

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE ALVENARIA**  
**ESTRUTURAL DE BLOCOS DE CONCRETO**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.**

**HELGA FERREIRA MARTINS**

**Florianópolis, novembro de 2001.**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE ALVENARIA**  
**ESTRUTURAL DE BLOCOS DE CONCRETO**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.**

**Área de Concentração: Construção Civil**

**Orientador: Prof. Humberto Ramos Roman, PhD.**

**HELGA FERREIRA MARTINS**

**Florianópolis, novembro de 2001.**

**RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE ALVENARIA  
ESTRUTURAL DE BLOCOS DE CONCRETO**

**HELGA FERREIRA MARTINS**

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de

**MESTRE EM ENGENHARIA**

Especialidade ENGENHARIA CIVIL e aprovada em sua forma final pelo Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Civil.

---

Prof. Humberto Ramos Roman, PhD.  
Orientador

---

Prof. Jucilei Cordini, Dr.  
Coordenador do PPGEC

Comissão Examinadora:

---

Prof. Flávio Antônio dos Santos, Dr.

---

Prof. Luis Alberto Gómez, Dr.

---

Prof. Philippe Jean-Paul Gleize, Dr. Ing.

**Aos meus pais, Haroldo e Lourdes  
com carinho.**

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Humberto Ramos Roman, pelo incentivo, amizade e apoio, tornando esta pesquisa uma realidade.

Ao professor Luiz Alberto Gómez, pela amizade, paciência e apoio técnico no trabalho experimental.

Aos bolsistas Jean Rodrigo da Silva, Leonardo Schmitz de Figueiredo e Nicholas Alexandre Muller, pela força, amizade e as várias noites de trabalho duro.

Ao CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo financiamento desta pesquisa no período de março de 2000 a março de 2001.

À Blocaus Pré Fabricados Ltda. pela doação dos blocos de concreto utilizados nesta pesquisa.

Aos técnicos do LMCC, Luiz Henrique dos Santos e Renato Santana da Lapa.

À toda a minha família.

Aos amigos de Belo Horizonte, sem vocês não teria conseguido, principalmente nos primeiros meses.

Aos colegas e amigos da Pós-graduação, em especial a Dinara Xavier da Paixão, Eduardo Rizzatti, Flávio Santos, Gihad Mohamad, Leslie Maria Finger Roman, Maria do Carmo Freitas, Maria Estânia Mendonça Passos, Maria Luiza Lopes de Oliveira, Raquel Toledo e Romson Heleo Romagna.

Ao Prof. Jucilei Cordini e Irizete Menezes da Coordenadoria do Programa de Pós-Graduação.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram nesta pesquisa.

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| Lista de Figuras  | ix        |
| Lista de Tabelas  | xi        |
| Lista de Símbolos e Abreviaturas                                    | xiii      |
| Lista de Siglas   | xvi       |
| Resumo  | xvii      |
| Abstract  | xviii     |
| <b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO</b>                                      | <b>1</b>  |
| <b>1.1 Considerações Iniciais</b>                                   | <b>1</b>  |
| <b>1.2 Relevância e Justificativa</b>                               | <b>3</b>  |
| <b>1.3 Objetivos do Estudo</b>                                      | <b>5</b>  |
| 1.3.1 Objetivo Principal  | 5         |
| 1.3.2 Objetivos Específicos   | 5         |
| <b>1.4 Estrutura do Trabalho</b>                                    | <b>6</b>  |
| <b>1.5 Resultados esperados</b>                                     | <b>6</b>  |
| <b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>                           | <b>7</b>  |
| <b>2.1 Ação do vento em edifícios de alvenaria estrutural</b>       | <b>7</b>  |
| <b>2.2 Solicitações nas lajes e esforços em paredes resistentes</b> | <b>8</b>  |
| <b>2.3 Normas de cálculo de alvenaria estrutural - cisalhamento</b> | <b>10</b> |
| <b>2.4 Fatores que interferem na resistência ao cisalhamento</b>    | <b>13</b> |
| 2.4.1 Unidade de Alvenaria  | 13        |
| 2.4.2 Argamassa   | 15        |
| 2.4.3 Cimento   | 19        |
| 2.4.4 Cal   | 19        |
| 2.4.5 Areia   | 20        |
| 2.4.6 Água  | 22        |
| 2.4.7 Procedimentos Construtivos                                    | 23        |
| <b>2.5 Ensaio de resistência ao cisalhamento</b>                    | <b>25</b> |
| 2.5.1 Tipos de ensaios  | 26        |

|   |   |           |
|---|---|-----------|
| 2.5.1.1   | Testes com corpo de prova de duas unidades de alvenaria.....              | 26        |
| 2.5.1.2   | Testes com corpo de prova de três unidades de alvenarias.....             | 29        |
| 2.5.1.3   | Testes de corpo de prova de quatro ou mais unidades de alvenarias .....   | 31        |
| 2.5.1.4   | Testes com painéis de alvenaria.....                                      | 34        |
| <b>CAPÍTULO 3 – PROGRAMA EXPERIMENTAL.....</b>      |   | <b>38</b> |
| <b>3.1</b>  | <b>Materiais Utilizados.....</b>  | <b>38</b> |
| 3.1.1   | Bloco de concreto.....  | 38        |
| 3.1.2   | Argamassa.....  | 41        |
| 3.1.2.1   | Cimento e Cal.....  | 41        |
| 3.1.2.2   | Areia.....  | 41        |
| 3.1.2.3   | Argamassas usadas - caracterização.....                                   | 44        |
| <b>3.2</b>  | <b>O ensaio de cisalhamento.....</b>                                      | <b>45</b> |
| 3.2.1   | Preparação dos blocos.....  | 47        |
| 3.2.2   | Moldagem das quadripletas.....  | 47        |
| 3.2.3   | Equipamentos de ensaios.....  | 48        |
| 3.2.4   | Procedimento de ensaio.....   | 51        |
| <b>CAPÍTULO 4 - ANÁLISE DE RESULTADOS.....</b>      |   | <b>53</b> |
| <b>4.1</b>  | <b>Caracterização dos Blocos.....</b>                                     | <b>53</b> |
| <b>4.2</b>  | <b>Caracterização das argamassas.....</b>                                 | <b>55</b> |
| <b>4.3</b>  | <b>Quadripletas.....</b>  | <b>57</b> |
| 4.3.1   | Ensaio de cisalhamento.....   | 57        |
| 4.3.1.1   | Influência da pré-compressão para quadripletas moldadas com bloco B1..... | 57        |
| 4.3.1.2   | Influência da argamassa para quadripletas moldadas com bloco B1.....      | 60        |
| 4.3.1.3   | Influência da pré-compressão para quadripletas moldadas com bloco B2..... | 61        |
| 4.3.1.4   | Influência da argamassa para quadripletas moldadas com bloco B2.....      | 63        |
| 4.3.1.5   | Influência do bloco.....  | 64        |
| 4.3.1.6   | Resultados de $\tau_0$ e $\mu$ e análise da influência das variáveis..... | 64        |
| 4.3.2   | Deformação e ruptura das quadripletas.....                                | 65        |
| 4.3.2.1   | Pré-compressão zero.....  | 66        |
| 4.3.2.2   | Pré-compressão até 1,50 MPa.....  | 70        |
| 4.3.2.3   | Pré-compressão superior a 1,50 MPa.....                                   | 73        |
| 4.3.2.4   | Pré-compressão de 3,71 MPa.....   | 74        |
| <b>4.4</b>  | <b>Comparação dos resultados de cisalhamento com as normas.....</b>       | <b>76</b> |
| <b>CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b> |   | <b>80</b> |
| <b>5.1</b>  | <b>Principais resultados.....</b>   | <b>80</b> |

|  |            |
|--|------------|
| 5.2 Sugestões para trabalhos futuros ..... | 81         |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>     | <b>82</b>  |
| <b>ANEXO A .....</b>                       | <b>90</b>  |
| <b>ANEXO B.....</b>                        | <b>93</b>  |
| <b>ANEXO C .....</b>                       | <b>97</b>  |
| <b>ANEXO D .....</b>                       | <b>102</b> |
| <b>ANEXO E.....</b>                        | <b>105</b> |



## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 1.1 - ATUAÇÃO DO VENTO E DISTRIBUIÇÃO PARA OS PAINÉIS DE CONTRAVENTAMENTO.....              | 3  |
| FIGURA 2.1 – PLANO E DIREÇÃO DE APLICAÇÃO DAS CARGAS DE CISALHAMENTO (BS 5628).....                | 12 |
| FIGURA 2.2 – PRISMA DE DOIS BLOCOS ( <i>SHEAR BOX</i> ).....                                       | 26 |
| FIGURA 2.3 – APARATO (A) E CORPO DE PROVA (B) USADO POR HUIZER.....                                | 27 |
| FIGURA 2.4 – ENSAIO ROMAN (1989).....  | 28 |
| FIGURA 2.5 - ENSAIO PROPOSTO POR KHALAF E NAYSMITH (1994).....                                     | 28 |
| FIGURA 2.6 – TIPO DE ENSAIO USADO POR MANN E MÜLLER (1978).....                                    | 29 |
| FIGURA 2.7 – ENSAIO REALIZADO PARA OBTER O COEFICIENTE DE ATRITO ( $\mu$ ).....                    | 29 |
| FIGURA 2.8 – ENSAIO REALIZADO POR RIDDINGTON E JUKES (1994-B).....                                 | 30 |
| FIGURA 2.9 - FORMAS DE RUPTURA.....  | 31 |
| FIGURA 2.10 – CORPO DE PROVA TESTADO POR SINHA (1983).....   | 32 |
| FIGURA 2.11 – CORPO DE PROVA USADO POR DRYSDALE ET AL (1979).....                                  | 33 |
| FIGURA 2.12 – CORPO DE PROVA USADO POR NUSS <i>ET AL</i> (1978).....                               | 33 |
| FIGURA 2.13 – CORPO DE PROVA USADO POR ROMAN E SINHA (1994).....                                   | 34 |
| FIGURA 2.14 – PAINÉIS USADOS POR GHAZALI E RIDDINGTON (1988).....                                  | 34 |
| FIGURA 2.15 – ENSAIO DE COMPRESSÃO DIAGONAL.....   | 35 |
| FIGURA 3.1 – GEOMETRIA DO BLOCO TIPO B1.....   | 39 |
| FIGURA 3.2 – GEOMETRIA DO BLOCO TIPO B2.....   | 39 |
| FIGURA 3.3 - GRANULOMETRIA DA AREIA UTILIZADA SEGUNDO A BS 1200 (1976).....                        | 43 |
| FIGURA 3.4 – ENSAIO DE DEFORMAÇÃO DA ARGAMASSA.....  | 45 |
| FIGURA 3.5 – <b>A</b> QUADRIPLETA SEM PRÉ-COMPRESSÃO, <b>B</b> QUADRIPLETA COM PRÉ-COMPRESSÃO..... | 46 |
| FIGURA 3.6 – MOLDAGEM DAS QUADRIPLETAS.....  | 47 |
| FIGURA 3.7 – LVDT FIXADO À QUADRIPLETA COM O USO DO SUPORTE.....                                   | 48 |
| FIGURA 3.8 – APARATO DE ENSAIO COM PRÉ-COMPRESSÃO.....   | 49 |
| FIGURA 3.9 – APARATO DE ENSAIO COM PRÉ-COMPRESSÃO.....   | 50 |
| FIGURA 3.10 – TELA COMPUTADOR DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS.....                                | 52 |
| FIGURA 4.1 – GRÁFICO TENSÃO X DEFORMAÇÃO DAS ARGAMASSAS.....                                       | 56 |
| FIGURA 4.2 – GRÁFICO PRÉ-COMPRESSÃO X CISALHAMENTO NA ÁREA LÍQUIDA PARA QUADRIPLETAS B1A1.....     | 58 |
| FIGURA 4.3 – GRÁFICO PRÉ-COMPRESSÃO X CISALHAMENTO NA ÁREA LÍQUIDA PARA QUADRIPLETAS B1A2.....     | 59 |
| FIGURA 4.4 – GRÁFICO PRÉ-COMPRESSÃO X CISALHAMENTO NA ÁREA LÍQUIDA PARA QUADRIPLETAS B1A3.....     | 59 |
| FIGURA 4.5 – GRÁFICO PRÉ-COMPRESSÃO X CISALHAMENTO NA ÁREA LÍQUIDA PARA QUADRIPLETAS COM B1.....   | 60 |

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 4.6 – GRÁFICO PRÉ-COMPRESSÃO X CISALHAMENTO NA ÁREA LÍQUIDA PARA QUADRIPLÉTAS B2A2.<br>.....           | 62 |
| FIGURA 4.7 – GRÁFICO PRÉ-COMPRESSÃO X CISALHAMENTO NA ÁREA LÍQUIDA PARA QUADRIPLÉTAS B2A3.<br>.....           | 62 |
| FIGURA 4.8 – GRÁFICO PRÉ-COMPRESSÃO X CISALHAMENTO NA ÁREA LÍQUIDA PARA QUADRIPLÉTAS COM<br>B2. ....          | 63 |
| FIGURA 4.9 – GRÁFICO PRÉ-COMPRESSÃO X CISALHAMENTO NA ÁREA LÍQUIDA GERAL PARA<br>QUADRIPLÉTAS. ....           | 64 |
| FIGURA 4.10 – CRITÉRIO DE RUPTURA .....   | 65 |
| FIGURA 4.11 - GRÁFICO TENSÃO DE CISALHAMENTO X DEFORMAÇÃO DAS QUADRIPLÉTAS PARA PRÉ-<br>COMPRESSÃO ZERO ..... | 66 |
| FIGURA 4.12 – FORMA DE RUPTURA DE QUADRIPLÉTA SEM PRÉ-COMPRESSÃO. ....  | 67 |
| FIGURA 4.13 - FORMA DE RUPTURA DE QUADRIPLÉTA SEM PRÉ-COMPRESSÃO. ....  | 67 |
| FIGURA 4.14– FOTO DO ENSAIO DE CISALHAMENTO SEM PRÉ-COMPRESSÃO. ....  | 68 |
| FIGURA 4.15 – FOTO DO ENSAIO DE CISALHAMENTO SEM PRÉ-COMPRESSÃO. ....   | 68 |
| FIGURA 4.16 – FOTO DO ENSAIO DE CISALHAMENTO SEM PRÉ-COMPRESSÃO. ....   | 69 |
| FIGURA 4.17 – FOTO DO ENSAIO DE CISALHAMENTO SEM PRÉ-COMPRESSÃO. ....   | 69 |
| FIGURA 4.18 – FOTO DO ENSAIO DE CISALHAMENTO SEM PRÉ-COMPRESSÃO. ....   | 70 |
| FIGURA 4.19 - GRÁFICO TENSÃO DE CISALHAMENTO X DEFORMAÇÃO DAS QUADRIPLÉTAS COM PRÉ-<br>COMPRESSÃO. ....       | 70 |
| FIGURA 4.20 – FOTO DO ENSAIO DE CISALHAMENTO COM PRÉ-COMPRESSÃO DE 1,30 MPa. ....                             | 71 |
| FIGURA 4.21 – FORMA DE RUPTURA. ....  | 72 |
| FIGURA 4.22 – RUPTURA DA QUADRIPLÉTA COM 1,30 MPa DE PRÉ-COMPRESSÃO. ....                                     | 72 |
| FIGURA 4.23 - RUPTURA DA QUADRIPLÉTA COM 1,30 MPa DE PRÉ-COMPRESSÃO. ....                                     | 73 |
| FIGURA 4.24 - GRÁFICO TENSÃO DE CISALHAMENTO X DEFORMAÇÃO DAS QUADRIPLÉTAS COM PRÉ-<br>COMPRESSÃO. ....       | 73 |
| FIGURA 4.25 – FORMA DE RUPTURA. ....  | 74 |
| FIGURA 4.26 - GRÁFICO TENSÃO DE CISALHAMENTO X DEFORMAÇÃO DAS QUADRIPLÉTAS COM PRÉ-<br>COMPRESSÃO. ....       | 75 |
| FIGURA 4.27 – FORMA DE RUPTURA. ....  | 76 |
| FIGURA 4.28 – COMPARAÇÃO DOS VALORES DE NORMA COM B1A1. ....  | 77 |
| FIGURA 4.29 – COMPARAÇÃO DOS VALORES DE NORMA COM B1A2. ....  | 77 |
| FIGURA 4.30– COMPARAÇÃO DOS VALORES DE NORMA COM B1A3. ....   | 78 |
| FIGURA 4.31 – COMPARAÇÃO DOS VALORES DE NORMA COM B2A2. ....  | 78 |
| FIGURA 4.32 – COMPARAÇÃO DOS VALORES DE NORMA COM B2A3. ....  | 79 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| TABELA 2.1 - RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA AO CISLHAMENTO.....  | 12 |
| TABELA 2.2 – TAXA MÁXIMA DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (ASTM C 90, 1991).....  | 14 |
| TABELA 2.3 – ENSAIOS DE BLOCOS DE CONCRETO (ALY, 1992).....  | 15 |
| TABELA 2.4 – TRAÇOS DE ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO, BS 5628: PART 1 (1992).....  | 18 |
| TABELA 2.5 – TRAÇOS DE ARGAMASSA, ASTM C 270-86B (1987).....   | 18 |
| TABELA 2.6 – GRANULOMETRIA RECOMENDADA PELA ASTM C – 144 E BS – 1200.....  | 21 |
| TABELA 2.7– LIMITES GRANULOMÉTRICOS DO AGREGADO, NBR 7211 (1987).....  | 21 |
| TABELA 2.8– INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS DA AREIA NAS PROPRIEDADES DAS<br>ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO (SABBATINI,1986)..... | 22 |
| TABELA 2.9 – LIMITES MÁXIMOS PARA A ÁGUA DESTINADA AO AMASSAMENTO DAS ARGAMASSAS.....  | 23 |
| TABELA 2.10 – VALORES DE $\tau_0$ E $\mu$ PARA DIFERENTES TIPOS DE BLOCOS E ARGAMASSAS.....  | 37 |
| TABELA 3.1 - TIPOS, RESISTÊNCIAS NOMINAIS E QUANTIDADES DE BLOCOS.....   | 38 |
| TABELA 3.2 - TOLERÂNCIAS DIMENSIONAIS MÁXIMAS DE FABRICAÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO.....  | 40 |
| TABELA 3.3 - MASSA UNITÁRIA DO CIMENTO E CAL.....  | 41 |
| TABELA 3.4 - LIMITES GRANULOMÉTRICOS DA AREIA, BS 1200 E AREIA UTILIZADA.....  | 42 |
| TABELA 3.5 - COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA AREIA, NBR 7217 (1987).....  | 43 |
| TABELA 3.6 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA AREIA.....   | 44 |
| TABELA 3.7 - CARACTERÍSTICAS DAS ARGAMASSAS.....   | 44 |
| TABELA 3.8 – NÚMERO DE CORPOS DE PROVA ENSAIADOS NO ESTUDO EXPERIMENTAL.....   | 46 |
| TABELA 3.9 – ELEMENTOS USADOS NO APARATO E SUAS FUNÇÕES.....   | 50 |
| TABELA 4.1 – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS BLOCOS DE CONCRETO.....   | 53 |
| TABELA 4.2 – RESISTÊNCIAS MÉDIAS À COMPRESSÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO.....  | 54 |
| TABELA 4.3 – RESISTÊNCIAS MÉDIAS À TRAÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO.....  | 54 |
| TABELA 4.4 – MÓDULO DE ELASTICIDADE DOS BLOCOS DE CONCRETO.....  | 54 |
| TABELA 4.5 – TRAÇOS E DESIGNAÇÕES DAS ARGAMASSAS.....  | 55 |
| TABELA 4.6 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO, FATOR A/C E ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA MÉDIO DAS<br>ARGAMASSAS.....                                       | 55 |
| TABELA 4.7 – MÓDULO DE ELASTICIDADE E COEFICIENTE DE POISSON DAS ARGAMASSAS.....   | 56 |
| TABELA 4.8 – ÁREAS RESISTENTES USADAS NA ANÁLISE DE RESULTADOS.....  | 57 |
| TABELA 4.9 – RESISTÊNCIA AO CISLHAMENTO DE QUADRILETAS COM BLOCO B1.....   | 57 |
| TABELA 4.10 – RESISTÊNCIA AO CISLHAMENTO DE QUADRILETAS COM BLOCO B2.....  | 61 |
| TABELA 4.11 – RESULTADOS DA REGRESSÃO LINEAR.....  | 65 |
| TABELA 4.12 – DEFORMAÇÃO DA QUADRIPLETA E RESISTÊNCIA AO CISLHAMENTO ÚLTIMA.....   | 66 |
| TABELA 4.13 – DEFORMAÇÃO DA QUADRIPLETA E RESISTÊNCIA AO CISLHAMENTO ÚLTIMA.....   | 71 |
| TABELA 4.14 – DEFORMAÇÃO DA QUADRIPLETA E RESISTÊNCIA AO CISLHAMENTO ÚLTIMA.....   | 74 |

|   |    |
|---|----|
| TABELA 4.15 – DEFORMAÇÃO DA QUADRIPLÉTA E RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO ÚLTIMA..... | 75 |
|---|----|

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

|                 |  |
|-----------------|--|
| A1              | Argamassa com traço 1 : 0,25 : 3                                 |
| A2              | Argamassa com traço 1 : 0,5 : 4,5                                |
| A3              | Argamassa com traço 1 : 1 : 6                                    |
| $A_{br}$        | Área bruta   |
| $A_{liq}$       | Área líquida   |
| b               | Largura efetiva da seção   |
| B1              | Bloco de concreto com resistência nominal à compressão de 16 MPa |
| B2              | Bloco de concreto com resistência nominal à compressão de 6 MPa  |
| B1A1            | Quadripleta composta com bloco B1 e argamassa A1                 |
| B1A2            | Quadripleta composta com bloco B1 e argamassa A2                 |
| B1A3            | Quadripleta composta com bloco B1 e argamassa A3                 |
| B2A2            | Quadripleta composta com bloco B2 e argamassa A2                 |
| B2A3            | Quadripleta composta com bloco B2 e argamassa A3                 |
| C               | Comprimento do bloco de concreto                                 |
| cm              | Centímetros  |
| cm <sup>2</sup> | Centímetros quadrados  |
| CP              | Corpo de prova   |
| CV              | Coefficiente de variação   |
| dm <sup>3</sup> | Decímetro cúbico   |
| $E_b$           | Módulo de elasticidade do bloco de concreto                      |
| $f_{a/c}$       | Relação água/cimento   |
| $f_b$           | Resistência à compressão do bloco de concreto                    |
| $f_v$           | Resistência ao cisalhamento característica da alvenaria.”        |

|                  |                                  |
|------------------|----------------------------------|
| g                | Gramma                           |
| gA               | Carga vertical de cálculo        |
| G <sub>alv</sub> | Módulo de deformação transversal |
| H                | Carga paralela às juntas         |
| H                | Altura do bloco de concreto      |
| i                | Argamassa traço 1 : 0 a ¼ : 3    |
| IC               | Índice do consistência           |
| ii               | Argamassa traço 1 : ½ : 4 a 4½   |
| iii              | Argamassa traço 1: 1 : 5 a 6     |
| iv               | Argamassa tipo 1: 2 : 8 a 9      |
| kg               | Kilograma                        |
| kgf              | Kilograma força                  |
| kN               | Kilo Newton                      |
| L                | Largura do bloco de concreto     |
| m                | Metro                            |
| m <sup>3</sup>   | Metro cúbico                     |
| min              | Minuto                           |
| mm               | Milímetros                       |
| MPa              | Mega Pascal                      |
| Nx               | Força normal                     |
| °C               | Graus Celsius                    |
| P                | Carga aplicada                   |
| p                | Página                           |
| Sd               | Desvio padrão                    |
| seg              | Segundo                          |
| t                | Espessura efetiva                |

|                 |  |
|-----------------|--|
| T               | Resistência à tração por compressão diametral        |
| V               | Esforço cortante horizontal                          |
| $V_h/V_o$       | Coefficiente médio de inchamento do agregado         |
| $W_b$           | Peso unitária do bloco de concreto                   |
| %               | Porcentagem  |
| $\mu$           | Coefficiente de atrito                               |
| $\mu$           | Coefficiente de fricção                              |
| $\sigma_\gamma$ | Pré-compressão                                       |
| $\tau_0$        | Resistência ao cisalhamento para compressão zero     |
| $\tau_0$        | Resistência ao cisalhamento para pré-compressão zero |
| $\tau_{alv}$    | Tensão convencional de cisalhamento                  |
| $\tau_{alv}$    | Tensão de referência                                 |
| $\tau_b$        | Resistência ao cisalhamento                          |
| $v_h$           | Tensão de cisalhamento resultante                    |
| $\gamma_{mv}$   | Coefficiente parcial de segurança                    |

## LISTA DE SIGLAS

|       |  |
|-------|--|
| ABNT  | Associação Brasileira de Normas Técnicas   |
| ACI   | American Concrete Institute  |
| ASTM  | American Society for Testing and Materials   |
| BS    | British Standard   |
| CB    | Comitê Brasileiro  |
| CP    | Cimento Portland   |
| CH    | Cal hidratada  |
| IRA   | Initial Rate of Absorption   |
| LMCC  | Laboratório de Materiais de Construção Civil   |
| LVDT  | Linear Variavel Differential Transformers  |
| NBR   | Norma Brasileira   |
| RILEM | Réunion Internationale des Laboratoires D' Essais Et De Recherches Sur<br>Les Matériaux Et Les Constructions |
| UFSC  | Universidade Federal de Santa Catarina   |



## RESUMO

A alvenaria estrutural predomina na maioria das edificações na Europa, fato não observado no Brasil. As pesquisas existentes apontam que as limitações na construção de edifícios em alvenaria estrutural ocorrem pela falta de pesquisa tecnológica sobre o desempenho estrutural quando submetidos a cargas laterais que originam tensões de cisalhamento. Portanto, o presente trabalho objetivou caracterizar o comportamento de quadripletas com blocos de concreto em relação à resistência ao cisalhamento. Para tanto, fez-se análise quanto ao tipo de ruptura e resistência ao cisalhamento das quadripletas confeccionadas com 3 diferentes traços de argamassas prescritos pela norma britânica BS 5628: Part 1 (1992) como tipo (i), (ii) e (iii) e dois blocos com diferentes níveis de resistência à compressão (6 e 16 MPa). Foram ensaiadas um total de 62 quadripletas sendo submetidas a pré-compressão de 0 a 3,71 MPa. Os resultados indicaram que a pré-compressão é a variável mais relevante na resistência ao cisalhamento, seguida da argamassa e tendo a resistência do bloco pouca importância.

## ABSTRACT

Structural masonry is widely used in most of European buildings, but not in Brazilian ones. Existent researches affirm that the limited number of masonry structural buildings is because of the lack of technological research about their structural performance under lateral loading that origins shear tensions. This work aims to characterise the behaviour of a four-unit-test specimen built with concrete blocks related to shear strength. So it is analysed the failure mode and shear strength of the four-unit-test specimen built with three different mortar types described in the British standard as type (I), (II) e (III) and two concrete blocks with different levels of compressive strength. Sixty two four-unit-test specimens were tested under a compression strength from 0 to 3,71Mpa. Results show that the compression is the most relevant variable on shear strength, followed by mortar type and that the block type is little important.

O presente capítulo apresenta um estudo sobre a alvenaria estrutural com blocos de concreto, destacando a relevância, justificativa, objetivos e estrutura metodológica desta pesquisa.

### **1.1 Considerações Iniciais**

Grandes obras foram construídas no decorrer dos séculos, utilizando-se a alvenaria, baseadas nos conhecimentos adquiridos ao longo dos tempos, seguindo regras puramente empíricas e intuitivas.

Nos séculos XIX e XX, obras de maior porte eram construídas em alvenaria com base em modelos mais racionais, servindo como exemplo clássico o edifício "Monadnock", construído em Chicago entre 1889 e 1891 com 16 pavimentos e 65 metros de altura, cujas paredes inferiores possuíam 1,80 m de espessura. Para SCHNEIDER e DICKEY (1994), com as modernas técnicas e produtos hoje existentes, seria possível a construção de tal prédio com paredes de 30 cm de espessura.

A partir do início do século XX, com o advento do concreto e do aço, que possibilitaram a construção de estruturas esbeltas e de grande altura, a alvenaria ficou relegada a construções de pequeno porte ou utilizada somente como elemento de vedação.

A partir da década de 20 do século XX, os estudos da alvenaria se concentraram na elaboração de especificações para os materiais de construção. A primeira norma consistente para cálculo de alvenaria de tijolos foi elaborada na Inglaterra em 1948 e na Alemanha, em 1952 foi lançada a DIN-1053 (GOMES, 1983).

Por volta de 1950, na Europa ressurgiu a alvenaria estrutural, agora com novos materiais, aproveitando todas as suas possibilidades de ser uma estrutura de suporte e também de fechamento, com conseqüentes reduções de custo final da obra. Basicamente, em virtude da presença de abalos sísmicos, desenvolveu-se na Europa a alvenaria não armada e nos Estados Unidos a alvenaria armada.

Em 1951, o engenheiro Paul Haller dimensionou e construiu na Basileia (Suíça), um prédio de 13 pavimentos em alvenaria não armada, com paredes internas de 15 cm e externas de 37,5 cm, sendo considerado um marco histórico. Nesta época foram construídos edifícios de até 18 pavimentos com esse processo construtivo. Retomando-se com esse evento, as pesquisas sobre o comportamento estrutural da alvenaria. Em 1967, este tema inspirou a realização do primeiro Congresso Internacional, em Austin, EUA.

No Brasil, a alvenaria estrutural com blocos de concreto, teve início com a importação pela Construtora Camargo Corrêa, em 1952, da primeira máquina de produção mecânica desses em escala industrial. Inicialmente, a fabricação de blocos tinha o intuito de resolver o problema da grande quantidade de pó de pedra gerada pela pedreira Reago. No ano de 1966, têm início a produção de blocos de concreto com alta resistência (ALY, 1992).

A década de 70 do século passado marcou o desenvolvimento da alvenaria estrutural com blocos de concreto, sendo que a primeira grande obra no Brasil foi o Central Parque Lapa, com 4 prédios de 12 andares. Toda a tecnologia destes primeiros empreendimentos foi trazida dos Estados Unidos (ABCI, 1990).

ALY (1992) afirma que em 1977, formou-se junto ao Comitê Brasileiro (CB 2) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), um primeiro grupo de estudos para a elaboração da norma brasileira de alvenaria estrutural.

A alvenaria estrutural não armada iniciou no Brasil no ano de 1977, com a construção em São Paulo de um edifício de nove pavimentos em blocos sílico-calcário. O início da década de 80 marcou a introdução dos blocos cerâmicos com função estrutural.

Em 1989 foi editada uma norma nacional, a NB-1228, atual NBR-10837 - Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto, que trata do cálculo da alvenaria estrutural, armada ou não armada.

## 1.2 Relevância e Justificativa

A alvenaria estrutural é um sistema de comportamento estrutural complexo, uma vez que cada um dos seus componentes tem características elásticas e mecânicas próprias, com reações, funções e solicitações diferenciadas quando unidos.

É necessário um entendimento do comportamento da parede sob várias condições de tensão. Primariamente, as paredes de alvenaria são elementos de sustentação de cargas verticais, no qual a resistência à compressão é o principal fator do projeto. Mas essas são freqüentemente submetidas a cargas de cisalhamento e pressão lateral pelo vento e por cargas excêntricas. Considera-se que o vento atua sobre as paredes que estão dispostas na perpendicular a sua direção. Essas passam a ação às lajes dos pavimentos que distribuem, de acordo com a rigidez, aos painéis de contraventamento, como mostra a Figura 1.1. Sendo assim, as resistências ao cisalhamento e à flexão devem também ser consideradas.

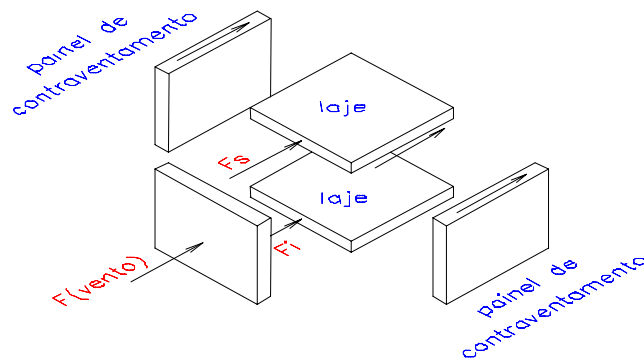


Figura 1.1 - Atuação do vento e distribuição para os painéis de contraventamento.

Atualmente, tem-se uma crescente demanda por projetos de alvenaria estrutural, com progressiva elevação do número de pavimentos e disposições menos simples das paredes em planta. Desse modo, observa-se modificação considerável na distribuição de rigidez relativa dos diversos painéis de contraventamento (NASCIMENTO, 1999).

No Brasil, nas cidades de médio e grande porte, muitas das habitações são em edifícios altos. Segundo CANDIA *et al.* (1994), a limitação na construção de edifícios em alvenaria estrutural é, em boa parte, devida à falta de pesquisa tecnológica sobre o desempenho estrutural quando submetidos a cargas laterais que originam tensões de cisalhamento.

A resistência da alvenaria ao cisalhamento e à compressão combinadas é uma relação importante na resistência dos prédios às cargas laterais.

Existem poucos trabalhos que determinam a resistência ao cisalhamento de paredes de alvenaria estrutural em bloco de concreto no Brasil e exterior. O Reino Unido tem extenso programa de testes em alvenaria estrutural de tijolos cerâmicos maciços e os Estados Unidos, com maior tradição no uso de blocos de concreto, apresentam um processo construtivo voltado a resistir a abalos sísmicos, e por conseqüência, bastante diferenciado do que se faz no Brasil. Dessa forma, torna-se necessário o desenvolvimento de mais pesquisas para definir a resistência ao cisalhamento de prédios em alvenaria estrutural de bloco de concreto construídos no Brasil.

A norma brasileira, NBR 14321 (1999), que trata da determinação da resistência ao cisalhamento de paredes de alvenaria estrutural, prescreve o método para determinação da tensão convencional de cisalhamento ( $\tau_{alv}$ ) e seu módulo de deformação transversal ( $G_{alv}$ ), em paredes estruturais. Os corpos de prova devem ser representativos da estrutura real, admitindo-se dimensões mínimas de 1,20 m x 1,20 m, quando não for possível reproduzir as paredes nas mesmas dimensões reais. Essas são ensaiadas a compressão diagonal. Verifica-se que esta norma é baseada na ASTM E 519 – 81.

O fato da norma não ser baseada em pesquisas nacionais, constitui-se também um importante motivo para a realização de estudos e pesquisas tecnológicas que permitam obter métodos de ensaios práticos, de baixa variabilidade e que proporcionem resultados que possam ser usados como parâmetros válidos para o cálculo da resistência ao cisalhamento.

Devido às dificuldades de execução do ensaio normalizado pela NBR 14321 (1999), principalmente quanto ao transporte e montagem do corpo de prova na prensa, optou-se por trabalhar com o ensaio proposto por SINHA e HENDRY (1975) e posteriormente testados em bloco de concreto por ROMAN e SINHA (1994). Neste ensaio, o corpo de prova (quadripleta) é menor e, portanto o transporte não exige equipamentos especiais, tendo-se um maior controle das cargas e tensões durante o mesmo.

Este estudo justifica-se por trabalhar com bloco de concreto, que são os mais usados em alvenaria estrutural não armada no Brasil. O uso desse sistema construtivo pelas empresas se deve à redução de custos, principalmente devido à racionalização dos projetos e ao uso das paredes em várias funções simultâneas. Ainda, segundo SANTOS (2001), o material apresenta custo relativamente baixo, não requerendo aporte de capital elevado e oferecendo flexibilidade ao projetista devido às pequenas dimensões das unidades, com superfícies de acabamento atraentes sob o ponto de vista plástico e estético. Com isso, obtém-se uma melhor qualidade da obra com menos capital sendo esta uma vantagem significativa comparada as construções convencionais.

