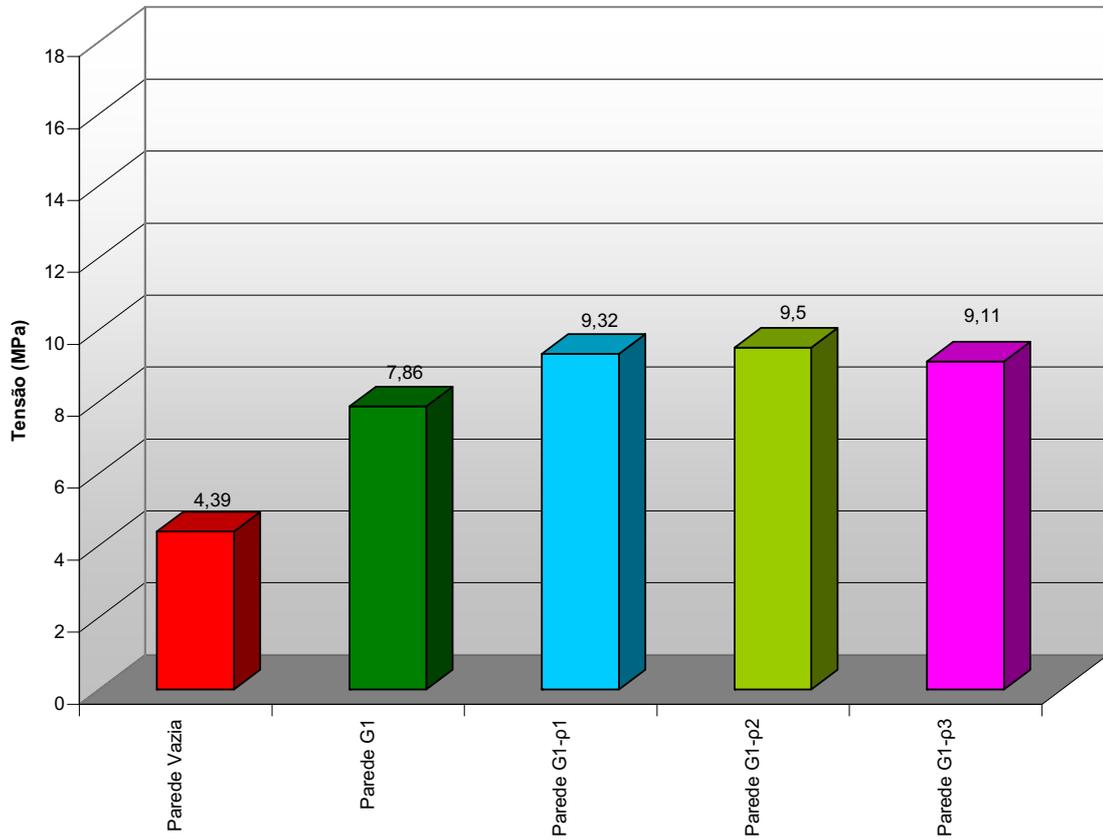


Figura 100 – Resultados de resistência das paredes B1.

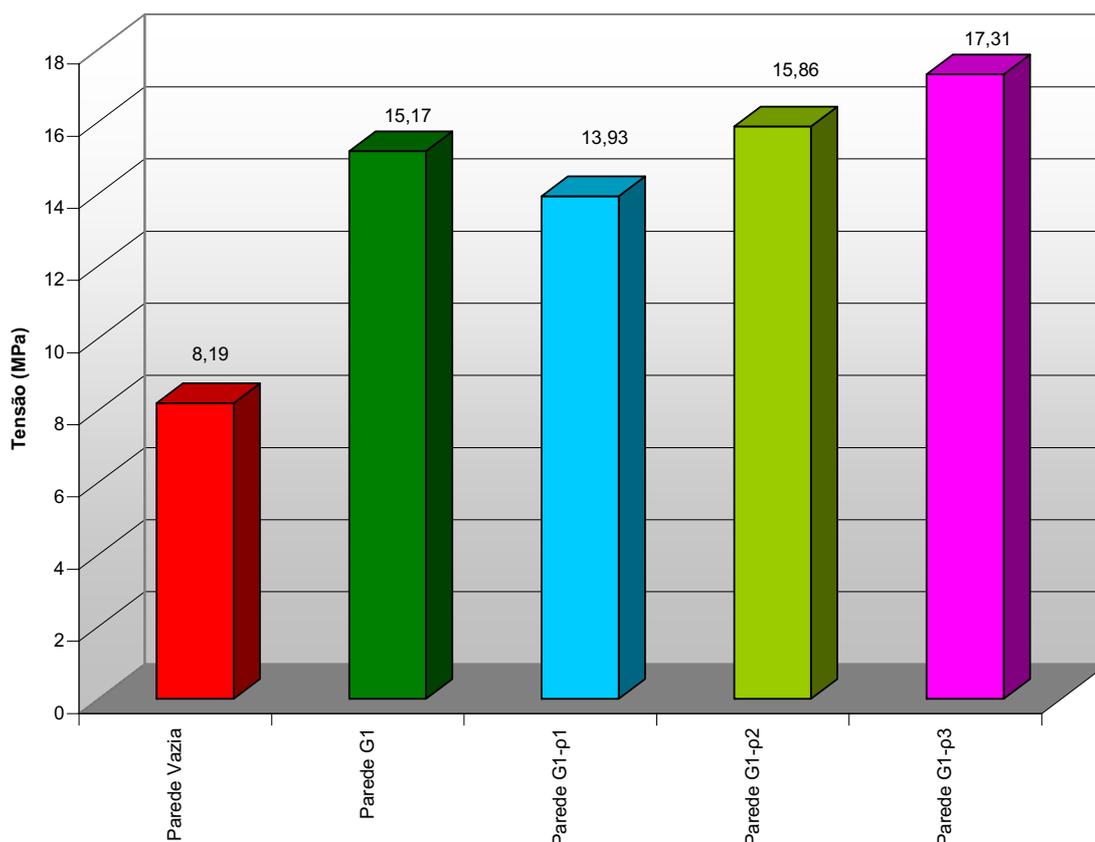


Figura 101 – Resultados de resistência das paredes B2.

Observando separadamente os resultados de paredes vazias (em relação à área líquida) com paredes apenas grauteadas e paredes grauteadas com paredes armadas, pode-se visualizar melhor os efeitos de todos os elementos na alvenaria.

A Figura 102 abaixo apresenta os resultados das paredes vazias (área líquida) e paredes grauteadas, na qual se observa que as paredes de bloco B1 não apresentaram diferenças de resistência como grauteamento, já as paredes de bloco B2 tiveram um aumento de resistência com a inserção do graute, comparada com a parede vazia B2 na sua área líquida. Esse mesmo comportamento foi observado com os prismas, confirmando a tendência de aumento de resistência da alvenaria com o grauteamento de blocos com maior resistência e maior área líquida.

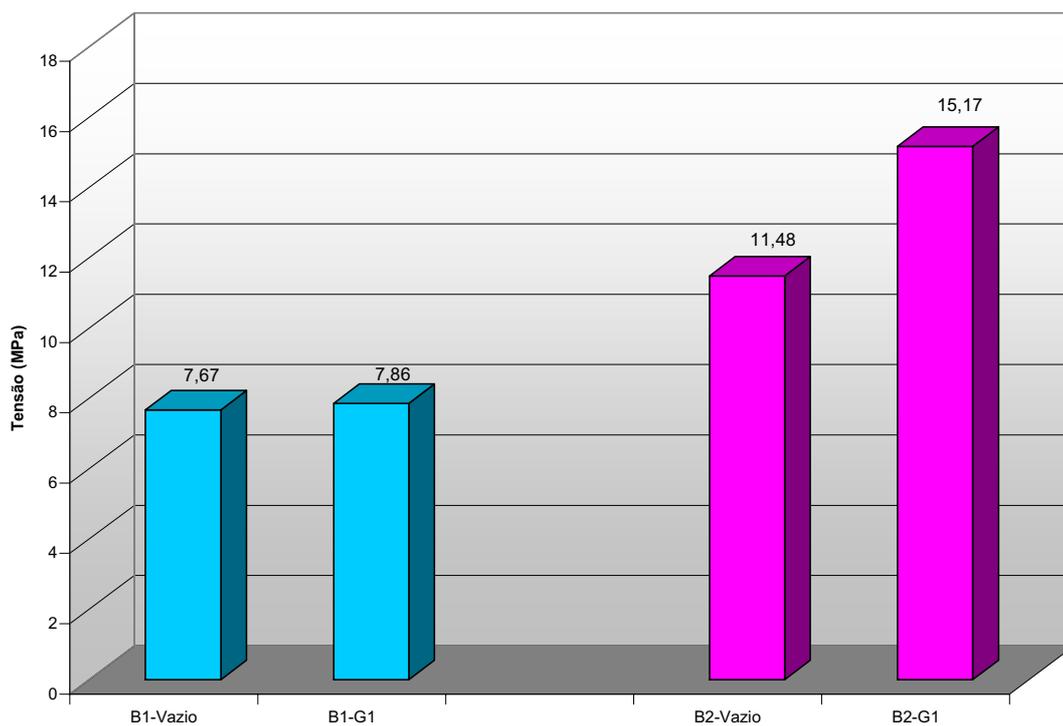


Figura 102 – Resultados de resistência das paredes vazias e grauteadas.

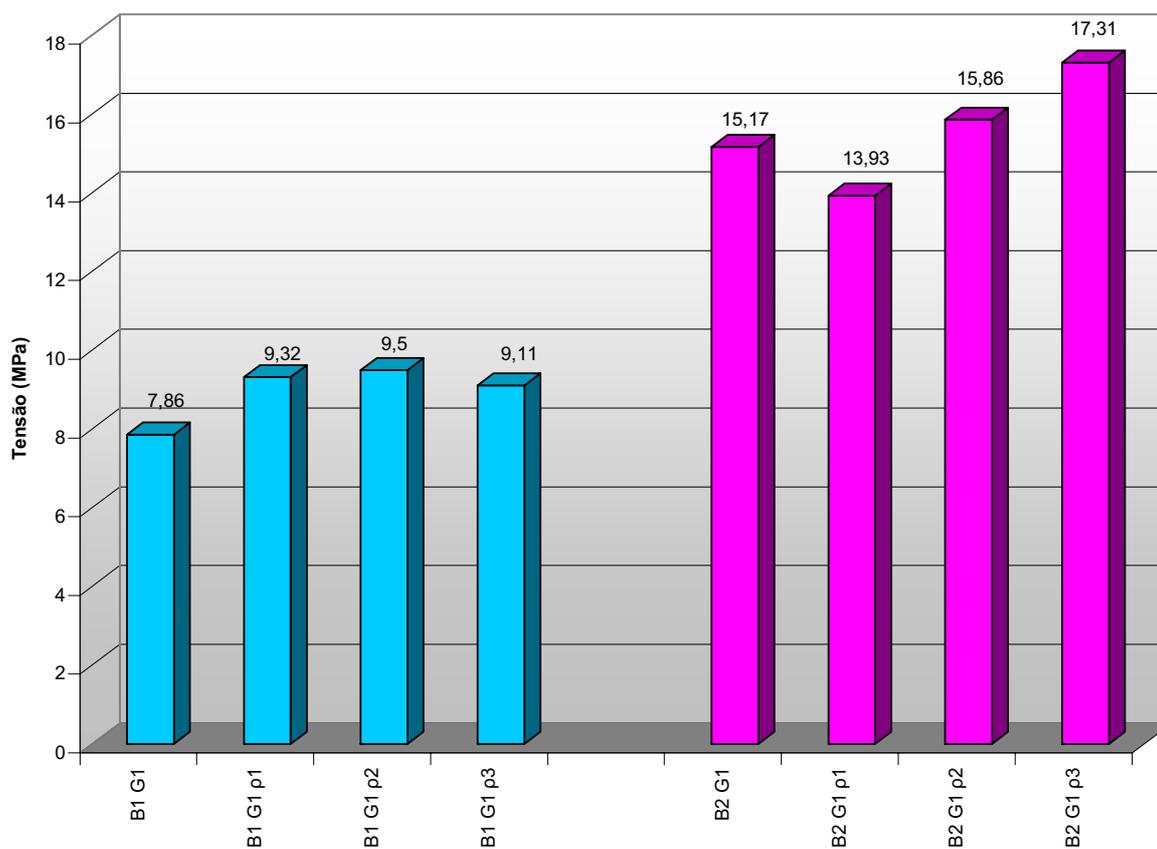


Figura 103 – Resultados de resistência das paredes grauteadas e armadas

Observando a figura acima, percebe-se um aumento médio da resistência das paredes da classe de blocos B1 para B2, sendo que esse comportamento também foi observado nos prismas; entretanto, as variações relativas às armaduras mostraram-se diferentes entre as paredes B1 e B2, não apresentando um comportamento comum de variação de resistência, além de essas variações serem pequenas não permitindo avaliar ganhos, o que também não foi percebido nos resultados dos prismas.

Gomes (1974, p. 142) afirma que a eficiência das armaduras em paredes armadas diminui com o aumento do diâmetro das barras, explicando tal fato pela diminuição do cobrimento da barra de aço, pela diferença do coeficiente de Poisson do aço e do graute e por um possível escorregamento da armadura. Entretanto, essa afirmação não foi verificada nos resultados encontrados, constatando-se uma variação muito pequena de eficiência (resistência da parede armada, dividida pela resistência da parede grauteada) das paredes armadas B1, entre 1,16 e 1,20. As paredes B2 apresentaram fatores de eficiência entre 0,93 a 1,14, contudo a barra de maior diâmetro apresentou a maior resistência entre as paredes armadas.

As deformações médias de ruptura das paredes são mostradas a seguir, sendo possível observar uma grande variação dessas deformações, com valores entre 0,7 a 1,8‰, mostrando que as paredes se apresentaram mais rígidas do que os prismas. Além dessa variação entre os tipos de paredes, os coeficientes de variação de algumas combinações de paredes também apresentaram valores muito altos, até próximo a 50%. Nota-se, também, que as paredes armadas B2-G1 tiveram as menores deformações médias de rupturas encontradas.

Tabela 59 – Deformações médias de ruptura das paredes.

<i>Parede</i>	<i>Resistência (MPa)</i>	<i>Def. de Ruptura (‰)</i>	<i>CV Def Ruptura %</i>
<i>Vazia B1</i>	4,39	1,35	5,24
<i>B1-G1</i>	7,86	1,35	26,19
<i>Vazia B2</i>	8,19	1,80	5,66
<i>B2-G1</i>	15,17	1,00	28,28
<i>B1-G1-ρ1</i>	9,32	1,25	47,14
<i>B1-G1-ρ2</i>	9,50	1,25	15,71
<i>B1-G1-ρ3</i>	9,11	1,05	14,14
<i>B2-G1-ρ1</i>	13,93	0,95	37,22
<i>B2-G1-ρ2</i>	15,86	0,90	15,71
<i>B2-G1-ρ3</i>	17,31	0,70	0,00

Visando a analisar os comportamentos das curvas de *Tensão x Deformação* das combinações de paredes vazias e grauteadas, e também das paredes grauteadas com as armadas, são dados a seguir os gráficos. Observando a Figura 104, percebe-se um mesmo comportamento de deformabilidade das paredes B1 grauteadas e vazias na área líquida, inclusive nas leituras obtidas pelos extensômetros de bloco e armadura.

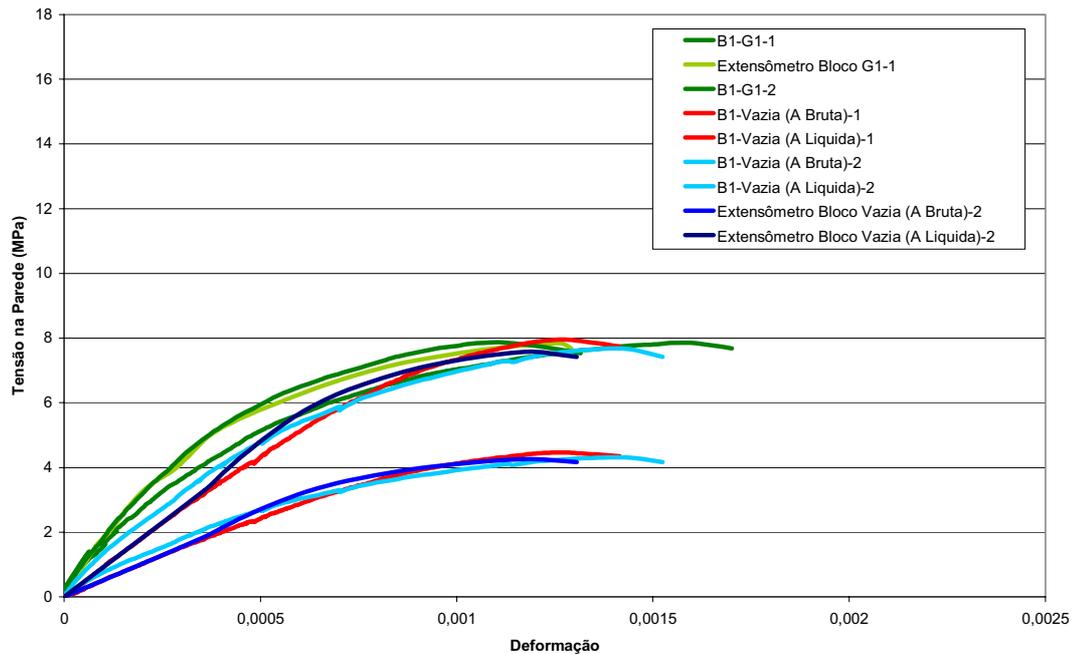


Figura 104 – Gráfico *Tensão x Deformação* das Paredes Vazias e Grauteadas B1.

