



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**DESEMPENHO ESTRUTURAL DE BLOCOS, PRIMAS, MINI-PAREDES E  
PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL CONFECCIONADAS COM BLOCOS  
CERÂMICOS PRODUZIDOS A PARTIR DA MISTURA DE LAMA VERMELHA  
COM ARGILA**

**ENGº CIVIL DIOGO HENRIQUE PEREIRA E COSTA**

Belém/PA  
2014

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**DESEMPENHO ESTRUTURAL DE BLOCOS, PRIMAS, MINI-PAREDES E  
PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL CONFECCIONADAS COM BLOCOS  
CERÂMICOS PRODUZIDOS A PARTIR DA MISTURA DE LAMA VERMELHA  
COM ARGILA**

**ENGº CIVIL DIOGO HENRIQUE PEREIRA E COSTA**

Belém/PA  
2014



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**DESEMPENHO ESTRUTURAL DE BLOCOS, PRIMAS, MINI-PAREDES E  
PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL CONFECCIONADAS COM BLOCOS  
CERÂMICOS PRODUZIDOS A PARTIR DA MISTURA DE LAMA VERMELHA  
COM ARGILA**

**ENGº CIVIL DIOGO HENRIQUE PEREIRA E COSTA**

Projeto de Dissertação submetido ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Alcebíades Negrão Macêdo

Belém/PA  
2014



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**DESEMPENHO ESTRUTURAL DE BLOCOS, PRIMAS, MINI-PAREDES E  
PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL CONFECCIONADAS COM BLOCOS  
CERÂMICOS PRODUZIDOS A PARTIR DA MISTURA DE LAMA VERMELHA  
COM ARGILA**

**ENGº CIVIL DIOGO HENRIQUE PEREIRA E COSTA**

Aprovado em.....de.....de.....

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof. Dr. Alcebíades Negrão Macêdo (Orientador - UFPA)

---

Prof. Dr. Ronaldson José de França Mendes Carneiro (Examinador Interno - UFPA)

---

Prof. Dr. Bernardo Nunes Moraes Neto (Examinador Interno – UFPA/UnB)

---

Prof. Dr. José Márcio Fonseca Calixto (Examinador Externo - UFMG)

## ***FICHA CATALOGRÁFICA***

**COSTA, DIOGO HENRIQUE PEREIRA**

Desempenho estrutural de blocos, primas, mini-paredes e paredes de alvenaria estrutural confeccionadas com blocos cerâmicos produzidos a partir da mistura de lama vermelha com argila.

Belém, Pará, 2014.

Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. Faculdade de Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

1. Bloco. 2. Lama Vermelha. 3. Alvenaria Estrutural

I. PPGEC/ UFPA. II. Título

Dedico este trabalho a minha filha  
Ana Livia, que seus olhares e sorrisos me  
dão coragem e força todos os dias.

A minha querida avó Maria Luiza (*in memoriam*),  
que como uma mãe, me ensinou a nunca  
desistir dos meus sonhos.

## AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me conduzido por todo o caminho, com sua infinita sabedoria.

A minha esposa Josiane e a minha filha Ana Lívia por toda força nos momentos mais difíceis, amor e principalmente paciência.

Aos meus pais Eduardo e Elizabeth, por todos os conselhos, incentivos, suporte, amor e carinho nesta minha trajetória.

Ao meu orientador, professor e exemplo a ser seguido Alcebíades Negrão Macêdo, que desde o início deu-nos atenção maior, pelos ensinamentos, dedicação e orientação deste trabalho de dissertação, assim como pela confiança em mim depositada. Pelas cobranças da evolução deste trabalho, dedicando suas horas livres na discussão de métodos e seus resultados. Por tudo que faz um autêntico Engenheiro, e pela amizade constantemente cultivada.

Aos professores Ronaldson Carneiro, Maurício Ferreira e Dênio Ramam, pelos conhecimentos transmitidos, disponibilidade e interesses prestados. Bem como pelas sugestões valiosas durante este trabalho.

Aos amigos da UFPA e do GAEMA, pelo esforço e amizade, em especial ao: Sandro Trindade, Aarão Ferreira, Agleilson Borges, Leandro Queiroz, Leonyce Santos, Mikhail Luczynski, pela participação nos ensaios e intelectual durante todo o desenvolvimento da dissertação.

Aos técnicos do Laboratório de Engenharia Civil pela disponibilidade na realização dos ensaios de caracterização dos materiais.

Aos funcionários do Laboratório de Engenharia Civil, Marli e Cleide.

Ao PPGEC e a FAPESPA pelo apoio financeiro para realização desta e outras pesquisas na Universidade Federal do Pará.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão de mais uma etapa de minha vida.