### **1.3 Objetivos do Estudo**

#### **1.3.1 Objetivo Principal**

O presente trabalho objetiva caracterizar o comportamento da alvenaria de bloco de concreto, não grauteada, através do ensaio de quadripletas, enfatizando aspectos relacionados à resistência ao cisalhamento.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Estabelecer a resistência ao cisalhamento do conjunto argamassa/bloco submetidos à pré-compressão e não submetidos à pré-compressão;
- Determinar a relação entre a resistência ao cisalhamento e a pré-compressão;
- Identificar os tipos de ruptura nas quadripletas submetidas à pré-compressão para os diferentes tipos de argamassas e resistências dos blocos;
- Caracterizar os tipos de ruptura nas quadripletas ensaiadas a cisalhamento sem e com pré-compressão para os diferentes tipos de argamassas e resistências dos blocos.

## **1.4 Estrutura do Trabalho**

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos.

No capítulo 1 apresentam-se as considerações gerais acerca do tema de pesquisa e define-se o escopo do trabalho.

O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica abrangendo os experimentos que têm sido usados na investigação do comportamento ao cisalhamento de alvenarias e a influência dos componentes da alvenaria na resistência ao cisalhamento.

O programa experimental incluindo materiais, equipamentos e metodologia empregados para os ensaios é apresentado no capítulo 3.

No capítulo 4, tem-se a análise dos resultados dos ensaios dos blocos, das argamassas e das quadripletas, a influência da pré-compressão na resistência ao cisalhamento e os tipos de ruptura.

O capítulo 5 mostra a conclusão do estudo e sugestões para o prosseguimento de pesquisa na área em estudo.

## **1.5 Resultados esperados**

Espera-se que os resultados obtidos nesta pesquisa contribuam para um melhor entendimento do comportamento da alvenaria estrutural de bloco de concreto não grauteados com relação à resistência ao cisalhamento com e sem pré-compressão, confeccionada com diferentes traços de argamassas e diferentes níveis de resistências dos blocos.

Gerar uma contribuição para possível revisão da NBR 10837 (1989).



## **CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

---

Este capítulo faz um levantamento das ações e solicitações que ocorrem na estrutura dos edifícios, levando ao surgimento de tensões de cisalhamento; as condições de norma; os diferentes testes e corpos de provas desenvolvidos por pesquisadores e/ou normalizados; as variáveis que interferem na resistência ao cisalhamento e os tipos de ruptura em função da existência e intensidade da pré-compressão que atua na estrutura.

### **2.1 Ação do vento em edifícios de alvenaria estrutural**

No projeto em alvenaria estrutural, as paredes estruturais devem apresentar as seguintes funções: resistir às cargas verticais e de vento, resistir ainda a impactos e cargas de ocupação, apresentar isolamento acústico e térmico, ser estanque à água de chuva e apresentar bom desempenho contra a ação do fogo.

ROMAN (1996) salienta que o desvio de prumo ou alinhamento da parede estrutural com os pavimentos inferior e superior produz cargas excêntricas com conseqüente redução na resistência.

Atualmente, estão sendo construídos prédios de até 18 pavimentos em alvenaria estrutural, principalmente na região sudeste do país. Em edifícios altos, os esforços horizontais são gerados por cargas excêntricas e principalmente pelas forças de vento, uma vez que as ocorrências de abalos sísmicos no Brasil não são de magnitude e intensidade consideráveis.

A carga de vento deve ser calculada segundo a NBR 6123 (1988), sendo que existem situações em que esse cálculo é dispensado.

A NBR 6118 (1980) – Projeto e execução de estruturas de concreto armado, no item 3.1.1.3 que trata dos esforços solicitantes, no caso, das ações de vento, diz:

*“Será exigida a consideração da ação do vento nas estruturas em que esta ação possa produzir efeitos estáticos ou dinâmicos importantes e obrigatoriamente no caso de estruturas com nós deslocáveis, nas quais a altura seja maior que 4 vezes a largura menor, ou em que, em uma dada direção, o número de filas de pilares seja inferior a 4. Deverá ser levada em conta a possível influência desfavorável de construções próximas à estrutura em exame, que por suas dimensões e forma possam tornar esta influência considerável.”*

A norma alemã diz que a verificação da resistência à carga de vento pode ser dispensada no caso de prédios de até 6 pavimentos, quando a planta contém paredes enrijecedoras passando de uma a outra parede externa ou a uma parede estrutural interna (DIN 1053, citado por CANDIA,1994).

NBR 10837 (1989) dispensa a verificação da absorção da carga de vento no caso de prédios de até cinco andares, se a planta contém paredes enrijecedoras e resistentes, dispostas conforme os seguintes requisitos:

- (i) as paredes resistentes devem estar dispostas nos dois sentidos, de modo a proporcionar estabilidade lateral dos componentes e ao conjunto estrutural;
- (ii) a laje é calculada como solidária com as paredes resistentes e funciona como diagrama rígido, de forma a transferir a estas os esforços horizontais.

Na norma brasileira, nos demais casos, exige-se a verificação por meio de cálculo estrutural da ação do vento.

A norma britânica, BS 5628: Part 1 (1992), no item que trata das cargas de vento, não faz referência à dispensa da verificação desta carga para prédios menores de cinco andares, como a norma brasileira ou alemã.

## **2.2 Solicitações nas lajes e esforços em paredes resistentes**

Edifícios altos em alvenaria estrutural tem o sistema estrutural do tipo laminar para resistir aos esforços laterais, onde as lajes atuam como diagramas rígidos recebendo os esforços horizontais a que as paredes externas (de fachada) são solicitadas e os transmitem como esforços de cisalhamento às paredes de contraventamento, de acordo com sua rigidez. Essas paredes estarão resistindo também as cargas verticais que atuam na estrutura.

SABBATINI (1984) afirma que na estruturação do edifício de alvenaria estrutural não armada, as lajes têm além da função principal de suporte horizontal (que permite a ocupação do edifício) três funções essenciais:

- I. absorver as cargas horizontais e transmiti-las para paredes resistentes ao cisalhamento;
- II. ajudar no enrijecimento do edifício como um todo e as paredes externas em particular (na função de suporte lateral); e
- III. unir os conjuntos das paredes de todos os pavimentos, proporcionando monolitismo à estrutura.

As lajes maciças armadas nas duas direções são as mais indicadas pela rigidez que conferem na distribuição das pressões devidas ao vento e as cargas verticais. Como se apóiam em mais de duas paredes, possuem o benefício adicional de apresentar maior resistência no caso de uma parede resistente ser retirada pelo usuário do prédio (DUARTE, 1999). Apresentando como requisitos para paredes resistentes, atuar nas seguintes situações:

- (i) sob esforços verticais de compressão conduzindo as cargas diretamente às fundações;
- (ii) como parede cisalhante (*shear wall*) resistindo às forças laterais em todo o prédio;
- (iii) isoladamente resistindo à flexão lateral (*out-of-plane*) provocada pela pressão externa do vento.

FRANCO (1993) destaca que quando as paredes são resistentes ao cisalhamento desempenham um importante papel na transmissão dos esforços solicitantes horizontais até as fundações, garantindo desta forma a estabilidade global do edifício às cargas de vento.

SANTOS (2001) afirma que é relativamente pequeno o conhecimento sobre o comportamento da alvenaria sob tensões de cisalhamento, e salienta o avanço em relação ao comportamento à compressão apesar do primeiro ser o modo de ruptura dominante em muitas situações. Fato observado pelo autor ao analisar os baixos valores de resistência ao cisalhamento admitidos nos procedimentos de cálculo das normas (BS, EUROCODE 6, ACI e NBR) e também devido a grande variabilidade nos resultados de ensaios de diferentes pesquisadores e especificações técnicas para projeto.

### 2.3 Normas de cálculo de alvenaria estrutural - cisalhamento

A seguir são transcritos itens de normas que tratam do dimensionamento da alvenaria estrutural quanto a sua resistência ao cisalhamento. Cabe ressaltar que são fundamentais a compreensão do comportamento da estrutura e o seu dimensionamento total (lajes, resistência das paredes às cargas verticais, reforços em aberturas, entre outros).

No item 5.1.6 da NBR 10837 (1989) que trata do dimensionamento dos elementos e esforços resistentes da alvenaria – esforço cortante horizontal, têm-se:

“Nos elementos de alvenaria solicitados por esforço cortante horizontal, a tensão de referência ( $\tau_{alv}$ ) é calculada pela expressão:

$$\tau_{alv} = \frac{V}{b \cdot t} \quad (1)$$

Onde:  $V$  = o esforço cortante horizontal atuante correspondente às cargas de serviço sem majoração  
 $b$  = largura efetiva da seção  
 $t$  = espessura efetiva”

A tensão de referência  $\tau_{alv}$  não pode ser maior que:

- 0,15 MPa para argamassas com resistência à compressão entre 5,0 e 12,0 MPa; e
- 0,25 MPa para argamassas com resistência à compressão entre 12,0 e 17,0 MPa.

Ressalta-se que a norma brasileira utiliza o método das tensões admissíveis e considera, independente da pré-compressão aplicada, uma resistência de cisalhamento constante.

De acordo com a BS 5628: Part 1 (1992), tem-se:

*“Item 33 - paredes submetidas a forças de cisalhamento: quando paredes em cisalhamento resistem a forças horizontais atuantes em seu plano, podem ser tomadas providências contra o surgimento de um estado limite último de cisalhamento, desde que se satisfaça a seguinte condição:*

$$v_h \leq \frac{f_v}{\gamma_{mv}} \quad (2)$$

Onde:  $v_h$  = é a tensão de cisalhamento resultante da carga horizontal de cálculo dimensionada como atuando uniformemente sobre a área da seção transversal horizontal da parede.  
 $\gamma_{mv}$  = é o coeficiente parcial de segurança para o material submetido a cisalhamento  
 $f_v$  = é a resistência ao cisalhamento característica da alvenaria.”

O valor de  $\gamma_{mv}$  deve ser tomado igual a 2,5 para argamassas do tipo (i) à (iv) da BS 5628: Part 1 (1992), exceto quando considerado os efeitos de danos acidentais quando o valor de  $\gamma_{mv}$  deve ser reduzido para 1,25.

A norma britânica, no item 25, destaca a resistência ao cisalhamento característico da alvenaria ( $f_v$ ), considerando-a em função da direção e plano de aplicação da carga, conforme Figura 2.1, do nível de pré-compressão por unidade de área e do tipo de argamassa (Tabela 2.1).

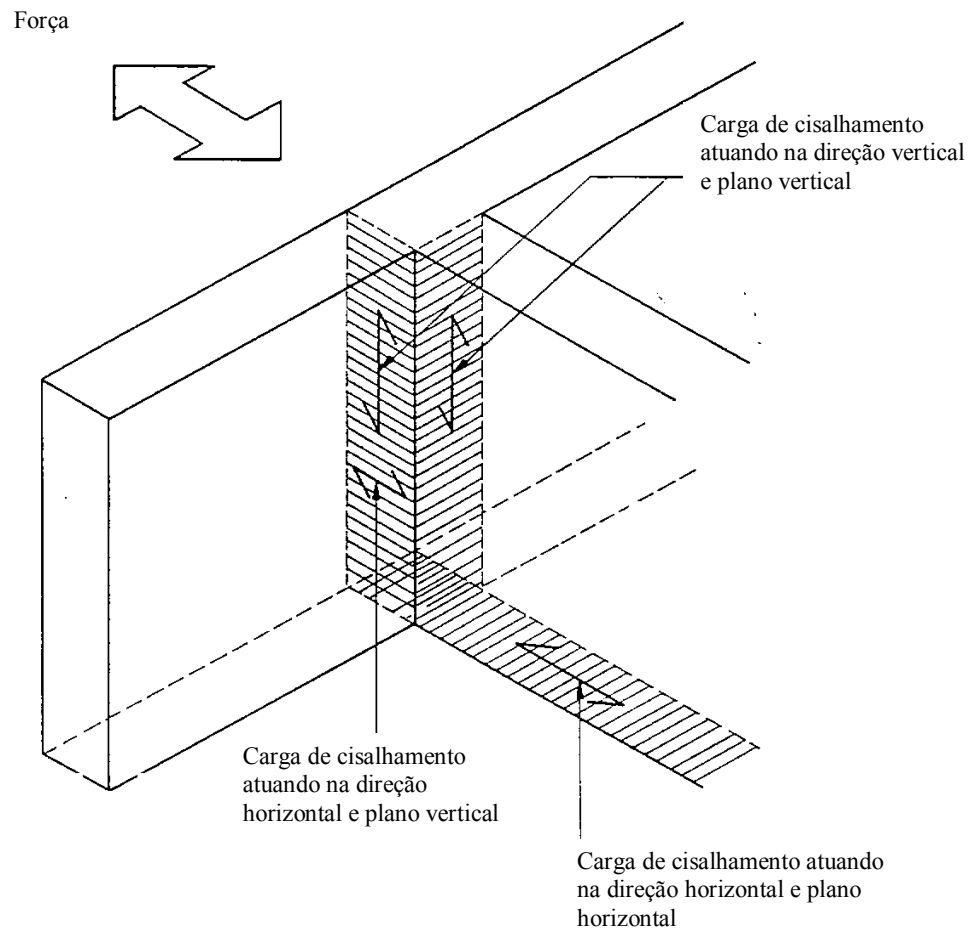


Figura 2.1 – Plano e direção de aplicação das cargas de cisalhamento (BS 5628).

Tabela 2.1 - Resistência característica ao cisalhamento.

| Unidade                               | Blocos          | Tijolo cerâmico maciço |              | Bloco maciço de concreto<br>– resistência à compressão $\geq 7 \text{ N/mm}^2$ |
|---------------------------------------|-----------------|------------------------|--------------|--|
| Direção e plano de aplicação da carga | Horizontal      | Vertical               |              | Vertical   |
| Argamassa tipo                        | (i) e (ii)      | (i) e (ii)             | (iii) e (iv) | (i), (ii) e (iii)  |
| Cálculo de $f_v$ ( $\text{N/mm}^2$ )  | $0,35 + 0,6 gA$ | -                      | -            | -  |
| $f_v$ limite ( $\text{N/mm}^2$ )      | 1,75            | 0,7                    | 0,5          | 0,35   |

Fonte: BS 5628: Part 1 (1992).

Onde:  $gA$  é a carga vertical de cálculo por unidade de área da seção transversal de parede.

No item 26, a norma britânica apresenta o coeficiente de atrito, adotando o valor do desse entre faces de concreto e de alvenaria como 0,6.

## **2.4 Fatores que interferem na resistência ao cisalhamento**

A alvenaria estrutural, como o próprio nome já diz, é constituída de paredes com funções estruturais e por isso os elementos dessas são fundamentais para o comportamento final. Uma parede é constituída de unidades de alvenaria e argamassa de assentamento. As unidades de alvenaria têm que atender alguns requisitos para um bom desempenho e a argamassa, que é constituída de cimento, cal e areia (em geral) também. Estes elementos serão descritos a seguir, ressaltando as características que interferem na resistência ao cisalhamento.

### **2.4.1 Unidade de Alvenaria**

Denomina-se unidade de alvenaria o produto industrializado de dimensões e peso que o fazem manuseável, de formato paralelepipedal e adequado para compor uma parede. As unidades de alvenarias podem ser classificadas em blocos: cerâmicos, de concreto ou sílico-calcário; ou tijolos: maçicos (cerâmicos, concreto e sílico-calcário), furados (cerâmicos). Os tijolos diferenciam-se dos blocos pelas dimensões. São denominados tijolos as unidades com dimensões máximas de 250 x 120 x 55 mm. Unidades com dimensões superiores são denominadas blocos (ROMAN *et al*, 1999).

MEDEIROS e SABBATINI (1993) dizem que a maioria das normas define bloco de concreto de forma incompleta, ora buscando os conceitos dos materiais, ora utilizando as dimensões e geometria dessas unidades, definindo bloco de concreto como: “a unidade de alvenaria constituída pela mistura homogênea, adequadamente proporcionada, de cimento Portland, agregado miúdo e graúdo, conformada através de vibração e prensagem, possuindo dimensões superiores a 250 x 120 x 55 mm (comprimento x largura x altura)”.

ROMAGNA (2000) analisou a norma brasileira (NBR 6136, 1994), americana (ASTM C 90, 1991) e britânica (BS 6073, 1981) e também afirma que as três definem bloco de concreto de maneira incompleta. Sendo que a norma brasileira e britânica referem-se somente às dimensões do bloco e a americana somente aos materiais que o constituem.

O bloco de concreto com função estrutural deve apresentar resistência mínima de 4,5 MPa, segundo especificação da NBR 6136 (1994). Para TANGO (1994), a resistência à compressão é de fundamental importância nos blocos estruturais, não só devido à necessidade óbvia de cumprirem sua função resistente, mas também em consequência de que a durabilidade, a absorção de água e a impermeabilidade da parede estão intimamente ligadas a essa propriedade.

A NBR 6136 (1994) admite a utilização de bloco de concreto cuja absorção de água seja inferior a 10%. Na Tabela 2.2, encontram-se os valores de absorção de água limitados pela ASTM C 90 (1991), para bloco de concreto.

Tabela 2.2 – Taxa máxima de absorção de água (ASTM C 90, 1991).

| Peso seco do bloco de concreto (kg/m <sup>3</sup> ) | Absorção de água máxima (%) |
|---|-----------------------------|
| < 1682  | 18                          |
| 1682 à 2000   | 15                          |
| > 2000  | 13                          |

Segundo SABATTINI (1984), a monoliticidade do elemento parede aumenta com a resistência de aderência bloco-junta de argamassa que se relaciona com a porosidade do bloco, a razão de absorção inicial e a rugosidade superficial do bloco. Logo, conhecer as características inerentes aos componentes é fundamental, pois elas afetam os seus requisitos funcionais que influenciam as condições de desempenho exigidas da parede de alvenaria.

A absorção inicial do bloco é a capacidade que esse tem de absorver parte da água que a argamassa contém no primeiro momento de contato com ela. A norma ASTM C-67 (1983) especifica como IRA (*Initial Rate of Absorption*), a quantidade de água em peso que a unidade de alvenaria absorve quando sua superfície entra em contato com uma camada de água de  $3,2 \pm 0,25$  mm de altura, durante um minuto. O resultado é expresso em gramas por superfície padrão de 30 polegadas por minuto, (g/30pol<sup>2</sup>/min) ou no sistema métrico (g/193,5cm<sup>2</sup>/min).



Para a caracterização de blocos de concreto, ALY (1992) utilizou as normas NBR 7186 (1982) e BS 5628: Part 1 (1992) e no caso da determinação do IRA, foi adaptado o ensaio da norma ASTM C 67 (1987) com a norma BS 3921 (1985), que mede o potencial de absorção pelo bloco da água existente na argamassa de assentamento (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 – Ensaio de blocos de concreto (ALY, 1992).

| Carac. | Dimensões (mm) |      |       | Abs. (%) | Massa Espec (g/dm <sup>3</sup> ) | Área Liq. (cm <sup>2</sup> ) | IRA (g/cm <sup>2</sup> /min) | fb (MPa) | fbk (MPa) |
|--------|----------------|------|-------|----------|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------|-----------|
|        | Bloco          | Comp | Larg. |          |                                  |                              |                              |          |           |
| A      | 391            | 142  | 191   | 6.7      | 1.80                             | 285                          | 49                           | 7.9      | 5.9       |
| B      | 392            | 141  | 189   | 6.2      | 1.90                             | 291                          | 53                           | 10.6     | 10.3      |
| C      | 392            | 141  | 189   | 6.2      | 2.07                             | 284                          | 54                           | 13.2     | 10.5      |
| Norma  | NBR 7186       |      |       | NBR 7186 | NBR 7186                         | C 67                         | C 67                         | BS 5628  | NBR 7186  |

MELI *et al.* (1971), MEDEIROS e SABBATINI (1993), SOLÓRZANO (1994), CANDIA (1994), ROMAN *et al.* (1999), THOMAZ e HELENE (2000), afirmam que a aderência está relacionada com as características do bloco no momento do assentamento, tais como: absorção inicial de água, o conteúdo de umidade do bloco, estado da superfície de contato com a argamassa, porosidade, temperatura e textura superficial, entre outras.

Sabe-se que as principais características mecânicas dos blocos são: resistência à compressão, resistência à tração, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson, sendo que a resistência do bloco de concreto à compressão interfere diretamente em propriedades como absorção d'água (devido ao aumento da densidade para resistências maiores) e na textura superficial que são fundamentais para a aderência bloco/argamassa e, conseqüentemente, a resistência ao cisalhamento da parede.

#### 2.4.2 Argamassa

A norma NBR 8798 (1985) define a argamassa de assentamento como: “*Elemento utilizado na ligação entre os blocos de concreto garantindo a distribuição uniforme de esforços, composto de: cimento, agregado miúdo, água e cal ou adição destinada a conferir plasticidade e retenção de água de hidratação à mistura*”.

SABBATINI (1986) define argamassa como um composto utilizado para unir componentes estruturais entre si, devendo apresentar as seguintes características:

- ter trabalhabilidade (consistência, plasticidade e coesão) suficiente para que o pedreiro produza com rendimento otimizado um trabalho satisfatório, rápido e econômico;
- ter capacidade de retenção de água suficiente para que uma elevada sucção do bloco não prejudique as suas funções primárias;
- adquirir rapidamente alguma resistência após assentada para resistir a esforços que possam atuar durante a construção;
- desenvolver resistência adequada para não comprometer a alvenaria de que faz parte. Não deve, no entanto, ser mais resistente que os blocos que ela une;
- ter adequada aderência aos blocos a fim de que a interface possa resistir a esforços cisalhantes e de tração e promover a alvenaria de juntas estanques à água de chuva;
- ser durável e não afetar a durabilidade de outros materiais ou da construção como um todo;
- ter suficiente resistência (baixo módulo de deformação) de maneira a acomodar as deformações intrínsecas (retração na secagem e de origem térmica) e as decorrentes de movimentos estruturais (de pequena amplitude) da parede de alvenaria, sem fissurar.

Na busca de explicar melhor essa capacidade da argamassa, buscou-se em CANDIA (1994), o conceito de trabalhabilidade que é uma propriedade essencial para garantir a extensão de aderência, permitindo a penetração da argamassa em todos os interstícios das unidades. Assim, quando a junta estiver endurecida produz-se o fenômeno de encunhamento e como consequência melhora o desempenho das paredes quando submetidas a esforços de tração e cisalhamento.

As características da argamassa mais importantes para a resistência ao cisalhamento são: o teor de ar incorporado, a relação água/cimento, a granulometria da areia, a capacidade de retenção de água e a trabalhabilidade. Essas características afetam a aderência e foram relatadas por pesquisadores, dentre eles SINHA (1983).

SOLÓRZANO (1994) diz que uma argamassa com boa trabalhabilidade se espalha com facilidade pela unidade quando utilizada a colher de pedreiro ou pode ser extrudada sem problema quando se utiliza a bisnaga para o assentamento. Por outro lado, a argamassa deve suportar o peso das unidades durante o assentamento, pois isto facilita o alinhamento e a obtenção da espessura da junta e influi fortemente na produtividade (se não suportar o peso de várias camadas).

SABATTINI (1984) afirma que a natural desuniformidade dos materiais constituintes aliada à falta de controle de qualidade destes materiais são fatores responsáveis pela grande variação nas características das argamassas, fatores estes que influenciam o desempenho global da parede e são refletidos na perda da monolicidade, da aderência e na capacidade de absorver deformações.

A capacidade de absorver deformações depende do módulo de deformação da argamassa, uma propriedade importante para o desempenho estrutural da alvenaria que pode ser determinado através da NBR 8522 (1984), a qual calcula o módulo de deformação através do diagrama tensão x deformação, obtido nos pontos 0,5 MPa e 30% da carga de ruptura.

Comparando-se com os outros fatores, segundo SABBATINI (1986), a capacidade de aderência da argamassa para um dado tipo de bloco tem uma influência particular no desempenho estrutural da parede, não sendo uma propriedade intrínseca da argamassa, mas sim dependente da natureza e características da base, isto é, existe uma ação inter-relacionada entre base (tijolo ou bloco) e argamassa formando uma interface. Da capacidade que esta interface possui de absorver tensões tangenciais (cisalhamento) e normais (tração) a ela sem se romper, dependerá a monolicidade da parede e a resistência da alvenaria frente a solicitações provocadas por deformações volumétricas como a retração hidráulica, dilatação térmica, carregamentos perpendiculares, carregamentos excêntricos e carregamentos ortogonais e tangenciais à parede tais como carga de vento, excentricidade de execução, abalos sísmicos, etc.

Cabe ressaltar que o autor afirma que na alvenaria estrutural é uma abstração quantificar a capacidade de aderência de uma argamassa de assentamento, pois essa propriedade não possui sentido para a argamassa isolada. Quantifica-se diretamente a resistência de aderência do conjunto bloco/argamassa.

SABBATINI (1986) também diz que a resistência à compressão da argamassa é uma propriedade secundária na tecnologia da alvenaria estrutural além do que a resistência apresentada pelo corpo de prova cúbico ou cilíndrico não tem uma relação direta com a resistência da junta de argamassa, que possui um formato laminar e está sujeita a um estado triplo de tensões. No entanto, é uma propriedade que possibilita a execução de ensaios de boa reprodutividade e de baixo coeficiente de variação, sendo, portanto, adequado para um controle de uniformidade de produção.

CANDIA (1994) afirma que a resistência à compressão da argamassa tem pouca influência na aderência, no entanto as normas ASTM C 270, BS 5428 e DIN 18555, recomendam controlar a qualidade das argamassas utilizadas em alvenaria estrutural, através de ensaios de compressão, pois essas devem ser produzidas com propriedades uniformes para toda a obra.

As normas BS 5628: Part 1 (1992) e ASTM C 270-86b (1987) especificam traços de argamassa para assentamento de alvenaria estrutural os quais encontram-se em: Tabela 2.4 e Tabela 2.5, respectivamente.

Tabela 2.4 – Traços de argamassa de assentamento, BS 5628: Part 1 (1992).

| Aumento da resistência →<br>← Aumento da capacidade de acomodação de movimentos devidos ao assentamento, variações de temperatura e umidade | Tipo da Arg. | Traço (volume)     |                            |                                | Resistência média à compressão as 28 dias (MPa) |                |
|---|--------------|--------------------|----------------------------|--------------------------------|---|----------------|
|   |              | Cimento:cal: areia | Cimento de alvenaria:areia | Cimento:areia c/ plastificante | Ensaio em laboratório                           | Ensaio em obra |
|   | (i)          | 1:0 a 1/4:3        | -                          | -                              | 16,0  | 11,0           |
|   | (ii)         | 1:1/2:4 a 4 1/2    | 1:2 1/2 a 3 1/2            | 1:3 a 4                        | 6,5   | 4,5            |
|   | (iii)        | 1:1:5 a 6          | 1:4:5 a 6                  | 1:5 a 6                        | 3,6   | 2,5            |
|   | (iv)         | 1:2:8 a 9          | 1:5 1/2 a 6 1/2            | 1:7 a 8                        | 1,5   | 1,0            |
| Aumento da resistência ao congelamento durante a construção →   |              |                    |                            |                                |   |                |
| ← Melhoria das juntas e conseqüente resistência à penetração da chuva   |              |                    |                            |                                |   |                |

Tabela 2.5 – Traços de argamassa, ASTM C 270-86b (1987).

| Resistência →<br>← Trabalhabilidade, resiliência e retenção de água | Tipo de argamassa | Traço (volume) |         |  |
|---|-------------------|----------------|---------|--|
|   |                   | Cimento        | Cal     | Areia                                    |
|   | M                 | 1              | 0 a 1/4 | 2,25 a 3 vezes o volume de cimento e cal |
|   | S                 | 1              | 1/2     |  |
|   | N                 | 1              | 1       |  |
|   | O                 | 1              | 2       |  |

### **2.4.3 Cimento**

A definição de cimento Portland composto, segundo a norma NBR 11578 (1991) é: “aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos, nos teores especificados”. No caso do CP II F – Cimento Portland composto com filer, estes teores são limitados em 90 à 94% de clínquer + sulfatos de cálcio e 6 à 10% de material carbonático.

O cimento exerce um papel importante na aderência entre argamassa e a unidade de alvenaria, na resistência mecânica da parede e na estanqueidade à água das juntas (THOMAZ e HELENE, 2000). De forma abrangente, proporciona resistência e durabilidade à argamassa.

Na norma NBR 8798 (1985), encontra-se que podem ser utilizados todos os tipos de cimento Portland comum, com ou sem adições e os de alto forno e pozolânicos, desde que atendam às especificações de norma de cada.

SABATTINI (1984) cita que o emprego de diferentes tipos e marcas de cimento existentes no Brasil não tem maior influência na variação das características das argamassas mistas devido a pouca quantidade que estas contém desse material e devido às características razoavelmente uniformes dos cimentos normalizados.

### **2.4.4 Cal**

Ao contrário do cimento, que é aglomerante hidráulico, a cal é um aglomerante aéreo, pois precisa estar em contato com o ar para ocorrer a reação de carbonatação que provoca o seu endurecimento (SOLÓRZANO, 1994).

O autor continua afirmando que a cal usada nas obras pode ser tanto a hidratada quanto a extinta, pois ambas favorecem a trabalhabilidade e a retenção de água, características desejáveis das argamassas de assentamento, que posteriormente ajudarão na obtenção de uma melhor aderência e deformabilidade.

Para SINHA citado por CANDIA (1994), a cal é adicionada à argamassa com a finalidade de melhorar suas propriedades de trabalhabilidade, retenção de água e conseqüentemente a resistência de aderência. A retenção de água, propriedade proporcionada pela cal, evita a situação onde as unidades de alto índice de absorção inicial, possam remover uma considerável quantidade de água da argamassa, comprometendo a aderência bloco/argamassa.

SOLÓRZANO (1994), após uma extensa revisão bibliográfica, afirma que a colocação de cal ou finos do saibro (argila e silte) na argamassa ajuda a diminuir o atrito entre os grãos que formam a argamassa permitindo uma melhor fluidez da mesma e, por outro lado, a alta superfície específica destes materiais colabora na retenção de água, o que ajuda na lubrificação dos grãos de areia, melhorando a trabalhabilidade, cujo ajuste final deve ser obtido com a participação do pedreiro que define o teor de água adequado para ele.

A cal, em função de seu poder de retenção de água, implicará em menor módulo de deformação das paredes, com maior potencial de acomodar movimentações resultantes de recalques, variações higrotérmicas, etc (THOMAZ e HELENE, 2000).

#### **2.4.5 Areia**

A areia atua como agregado inerte na mistura, reduzindo a proporção dos aglomerantes, devendo ser composta por grãos de minerais duros, compactos, duráveis e isentos de substâncias orgânicas. Sabe-se que as areias grossas aumentam a resistência à compressão da argamassa, enquanto que as areias finas reduzem essa resistência mas aumentam a aderência.

Na Tabela 2.6 tem-se as faixas granulométricas recomendadas nas normas ASTM C 144-84 (1987) e BS-1200 (1976) para as areias empregadas na fabricação de argamassa de assentamento.

Tabela 2.6 – Granulometria recomendada pela ASTM C – 144 e BS – 1200.

| #<br>(mm)              | Porcentagem (%) que passa nas peneiras (em peso) |              |
|------------------------|--|--------------|
|                        | BS – 1200  | ASTM C – 144 |
| 4,75 (5,0 – BS – 1200) | 100  | 100          |
| 2,36                   | 90 a 100   | 95 a 100     |
| 1,18                   | 70 a 100   | 70 a 100     |
| 0,6                    | 40 a 80  | 40 a 75      |
| 0,3                    | 5 a 40   | 10 a 35      |
| 0,15                   | 0 a 10   | 2 a 15       |

A NBR 8798 (1985) recomenda que os agregados (areia) devem atender às especificações da NBR 7211 (1987), sendo que a granulometria deve estar dentro dos limites de apenas uma das zonas da Tabela 2.7.

Tabela 2.7– Limites granulométricos do agregado, NBR 7211 (1987).

| # (mm) | Porcentagem (%) em peso, retida acumulada |                  |                   |                    |
|--------|---|------------------|-------------------|--------------------|
|        | ZONA 1<br>(muito fina)                    | ZONA 2<br>(fina) | ZONA 3<br>(média) | ZONA 4<br>(grossa) |
| 9,5    | 0   | 0                | 0                 | 0                  |
| 6,3    | 0 – 3                                     | 0 – 7            | 0 – 7             | 0 – 7              |
| 4,8    | 0 – 5*                                    | 0 – 10           | 0 – 11            | 0 – 12             |
| 2,4    | 0 – 5*                                    | 0 – 15*          | 0 – 25*           | 5* – 40            |
| 1,2    | 0 – 10*                                   | 0 – 25*          | 10 – 45*          | 30* – 70           |
| 0,6    | 0 – 20                                    | 21 – 40          | 41 – 65           | 66 – 85            |
| 0,3    | 50 – 85*                                  | 60* – 88*        | 70* – 92*         | 80* – 95           |
| 0,15   | 85** – 100                                | 90** – 100       | 90** – 100        | 90** – 100         |

\* tolerância de até 5 unidades.

\*\* para agregado miúdo resultante de britamento, este limite pode ser 80.

Para SINHA (1983) é muito claro o efeito da granulometria da areia na resistência de aderência entre argamassa de assentamento e blocos. SABBATINI (1986), pesquisou a influência qualitativa das características dos grãos de areia nas propriedades das argamassas de assentamento e os resumiu em uma tabela que é transcrita abaixo (Tabela 2.8).

Tabela 2.8– Influência das características granulométricas da areia nas propriedades das argamassas de assentamento (SABBATINI,1986).

| Propriedades           | Características da areia        |   |  |
|------------------------|---------------------------------|---|--|
|                        | Quanto menor o módulo de finura | Quanto mais descontínua for a granulometria | Quanto maior o teor de grãos angulosos |
| Trabalhabilidade       | Melhor                          | Pior  | Pior                                   |
| Retenção de água       | Melhor                          | Variável                                    | Melhor                                 |
| Resiliência            | Variável                        | Pior  | Pior                                   |
| Retração por secagem   | Aumenta                         | Aumenta                                     | Variável                               |
| Porosidade             | Variável                        | Aumenta                                     | Variável                               |
| Aderência              | Pior                            | Pior  | Melhor                                 |
| Resistências mecânicas | Variável                        | Pior  | Variável                               |
| Impermeabilidade       | Pior                            | Pior  | Variável                               |

Variável – quando não existe uma influência definitiva ou quando esta influência depende de outros fatores.

Em linhas gerais, a areia que apresenta melhor potencial de produzir uma argamassa adequada é a que tem granulometria contínua e classificada como média (módulo de finura entre 1,8 e 2,8) e tenha predominância de grãos arredondados (SABBATINI, 1986).

Para TRISTÃO (1995), a granulometria contínua é a que contém todos os tamanhos e grãos, isto é, existe uma distribuição normal de tamanhos de grãos e a curva granulométrica apresenta-se contínua. Uma granulometria descontínua, também denominada granulometria aberta, é aquela em que faltam certas frações granulométricas.

#### 2.4.6 Água

Na norma brasileira NBR 8798 (1985) recomenda-se o uso de água potável com pH entre 5,8 e 8,0 e sugere que se respeite os limites máximos da Tabela 2.9.



Tabela 2.9 – Limites máximos para a água destinada ao amassamento das argamassas.

|   |          |
|---|----------|
| Matéria orgânica (expressa em oxigênio consumido) | 3 mg/l   |
| Resíduo sólido                                    | 500 mg/l |
| Sulfatos – expressos em íons $\text{SO}_4^-$      | 300 mg/l |
| Cloretos – expressos em íons $\text{Cl}^-$        | 500 mg/l |
| Açúcar  | 5 mg/l   |

Fonte: NBR 8798 (1985).

SOLÓRZANO (1994) afirma que esses limites têm importância preponderante quando a alvenaria é armada e quando existem compostos na água como sulfatos e cloretos que podem vir a corroer a armadura. Para o caso de alvenaria estrutural não armada, têm-se observado bons resultados com emprego de água limpa, clara, de pH neutro, livre de sujeiras e matéria orgânica visíveis.

A água potável, de rede normal de abastecimento, normalmente é a água utilizada e atende aos limites da norma. No caso da inexistência de água tratada no local, esta deve ser analisada e avaliada a influência de sua composição na alvenaria a ser executada.

A água tem duas funções na argamassa: é responsável pela hidratação do cimento que confere o endurecimento da argamassa e pela lubrificação entre os grãos que confere as características de trabalhabilidade (CANDIA, 1994).