A figura a seguir apresenta as curvas das paredes B1 armadas, constatando um comportamento de deformabilidade muito próximo com as três taxas de armaduras, apresentando variações apenas nas deformações de rupturas.

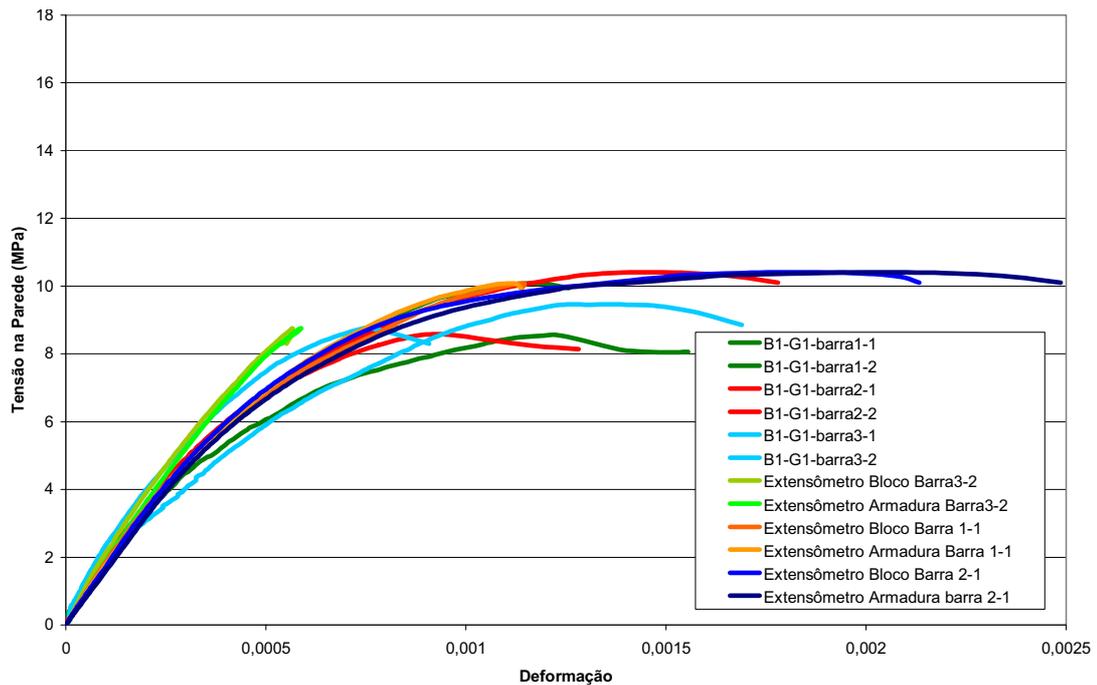


Figura 105 – Gráfico *Tensão x Deformação* das Paredes Armadas B1.

A Figura 106 apresenta as paredes B2 vazias e apenas grauteadas. O grauteamento dessas paredes aumentou sua rigidez e resistência final, se comparado com as paredes vazias na área líquida; esse fato foi também verificado com os prismas dessa combinação.

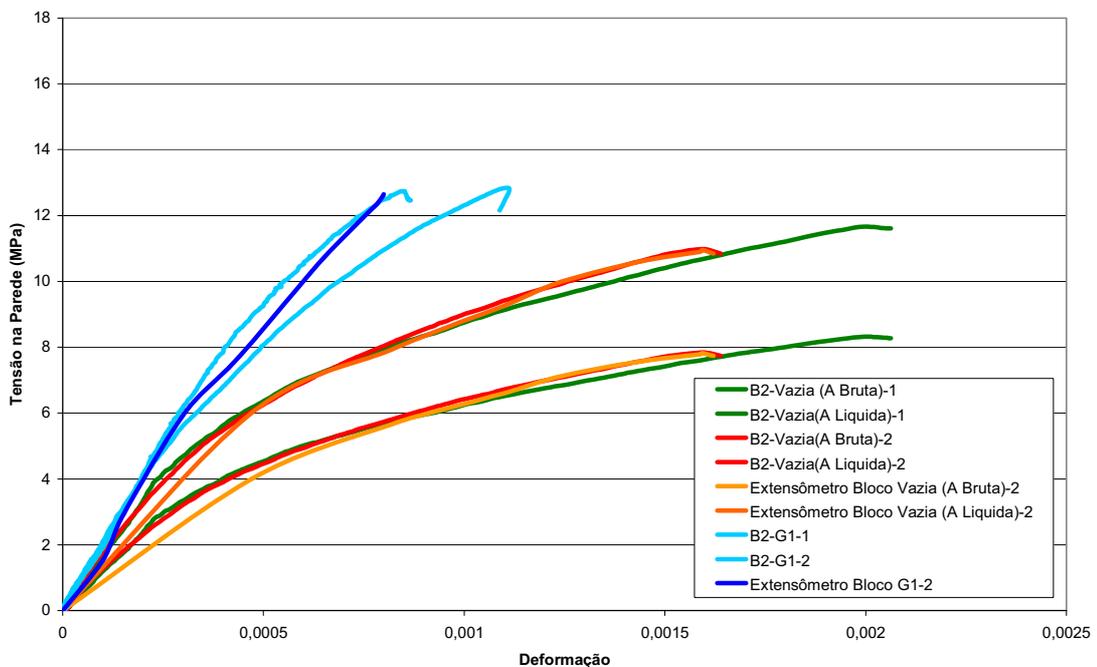


Figura 106 – Gráfico *Tensão x Deformação* das Paredes Vazias e Grauteadas B2.

As curvas das paredes armadas B2 apresentaram um comportamento bastante semelhante da alvenaria com as três taxas de armaduras e dos blocos e barras de aço inseridas, fato também ocorrido com as paredes desse tipo B1 e os prismas armados das duas classes de blocos.

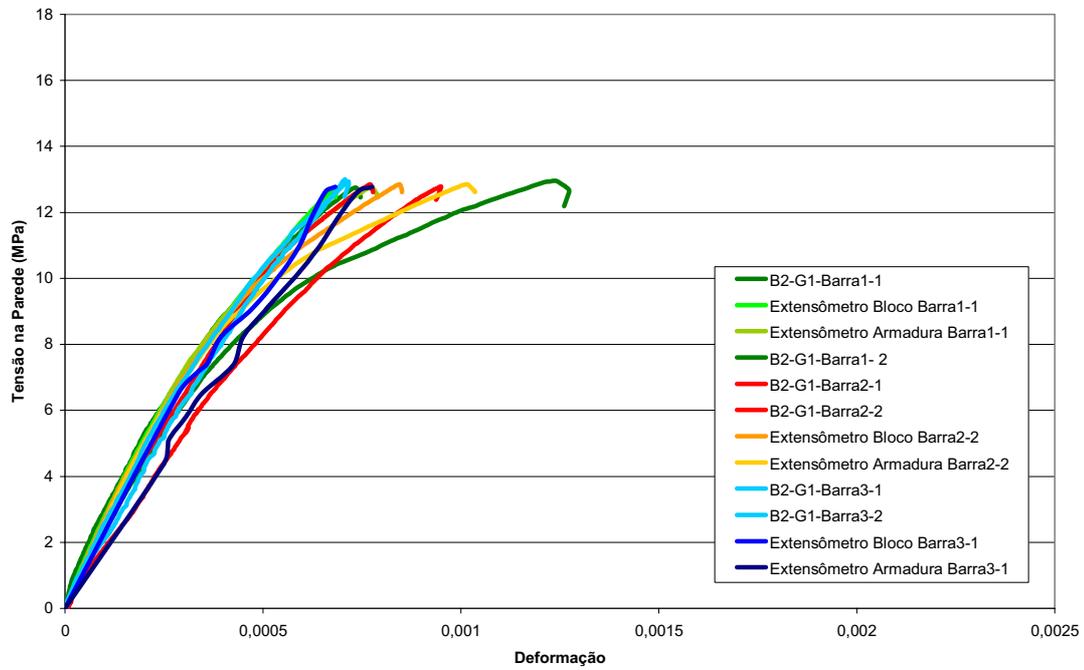


Figura 107 – Gráfico *Tensão x Deformação* das Paredes Armadas B2.

## 8.4 Estimativa teórica da contribuição de blocos, grautes e armaduras nos Prismas e Paredes

Tanto nas paredes como nos prismas, as variações de comportamento (resistência e deformabilidade), com relação às diversas combinações, não foram muito expressivas, entretanto na tentativa de avaliar os quinhões de carga que cada material (bloco, graute e armadura) resistiu, foi elaborada uma estimativa da contribuição desses elementos na alvenaria.

Para tanto, foram verificadas as deformações de ruptura dos corpos-de-prova (prisma e parede), e, a partir das curvas *Tensão x Deformação* dos materiais individuais (graute e armadura) foram obtidas as tensões desses materiais relativas a tais deformações. Então,

foram transformadas todas essas tensões em carga, e realizando um somatório da contribuição de cada material no determinado corpo-de-prova.

Portanto, em prismas e paredes armadas, foram somadas as parcelas teóricas de contribuição da alvenaria isolada, mais a do graute e mais a da armadura, e comparadas com a carga final real resistida pelo corpo-de-prova. Pretendendo-se com isso formular teoricamente o processo de variação do comportamento da alvenaria grauteada e armada.

Na avaliação da tensão atuante nos prismas e paredes apenas grauteados, foi suposto que a carga real encontrada, experimentalmente, fosse igual à somatória da carga teórica de prisma e parede vazia, mais a carga também teórica de graute inserido, com a deformação de ruptura ocorrida no corpo-de-prova real e com as respectivas áreas de bloco e graute.

A carga teórica esperada de prisma e parede vazia e grauteada foi obtida através do gráfico *Tensão x Deformação* experimental, no qual se retirou a tensão equivalente à deformação de ruptura real, multiplicando pela área efetiva, obteve-se a carga teórica de prisma ou parede vazia e grauteada, sendo feita uma média dos corpos-de-prova ensaiados.

A curva *Tensão x Deformação* do graute G1, utilizada na obtenção das parcelas de carga é mostrada abaixo, com a qual se obteve o polinômio interpolador e a respectiva equação da curva.

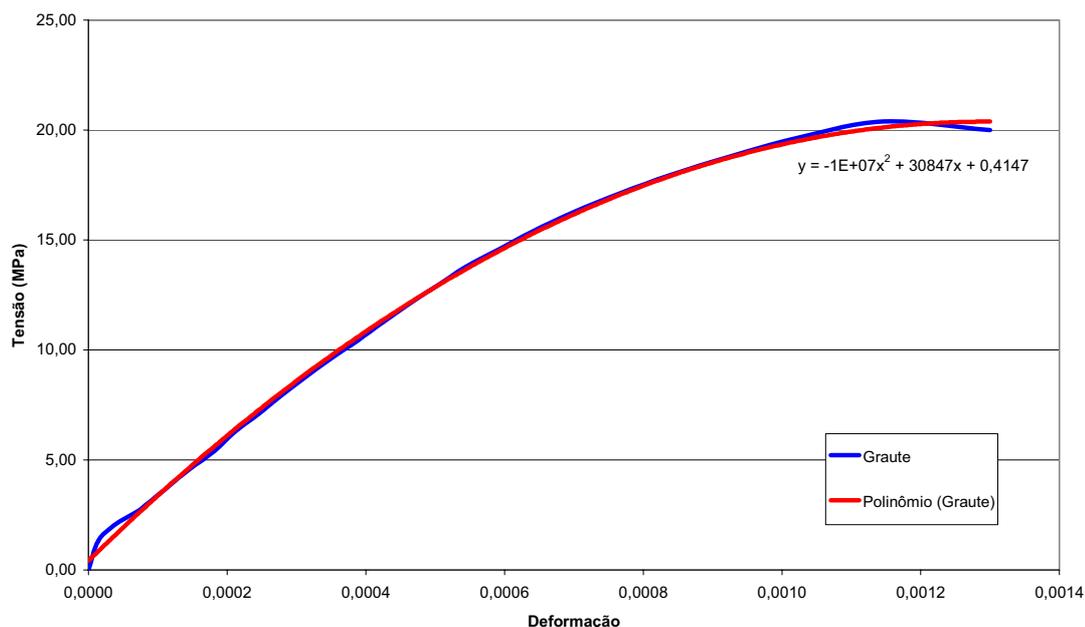


Figura 108 – Gráfico *Tensão x Deformação* do graute G1.

Para a estimativa da carga teórica de prismas e paredes armadas, foi adicionada ao somatório a parcela de carga referente à armadura. Para a obtenção das tensões atuantes nas barras de aço com as deformações específicas da alvenaria, foram utilizadas as curvas de aferição, obtidas das barras, mostradas anteriormente.

### **Prismas B1-G1 e B2-G1**

A seguir estão mostradas as resistências reais, obtidas nos ensaios dos prismas grauteados com graute tipo G1, sua respectiva carga real e a carga teórica esperada a partir da somatória de carga encontrada nos prismas vazios B1 mais a da carga estimada para o graute pelo gráfico da Figura 108.

Tabela 60 – Estimativa de resultados teóricos para os prismas B1-G1 e B2-G1.

<i>Elemento</i>	<i>Def. Rup. Prisma Grauteado (%)</i>	<i>Res. Real Prisma Grauteado (MPa)</i>	<i>Carga (kN)</i>		<i>Varição</i>
			<i>Real</i>	<i>Teórica</i>	
<i>Prisma B1-G1</i>	1,70	10,85	431,87	550,23	21,51
	1,50	10,69	425,50	553,08	23,07
	1,90	11,48	456,95	537,01	14,91
<i>Prisma B2-G1</i>	1,40	14,79	588,70	476,75	23,48
	2,00	14,29	568,80	476,91	19,27
	1,80	15,91	633,28	488,19	29,72

\* Variação obtida em relação aos resultados experimentais.

Observando as variações dos resultados experimentais e teóricos, sendo essa variação sempre em relação aos resultados experimentais, tem-se uma variação média de 19,8% para os prismas B1, e 24,2% para B2. Entretanto, percebe-se que os resultados reais nos prismas de blocos B1 foram menores do que seus respectivos resultados teóricos, e já os prismas de blocos B2 apresentaram valores maiores para as cargas reais.

Esse fato pode ter acontecido porque a área de graute nos blocos B2 é inferior aos blocos B1. Contudo, constatou-se nos resultados experimentais de prismas e paredes, que os blocos da classe B2 geram um aumento de resistência quando grauteados, devido às suas paredes mais espessas (maior resistência à tração contra a expansão do graute) e associado a uma menor área de graute (diminui essa expansão transversal do graute).

Visando a observar o comportamento de deformabilidade dessas estimativas teóricas com as curvas reais da alvenaria, foi realizada uma superposição dos gráficos individuais dos materiais (prisma vazio e graute) e comparado com a curva real. Essa curva é mostrada a seguir, e nela tem-se valores de *Carga x Deformações*.

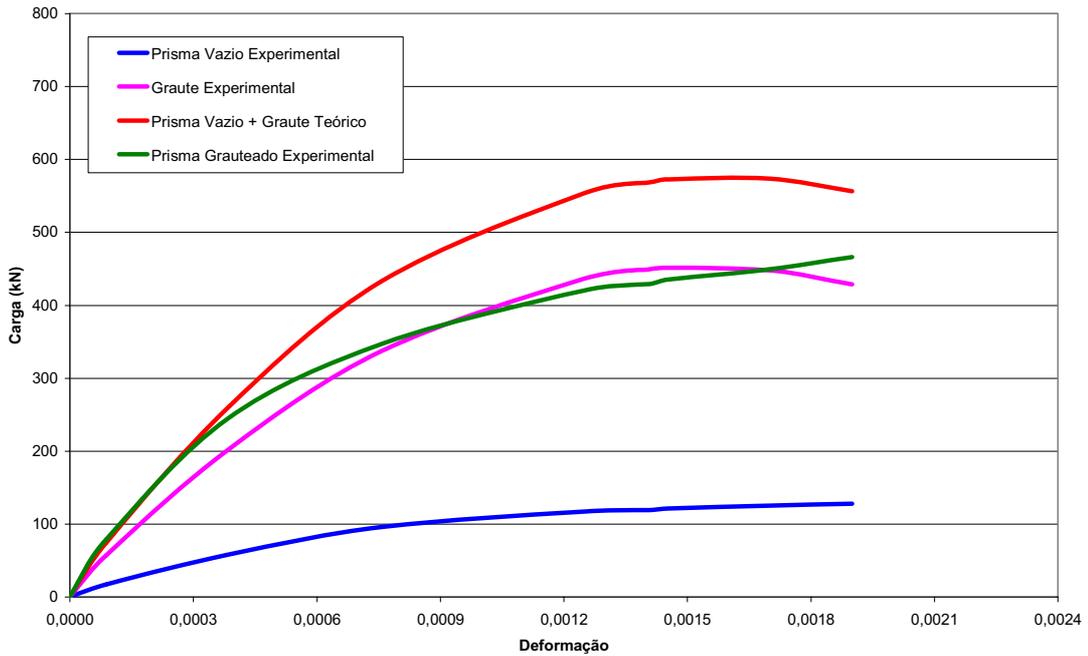


Figura 109 – Cargas x Deformações experimentais e teóricas dos prismas B1.