## SUMÁRIO

Item	Página
<b>SUMÁRIO</b> .....	viii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	xi
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xiv
<b>LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS</b> .....	xvii
<b>RESUMO</b> .....	xix
<b>ABSTRACT</b> .....	xx

### CAPÍTULO I

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 ALVENARIA.....	1
1.2 JUSTIFICATIVAS.....	2
1.3 OBJETIVOS .....	5
1.3.1 Objetivos Específicos .....	5
1.4 METODOLOGIA ABORDADA .....	6
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	6

### CAPÍTULO II

<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>7</b>
2.1 INTRODUÇÃO.....	7
2.2 MATERIAIS, COMPONENTES E ELEMENTOS DA ALVENARIA ESTRUTURAL .....	9
2.2.1 Unidade .....	10
2.2.1.1 Unidade cerâmica.....	12
2.2.1.2 Efeitos do processo de fabricação no desempenho mecânico do bloco.....	14
2.2.2 Argamassa de assentamento.....	16
2.2.2.1 Definições e funções.....	16
2.2.2.2 Propriedades das argamassas.....	18
2.2.2.3 Classificação das argamassas.....	20
2.2.2.4 Materiais constituintes das argamassas mistas.....	25
2.2.3 Prisma.....	29
2.2.4 Mini-paredes.....	32
2.2.5 Paredes .....	35



2.3	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NA ALVENARIA .....	36
2.3.1	Modelos de ruptura.....	36
2.3.2	Equações propostas para determinas a resistência da alvenaria.....	40
2.4	FATORES QUE INFLUENCIAM A RESISTÊNCIA DA ALVENARIA.....	44
2.4.1	Espessura da junta da argamassa.....	44
2.4.2	Tipo de assentamento da argamassa.....	46
2.4.3	Tipo de capeamento .....	47
2.4.4	Geometria do bloco .....	47
2.4.5	Índice de absorção inicial .....	48
2.4.6	Resistência à compressão do bloco .....	49
2.4.7	Resistência à compressão da argamassa.....	50
2.4.8	Fator de eficiência .....	56
2.4.9	Módulo de elasticidade.....	60
2.5	ASPECTOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS DA ALVENARIA ESTRUTURAL.....	66
2.5.1	Principais fatores a serem considerados para a adoção do sistema.....	67
2.5.2	Principais pontos positivosdo sistema.....	68
2.5.3	Principais pontos negativos do sistema.....	69
2.6	PROCESSO BAYER.....	71
2.7	LAMA VERMELHA.....	72

### **CAPÍTULO III**

<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA DA PESQUISA.....</b>	<b>74</b>
3.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	74
3.2	MATERIAIS .....	74
3.2.1	Lama vermelha .....	75
3.2.1.1	Utilização da lama vermelha em produtos cerâmicos.....	77
3.2.1.2	Armazenamento da lama vermelha.....	80
3.2.1.3	Mistura lama vermelha e argila.....	80
3.2.2	Blocos estruturais .....	82
3.2.2.1	Bloco reticulado.....	82
3.2.2.2	Bloco circular.....	83
3.2.2.2.1	Características da geometria do bloco circular .....	84
3.2.2.2.2	Produção dos blocos .....	85
3.2.2.3	Ensaios.....	87

3.2.3	Argamassa de assentamento.....	91
3.3	ELEMENTOS.....	92
3.3.1	Prismas .....	92
3.3.2	Mini-paredes.....	94
3.3.3	Paredes .....	97

## **CAPÍTULO IV**

<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E ANÁLISES .....</b>	<b>101</b>
4.1	INTRODUÇÃO.....	101
4.2	RESULTADOS E ANÁLISES DOS ENSAIOS DOS BLOCOS .....	101
4.2.1	Resultados dos blocos estruturais 100% argila .....	101
4.2.2	Resultados dos blocos estruturais com adição de LV .....	105
4.2.3	Análise dos blocos.....	109
4.3	RESULTADOS E ANÁLISES DA ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO.....	113
4.4	RESULTADOS E ANÁLISES DOS PRISMAS .....	113
4.5	RESULTADOS E ANÁLISES DAS MINI-PAREDES .....	116
4.6	RESULTADOS E ANÁLISES DAS PAREDES .....	125

## **CAPÍTULO V**

<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>134</b>
5.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	134
5.2	CONCLUSÕES.....	134
5.3	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	137
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>138</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
Figura 2.1 – Parede, pilar, vergas e contra vergas.....	10
Figura 2.2 – Tijolo de vedação e bloco estrutural cerâmico .....	11
Figura 2.3 – Exemplo de família de blocos cerâmicos .....	14
Figura 2.4 – Classificação geral das argamassas (SOLÓZARNO, 1994).....	25
Figura 2.5 – Modelos de prismas que podem ser utilizados experimentalmente.....	31
Figura 2.6 – Modelo de mini-parede utilizada experimentalmente .....	34
Figura 2.7 – Modelo de parede utilizada experimentalmente, NBR 8949 (ABNT, 1985a).....	35
Figura 2.8 – Distribuição de tensões no prisma, conforme Hilsdorf.....	37
Figura 2.9 – Relação entre as tensões de compressão e tração em um bloco ou tijolo, na ruptura Fonte: GOMES (1983, p.68).....	37
Figura 2.10 – Distribuição de tensões segundo Atkinson e Noland.....	38
Figura 2.11 – Deformação lateral dos blocos e argamassa de assentamento submetidos à compressão Simples, Fonte: GOMES (1983, p.75).....	40
Figura 2.12 – Argamassamento parcial e total .....	46
Figura 2.13 – Comparativo da resistência de prismas e blocos Fonte: (BS 5682 : 1978, adaptada).....	49
Figura 2.14 – Resistência à compressão simples de blocos, argamassas e prismas Fonte: MOHAMAD (1998, p. 18).....	54
Figura 2.15 – Diagrama tensão – deformação de alvenaria à compressão.....	63
Figura 2.16 – Fluxograma processo Bayer – Alunorte .....	72
Figura 3.1 – Diafração de raios – X da argila e LV “in natura” (VIEIRA, 2008).....	78
Figura 3.2 – Disposição da lama vermelha na Cerâmica Barbosa .....	80
Figura 3.3 – Mistura dos materiais com a pá mecânica .....	81
Figura 3.4 – Geometria do bloco cerâmico estrutural padrão reticulado utilizado .....	82
Figura 3.5 – Geometria do bloco cerâmico estrutural padrão circular utilizado.....	83
Figura 3.6 – Boquilha utilizada, desenvolvida por GOUVEIA (2006).....	85
Figura 3.7 – Extrusora da marca VERDÉS .....	85
Figura 3.8 – Fluxograma do processo de produção dos blocos .....	86
Figura 3.9 – Ensaio dimensionais.....	88
Figura 3.10 – Ensaio absorção d’água .....	89
Figura 3.11 – Ensaio de compressão dos blocos.....	90