#### 2.4.7 Procedimentos Construtivos

Fatores como prumo, verticalidade, uniformidades de espessuras das juntas e resistência de aderência, são dependentes da habilidade dos pedreiros (DUARTE, 1999).

SOLÓRZANO (1994) avaliou a influência da mão de obra na resistência à compressão da alvenaria e na resistência de aderência da mesma e concluiu que a incidência da mão de obra na aderência é de muito maior importância que na resistência à compressão. Praticamente todos os erros ou técnicas inadequadas de assentamento por parte do pedreiro, têm uma influência significativa na futura aderência entre o bloco e a junta de argamassa.

Analisando os fatores relacionados à mão de obra, HENDRY (1989), ROMAN *et al* (1999), identificaram:

- proporcionamento e mistura incorretos da argamassa;

- ajuste incorreto da taxa de sucção dos blocos e tijolos;
- execução incorreta das juntas de argamassa (preenchimento e espessura);
- perturbação das unidades após o assentamento;
- prumo, alinhamento e nível incorreto das paredes;
- proteção incorreta da alvenaria recém construída (exposição às condições climáticas).

A fabricação da argamassa pode ser mecânica ou manual. A primeira apresenta vantagens do ponto de vista da homogeneidade da argamassa, assim como da trabalhabilidade já que, quanto mais longo é o período de mistura, melhor será sua plasticidade e retenção de água, pois se introduz ar na argamassa. Conclui-se que a mistura da argamassa não deve se estender por muito tempo, uma vez que se aumentando a porcentagem de ar incorporado, diminui-se a resistência de aderência (ROSELLO citado por CANDIA, 1994). Deve-se ter também o cuidado de manter a constância do traço especificado em projeto ao longo da obra.

A importância do preenchimento das juntas e da pressão exercida ao assentar a unidade de alvenaria para a potencialização da aderência é ressaltada por GALLEGOS (1995). PEARSON citado por SOLÓRZANO (1994) verificou que o “*tapping*” ou golpeamento da unidade conduz a um aumento de 50 a 100% da resistência de aderência quando comparada com o assentamento sem “golpeamento”.

Segundo ROMAN *et al* (1999) qualquer perturbação das unidades após o assentamento irá resultar na ruptura da aderência entre as unidades e a argamassa. Essa, além de prejudicar à aderência na interface bloco-argamassa, produz fissuras na argamassa trazendo efeitos desfavoráveis sobre a resistência global da parede e resistência à penetração da umidade.

Para THOMAZ e HELENE (2000), especial atenção deverá ser dada ao controle do prumo das paredes, espessura e nivelamento das fiadas. Independente do processo, a argamassa de assentamento sempre deverá ser aplicada em excesso; o bloco será conduzido à sua posição definitiva mediante forte pressão para baixo e para o lado, atingindo-se a espessura desejada das juntas e fazendo refluir a argamassa em excesso.

## 2.5 Ensaio de resistência ao cisalhamento

Pesquisadores como RIDDINGTON e JUNKES (1994-b) e ROMAN e SINHA (1994), provam que existe uma relação que seguindo a Lei de Coulomb entre a resistência de cisalhamento e a pré-compressão, isto é, existe uma resistência inicial de cisalhamento dependente da aderência entre a unidade de alvenaria e a argamassa aumentada por um componente friccional proporcional à pré-compressão. Este pode ser expresso pela equação:

$$\tau_b = \tau_0 + \mu \cdot \sigma_\gamma \quad (3)$$

onde:  $\tau_0$  é a resistência ao cisalhamento para compressão zero  
 $\mu$  é o coeficiente de fricção  
 $\sigma_\gamma$  é a pré-compressão

Esta relação é válida para valores de pré-compressão de até 2 N/mm<sup>2</sup> para tijolos cerâmicos, mas eventualmente, a tensão de cisalhamento última pode ser menor que o valor dado por esta fórmula. No limite, quando a tensão de compressão aproxima-se da resistência à compressão da alvenaria, a resistência ao cisalhamento cai a zero (ROMAN e SINHA, 1994).

A resistência ao cisalhamento depende, dentre outros fatores, da resistência da argamassa e da aderência entre blocos e argamassa que é um fenômeno mecânico, o qual se processa pela ação do encunhamento (micrométrico) dos componentes dos aglomerantes da argamassa nas unidades de alvenaria, por sucção desses.

GALLEGOS (1995) e CARASEK et al. (1997), estudaram o fenômeno da aderência e comprovaram ser decorrente do intertravamento de cristais formados pela hidratação do cimento da argamassa no interior dos poros de substrato cerâmico.

Existe uma grande variabilidade dos resultados de ensaios de cisalhamento devido à geometria dos corpos de prova, velocidade de aplicação das tensões, níveis de pré-compressão, orientação das cargas em relação à camada de assentamento e principalmente às diferenças das propriedades físicas dos materiais constituintes, conforme apresentado a seguir.

### 2.5.1 Tipos de ensaios

Os ensaios desenvolvidos para a determinação da resistência ao cisalhamento variam o corpo de prova, de duas, três, ou quatro unidades de alvenaria ou paredes; os carregamentos com ou sem pré-compressão e as cargas excêntricas ou centradas. Os resultados encontrados podem ser os valores de resistência ao cisalhamento ( $\tau_b$ ) o coeficiente de atrito ( $\mu$ ) ou ambos.

Os teste com pequenos corpos de prova apresentam a vantagem de serem fáceis de moldar, transportar e permitem um maior controle das tensões e conseqüentemente, um melhor entendimento do mecanismo de ruptura. Para HENDRY (1984), é melhor criar um método de teste em que as tensões sejam bem definidas e uniformes, e onde se obtenha a resistência do material do que a obtenção da resistência de uma parede típica.

#### 2.5.1.1 Testes com corpo de prova de duas unidades de alvenaria

Consiste em duas unidades de alvenaria unidas por uma junta de argamassa. O carregamento é aplicado de forma a causar a ruptura ao longo da junta. Esse teste é simples e econômico, mas tem a desvantagem de gerar um momento, uma vez que a carga que produz o cisalhamento não pode ser aplicada no mesmo alinhamento da junta.

MURTHY e HENDRY; e SINHA e HENDRY citados por JUKES e RIDDINGTON (1997), usaram uma modificação do ensaio de caracterização da mecânica dos solos, feito em uma caixa de cisalhamento (*shear box*), como mostra a Figura 2.2, para cisalhamento puro ou com pré-compressão.

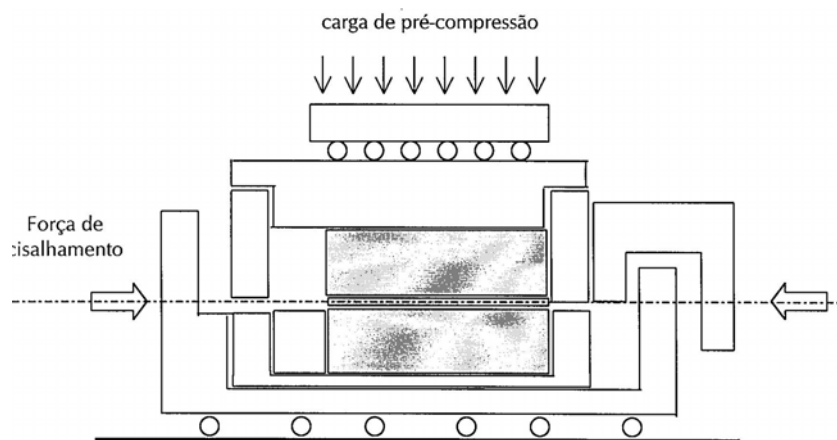


Figura 2.2 – Prisma de dois blocos (*shear box*)

HUIZER citado por ROMAN (1989), desenvolveu uma série de testes usando o tipo de corpo de prova e o aparato proposto pela norma australiana AS Ca 47 (1969), como mostra a Figura 2.3. O pesquisador, a fim de eliminar os problemas oriundos da mão de obra, utilizou moldes de aço que após a colocação do tijolo cerâmico e argamassa, eram vibrados para preencher e compactar a junta.

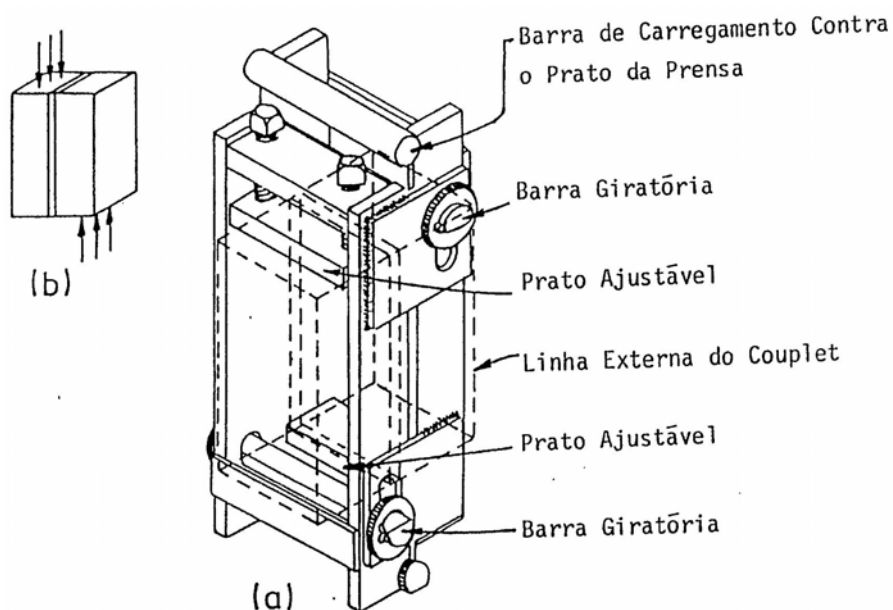


Figura 2.3 – Aparato (a) e corpo de prova (b) usado por HUIZER.

ROMAN (1989) usou o aparato mostrado na Figura 2.4 para testar a resistência ao cisalhamento vertical ao plano da parede. As variáveis pesquisadas foram a resistência à compressão da argamassa e do tijolo, o nível de pré-compressão aplicado e a excentricidade da carga de compressão, entre outras. O autor verificou que a pré-compressão influencia fortemente a resistência ao cisalhamento da junta e a argamassa também mostra uma menor, mas significativa influência. As demais variáveis têm pouca importância na resistência ao cisalhamento.

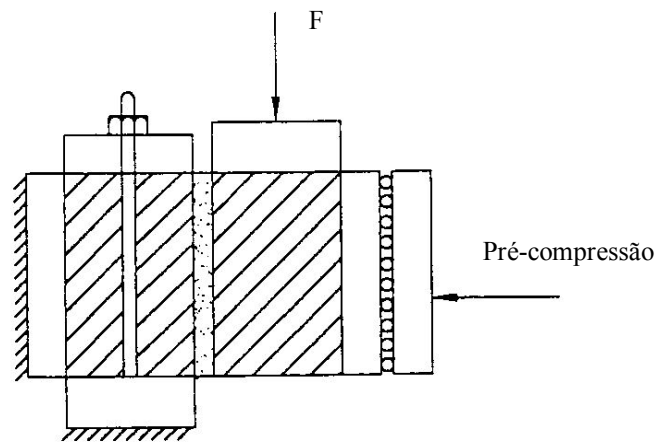


Figura 2.4 – Ensaio ROMAN (1989).

KHALAF e NAYSMITH (1994) propuseram o corpo de prova com apenas uma junta mostrado na Figura 2.5. Neste aparato, relativamente fácil de se construir, foram ensaiados prismas com 5 tipos de blocos cerâmicos e três tipos de argamassa totalizando 185 corpos de prova, aos 28 dias. Nos testes com pré-compressão, tinha que ser obtido o módulo de elasticidade longitudinal do material do tirante e convertido em deformação para determinação da tensão de pré-compressão. Os testes apresentaram boa consistência, com pequena variabilidade nos resultados.

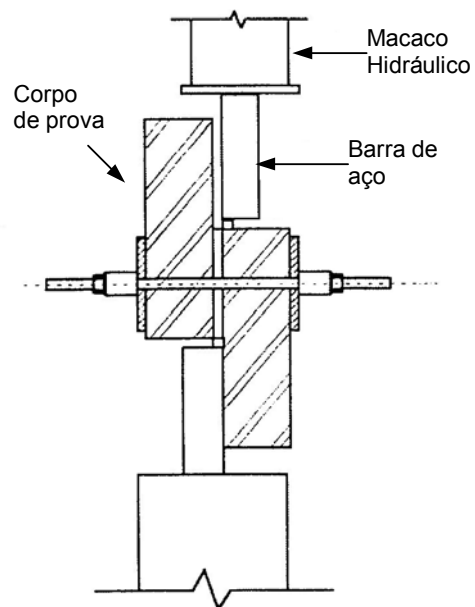


Figura 2.5 - Ensaio proposto por KHALAF e NAYSMITH (1994).

### 2.5.1.2 Testes com corpo de prova de três unidades de alvenarias

Este teste consiste em duas juntas de argamassa entre três unidades de alvenaria e permite a investigação de diferentes configurações de carregamento e tensões.

Na Figura 2.6 tem-se o corpo de prova proposto por MANN e MÜLLER (1980). Primeiro foi aplicada a força normal ( $N_x$ ) e em seguida a carga paralela às juntas ( $H$ ) foi aumentada até a ruptura.

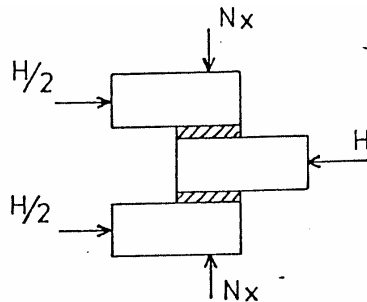


Figura 2.6 – Tipo de ensaio usado por MANN e MÜLLER (1978).

GHAZALI e RIDDINGTON (1988) realizaram ensaios com tripletas para avaliar os valores obtidos pelo teste da Figura 2.7. Eles concluíram que os valores de resistência ao cisalhamento para pré-compressão zero ( $\tau_0$ ) e o coeficiente de atrito ( $\mu$ ) obtidos em testes com tripletas para pré-compressão menor que 2 MPa são similares aos valores obtidos através do ensaio proposto.

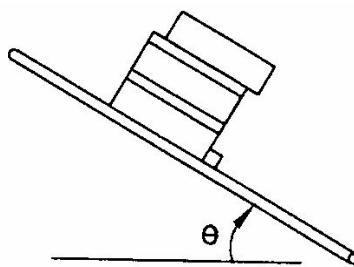


Figura 2.7 – Ensaio realizado para obter o coeficiente de atrito ( $\mu$ ).

RIDDINGTON e JUKES (1994-a) propuseram o arranjo de tripletas (Figura 2.8) que posteriormente foi padronizado pela RILEM (1996). Este arranjo diminui a flexão no corpo de prova, sendo possível fazer ensaios com pré-compressão. Nos ensaios realizados, os autores verificaram que a tensão de aderência com pré-compressão pode ser até 50% maior que em ensaios realizados para cisalhamento sem pré-compressão.

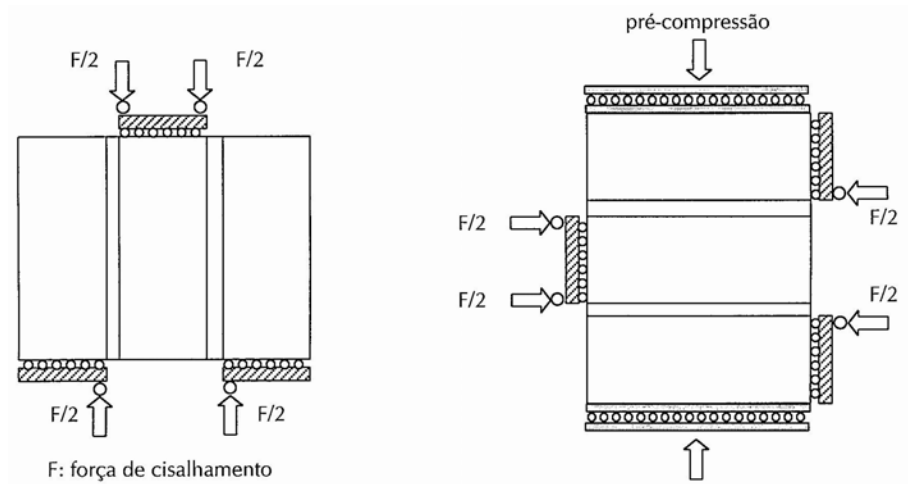


Figura 2.8 – Ensaio realizado por RIDDINGTON e JUKES (1994-b).

Foi usado por RIDDINGTON e JUKES (1994-b) o ensaio mostrado na Figura 2.7, para obter o coeficiente de atrito ( $\mu$ ) e verificar se o teste era eficiente para diferentes combinações de bloco e argamassa e níveis de pré-compressão.

CAVALHEIRO e PEDROSO (2000) realizaram ensaios usando o aparato proposto por RIDDINGTON e JUKES (1994-b), com bloco cerâmico e de concreto e dois traços de argamassa. Eles verificaram que a influência da resistência da argamassa é mais significativa em ensaios sem pré-compressão, sendo que para argamassa mais resistente à compressão, a resistência ao cisalhamento era maior para os dois tipos de bloco. Também foi verificado que para o mesmo traço de argamassa, a resistência ao cisalhamento foi maior para tripletas com blocos de concreto, tanto com pré-compressão quanto sem.

CARASEK e CASCUDO (1994) realizaram ensaios em tripletas com tijolos cerâmicos e verificaram um aumento da resistência de aderência ao cisalhamento com o aumento da tensão normal de confinamento às fiadas, sendo que esta relação apresentou-se de modo linear, seguindo a equação de Coulomb. A seguir as principais afirmações dos autores sobre as formas de ruptura:

- i. é repentina, frágil, sem deformações consideráveis, exceto para cargas elevadas de pré-compressão;
- ii. pode ocorrer por:



- deslizamento entre a argamassa e a unidade de alvenaria: ocorre por esgotamento prematuro da aderência na interface. Geralmente ocorre na interface superior, ou seja, na superfície de contato entre argamassa de assentamento e o bloco colocado sobre ela (Figura 2.9 (a));
- falha devido o cisalhamento na argamassa: ocorre quando a resistência de aderência na interface é maior que a resistência ao cisalhamento da argamassa, Figura 2.9 (b);
- na unidade de alvenaria: quando existe aderência bloco-argamassa suficiente para resistir ao cisalhamento mas gera tensões que a unidade de alvenaria não resiste, Figura 2.9 (c).

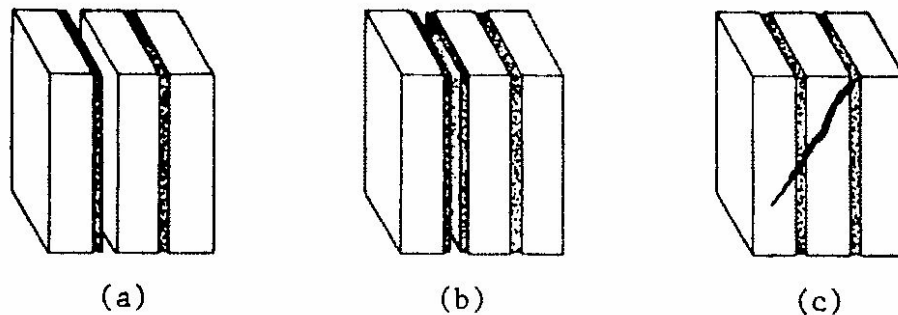


Figura 2.9 - Formas de ruptura.

### 2.5.1.3 Testes de corpo de prova de quatro ou mais unidades de alvenarias

SINHA (1983) usou corpos de prova moldados com quatro tijolos para estudar a influência do teor de umidade do tijolo, do carregamento da alvenaria durante o período de cura e granulometria da areia sobre resistência ao cisalhamento da alvenaria. Para esta pesquisa o autor utilizou corpos de prova cuja geometria é mostrada na Figura 2.10.

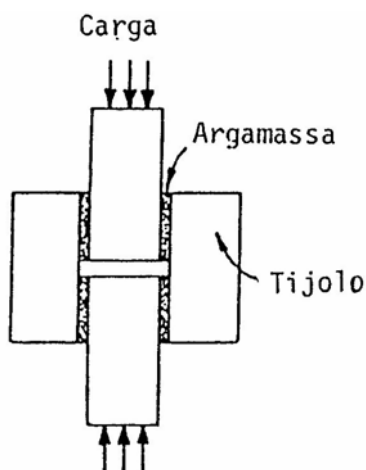


Figura 2.10 – Corpo de prova testado por SINHA (1983).

Para avaliar a influência da granulometria da areia na resistência de aderência ao cisalhamento, SINHA (1983) utilizou três tipos diferentes de areia. O autor verificou que a granulometria da areia é a variável que exerce maior influência, sendo que o teor de umidade dos tijolos também contribui.

DRYSDALE *et al* (1979) ensaiaram 74 corpos de prova submetendo-os ao cisalhamento com e sem pré-compressão normal às juntas de assentamento (Figura 2.11). Foram utilizados três diferentes tipos de tijolos e de argamassas. Os autores concluíram que o índice de absorção inicial dos tijolos, consistência da argamassa e a textura superficial da face de assentamento do tijolo interferem na resistência ao cisalhamento. Verificaram ainda, que a intensidade da pré-compressão tem efeito importante sobre a resistência ao cisalhamento, conseqüentemente a medida que se aumenta a pré-compressão, a resistência de cisalhamento acompanha de uma forma não linear. Segundo o pesquisador, neste caso a equação de Coulomb é questionável, embora o coeficiente de atrito diminua e a pré-compressão aumente.

Verificaram também que para baixos valores de pré-compressão, a ruptura acontece por deslocamento na interface tijolo argamassa e, em caso desses serem altos valores, a ruptura acontece em forma diagonal ao longo das juntas, muitas vezes fissurando o tijolo, dependendo do nível de pré-compressão aplicado.

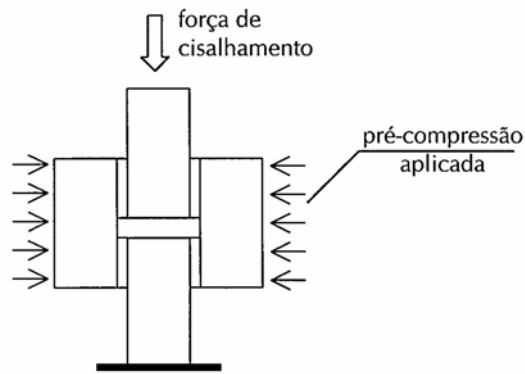


Figura 2.11 – Corpo de prova usado por DRYSDALE et al (1979).

NUSS *et al* (1978) moldou prismas de quatro tijolos onde a junta intermediária continha a argamassa a ser testada. Os corpos de provas eram extraídos dos prismas com a inclinação desejada e ensaiados por compressão uniaxial (Figura 2.12).

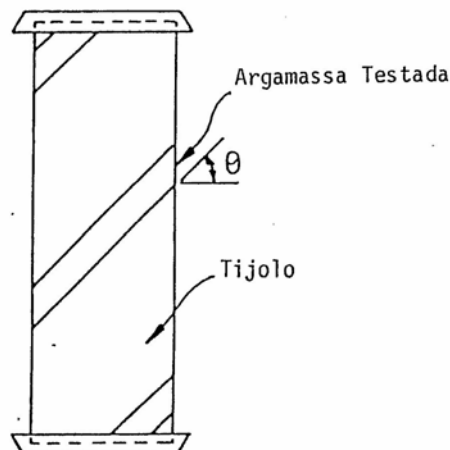


Figura 2.12 – Corpo de prova usado por NUSS *et al* (1978).

O esquema da Figura 2.13 enfoca o ensaio feito por ROMAN e SINHA (1994) com tipo de blocos de concreto. O nível de pré-compressão aplicada variou de 10 a 80% da resistência à compressão do bloco. Os pesquisadores observaram uma mudança no modo de ruptura quando se elevou o nível de pré-compressão aplicada. Para valores de pré-compressão de até  $0,5 \text{ N/mm}^2$ , a ruptura ocorreu na junta de argamassa, por cisalhamento e tração diagonal. A relação entre carga e deformação na junta, para baixos valores de carregamento era linear, aumentando rapidamente próximo à ruptura. Valores maiores de pré-compressão apresentaram modos de ruptura mistos.

Para pré-compressão de até 40% da resistência à compressão do bloco (2,9 MPa), a ruptura ocorria na junta de argamassa. Acima desse valor, até uma pré-compressão de 7,92 MPa, a ruptura ocorria invariavelmente nos blocos.

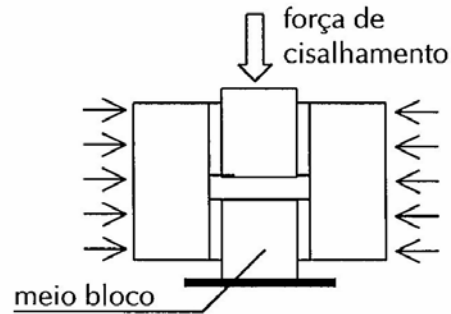


Figura 2.13 – Corpo de prova usado por ROMAN e SINHA (1994).

Foi também verificado que nos ensaios sem pré-compressão, os corpos de prova rompiam bruscamente quando a carga atingia um valor de pico.

#### 2.5.1.4 Testes com painéis de alvenaria

GHAZALI E RIDDINGTON (1988) testaram pequenos painéis de alvenaria, de cinco e nove fiadas. Buscando apresentar uma teoria sobre a ruptura de paredes submetidas a tensões de cisalhamento com pré-compressão. Nos ensaios aplicaram cargas laterais na base e no topo além de outra por compressão normal ao longo do comprimento (Figura 2.14). As paredes foram confeccionadas com tijolos maciços e argamassa 1:0,5:4,5 (em volume), variando-se a relação água/cimento entre 0,9 e 1,1.

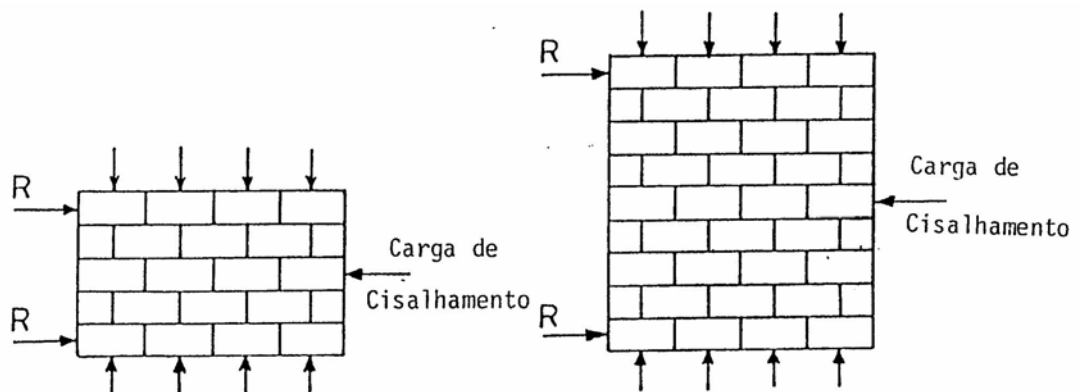


Figura 2.14 – Painéis usados por GHAZALI E RIDDINGTON (1988).

Os pesquisadores também ensaiaram tripletas com os materiais citados e chegaram às seguintes conclusões:

- a consistência da argamassa (relação água/cimento) não é um fator importante na determinação da resistência ao cisalhamento para baixos níveis de pré-compressão;
- as resistências ao cisalhamento obtidas em tripletas são maiores que nas paredes. Entretanto, a hipótese de que a ruptura é originada pelo deslocamento da junta na interface tijolo-argamassa ou ruptura por tração diagonal na camada de argamassa pode ser verificado através de tripletas submetidas à pré-compressão;
- as tripletas por terem só duas camadas de assentamento, quando carregadas simetricamente, permitem prever um só padrão de ruptura. Entretanto, isto não ocorre quando se trata de paredes, que tem várias camadas de assentamento, onde a ruptura pode propagar-se em qualquer direção ao longo das juntas tijolo-argamassa.

CANDIA (1994) estudou a resistência de aderência ao cisalhamento, através dos ensaios de compressão diagonal (Figura 2.15), tomando por base a ASTM E-519, utilizou três modelos de paredes de dimensões 1200 x 1200 mm, 750 x 800 mm e 600 x 600 mm. Realizando também o ensaio de cisalhamento direto usando tripletas.

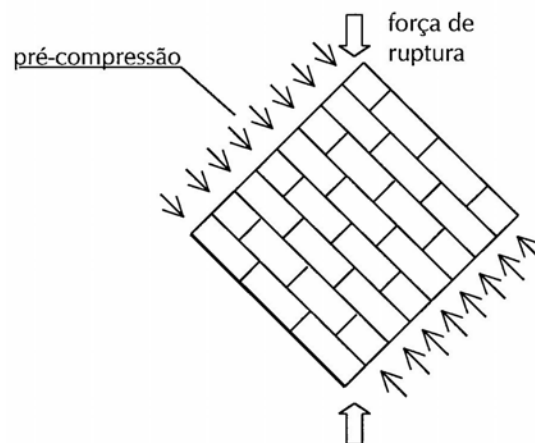


Figura 2.15 – Ensaio de compressão diagonal.

Nos ensaios foram utilizados blocos cerâmicos estruturais e argamassas classe (i), (ii) e (iv) da BS 5628: Part 1 (1992). Os valores do índice de consistência não foram pré-estabelecidos, mas a trabalhabilidade foi ajustada pelo pedreiro.

O autor observou que as resistências de aderência ao cisalhamento obtidas a partir dos ensaios de compressão diagonal são mais confiáveis em relação às resistências obtidas nos ensaios de cisalhamento direto, devido aos menores coeficientes de variação (15,2 a 22,8 %) e à forma de ruptura observada nas paredes ensaiadas, cujas características são similares às rupturas que ocorrem em paredes solicitadas por tensões laterais. Portanto as resistências obtidas pelos ensaios de cisalhamento direto (coeficiente de variação de 13,54 a 41,67 %), não podem ser consideradas como valores característicos de resistência de aderência ao cisalhamento da alvenaria. Entretanto, este último ensaio pode ser usado para controlar a resistência de aderência da alvenaria.

O pesquisador analisou as formas de ruptura de pesquisas anteriores e concluiu que:

- quando não existe a pré-compressão, a ruptura ocorre sempre por cisalhamento na interface tijolo/argamassa e a resistência ao cisalhamento depende quase que totalmente da resistência de aderência entre tijolo e a argamassa;
- a ruptura de paredes resistentes com aberturas (janelas e portas) sob cargas de cisalhamento é geralmente devida à perda de aderência na interface e apresenta-se na forma de uma escada começando na parte superior, descendo através de juntas horizontais e verticais;
- acima de uma certa faixa de valores de compressão vertical, a ruptura da parede resistente ocorre por tração diagonal;
- a pré-compressão aumenta a resistência ao cisalhamento da alvenaria até um certo limite dependente da resistência à compressão.

MANN e MÜLLER (1980), PAGE *et al* (1982) e ANDREAUS (1996) desenvolveram seus trabalhos em painéis de alvenaria e MEYER (2000) e SANTOS (2001) pesquisaram painéis com juntas verticais não preenchidas, a fim de verificar as tensões atuantes e formas de rupturas.

SANTOS (2001) apresenta uma tabela com valores de resistência ao cisalhamento para pré-compressão zero ( $\tau_0$ ) e coeficiente de atrito ( $\mu$ ) obtidos por diferentes pesquisadores para variadas combinações de bloco e argamassa, que é transcrita a seguir como Tabela 2.10.

Tabela 2.10 – Valores de  $\tau_0$  e  $\mu$  para diferentes tipos de blocos e argamassas.

| Fonte                 | Bloco                   | Argamassa* | $\tau_0$ | $\mu$     |
|-----------------------|-------------------------|------------|----------|-----------|
| HENDRY <i>et al.</i>  | cerâmico<br>20 a 50 MPa | 1:0.25:3   | 0,3      | 0,4 a 0,6 |
| HENDRY <i>et al.</i>  | cerâmico<br>20 a 50 MPa | 1:1:6      | 0,2      | 0,4 a 0,6 |
| HENDRY & SINHA        | cerâmico                | 1:0.25:3   | 0,28     | 0,47      |
| CHINWAH               | cerâmico                | 1:0.25:3   | 0,25     | 0,34      |
| PIEPER & TRUTSCH      | concreto<br>concreto    | 1:2:8      | 0,2      | 0,84      |
|                       |                         | 1:0:4      | 0,7      | 1,04      |
| SCHNEIDER             | sílico-<br>calcáreo     | 1:1:6      | 0,14     | 0,3       |
| RIDDINGTON & GHAZALLI | -                       | tipo (ii)  | 0,25     | 0,70      |
|                       |                         | BS 5628    | 0,96     | 0,25      |
| YOURULMAZ & ATAN      | cerâmico                | 1:0:4      | 0,5      | 0,45      |
|                       |                         | 1:2:8      | 0,4      | 0,48      |

(\*) Argamassa de cimento: cal: areia (em volume)

FONTE: SANTOS (2001).

O autor comenta que para a maior parte das situações, as propriedades das argamassas são determinantes da resistência ao cisalhamento da alvenaria, mais que a propriedade dos blocos.

## CAPÍTULO 3 – PROGRAMA EXPERIMENTAL

---

Neste capítulo apresentam-se os procedimentos experimentais utilizados na caracterização física e mecânica dos blocos de concretos, as argamassas utilizadas e seus componentes, detalhando o processo de moldagem e ensaio dos corpos de prova e equipamentos utilizados.

### 3.1 Materiais Utilizados

#### 3.1.1 Bloco de concreto

Para a realização da pesquisa foi utilizado um lote de 520 blocos de concreto com duas resistências nominais distintas (Tabela 3.1). Os blocos apresentavam a mesma geometria (Figura 3.1 e Figura 3.2) e não foram detectados defeitos como trincas, quebras, deformações e superfícies irregulares, conforme especificado na NBR 6136 (1994) com relação ao aspecto visual.

Tabela 3.1 - Tipos, resistências nominais e quantidades de blocos.

| Referências                      | Resistência Nominal à Compressão (MPa) | Unidades | Denominação |
|----------------------------------|--|----------|-------------|
| Bloco Inteiro 39<br>BLE1 –14-100 | 16                                     | 320      | B1          |
|                                  | 6                                      | 160      | B2          |



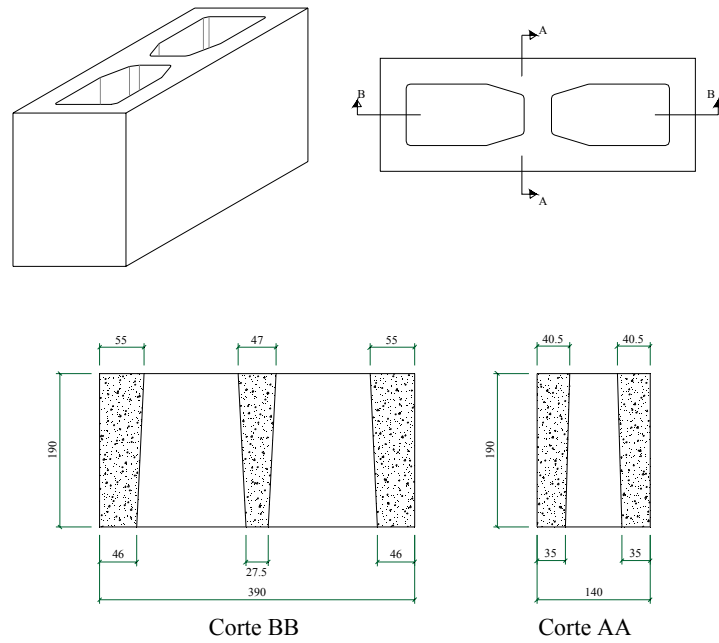


Figura 3.1 – Geometria do bloco tipo B1.