No gráfico, observa-se que até valores próximos a 250 kN, as curvas dos prismas reais B1 e da proposta teórica coincidiram, no entanto, a valores superiores às deformações dos prismas experimentais foram superiores para um mesmo nível de carga.

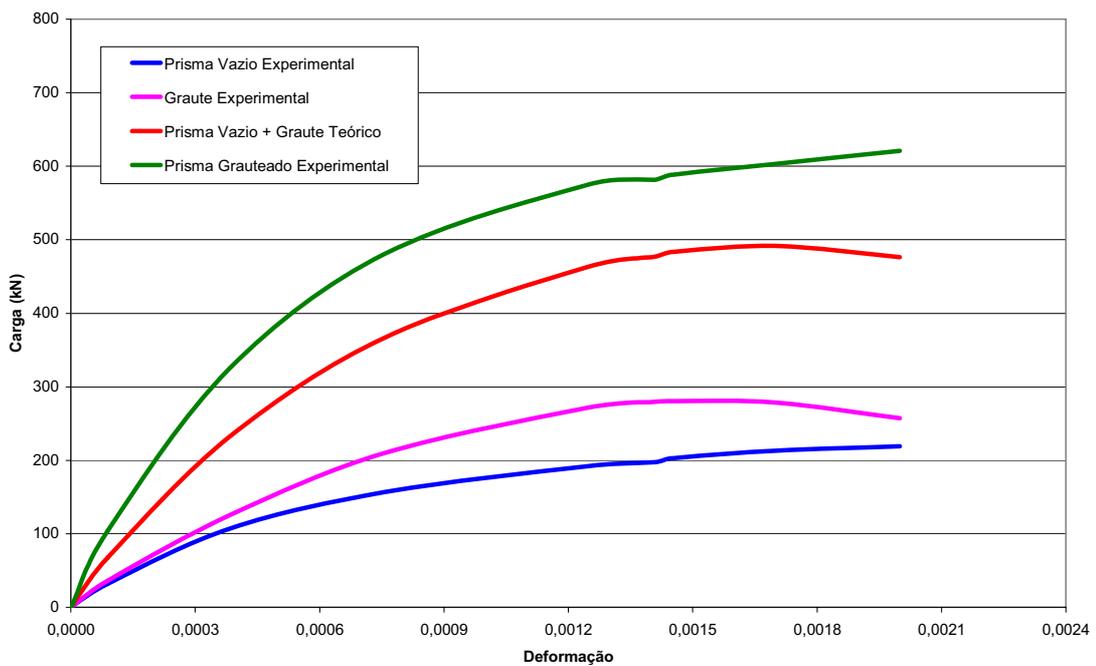


Figura 110 – Cargas x Deformações experimentais e teóricas dos prismas B2.

Nos prismas de blocos B2, observou-se um comportamento contrário ao obtido nos prismas B1, com valores experimentais superiores aos valores teóricos, comprovando a observação do aumento da resistência da alvenaria grauteada com os blocos B2.

### **Paredes B1-G1 e B2-G1**

A mesma proposta de suposição da carga experimental através do somatório das cargas dos elementos inseridos nas combinações foi realizada para as paredes B1-G1 e B2-G1. As cargas relativas à parcela apenas da alvenaria foi obtida a partir dos resultados das paredes vazias, e as cargas do graute foram retiradas do gráfico demonstrado anteriormente, da mesma forma feita com os prismas.

Tabela 61 - Estimativa de resultados teóricos para as paredes B1-G1 e B2-G1.

<i>Elemento</i>	<i>Def. Rup Parede GRAuteada (%)</i>	<i>Res. Real Parede Grauteada (MPa)</i>	<i>Carga (kN)</i>		
			<i>Real</i>	<i>Teórica</i>	<i>Varição (%)</i>
Parede B1-G1	1,60	7,85	937,38	1585,27	40,87
	1,10	7,86	938,58	1473,79	36,32
Parede B2-G1	0,90	14,65	1749,38	1224,03	42,92
	1,10	15,70	1874,76	1326,24	41,36

\* Variação obtida em relação aos resultados experimentais.

Analisando as cargas real e teórica das paredes B1-G1 e B1-G2, verifica-se que os valores de variação obtidos nos dois tipos de paredes foram bastante próximos, em média 39% para B1, e de 42% para B2. Novamente, verificou-se que os valores reais de carga das paredes B1 foram menores que seus respectivos valores teóricos, e, ao contrário, os valores reais das paredes B2 foram maiores do que os valores teóricos, reafirmando as explicações do aumento de resistência da alvenaria nos blocos B2 pela sua maior resistência na área líquida.

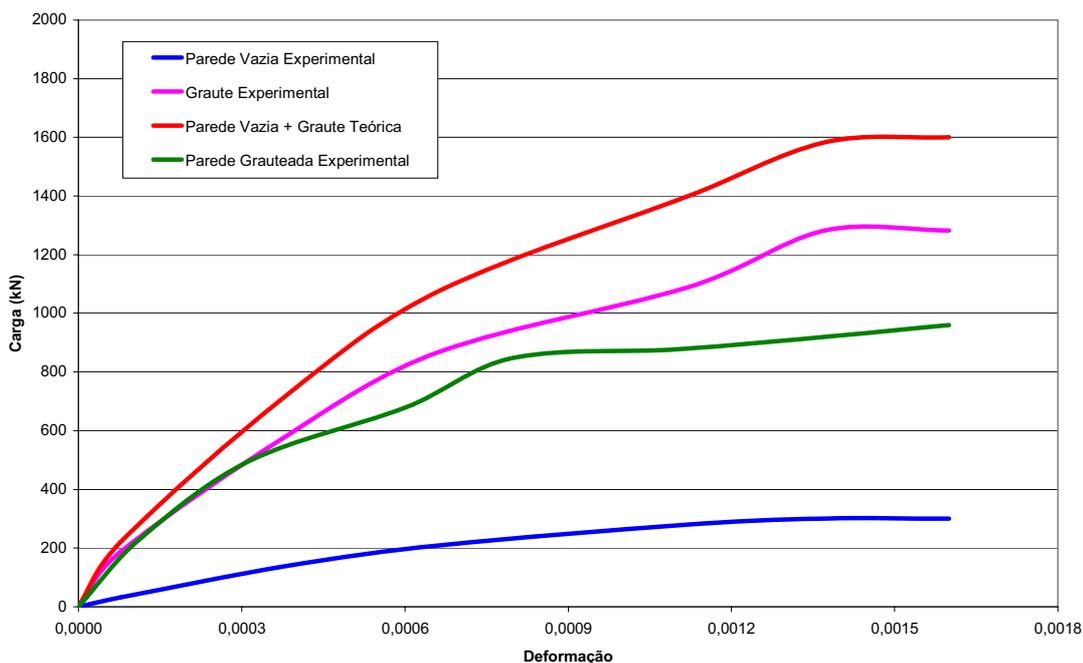


Figura 111 – Cargas x Deformações experimentais e teóricas das paredes B1.

Observando o gráfico, percebe-se que com valores até 500 kN as curvas de carga experimental e teórica das paredes B1 novamente coincidiram, e, acima desse valor, obteve-se cargas teóricas maiores que as experimentais, como ocorreu com os prismas B1.

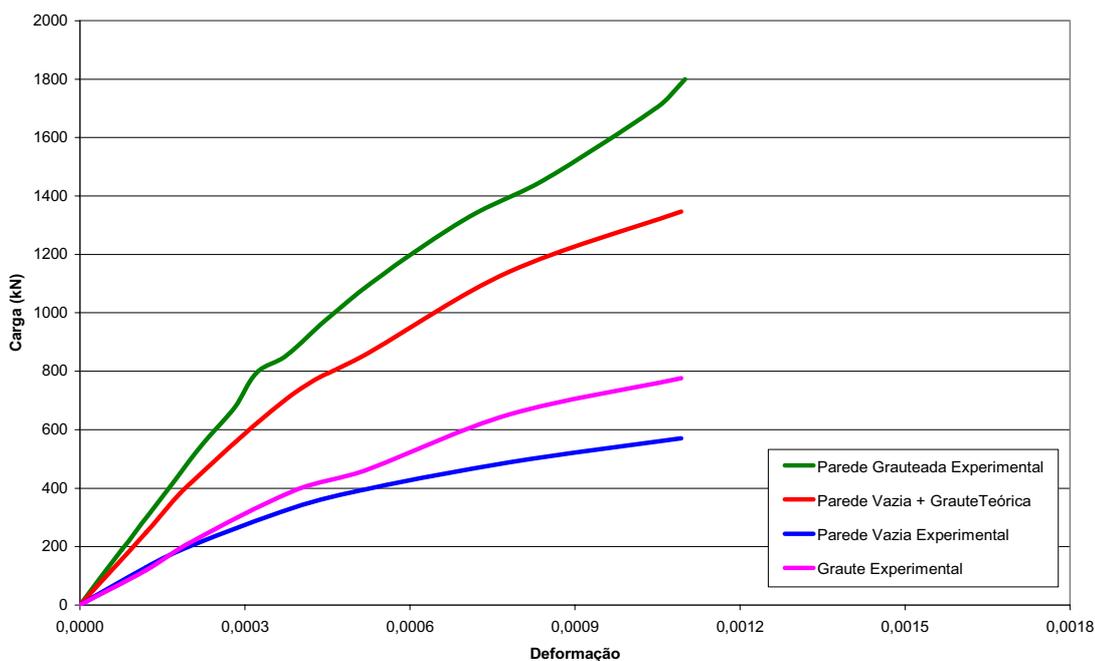


Figura 112 – Cargas x Deformações experimentais e teóricas das paredes B2.

As paredes B2 grauteadas também apresentaram o mesmo comportamento que o dos prismas B2, com valores de cargas experimentais maiores que os valores teóricos, fato observado durante os resultados em todo o trabalho, o que reafirma a maior capacidade de desempenho da alvenaria com os blocos B2.

### Prismas B1-G1- $\rho_1$ , B1-G1- $\rho_2$ e B1-G1- $\rho_3$

Nas combinações de prismas armados, foram propostas duas metodologias para determinação teórica da carga. A primeira foi composta pelo somatório da carga referente à alvenaria vazia mais a carga emitida pela área de graute atuante, mais a carga da barra de aço, inserida no prisma. A segunda proposta foi realizar o somatório da alvenaria já grauteada, ou seja, a carga referente aos prismas grauteados mais a carga relativa à área de aço existente. A primeira proposta foi denominada de Carga Teórica 1, e a segunda proposta foi chamada de Carga Teórica 2, e, a seguir, são apresentados os resultados das duas estimativas.

Tabela 62 - Estimativa de resultados teóricos para os prismas B1-G1- $\rho_1$ , B1-G1- $\rho_2$  e B1-G1- $\rho_3$ .

Elemento	Def. Rup Prisma Armado (%)	Res. Real Prisma Armado (MPa)	Carga (kN)				
			Real	Teórica 1	Varição 1 (%)	Teórica 2	Varição 2 (%)
Prisma B1-G1- $\rho_1$	2,10	10,29	409,58	523,99	21,83	488,23	16,11
	1,60	10,11	402,42	567,72	29,12	466,52	13,74
	1,60	9,35	372,17	567,72	34,45	466,52	20,23
Prisma B1-G1- $\rho_2$	1,00	10,14	403,61	493,16	18,16	404,23	0,15
	1,70	12,08	480,83	569,33	15,54	464,81	3,45
	2,10	11,31	450,18	524,62	14,19	488,86	7,91
Prisma B1-G1- $\rho_3$	1,90	11,21	446,20	555,33	19,65	476,06	6,27
	1,70	11,99	477,25	567,76	15,94	463,23	3,03
	2,10	11,02	438,64	525,88	16,59	490,12	10,50
Prisma B2-G1- $\rho_1$	1,50	13,22	526,21	496,77	5,93	585,75	10,16
	2,10	13,26	527,80	480,46	9,85	630,11	16,24
	2,10	14,18	564,42	480,46	17,48	630,11	10,42
Prisma B2-G1- $\rho_2$	1,40	12,16	484,02	491,42	1,51	583,40	17,04
	2,10	13,06	519,84	481,09	8,06	630,74	17,58
	1,80	12,63	502,72	503,65	0,18	607,63	17,27
Prisma B2-G1- $\rho_3$	1,90	14,50	577,16	501,64	15,05	613,89	5,98
	1,50	14,35	571,19	498,34	14,62	587,32	2,75
	2,10	14,65	583,13	482,35	20,89	632,00	7,73

\* Varição obtida em relação aos resultados experimentais.

Analisando a tabela acima, percebe-se que os prismas de blocos B1 apresentaram variações entre carga teórica e real maior para a proposta da Carga Teórica 1, e os valores reais foram sempre inferiores aos valores teóricos para as duas propostas. Lembrando que a proposta de Carga Teórica 1 é a somatória separada de carga de alvenaria, mais carga de graute, mais carga de armadura e a Carga Teórica 2 leva em consideração a soma da alvenaria grauteada, ou seja, uma única parcela de bloco e graute mais a carga de armadura.

Os prismas de blocos B2 apresentaram valores reais maiores do que os valores estimados pela Carga Teórica 1 e menores do que os obtidos pela Carga Teórica 2. A obtenção de valores superiores de carga real quando comparado com a carga teórica composta de parcela de prisma ou parede vazia mais graute mais armadura (quando existente) também foi observado nas estimativas de prismas e paredes apenas grauteadas de blocos B2. A constância desse comportamento nos corpos-de-prova de blocos B2 vem reafirmando a conclusão de aumento de resistência da alvenaria grauteada com blocos de maior área líquida e resistência.

As curvas a seguir demonstram essas estimativas teóricas e as experimentais com curvas de *Cargas x Deformações*, onde se verifica os comportamentos de deformabilidade das propostas citadas.

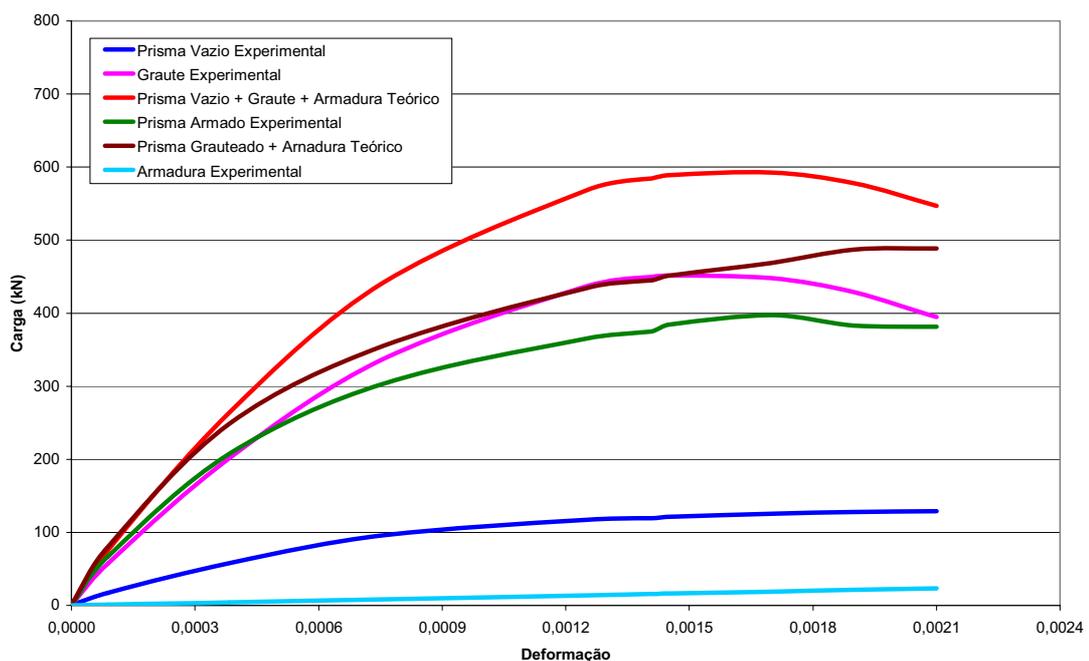


Figura 113 – *Cargas x Deformações* experimentais e teóricas dos prismas armados B1-G1-p1.

Observando as curvas, percebe-se as variações entre carga real e teórica para as duas propostas, sendo que a estimativa de somatória de carga de prisma vazio mais carga de graute e mais carga de armadura obteve cargas mais elevadas.