Figura 3.12 – Prismas utilizados para ensaio .....	92
Figura 3.13 – Modelagem dos prismas .....	93
Figura 3.14 – Esquema de ensaio dos prismas .....	93
Figura 3.15 – Mini-paredes utilizadas para ensaio.....	94
Figura 3.16 – Modelagem das mini-paredes .....	95
Figura 3.17 – Esquema de ensaio à compressão das mini-paredes .....	96
Figura 3.18 – Ensaio à compressão das mini-paredes.....	96
Figura 3.19 – Esquema de posicionamento dos defletômetros digitais, mini-paredes .....	97
Figura 3.20 – Paredes utilizadas para ensaio.....	98
Figura 3.21 – Processo de modelagem das paredes .....	98
Figura 3.22 – Esquema de ensaio das paredes .....	99
Figura 3.23 – Ensaio à compressão das paredes .....	100
Figura 3.24 – Esquema de posicionamento dos defletômetros digitais das paredes.....	100
Figura 4.1 – Média dos resultados dos índices de absorção d’água dos blocos.....	110
Figura 4.2 – Resistência característica à compressão, bloco cerâmico x bloco concreto .....	112
Figura 4.3 – Resultados médios da resistência à compressão dos prismas.....	114
Figura 4.4 – Eficiência dos prismas .....	115
Figura 4.5 – Resultados médios da resistência à compressão das mini-paredes.....	117
Figura 4.6 – Eficiência mini-parede/bloco .....	118
Figura 4.7 – Modo de ruptura das mini-paredes .....	119
Figura 4.8 – Gráfico tensão x deformação da mini-parede com blocos BR – A (Referencia) .....	120
Figura 4.9 – Gráfico tensão x deformação das mini-paredes com blocos BR – LV (Amostra 01).....	121
Figura 4.10 – Gráfico tensão x deformação das mini-paredes com blocos BR – LV (Amostra 02) .....	121
Figura 4.11 – Gráfico tensão x deformação das mini-paredes com blocos BR – LV (Amostra 03).....	122
Figura 4.12 – Gráfico tensão x deformação das mini-paredes com blocos BR – LV (Amostra 04) .....	122
Figura 4.13 – Gráfico tensão x deformação das mini-paredes com blocos BC – LV (Amostra 01) .....	123
Figura 4.14 – Gráfico tensão x deformação das mini-paredes com blocos BC – LV (Amostra 02) .....	123

Figura 4.15 – Gráfico tensão x deformação das mini-paredes com blocos BC – LV (Amostra 03) .....	124
Figura 4.16 – Gráfico tensão x deformação das mini-paredes com blocos BC – LV (Amostra 04) .....	124
Figura 4.17 – Gráfico tensão x deformação das mini-paredes com blocos BC – LV (Amostra 05) .....	125
Figura 4.18 – Resultados médios da resistência à compressão das paredes.....	126
Figura 4.19 – Eficiência parede/bloco.....	128
Figura 4.20 – Modo de ruptura das paredes, face frontal.....	129
Figura 4.21 – Modo de ruptura das paredes, face frontal posterior.....	129
Figura 4.22 – Gráfico tensão x deformação da parede com blocos BR – A (Amostra01).....	131
Figura 4.23 – Gráfico tensão x deformação da parede com blocos BR – LV (Amostra 02).....	131
Figura 4.24 – Gráfico tensão x deformação da parede com blocos BC– LV (Amostra 03) .....	132
Figura 4.25 – Gráfico tensão x deformação da parede com blocos BC – LV (Amostra 04) .....	132
Figura 4.26 – Gráfico tensão x deformação da parede com blocos BC – LV (Amostra 05) .....	133