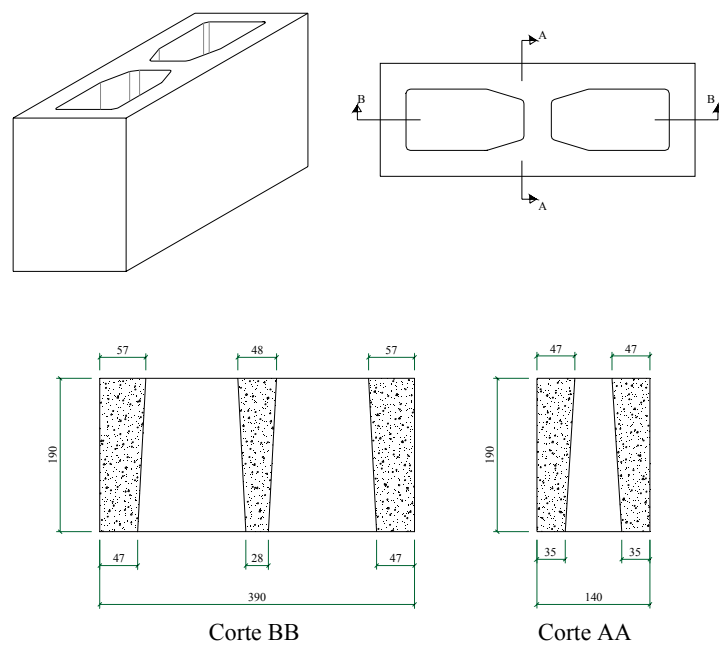


Figura 3.2 – Geometria do bloco tipo B2.

A NBR 6136 (1994) especifica as tolerâncias máximas dimensionais dos blocos conforme apresentado na Tabela 3.2. As medidas das dimensões dos blocos foram realizadas conforme especificações da NBR 12118 (1991).

Tabela 3.2 - Tolerâncias dimensionais máximas de fabricação dos blocos de concreto

| Dimensão                    | Largura (L) | Altura (H) | Comprimento (C) | Desvio em relação ao esquadro (D) | Flecha (F) |
|-----------------------------|-------------|------------|-----------------|-----------------------------------|------------|
| Tolerância (mm)<br>NBR 6136 | ± 2         | ± 3        | ± 3             | ± 3                               | ± 3        |

A absorção de água, o teor de umidade e área líquida dos blocos foram obtidos realizando-se os ensaios conforme a NBR 12118 (1991). Para a determinação do índice de sucção inicial, utilizou-se a especificação da ASTM C – 67 (1983).

As características mecânicas dos blocos de concreto analisadas foram a resistência à compressão e resistência a tração. Para a realização dos ensaios à compressão utilizou-se a NBR 7184 (1991), sendo que os blocos de concreto foram capeados com pasta de cimento com espessura de 1 a 3 mm 48 horas antes do ensaio para correção de imperfeições dos mesmos e melhor distribuição do carregamento. A velocidade de carregamento do ensaio à compressão dos blocos de concreto foi de  $0,05 \pm 0,01$  MPa /seg, de acordo com a NBR 7184 (1991).

A resistência à tração foi determinada de acordo com a ASTM C 1006 (1984) que utiliza um ensaio indireto de tração por compressão diametral.

Neste ensaio foram utilizadas barras de aço cilíndricas com diâmetro 1/8 à 1/12 da altura da amostra. A velocidade de carregamento aplicada foi de 0,33 MPa / min, sendo a resistência a tração obtida a partir da equação(4).

$$T = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot L \cdot H} \quad (4)$$

Onde: T= resistência à tração por compressão diametral (MPa).

P= carga aplicada (kN).

L= largura da amostra (mm).

H= altura da amostra (mm).

Os módulos de elasticidade dos blocos de concreto foram determinados teoricamente através da ACI – *Building Code* 318, segundo a equação 5.

$$E_b = 0,0428 \cdot f_b^{1/2} \cdot w_b^{1,5} \quad (5)$$

Onde:  $E_b$  = módulo de elasticidade (MPa)  
 $f_b$  = resistência à compressão do bloco (MPa)  
 $w_b$  = peso unitário do bloco ( $\text{kg/m}^3$ )

O peso unitário do bloco foi determinado considerando a relação do peso do bloco seco ao ar pelo volume do mesmo.

### 3.1.2 Argamassa

#### 3.1.2.1 Cimento e Cal

Foram utilizados para a confecção das argamassas o cimento Portland CP II-F-32 – Itambé e cal hidratada CH III - Minersol. O cimento e a cal usados durante a pesquisa foram adquiridos em um mesmo lote. Para a determinação das massas unitárias, adotou-se como referência o procedimento da NBR 7251 (1982). Os resultados do ensaio encontram-se na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Massa unitária do cimento e cal.

| Material      | Massa Unitária ( $\text{kg/dm}^3$ ) |
|---------------|-------------------------------------|
| Cimento       | 1,17                                |
| Cal hidratada | 0,76                                |

#### 3.1.2.2 Areia

A areia utilizada durante os ensaios era proveniente do Vale do Rio Tijucas, Santa Catarina, e foi recebida em um único lote, lavada e seca em estufa ( $105 \pm 5^\circ \text{C}$ ) por 24 horas e armazenada em tonéis plásticos.

Em função da importância da granulometria da areia na resistência de aderência entre argamassa/bloco, optou-se por trabalhar com uma granulometria contínua, sendo adotada a metodologia descrita abaixo para a composição da mesma.

Adotou-se a separação da areia em frações, utilizando-se peneiras da série normal ABNT com abertura de malhas de 4,8; 2,4; 1,2; 0,6; 0,3; 0,15 mm e fundo.

A fim de verificar a eficiência do peneiramento, procedeu-se o teste de 1 minuto de peneiramento contínuo onde a porcentagem passante deveria ser inferior a 1%. Este teste foi realizado para todas as peneiras e estabelecido o tempo mínimo de peneiramento para que este fosse eficiente. Ao longo do processo de separação das frações, eram retiradas amostras das mesmas e realizado o teste de um minuto para verificar se o tempo estabelecido para o peneiramento continuava eficiente.

Após o peneiramento, as frações de areia foram novamente levadas à estufa ( $105 \pm 5$ )°C por 24h e posteriormente armazenadas em tonéis plásticos devidamente fechados para impedir a absorção de umidade.

A composição granulométrica adotada encontra-se na Tabela 3.4. Foi escolhido exatamente o meio das faixas estipuladas pela BS 1200 (1976), que determina as faixas granulométricas adequadas para o emprego em argamassas de assentamento, conforme se verifica na Figura 3.3.

Tabela 3.4 - Limites granulométricos da areia, BS 1200 e areia utilizada.

| #<br>(mm) | % Passante Acumulada |                 |                 |
|-----------|----------------------|-----------------|-----------------|
|           | Limite Inferior      | Limite Superior | Areia Utilizada |
| 0,15      | 0                    | 10              | 5               |
| 0,30      | 5                    | 40              | 22,5            |
| 0,60      | 40                   | 80              | 60              |
| 1,20      | 70                   | 100             | 85              |
| 2,40      | 90                   | 100             | 95              |
| 4,80      | 100                  | 100             | 100             |

Definida a composição granulométrica, as frações de areia foram pesadas, nas proporções estabelecidas e colocadas em um misturador mecânico por tempo suficiente para obter a homogeneização da areia. A cada etapa da homogeneização obtinha-se 20 kg da areia, quantidade necessária para moldagem de uma série, ou seja, 8 quadripletas e 6 corpos de prova de argamassa.

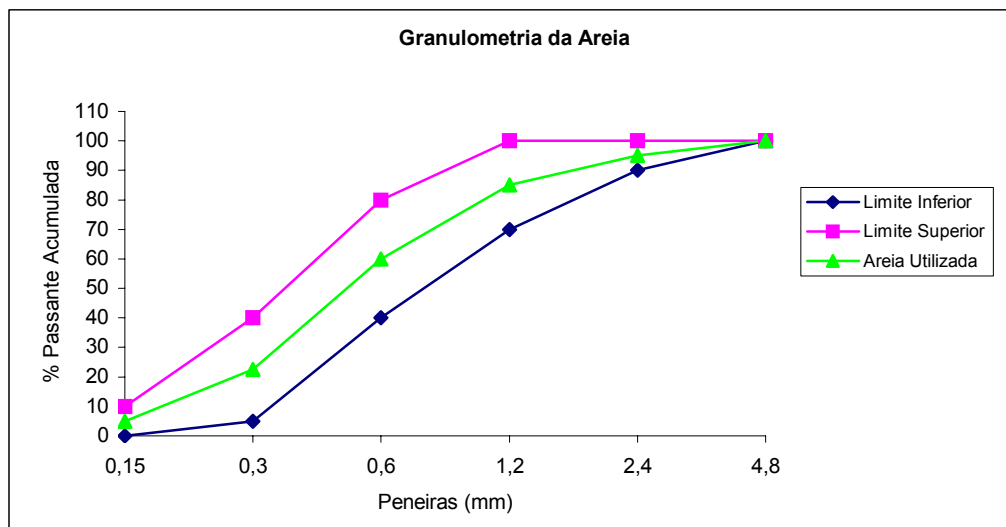


Figura 3.3 - Granulometria da areia utilizada segundo a BS 1200 (1976).

Após a composição da areia, com o intuito de classificá-la segundo as normas brasileiras, realizou-se o ensaio de composição granulométrica NBR 7217 (1987) (Tabela 3.5). Verificou-se que a areia utilizada encontrava-se dentro dos limites da zona 3, sendo classificada como areia média, de acordo com a NBR 7211 (1987).

Tabela 3.5 - Composição granulométrica da areia, NBR 7217 (1987).

| # (mm) | Massa Retida (g) | % Retida | % Retida Acumulada |
|--------|------------------|----------|--------------------|
| Fundo  | 50               | 5        | 100                |
| 0,15   | 175              | 17,5     | 95                 |
| 0,30   | 375              | 37,5     | 77,5               |
| 0,60   | 25               | 25       | 40                 |
| 1,20   | 100              | 10       | 15                 |
| 2,40   | 50               | 5        | 5                  |
| 4,80   | 0                | 0        | 0                  |

Foram ainda determinados a massa unitária, de acordo com NBR 7251 (1982), o material pulverulento (NBR 7219, 1987) e matéria orgânica dos agregados (NBR 7220, 1987), determinação da massa específica real segundo a NBR 9776 (1987). Estes resultados encontram-se na Tabela 3.6.

A areia utilizada encontra-se dentro dos limites da zona 3, sendo classificada como areia média, de acordo com a NBR 7211 (1987).

Tabela 3.6 - Características físicas da areia.

| Massa Específica (kg/dm <sup>3</sup> ) | Massa Unitária (kg/dm <sup>3</sup> ) | Módulo de Finura | Teor de Matéria Orgânica (ppm) | Teor de Materiais Pulverulentos (%) | Diâmetro Máximo (mm) |
|--|--------------------------------------|------------------|--------------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| 2,61                                   | 1,39                                 | 2,33             | < 300                          | 2,3                                 | 2,4                  |

### 3.1.2.3 Argamassas usadas - caracterização

Para esta pesquisa foram empregados três tipos de argamassas com diferentes resistências à compressão. Os traços escolhidos são os prescritos pela norma britânica BS 5628: Part 1 (1992) como tipo (i), (ii) e (iii). A consistência da argamassa foi definida em função da trabalhabilidade fixada pelo assentador, que foi o mesmo para todas as moldagens.

Os traços que são apresentados em volume na BS 5628: Part 1 (1992) foram convertidos em massa, a fim de evitar variáveis oriundas de medições volumétricas imprecisas. A Tabela 3.7 apresenta as denominações, traços, consistências médias e relação água/cimento média das argamassas utilizadas.

Tabela 3.7 - Características das argamassas.

| Tipo    | Denominação | Traço (volume) | Traço (massa) | Relação água/cimento | Consistência (mm) |
|---------|-------------|----------------|---------------|----------------------|-------------------|
| ( I )   | A1          | 1:0,25:3       | 1:0,17:3,73   | 0,88                 | 315               |
| ( II )  | A2          | 1:0,5:4,5      | 1:0,34:5,59   | 1,24                 | 265               |
| ( III ) | A3          | 1:1:6          | 1:0,68:7,46   | 1,75                 | 250               |

Para a confecção das argamassas de assentamento, primeiramente foram misturadas em bandejas plásticas a areia e a cal pertinente ao traço e aproximadamente 80% da água. Essa mistura foi deixada em repouso por 24 horas, para hidratação da cal, sendo pesada e coberta para evitar evaporação da água. Após esse período, a mistura era novamente pesada, colocada em um misturador mecânico por no máximo 5 minutos e adicionado o cimento e a água necessária para obter a trabalhabilidade adequada. Para cada mistura efetuada, era realizado o ensaio da determinação do índice de consistência normal, anexo B da NBR 7215 (1996). Para os ensaios de compressão, foram moldados 6 corpos

de prova cilíndricos de 5 x 10 cm. Os corpos de prova foram curados ao ar, dentro do laboratório.

Para a obtenção das deformações da argamassa, foram moldados corpos de prova cilíndricos de 10 x 20 cm em função de ter sido usado o aparato da própria prensa, que é equipado com dois extensômetros na vertical e um na horizontal, com distância de contato dos pontos de fixação no corpo de prova de 100mm, que pode ser visto na Figura 3.4. Os dados eram armazenados em um computador da própria máquina de ensaio.



Figura 3.4 – Ensaio de deformação da argamassa.

O cálculo do módulo de elasticidade das argamassas foi realizado conforme a NBR 8522 (1994).

### **3.2 O ensaio de cisalhamento**

A fim de se estudar a resistência ao cisalhamento de alvenaria de blocos de concreto foram confeccionadas quadripletas. As variáveis investigadas foram resistência do bloco, resistência da argamassa e pré-compressão.

A Tabela 3.8 mostra as combinações dos traços de argamassas e blocos utilizadas na moldagem das quadripletas, as cargas de pré-compressão aplicadas e o número de corpos de prova ensaiados.

Tabela 3.8 – Número de corpos de prova ensaiados no estudo experimental

| Ensaio de cisalhamento |                                    |                    |                    |
|------------------------|------------------------------------|--------------------|--------------------|
| Argamassa              | Pré-compressão na área bruta (MPa) | Bloco B1<br>Nº CPs | Bloco B2<br>Nº CPs |
| A1                     | 0                                  | 4                  | 0                  |
|                        | 1                                  | 4                  |                    |
|                        | 2                                  | 4                  |                    |
|                        | 3                                  | 2                  |                    |
| A2                     | 0                                  | 4                  | 4                  |
|                        | 1                                  | 4                  | 4                  |
|                        | 2                                  | 4                  | 4                  |
| A3                     | 0                                  | 4                  | 4                  |
|                        | 1                                  | 4                  | 4                  |
|                        | 2                                  | 4                  | 4                  |
| Número de quadripletas |                                    | 38                 | 24                 |
| Total                  |                                    | 62                 |                    |

Na Figura 3.5 pode-se observar as quadripletas sendo ensaiadas sem e com pré-compressão.

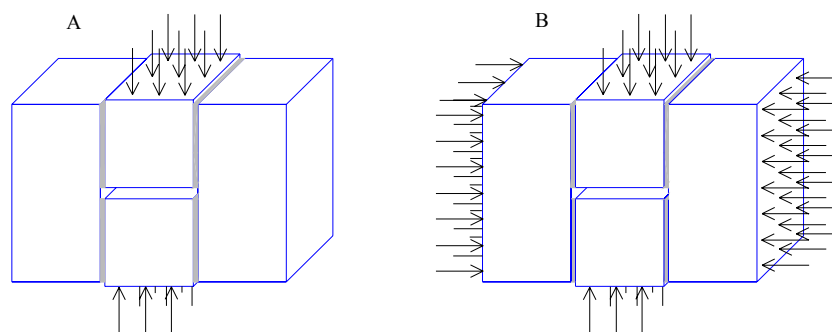


Figura 3.5 – **A** quadripleta sem pré-compressão, **B** quadripleta com pré-compressão.

Para os ensaios de resistência ao cisalhamento, a velocidade de carregamento foi de  $(0,25 \pm 0,05)$  MPa em cada segundo, conforme prescreve a NBR 14321 (1999).



### 3.2.1 Preparação dos blocos

Para obter o meio bloco, optou-se por cortar o bloco inteiro de forma a garantir as mesmas propriedades, uma vez que, nos ensaios preliminares realizados utilizando bloco inteiro e meio bloco da fábrica, verificou-se que para a mesma resistência nominal, estes apresentavam características como textura superficial e resistência a compressão diferentes.

Os meio blocos utilizados nas moldagens foram todos cortados com uma serra elétrica dias antes do início das moldagens e armazenados no laboratório.

Os blocos inteiros tinham as faces que ficariam nas extremidades do corpo de prova capeadas com pasta de cimento no mínimo 48h antes da moldagem.

### 3.2.2 Moldagem das quadripletas

As quadripletas foram moldadas sobre uma mesa de granito, nivelada e coberta com plástico de 0,5 mm lubrificada com óleo. Considerando o tempo necessário para a realização dos ensaios, foram moldadas 8 quadripletas por dia utilizando os blocos B1 e B2 e a mesma argamassa, sendo 4 quadripletas para cada resistência de bloco. A Figura 3.6 mostra duas séries de quadripletas após moldagem.



Figura 3.6 – Moldagem das quadripletas.

Durante as moldagens, eram verificados o nível e prumo. A espessura das juntas foi mantida em  $10 \pm 2$  mm, sendo que entre os dois meio blocos manteve-se um espaçamento de aproximadamente 3 cm, livre de argamassa como pode ser visto na Figura 3.6, a fim de garantir a correta transmissão das cargas.

### 3.2.3 Equipamentos de ensaios

Para a realização dos ensaios de compressão dos blocos e argamassas, deformações das argamassas e cisalhamento das quadripletas utilizou-se a prensa de sistema hidráulico controlada por computador do tipo SHIMADZU UH 2000 kN.

Nos ensaios de compressão e tração do bloco de concreto foram usadas chapas de aço rígida acopladas aos pratos da prensa.

As medições de deformações nos ensaios de cisalhamento foram realizadas utilizando-se dois LVDTs – *Linear Variavel Differential Transformers*, capazes de fornecerem uma precisão superior a 1%. As leituras de deformações eram obtidas a cada 1 segundo. Os LVDTs foram fixados em um suporte de alumínio e este colado ao corpo de prova com 2h de antecedência aos ensaios (Figura 3.7).

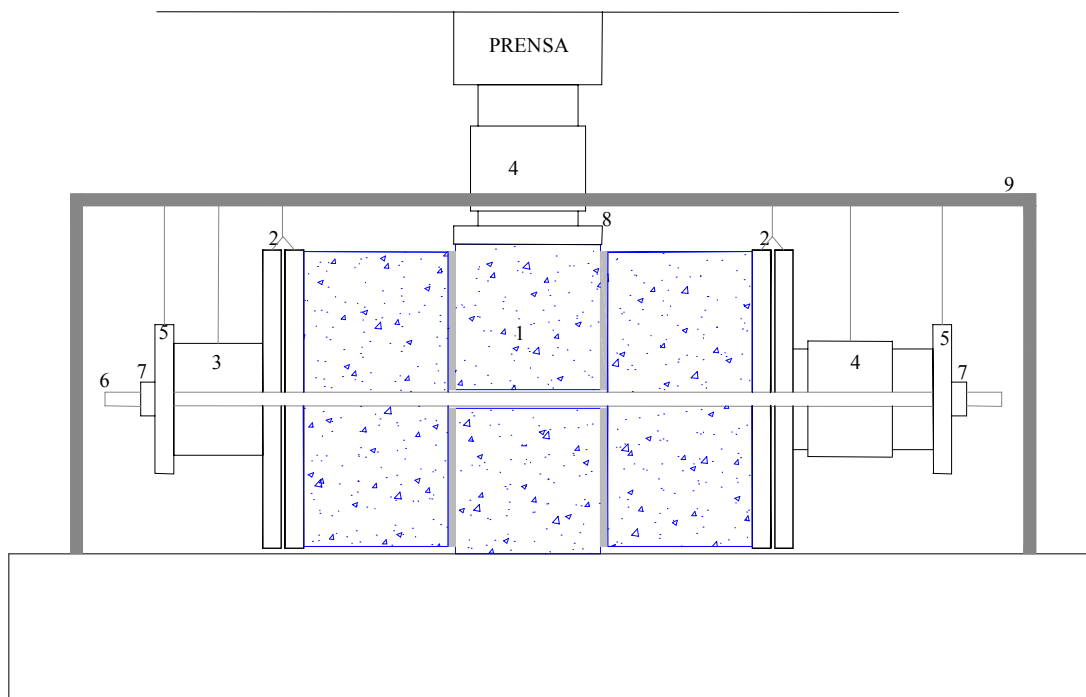


Figura 3.7 – LVDT fixado à quadripleta com o uso do suporte.

De acordo com GÓMEZ e ROMAN (1993), o uso do LVDT na determinação das características mecânicas e do comportamento de elementos estruturais substitui com amplas vantagens o uso de relógios medidores normalmente empregados. O que motiva este fato são a sua precisão, repetibilidade, possibilidade de enviar dados diretamente ao computador, robustez e fácil manutenção. Outra característica dos LVDTs é a de apresentar menor histeresis na medição.

A carga de cisalhamento foi medida através de uma célula de carga e também pela prensa.

Para os ensaios de cisalhamento com pré-compressão foi montado o aparato das Figura 3.8 e Figura 3.9.



Legenda:

- |                                     |                      |
|-------------------------------------|----------------------|
| 1-Quadripleta                       | 6- Barra Rosqueada   |
| 2-Chapas de aço 2" c/ junta de óleo | 7- Porcas            |
| 3-Macaco Hidráulico                 | 8- Chapa de aço 1,5" |
| 4-Célula de Carga (20t)             | 9- Suporte           |
| 5-Chapas de aço 2"                  |                      |

Figura 3.8 – Aparato de ensaio com pré-compressão.

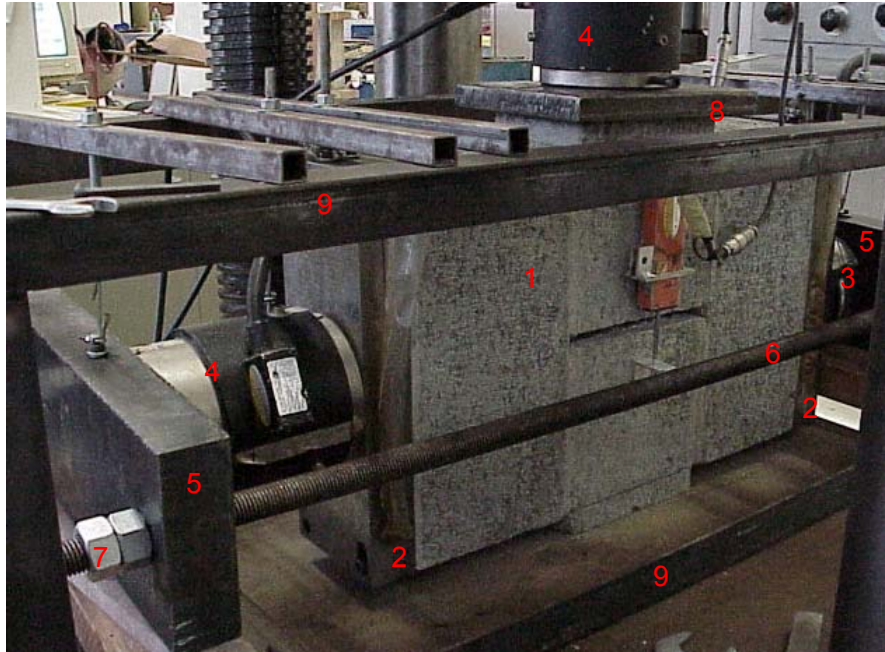


Figura 3.9 – Aparato de ensaio com pré-compressão.

A descrição dos elementos usados no aparato e suas funções estão na Tabela 3.9.

Tabela 3.9 – Elementos usados no aparato e suas funções.

| Nº | Elemento  | Função   |
|----|---|--|
| 1  | Corpo de prova  | Elemento a ser ensaiado  |
| 2  | 2 chapas de aço usinadas e retificadas, com junta de óleo entre si. | Distribuir a carga de pré-compressão ao mesmo tempo evitando a transferência da carga de cisalhamento para as extremidades pelo atrito das chapas. |
| 3  | Macaco hidráulico   | Usado para aplicação da pré-compressão.  |
| 4  | Células de carga<br>Capacidade 20 t                                 | Medir as cargas aplicadas ao corpo de prova.   |
| 5  | Chapa de aço 2", retificada   | Responsáveis pela fixação do macaco hidráulico, célula de carga e chapas (2) ao corpo de prova   |
| 6  | Barra rosqueada   |  |
| 7  | Porcas  |  |
| 8  | Chapa de aço 1,5"   | Colocada entre o meio bloco e célula de carga para distribuir melhor as cargas.  |
| 9  | Suporte   | Usado para auxiliar a colocação e fixação dos elementos antes de aplicada a pré-compressão.  |

### 3.2.4 Procedimento de ensaio

Antes de cada série de ensaios, as células de carga eram aferidas.

O corpo de prova era colocado sobre a mesa da prensa e centralizado. Iniciava-se então a montagem do aparato. Primeiramente colocava-se o suporte sobre a mesa da prensa. As chapas de aço (2) eram então colocadas nas laterais do corpo de prova, ficando apoiadas no suporte. Em seguida, colocava-se o macaco hidráulico e a célula de carga, um de cada lado, externamente às chapas. Após, procedia-se a colocação dos elementos de fixação: chapas (3), parafusos rosqueados e porcas.

Neste ponto da montagem, colocava-se a chapa (8) sobre o meio bloco e sobre esta uma célula de carga que receberia a carga da prensa. O computador era então preparado para iniciar o programa e voltando ao aparato, as porcas eram então apertadas para a fixação dos elementos ao corpo de prova. Colocava-se então os LVDTs nos suportes e em seguida, todos os elementos eram soltos do suporte. Procedia-se a aplicação da pré-compressão até o valor determinado. Quando este era atingido, iniciava-se a aplicação da carga de cisalhamento, até a ruptura do corpo de prova.

Salvavam-se os dados do computador e todo o aparato era desmontado para colocação de outro corpo de prova.

Foram usados durante os ensaios como sistema de aquisição de dados o *data logger* e um microcomputador (Figura 3.10) para processamento e análise das medidas realizadas pelos LVDTs e células de cargas.

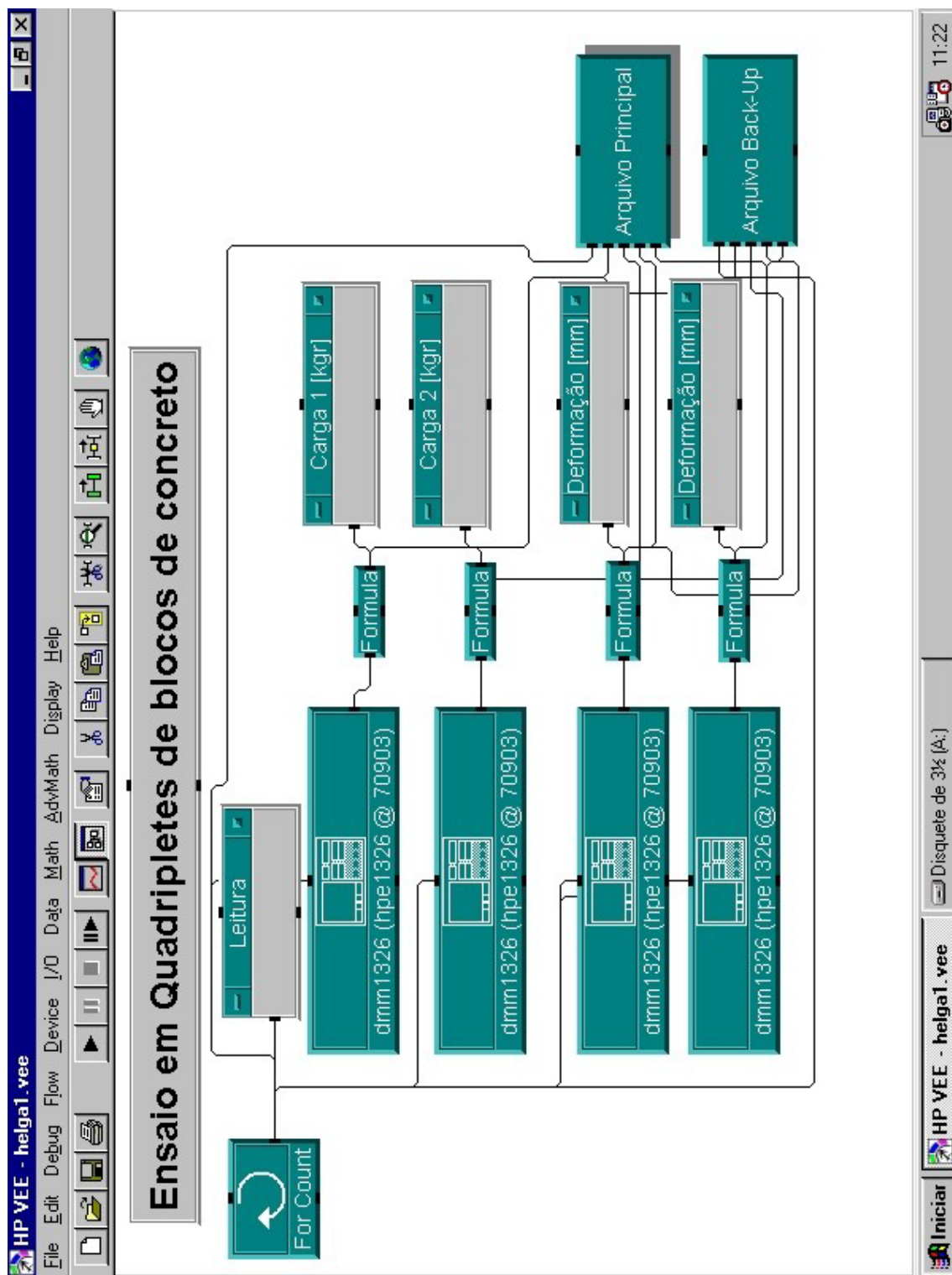


Figura 3.10 – Tela computador do sistema de aquisição de dados

## CAPÍTULO 4 - ANÁLISE DE RESULTADOS

No presente capítulo são apresentados os resultados de caracterização dos componentes, bloco e argamassa, usados para a moldagem das quadripletas e os resultados dos ensaios dessas com e sem pré-compressão aplicadas, analisando-se as resistências ao cisalhamento, formas de ruptura e deformações.

### 4.1 Caracterização dos Blocos

Foram utilizados dois tipos de blocos designados por B1 e B2, com mesmas características geométricas e diferentes resistências à compressão.

Para a caracterização física dos blocos foram ensaiadas seis unidades de cada. Na Tabela 4.1 são apresentadas as dimensões nominais e as médias das dimensões reais, área líquida, área bruta, absorção, taxa de absorção inicial e massa unitária. Os resultados individuais são mostrados nas Tabelas 1 a 4, anexo A.

Tabela 4.1 – Características físicas dos blocos de concreto.

| Bloco tipo | Dimensões (mm) |     |     |       |     |     | Área Bruta (cm <sup>2</sup> ) | Área Líquida (cm <sup>2</sup> ) | Absorção (%) | Taxa de absorção inicial (g/cm <sup>2</sup> /min) | Massa Unitária (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|------------|----------------|-----|-----|-------|-----|-----|-------------------------------|---------------------------------|--------------|---|--------------------------------------|
|            | Nominais       |     |     | Reais |     |     |                               |                                 |              |   |                                      |
|            | L              | H   | C   | L     | H   | C   |                               |                                 |              |   |                                      |
| B1         | 140            | 190 | 390 | 140   | 190 | 390 | 546                           | 461                             | 5,61         | 7,70  | 2333                                 |
| B2         | 140            | 190 | 390 | 140   | 192 | 392 | 549                           | 406                             | 9,40         | 31,78   | 2089                                 |

Verifica-se que as normas foram atendidas com relação as tolerâncias dimensionais e a absorção de água ficou abaixo do limite de 10% estabelecido por norma.

Fazendo-se cálculos, tem-se que a área líquida dos blocos ficou em 84,4% da área bruta para B1 e 74,0% da área bruta para B2. A diferença das áreas do bloco se deve a mudança da forma dos mesmos pela fábrica, sendo que o bloco tipo B2 tinha paredes externas transversais um pouco mais espessas.

As características mecânicas dos blocos estudadas foram resistência à compressão e à tração. Foram ensaiadas seis unidades de cada tipo de bloco e a média dos resultados encontra-se respectivamente nas Tabela 4.2 e Tabela 4.3, sendo os resultados individuais apresentados nas Tabelas 5 a 8, anexo A.

Tabela 4.2 – Resistências médias à compressão dos blocos de concreto.

| Bloco | Área Bruta (MPa) |               | Área Líquida (MPa) |               | CV (%) |
|-------|------------------|---------------|--------------------|---------------|--------|
|       | Média            | Desvio Padrão | Média              | Desvio Padrão |        |
| B1    | 19,54            | 1,03          | 23,15              | 1,22          | 5,28   |
| B2    | 9,09             | 0,88          | 12,29              | 1,19          | 9,65   |

Tabela 4.3 – Resistências médias à tração dos blocos de concreto.

| Bloco | Média (MPa) | Desvio Padrão (MPa) | CV (%) |
|-------|-------------|---------------------|--------|
| B1    | 1,94        | 0,17                | 8,81   |
| B2    | 0,82        | 0,03                | 3,28   |

A resistência à tração dos blocos B1 e B2 foi 8,4% e 6,7% respectivamente da resistência à compressão na área líquida. Este valor é menor do que o geralmente encontrado em concreto que é 10% da resistência à compressão. Verifica-se que MOHAMAD (1998) e ROMAGNA (2000) que trabalharam com blocos de concreto, encontraram valores de resistência à tração em torno de 6% da resistência à compressão.

Os módulos de elasticidade dos blocos B1 e B2 foram determinados através da equação 2 (ACI – Building Code 318), cujos resultados são apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Módulo de elasticidade dos blocos de concreto.

| Bloco | $f_b$ (MPa) | $W_b$ (kg/m <sup>3</sup> ) | Equação                                  | Módulo de elasticidade (MPa) |
|-------|-------------|----------------------------|--|------------------------------|
| B1    | 23,15       | 2333                       | $0,0428 \cdot f_b^{1/2} \cdot W_b^{1,5}$ | 23204                        |
| B2    | 12,29       | 2089                       |  | 14326                        |

\*  $f_b$  = Resistência do bloco na área líquida

Para a análise de resultados dos ensaios de caracterização mecânica, não foram encontrados valores espúrios a um grau de significância de 5% .



## 4.2 Caracterização das argamassas

Para as moldagens das quadripletas foram utilizados três traços de argamassas recomendados pela norma britânica BS 5628: Part 1 (1992) (Tabela 4.5).

Tabela 4.5 – Traços e designações das argamassas.

| Traço (volume) | BS 5628 | Designação |
|----------------|---------|------------|
| 1:0,25:3       | (i)     | A1         |
| 1:0,5:4,5      | (ii)    | A2         |
| 1:1:6          | (iii)   | A3         |

Os ensaios realizados para obtenção das características mecânicas das argamassas foram resistência à compressão, módulo de elasticidade e Poisson. Os corpos de prova das argamassas foram ensaiados no mesmo dia que as quadripletas. Na Tabela 4.6 encontra-se a média dos resultados dos ensaios à compressão, fator a/c e índice de consistência. Os resultados individuais são apresentados no Anexo B, Tabelas 1 a 10.

Tabela 4.6 – Resistência à compressão, fator a/c e índice de consistência médio das argamassas.

| Argamassa | Nº de CP | Resistência à compressão (MPa) |               |        | Fator a/c | Índice de consistência (mm) |
|-----------|----------|--------------------------------|---------------|--------|-----------|-----------------------------|
|           |          | Média                          | Desvio Padrão | CV (%) |           |                             |
| A1        | 18       | 14,07                          | 1,56          | 11,12  | 0,88      | 315                         |
| A2        | 24       | 7,69                           | 0,76          | 9,85   | 1,25      | 265                         |
| A3        | 18       | 4,88                           | 0,34          | 6,99   | 1,75      | 250                         |

Para a determinação do módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson foram ensaiados três corpos de prova cilíndricos de 10 x 20 cm para cada traço de argamassa e os cálculos feitos de acordo com a NBR 8522 (1984), a partir do diagrama tensão x deformação (Figura 4.1), nos pontos 0,5 MPa e 30% da carga de ruptura. Os valores obtidos são apresentados na Tabela 4.7 e no anexo B - Tabela 11 encontra-se as tensões e deformações médias das argamassas utilizadas para traçar as curvas.