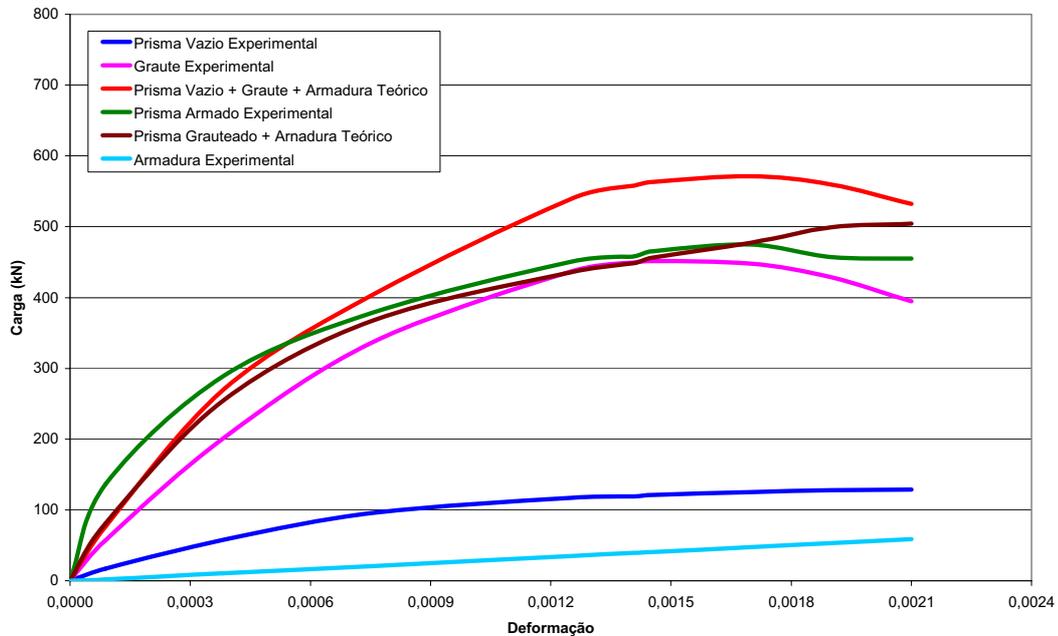


Figura 114 – Cargas x Deformações experimentais e teóricas dos prismas armados B1-G1- $\rho_2$ .

Os prismas de armadura  $\rho_2$  tiveram a curva teórica (carga de prisma grauteado mais carga de armadura) e curva real próxima com uma variação da carga de ruptura na ordem de 3,8%, podendo-se admitir que essa proposta teórica apresentou uma boa aproximação da carga real da alvenaria.

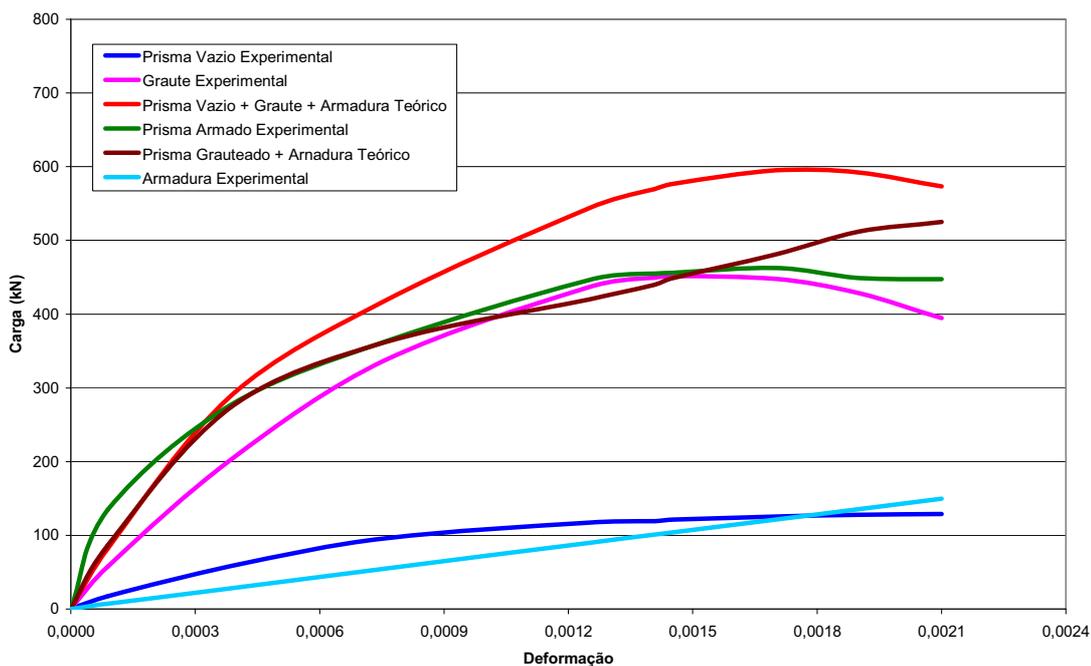


Figura 115 - Cargas x Deformações experimentais e teóricas dos prismas armados B1-G1- $\rho_3$ .

Para os prismas armados  $\rho_3$ , novamente, verificou-se uma boa representação da curva real pela curva teórica (Carga Teórica 2) e uma variação de ruptura também pequena próxima a 6,6%, em média. As curvas de *Carga x Deformação* dos prismas armados B2 podem ser observadas a seguir.

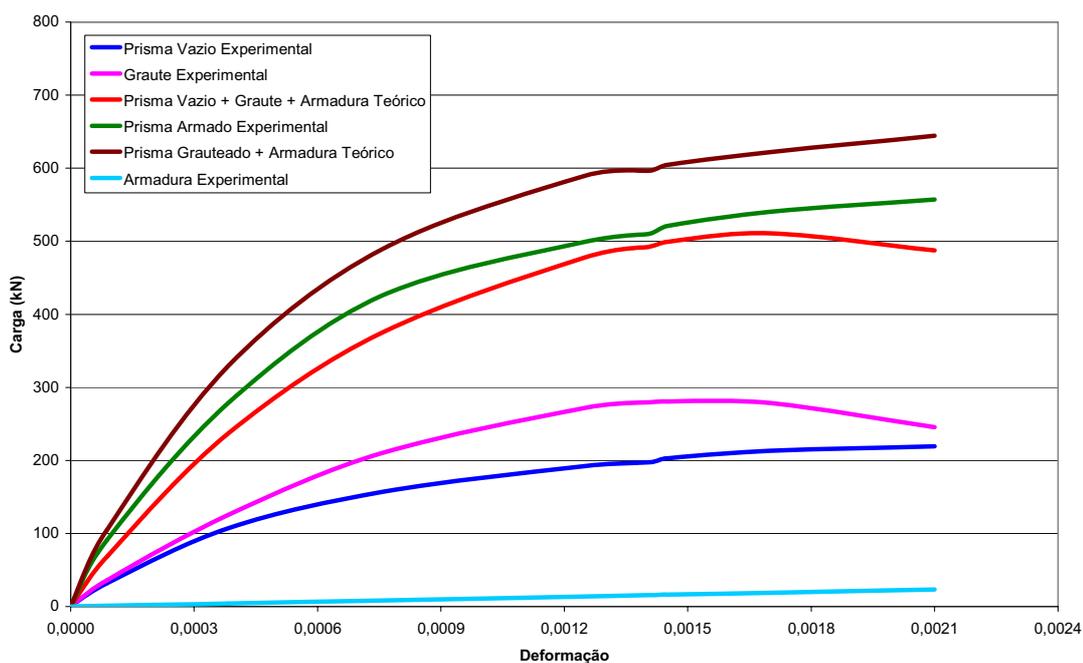


Figura 116 - Cargas x Deformações experimentais e teóricas dos prismas armados B2-G1- $\rho_1$ .

Os prismas B2-G1- $\rho_1$  apresentaram a curva real intermediária à curva teórica da proposta 1 e da proposta 2; no entanto, percebe-se que o comportamento dessas curvas é semelhante, fato observado em todas as curvas de prismas armados e nos prismas e paredes apenas grauteados, já estudados. E novamente se percebe que os valores reais são superiores aos valores teóricos que levam em consideração a parcela de alvenaria vazia mais parcela de graute e mais armadura.

Observando o gráfico dos prismas B2-G1- $\rho_2$ , percebe-se comportamentos semelhantes entre as curvas teóricas e a experimental, com variações de rupturas maiores para a proposta da Carga Teórica 1 (prisma vazio + graute + armadura).

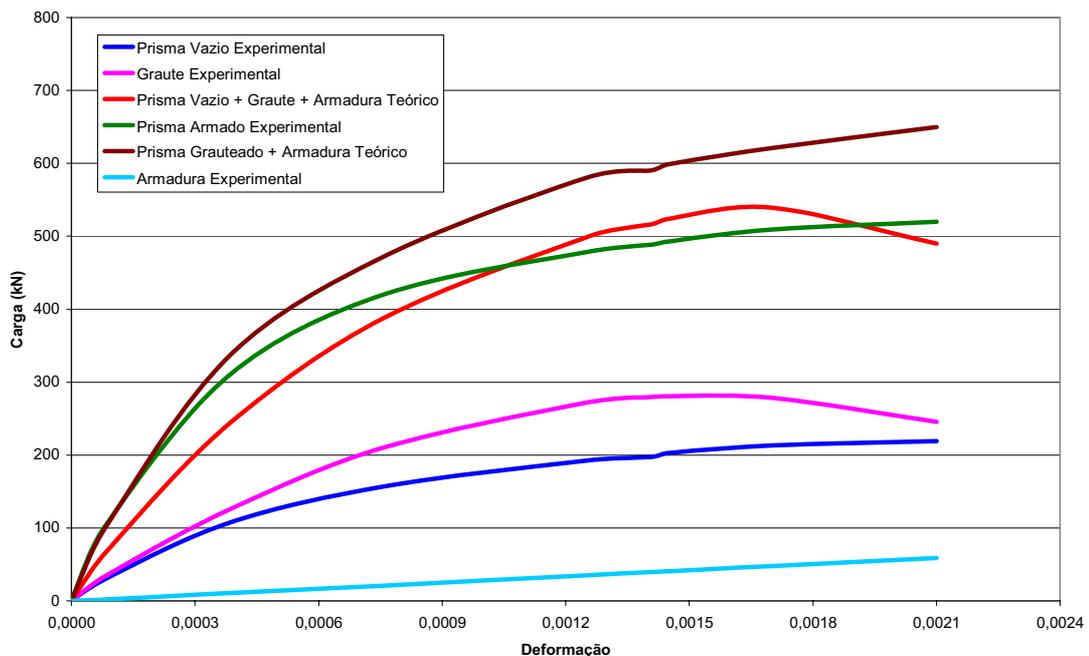


Figura 117 - Cargas x Deformações experimentais e teóricas dos prismas armados B2-G1- $\rho_2$ .

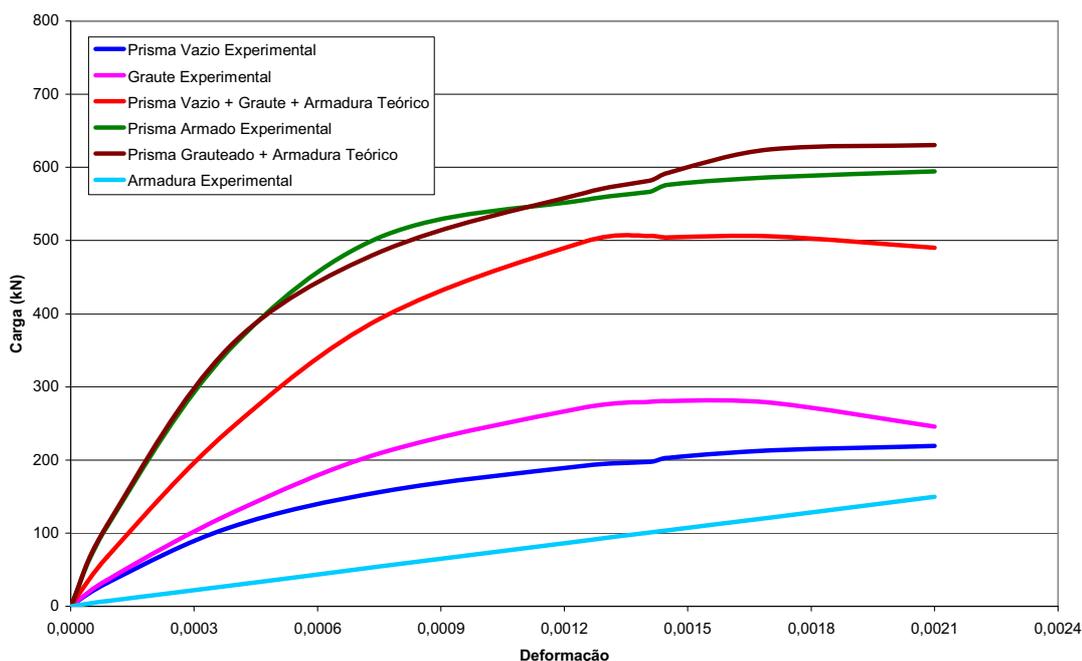


Figura 118 - *Cargas x Deformações* experimentais e teóricas dos prismas armados B2-G1- $\rho_3$ .

Os prismas B2-G1- $\rho_3$  tiveram suas curvas *Cargas x Deformações* muito próximas entre a carga real e a estimativa que representa a somatória de prisma grauteado mais armadura, com variação média de ruptura em 5,5%. Também foi verificado que a carga teórica (prisma vazio + graute + armadura) obteve valores bastante inferiores aos reais.

### **Paredes B1-G1- $\rho_1$ , B1-G1- $\rho_2$ e B1-G1- $\rho_3$**

De forma análoga, a estimativa realizada nos prismas armados foi feita para as paredes armadas, mantendo as duas propostas de carga teórica adotada. A seguir são dados os resultados das estimativas teóricas.

Tabela 63 - Estimativa de resultados teóricos para as paredes B1-G1- $\rho_1$ , B1-G1- $\rho_2$  e B1-G1- $\rho_3$ .

<i>Elemento</i>	<i>Def. Rup Prisma Armado (%)</i>	<i>Res. Real Prisma Armado (MPa)</i>	<i>Carga (kN)</i>				
			<i>Real</i>	<i>Teórica 1</i>	<i>Varição 1 (%)</i>	<i>Teórica 2</i>	<i>Varição 2 (%)</i>
Parede B1-G1- $\rho_1$	1,20	10,08	1203,67	1559,77	22,83	959,85	25,40
	1,30	8,55	1020,97	1600,57	36,21	960,26	6,32
Parede B1-G1- $\rho_2$	1,50	10,41	1243,08	1701,69	26,95	1072,01	15,96
	1,00	8,59	1025,75	1489,63	31,14	980,42	4,62
Parede B1-G1- $\rho_3$	0,70	8,75	1044,85	1267,70	17,58	915,94	14,07
	1,40	9,46	1129,64	1856,15	39,14	1218,50	7,29
Parede B2-G1- $\rho_1$	0,70	14,25	1701,62	1082,35	57,22	1335,37	27,43
	1,20	13,60	1624,00	1436,11	13,08	1597,53	1,66
Parede B2-G1- $\rho_2$	0,80	15,78	1884,32	1212,44	55,41	1477,80	27,51
	1,00	15,94	1903,42	1371,65	38,77	1571,39	21,13
Parede B2-G1- $\rho_3$	0,70	17,31	2067,02	1191,43	73,49	1428,92	44,66

\* Variação obtida em relação aos resultados experimentais.

As paredes B1 apresentaram valores superiores de variação entre carga real e teórica para a proposta 1, fato também observado nos prismas armados B1, e com valores reais menores do que os valores teóricos 1; já os valores da Carga Teórica 2 obtidos foram inferiores aos reais.

As paredes de blocos B2 apresentaram variações entre valores reais de carga, e propostos superiores aos obtidos nas paredes B1. Esse comportamento foi observado também nos prismas armados B1-G1 e nos prismas e paredes apenas grauteados, permitindo concluir que a proposta teórica 2 apresentou, em geral, variações menores nas cargas de ruptura

Os resultados reais de paredes armadas B2 foram maiores do que os resultados teóricos da proposta Carga Teórica 1 e menores que a Carga Teórica 2, comportamento oposto ao ocorrido com as paredes B1 armadas e igualmente verificado com os prismas armados. Tal fato demonstra que para um mesmo tipo de combinações, prismas e paredes armadas com o mesmo graute e as mesmas taxas de armaduras, variando a classe de bloco, obtiveram-se propostas teóricas mais adequadas inversas, ou seja, para as paredes e prismas armados de bloco B1, a proposta carga de alvenaria vazia + carga de graute + carga de armadura resultou valores reais superiores aos valores teóricos, e para as paredes e prismas de bloco B2 essa proposta obteve resultados reais superiores aos teóricos. Conclusões contrárias foram obtidas com a proposta de carga de alvenaria grauteada + carga de armadura, onde prismas e paredes

B1 tiveram valores reais maiores que os teóricos e prismas, e paredes B2 tiveram os valores reais inferiores.

Os comportamentos de deformabilidade podem ser observados nas curvas *Carga x Deformação*, nos quais se enfatiza os comentários acima.

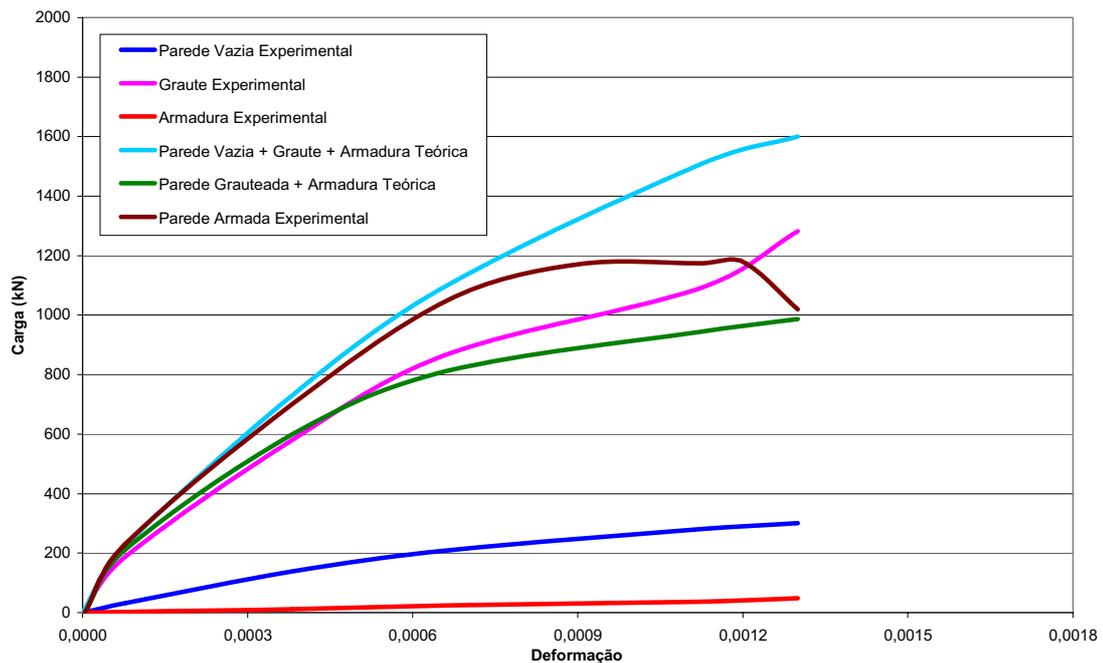


Figura 119 - *Cargas x Deformações* experimentais e teóricas das paredes armadas B1-G1- $\rho_1$ .