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela</b>	<b>Página</b>
Nenhuma entrada de índice de ilustrações foi encontrada.	
Tabela 2.16 – Resultados de resistência à compressão .....	55
Tabela 2.17 – Resultados de resistência à compressão .....	55
Tabela 2.18 – Resultados de fatores de eficiência .....	56
Tabela 2.19 – Fator de eficiência para diversos tipos de unidades .....	57
Tabela 2.20 – Resultados médios de resistência .....	57
Tabela 2.21 – Fatores de eficiência encontrados em outras pesquisas.....	58
Tabela 2.22 – Resultados médios dos blocos e prismas.....	59
Tabela 2.23 – Valores de eficiência parede-bloco, segundo Ramalho e Corrêa (2003) .....	60
Tabela 2.24 – Relação área líquida / área bruta para blocos e paredes sem graute.....	63
Tabela 2.25 – Normas e autores internacionais pesquisados, referente a blocos cerâmicos .....	64
Tabela 2.26 – Valores de módulo de elasticidade de autores brasileiros para blocos cerâmicos .....	65
Tabela 2.27 – Módulos de elasticidade da alvenaria.....	66
Tabela 3.1 – Composição química da LV por diferentes fontes (%) (SILVA FILHO, 2007) .....	75
Tabela 3.2 – Composição química de lamas vermelhas.....	76
Tabela 3.3 – Dimensões de fabricação de blocos cerâmicos estruturais.....	84
Nenhuma entrada de índice de ilustrações foi encontrada.	
Tabela 4.11 – Requisitos para resistência característica à compressão de blocos vazados de concreto .....	112
Tabela 4.12 – Resultado da resistência à compressão média da argamassa de assentamento aos 28 dias.....	113
Tabela 4.13 – Resistência à compressão dos prismas com blocos, BC –LV, BR – LV e BR – A .....	114
Tabela 4.14 – Comparação dos resultados da resistência à compressão dos prismas.....	115
Tabela 4.15 – Resultado da resistência à compressão das mini-paredes .....	116
Tabela 4.16 – Comparação dos resultados da resistência à compressão das mini-paredes ...	117

Tabela 4.17 – Módulo de deformação das mini-paredes .....	120
Tabela 4.18 – Resultado da resistência à compressão das paredes .....	126
Tabela 4.19 – Comparação dos resultados da resistência à compressão das paredes .....	127
Tabela 4.20 – Módulo de deformação das paredes .....	130

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

São apresentados alguns dos símbolos utilizados nesta dissertação, aqueles que não estão aqui apresentados têm seu significado explicado assim que mencionado no texto.

A – Área da seção da seção transversal de qualquer parede.

AA(%) – Absorção d'água.

ABNT – Associação Brasileira de Normas técnicas.

ASTM – American Society for Testing and Materials.

ACI – American Concrete Institute.

BC-A – Bloco Circular de Argila.

BC-LV – Bloco Circular de Lama Vermelha.

BR-A – Bloco Reticulado de Argila.

BR-LV – Bloco Reticulado de lama Vermelha.

BS – British Standard.

CEB – Comité Euro – International Du Beton.

$E_a$  – Módulo de elasticidade da argamassa.

$E_b$  – Módulo de elasticidade do bloco.

$f_b$  – Resistência do bloco.

$f_{bk}$  – Resistência característica do bloco.

$f_p$  – Resistência à compressão da parede.



## **RESUMO**

COSTA, D. H. P. (2011). *Desempenho estrutural de blocos, prismas, mini-paredes e paredes de alvenaria estrutural confeccionadas com blocos cerâmicos produzidos a partir da mistura de lama vermelha com argila*. Belém, 144p. Qualificação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará.

Novas técnicas de aprimoramento de resíduos tem se tornado cada vez mais importante na construção civil, principalmente quando se trata da utilização de resíduos de outros segmentos industriais e na redução de matérias primas naturais. O objetivo deste estudo foi avaliar a utilização de um resíduo proveniente da produção da alumina metalúrgica conhecido como lama vermelha (LV), no desempenho estrutural de blocos, prismas, mini-paredes e paredes confeccionados com blocos cerâmicos, com seções transversais, reticulada e circular, produzidos a partir da mistura de LV e argila. Foram realizados ensaios experimentais correspondentes à caracterização dos materiais empregados e ensaios de resistência à compressão das unidades, blocos, prismas, mini-paredes e paredes. Todos os materiais e unidades cumpriram com os requisitos normalizados para sua correta utilização nos testes experimentais. Os resultados obtidos dos ensaios a compressão dos elementos demonstraram que os blocos confeccionados com a mistura de LV e argila atenderam aos parâmetros normativos e apresentaram resultados satisfatórios e superiores aos componentes confeccionados com blocos cerâmicos compostos com 100% de argila, empregados usualmente nas construções.

*Palavra-chave: Lama Vermelha, Alvenaria Estrutural, Blocos Cerâmicos.*

## ***ABSTRACT***

COSTA, D. H. P. (2011). *Structural performance of blocks, prisms, mini-walls and walls of structural masonry made with ceramic blocks produced from the mixture of red mud and clay*. Belém, 144p. Qualificação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará.