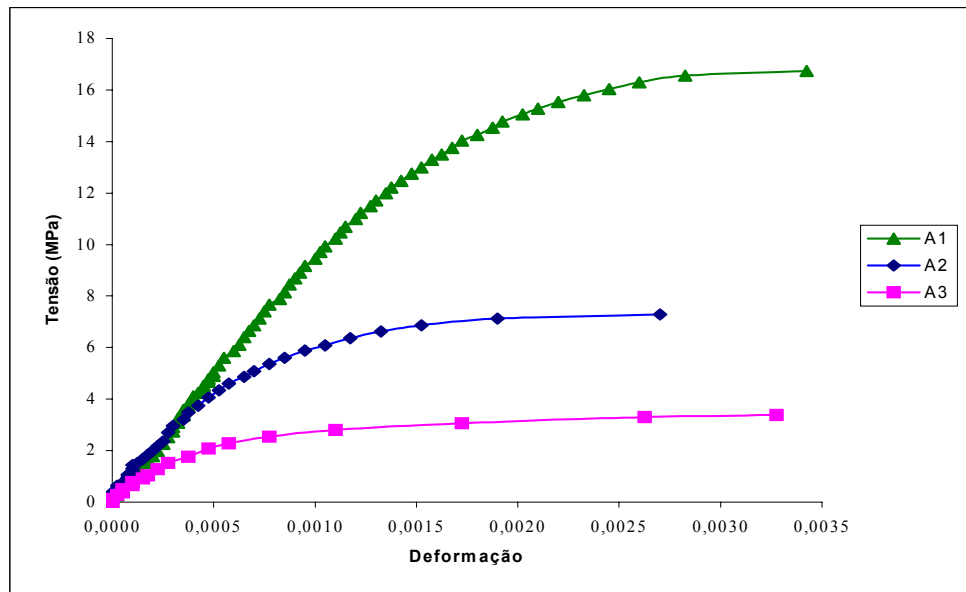


Figura 4.1 – Gráfico tensão x deformação das argamassas.

Para a moldagem das argamassas apresentadas na Tabela 4.7, procurou-se manter o fator a/c médio mostrado na Tabela 4.6 para cada traço.

Tabela 4.7 – Módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson das argamassas.

| Argamassa | Traço Volume | $f_{a/c}$ | IC (mm) | Resistência (MPa) | Poisson | Módulo de elasticidade (MPa) |
|-----------|--------------|-----------|---------|-------------------|---------|------------------------------|
| A1        | 1:0,25:3     | 0,87      | 264     | 16,73             | 0,10    | 10133,3                      |
| A2        | 1:0,5:4,5    | 1,25      | 248     | 7,28              | 0,11    | 8650,0                       |
| A3        | 1:1:6        | 1,73      | 277     | 3,39              | 0,12    | 5093,0                       |

Observa-se pela Figura 4.1 e Tabela 4.7 que as argamassas possuem módulo de elasticidade distintos, confirmando os resultados observados por MOHAMAD (1998). O autor verificou que, quando são aplicadas tensões de confinamento na argamassa, os traços mais fortes (1:¼:3 e 1:½:4,5) apresentam um comportamento frágil na ruptura enquanto que o traço (1:1:6) apresentou maior ductilidade.

### 4.3 Quadripletas

#### 4.3.1 Ensaio de cisalhamento

Foram ensaiados um mínimo de três quadripletas para cada combinação bloco/argamassa/pré-compressão.

As áreas resistentes usadas na análise de resultados são apresentadas na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Áreas resistentes usadas na análise de resultados.

| Bloco | Área Bruta (cm <sup>2</sup> ) |              | Área Líquida (cm <sup>2</sup> ) |              |
|-------|-------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|
|       | Pré-compressão                | Cisalhamento | Pré-compressão                  | Cisalhamento |
| B1    | 546                           | 1064         | 461                             | 894          |
| B2    | 549                           | 1070         | 406                             | 784          |

#### 4.3.1.1 Influência da pré-compressão para quadripletas moldadas com bloco B1

As médias dos resultados obtidos nos ensaios para cada combinação são apresentados na Tabela 4.9, sendo os resultados individuais encontrados no anexo C, Tabelas 1 a 17.

Tabela 4.9 – Resistência ao cisalhamento de quadripletas com bloco B1.

| Quadripleta | Resistência à compressão (MPa) |                 |           | Carga (kN)     |                         | Tensão (MPa) |        |              |        |       |
|-------------|--------------------------------|-----------------|-----------|----------------|-------------------------|--------------|--------|--------------|--------|-------|
|             | Bloco                          |                 | Argamassa | Pré-compressão | Ruptura ao cisalhamento | Área Bruta   |        | Área Líquida |        | CV %  |
|             | A <sub>liq</sub>               | A <sub>br</sub> |           |                |                         | Pré-comp.    | Cisal. | Pré-comp.    | Cisal. |       |
| B1A1        | 23,15                          | 19,54           | 12,64     | 0              | 25,19                   | 0,00         | 0,24   | 0,00         | 0,28   | 32,84 |
|             |                                |                 | 14,98     | 58,61          | 64,82                   | 1,07         | 0,61   | 1,27         | 0,73   | 6,61  |
|             |                                |                 | 12,64     | 103,75         | 113,09                  | 1,90         | 1,06   | 2,25         | 1,26   | 3,91  |
|             |                                |                 | 14,58     | 170,81         | 117,69                  | 3,13         | 1,11   | 3,71         | 1,32   | 6,73  |
| B1A2        | 23,15                          | 19,54           | 7,86      | 0              | 8,59                    | 0,00         | 0,08   | 0,00         | 0,10   | 41,97 |
|             |                                |                 | 7,90      | 57,77          | 61,67                   | 1,06         | 0,58   | 1,25         | 0,69   | 10,82 |
|             |                                |                 | 7,90      | 107,75         | 95,73                   | 1,97         | 0,90   | 2,34         | 1,07   | 15,18 |
|             |                                |                 | 7,06      | 107,29         | 78,17                   | 1,97         | 0,73   | 2,33         | 0,87   | 3,03  |
| B1A3        | 23,15                          | 19,54           | 5,13      | 0              | 5,37                    | 0,00         | 0,05   | 0,00         | 0,06   | 32,98 |
|             |                                |                 | 4,91      | 56,23          | 46,30                   | 1,03         | 0,44   | 1,22         | 0,52   | 1,12  |
|             |                                |                 | 4,62      | 108,02         | 75,91                   | 1,98         | 0,71   | 2,34         | 0,85   | 6,61  |

A pré-compressão de 3,13 MPa foi utilizada apenas para os ensaios com as quadripletas B1A1. Para as demais, os testes não puderam ser realizados devido a quebra do equipamento, portanto não será possível verificar o comportamento das quadripletas B1A2, B1A3, B2A2 E B2A3 para pré-compressão em torno de 3MPa.

Para todos os ensaios realizados com o bloco B1, o coeficiente de variação quando não é aplicada nenhuma carga de pré-compressão foi elevado (32,84 a 41,97%).

Na Figura 4.2 a Figura 4.4 são apresentadas as curvas de pré-compressão x cisalhamento para as quadripletas moldadas com o bloco B1 e argamassas A1, A2 e A3.

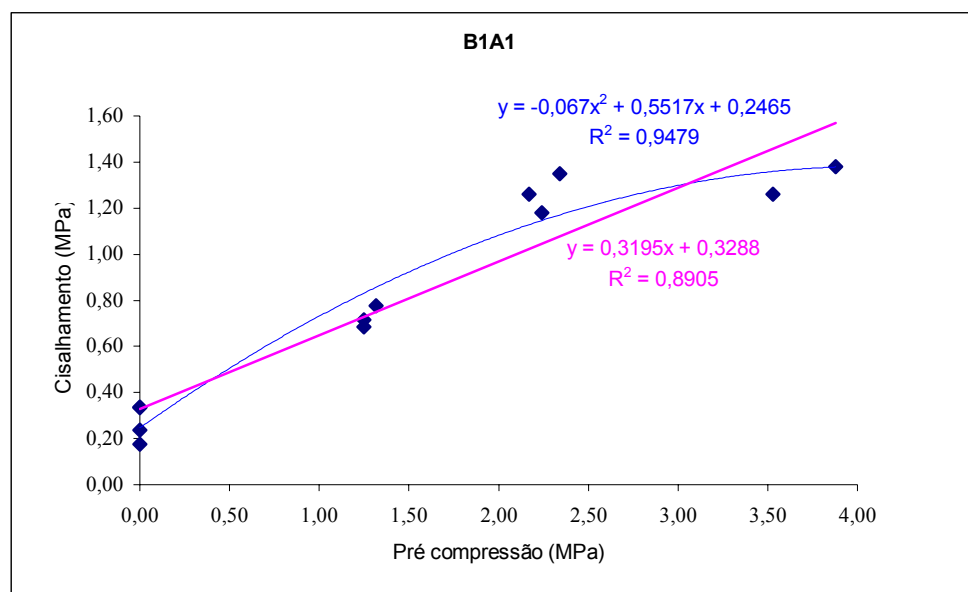


Figura 4.2 – Gráfico pré-compressão x cisalhamento na área líquida para quadripletas B1A1.

Verifica-se na Figura 4.2 que para valores de pré-compressão acima de 2,3 MPa na área líquida do bloco, a equação que melhor atende aos resultados dos ensaios, deixa de seguir a Lei de Coulomb, e passa a ser uma equação de 2<sup>o</sup> grau. ROMAN (1989) observou que a regressão linear não é a forma mais adequada para definir a relação entre pré-compressão e resistência ao cisalhamento para altos níveis de pré-compressão, quando o valor do coeficiente de atrito ( $\mu$ ) parece decrescer.

DRYSDALE et al (1979) afirma que a relação entre pré-compressão e resistência ao cisalhamento é linear até valores de tensões de pré-compressão de aproximadamente 6,8 Mpa. Para tensões maiores a teoria de Coulomb não se aplica, considerando pré-compressão normal às juntas de cisalhamento. Nos ensaios realizados nesta pesquisa,

foram encontrados valores menores de pré-compressão (3,71 MPa) à partir do qual a Lei de Coulomb deixou de ser representativa da relação.

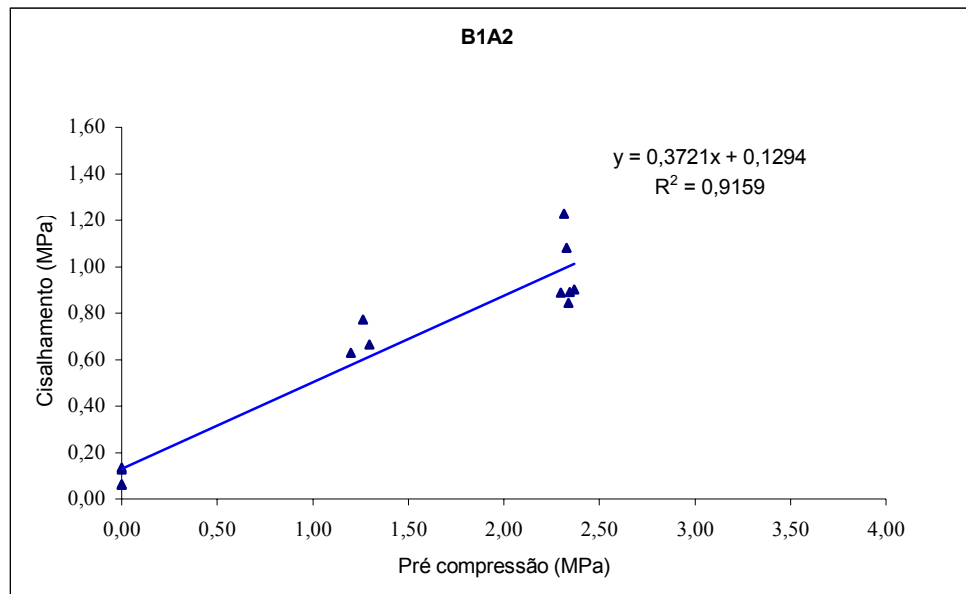


Figura 4.3 – Gráfico pré-compressão x cisalhamento na área líquida para quadripelotas B1A2.

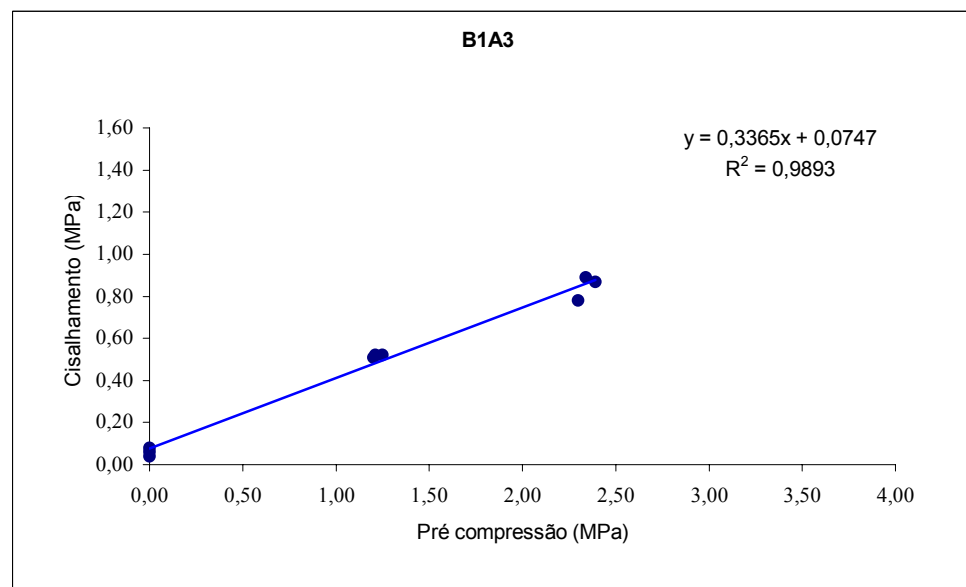


Figura 4.4 – Gráfico pré-compressão x cisalhamento na área líquida para quadripelotas B1A3.

As equações de reta obtidas dos gráficos das Figura 4.2 a Figura 4.4 indicam que a medida que a resistência da argamassa diminui, diminuem o coeficiente de atrito e a resistência ao cisalhamento para pré-compressão zero.

Fazendo uma análise de variância da influência da pré-compressão no cisalhamento para quadripletas moldadas do tipo B1A1, verifica-se que somente para pré-compressão de 2,30 MPa e 3,60 MPa, não há diferença significativa a um grau de significância de 5% (Anexo D, Tabela 1).

Para as quadripletas tipo B1A2 e B1A3, existe diferença significativa na análise de variância entre as pré-compressões estudadas, conforme pode ser visto no Anexo D Tabelas 2 e 3.

Logo, o aumento da pré-compressão até valores próximos a 2,3 MPa influencia na resistência ao cisalhamento. Para intensidades maiores de pré-compressão, esta influência não é significativa.

#### 4.3.1.2 Influência da argamassa para quadripletas moldadas com bloco B1

Na Figura 4.5 abaixo, é apresentada a influência da argamassa para quadripletas moldadas com o bloco B1.

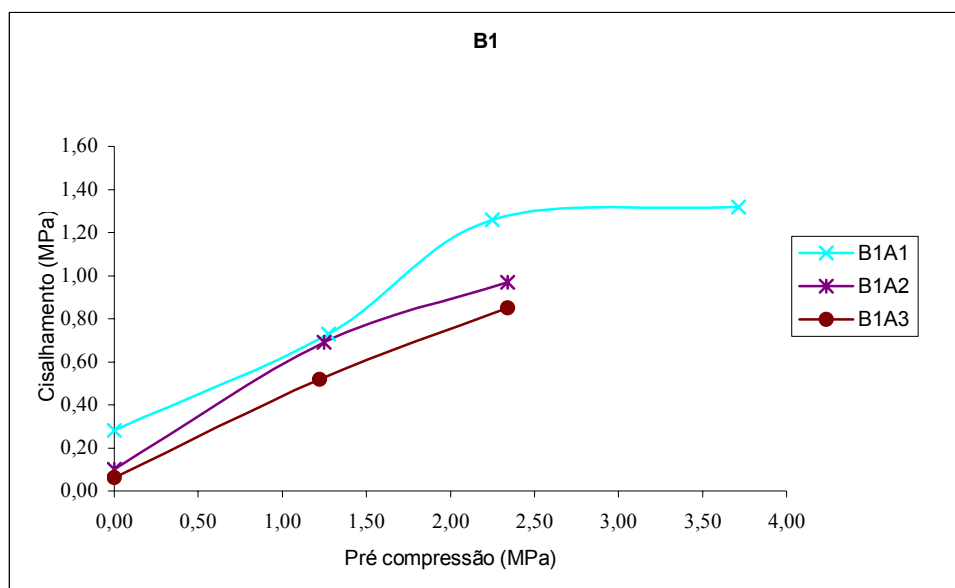


Figura 4.5 – Gráfico pré-compressão x cisalhamento na área líquida para quadripletas com B1.

Analisando-se a influência da argamassa para quadripletas moldadas com o bloco B1, verifica-se que somente para pré-compressão de 1,5 MPa existe diferença significativa entre as argamassas A2 e A3. Já a argamassa A1 difere para todas as pré-compressões estudadas da argamassa A3 e não difere significativamente da argamassa A2 apenas

para pré-compressão próxima de 1,25 MPa. Esses resultados podem ser verificados no anexo D, Tabela 6 de análise de variância e Figura 4.5.

#### 4.3.1.3 Influência da pré-compressão para quadripletas moldadas com bloco B2

Os resultados individuais obtidos nos ensaios de cisalhamento encontram-se no anexo C e o valor médio desses são apresentados a seguir (Tabela 4.10), assim como os gráficos de pré-compressão x cisalhamento para cada combinação de quadripleta moldada com o bloco B2.

Tabela 4.10 – Resistência ao cisalhamento de quadripletas com bloco B2.

| Quadripleta | Resistência à compressão (MPa) |                 | Carga (kN) |                |                         | Tensão (MPa) |        |              |        |       |
|-------------|--------------------------------|-----------------|------------|----------------|-------------------------|--------------|--------|--------------|--------|-------|
|             | Bloco                          |                 | Argamassa  | Pré-compressão | Ruptura ao cisalhamento | Área Bruta   |        | Área Líquida |        |       |
|             | A <sub>liq</sub>               | A <sub>br</sub> |            |                |                         | Pré-comp.    | Cisal. | Pré-comp.    | Cisal. | CV %  |
| B2A2        | 12,29                          | 9,09            | 7,86       | 0              | 11,68                   | 0,00         | 0,11   | 0,00         | 0,15   | 16,11 |
|             |                                |                 | 8,15       | 57,29          | 53,86                   | 1,04         | 0,50   | 1,41         | 0,69   | 4,51  |
|             |                                |                 | 7,06       | 104,17         | 91,26                   | 1,90         | 0,85   | 2,57         | 1,16   | 10,18 |
| B2A3        | 12,29                          | 9,09            | 5,13       | 0              | 7,80                    | 0,00         | 0,07   | 0,00         | 0,10   | 17,35 |
|             |                                |                 | 4,91       | 56,40          | 53,27                   | 1,03         | 0,50   | 1,39         | 0,68   | 1,97  |
|             |                                |                 | 4,62       | 107,54         | 75,40                   | 1,96         | 0,70   | 2,65         | 0,96   | 7,35  |

Analisando-se os ensaios de quadripletas com o bloco B2, verifica-se que o coeficiente de variação para cisalhamento puro fica entre 16,11 e 17,35%, que são valores menores do que 50% dos encontrados para o bloco B1.

O fato do coeficiente de variação para cisalhamento puro em quadripletas moldadas com o bloco B1 ser maior que as moldadas com o bloco B2 se deve provavelmente à taxa de absorção inicial. Esta propriedade influi diretamente na aderência bloco/argamassa e conseqüentemente na resistência ao cisalhamento, principalmente quando não é aplicada carga de pré-compressão. Os valores obtidos nos ensaios de taxa de absorção inicial são apresentados na Tabela 4.1.

Os gráficos de pré-compressão x cisalhamento para as quadripletas moldadas com o bloco B2 e argamassas A2 e A3 são apresentados a seguir.

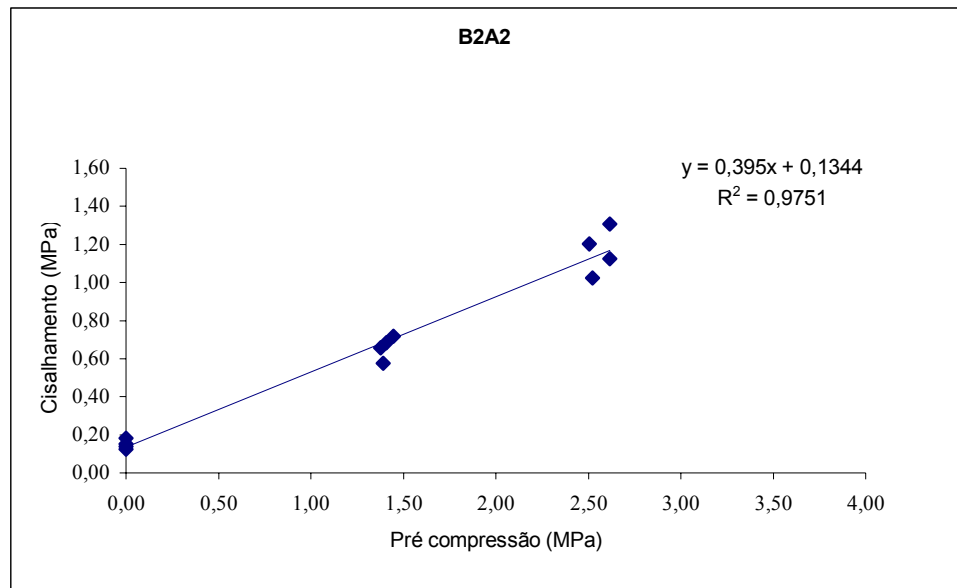


Figura 4.6 – Gráfico pré-compressão x cisalhamento na área líquida para quadripleta B2A2.

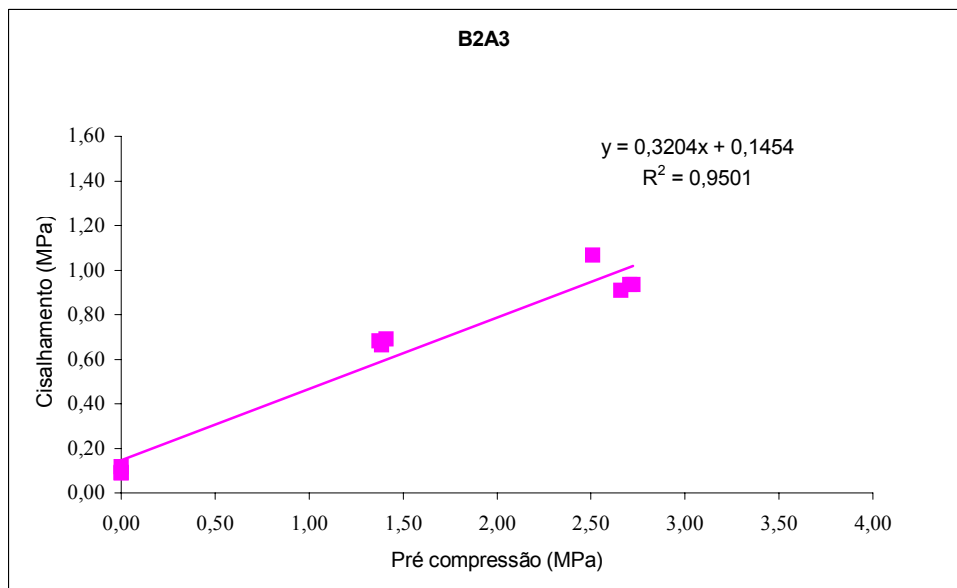


Figura 4.7 – Gráfico pré-compressão x cisalhamento na área líquida para quadripleta B2A3.

Para as quadripleta tipo B2A2 e B2A3, as equações da reta que melhor representam os resultados encontrados segue a Lei de Coulomb.



Analisando a influência da pré-compressão, pode-se verificar através dos gráficos apresentados nas Figura 4.6 e Figura 4.7 e da análise de variância (anexo D, tabela 4 e 5) que para estas quadripletas existe diferença significativa na resistência ao cisalhamento.

#### 4.3.1.4 Influência da argamassa para quadripletas moldadas com bloco B2

É apresentada, na Figura 4.8 abaixo, a influência da argamassa para quadripletas moldadas com o bloco B2.

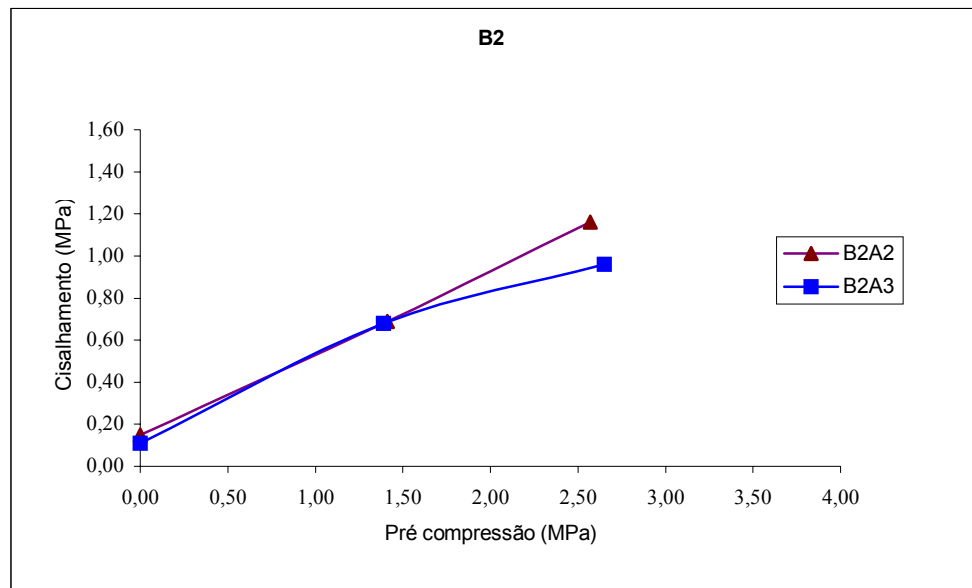


Figura 4.8 – Gráfico pré-compressão x cisalhamento na área líquida para quadripletas com B2.

Analisando-se a influência da argamassa para quadripletas moldadas com o bloco B2, verificou-se que somente para pré-compressão zero, existe diferença significativa na resistência ao cisalhamento. Para as demais pré-compressões, não existe diferença significativa entre as quadripletas B2A2 e B2A3, conforme pode ser observado na Figura 4.8 e Tabela 7 do anexo D.

Isto é, quando a argamassa utilizada é a A2 (mais resistente que a A3) e não se tem pré-compressão aplicada, esta influencia na resistência ao cisalhamento da quadripleta. A medida que se aplica a pré-compressão, a argamassa deixa de ser relevante na resistência ao cisalhamento.

#### 4.3.1.5 Influência do bloco

A seguir é apresentado na Figura 4.9 o gráfico da resistência ao cisalhamento em função da pré-compressão para todas as combinações bloco/argamassa usadas.

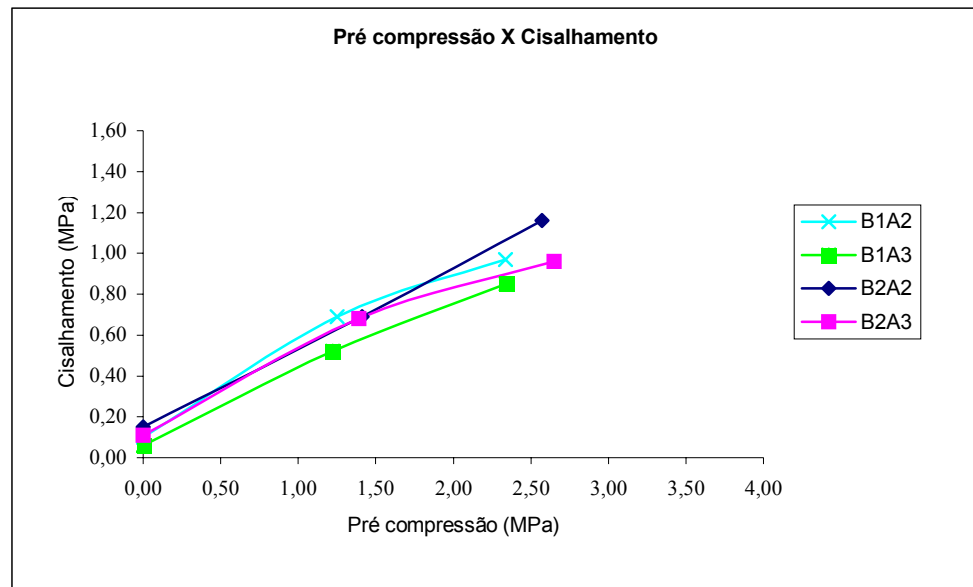


Figura 4.9 – Gráfico pré-compressão x cisalhamento na área líquida geral para quadripletas.

Fazendo-se a análise de variância para verificar a influência do bloco na resistência ao cisalhamento para a mesma argamassa e pré-compressão, observou-se que as quadripletas tipo B1A3 e B2A3 somente diferem significativamente para pré-compressão de 1,03 MPa na área bruta do bloco. Para as demais pré-compressões estudadas, não houve diferença significativa para estas quadripletas. Também não foi observada diferença significativa entre as quadripletas B1A2 e B2A2 para as diferentes pré-compressões. Estas análises encontram-se no anexo D, Tabelas 8 e 9 e podem ser verificadas na Figura 4.9.

#### 4.3.1.6 Resultados de $\tau_0$ e $\mu$ e análise da influência das variáveis

A seguir é apresentada a Tabela 4.11, com os valores de  $\tau_0$  e  $\mu$  obtidos para as quadripletas ensaiadas. Os dados utilizados são apresentados no anexo E.

Tabela 4.11 – Resultados da regressão linear.

| Quadripleta | Correlação<br>(R <sup>2</sup> ) | Regressão Linear |        |
|-------------|---------------------------------|------------------|--------|
|             |                                 | $\tau_0$         | $\mu$  |
| B1A1        | 0,9690                          | 0,2464           | 0,4339 |
| B1A2        | 0,9159                          | 0,1294           | 0,3721 |
| B1A3        | 0,9893                          | 0,0747           | 0,3365 |
| B2A2        | 0,9751                          | 0,1344           | 0,3950 |
| B2A3        | 0,9501                          | 0,1454           | 0,3204 |

Foi realizada uma regressão linear múltipla e análise de variância na regressão e verificou-se que existe uma relação entre a resistência ao cisalhamento e as demais variáveis estudadas com 95% de confiança. Esta análise determina a probabilidade da variável ser significativa e os valores obtidos foram 100% para a pré-compressão, 95,50% para a argamassa e 43,01% para o bloco. Isso quer dizer que a pré-compressão é a variável mais representativa na resistência ao cisalhamento das quadripletas, seguida da argamassa e tendo a resistência à compressão do bloco pouca relevância. O resumo dos resultados da análise de variância na regressão encontra-se no anexo E.

#### 4.3.2 Deformação e ruptura das quadripletas

PAGE *et al* (1982) diz que o critério de ruptura quando tem-se pré-compressão e cisalhamento ocorre predominantemente na junta de argamassa na região 1, Figura 4.10. Com o incremento da pré-compressão, o modo de ruptura muda, dependendo das características do bloco e argamassa usados.

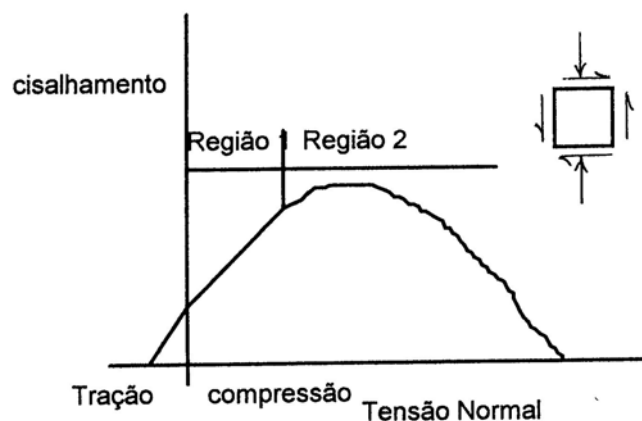


Figura 4.10 – Critério de ruptura

A análise da deformação e forma de ruptura das quadripletas será apresentada em função da pré-compressão aplicada.

#### 4.3.2.1 Pré-compressão zero

Na Figura 4.11 é apresentada a curva média tensão de cisalhamento x deformação das quadripletas ensaiadas com pré-compressão zero.

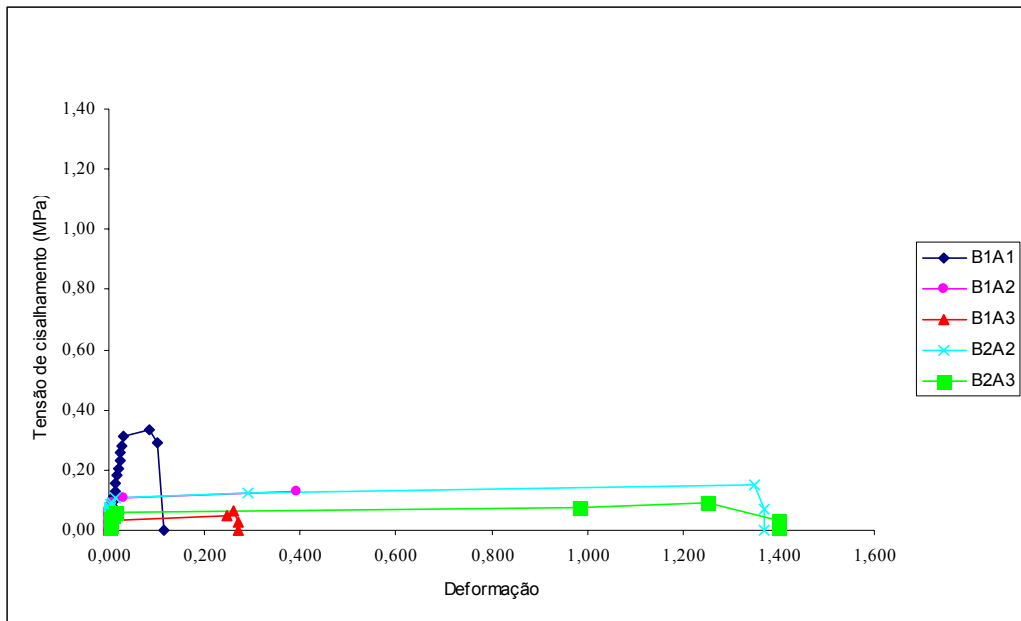


Figura 4.11 - Gráfico tensão de cisalhamento x deformação das quadripletas para pré-compressão zero.

Como pode ser observado na Figura 4.11, as quadripletas moldadas com o blocos B1 e B2 apresentaram deformações muito variáveis para ambas as argamassas.

Na Tabela 4.12 são apresentadas as deformações e resistência ao cisalhamento máximas das quadripletas antes da ruptura e a pré-compressão aplicada.

Tabela 4.12 – Deformação da quadripleta e resistência ao cisalhamento última.

| Quadripleta | Pré-compressão (MPa) | Resistência ao Cisalhamento (MPa) | Deformação (cm) |
|-------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------|
| B1A1        | 0                    | 0,3353                            | 0,0845          |
| B1A2        | 0                    | 0,1275                            | 0,3928          |
| B1A3        | 0                    | 0,0644                            | 0,2600          |
| B2A2        | 0                    | 0,1518                            | 1,3500          |
| B2A3        | 0                    | 0,0912                            | 1,2500          |

Com relação a ruptura, esta era brusca, com emissão de som (estalo) e geralmente na interface bloco/argamassa, preferencialmente entre a argamassa e o bloco superior assentado. Para as argamassas A2 e A3, verificou-se o aparecimento de ruptura diagonal à argamassa de assentamento. A proporção dessa forma de ruptura foi muito pequena comparada com a ruptura paralela à argamassa de assentamento.