Na figura acima, observa-se que a curva real apresentou um comportamento bastante próximo da curva teórica (parede vazia + graute + armadura); no entanto, a partir de 1100 kN, elas foram se distanciando, obtendo a variação da carga de deformação de ruptura alta.

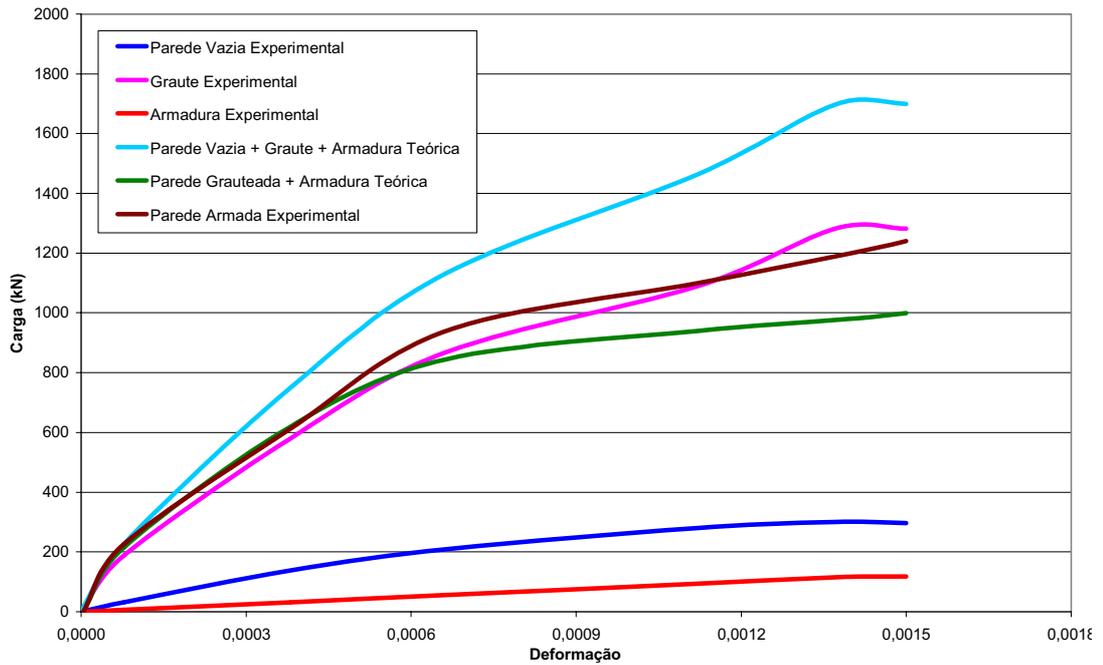


Figura 120 - Cargas x Deformações experimentais e teóricas das paredes armadas B1-G1- $\rho_2$ .

As paredes B1-G1- $\rho_2$  tiveram sua curva teórica parede vazia + graute + armadura muito distante da curva experimental, em que os valores de até 700 kN tiveram o mesmo comportamento da curva teórica parede grauteada + armadura.

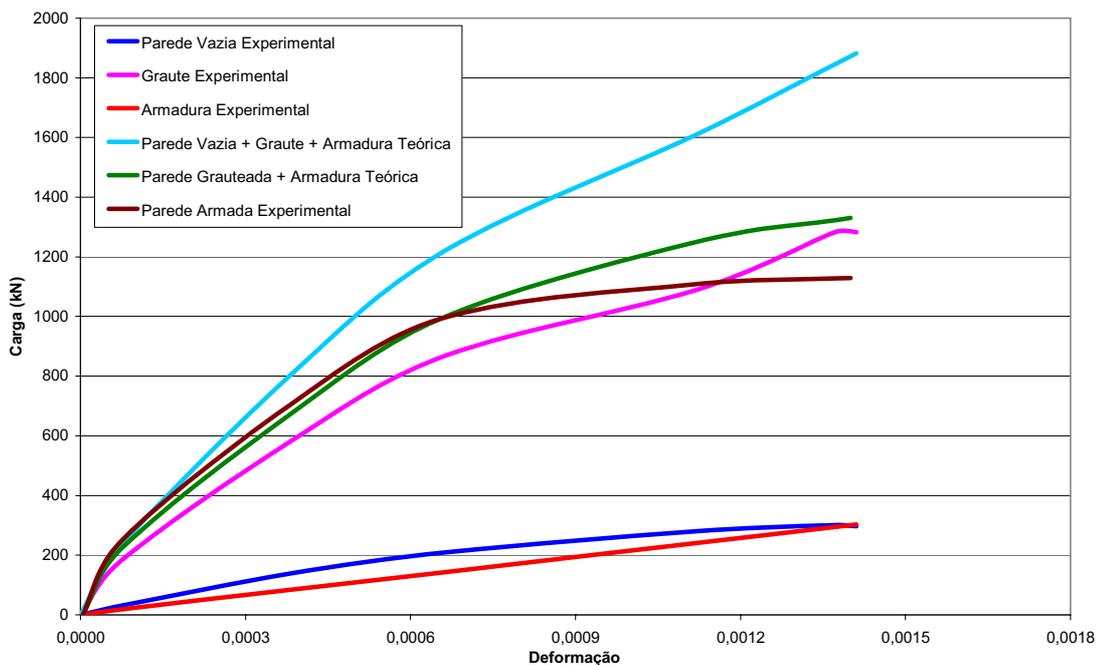


Figura 121 - Cargas x Deformações experimentais e teóricas das paredes armadas B1-G1- $\rho_3$ .

Da mesma forma observada nas paredes com armadura  $\rho_2$ , as paredes com  $\rho_3$  tiveram o comportamento da curva real mais próximo do teórico da parede grauteada + armadura, com valores bastante superiores para a outra proposta teórica.

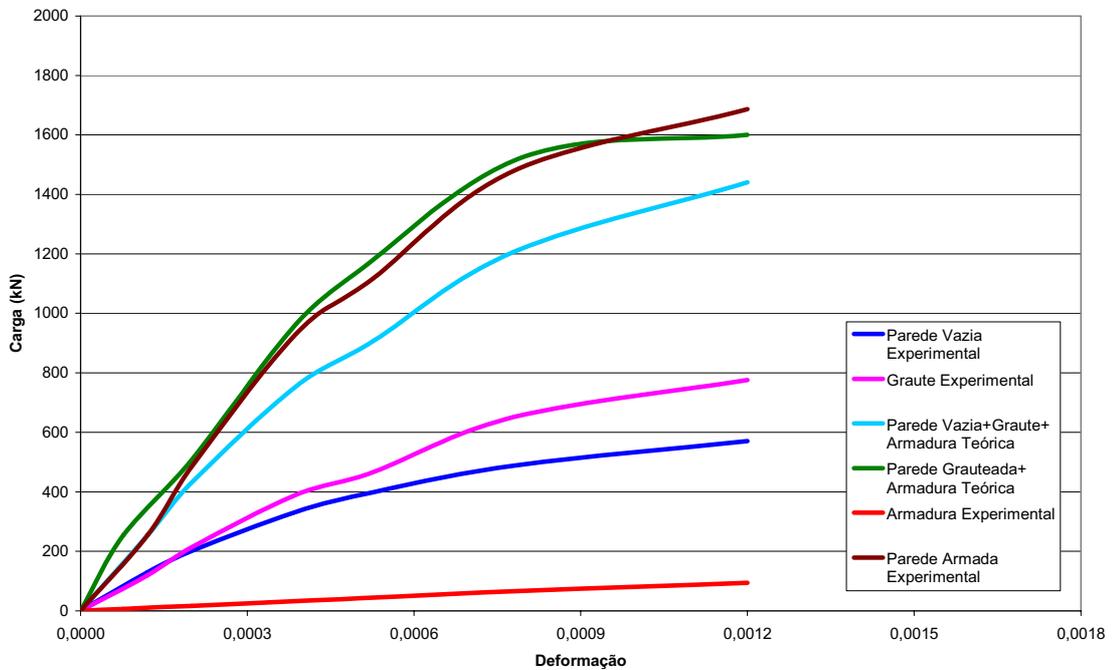


Figura 122 - Cargas x Deformações experimentais e teóricas das paredes armadas B2-G1- $\rho_1$ .

Nas paredes B2-G1- $\rho_1$ , as curvas reais e teóricas com parede grauteada + armadura tiveram o comportamento muito próximo, demonstrando uma eficácia muito boa dessa estimativa teórica. Observa-se também que a curva teórica da parede vazia + graute + armadura apresentou valores inferiores aos reais, reafirmando o aumento de resistência da alvenaria grauteada de blocos B2 devido a suas características geométricas e estruturais.

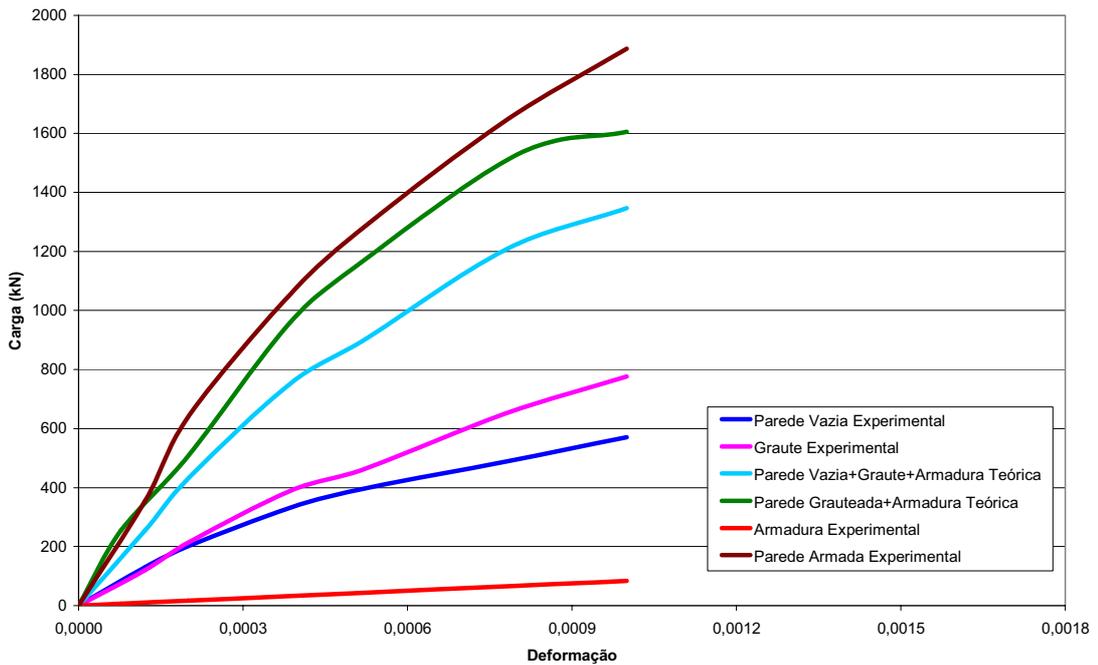


Figura 123 – Cargas x Deformações experimentais e teóricas das paredes armadas B2-G1- $\rho_2$ .

As paredes B2-G1- $\rho_2$  tiveram as curvas experimentais e teóricas (parede grauteada + armadura) novamente mais próximas e apresentaram valores superiores à segunda proposta teórica (parede vazia + graute + armadura).

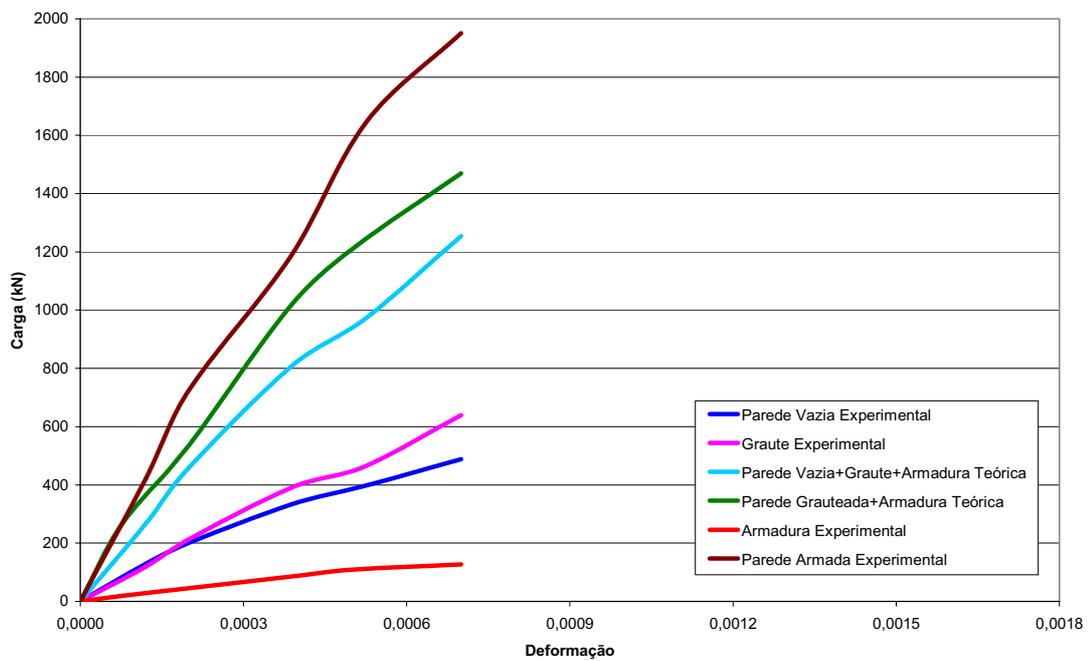


Figura 124 - Cargas x Deformações experimentais e teóricas das paredes armadas B2-G1- $\rho_3$ .

Por último, as paredes B2-G1-p3 apresentaram os mesmos comportamentos observados nas outras combinações de paredes armadas e apenas grauteadas, com blocos B2. Sendo que as curvas teóricas (parede grauteada + armadura) tiveram valores bastante próximos das curvas experimentais, e as curvas teóricas (parede vazia + graute + armadura) mostraram-se inferiores.

## 9. CONCLUSÕES

### **Blocos**

Os resultados obtidos para os blocos (B1 e B2) mostraram-se coerentes com a proposta do trabalho, apesar das resistências encontradas serem superiores às nominais, inicialmente, definidas. Durante os ensaios de compressão axial, foi observada uma forma de ruptura cônica, comumente encontrada na literatura. O gráfico *Tensão x Deformação* apresentou um bom comportamento, sem grandes dispersões entre as curvas dos blocos da mesma classe, comprovando a boa qualidade do material, esse fato é reafirmado pelos baixos coeficientes de variação, obtidos por meio dos ensaios dos blocos, da ordem de 8%.

Os ensaios nas argamassas e nos grautes, apresentaram algumas variações em seus resultados, entretanto, essas variações não tiveram influências visíveis nos resultados de prismas e paredes, como já foi comentado. Foi verificado que a argamassa aderiu bem aos blocos, não ocorrendo seu desprendimento nem seu esmagamento muito antes da carga de ruptura, como ocorrido nos ensaios pilotos. Além disso, também não foram percebidas variações de formas de ruptura, nos comportamentos de deformabilidade e resistência final dos prismas e paredes, pelo fato de ter sido utilizado um único tipo de argamassa para as duas classes de blocos.

Foi constatado um aumento expressivo na resistência de prisma e parede quando grauteada (com relação à área bruta). Merece atenção o fato de que apesar de verificado esse aumento, ele não aconteceu na mesma proporção do aumento da área efetiva dos blocos. As duas classes de blocos apresentaram aumento de resistência dos prismas grauteados, com os vazios (área bruta) próximos a 2,0, e das paredes grauteadas, com as vazias na ordem de 1,85; entretanto, a relação de áreas (bruta/líquida) alterou de 1,78 (B1) para 1,40 (B2). Portanto, constatou-se que o aumento ocorre, porém ele não é necessariamente proporcional à relação efetiva de áreas.