New techniques for the improvement of residues have become increasingly important in constructions, especially when it comes to the use of residue from other industries and the reduction of natural raw materials. The objective of this study was to evaluate the use of a residue from the production of metallurgical alumina known as red mud (RM), the structural performance of blocks, prisms, mini-walls and walls made of ceramic blocks with reticulated and circular cross sections, produced from the mixture of clay and RM. Experimental tests were performed corresponding to the characterization of the materials used and testing of compressive strength of units, blocks, prisms, mini-walls and walls. All materials and units met the standard requirements for their correct use in experimental tests. The results of compression tests have shown that elements of the blocks made by mixing clay and RM parameters met the standards and showed satisfactory and superior results to the components made of composite ceramic blocks with 100% clay, usually employed in constructions.

*Keywords: Red mud, Structural Masonry, Ceramic Blocks.*

# 1 – INTRODUÇÃO

## 1.1– ALVENARIA

A alvenaria é um sistema construtivo tradicional que tem sido utilizado em larga escala pelo homem, estando sua origem e história contida na própria história das antigas civilizações, sendo o sistema com maior aceitação, através de construções de habitações, monumentos, pontes, templos religiosos e etc.

Hoje em dia tem havido uma progressiva busca da racionalização dos processos construtivos, visando o aumento da produtividade, a redução dos custos de construção e sustentabilidade. Nesse caso, com uma demanda crescente, os projetos de edificações em alvenaria estrutural racionalizada, permitem seu grande uso na atualidade, produto das particularidades desse processo com relação à rapidez e execução, ao rígido controle de qualidade, à coordenação modular e à diminuição das improvisações e dos desperdícios.

O sistema alvenaria, no Brasil, tem experimentado um grande impulso. Devido à estabilização da economia e ajuda de planos governamentais, a concorrência tem feito com que um número crescente de empresas passe a se preocupar mais com os custos, acelerando as pesquisas e a utilização de novos materiais.

A alvenaria de blocos cerâmicos também ganha força com o aparecimento de fornecedores confiáveis para resistências superiores a 10 MPa. Apesar de, no momento, ser mais utilizada em edificações de poucos pavimentos, pode-se considerar que dentro de algum tempo os blocos cerâmicos passarão a disputar com os blocos de concreto a utilização em edificações de até 10 pavimentos.

A tendência cada vez maior no Brasil e no resto do mundo de se construir em alvenaria estrutural exige a utilização de novas tecnologias, as quais trazem redução no consumo da mão-de-obra, menos desperdícios de materiais e melhores condições de trabalho. Porém, esses aspectos devem ser convenientemente estudados para o maior aproveitamento de todas as vantagens que a alvenaria pode oferecer, sendo o primeiro passo a promoção da conscientização do meio técnico.

## 1.2 – JUSTIFICATIVAS

Atualmente, as construções em alvenaria estrutural avançam por todo país. A princípio voltado para construções populares agora se firmam nas camadas mais ricas de população, em função dos consideráveis avanços tecnológicos incorporados recentemente nas normas nacionais e estrangeiras. O sucesso da alvenaria estrutural tem sido alcançado não só pela racionalização da estrutura em si, mas também porque é possível que as paredes que constituem a estrutura da edificação, desempenhem várias outras funções simultaneamente, tais como subdivisão de espaço, isolamento térmico e acústico, proteção ao fogo e adequação as condições climáticas.

A indústria cerâmica produz tijolos furados, maciços, blocos de vedação e estrutural, telhas e outros. Distribui-se por todo país, fragmentadas em micro e pequenas empresas, quase sempre em organização simples e familiar. Segundo a Associação Nacional da Indústria Cerâmica (ANICER), no Brasil, existem 11 mil indústrias de cerâmica vermelha, das quais 62% fabricam blocos e tijolos, onde são consumidos mensalmente 10,5 milhões de toneladas de argila. O setor cerâmico é responsável por gerar 650 mil empregos diretos e 2 milhões de empregos indiretos, desta forma, caracterizando uma grande importância para a economia do país.

No Estado do Pará, existem diversas regiões ricas em argila de origem sedimentar, e que tem no setor oleiro um importante segmento no conjunto de sua economia em função de seu destaque na participação na geração de empregos, no valor da transformação industrial, e é também de fundamental importância o seu papel complementar no campo da construção civil.

No entanto, a extração de argila para a fabricação de blocos cerâmicos, embora não seja considerada uma atividade poluidora, degrada o meio ambiente e causa assoreamento nos rios. A indústria cerâmica, por sua vez, tem como um dos principais problemas ambientais, a emissão de fluoretos para a atmosfera nas formas de queimas.

O Brasil é um país que dispõe de importantes recursos geológicos e onde sua produção se encontra em pleno desenvolvimento. As indústrias habilitadas a essa produção, atualmente passam por sérios problemas com resíduos provenientes dessa extração, ocasionando assim, impactos ambientais através da contaminação de rios e solos. E nesse quadro, encontram-se as indústrias de fabricação da alumina (matéria-prima do alumínio), pela crescente deposição de resíduos sólidos, conhecido comumente como *lama vermelha (LV)*.

A lama vermelha é um resíduo insolúvel proveniente da digestão de bauxita pelas soluções de hidróxido de sódio na fabricação da alumina pelo processo de Bayer. O U.S. E.P.A (United States Environmental Protection Agency) não a classifica como um dejetto perigoso, porém a produção de lama vermelha através de fabricas de alumina constitui um problema ambiental de proporções consideráveis, devido às proporções do volume de lama vermelha gerado em uma fábrica de alumina típica e sua causticidade.