A seguir, tem-se a forma de ruptura observada nas quadripletas para a pré-compressão apresentada na Tabela 4.12 (Figura 4.12 e Figura 4.13) e nas Figura 4.14 a Figura 4.18 são apresentadas fotos dos ensaios, mostrando a ruptura das quadripletas .

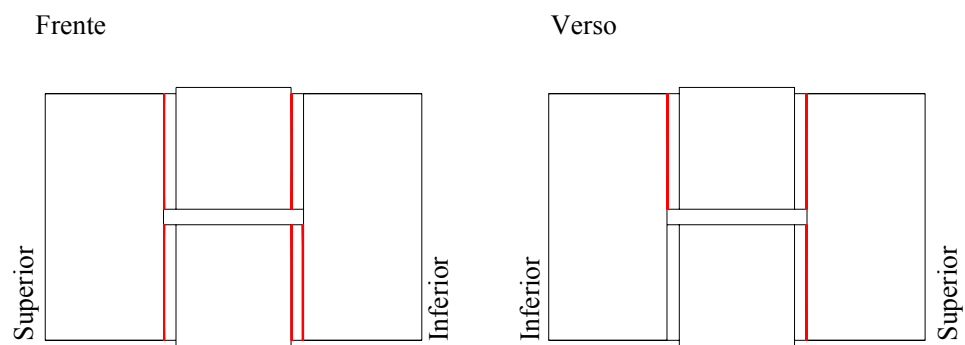


Figura 4.12 – Forma de ruptura de quadripleta sem pré-compressão.

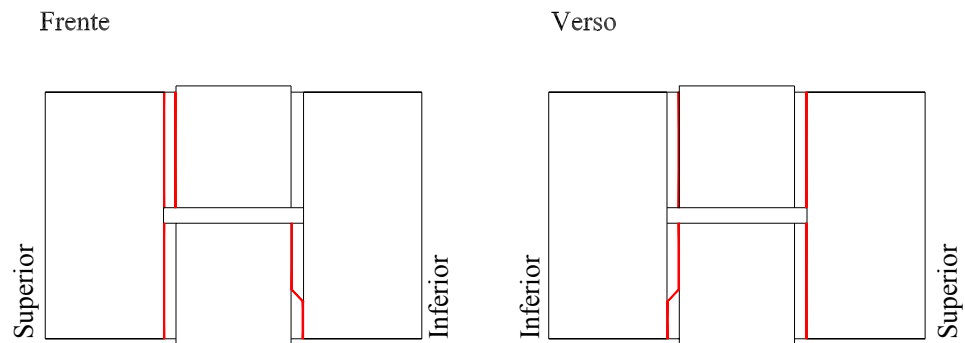


Figura 4.13 - Forma de ruptura de quadripleta sem pré-compressão.



Figura 4.14– Foto do ensaio de cisalhamento sem pré-compressão.



Figura 4.15 – Foto do ensaio de cisalhamento sem pré-compressão.





Figura 4.16 – Foto do ensaio de cisalhamento sem pré-compressão.

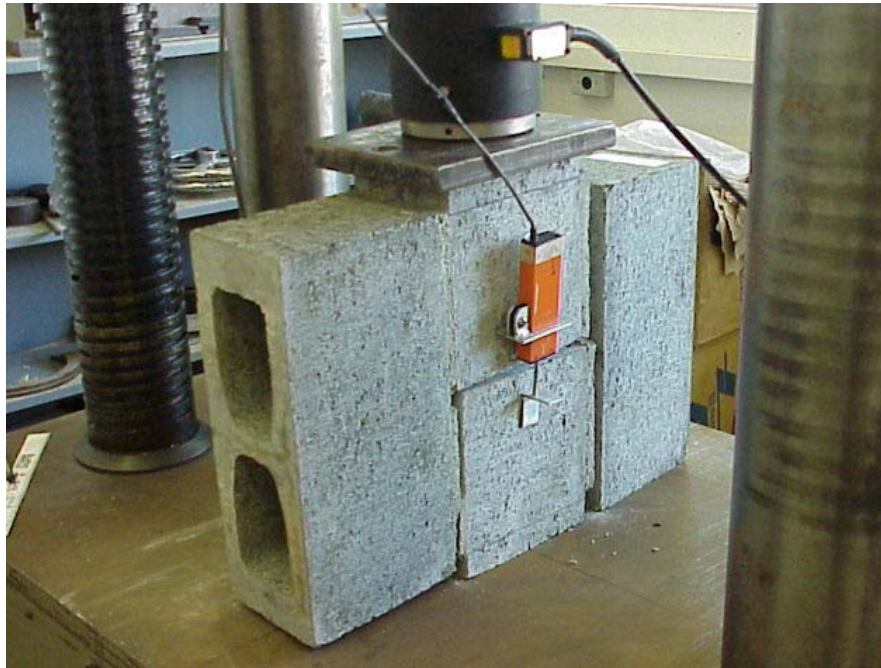


Figura 4.17 – Foto do ensaio de cisalhamento sem pré-compressão.



Figura 4.18 – Foto do ensaio de cisalhamento sem pré-compressão.

#### 4.3.2.2 Pré-compressão até 1,50 MPa

A Figura 4.19 apresenta a deformação das quadripletas com pré-compressão em torno de 1,30 MPa (Tabela 4.13). Foram plotados no gráfico 5 pontos após a ruptura.

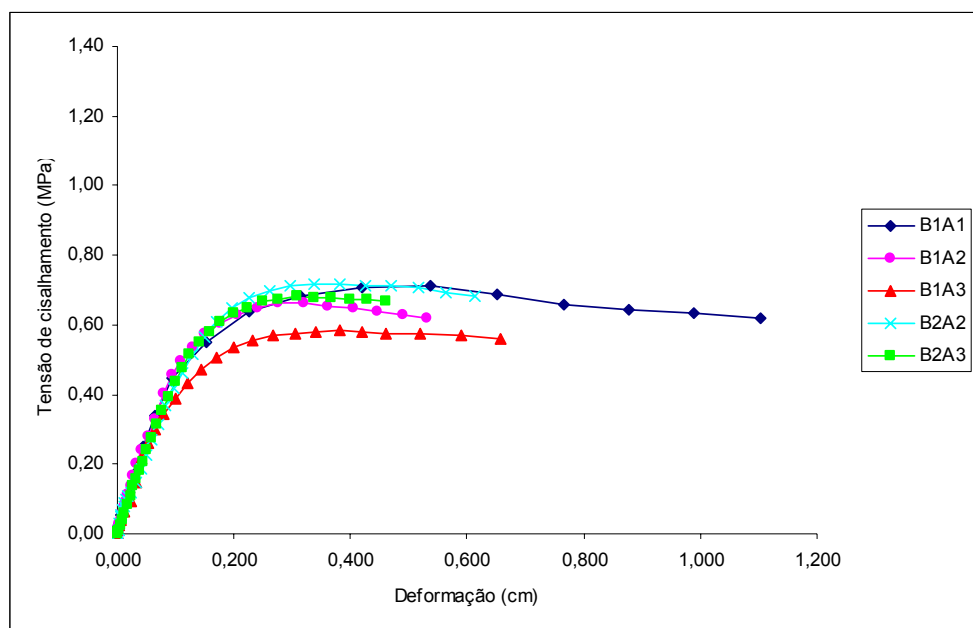


Figura 4.19 - Gráfico tensão de cisalhamento x deformação das quadripletas com pré-compressão.



Tabela 4.13 – Deformação da quadripleta e resistência ao cisalhamento última.

| Quadripleta | Pré-compressão média (MPa) | Resistência ao Cisalhamento (MPa) | Deformação (cm) |
|-------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| B1A1        | 1,27                       | 0,714                             | 0,5361          |
| B1A2        | 1,25                       | 0,666                             | 0,3190          |
| B1A3        | 1,22                       | 0,582                             | 0,3805          |
| B2A2        | 1,41                       | 0,719                             | 0,3803          |
| B2A3        | 1,39                       | 0,683                             | 0,3073          |

Pode-se observar que a quadripleta tem uma resistência maior à compressão e também uma deformação contínua antes e após a ruptura. O comportamento para as argamassas A1 e A2 é semelhante, independente do bloco usado. A resistência maior ao cisalhamento para as quadripletas com bloco B2 pode ser devida a área líquida desse bloco ser menor do que a do bloco B1 (Tabela 4.13).

Durante o ensaio, a ruptura da quadripleta era lenta e de difícil visualização, identificando-se o início da fissuração pela desagregação da argamassa, evidenciando provavelmente o escorregamento do bloco, com o surgimento de pó sobre a mesa da prensa. O rompimento da quadripleta não era visível, sendo identificado através da perda da resistência ao cisalhamento e só após a ruptura as fissuras ficavam mais definidas e visíveis (Figura 4.20).



Figura 4.20 – Foto do ensaio de cisalhamento com pré-compressão de 1,30 MPa.

Nestas quadripletas, a ruptura se dava na interface bloco/argamassa superior, observando-se também ruptura diagonal na argamassa, principalmente nos pontos iniciais e finais do assentamento como ilustrado na Figura 4.21 e nas fotos (Figura 4.22 e Figura 4.23).

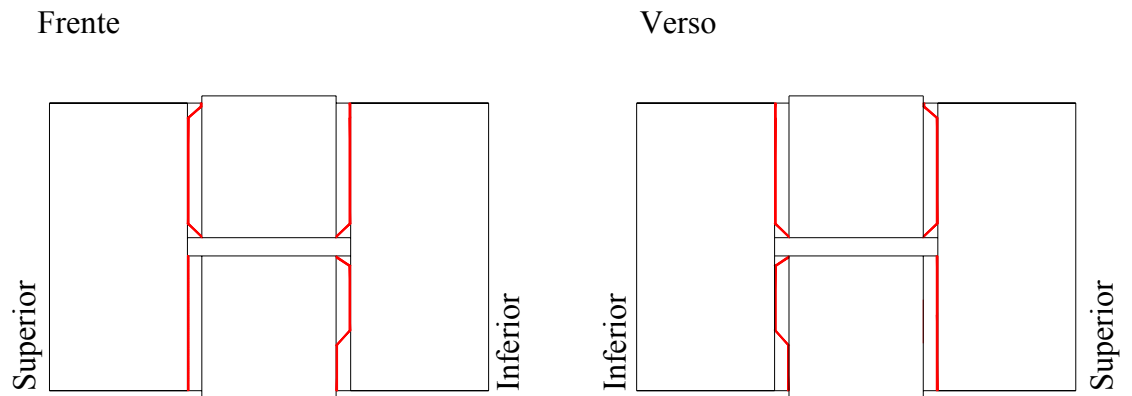


Figura 4.21 – Forma de ruptura.



Figura 4.22 – Ruptura da quadripleta com 1,30 MPa de pré-compressão.



Figura 4.23 - Ruptura da quadripleta com 1,30 MPa de pré-compressão.

#### 4.3.2.3 Pré-compressão superior a 1,50 MPa

A deformação das quadripletas com pré-compressão em torno de 2,40 MPa (Tabela 4.14) é apresentada na Figura 4.24, sendo plotados no gráfico 5 pontos após a ruptura.

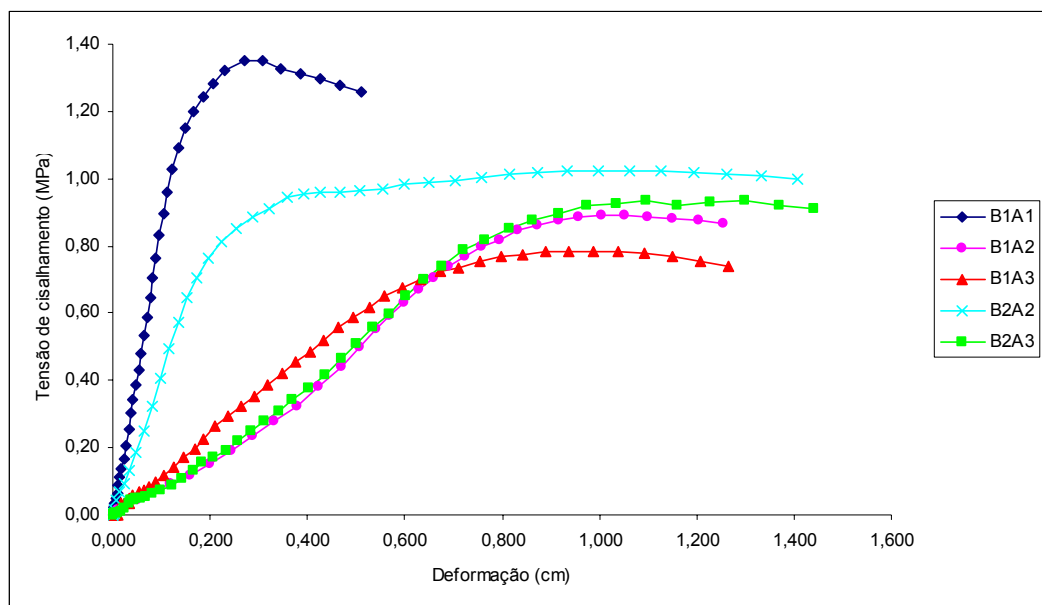


Figura 4.24 - Gráfico tensão de cisalhamento x deformação das quadripletas com pré-compressão.

Tabela 4.14 – Deformação da quadripleta e resistência ao cisalhamento última.

| Quadripleta | Pré-compressão (MPa) | Resistência ao Cisalhamento (MPa) | Deformação (cm) |
|-------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------|
| B1A1        | 2,25                 | 1,351                             | 0,3081          |
| B1A2        | 2,34                 | 0,891                             | 1,0041          |
| B1A3        | 2,34                 | 0,785                             | 0,9864          |
| B2A2        | 2,57                 | 1,026                             | 1,0610          |
| B2A3        | 2,65                 | 0,935                             | 1,0968          |

A quadripleta B1A1 é a que tem maior resistência ao cisalhamento e menor deformação até a ruptura, sendo também menor que a observada na Tabela 4.13 e Figura 4.19, ensaios com menor pré-compressão. Para os outros ensaios, verifica-se que a deformação é próxima a 1cm para a resistência máxima ao cisalhamento, valores 60% maiores que os obtidos para pré-compressão em torno de 1,30 MPa.

A ruptura é basicamente na superfície bloco/argamassa, tendo ruptura diagonal na argamassa ao lado do meio bloco onde é aplicada a carga de cisalhamento e também em outros pontos da argamassa com a expulsão da argamassa de assentamento em alguns casos (Figura 4.25).

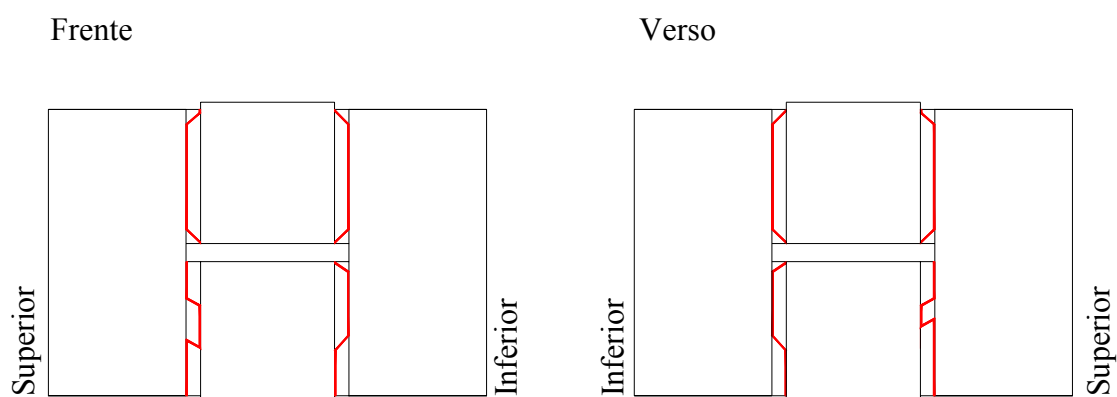


Figura 4.25 – Forma de ruptura

#### 4.3.2.4 Pré-compressão de 3,71 MPa

A deformação da quadripleta B1A1 com pré-compressão de 3,71 MPa é apresentada na Figura 4.26, a seguir.

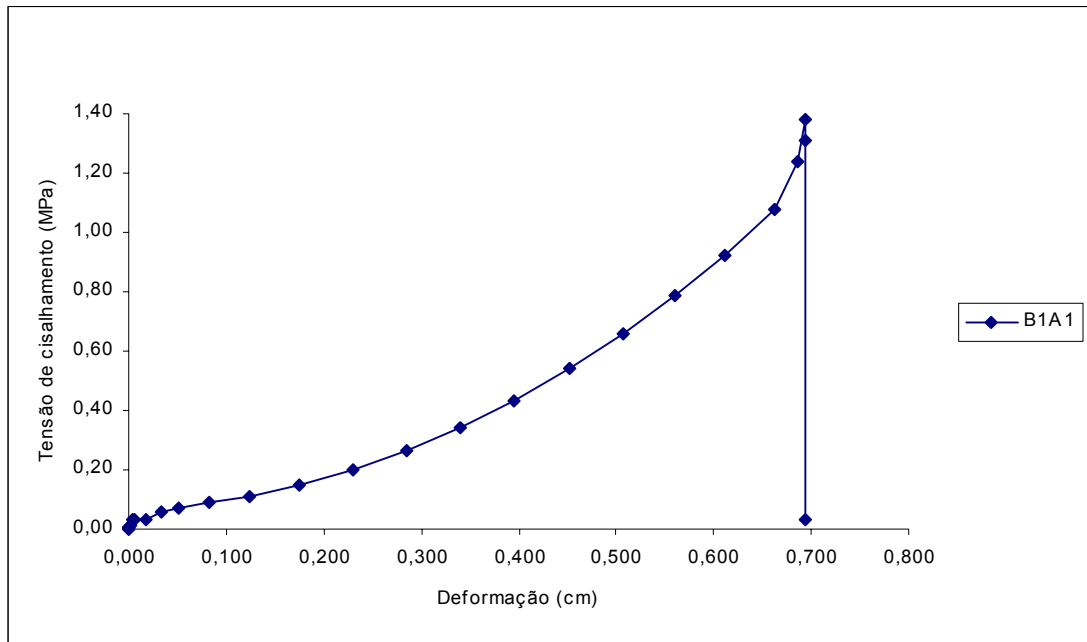


Figura 4.26 - Gráfico tensão de cisalhamento x deformação das quadripletas com pré-compressão.

Tabela 4.15 – Deformação da quadripleta e resistência ao cisalhamento última.

| Quadripleta | Pré-compressão (MPa) | Resistência ao Cisalhamento (MPa) | Deformação (cm) |
|-------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------|
| B1A1        | 3,71                 | 1,378                             | 0,6948          |

Verifica-se que a deformação e resistência foram maiores do que as obtidas com a pré-compressão próxima a 2,4 MPa, porém, a ruptura é brusca mas sem emissão de som e o conjunto não rompe por completo, ficando alguns lados da quadripletas unidos após a ruptura (Figura 4.27).

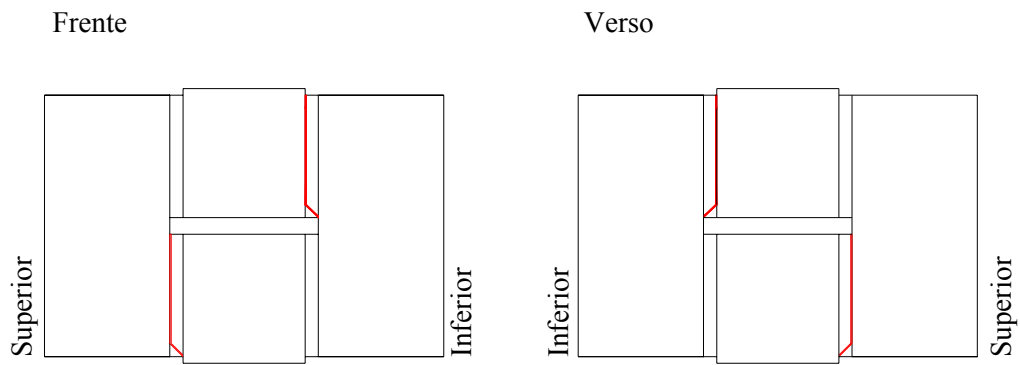


Figura 4.27 – Forma de ruptura.

#### 4.4 Comparação dos resultados de cisalhamento com as normas.

As normas britânica e brasileira apresentam valores e considerações diferentes para a resistência ao cisalhamento como já foi levantado no capítulo 2, nessa dissertação. O objetivo das Figura 4.28 a Figura 4.32 apresentadas a seguir é comparar os valores de norma com os resultados obtidos nesta pesquisa.

Para uma comparação mais efetiva dos valores obtidos na pesquisa e as normas, foi considerado o coeficiente de segurança utilizado pela norma britânica ( $\gamma_{mv} = 2,5$ ). Para tanto, após o calculo conforme a tabela 2.1 – Resistência característica ao cisalhamento (BS 5628), dividiu-se o valor encontrado por  $\gamma_{mv}$ . A norma brasileira considera as cargas sem majoração para o calculo do esforço cortante.

Na legenda dos gráficos onde se encontra  $NBR > 12$  MPa quer dizer: tensão de referência para argamassa com resistência à compressão entre 12,0 e 17,0 MPa; e  $NBR < 12$  MPa quer dizer tensão de referência para argamassa com resistência à compressão entre 5,0 e 12,0 MPa.

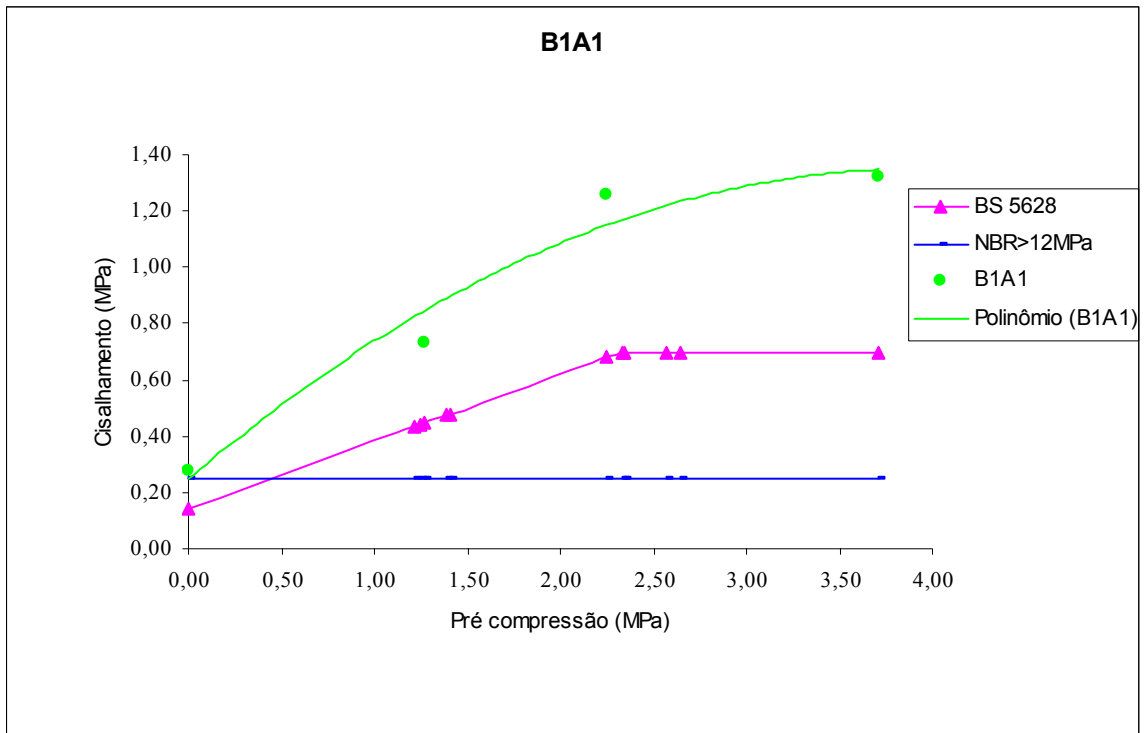


Figura 4.28 – Comparação dos valores de norma com B1A1.

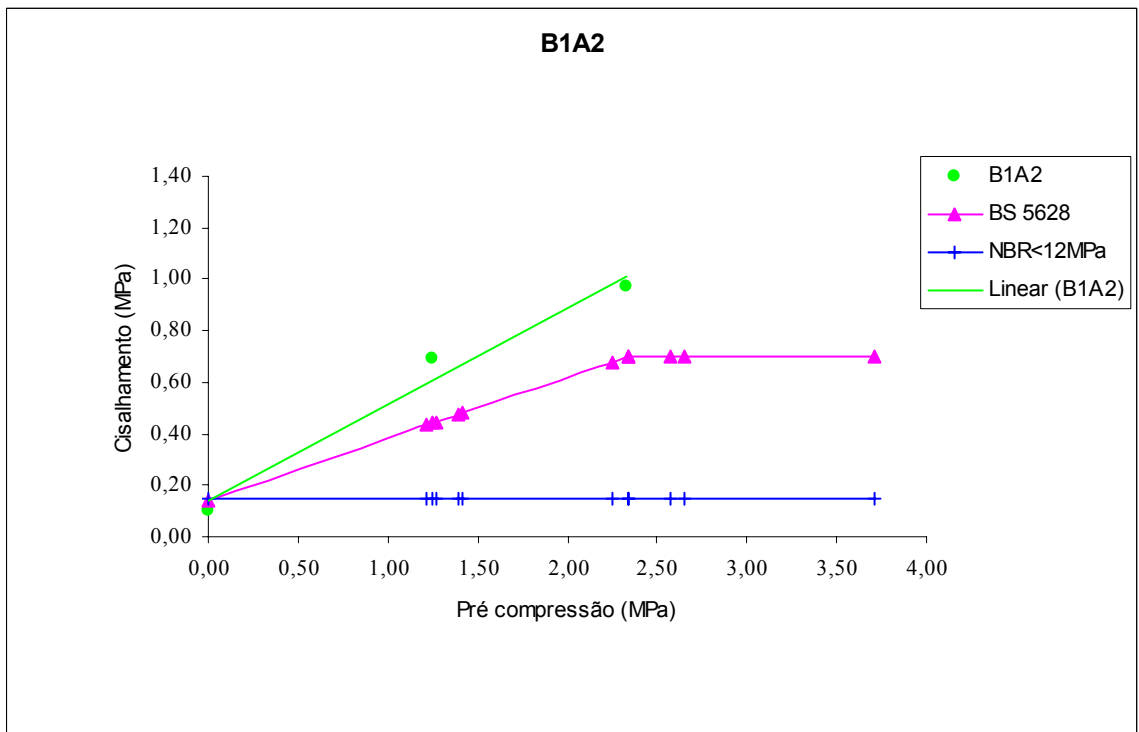


Figura 4.29 – Comparação dos valores de norma com B1A2.

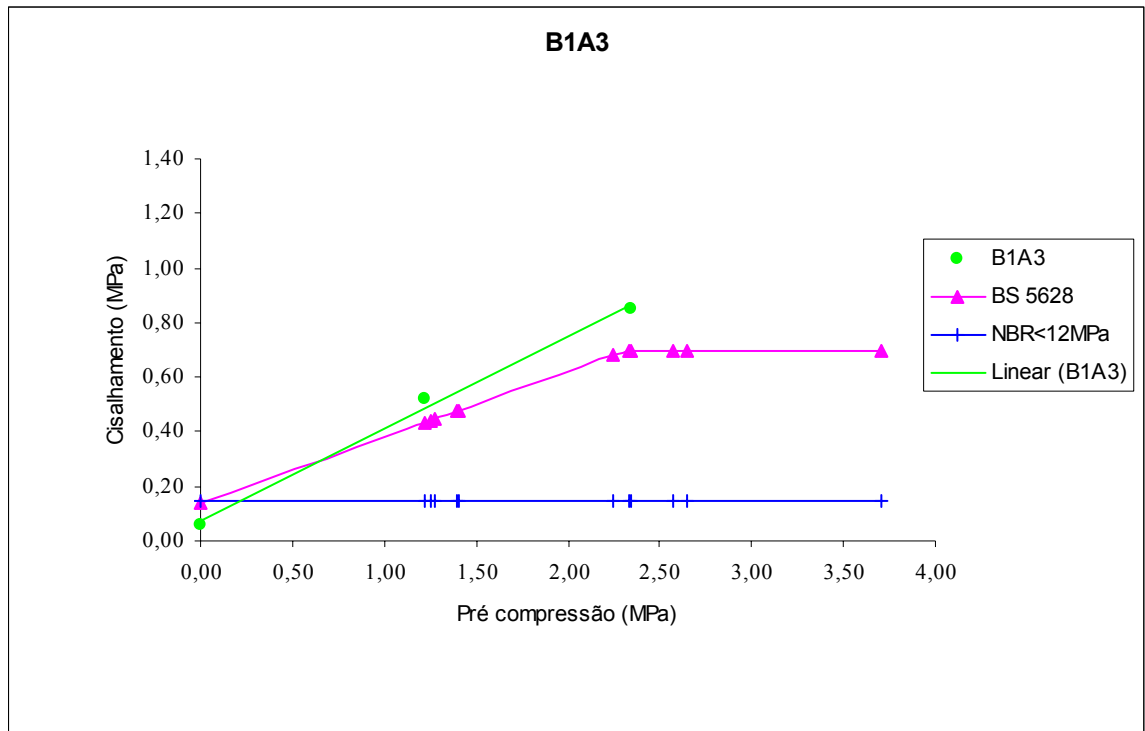


Figura 4.30– Comparação dos valores de norma com B1A3.

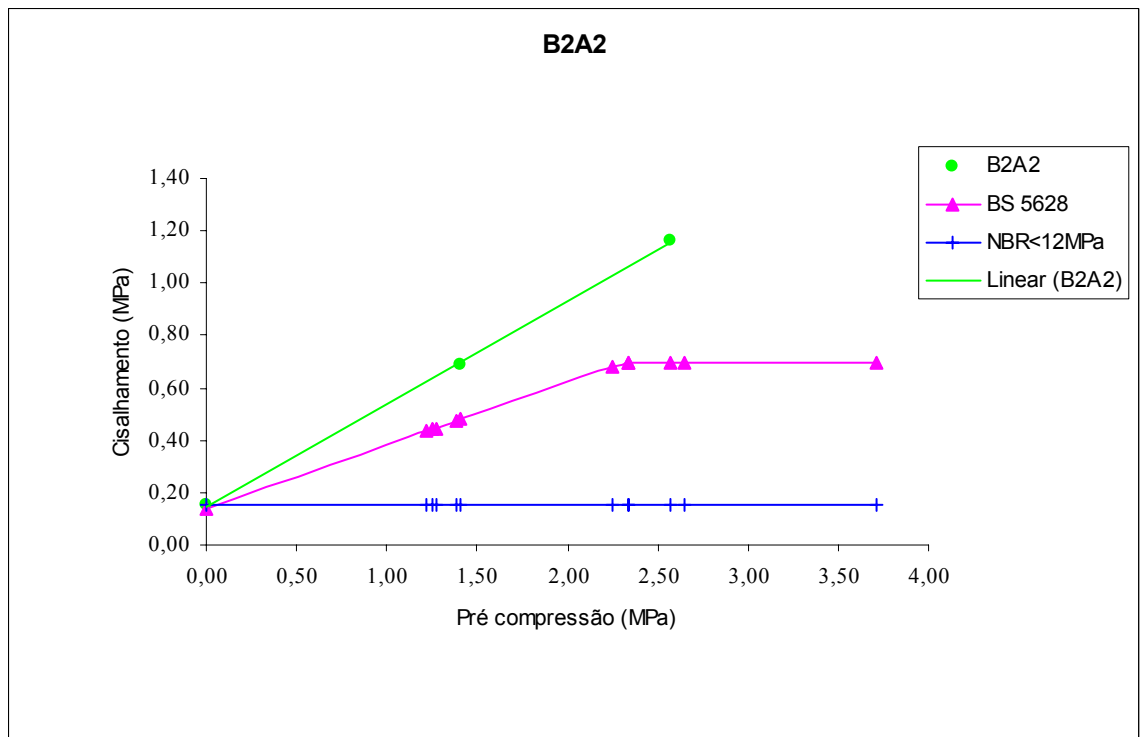


Figura 4.31 – Comparação dos valores de norma com B2A2.



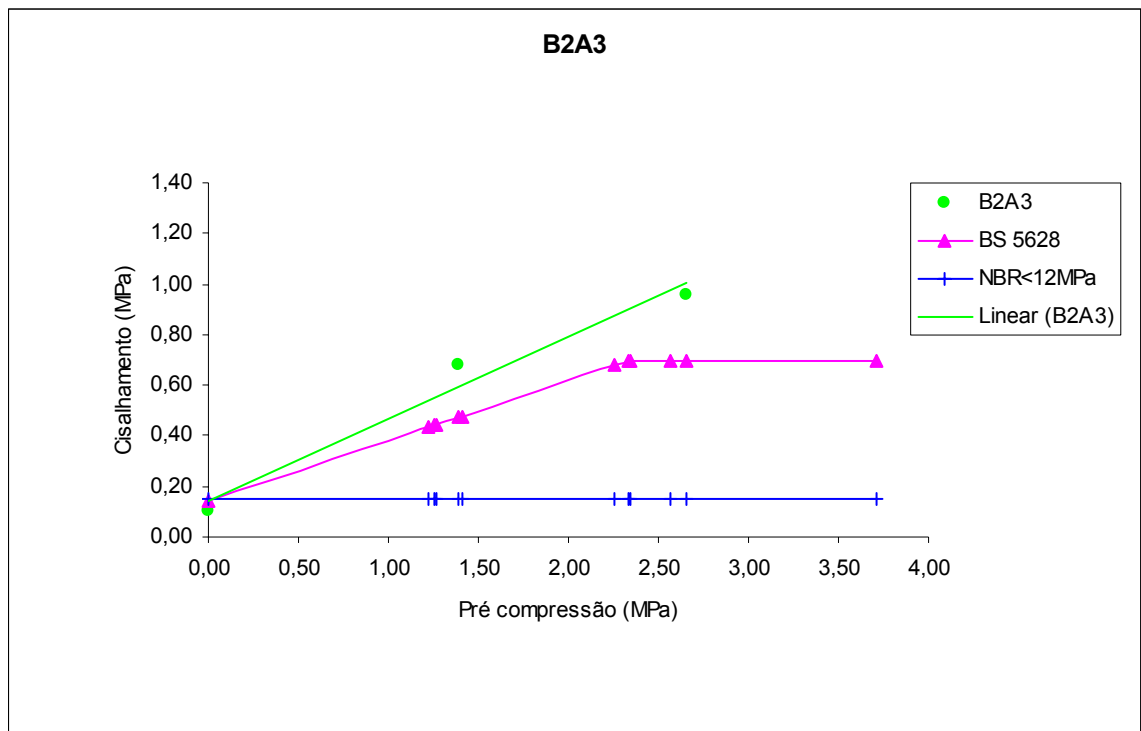


Figura 4.32 – Comparação dos valores de norma com B2A3.

Analisando as Figura 4.28 a Figura 4.32 verifica-se que a norma brasileira não considera o ganho de resistência quando da aplicação da pré-compressão mas apresenta valores coerentes com os obtidos nos ensaios para pré-compressão zero, com exceção para a quadripleta B1A3.

Com relação a norma britânica, esta é mais coerente com relação ao comportamento em presença de pré-compressão, sendo menor que os valores obtidos nos ensaios, com exceção para a quadripleta B1A3 para valores de pré-compressão menor que 1 MPa.

Cabe ressaltar que as normas tratam da resistência da parede e as quadripletas são corpos de prova que indicam o comportamento da estrutura em relação aos elementos (bloco e argamassa) e utilização (com ou sem pré-compressão).

## CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

---

Este capítulo apresenta as conclusões do estudo sobre a resistência ao cisalhamento de 62 quadripletas moldadas, tendo como variáveis os blocos, as argamassas e a pré-compressão.