A avaliação estatística, mostrada no anexo 1, comprovou esse fato verificando que com base nas áreas líquidas dos prismas vazios foram constatadas diferenças significativas nos prismas grauteados para a classe de bloco, com relação efetiva de áreas de 1,40, e para a classe com a

relação de 1,78, não se constatou essa diferença. Para as paredes, apesar de não ter sido realizada a avaliação estatística, os resultados apresentaram o mesmo comportamento observado nos prismas, onde o grauteamento das paredes com a relação de áreas em 1,78 não tiveram aumento de resistência, e as paredes com relação de áreas em 1,40 obtiveram um ganho de 32% em relação à sua respectiva parede vazia na área líquida, permitindo constatar que blocos mais resistentes podem aumentar a resistência da alvenaria grauteada. Contudo, esses resultados contrariam os autores Aly e Sabbatini (1994, p. 120) os quais concluíram que o aumento percentual na resistência à compressão das paredes grauteadas em relação às paredes não grauteadas é inversamente proporcional ao aumento da resistência do bloco.

### **Prismas**

Quanto aos resultados de prismas vazios e apenas grauteados, verificou-se que a inserção do graute igualou a resistência do prisma grauteado com o prisma vazio em relação à área líquida para os blocos B1. Já os prismas de blocos B2 apresentaram valores de resistência maiores quando grauteados do que seus respectivos prismas vazios na área líquida. Esse fato pode ser explicado pela maior espessura das paredes dessa classe de blocos, apresentando maior resistência, e também como a área de graute no interior do prisma é menor, esse graute possui deformações transversais menores. Portanto, constatou-se que blocos com maior área líquida são capazes de aumentar a resistência de prismas grauteados, além da resistência dele vazio na área líquida. Contudo, o aumento de resistência do graute não alterou a resistência da alvenaria.

O grauteamento dos prismas igualou o comportamento das curvas *Tensão x Deformação* do prisma (medida pelo LVDT) e do bloco inserido (medida pelo extensômetro) entre todas as combinações de classe de blocos e tipos de grautes; assim, constatou-se que o grauteamento igualou a deformabilidade da alvenaria e do bloco contido nela.

As deformações encontradas para os prismas vazios e grauteados mostraram que a utilização de graute de maior resistência, e, conseqüentemente, menos deformável diminui as

deformações de ruptura, obtidas nos prismas, apesar de não verificar alteração na resistência à compressão axial do prisma.

Os resultados dos prismas armados demonstraram que as barras de aço inseridas nos prismas não apresentaram variações significativas nas resistências finais da alvenaria, não ocorrendo uma alteração constante. As deformações de ruptura dos prismas não tiveram diferenças perceptíveis com as barras de aço, oscilando na faixa de 1,3 a 2,0 ‰ para todas as combinações. Esses resultados permitem afirmar que a utilização das barras de aço no interior de prismas de blocos de concreto não modificam seu comportamento estrutural se comparado com os prismas apenas grauteados.

## **Paredes**

A utilização do graute nas paredes constatou o mesmo comportamento de resistência à compressão obtido nos prismas. Paredes de blocos B1 tiveram as resistências entre paredes vazias na área líquida e paredes grauteadas igualadas; no entanto, isso não ocorreu com as paredes de blocos B2, que tiveram as resistências das paredes grauteadas superiores às das paredes vazias na área líquida, confirmando a explicação de que os blocos B2 são mais resistentes na área líquida, e aliados a uma menor expansão transversal do graute por possuir menor área, aumentam a resistência da alvenaria.

Quanto à deformabilidade das paredes vazias e grauteadas, não foi observada alterações de comportamento com a inserção do graute, apesar das paredes do bloco B2 obterem uma diminuição considerável com o grauteamento (1,80 na parede vazia, para 1,00 ‰ na parede grauteada), esse fato não aconteceu com as paredes B1.

Novamente, foi constatado que a inserção das armaduras nas paredes não alterou de maneira significativa a resistência da alvenaria se comparada com a parede grauteada. A pouca interferência das barras de aço na resistência da alvenaria pode ser explicada através do nível de deformação de ruptura da alvenaria, pois com as deformações na alvenaria, a carga de

contribuição da armadura é muito pequena, não produzindo aumentos reais na carga final da parede.

Esse fato também foi observado por Aly e Sabbatini (1994) que realizaram ensaios em paredes armadas de blocos de concreto, obtendo também pequenas variações entre paredes grauteadas armadas, apesar de que eles utilizaram taxas de armaduras mais baixas.

Andrade (1998) realizou uma análise de resultados de experimentos com paredes armadas de alvenaria, na qual concluiu que a principal função da armadura no interior da parede é redistribuir melhor os esforços e conferir maior homogeneidade a alvenaria.

Quanto ao comportamento das curvas *Tensão x Deformação* das paredes vazias com as paredes grauteadas, verificou-se que as paredes B1 tiveram curvas coincidentes entre corpos-de-prova vazios na área líquida e grauteados, já as paredes B2 tiveram um comportamento diferenciado, sendo que as paredes grauteadas mostraram-se mais rígidas do que as vazias na área líquida, fato também observado nos prismas.

As deformações médias, obtidas nas paredes, apresentaram valores entre 0,7 a 1,8‰, mostrando-se mais rígidas do que os prismas. As curvas *Tensão x Deformação* das paredes grauteadas e armadas para a alvenaria (LVDT) e do bloco inserido à parede (extensômetro bloco) tiveram o mesmo comportamento, fato que também foi constatado nos prismas, confirmando que o grauteamento igualou a deformabilidade de bloco e parede.

As propostas de estimativas teóricas da carga final da alvenaria armada, demonstraram, que são mais coerentes os valores teóricos que representam a alvenaria já grauteada, somada à parcela de carga da armadura, pois foi observado que há variações significativas de resistência e deformabilidade com a utilização de um mesmo graute e taxa de armadura em blocos de classes diferentes.

### **Em Síntese:**

- O grauteamento praticamente dobrou a resistência do prisma grauteado, comparado com o prisma vazio na área bruta, porém esse aumento não é necessariamente proporcional à relação efetiva de áreas.
- Os prismas grauteados apresentaram diminuição na deformação de ruptura com a utilização de grautes mais rígidos.
- A inserção do graute nas paredes aumentou em média 80% a resistência à compressão, se comparada com as paredes vazias na área bruta.
- O grauteamento homogeneizou o comportamento de deformabilidade da alvenaria e do bloco que a constitui, no prisma e na parede.
- As armaduras não alteraram o comportamento estrutural dos prismas e paredes, nem na sua resistência à compressão axial e nem na sua deformabilidade.

### **Sugestões para trabalhos futuros**

Como trabalho futuro, visando a dar continuidade ao estudo aqui realizado, propõe-se uma investigação do efeito da relação área bruta / área líquida de blocos estruturais de concreto, para verificar se a alteração dessa relação interfere realmente no comportamento da alvenaria estrutural.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALY, V. L. C. **Determinação da capacidade resistente do elemento parede de alvenaria armada de blocos de concreto, submetido à esforços de compressão.** São Paulo, 1991. 103p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica de São Paulo, Universidade de São Paulo.

ALY, V. L. C.; SABBATINI, F. H. **Determinação de correlações de resistências mecânicas de paredes de alvenaria estrutural de blocos de concreto.** IN: 5<sup>TH</sup> International Seminar on Structural Masonry of Developing Countries, 1994, Florianópolis – Brazil.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 1314 – 03b **Standard test method for compressive strength of masonry prisms.** In: Masonry Standards for the Building Industry. 2004. Fifth Edition.

ANDOLFATO, R. P. **Desenvolvimento das técnicas de produção de blocos de concreto para alvenaria estrutural na escala (1:4).** Ilha Solteira, 2002. 110p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista.

ANDRADE A. A. **Comportamento estrutural de paredes de alvenaria.** São Paulo, 1998. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica de São Paulo, Universidade de São Paulo.

ARAÚJO, H. N. **Intervenção em uma obra para implantação do processo construtivo em alvenaria estrutural: um estudo de caso.** Florianópolis, 1995. 117 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Parede de alvenaria estrutural – Ensaio à compressão axial** NBR 8949. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1985. 7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Determinação da resistência à compressão:** NBR 7184. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1992. 2p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto**: NBR 10837. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1989. 20p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação da resistência à compressão – Cimento Portland**: NBR – 7215. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnica, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Moldagem e cura de corpos de prova prismáticos ou cilíndricos de concreto**: NBR – 5738. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnica, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural - Preparo e ensaio à compressão**: NBR 8215. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1983. 2p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Determinação da absorção de água, do teor de umidade e da área líquida**: MB 3459. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1991. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural**: NBR 6136. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1994. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Execução e controle de obras de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto**. NBR 8798. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1985. 15p.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **Code of practice for structural use of masonry. Part 1: Unreinforced masonry**: BS 5628. London, 1978.

CALÇADA, L. M. L. **Avaliação do comportamento de prismas grauteados e não grauteados de bloco de concreto**. Florianópolis, 1998. 188p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

CAMACHO, J. S.; RAMALHO, M. A.; ANDOLFATO, R. P. **An experimental study of the interaction among walls submitted to vertical loads.** IN: AMC – 6<sup>TH</sup> AUSTRALIAN MASONRY CONFERENCE, 2001, Adelaide. *Proceedings of the 6th Australian Masonry Conference*. Adelaide: Griffith, 2001. v. 1, p. 95-104.

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

CASALI, J. M. **Estudo comparativo do comportamento de diferentes tipos de argamassas de assentamento para alvenaria estrutural de blocos de concreto.** Florianópolis, 2003. 184 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

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

FRANCO, L. S. **Desempenho estrutural do elemento parede de alvenaria empregado na alvenaria estrutural não armada, quando submetido a esforços de compressão.** São Paulo, 1987. 136p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica de São Paulo, Universidade de São Paulo.

FRASSON JÚNIOR, A. **Proposta de metodologia de dosagem e controle do processo construtivo de blocos de concreto para alvenaria estrutural.** Florianópolis, 2000. 146p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

GARCIA, P. D. **Contribuições ao Estudo da Resistência à Compressão de Paredes de Alvenaria de Blocos Cerâmicos.** São Carlos, 2000. 255p. Dissertação (Mestrado) em Engenharia de Estruturas – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

GOMES, N. S. **A resistência das paredes de alvenaria.** São Paulo, 1974. 190p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

JUSTE, A. E. **Estudo da resistência e da deformabilidade da alvenaria de blocos de concreto submetida a esforços de compressão.** São Carlos, 2001. 114p. Dissertação (Mestrado) em Engenharia de Estruturas – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

MACHADO JUNIOR, E. F.; TAKEYA, T.; VAREDA, L. V. **Ensaio de compressão simples em paredes de alvenaria de blocos cerâmicos.** 1999. Relatório Técnico: Cerâmica Selecta. São Carlos.

MAURÍCIO, R. M.; CAMACHO, J.; ANDOLFATO, R. P. **Resistência à Compressão Axial de Blocos de Concreto Capeados com Diferentes Materiais.** In: 46º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2004, Florianópolis. 46º Congresso Brasileiro do Concreto. Florianópolis: Ivo J. Padaratz e Túlio N. Bittencourt, 2004. v. VI, p. 1271-1280.

MAURÍCIO, R. M. **Estudo das ligações diretas entre paredes de blocos de concreto em escala real e reduzida 1:4.** Ilha Solteira, 2005. 251p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista.

METHA, P. K. & MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo, Pini, 1994. Cap 1 e 3.

MEDEIROS, J. S. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: Produção de componentes e parâmetros de projeto.** São Paulo, 1993. 449p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

MENDES, R. J. K. **Resistência à compressão da alvenaria de blocos cerâmicos estruturais.** Florianópolis, 1998. 200p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

MOHAMAD, G. **Comportamento mecânico na ruptura de prismas de blocos de concreto.** Florianópolis, 1998. 114p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

OLIVEIRA, L. A. P. **Estudo do desempenho dos grautes com adições para enchimento de blocos de alvenaria estrutural**. São Paulo, 1986. 100p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA, L. A. P. **Reabilitação de paredes de alvenaria pela aplicação de revestimentos resistentes de argamassa armada**. São Paulo, 2001. 274p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

PRADO ROCHA, M. F.; PEREIRA DE OLIVEIRA, L. A. **Influência da absorção capilar dos blocos cerâmicos na resistência de aderência na argamassa de assentamento**. In: III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIAS DAS ARGAMASSAS, 1999, Vitória - ES.

PRUDÊNCIO Jr, L. R.; OLIVEIRA, A. L.; BEDIN, C. A. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto**, Florianópolis. Editora Gráfica Pallotti, 2003. 207p.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2003. 174p.

ROMAN, H. R.; MUTTI, C. N.; ARAÚJO, H. N. **Construindo em alvenaria estrutural**. Florianópolis: UFSC, 1999. 83p.

ROMAGNA, R. H. **Resistência à compressão de prismas de blocos de concreto grauteados e não grauteados**. Florianópolis, 2000. 218p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

SABBATINI, F. H. **Processos construtivos de edifícios de alvenaria sílico-calcária**. São Paulo, 1984. 298p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SILVA, G. R. **Manual de Traços de concreto**. 3º Edição. São Paulo, 1975. 113p.

## 11. ANEXOS

### ANEXO 1 - AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Diante do grande número de combinações de prismas e paredes e da pequena variação das tensões de ruptura obtida entre elas, foi realizada uma análise estatística dos resultados visando a verificar quais as diferenças reais entre as tensões médias, e quais não podem ser ditas diferentes baseado nessa avaliação estatística.

Para a realização dessa análise, foram divididas as combinações em grupos de acordo com o objetivo do trabalho, que é avaliar a influência do graute e da armadura na alvenaria. Assim, foram formados grupos, contendo apenas prismas e paredes vazias e grauteadas, e outros com prismas e paredes grauteadas e armadas, sendo também separados pelas classes de blocos.

Foi realizada uma comparação múltipla de médias nesses grupos, ou seja, foram verificadas as diferenças entre as tensões médias das combinações de prismas no grupo, pois a comparação de médias duas a duas conduziria a uma probabilidade de ocorrência diferente dessa probabilidade “ $\alpha$ ”, adotada para cada comparação. Portanto, foi recorrido a um teste de análise de variância (ANOVA) com nível de significância 0,05.

O uso da análise de variância (ANOVA) na comparação de “n” médias está baseado na relação da variabilidade das médias entre as combinações do grupo e da variabilidade das observações dentro da combinação. Assim, para a realização de um teste de ANOVA deve-se verificar a condição de normalidade dos dados, e que a distribuição dos resíduos em relação à média de cada combinação não tenha uma tendência de crescimento ou diminuição.

Na análise da normalidade dos dados, foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov, e, para a verificação de que a distribuição dos resíduos em relação a média das combinações seja uniforme, foi adotado o teste de comparação de variâncias de Bartlett, por serem métodos bastante utilizados no meio estatístico, e de simples realização.

Depois de verificadas as condições citadas acima, foram analisadas se as médias dos grupos podem ser consideradas diferentes e quais médias diferem, significativamente entre si através do cálculo da ANOVA e do teste de Duncam. O teste de Duncam é um procedimento que compara várias médias duas a duas, ou seja, permite concluir se as médias em pares não podem ser ditas diferentes ou iguais com um nível de significância determinado em todo o grupo. Os grupos foram organizados conforme suas combinações de grautes e armaduras e estão discriminados a seguir.

Tabela 64 – Grupos de prismas e paredes para análise estatística.

<b>Grupo</b>	<b>B1 x Graute</b>	<b>B2 x Graute</b>	<b>B1-G1 x Armadura</b>	<b>B1-G2 x Armadura</b>	<b>B2-G1 x Armadura</b>	<b>B2-G2 x Armadura</b>
<b>Prisma</b>	<i>B1-Vazio</i>	<i>B2-Vazio</i>	<i>B1-G1</i>	<i>B1-G2</i>	<i>B2-G1</i>	<i>B2-G2</i>
	<i>B1-G1</i>	<i>B2-G1</i>	<i>B1-G1-ρ1</i>	<i>B1-G2-ρ1</i>	<i>B2-G1-ρ1</i>	<i>B2-G2-ρ1</i>
	<i>B1-G2</i>	<i>B2-G2</i>	<i>B1-G1-ρ2</i>	<i>B1-G2-ρ2</i>	<i>B2-G1-ρ2</i>	<i>B2-G2-ρ2</i>
			<i>B1-G1-ρ3</i>	<i>B1-G2-ρ3</i>	<i>B2-G1-ρ3</i>	<i>B2-G2-ρ3</i>
<b>Parede</b>	--	--	<i>B1-G1</i>	--	<i>B2-G1</i>	--
			<i>B1-G1-ρ1</i>		<i>B2-G1-ρ1</i>	
			<i>B1-G1-ρ2</i>		<i>B2-G1-ρ2</i>	
			<i>B1-G1-ρ3</i>		<i>B2-G1-ρ3</i>	

Não foi realizada a análise estatística entre grupos de paredes vazias e grauteadas por serem apenas dois elementos num grupo, impossibilitando a utilização de uma ANOVA.

Foi realizado o teste de Kolmogorov-Smirnov em cada grupo, individualmente, e, para todos eles foi aceita a condição de normalidade dos dados. Comprovada a distribuição normal dos dados, foi feita a comparação de variâncias de grupos com distribuição independente (teste de Bartlett), concluindo-se que não se pode rejeitar a hipótese de igualdade dos desvios-padrão para todos os grupos em estudo.

Depois de verificada as condições acima, foi calculada uma tabela de ANOVA para cada grupo, visando a analisar se existem diferenças entre as médias dos grupos. As conclusões podem ser vistas na tabela abaixo.

Tabela 65 – Tabela da conclusão da ANOVA.