Segundo a Associação Brasileira de Alumínio, os Estados Unidos e o Canadá, são os maiores produtores mundiais de alumínio. Entretanto, nenhum deles possui jazida de bauxita em seu território. O Brasil possui a terceira maior reserva de bauxita no mundo, localizada na região amazônica, principalmente no estado do Pará. Em 2004, o Brasil ocupou a segunda posição no ranking mundial, produzindo 21 milhões de toneladas de bauxita que é o mineral que origina o alumínio. Na literatura, não existe a definição de uma proporção exata entre a quantidade de alumina produzida e a quantidade de lama vermelha gerada, e de acordo com Nunn (apud HILDEBRANDO, 1998), uma fábrica de alumina pode gerar 0,5 a 2 toneladas de sólidos secos de lama vermelha para cada tonelada de alumina produzida. Na região, a Alunorte gera aproximadamente 1,1 toneladas de LV para cada tonelada de alumina produzida, totalizando 5,8 milhões de toneladas de rejeito no ano de 2010 segundo relatório anual da Alunorte e com um aumento significativo para 2011.

Por outro lado, o processo construtivo de alvenaria estrutural se destaca, dentre o vasto campo de materiais, técnicas e metodologia construtiva, possuindo crescente interesse em empreendimentos imobiliários, devido sua eficiência proporcionando uma edificação mais econômica, mais limpa e de elevada velocidade de construção. Reforçando o atual quadro da construção civil, em buscar soluções que impliquem no aumento racional da produtividade e na eliminação de desperdícios no setor.

E nesse contexto que estão sendo desenvolvidos, estudos alternativos que possam, por um lado, proporcionar avanços no setor da construção civil, e por outro, minimizar os impactos ambientais gerados pelos resíduos provenientes das indústrias. Na região norte do país já existem diversas edificações construídas com o princípio da alvenaria estrutural utilizando blocos de concreto, no entanto, ainda existe a necessidade de acompanhamento técnico referentes ao processo de produção e caracterização física e mecânica desses componentes. Adicionalmente, surgem novas alternativas tecnicamente viáveis para aplicação em alvenaria estrutural na região, mas a exemplo dos blocos de concreto necessitam de estudos que comprovem essa viabilidade. Uma dessas alternativas é o reaproveitamento da lama vermelha

como (adição) matéria-prima para a produção de blocos cerâmicos voltados para a utilização na alvenaria estrutural, tal uso implica na redução da argila na fabricação de blocos cerâmicos, sem o comprometimento de seu desempenho, originando um produto de grande qualidade, com baixo custo de produção e ecologicamente correto, podendo ser assim uma boa solução na construção de habitações e contribuindo para uma construção sustentável.

Desta forma, as atividades industriais, resultam inevitavelmente, em grandes geradoras de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, que precisam ser gerenciados correntemente, visando à minimização de impactos ambientais. Dentro deste quadro, destaca-se a indústria de alumina, onde está enfrentando um problema a nível mundial no que diz respeito ao despejo de resíduo sólido. Esse resíduo conhecido comumente, como lama vermelha, além de gerar grandes quantidades de partículas muito finas e óxido de ferro, contém uma quantidade significativa de óxido de sódio extremamente perigosa.

Com a finalidade de minimizar os problemas ambientais gerados com o despejo desses resíduos no meio ambiente, pesquisas realizadas, mostram que tal rejeito em misturas com argilas, oferecem uma grande alternativa quanto a utilização deste para a fabricação de produtos da indústria de cerâmica, possuindo todas as possibilidades de serem empregados na produção, por exemplo, de tijolos maciços, telhas e ladrilhos de piso uma vez que apresentam excelentes qualidades, ligado principalmente a sua boa resistência mecânica e a absorção de água (HILDEBRANDO, 1998).

Sobretudo, com análise dos resultados obtidos nessas pesquisas, observa-se que a utilização da lama vermelha em mistura com a argila para a fabricação de blocos cerâmicos estruturais originou componentes com valores satisfatórios quanto a resistência a compressão, e ainda dispõe de aceitáveis índices de absorção de água. Especialmente, devido apresentar propriedades fundentes, a mistura com a lama vermelha, requer menores temperaturas de sinterização, possibilitando a produção desses blocos em olarias de pequeno porte (GOUVEIA, 2006).

## 1.3 – OBJETIVOS

Esta pesquisa tem por objetivo, analisar comparativamente o comportamento estrutural da alvenaria de blocos cerâmicos produzidos a partir a mistura de lama vermelha, no que diz respeito aos aspectos relacionados à resistência dos seus elementos constituintes e do conjunto bloco-argamassa, quando submetidos à esforços de compressão.