### 5.1 Principais resultados

A resistência ao cisalhamento sem pré-compressão das quadripletas apresenta um coeficiente de variação elevado, principalmente quando se trabalha com bloco mais resistente. Quando se tem a resistência da argamassa mais próxima da resistência do bloco, a resistência ao cisalhamento sem pré-compressão aplicada é maior do que para conjunto bloco/argamassa com resistência da argamassa menor que a do bloco, decrescendo com a diminuição da resistência da argamassa.

Com a aplicação da pré-compressão, a argamassa passa a ter uma relevância menor na resistência ao cisalhamento, sendo a pré-compressão a variável que tem maior influência.

Verificou-se que a resistência ao cisalhamento de quadripletas moldadas com bloco de concreto segue a Lei de Coulomb para valores de pré-compressão até aproximadamente 2,50 MPa. Valores de pré-compressão maiores são mais bem representados por uma equação de segundo grau.

Os valores do coeficiente de atrito ( $\mu$ ) para os blocos de concreto estudados tem uma pequena variação em função da argamassa, sendo encontrados valores de 0,32 a 0,43.

As formas de ruptura observadas nos ensaios foram semelhantes as já descritas por outros pesquisadores, sendo a ruptura brusca para ensaios sem pré-compressão e para valores de pré-compressão aplicada próximo a 3,71 MPa na área líquida do bloco. Para as demais pré-compressões estudadas, ocorre uma deformação maior da estrutura antes e após a ruptura, verificando-se o escorregamento do bloco o que pode ser devido a perda de aderência entre o bloco e a argamassa. Nestes casos a ruptura é de difícil visualização.

Em todos os ensaios ficou evidente a ruptura na interface bloco/argamassa, preferencialmente no bloco superior assentado, evidenciando o cuidado de se “golpear” o bloco na hora do assentamento, a fim de melhorar a aderência bloco/argamassa.

Avaliando o comportamento dos diferentes tipos de quadripletas moldados, pode-se dizer que é melhor trabalhar com uma argamassa menos resistente que o bloco (na área líquida) até aproximadamente 60%. Para esses valores, tem-se um melhor aproveitamento do conjunto bloco/argamassa com relação a resistência ao cisalhamento e deformação da estrutura.

Verificou-se que os valores de resistência ao cisalhamento normalizados pela NBR 10837 (1989) não são coerentes com o comportamento da estrutura.

## **5.2 Sugestões para trabalhos futuros**

Realizar ensaios de paredes com as mesmas resistências de bloco e argamassas dessa pesquisa para avaliar o quão representativo é o ensaio de quadripletas.

Verificar o comportamento das quadripletas moldadas com blocos de concreto para valores de pré-compressão maiores de 2 MPa para as diferentes combinações bloco argamassa.

Fazer um estudo de análise linear utilizando elementos finitos dos resultados obtidos.

Estudar a distribuição de tensões na interface bloco-argamassa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

1. ALY, V. L. C. **Determinação da capacidade resistente do elemento parede de alvenaria armada de blocos de concreto submetidos à esforços de compressão.** 1992. 247p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
2. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 67 – 83:** standard methods of sampling and testing brick and structural clay tile. Philadelphia, 1983.
3. \_\_\_\_\_. **ASTM C 1006 – 84:** standard test method of splitting tensile strength of masonry units. Philadelphia, 1984.
4. \_\_\_\_\_. **ASTM C 144-84:** aggregate for masonry mortar. Philadelphia, 1987.
5. \_\_\_\_\_. **ASTM C 270-86b:** mortar for unit masonry. Philadelphia, 1987.
6. \_\_\_\_\_. **ASTM C 90-75:** standard specification for hollow load – bearing concrete masonry units. Philadelphia, 1991.
7. \_\_\_\_\_. **ASTM E 519-81:** diagonal tension (shear) in masonry assemblages. Philadelphia, 1981.
8. ANDREAUS, U. Failure criteria for masonry panels under in-plane loading. **Journal of Structural Engineering**, p.37-46, Jan., 1996
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. **Manual técnico de alvenaria.** São Paulo: ABCI, 1990. 280p.

10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136**: bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural: especificação. Rio de Janeiro, 1994
11. \_\_\_\_\_. **NBR 6123**: forças devidas ao vento em edificações: procedimento. Rio de Janeiro, 1998.
12. \_\_\_\_\_. **NBR 6118**: projeto e execução de estruturas de concreto armado. Rio de Janeiro, 1980.
13. \_\_\_\_\_. **NBR 7184**: blocos vazados de concreto simples para alvenaria: determinação da resistência à compressão: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991.
14. \_\_\_\_\_. **NBR 7211**: agregado para concreto. Rio de Janeiro, 1987.
15. \_\_\_\_\_. **NBR 7215**: determinação da resistência à compressão: cimento Portland. Rio de Janeiro, 1996.
16. \_\_\_\_\_. **NBR 7217**: agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.
17. \_\_\_\_\_. **NBR 7219**: agregados: determinação do teor de material pulverulento nos agregados: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987.
18. \_\_\_\_\_. **NBR 7220**: agregados: determinação de impurezas orgânicas e húmicas em agregados. Rio de Janeiro, 1987.
19. \_\_\_\_\_. **NBR 7251**: agregados: determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.
20. \_\_\_\_\_. **NBR 8522**: concreto: determinação do módulo de deformação estática e diagrama tensão x deformação: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.
21. \_\_\_\_\_. **NBR 8798**: execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1985.
22. \_\_\_\_\_. **NBR 9776**: agregados: determinação da massa especificada dos agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

23. \_\_\_\_\_. **NBR 10837**: calculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto: procedimentos. Rio de Janeiro, 1989.
24. \_\_\_\_\_. **NBR 11578**: cimento Portland composto: especificações. Rio de Janeiro, 1991.
25. \_\_\_\_\_. **NBR 12118**: blocos vazados de concreto simples para alvenaria: determinação da absorção de água, teor de umidade e da área líquida: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991.
26. \_\_\_\_\_. **NBR 14321**: paredes de alvenaria estrutural – determinação da resistência ao cisalhamento. Rio de Janeiro, 1999.
27. BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BS 1200**: sands for mortar for plain and reinforced brickwork, blockwork, blockwalling and masonry. London, 1976.
28. \_\_\_\_\_. **BS 5628**: Part 1: structural use of unreinforced masonry. London, 1992.
29. CANDIA, M. C. **Resistência de aderência ao cisalhamento da alvenaria estrutural não armada de blocos cerâmicos**. 1994. 196p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
30. CANDIA, M. C.; FRANCO, L. S.; SABBATINI, F. H. Resistência de aderência ao cisalhamento de alvenaria estrutural não armada de blocos cerâmicos. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 5, 1994, Florianópolis. **Proceedings...** Florianópolis: UFSC, 1994. p. 204-213.
31. CARASEK, H.; CASCUDO, O.; CINCOTTO, M. A.; DJANIKIAN, J. G. Microestrutura da interface argamassa/tijolo cerâmico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2, 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: EPUFBA, 1997. p. 469-483.
32. CARASEK, H.; CASCUDO, O. Avaliação experimental da resistência ao cisalhamento da alvenaria. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 5, 1994, Florianópolis. **Proceedings...** Florianópolis: UFSC, 1994. p. 228-237.

33. CAVALHEIRO, O. P. ; PEDROSO, G. M. Experimental data on hollow block prisms using direct shear test . In: INTERNATIONAL BRICK/BLOCK MASONRY CONFERENCE, 12, 2000, Madrid. **Proceedings...** Madrid, 2000. v 1. p. 433-440.
34. DRYSDALE, R. G., VANDERKEYL, R. AND HAMID, A. A., Shear strength of brick masonry joints, **Proceedings of the 5th International Brick Masonry Conference**, Washington, DC, p.106-113, 1979.
35. DUARTE, R. B. **Recomendações para projeto e execução de edifícios de alvenaria estrutural**. Porto Alegre: Ed Associação Nacional da Indústria Cerâmica - ANICER, 1999. 79p.
36. FRANCO, L. S. Parâmetros utilizados nos projetos de alvenaria estrutural. **Texto Técnico** – Escola Politécnica da universidade de São Paulo, São Paulo. 17p. 1993.
37. GALLEGOS, H. Adhesión entre el mortero y las unidades de albañilería. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1, 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG, 1995. p. 117-133.
38. GHAZALI, M. Z. AND RIDDINGTON, J. R., Simple test method for masonry shear strength, **Proceedings of the Institution of Civil Engineers**, vol. 85, Part 2, p.567-574, Sept. 1988.
39. GOMES, N. S. **A resistência das paredes de alvenaria**. 1983. 190p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
40. GÓMEZ, L. A.; ROMAN, H. R. Fabricação de “linear variable differential transformers”. In: ENTAC 93, 1993, São Paulo. **Anais...** São Paulo: p. 327 – 330.
41. HENDRY, A. W., Testing methods for masonry, joints and structural units, **Proceedings of the 3rd International Symposium on Wall Structures**, CIB/COBPBO, Warsaw, General Report Session 1, June, 1984.
42. HENDRY, A.W. Workmanship factors and the strength of masonry. In: MASONRY, 3, 1989, England. **Proceedings...** England: British Masonry Society, 1989. p. 48-50.

43. JUNKES, P. ; RIDDINGTON, J. R. A review of masonry joint shear strength – test methods. **Masonry International**. v. 11, no 2, 1997.
44. KHALAF, F. M.; NAYSMITH, M. W. Shear strength of brickwork bed joints. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 5, 1994, Florianópolis. **Proceedings...** Florianópolis: UFSC, 1994. p. 238-250.
45. MANN, W.; MULLER, H., Failure of shear stressed masonry - an enlarged theory, tests and application to shear walls, **Proc.7<sup>th</sup> Int. Sump on Load Bearing Brickwork**, London,1980.
46. MEDEIROS, J. S.; SABBATINI, F. H. Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto; Produção de componentes e parâmetros de projeto. **Boletim Técnico - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**, São Paulo, 20p. 1993.
47. MELI, R.; ZEEVART, W.; ESTEVA, L. Mechanical properties of masonry. Institute of Engineering, UNAM, Informe, n. 288, jul. 1971.
48. MAYER, U. In plane shear strength of clay unit masonry – recent german test results. . In: INTERNATIONAL BRICK/BLOCK MASONRY CONFERENCE, 12, 2000, Madrid. **Proceedings...** Madrid, 2000. v 2. p. 1269-1278.
49. MOHAMAD, G. **Comportamento mecânico na ruptura de prismas de blocos de concreto**. 1998. 178p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
50. MURTTTHY, C. K. ; HENDRY, A. W. Preliminary investigation of the shear strength of one-six-scale model brickwork. **Proceedings of the British Ceramic Society**. Tech. Note 65, 1965.
51. NASCIMENTO N, J. A. **Investigação das solicitações de cisalhamento em edifícios de alvenaria estrutural submetidos as ações horizontais**.1999. 127p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.



52. NUSS, L. K., NOLAND, J. L. AND CHINN, J., The parameters influencing shear strength between clay masonry units and mortar, **Proceedings of the North American Masonry Conference**, University of Colorado, Boulder, p.13.2-13.27, Aug., 1978.
53. PAGE, A. W., SAMARASINGHE, W., AND HENDRY, A. W., The in-plane failure of masonry - a review, **Proceedings of the British Ceramic Society**, no. 30, Load Bearing Brickwork (7), p.90-100, Sept., 1982
54. RIDINGTON, J. R.; JUKES, P. Assessment of a new masonry shear strength test. In: MASONRY, 6, 1994, England. **Proceedings...** England: British Masonry Society, 1994. p. 115-118. (a)
55. RIDINGTON and JUKES, P. A masonry joint shear strength test method. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, **Structures and Buildings**, Vol. 104, p.267-274, Aug. 1994.(b)
56. RILEM. MS-B.4 Determination of shear strength index for masonry unit/mortar junction (Recommendations). **Materials and Structures**, vol. 29, p.459-75, Oct., 1996.
57. ROMAGNA, R. H. **Resistência a compressão de prismas de blocos de concreto grauteados e não grauteados**.2000. 195p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
58. ROMAN, H. R. Alvenaria estrutural. **Revista TÉCNICA**, ano 4, n. 24, 3p. set./out. 1996.
59. ROMAN, H. R. **Out-of-plane shear behaviour of brickwork joints subjected to non-uniform compressive stress**. 1989. 313p. Thesis (Ph. D) – University of Edinburgh, Scotland.
60. ROMAN, H. R.; MUTTI, C. N. ; ARAÚJO, H. N. **Construindo em alvenaria estrutural**. Florianópolis: EdUFSC, 1999.83p.

61. ROMAN, H. R.; SINHA, B. P. Shear strength of concrete block masonry. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 5, 1994, Florianópolis. **Proceedings...** Florianópolis: UFSC, 1994. p. 251-259.
62. SABBATINI, F. H. Argamassa de assentamento para paredes de alvenaria resistente. **Boletim Técnico** - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 26p. 1986.
63. SABBATINI, F. H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcária.** 1984. 298p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
64. SANTOS, F. A. **Efeito do não preenchimento de juntas verticais no desempenho de edifícios em alvenaria estrutural.** 2001. 154p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
65. SCHNEIDER R.R.; DICKEY W.L. **Reinforced masonry – design.** Prentice-Hall, Inc., 3ª edição, 1994.
66. SINHA, B. P. Factors affecting the brick/mortar interface bond strength. **International Journal of Masonry Construction**, v. 3, n. 1, p. 14-18, 1983.
67. SINHA, B. P.; HENDRY, A. W..Tensile strenght of brickwork specimens. **Proceedings of the British Ceramic Society**, no. 24, p.91-100, 1975.
68. SOLÓRZANO, M. G. P. **Características e desempenho de juntas de argamassa na alvenaria estrutural de blocos de concreto.** 1994. 203p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
69. TANGO,C. E. S. Fundamentos de dosagem de concreto para blocos estruturais. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 5, 1994, Florianópolis. **Proceedings...** Florianópolis: UFSC, 1994. p. 21-30.

70. THOMAZ, E.; HELENE, P. Qualidade no projeto e na execução de alvenaria estrutural e de alvenarias de vedação em edifícios. **Boletim Técnico** - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 31p. 2000.
71. TRISTÃO, F. A. **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento.** 1995. 197p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

## ANEXO A

Tabela 1 – Resultados individuais das dimensões reais, área líquida, área bruta e massa unitária dos blocos B1

| Bloco | CP | Dimensões (mm) |        |        | Área Líquida (cm <sup>2</sup> ) | Área Bruta (cm <sup>2</sup> ) | Massa unitária (kg/m <sup>3</sup> ) |
|-------|----|----------------|--------|--------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
|       |    | C              | L      | H      |                                 |                               |                                     |
| B1    | 1  | 390,00         | 140,00 | 189,50 | 461                             | 546                           | 2333                                |
|       | 2  | 390,00         | 139,85 | 191,50 |                                 |                               |                                     |
|       | 3  | 390,00         | 140,00 | 189,65 |                                 |                               |                                     |
|       | 4  | 390,50         | 140,00 | 190,60 |                                 |                               |                                     |
|       | 5  | 390,00         | 140,00 | 189,65 |                                 |                               |                                     |
|       | 6  | 390,00         | 139,90 | 190,60 |                                 |                               |                                     |
| Média |    | 390,08         | 139,96 | 190,18 |                                 |                               |                                     |

Tabela 2 – Resultados individuais das dimensões reais, área líquida, área bruta e massa unitária dos blocos B2

| Bloco | CP | Dimensões (mm) |        |        | Área Líquida (cm <sup>2</sup> ) | Área Bruta (cm <sup>2</sup> ) | Massa unitária (kg/m <sup>3</sup> ) |
|-------|----|----------------|--------|--------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
|       |    | C              | L      | H      |                                 |                               |                                     |
| B2    | 1  | 391,50         | 140,70 | 191,20 | 406                             | 549                           | 2089                                |
|       | 2  | 391,50         | 140,00 | 191,45 |                                 |                               |                                     |
|       | 3  | 391,50         | 140,20 | 191,50 |                                 |                               |                                     |
|       | 4  | 392,00         | 140,00 | 192,50 |                                 |                               |                                     |
|       | 5  | 391,00         | 140,20 | 191,00 |                                 |                               |                                     |
|       | 6  | 391,50         | 140,00 | 191,40 |                                 |                               |                                     |
| Média |    | 391,50         | 140,18 | 191,51 |                                 |                               |                                     |

Tabela 3 – Resultados individuais de absorção, massa específica, volume e umidade dos blocos B1

| Bloco | CP | Massa (Kg) |                |          | Volume (dm <sup>3</sup> ) | Absorção (%) | Umidade (%) |
|-------|----|------------|----------------|----------|---------------------------|--------------|-------------|
|       |    | Seca ao ar | Seca em estufa | Saturada |                           |              |             |
| B1    | 1  | 14,80      | 14,28          | 15,17    | 6,33                      | 6,23         | 58,43       |
|       | 2  | 14,94      | 14,46          | 15,22    | 6,55                      | 5,26         | 63,16       |
|       | 3  | 14,70      | 14,24          | 15,00    | 6,25                      | 5,34         | 60,53       |
|       | 4  | 14,68      | 14,20          | 15,00    | 6,28                      | 5,63         | 60,00       |
|       | 5  | 14,80      | 14,28          | 15,14    | 6,31                      | 6,02         | 60,47       |
|       | 6  | 14,76      | 14,32          | 15,06    | 6,30                      | 5,17         | 59,46       |
| Média |    | 14,78      | 14,30          | 15,10    | 6,34                      | 5,61         | 60,34       |

Tabela 4 – Resultados individuais de absorção, massa específica, volume e umidade dos blocos B2

| Bloco | CP | Massa (Kg) |                |          | Volume (dm <sup>3</sup> ) | Absorção (%) | Umidade (%) |
|-------|----|------------|----------------|----------|---------------------------|--------------|-------------|
|       |    | Seca ao ar | Seca em estufa | Saturada |                           |              |             |
| B2    | 1  | 14,00      | 13,34          | 14,57    | 6,64                      | 9,22         | 53,66       |
|       | 2  | 13,68      | 13,04          | 14,27    | 6,54                      | 9,43         | 52,03       |
|       | 3  | 13,87      | 13,22          | 14,41    | 6,63                      | 9,00         | 54,62       |
|       | 4  | 13,64      | 13,00          | 14,27    | 6,57                      | 9,77         | 50,39       |
|       | 5  | 13,77      | 13,12          | 14,36    | 6,51                      | 9,45         | 52,42       |
|       | 6  | 13,81      | 13,16          | 14,41    | 6,73                      | 9,50         | 52,00       |
| Média |    | 13,80      | 13,15          | 14,38    | 6,60                      | 9,40         | 52,52       |

Tabela 5 – Resistência à compressão dos blocos B1

| Bloco | CP | Carga (kN) | Resistência à compressão (MPa)<br>$A_{liq}$ (461 cm <sup>2</sup> ) | Dados Estatísticos<br>$A_{liq}$ | Resistência à compressão (MPa)<br>$A_{br}$ (546 cm <sup>2</sup> ) | Dados Estatísticos<br>$A_{br}$ |
|-------|----|------------|--|---------------------------------|---|--------------------------------|
| B1    | 1  | 987,00     | 21,41  | Média (MPa)                     | 18,08   | Média (MPa)                    |
|       | 2  | 1065,20    | 23,11  | 23,15                           | 19,51   | 19,54                          |
|       | 3  | 1131,40    | 24,54  | Desvio Padrão                   | 20,72   | Desvio Padrão                  |
|       | 4  | 1024,60    | 22,23  | 1,22                            | 18,77   | 1,03                           |
|       | 5  | 1126,40    | 24,43  | CV (%)                          | 20,63   | CV (%)                         |
|       | 6  | 1068,00    | 23,17  | 5,28                            | 19,56   | 5,28                           |

Tabela 6 – Resistência à compressão dos blocos B2

| Bloco | CP | Carga (kN) | Resistência à compressão (MPa)<br>$A_{liq}$ (406 cm <sup>2</sup> ) | Dados Estatísticos<br>$A_{liq}$ | Resistência à compressão (MPa)<br>$A_{br}$ (549 cm <sup>2</sup> ) | Dados Estatísticos<br>$A_{br}$ |
|-------|----|------------|--|---------------------------------|---|--------------------------------|
| B2    | 1  | 491,00     | 12,09  | Média (MPa)                     | 8,94  | Média (MPa)                    |
|       | 2  | 511,00     | 12,59  | 12,29                           | 9,31  | 9,09                           |
|       | 3  | 581,00     | 14,31  | Desvio Padrão                   | 10,58   | Desvio Padrão                  |
|       | 4  | 441,50     | 10,87  | 1,19                            | 8,04  | 0,88                           |
|       | 5  | 506,50     | 12,48  | CV (%)                          | 9,23  | CV (%)                         |
|       | 6  | 463,00     | 11,40  | 9,65                            | 8,43  | 9,65                           |

Tabela 7 – Resistência à tração dos blocos B1

| Bloco | CP | Carga (kN) | Resistência à Tração (MPa) | Dados Estatísticos |
|-------|----|------------|----------------------------|--------------------|
| B1    | 1  | 77,96      | 1,86                       | Média (MPa)        |
|       | 2  | 78,04      | 1,87                       | 1,94               |
|       | 3  | 86,88      | 2,08                       | Desvio Padrão      |
|       | 4  | 91,86      | 2,20                       | 0,17               |
|       | 5  | 79,22      | 1,89                       | CV (%)             |
|       | 6  | 72,02      | 1,72                       | 8,81               |

Tabela 8 – Resistência à tração dos blocos B2

| Bloco | CP | Carga (kN) | Resistência à Tração (MPa) | Dados Estatísticos |
|-------|----|------------|----------------------------|--------------------|
| B2    | 1  | 34,06      | 0,81                       | Média (MPa)        |
|       | 2  | 34,32      | 0,81                       | 0,82               |
|       | 3  | 35,02      | 0,83                       | Desvio Padrão      |
|       | 4  | 34,38      | 0,82                       | 0,03               |
|       | 5  | 35,92      | 0,85                       | CV (%)             |
|       | 6  | 32,52      | 0,77                       | 3,28               |

## ANEXO B

Tabela 1 – Resistência à compressão da Argamassa A1<sub>1</sub>

| Argamassa Tipo         | Traço               | CP | Carga (kN) | Área (mm <sup>2</sup> ) | Resistência à compressão (MPa) | Dados Estatísticos |
|------------------------|---------------------|----|------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------|
| A1 <sub>1</sub><br>(i) | 1:0,25:3 (volume)   | 1  | 29,12      | 1963,50                 | 14,83                          | Média (MPa)        |
|                        | 1:0,17:3,73 (massa) | 2  | 32,40      |                         | 16,50                          | 14,98              |
|                        | $f_{a/c} = 0,87$    | 3  | 26,46      |                         | 13,48                          | Desvio Padrão      |
|                        | IC = 297 mm         | 4  | 28,35      |                         | 14,44                          | 1,05               |
|                        | Moldagem:25/10/00   | 5  | 31,00      |                         | 15,79                          | CV (%)             |
|                        | Ruptura:22/11/00    | 6  | 29,15      |                         | 14,85                          | 7,04               |

Tabela 2 – Resistência à compressão da Argamassa A1<sub>2</sub>

| Argamassa Tipo         | Traço               | CP | Carga (kN) | Área (mm <sup>2</sup> ) | Resistência à compressão (MPa) | Dados Estatísticos |
|------------------------|---------------------|----|------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------|
| A1 <sub>2</sub><br>(i) | 1:0,25:3 (volume)   | 1  | 27,46      | 1963,50                 | 13,99                          | Média (MPa)        |
|                        | 1:0,17:3,73 (massa) | 2  | 22,74      |                         | 11,58                          | 12,64              |
|                        | $f_{a/c} = 0,91$    | 3  | 25,00      |                         | 12,73                          | Desvio Padrão      |
|                        | IC = 342 mm         | 4  | 22,36      |                         | 11,39                          | 1,39               |
|                        | Moldagem:27/10/00   | 5  | 28,74      |                         | 14,64                          | CV (%)             |
|                        | Ruptura:18/12/00    | 6  | 22,64      |                         | 11,53                          | 11,03              |

Tabela 3 – Resistência à compressão da Argamassa A1<sub>3</sub>

| Argamassa Tipo         | Traço               | CP | Carga (kN) | Área (mm <sup>2</sup> ) | Resistência à compressão (MPa) | Dados Estatísticos |
|------------------------|---------------------|----|------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------|
| A1 <sub>3</sub><br>(i) | 1:0,25:3 (volume)   | 1  | 24,96      | 1963,50                 | 12,71                          | Média (MPa)        |
|                        | 1:0,17:3,73 (massa) | 2  | 30,20      |                         | 15,38                          | 14,58              |
|                        | $f_{a/c} = 0,86$    | 3  | 27,98      |                         | 14,25                          | Desvio Padrão      |
|                        | IC = 305 mm         | 4  | 27,32      |                         | 13,91                          | 1,23               |
|                        | Moldagem:28/10/00   | 5  | 29,40      |                         | 14,97                          | CV (%)             |
|                        | Ruptura:21/12/00    | 6  | 31,86      |                         | 16,23                          | 8,43               |

Tabela 4 – Resistência à compressão da Argamassa A2<sub>1</sub>

| Argamassa Tipo          | Traço                   | CP | Carga (kN) | Área (mm <sup>2</sup> ) | Resistência à compressão (MPa) | Dados Estatísticos |
|-------------------------|-------------------------|----|------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------|
| A2 <sub>1</sub><br>(ii) | 1:0,5:4,5 (volume)      | 1  | 16,14      | 1963,50                 | 8,22                           | Média (MPa)        |
|                         | 1:0,34:5,60 (massa)     | 2  | 16,30      |                         | 8,30                           | 7,90               |
|                         | f <sub>a/c</sub> = 1,21 | 3  | 15,30      |                         | 7,79                           | Desvio Padrão      |
|                         | IC = 266 mm             | 4  | 15,35      |                         | 7,82                           |                    |
|                         | Moldagem:31/10/00       | 5  | 15,04      |                         | 7,66                           | CV (%)             |
|                         | Ruptura:01/12/00        | 6  | 14,98      |                         | 7,63                           | 3,64               |

Tabela 5 – Resistência à compressão da Argamassa A2<sub>2</sub>

| Argamassa Tipo          | Traço                   | CP | Carga (kN) | Área (mm <sup>2</sup> ) | Resistência à compressão (MPa) | Dados Estatísticos |
|-------------------------|-------------------------|----|------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------|
| A2 <sub>2</sub><br>(ii) | 1:0,5:4,5 (volume)      | 1  | 16,70      | 1963,50                 | 8,51                           | Média (MPa)        |
|                         | 1:0,34:5,60 (massa)     | 2  | 16,98      |                         | 8,65                           | 7,86               |
|                         | f <sub>a/c</sub> = 1,23 | 3  | 15,18      |                         | 7,73                           | Desvio Padrão      |
|                         | IC = 263 mm             | 4  | 14,20      |                         | 7,23                           |                    |
|                         | Moldagem:01/11/00       | 5  | 13,46      |                         | 6,86                           | CV (%)             |
|                         | Ruptura:28/11/00        | 6  | 16,06      |                         | 8,18                           | 9,10               |

Tabela 6 – Resistência à compressão da Argamassa A2<sub>3</sub>

| Argamassa Tipo          | Traço                   | CP | Carga (kN) | Área (mm <sup>2</sup> ) | Resistência à compressão (MPa) | Dados Estatísticos |
|-------------------------|-------------------------|----|------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------|
| A2 <sub>3</sub><br>(ii) | 1:0,5:4,5 (volume)      | 1  | 14,84      | 1963,50                 | 7,56                           | Média (MPa)        |
|                         | 1:0,34:5,60 (massa)     | 2  | 15,00      |                         | 7,64                           | 7,06               |
|                         | f <sub>a/c</sub> = 1,25 | 3  | 13,96      |                         | 7,11                           | Desvio Padrão      |
|                         | IC = 281 mm             | 4  | 13,80      |                         | 7,03                           |                    |
|                         | Moldagem:02/11/00       | 5  | 12,90      |                         | 6,57                           | CV (%)             |
|                         | Ruptura:13/12/00        | 6  | 12,72      |                         | 6,48                           | 6,84               |

Tabela 7 – Resistência à compressão da Argamassa A2<sub>4</sub>

| Argamassa Tipo          | Traço                   | CP | Carga (kN) | Área (mm <sup>2</sup> ) | Resistência à compressão (MPa) | Dados Estatísticos |
|-------------------------|-------------------------|----|------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------|
| A2 <sub>4</sub><br>(ii) | 1:0,5:4,5 (volume)      | 1  | 17,22      | 1963,50                 | 8,77                           | Média (MPa)        |
|                         | 1:0,34:5,60 (massa)     | 2  | 17,50      |                         | 8,91                           | 8,15               |
|                         | f <sub>a/c</sub> = 1,26 | 3  | 14,30      |                         | 7,28                           | Desvio Padrão      |
|                         | IC = 250 mm             | 4  | 15,34      |                         | 7,81                           |                    |
|                         | Moldagem:07/11/00       | 5  | 16,70      |                         | 8,51                           | CV (%)             |
|                         | Ruptura:06/12/00        | 6  | 17,94      |                         | 7,61                           | 8,23               |



Tabela 8 – Resistência à compressão da Argamassa A3<sub>1</sub>

| Argamassa Tipo           | Traço                   | CP | Carga (kN) | Área (mm <sup>2</sup> ) | Resistência à compressão (MPa) | Dados Estatísticos |
|--------------------------|-------------------------|----|------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------|
| A3 <sub>1</sub><br>(iii) | 1:1:6 (volume)          | 1  | 10,18      | 1963,50                 | 5,18                           | Média (MPa)        |
|                          | 1:0,68:7,46 (massa)     | 2  | 9,78       |                         | 4,98                           | 4,91               |
|                          | f <sub>a/c</sub> = 1,68 | 3  | 10,44      |                         | 5,32                           | Desvio Padrão      |
|                          | IC = 222 mm             | 4  | 9,44       |                         | 4,81                           |                    |
|                          | Moldagem:08/11/00       | 5  | 9,12       |                         | 4,64                           | CV (%)             |
|                          | Ruptura:07/12/00        | 6  | 8,86       |                         | 4,51                           |                    |

Tabela 9 – Resistência à compressão da Argamassa A3<sub>2</sub>

| Argamassa Tipo           | Traço                   | CP | Carga (kN) | Área (mm <sup>2</sup> ) | Resistência à compressão (MPa) | Dados Estatísticos |
|--------------------------|-------------------------|----|------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------|
| A3 <sub>2</sub><br>(iii) | 1:1:6 (volume)          | 1  | 10,28      | 1963,50                 | 5,24                           | Média (MPa)        |
|                          | 1:0,68:7,46 (massa)     | 2  | 10,54      |                         | 5,37                           | 5,13               |
|                          | f <sub>a/c</sub> = 1,73 | 3  | 9,82       |                         | 5,00                           | Desvio Padrão      |
|                          | IC = 244 mm             | 4  | 10,80      |                         | 5,50                           |                    |
|                          | Moldagem:10/11/00       | 5  | 9,96       |                         | 5,07                           | CV (%)             |
|                          | Ruptura:08/12/00        | 6  | 9,00       |                         | 4,58                           |                    |

Tabela 10 – Resistência à compressão da Argamassa A3<sub>3</sub>

| Argamassa Tipo           | Traço                   | CP | Carga (kN) | Área (mm <sup>2</sup> ) | Resistência à compressão (MPa) | Dados Estatísticos |
|--------------------------|-------------------------|----|------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------|
| A3 <sub>3</sub><br>(iii) | 1:1:6 (volume)          | 1  | 8,76       | 1963,50                 | 4,46                           | Média (MPa)        |
|                          | 1:0,68:7,46 (massa)     | 2  | 9,26       |                         | 4,72                           | 4,62               |
|                          | f <sub>a/c</sub> = 1,83 | 3  | 9,54       |                         | 4,86                           | Desvio Padrão      |
|                          | IC = 284 mm             | 4  | 8,70       |                         | 4,43                           |                    |
|                          | Moldagem:13/11/00       | 5  | 8,72       |                         | 4,44                           | CV (%)             |
|                          | Ruptura:19/12/00        | 6  | 9,44       |                         | 4,81                           |                    |

Tabela 11 – Cargas, tensões e deformações médias para a execução do gráfico tensão x deformação das argamassas

| Argamassa - A3 (iii) |              |            | Argamassa - A1 (i) |              |            | Argamassa - A1 (i) - continuação |              |            |
|----------------------|--------------|------------|--------------------|--------------|------------|----------------------------------|--------------|------------|
| Carga (KN)           | Tensão (MPa) | Deformação | Carga (KN)         | Tensão (MPa) | Deformação | Carga (KN)                       | Tensão (MPa) | Deformação |
| 1,0                  | 0,13         | 0,0000000  | 1,2                | 0,15         | 0,0000000  | 54,0                             | 6,88         | 0,0007000  |
| 2,2                  | 0,28         | 0,0000250  | 2,0                | 0,25         | 0,0000250  | 56,0                             | 7,13         | 0,0007250  |
| 3,0                  | 0,38         | 0,0000500  | 3,2                | 0,41         | 0,0000250  | 58,2                             | 7,41         | 0,0007500  |
| 4,0                  | 0,51         | 0,0000500  | 4,4                | 0,56         | 0,0000500  | 60,2                             | 7,66         | 0,0007750  |
| 5,2                  | 0,66         | 0,0001000  | 5,0                | 0,64         | 0,0000500  | 62,0                             | 7,89         | 0,0008250  |
| 6,2                  | 0,79         | 0,0001000  | 5,8                | 0,74         | 0,0000750  | 64,0                             | 8,15         | 0,0008500  |
| 7,2                  | 0,92         | 0,0001500  | 6,8                | 0,87         | 0,0000750  | 66,4                             | 8,45         | 0,0008750  |
| 8,2                  | 1,04         | 0,0001750  | 8,0                | 1,02         | 0,0001000  | 68,2                             | 8,68         | 0,0009000  |
| 10,0                 | 1,27         | 0,0002250  | 9,2                | 1,17         | 0,0001000  | 70,0                             | 8,91         | 0,0009250  |
| 12,0                 | 1,53         | 0,0002750  | 10,4               | 1,32         | 0,0001250  | 72,0                             | 9,17         | 0,0009500  |
| 13,8                 | 1,76         | 0,0003750  | 11,4               | 1,45         | 0,0001250  | 74,2                             | 9,45         | 0,0010000  |
| 16,4                 | 2,09         | 0,0004750  | 12,0               | 1,53         | 0,0001750  | 76,2                             | 9,70         | 0,0010250  |
| 18,0                 | 2,29         | 0,0005750  | 12,8               | 1,63         | 0,0001750  | 78,0                             | 9,93         | 0,0010500  |
| 20,0                 | 2,55         | 0,0007750  | 14,0               | 1,78         | 0,0002000  | 80,4                             | 10,24        | 0,0011000  |
| 22,0                 | 2,80         | 0,0011000  | 15,6               | 1,99         | 0,0002250  | 82,2                             | 10,47        | 0,0011250  |
| 24,0                 | 3,06         | 0,0017250  | 17,8               | 2,27         | 0,0002500  | 84,0                             | 10,70        | 0,0011500  |
| 26,0                 | 3,31         | 0,0026250  | 19,8               | 2,52         | 0,0002750  | 86,4                             | 11,00        | 0,0012000  |
| 26,6                 | 3,39         | 0,0032750  | 21,6               | 2,75         | 0,0003000  | 88,2                             | 11,23        | 0,0012250  |
|                      |              |            | 23,0               | 2,93         | 0,0003000  | 90,2                             | 11,48        | 0,0012750  |
|                      |              |            | 24,2               | 3,08         | 0,0003250  | 92,0                             | 11,71        | 0,0013000  |
|                      |              |            | 25,4               | 3,23         | 0,0003250  | 94,2                             | 11,99        | 0,0013500  |
|                      |              |            | 26,4               | 3,36         | 0,0003500  | 96,0                             | 12,22        | 0,0013750  |
|                      |              |            | 27,4               | 3,49         | 0,0003500  | 98,0                             | 12,48        | 0,0014250  |
|                      |              |            | 28,2               | 3,59         | 0,0003500  | 100,2                            | 12,76        | 0,0014750  |
|                      |              |            | 29,0               | 3,69         | 0,0003750  | 102,0                            | 12,99        | 0,0015250  |
|                      |              |            | 29,8               | 3,79         | 0,0003750  | 104,4                            | 13,29        | 0,0015750  |
|                      |              |            | 31,0               | 3,95         | 0,0004000  | 106,0                            | 13,50        | 0,0016250  |
|                      |              |            | 32,2               | 4,10         | 0,0004000  | 108,0                            | 13,75        | 0,0016750  |
|                      |              |            | 33,4               | 4,25         | 0,0004250  | 110,2                            | 14,03        | 0,0017250  |
|                      |              |            | 34,6               | 4,41         | 0,0004500  | 112,0                            | 14,26        | 0,0018000  |
|                      |              |            | 35,6               | 4,53         | 0,0004500  | 114,2                            | 14,54        | 0,0018750  |
|                      |              |            | 36,6               | 4,66         | 0,0004750  | 116,0                            | 14,77        | 0,0019250  |
|                      |              |            | 37,6               | 4,79         | 0,0004750  | 118,2                            | 15,05        | 0,0020250  |
|                      |              |            | 38,6               | 4,91         | 0,0005000  | 120,0                            | 15,28        | 0,0021000  |
|                      |              |            | 39,6               | 5,04         | 0,0005000  | 122,0                            | 15,53        | 0,0022000  |
|                      |              |            | 41,6               | 5,30         | 0,0005250  | 124,0                            | 15,79        | 0,0023250  |
|                      |              |            | 44,0               | 5,60         | 0,0005500  | 126,0                            | 16,04        | 0,0024500  |
|                      |              |            | 46,0               | 5,86         | 0,0006000  | 128,0                            | 16,30        | 0,0026000  |
|                      |              |            | 48,0               | 6,11         | 0,0006250  | 130,0                            | 16,55        | 0,0028250  |
|                      |              |            | 50,4               | 6,42         | 0,0006500  | 131,4                            | 16,73        | 0,0034250  |
|                      |              |            | 52,2               | 6,65         | 0,0006750  |                                  |              |            |

| Argamassa - A2 (ii) |              |            |
|---------------------|--------------|------------|
| Carga (KN)          | Tensão (MPa) | Deformação |
| 1,0                 | 0,13         | 0,0000000  |
| 2,0                 | 0,25         | 0,0000000  |
| 3,0                 | 0,38         | 0,0000000  |
| 4,2                 | 0,53         | 0,0000250  |
| 5,0                 | 0,64         | 0,0000250  |
| 6,0                 | 0,76         | 0,0000500  |
| 6,8                 | 0,87         | 0,0000750  |
| 7,6                 | 0,97         | 0,0000750  |
| 8,4                 | 1,07         | 0,0000750  |
| 9,4                 | 1,20         | 0,0001000  |
| 10,2                | 1,30         | 0,0001000  |
| 11,4                | 1,45         | 0,0001000  |
| 12,0                | 1,53         | 0,0001250  |
| 13,2                | 1,68         | 0,0001500  |
| 14,4                | 1,83         | 0,0001750  |
| 15,8                | 2,01         | 0,0002000  |
| 17,2                | 2,19         | 0,0002250  |
| 18,6                | 2,37         | 0,0002500  |
| 21,2                | 2,70         | 0,0002750  |
| 23,2                | 2,95         | 0,0003000  |
| 25,2                | 3,21         | 0,0003500  |
| 27,4                | 3,49         | 0,0003750  |
| 29,4                | 3,74         | 0,0004250  |
| 32,0                | 4,07         | 0,0004750  |
| 34,2                | 4,35         | 0,0005250  |
| 36,2                | 4,61         | 0,0005750  |
| 38,2                | 4,86         | 0,0006500  |
| 40,0                | 5,09         | 0,0007000  |
| 42,2                | 5,37         | 0,0007750  |
| 44,0                | 5,60         | 0,0008500  |
| 46,2                | 5,88         | 0,0009500  |
| 47,8                | 6,09         | 0,0010500  |
| 50,0                | 6,37         | 0,0011750  |
| 52,0                | 6,62         | 0,0013250  |
| 54,0                | 6,88         | 0,0015250  |
| 56,0                | 7,13         | 0,0019000  |
| 57,2                | 7,28         | 0,0027000  |