<i>Grupo</i>	<i>B1 x Graute</i>	<i>B2 x Graute</i>	<i>B1-G1 x Armadura</i>	<i>B1-G2 x Armadura</i>	<i>B2-G1 x Armadura</i>	<i>B2-G2 x Armadura</i>
<i>Conclusão da ANOVA Prismas</i>	<i>NÃO</i>	<i>SIM</i>	<i>NÃO</i>	<i>NÃO</i>	<i>NÃO</i>	<i>NÃO</i>
<i>Conclusão da ANOVA Paredes</i>	--	--	<i>NÃO</i>	--	<i>NÃO</i>	--

NÃO = Médias não diferem significativamente.

SIM = Médias diferem significativamente.

A partir da conclusão da ANOVA apresentada acima, verifica-se que apenas o grupo de *B2 x Grautes* dos prismas possuem médias que não são significativamente iguais, com 95% de confiança. Nesse grupo, será aplicado o teste de Duncam, e analisado em pares quais médias não podem ser ditas, significativamente, iguais ou diferentes.

Realizado o teste de Duncam concluiu-se quais as médias diferem significativamente entre si no grupo, sendo comparada a média entre prismas vazios com os prismas grauteados. As conclusões obtidas para todas as médias dos seis grupos podem ser vista na Tabela 66.

Tabela 66 – Resultado da análise estatística.

<b>Grupos</b>	<b>Prismas</b>		<b>Tensões Médias</b>
<b>B1 x Graute</b>	<i>Vazio-B1</i>	<i>B1-G1</i>	<i>Não difere</i>
		<i>B1-G2</i>	<i>Não difere</i>
<b>B1-G1 x Armadura</b>	<i>B1-G1</i>	<i>B1-G1-<math>\rho_1</math></i>	<i>Não difere</i>
		<i>B1-G1-<math>\rho_2</math></i>	<i>Não difere</i>
<b>B1-G1 x Armadura</b>	<i>B1-G2</i>	<i>B1-G2-<math>\rho_1</math></i>	<i>Não difere</i>
		<i>B1-G2-<math>\rho_2</math></i>	<i>Não difere</i>
<b>B2 x Graute</b>	<i>Vazio-B2</i>	<i>B2-G1</i>	<i>Difere</i>
		<i>B2-G2</i>	<i>Difere</i>
<b>B2-G1 x Armadura</b>	<i>B2-G1</i>	<i>B2-G1-<math>\rho_1</math></i>	<i>Não Difere</i>
		<i>B2-G1-<math>\rho_2</math></i>	<i>Não Difere</i>
<b>B2-G2 x Armadura</b>	<i>B2-G2</i>	<i>B2-G2-<math>\rho_1</math></i>	<i>Não difere</i>
		<i>B2-G2-<math>\rho_2</math></i>	<i>Não difere</i>
<b>B2-G2 x Armadura</b>	<i>B2-G2</i>	<i>B2-G2-<math>\rho_3</math></i>	<i>Não difere</i>
<b>Grupos</b>	<b>Paredes</b>		<b>Tensões Médias</b>
<b>B1-G1 x Armadura</b>	<i>B1-G2</i>	<i>B1-G2-<math>\rho_1</math></i>	<i>Não difere</i>
		<i>B1-G2-<math>\rho_2</math></i>	<i>Não difere</i>
		<i>B1-G2-<math>\rho_3</math></i>	<i>Não difere</i>
<b>B2-G1 x Armadura</b>	<i>B2-G1</i>	<i>B2-G1-<math>\rho_1</math></i>	<i>Não Difere</i>
		<i>B2-G1-<math>\rho_2</math></i>	<i>Não Difere</i>
		<i>B2-G1-<math>\rho_3</math></i>	<i>Não difere</i>

A partir das conclusões estatísticas obtidas, é possível verificar quais elementos (grautes e armaduras) promoveram uma variação de resistência nos prismas e paredes. O gráfico a seguir mostra as resistências dos prismas vazios e apenas grauteados (*B1 x Graute e B2 x Graute*), representando cada grupo analisado por uma mesma cor de barra, e as barras que estão mostradas na cor cinza são as médias que apresentaram diferenças dentro de seu grupo.

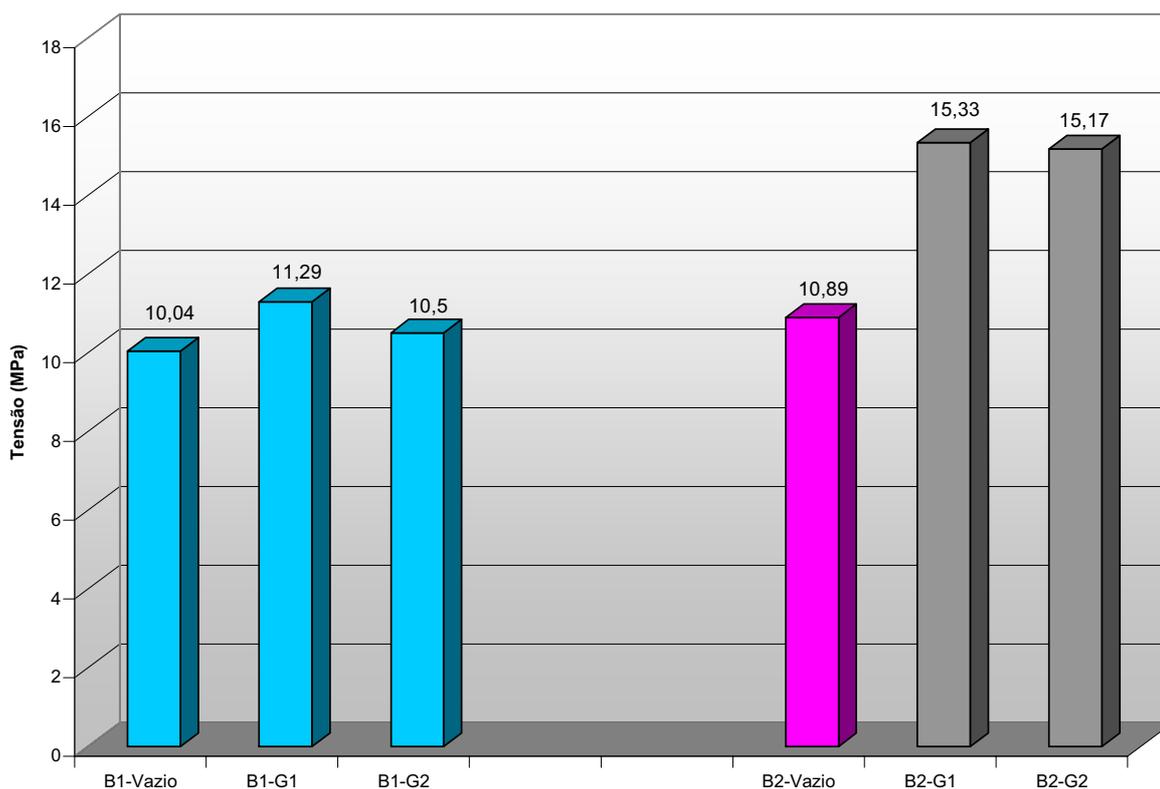


Figura 125 – Resultados dos prismas vazios e grauteados.

Através da análise estatística, os prismas das barras em azul (grupo *B1 x Graute*) não apresentaram diferenças significativas entre suas médias, portanto a utilização do graute (G1 e G2) não alterou a resistência do prisma B1-Vazio em sua área líquida.

Com relação ao grupo *B2 x Graute*, as diferenças de cores das barras mostram que a análise estatística permite concluir que as médias não podem ser ditas iguais, assim a utilização do graute (G1 e G2) levou ao aumento na resistência dos prismas B2-Vazios (área líquida). O aumento foi 40,8% para G1 e 39,3% para G2, comprovando o ganho de resistência da alvenaria com o graute, entretanto, como observado, esse aumento não ocorreu nas mesmas proporções de crescimento da resistência do graute, tendo sido verificado que não se pode admitir diferenças significativas nas resistências dos prismas B2-G1 e B2-G2.

Apesar de não ter sido realizada uma análise estatística (ANOVA) entre os grupos de paredes vazias e grauteadas, a Figura 126 demonstra que as paredes de blocos B1 tiveram suas resistências muito próximas, enquanto nas paredes de blocos B2 percebe-se um aumento na resistência da parede vazia (área líquida) com relação à parede grauteada, reafirmando o comportamento observado nos prismas com essas combinações.

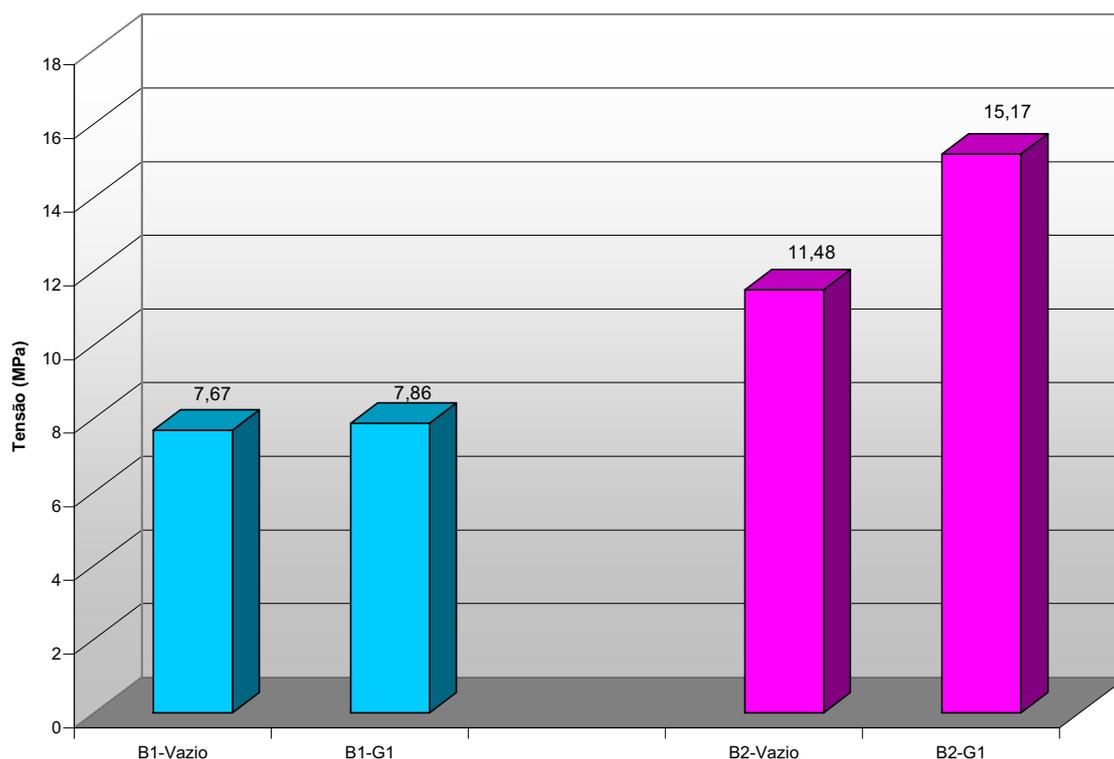


Figura 126 – Resultados das paredes vazias e grauteadas.

Com relação às taxas de armaduras, comparando-se os resultados dos prismas e paredes grauteadas com as armadas é apresentada a Figura 127 e Figura 128 a seguir.

Observando a Figura 127 e a análise estatística dos prismas, verificou-se que as taxas de armadura não tiveram influência significativa na resistência final dos prismas, sendo que nenhuma das combinações de blocos, grautes e armaduras apresentaram aumento de resistência. Apesar de algumas variações nos valores finais elas não podem ser ditas estatisticamente diferentes, com 95% de confiança.

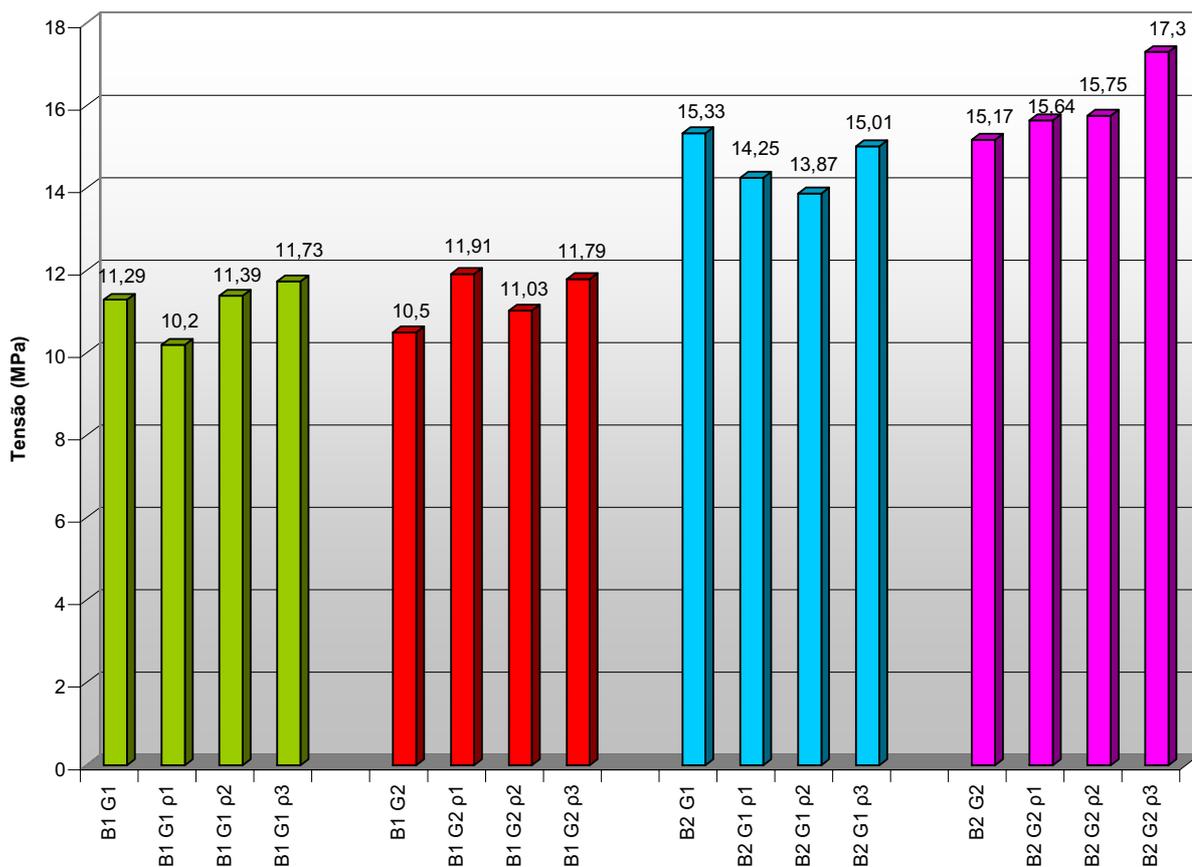


Figura 127 – Resultados dos prismas grauteados e armados.

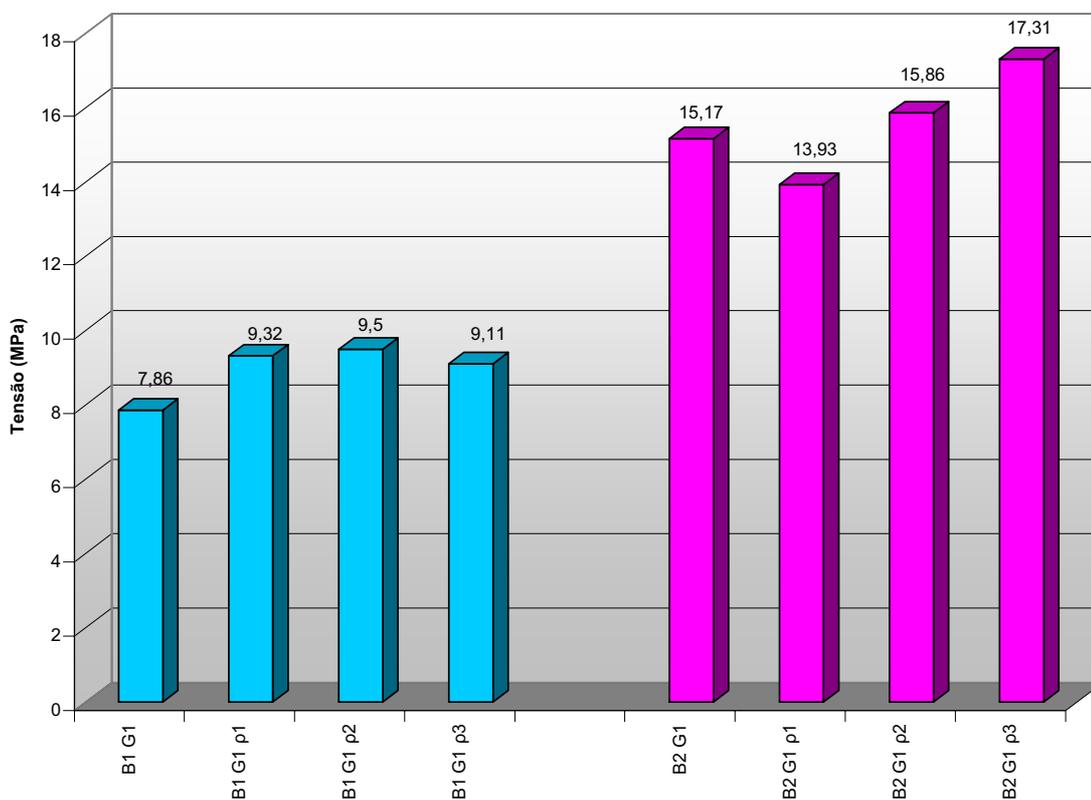


Figura 128 – Resultados das paredes grauteadas e armadas.