### 1.3.1 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos que abordarão o aspecto técnico podem ser resumidos nos seguintes itens:

- Levantamentos de trabalhos publicados que esclareçam procedimentos e análises experimentais da resistência de paredes, mini-paredes, prismas de blocos cerâmicos ou de materiais alternativos, quando submetidos a esforços de compressão.
- Análise teórica e experimental do comportamento dos blocos, prismas, mini-paredes e paredes em alvenaria confeccionados com blocos cerâmicos provenientes da mistura de lama vermelha e argila, quanto a resistência à compressão axial, buscando correlação da eficiência entre painéis, blocos e prismas.
- A metodologia dos ensaios será definida de acordo com a literatura e especificações normativas existentes.

## 1.4 – METODOLOGIA ABORDADA

A abordagem metodológica será dividida em várias etapas. Primeiramente será realizada uma revisão bibliográfica sobre estudos do tema, tanto nacional como internacionalmente. Depois, para o desenvolvimento dos objetivos e verificação das hipóteses, serão feitos os ensaios experimentais em corpo de prova da alvenaria como blocos, primas, mini-paredes e paredes. Os ensaios serão apenas de compressão, com carregamento distribuído, carga monotônica e de curta duração, seguindo-se o esquema padrão de ensaio de paredes adotado por normas vigentes. Os ensaios de mini-paredes e paredes serão preferencialmente executados com controle de deslocamento.

Feitos os ensaios serão apresentados os resultados e análises dos mesmos, chegando a conclusões e recomendações práticas.

## 1.5 – ESTRUTURA DO TRABALHO

Para atender aos objetivos propostos, o trabalho foi organizado em cinco capítulos.

No Capítulo I, contém a exposição dos objetivos, estruturação do trabalho e abrangência, compreende também inclusão de um breve contexto da construção civil mundial e no Brasil.

Já no Capítulo II, são comentados conceitos básicos da alvenaria estrutural. Nesse capítulo realiza-se, também, uma breve revisão bibliográfica sobre a alvenaria estrutural.

A metodologia utilizada para a aquisição das informações sobre as técnicas construtivas adotadas são descritas no Capítulo III, no qual é feita uma explanação sobre a forma de como foi desenvolvido os ensaios e especificações importantes.

No Capítulo IV encontram-se os resultados obtidos bem como a análise crítica dos mesmos observados nos ensaios.

O Capítulo V apresentam-se as conclusões e os comentários dos ensaios, recomendações gerais para alvenaria estrutural e para trabalhos futuros de pesquisa.



## 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 – INTRODUÇÃO

Por Camacho (2006), a alvenaria estrutural é conceituada como um processo construtivo na qual, os elementos que desempenham a função estrutural são de alvenaria, sendo os mesmos projetados, dimensionados e executados de forma racional.

Relaciona-se alvenaria como “um componente complexo utilizado na construção e conformado em obra, constituído por tijolos ou blocos unidos entre si por juntas de argamassa, formando um conjunto rígido e coeso” (SABBATINI, 1984). Então a alvenaria estrutural é aquela estrutura de alvenaria dimensionada por procedimentos racionais de cálculo para suportar cargas além do peso próprio.

Cavalheiro (1995) considera a alvenaria como “um produto de composição básica, em obra, de blocos ou tijolos unidos entre si por argamassa, constituindo um conjunto resistente e estável”.

A alvenaria estrutural, é predominantemente laminar, dimensionada por procedimentos racionais de cálculo para suportar cargas além do peso próprio. Franco (1992) entende que a alvenaria estrutural pode ser conceituada como um processo construtivo que se caracteriza pelo emprego de paredes de alvenaria e lajes enrijecedoras como principal estrutura de suporte dos edifícios. O dimensionamento das paredes segue métodos de cálculo racionais e de confiabilidade determinável, ao contrário da alvenaria tradicional, cujo dimensionamento ocorre empiricamente (ROMAN, MUTTI & ARAÚJO, 1999).

Tauil e Nese (2010), “chamamos de alvenaria o conjunto de peças justapostas colocadas em sua interface, por uma argamassa apropriada, formando um elemento vertical coeso”.

Esse conjunto coeso serve para vedar espaços, resistir a cargas oriundas da gravidade, promover segurança, resistir a impactos, à ação do fogo, isolar e proteger acusticamente os ambientes, contribuir para a manutenção do conforto térmico, além de impedir a entrada de vento e chuva no interior dos ambientes.

Portanto, ao invés de pilares e vigas, utilizados nos sistemas de concreto armado, para resistir às cargas, há um único elemento de suporte: as paredes do edifício. Segundo Cavalheiro (1995), “pela dupla função que seus elementos básicos (paredes) desempenham nas edificações,

ou seja, vedação e resistência, o sistema estrutural confunde-se com o próprio processo construtivo”. O fato de a alvenaria cumprir dupla função requer a colaboração do arquiteto, dos engenheiros e do construtor nas fases de planejamento, projeto e construção do edifício (DRYSDALE, 1994).

Segundo Machado (1999), a existência de apenas um elemento (a parede de alvenaria) para assumir múltiplas funções de ambos os subsistemas é bastante vantajoso. Isto ocorre não apenas pelas facilidades construtivas proporcionadas, mas também por eliminar problemas que surgem nas interfaces entre os sistemas. Segundo a autora, as facilidades construtivas são fruto de técnicas de execução simplificadas, de menor diversidade de materiais empregados, da redução no número de especialização de mão de obra ocupada e da eliminação de interferências no cronograma executivo entre os subsistemas.