## ANEXO C

Tabela 1 – Resultados dos ensaios das quadripletas para a 1ª combinação de B1A1 e pré-compressão

| Quadripleta          |   | Carga de Ruptura (kN) | Pré-compressão (kgf) | Tensão (MPa) |                |            |                |
|----------------------|---|-----------------------|----------------------|--------------|----------------|------------|----------------|
|                      |   |                       |                      | Área Líquida |                | Área Bruta |                |
| nº                   |   |                       |                      | Ruptura      | Pré-compressão | Ruptura    | Pré-compressão |
| B1A1 <sub>2</sub>    | 1 | 29,98                 | 0                    | 0,28         | 0              | 0,34       | 0              |
|                      | 2 | 15,64                 | 0                    | 0,15         | 0              | 0,17       | 0              |
|                      | 3 | 29,96                 | 0                    | 0,28         | 0              | 0,34       | 0              |
|                      | 4 | 21,24                 | 0                    | 0,20         | 0              | 0,24       | 0              |
| <b>Média (MPa)</b>   |   | 25,19                 | -                    | 0,24         | -              | 0,28       | -              |
| <b>Desvio Padrão</b> |   | 8,27                  | -                    | 0,08         | -              | 0,09       | -              |
| <b>CV (%)</b>        |   | 32,84                 | -                    | 32,84        | -              | 32,84      | -              |

Tabela 2 – Resultados dos ensaios das quadripletas para a 2ª combinação de B1A1 e pré-compressão

| Quadripleta          |   | Carga de Ruptura (kN) | Pré-compressão (kgf) | Tensão (MPa) |                |            |                |
|----------------------|---|-----------------------|----------------------|--------------|----------------|------------|----------------|
|                      |   |                       |                      | Área Líquida |                | Área Bruta |                |
| nº                   |   |                       |                      | Ruptura      | Pré-compressão | Ruptura    | Pré-compressão |
| B1A1 <sub>1</sub>    | 1 | 63,85                 | 5765,00              | 0,60         | 1,06           | 0,71       | 1,25           |
|                      | 2 | 69,50                 | 6065,00              | 0,65         | 1,11           | 0,78       | 1,32           |
|                      | 3 | 61,10                 | 5754,00              | 0,57         | 1,05           | 0,68       | 1,25           |
| <b>Média (MPa)</b>   |   | 64,82                 | 5861,33              | 0,61         | 1,07           | 0,73       | 1,27           |
| <b>Desvio Padrão</b> |   | 4,28                  | 176,47               | 0,04         | 0,03           | 0,05       | 0,04           |
| <b>CV (%)</b>        |   | 6,61                  | 3,01                 | 6,61         | 3,01           | 6,61       | 3,01           |

Tabela 3 – Resultados dos ensaios das quadripletas para a 3ª combinação de B1A1 e pré-compressão

| Quadripleta          |   | Carga de Ruptura (kN) | Pré-compressão (kgf) | Tensão (MPa) |                |            |                |
|----------------------|---|-----------------------|----------------------|--------------|----------------|------------|----------------|
|                      |   |                       |                      | Área Líquida |                | Área Bruta |                |
| nº                   |   |                       |                      | Ruptura      | Pré-compressão | Ruptura    | Pré-compressão |
| B1A1 <sub>2</sub>    | 1 | 120,74                | 10801,00             | 1,13         | 1,98           | 1,35       | 2,34           |
|                      | 2 | 105,82                | 10329,00             | 0,99         | 1,89           | 1,18       | 2,24           |
|                      | 3 | 112,70                | 9994,00              | 1,06         | 1,83           | 1,26       | 2,17           |
| <b>Média (MPa)</b>   |   | 113,09                | 10374,67             | 1,06         | 1,90           | 1,26       | 2,25           |
| <b>Desvio Padrão</b> |   | 7,47                  | 405,43               | 0,07         | 0,07           | 0,08       | 0,09           |
| <b>CV (%)</b>        |   | 6,60                  | 3,91                 | 6,60         | 3,91           | 6,60       | 3,91           |

Tabela 4 – Resultados dos ensaios das quadripletas para a 4ª combinação de B1A1 e pré-compressão

| Quadripleta          |    | Carga de Ruptura (kN) | Pré-compressão (kgf) | Tensão (MPa) |                |            |                |
|----------------------|----|-----------------------|----------------------|--------------|----------------|------------|----------------|
|                      |    |                       |                      | Área Líquida |                | Área Bruta |                |
| B1A1 <sub>3</sub>    | nº |                       |                      | Ruptura      | Pré-compressão | Ruptura    | Pré-compressão |
|                      |    | 1                     | 123,18               | 17893,00     | 1,16           | 3,28       | 1,38           |
|                      | 2  | 112,20                | 16268,00             | 1,05         | 2,98           | 1,26       | 3,53           |
| <b>Média (MPa)</b>   |    | 117,69                | 17080,50             | 1,11         | 3,13           | 1,32       | 3,71           |
| <b>Desvio Padrão</b> |    | 7,76                  | 1149,05              | 0,07         | 0,21           | 0,09       | 0,25           |
| <b>CV (%)</b>        |    | 6,60                  | 6,73                 | 6,60         | 6,73           | 6,60       | 6,73           |

Tabela 5 – Resultados dos ensaios das quadripletas para a 1ª combinação de B1A2 e pré-compressão

| Quadripleta          |    | Carga de Ruptura (kN) | Pré-compressão (kgf) | Tensão (MPa) |                |            |                |
|----------------------|----|-----------------------|----------------------|--------------|----------------|------------|----------------|
|                      |    |                       |                      | Área Líquida |                | Área Bruta |                |
| B1A2 <sub>2</sub>    | nº |                       |                      | Ruptura      | Pré-compressão | Ruptura    | Pré-compressão |
|                      |    | 1                     | 12,00                | 0            | 0,11           | 0          | 0,13           |
|                      | 2  | 11,40                 | 0                    | 0,11         | 0              | 0,13       | 0              |
|                      | 3  | 5,60                  | 0                    | 0,05         | 0              | 0,06       | 0              |
|                      | 4  | 5,35                  | 0                    | 0,05         | 0              | 0,06       | 0              |
| <b>Média (MPa)</b>   |    | 8,59                  | -                    | 0,08         | -              | 0,10       | -              |
| <b>Desvio Padrão</b> |    | 3,60                  | -                    | 0,03         | -              | 0,04       | -              |
| <b>CV (%)</b>        |    | 41,97                 | -                    | 41,97        | -              | 41,97      | -              |

Tabela 6 – Resultados dos ensaios das quadripletas para a 2ª combinação de B1A2 e pré-compressão

| Quadripleta          |    | Carga de Ruptura (kN) | Pré-compressão (kgf) | Tensão (MPa) |                |            |                |
|----------------------|----|-----------------------|----------------------|--------------|----------------|------------|----------------|
|                      |    |                       |                      | Área Líquida |                | Área Bruta |                |
| B1A2 <sub>1</sub>    | nº |                       |                      | Ruptura      | Pré-compressão | Ruptura    | Pré-compressão |
|                      |    | 1                     | 59,50                | 5979,00      | 0,56           | 1,10       | 0,67           |
|                      | 2  | 56,35                 | 5536,00              | 0,53         | 1,01           | 0,63       | 1,20           |
|                      | 3  | 69,15                 | 5815,00              | 0,65         | 1,07           | 0,77       | 1,26           |
| <b>Média (MPa)</b>   |    | 61,67                 | 5776,67              | 0,58         | 1,06           | 0,69       | 1,25           |
| <b>Desvio Padrão</b> |    | 6,67                  | 223,97               | 0,06         | 0,04           | 0,07       | 0,05           |
| <b>CV (%)</b>        |    | 10,82                 | 3,88                 | 10,82        | 3,88           | 10,82      | 3,88           |

Tabela 7 – Resultados dos ensaios das quadripletas para a 3ª combinação de B1A2 e pré-compressão

| Quadripleta          |    | Carga de Ruptura (kN) | Pré-compressão (kgf) | Tensão (MPa) |                |            |                |
|----------------------|----|-----------------------|----------------------|--------------|----------------|------------|----------------|
|                      |    |                       |                      | Área Líquida |                | Área Bruta |                |
| B1A2 <sub>1</sub>    | nº |                       |                      | Ruptura      | Pré-compressão | Ruptura    | Pré-compressão |
|                      |    | 1                     | 96,74                | 10734,00     | 0,91           | 1,97       | 1,08           |
|                      | 2  | 80,72                 | 10925,00             | 0,76         | 2,00           | 0,90       | 2,37           |
|                      | 3  | 109,72                | 10667,00             | 1,03         | 1,95           | 1,23       | 2,31           |
| <b>Média (MPa)</b>   |    | 95,73                 | 10775,33             | 0,90         | 1,97           | 1,07       | 2,34           |
| <b>Desvio Padrão</b> |    | 14,53                 | 133,87               | 0,14         | 0,02           | 0,16       | 0,03           |
| <b>CV (%)</b>        |    | 15,18                 | 1,24                 | 15,18        | 1,24           | 15,18      | 1,24           |

Tabela 8 – Resultados dos ensaios das quadripletas para a 4ª combinação de B1A2 e pré-compressão

| Quadripleta          |    | Carga de Ruptura (kN) | Pré-compressão (kgf) | Tensão (MPa) |                |            |                |
|----------------------|----|-----------------------|----------------------|--------------|----------------|------------|----------------|
|                      |    |                       |                      | Área Líquida |                | Área Bruta |                |
|                      |    |                       |                      | Ruptura      | Pré-compressão | Ruptura    | Pré-compressão |
| B1A2 <sub>3</sub>    | nº |                       |                      |              |                |            |                |
|                      | 1  | 79,66                 | 10805,00             | 0,75         | 1,98           | 0,89       | 2,34           |
|                      | 2  | 79,42                 | 10598,00             | 0,75         | 1,94           | 0,89       | 2,30           |
|                      | 3  | 75,44                 | 10784,00             | 0,71         | 1,98           | 0,84       | 2,34           |
| <b>Média (MPa)</b>   |    | 78,17                 | 10729,00             | 0,73         | 1,97           | 0,87       | 2,33           |
| <b>Desvio Padrão</b> |    | 2,37                  | 113,93               | 0,02         | 0,02           | 0,03       | 0,02           |
| <b>CV (%)</b>        |    | 3,03                  | 1,06                 | 3,03         | 1,06           | 3,03       | 1,06           |

Tabela 9 – Resultados dos ensaios das quadripletas para a 1ª combinação de B1A3 e pré-compressão

| Quadripleta          |    | Carga de Ruptura (kN) | Pré-compressão (kgf) | Tensão (MPa) |                |            |                |
|----------------------|----|-----------------------|----------------------|--------------|----------------|------------|----------------|
|                      |    |                       |                      | Área Líquida |                | Área Bruta |                |
|                      |    |                       |                      | Ruptura      | Pré-compressão | Ruptura    | Pré-compressão |
| B1A3 <sub>2</sub>    | nº |                       |                      |              |                |            |                |
|                      | 1  | 6,92                  | 0                    | 0,07         | 0              | 0,08       | 0              |
|                      | 2  | 5,76                  | 0                    | 0,05         | 0              | 0,06       | 0              |
|                      | 3  | 3,44                  | 0                    | 0,03         | 0              | 0,04       | 0              |
| <b>Média (MPa)</b>   |    | 5,37                  | -                    | 0,05         | -              | 0,06       | -              |
| <b>Desvio Padrão</b> |    | 1,77                  | -                    | 0,02         | -              | 0,02       | -              |
| <b>CV (%)</b>        |    | 32,98                 | -                    | 32,98        | -              | 32,98      | -              |

Tabela 10 – Resultados dos ensaios das quadripletas para a 2ª combinação de B1A3 e pré-compressão

| Quadripleta          |    | Carga de Ruptura (kN) | Pré-compressão (kgf) | Tensão (MPa) |                |            |                |
|----------------------|----|-----------------------|----------------------|--------------|----------------|------------|----------------|
|                      |    |                       |                      | Área Líquida |                | Área Bruta |                |
|                      |    |                       |                      | Ruptura      | Pré-compressão | Ruptura    | Pré-compressão |
| B1A3 <sub>1</sub>    | nº |                       |                      |              |                |            |                |
|                      | 1  | 45,82                 | 5510,00              | 0,43         | 1,01           | 0,51       | 1,20           |
|                      | 2  | 46,24                 | 5593,00              | 0,43         | 1,02           | 0,52       | 1,21           |
|                      | 3  | 46,85                 | 5765,00              | 0,44         | 1,06           | 0,52       | 1,25           |
| <b>Média (MPa)</b>   |    | 46,30                 | 5622,67              | 0,44         | 1,03           | 0,52       | 1,22           |
| <b>Desvio Padrão</b> |    | 0,52                  | 130,06               | 0,00         | 0,02           | 0,01       | 0,03           |
| <b>CV (%)</b>        |    | 1,12                  | 2,31                 | 1,12         | 2,31           | 1,12       | 2,31           |

Tabela 11 – Resultados dos ensaios das quadripletas para a 3ª combinação de B1A3 e pré-compressão

| Quadripleta          |    | Carga de Ruptura (kN) | Pré-compressão (kgf) | Tensão (MPa) |                |            |                |
|----------------------|----|-----------------------|----------------------|--------------|----------------|------------|----------------|
|                      |    |                       |                      | Área Líquida |                | Área Bruta |                |
|                      |    |                       |                      | Ruptura      | Pré-compressão | Ruptura    | Pré-compressão |
| B1A3 <sub>3</sub>    | nº |                       |                      |              |                |            |                |
|                      | 1  | 79,40                 | 10800,00             | 0,75         | 1,98           | 0,89       | 2,34           |
|                      | 2  | 78,16                 | 10998,00             | 0,73         | 2,01           | 0,87       | 2,39           |
|                      | 3  | 70,16                 | 10607,00             | 0,66         | 1,94           | 0,78       | 2,30           |
| <b>Média (MPa)</b>   |    | 75,91                 | 10801,67             | 0,71         | 1,98           | 0,85       | 2,34           |
| <b>Desvio Padrão</b> |    | 5,02                  | 195,51               | 0,05         | 0,04           | 0,06       | 0,04           |
| <b>CV (%)</b>        |    | 6,61                  | 1,81                 | 6,61         | 1,81           | 6,61       | 1,81           |

Tabela 12 – Resultados dos ensaios das quadripletas para a 1ª combinação de B2A2 e pré-compressão

| Quadripleta          |    | Carga de Ruptura (kN) | Pré-compressão (kgf) | Tensão (MPa) |                |            |                |
|----------------------|----|-----------------------|----------------------|--------------|----------------|------------|----------------|
|                      |    |                       |                      | Área Líquida |                | Área Bruta |                |
|                      | nº |                       |                      | Ruptura      | Pré-compressão | Ruptura    | Pré-compressão |
| B2A2 <sub>2</sub>    | 1  | 14,20                 | 0                    | 0,13         | 0              | 0,18       | 0              |
|                      | 2  | 11,90                 | 0                    | 0,11         | 0              | 0,15       | 0              |
|                      | 3  | 10,75                 | 0                    | 0,10         | 0              | 0,14       | 0              |
|                      | 4  | 9,85                  | 0                    | 0,09         |                | 0,13       |                |
| <b>Média (MPa)</b>   |    | 11,68                 | -                    | 0,11         | -              | 0,15       | -              |
| <b>Desvio Padrão</b> |    | 1,88                  | -                    | 0,02         | -              | 0,02       | -              |
| <b>CV (%)</b>        |    | 16,11                 | -                    | 16,11        | -              | 16,11      | -              |

Tabela 13 – Resultados dos ensaios das quadripletas para a 2ª combinação de B2A2 e pré-compressão

| Quadripleta          |    | Carga de Ruptura (kN) | Pré-compressão (kgf) | Tensão (MPa) |                |            |                |
|----------------------|----|-----------------------|----------------------|--------------|----------------|------------|----------------|
|                      |    |                       |                      | Área Líquida |                | Área Bruta |                |
|                      | nº |                       |                      | Ruptura      | Pré-compressão | Ruptura    | Pré-compressão |
| B2A2 <sub>4</sub>    | 1  | 51,50                 | 5598,00              | 0,48         | 1,02           | 0,66       | 1,38           |
|                      | 2  | 53,72                 | 5716,00              | 0,50         | 1,04           | 0,69       | 1,41           |
|                      | 3  | 56,35                 | 5873,00              | 0,53         | 1,07           | 0,72       | 1,45           |
|                      | 4  | 45,20                 | 5651,00              | 0,42         | 1,03           | 0,58       | 1,39           |
| <b>Média (MPa)</b>   |    | 53,86                 | 5729,00              | 0,50         | 1,04           | 0,69       | 1,41           |
| <b>Desvio Padrão</b> |    | 2,43                  | 137,96               | 0,02         | 0,03           | 0,03       | 0,03           |
| <b>CV (%)</b>        |    | 4,51                  | 2,41                 | 4,51         | 2,41           | 4,51       | 2,41           |

Tabela 14 – Resultados dos ensaios das quadripletas para a 3ª combinação de B2A2 e pré-compressão

| Quadripleta          |    | Carga de Ruptura (kN) | Pré-compressão (kgf) | Tensão (MPa) |                |            |                |
|----------------------|----|-----------------------|----------------------|--------------|----------------|------------|----------------|
|                      |    |                       |                      | Área Líquida |                | Área Bruta |                |
|                      | nº |                       |                      | Ruptura      | Pré-compressão | Ruptura    | Pré-compressão |
| B2A2 <sub>3</sub>    | 1  | 88,12                 | 10621,00             | 0,82         | 1,93           | 1,12       | 2,62           |
|                      | 2  | 102,34                | 10622,00             | 0,96         | 1,93           | 1,31       | 2,62           |
|                      | 3  | 80,40                 | 10246,00             | 0,75         | 1,87           | 1,03       | 2,52           |
|                      | 4  | 94,16                 | 10177,00             | 0,88         | 1,85           | 1,20       | 2,51           |
| <b>Média (MPa)</b>   |    | 91,26                 | 10416,50             | 0,85         | 1,90           | 1,16       | 2,57           |
| <b>Desvio Padrão</b> |    | 9,29                  | 238,38               | 0,09         | 0,04           | 0,12       | 0,06           |
| <b>CV (%)</b>        |    | 10,18                 | 2,29                 | 10,18        | 2,29           | 10,18      | 2,29           |

Tabela 15 – Resultados dos ensaios das quadripletas para a 1ª combinação de B2A3 e pré-compressão

| Quadripleta          |    | Carga de Ruptura (kN) | Pré-compressão (kgf) | Tensão (MPa) |                |            |                |
|----------------------|----|-----------------------|----------------------|--------------|----------------|------------|----------------|
|                      |    |                       |                      | Área Líquida |                | Área Bruta |                |
|                      | nº |                       |                      | Ruptura      | Pré-compressão | Ruptura    | Pré-compressão |
| B2A3 <sub>2</sub>    | 1  | 6,90                  | 0                    | 0,06         | 0              | 0,09       | 0              |
|                      | 2  | 9,36                  | 0                    | 0,09         | 0              | 0,12       | 0              |
|                      | 3  | 7,15                  | 0                    | 0,07         | 0              | 0,09       | 0              |
| <b>Média (MPa)</b>   |    | 7,80                  | -                    | 0,07         | -              | 0,10       | -              |
| <b>Desvio Padrão</b> |    | 1,35                  | -                    | 0,01         | -              | 0,02       | -              |
| <b>CV (%)</b>        |    | 17,35                 | -                    | 17,35        | -              | 17,35      | -              |

Tabela 16 – Resultados dos ensaios das quadripletas para a 2ª combinação de B2A3 e pré-compressão

| Quadripleta          |    | Carga de Ruptura (kN) | Pré-compressão (kgf) | Tensão (MPa) |                |            |                |
|----------------------|----|-----------------------|----------------------|--------------|----------------|------------|----------------|
|                      |    |                       |                      | Área Líquida |                | Área Bruta |                |
|                      | nº |                       |                      | Ruptura      | Pré-compressão | Ruptura    | Pré-compressão |
| B2A3 <sub>4</sub>    | 1  | 53,56                 | 5564,00              | 0,50         | 1,01           | 0,68       | 1,37           |
|                      | 2  | 54,14                 | 5728,00              | 0,51         | 1,04           | 0,69       | 1,41           |
|                      | 3  | 52,10                 | 5628,00              | 0,49         | 1,03           | 0,66       | 1,39           |
| <b>Média (MPa)</b>   |    | 53,27                 | 5640,00              | 0,50         | 1,03           | 0,68       | 1,39           |
| <b>Desvio Padrão</b> |    | 1,05                  | 82,66                | 0,01         | 0,02           | 0,01       | 0,02           |
| <b>CV (%)</b>        |    | 1,97                  | 1,47                 | 1,97         | 1,47           | 1,97       | 1,47           |

Tabela 17 – Resultados dos ensaios das quadripletas para a 3ª combinação de B2A3 e pré-compressão

| Quadripleta          |    | Carga de Ruptura (kN) | Pré-compressão (kgf) | Tensão (MPa) |                |            |                |
|----------------------|----|-----------------------|----------------------|--------------|----------------|------------|----------------|
|                      |    |                       |                      | Área Líquida |                | Área Bruta |                |
|                      | nº |                       |                      | Ruptura      | Pré-compressão | Ruptura    | Pré-compressão |
| B2A3 <sub>3</sub>    | 1  | 71,38                 | 10797,00             | 0,67         | 1,97           | 0,91       | 2,66           |
|                      | 2  | 73,32                 | 11054,00             | 0,69         | 2,01           | 0,94       | 2,72           |
|                      | 3  | 83,60                 | 10180,00             | 0,78         | 1,85           | 1,07       | 2,51           |
|                      | 4  | 73,30                 | 10985,00             | 0,69         | 2,00           | 0,93       | 2,71           |
| <b>Média (MPa)</b>   |    | 75,40                 | 10754,00             | 0,70         | 1,96           | 0,96       | 2,65           |
| <b>Desvio Padrão</b> |    | 5,54                  | 397,78               | 0,05         | 0,07           | 0,07       | 0,10           |
| <b>CV (%)</b>        |    | 7,35                  | 3,70                 | 7,35         | 3,70           | 7,35       | 3,70           |

## ANEXO D

Tabela 1 - Análise de variância da influência da pré-compressão na resistência ao cisalhamento para tripletas B1A1

| Pré-compressão (MPa) – área líquida |      |      |      | F      | F <sub>crit</sub> | Conclusão |
|-------------------------------------|------|------|------|--------|-------------------|-----------|
| 0                                   | 1,27 | 2,30 | 3,60 |        |                   |           |
| X                                   | X    | X    | X    | 138,02 | 4,07              | ≠         |
| X                                   | X    |      |      | 76,29  | 6,61              | ≠         |
| X                                   |      | X    |      | 255,42 | 6,61              | ≠         |
| X                                   |      |      | X    | 227,62 | 7,71              | ≠         |
|                                     | X    | X    |      | 91,24  | 7,71              | ≠         |
|                                     | X    |      | X    | 108,10 | 10,13             | ≠         |
|                                     |      | X    | X    | 0,53   | 10,13             | não é ≠   |

Tabela 2 - Análise de variância da influência da pré-compressão na resistência ao cisalhamento para tripletas B1A2

| Pré-compressão (MPa) – área líquida |      |      | F      | F <sub>crit</sub> | Conclusão |
|-------------------------------------|------|------|--------|-------------------|-----------|
| 0                                   | 1,27 | 2,30 |        |                   |           |
| X                                   | X    | X    | 72,42  | 4,10              | ≠         |
| X                                   | X    |      | 188,78 | 6,61              | ≠         |
| X                                   |      | X    | 126,18 | 5,32              | ≠         |
|                                     | X    | X    | 9,09   | 5,59              | ≠         |

Tabela 3 - Análise de variância da influência da pré-compressão na resistência ao cisalhamento para tripletas B1A3

| Pré-compressão (MPa) – área líquida |      |      | F       | F <sub>crit</sub> | Conclusão |
|-------------------------------------|------|------|---------|-------------------|-----------|
| 0                                   | 1,23 | 2,30 |         |                   |           |
| X                                   | X    | X    | 363,22  | 5,13              | ≠         |
| X                                   | X    |      | 1443,77 | 7,71              | ≠         |
| X                                   |      | X    | 484,31  | 7,71              | ≠         |
|                                     | X    | X    | 94,24   | 7,71              | ≠         |



Tabela 4 - Análise de variância da influência da pré-compressão na resistência ao cisalhamento para tripletas B2A2

| Pré-compressão (MPa) – área líquida |      |      | F      | F <sub>crit</sub> | Conclusão |
|-------------------------------------|------|------|--------|-------------------|-----------|
| 0                                   | 1,40 | 2,60 |        |                   |           |
| X                                   | X    | X    | 168,84 | 4,26              | ≠         |
| X                                   | X    |      | 244,47 | 5,99              | ≠         |
| X                                   |      | X    | 281,90 | 5,99              | ≠         |
|                                     | X    | X    | 57,44  | 5,99              | ≠         |

Tabela 5 - Análise de variância da influência da pré-compressão na resistência ao cisalhamento para tripletas B2A3

| Pré-compressão (MPa) – área líquida |      |      | F       | F <sub>crit</sub> | Conclusão |
|-------------------------------------|------|------|---------|-------------------|-----------|
| 0                                   | 1,40 | 2,60 |         |                   |           |
| X                                   | X    | X    | 283,22  | 4,74              | ≠         |
| X                                   | X    |      | 2110,56 | 7,71              | ≠         |
| X                                   |      | X    | 408,81  | 6,61              | ≠         |
|                                     | X    | X    | 44,51   | 6,61              | ≠         |

Tabela 6 - Análise de variância da influência da argamassa na resistência ao cisalhamento para tripletas com bloco B1 e pré-compressão

| Pré-compressão (MPa)<br>Área líquida | Argamassa |    |    | F     | F <sub>crit</sub> | Conclusão |
|--------------------------------------|-----------|----|----|-------|-------------------|-----------|
|                                      | A1        | A2 | A3 |       |                   |           |
| 0                                    | X         | X  | X  | 18,85 | 4,26              | ≠         |
|                                      | X         | X  |    | 15,60 | 5,99              | ≠         |
|                                      | X         |    | X  | 27,48 | 5,99              | ≠         |
|                                      |           | X  | X  | 2,75  | 5,99              | não é ≠   |
| ≈ 1,25                               | X         | X  | X  | 14,18 | 5,14              | ≠         |
|                                      | X         | X  |    | 0,47  | 7,71              | não é ≠   |
|                                      | X         |    | X  | 55,94 | 7,71              | ≠         |
|                                      |           | X  | X  | 16,06 | 7,71              | ≠         |
| ≈ 2,30                               | X         | X  | X  | 26,16 | 5,14              | ≠         |
|                                      | X         | X  |    | 20,66 | 7,71              | ≠         |
|                                      | X         |    | X  | 48,83 | 7,71              | ≠         |
|                                      |           | X  | X  | 5,61  | 7,71              | não é ≠   |

Tabela 7- Análise de variância da influência da argamassa na resistência ao cisalhamento para tripletas com bloco B2 e pré-compressão

| Pré-compressão –<br>área líquida (MPa) | Argamassa |    | F    | F <sub>crit</sub> | Conclusão |
|--|-----------|----|------|-------------------|-----------|
|  | A2        | A3 |      |                   |           |
| 0                                      | X         | X  | 9,00 | 6,61              | ≠         |
| 1,40                                   | X         | X  | 0,30 | 6,61              | não é ≠   |
| 2,60                                   | X         | X  | 5,48 | 6,61              | não é ≠   |

Tabela 8 - Análise de variância da influência do bloco na resistência ao cisalhamento para tripletas com argamassa A2 e pré-compressão

| Pré-compressão –<br>área bruta (MPa) | Tripleta |      | F    | F <sub>crit</sub> | Conclusão |
|--------------------------------------|----------|------|------|-------------------|-----------|
|                                      | B1A2     | B2A2 |      |                   |           |
| 0                                    | X        | X    | 2,03 | 5,99              | não é ≠   |
| 1,05                                 | X        | X    | 5,71 | 6,61              | não é ≠   |
| 1,95                                 | X        | X    | 0,22 | 5,32              | não é ≠   |

Tabela 9 - Análise de variância da influência do bloco na resistência ao cisalhamento para tripletas com argamassa A3 e pré-compressão

| Pré-compressão –<br>área bruta (MPa) | Tripleta |      | F    | F <sub>crit</sub> | Conclusão |
|--------------------------------------|----------|------|------|-------------------|-----------|
|                                      | B1A3     | B2A3 |      |                   |           |
| 0                                    | X        | X    | 2,58 | 7,71              | não é ≠   |
| 1,03                                 | X        | X    | 100  | 7,71              | ≠         |
| 1,97                                 | X        | X    | 0,03 | 6,61              | não é ≠   |

Tabela 1 – Dados de entrada para a análise de variância na regressão

| Resistência à compressão do Bloco na área liq. (MPa) | Resistência à compressão da Argamassa (MPa) | Tensão na área líquida (MPa) |                         |
|--|---|------------------------------|-------------------------|
|  |   | 3.1.1.1.1 Pré-compressão     | Ruptura ao cisalhamento |
| 23,15  | 12,64                                       | 0,00                         | 0,28                    |
| 23,15  | 14,98                                       | 1,27                         | 0,73                    |
| 23,15  | 12,64                                       | 2,25                         | 1,26                    |
| 23,15  | 14,58                                       | 3,71                         | 1,32                    |
| 23,15  | 7,86  | 0,00                         | 0,10                    |
| 23,15  | 7,90  | 1,25                         | 0,69                    |
| 23,15  | 7,90  | 2,34                         | 1,07                    |
| 23,15  | 7,06  | 2,33                         | 0,87                    |
| 23,15  | 5,13  | 0,00                         | 0,06                    |
| 23,15  | 4,91  | 1,22                         | 0,52                    |
| 23,15  | 4,62  | 2,34                         | 0,85                    |
| 12,29  | 7,86  | 0,00                         | 0,15                    |
| 12,29  | 8,15  | 1,41                         | 0,69                    |
| 12,29  | 7,06  | 2,57                         | 1,16                    |
| 12,29  | 5,13  | 0,00                         | 0,10                    |
| 12,29  | 4,91  | 1,39                         | 0,68                    |
| 12,29  | 4,62  | 2,65                         | 0,96                    |

## RESUMO DOS RESULTADOS

| <i>Estatística de regressão</i> |             |
|---------------------------------|-------------|
| R múltiplo                      | 0,968440664 |
| R-Quadrado                      | 0,93787732  |
| R-quadrado ajustado             | 0,923541316 |
| Erro padrão                     | 0,115632039 |
| Observações                     | 17          |

## ANOVA

|           | <i>gl</i> | <i>SQ</i>   | <i>MQ</i>   | <i>F</i>    | <i>F de significação</i> |
|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|--------------------------|
| Regressão | 3         | 2,624191774 | 0,874730591 | 65,42111554 | 0,000000042              |
| Resíduo   | 13        | 0,173819991 | 0,013370769 |             |                          |
| Total     | 16        | 2,798011765 |             |             |                          |

|                  | <i>Coefficientes</i> | <i>Erro padrão</i> | <i>Stat t</i> | <i>valor-P</i>      | <i>95% inferiores</i> | <i>95% superiores</i> | <i>Inferior 95.0%</i> | <i>Superior 95.0%</i> |
|------------------|----------------------|--------------------|---------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Interseção       | <b>0,088983915</b>   | 0,114241895        | 0,778907904   | 0,449980621         | -0,15782              | 0,33579               | -0,157820646          | 0,335788476           |
| <b>BLOCO</b>     | <b>-0,003434167</b>  | 0,005891138        | -0,58293775   | <b>0,5699095897</b> | <b>-0,01616</b>       | <b>0,00929</b>        | -0,016161194          | 0,00929286            |
| <b>ARGAMASSA</b> | <b>0,020271526</b>   | 0,009135184        | 2,219060588   | <b>0,0448963565</b> | <b>0,00054</b>        | <b>0,04001</b>        | 0,000536165           | 0,040006887           |
| <b>PRÉ-COMP.</b> | <b>0,335970981</b>   | 0,025354634        | 13,25087068   | <b>0,0000000063</b> | <b>0,28120</b>        | <b>0,39075</b>        | 0,281195634           | 0,390746328           |