Analisando os resultados das paredes, verifica-se o mesmo comportamento ocorrido nos prismas, onde as taxas de armadura não apresentaram variação na resistência das paredes armadas com relação às grauteadas. As paredes de classe de blocos B2 apresentaram maiores variações nos valores finais de resistência, se comparada com as paredes de blocos B1; entretanto, estatisticamente, essas variações não podem ser consideradas diferentes.

## ANEXO 2

Tabela 67 – Valores medidos para os ensaios de caracterização mecânica dos blocos.

<i>Bloco</i>	<i>m1</i>	<i>m1 + 2h</i>	<i>m2</i>	<i>m2 + 2h</i>	<i>m3</i>	<i>m4</i>	<i>h1</i>	<i>h2</i>	<i>h3</i>	<i>hm</i>
<i>B<sub>1-1</sub></i>	9,375	9,375	10,010	10,020	9,520	5,764	186,20	187,20	187,60	187,00
<i>B<sub>1-2</sub></i>	9,460	9,460	10,090	10,105	9,625	5,818	188,45	188,45	187,80	188,23
<i>B<sub>1-3</sub></i>	9,505	9,505	10,145	10,160	9,680	5,861	187,70	188,80	188,15	188,22
<i>B<sub>2-1</sub></i>	10,360	10,360	10,870	10,870	10,580	5,334	191,90	191,50	191,20	191,53
<i>B<sub>2-2</sub></i>	10,510	10,510	11,020	11,020	10,710	5,455	192,70	191,30	191,30	191,77
<i>B<sub>2-3</sub></i>	10,490	10,490	10,960	10,970	10,690	5,437	191,30	191,00	190,50	190,93

Tabela 68 - Umidade, absorção e área líquida.

<i>Bloco</i>	<i>u%</i>	<i>A%</i>	<i>A.liq.(cm<sup>2</sup>)</i>
<i>B<sub>1-1</sub></i>	22,48	6,88	227,59
<i>B<sub>1-2</sub></i>	25,58	6,82	227,75
<i>B<sub>1-3</sub></i>	26,72	6,90	228,41
<i>B<sub>2-1</sub></i>	43,14	4,92	289,045
<i>B<sub>2-2</sub></i>	39,22	4,85	290,20
<i>B<sub>2-3</sub></i>	41,67	4,58	289,79

Tabela 69 - Resultados dos blocos B1.

<i>CP</i>	<i>Carga (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>
1	335,00	8,09
2	360,00	8,69
3	375,00	9,06
4	365,00	8,81
5	385,00	9,30
6	310,00	7,49
7	375,00	9,06
<i>Média</i>	357,86	8,64
<i>Desv. Pad.</i>	26,44	0,64
<i>Coef. Var</i>	7,39%	7,39%

Tabela 70 – Resultados dos blocos B2.

<i>CP</i>	<i>Carga (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>
1	620,00	14,97
2	630,00	15,21
3	615,00	14,85
4	655,00	15,82
5	600,00	14,49
6	590,00	14,25
7	687,50	16,60
8	715,00	17,27
9	762,50	18,41
<i>Média</i>	652,78	15,76
<i>Desv. Pad.</i>	57,95	1,40
<i>Coef. Var</i>	8,88%	8,88%

Tabela 71 – Características dos materiais constituintes da argamassa.

<b>Materiais</b>	<b>Densidade (kg/dm<sup>3</sup>)</b>
$\gamma$ cimento	1,12
$\gamma$ cal	0,77
$\gamma$ areia fina	1,59

Tabela 72 – Características dos materiais constituintes do graute.

<b>Materiais</b>	<b>Densidade (kg/dm<sup>3</sup>)</b>
$\gamma$ cimento	1,12
$\gamma$ areia grossa	0,77
$\gamma$ pedrisco	1,59

Tabela 73 – Resultado do graute G1.

<b>CP</b>	<b>Carga de Ruptura (kN)</b>	<b>Resistência (MPa)</b>
1	165,00	20,60
2	140,00	17,48
3	165,00	20,60
4	165,00	20,60
5	132,50	16,54
6	147,50	18,41
7	155,00	19,35
8	135,00	16,85
<i>Média</i>	150,63	18,80
<i>Desv. Pad.</i>	13,81	1,72
<i>Coef. Var</i>	9,17%	9,17%

Tabela 74 – Resultados do graute G2.

<b>CP</b>	<b>Carga de Ruptura (kN)</b>	<b>Resistência (MPa)</b>
1	250,00	31,21
2	200,00	24,97
3	275,00	34,33
4	190,00	23,72
5	205,00	25,59
6	220,00	27,46
7	200,00	24,97
8	220,00	27,46
<i>Média</i>	220,00	27,46
<i>Desv. Pad.</i>	28,91	3,61
<i>Coef. Var</i>	13,14%	13,14%

Tabela 75 - Resultados dos prismas B1-Vazio.

<b>CP</b>	<b>Carga de Fissuração (kN)</b>	<b>Carga de Ruptura (kN)</b>	<b>Resistência (A. Líquida) (MPa)</b>	<b>Resistência (A. Bruta) (MPa)</b>
B1-Vazio	220	225,00	9,68	5,43
B1-Vazio	230	250,00	10,75	6,04
B1-Vazio	220	225,00	9,68	5,43
<i>Média</i>	223,33	233,33	10,04	5,63
<i>Desv. Pad.</i>	5,77	14,43	0,62	0,35
<i>Coef. Var</i>	2,59%	6,19%	6,19%	6,19%

Tabela 76 - Resultados dos prismas B2-Vazio.

<b>CP</b>	<b>Carga de Fissuração (kN)</b>	<b>Carga de Ruptura (kN)</b>	<b>Resistência (A. Bruta) (MPa)</b>	<b>Resistência (A. Líquida) (MPa)</b>
B2-Vazio	280	320,00	7,73	10,83
B2-Vazio	280	310,00	7,49	10,49
B2-Vazio	330	335,00	8,09	11,34
<i>Média</i>	296,67	321,67	7,77	10,89
<i>Desv. Pad.</i>	28,87	12,58	0,30	0,43
<i>Coef. Var</i>	9,73%	3,91%	3,91%	3,91%

Tabela 77 – Resultados dos prismas B1-G1.

<b>CP</b>	<b>Carga de Fissuração (kN)</b>	<b>Carga de Ruptura (kN)</b>	<b>Resistência (MPa)</b>
B1-G1	360	468,00	11,30
B1-G1	360	450,00	10,87
B1-G1	430	485,00	11,71
<i>Média</i>	383,33	467,67	11,29
<i>Desv. Pad.</i>	40,41	17,50	0,42
<i>Coef. Var</i>	10,54%	3,74%	3,74%

Tabela 78 - Resultados dos prismas B2-G1.

<b>CP</b>	<b>Carga de Fissuração (kN)</b>	<b>Carga de Ruptura (kN)</b>	<b>Resistência (MPa)</b>
B2-G1	490	670,00	16,18
B2-G1	440	625,00	15,09
B2-G1	575	610,00	14,73
<i>Média</i>	501,67	635,00	15,33
<i>Desv. Pad.</i>	68,25	31,22	0,75
<i>Coef. Var</i>	13,61%	4,92%	4,92%

Tabela 79 - Resultados dos prismas B1-G2.

<b>CP</b>	<b>Carga de Fissuração (kN)</b>	<b>Carga de Ruptura (kN)</b>	<b>Resistência (MPa)</b>
B1-G2	410	480,00	11,59
B1-G2	380	380,00	9,18
B1-G2	400	445,00	10,75
<i>Média</i>	396,67	435,00	10,50
<i>Desv. Pad.</i>	15,28	50,74	1,23
<i>Coef. Var</i>	3,85%	11,67%	11,67%

Tabela 80 - Resultados dos prismas B2-G2.

<b>CP</b>	<b>Carga de Fissuração (kN)</b>	<b>Carga de Ruptura (kN)</b>	<b>Resistência (MPa)</b>
B2-G2	550	615,00	14,85
B2-G2	575	580,00	14,01
B2-G2	560	690,00	16,66
<i>Média</i>	561,67	628,33	15,17
<i>Desv. Pad.</i>	12,58	56,20	1,36
<i>Coef. Var</i>	2,24%	8,94%	8,94%

Tabela 81 - Resultados dos prismas B1-G1-ρ1.

<b>CP</b>	<b>Carga de Fissuração (kN)</b>	<b>Carga de Ruptura (kN)</b>	<b>Resistência (MPa)</b>
<i>B1-G1-ρ1</i>	290	430,00	10,38
<i>B1-G1-ρ1</i>	325	400,00	9,66
<i>B1-G1-ρ1</i>	360	437,50	10,56
<i>Média</i>	325,00	422,50	10,20
<i>Desv. Pad.</i>	35,00	19,84	0,48
<i>Coef. Var</i>	10,77%	4,70%	4,70%

Tabela 82 – Resultados dos prismas B2-G1-ρ1.

<b>CP</b>	<b>Carga de Fissuração (kN)</b>	<b>Carga de Ruptura (kN)</b>	<b>Resistência (MPa)</b>
<i>B2-G1-ρ1</i>	500	597,50	14,43
<i>B2-G1-ρ1</i>	560	562,50	13,58
<i>B2-G1-ρ1</i>	450	557,50	13,46
<i>B2-G1-ρ1</i>	500	597,50	14,43
<i>B2-G1-ρ1</i>	510	630,00	15,21
<i>B2-G1-ρ1</i>	575	595,00	14,37
<i>Média</i>	515,83	590,00	14,25
<i>Desv. Pad.</i>	45,43	26,65	0,64
<i>Coef. Var</i>	8,81%	4,52%	4,52%

Tabela 83 – Resultados dos prismas B1-G2-ρ1.

<b>CP</b>	<b>Carga de Fissuração (kN)</b>	<b>Carga de Ruptura (kN)</b>	<b>Resistência (MPa)</b>
<i>B1-G2-ρ1</i>	500	535,00	12,92
<i>B1-G2-ρ1</i>	390	477,50	11,53
<i>B1-G2-ρ1</i>	470	467,50	11,29
<i>Média</i>	453,33	493,33	11,91
<i>Desv. Pad.</i>	56,86	36,43	0,88
<i>Coef. Var</i>	12,54%	7,38%	7,38%

Tabela 84 – Resultados dos prismas B2-G2-ρ1.

<b>CP</b>	<b>Carga de Fissuração (kN)</b>	<b>Carga de Ruptura (kN)</b>	<b>Resistência (MPa)</b>
<i>B2-G2-ρ1</i>	750	752,50	18,17
<i>B2-G2-ρ1</i>	605	645,00	15,58
<i>B2-G2-ρ1</i>	660	725,00	17,51
<i>B2-G2-ρ1</i>	575	627,50	15,15
<i>B2-G2-ρ1</i>	570	612,50	14,79
<i>B2-G2-ρ1</i>	490	522,50	12,62
<i>Média</i>	608,33	647,50	15,64
<i>Desv. Pad.</i>	88,69	82,81	2,00
<i>Coef. Var</i>	14,58%	12,79%	12,79%

Tabela 85 - Resultados dos prismas B1-G1-p2.

<b>CP</b>	<b>Carga de Fissuração (kN)</b>	<b>Carga de Ruptura (kN)</b>	<b>Resistência (MPa)</b>
B1-G1-p2	460	510,00	12,32
B1-G1-p2		430,00	10,38
B1-G1-p2	390	475,00	11,47
<i>Média</i>	425,00	471,67	11,39
<i>Desv. Pad.</i>	49,50	40,10	0,97
<i>Coef. Var</i>	11,65%	8,50%	8,50%

Tabela 86 – Resultados dos prismas B2-G1-p2.

<b>CP</b>	<b>Carga de Fissuração (kN)</b>	<b>Carga de Ruptura (kN)</b>	<b>Resistência (MPa)</b>
B2-G1-p2	450	532,50	12,86
B2-G1-p2	480	550,00	13,28
B2-G1-p2	440	510,00	12,32
B2-G1-p2	535	577,50	13,95
B2-G1-p2	610	627,50	15,15
B2-G1-p2	605	650,00	15,70
<i>Média</i>	520,00	574,58	13,87
<i>Desv. Pad.</i>	75,43	54,85	1,32
<i>Coef. Var</i>	14,51%	9,55%	9,55%

Tabela 87 - Resultados dos prismas B1-G2-p2.

<b>CP</b>	<b>Carga de Fissuração (kN)</b>	<b>Carga de Ruptura (kN)</b>	<b>Resistência (MPa)</b>
B1-G2-p2	395	412,50	9,96
B1-G2-p2	460	465,00	11,23
B1-G2-p2	300	492,50	11,89
<i>Média</i>	385,00	456,67	11,03
<i>Desv. Pad.</i>	80,47	40,65	0,98
<i>Coef. Var</i>	20,90%	8,90%	8,90%

Tabela 88 - Resultados dos prismas B2-G2-p2.

<b>CP</b>	<b>Carga de Fissuração (kN)</b>	<b>Carga de Ruptura (kN)</b>	<b>Resistência (MPa)</b>
B2-G2-p2	400	587,50	14,19
B2-G2-p2	500	645,00	15,58
B2-G2-p2	440	647,50	15,64
B2-G2-p2	600	645,00	15,58
B2-G2-p2	645	695,00	16,78
B2-G2-p2	605	692,50	16,72
<i>Média</i>	531,67	652,08	15,75
<i>Desv. Pad.</i>	99,63	39,41	0,95
<i>Coef. Var</i>	18,74%	6,04%	6,04%

Tabela 89 - Resultados dos prismas B1-G1-p3.

<b>CP</b>	<b>Carga de Fissuração (kN)</b>	<b>Carga de Ruptura (kN)</b>	<b>Resistência (MPa)</b>
B1-G1-p3	430	472,50	11,41
B1-G1-p3	360	510,00	12,32
B1-G1-p3	460	475,00	11,47
<i>Média</i>	440,00	488,33	11,73
<i>Desv. Pad.</i>	51,32	20,97	0,51
<i>Coef. Var</i>	11,66%	4,29%	4,32%

Tabela 90 – Resultados dos prismas B2-G1-p3.

<b>CP</b>	<b>Carga de Fissuração (kN)</b>	<b>Carga de Ruptura (kN)</b>	<b>Resistência (MPa)</b>
B2-G1-p3	540	622,50	15,03
B2-G1-p3	580	605,00	14,61
B2-G1-p3	590	610,00	14,73
B2-G1-p3	615	655,00	15,82
B2-G1-p3	575	602,50	14,55
B2-G1-p3	565	635,00	15,33
<i>Média</i>	577,50	621,67	15,01
<i>Desv. Pad.</i>	25,05	20,35	0,49
<i>Coef. Var</i>	4,34%	3,27%	3,27%

Tabela 91 – Resultados dos prismas B1-G2-p3.

<b>CP</b>	<b>Carga de Fissuração (kN)</b>	<b>Carga de Ruptura (kN)</b>	<b>Resistência (MPa)</b>
B1-G2-p3	430	440,00	10,62
B1-G2-p3		520,00	12,56
B1-G2-p3	450	505,00	12,19
<i>Média</i>	416,67	485,83	11,79
<i>Desv. Pad.</i>	14,14	42,52	1,03
<i>Coef. Var</i>	3,39%	8,75%	8,71%

Tabela 92 – Resultados dos prismas B2-G2-p3.

<b>CP</b>	<b>Carga de Fissuração (kN)</b>	<b>Carga de Ruptura (kN)</b>	<b>Resistência (MPa)</b>
B2-G2-p3	550	637,50	15,39
B2-G2-p3	660	732,50	17,69
B2-G2-p3	605	662,50	16,00
B2-G2-p3	710	760,00	18,35
B2-G2-p3	750	755,00	18,23
B2-G2-p3	735	750,00	18,11
<i>Média</i>	668,33	716,25	17,30
<i>Desv. Pad.</i>	78,66	52,74	1,27
<i>Coef. Var</i>	11,77%	7,36%	7,36%

Tabela 93 – Resultados das argamassas utilizadas nas paredes.

<b>Mistura</b>	<b>CP</b>	<b>Carga de Ruptura (kN)</b>	<b>Resistência (MPa)</b>
<b>A1</b>	1	11,50	5,74
	2	11,50	5,74
<b>A2</b>	3	13,00	6,49
	4	13,00	6,49
<b>A3</b>	5	14,50	7,24
	6	12,00	5,99
<b>A4</b>	7	15,00	7,49
	8	12,00	5,99
<b>A5</b>	9	8,00	3,99
<b>A6</b>	10	8,00	3,99
	11	11,00	5,49
	12	11,50	5,74
<b>A7</b>	13	10,00	4,99
	14	10,00	4,99
<b>A8</b>	15	7,50	3,74
	16	8,50	4,24
	<i>Média</i>	11,06	5,52
	<i>Desv. Pad.</i>	2,27	1,13
	<i>Coef. Var</i>	20,54%	20,54%

Tabela 94 – Resultados dos grautes G1 adotados nas paredes.

<b>CP</b>	<b>Carga de Ruptura (kN)</b>	<b>Resistência (MPa)</b>
1	331,00	18,36
2	322,00	17,86
3	312,00	17,31
4	380,00	21,08
5	362,00	20,08
6	364,00	20,19
<i>Média</i>	345,17	19,15
<i>Desv. Pad.</i>	27,16	1,51
<i>Coef. Var</i>	7,87%	7,87%