A alvenaria estrutural pode ser classificada, dependendo da forma como é utilizada, em:

- Alvenaria armada: reforçada, devido às exigências estruturais, com armaduras passivas de fios, barras ou telas de aço inseridas nos vazados dos blocos, preenchidos com graute, e nas juntas horizontais;
- Alvenaria não-armada: os reforços de aço ocorrem apenas por necessidades construtivas, sendo utilizados nas amarrações de paredes e laterais de aberturas, em geral. São também utilizadas barras de aço nas vergas, contravergas e canaletas de cimento;
- Alvenaria parcialmente armada: parte da estrutura tem paredes com armaduras para resistir aos esforços calculados, além das armaduras com finalidades construtivas ou de amarração, sendo as demais paredes consideradas não armadas;
- Alvenaria protendida: reforçada por uma armadura ativa (pré-tensionada) que submete a alvenaria a esforços de compressão.

A principal característica da alvenaria é o seu comportamento à compressão, sendo os tijolos ou blocos os elementos mais importantes nessa resistência. Porém é de primordial importância conhecer as funções e características dos componentes da alvenaria separadamente, para uma melhor compreensão do desempenho estrutural deste tipo de sistema construtivo.

## 2.2 – MATERIAIS, COMPONENTES E ELEMENTOS DA ALVENARIA ESTRUTURAL

Os materiais na alvenaria estrutural são constituintes dos componentes básicos utilizados, como cimento, cal, areia, pedrisco, argila e seus compostos no estado fresco, como a argamassa, o graute (micro-concreto), além de constituintes inseridos entre ou nos componentes, como o aço.

A alvenaria estrutural possui, basicamente, dois componentes, que constituem os elementos do sistema:

- Unidade de alvenaria: blocos ou tijolos industrializados e modulados, de formato singular retangular, facilmente manuseáveis podem ser vazados, perfurados e maciços, fabricados com diversos materiais e processos;
- Junta de argamassa: lâmina ou cordão de argamassa endurecida, intercalado e aderente às unidades de alvenaria, que garante a monoliticidade do conjunto.

Ramalho e Corrêa (2003) definem como componente de alvenaria uma entidade básica, algo que compõe os elementos que, por sua vez, compõem a estrutura. Os componentes principais da alvenaria estrutural: são blocos, ou unidades, argamassa, graute e armadura. Já os elementos são uma parte suficientemente elaborada da estrutura, sendo formados por pelo menos dois componentes anteriormente citados. Exemplos de elementos podem ser: paredes, pilares, vergas, contra vergas, como mostra a Figura 2.1.

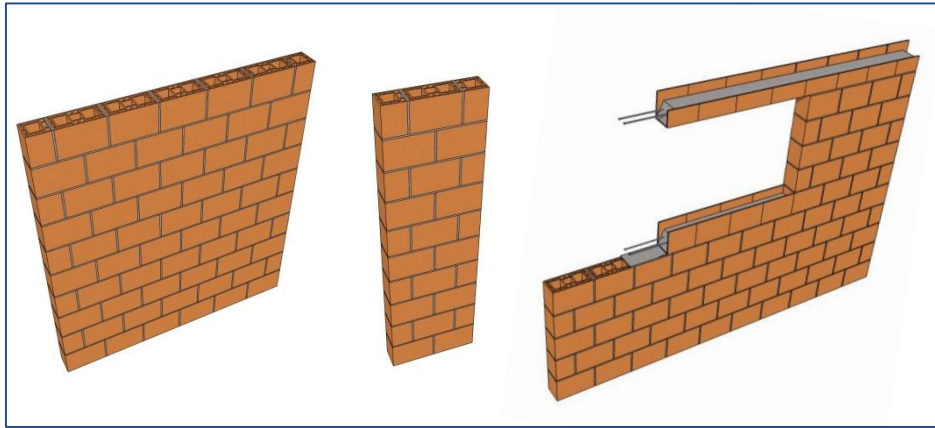


Figura 2.1 – Parede, pilar, vergas e contra vergas.

Consideram-se elementos as partes elaboradas com os componentes da alvenaria. Assim, os principais elementos da alvenaria estrutural são:

- Parede: segundo a NBR 10837 (1989), a parede é um elemento vertical, apoiado de modo contínuo em sua base, com comprimento maior cinco vezes a sua espessura;
- Pilar: segundo a mesma norma, é um elemento estrutural semelhante à parede, mas no qual o comprimento é menor que cinco vezes a sua espessura;
- Cinta: elemento construtivo estrutural apoiado continuamente sobre as paredes, com a função de amarração da mesma e distribuição de tensões;
- Verga e Contra-verga: elementos estruturais utilizados, respectivamente, sobre e sob os vãos de aberturas com a finalidade de transmitir cargas verticais para os trechos adjacentes ao vão.

Conforme apresentação dos conceitos de alguns elementos principais, a seguir serão explicados detalhadamente dois dos componentes mais importantes da alvenaria que compõem esses elementos: a unidade e a argamassa.

### 2.2.1 – UNIDADE

Componentes básicos da alvenaria estrutural, as unidades são as principais responsáveis pela definição das características resistentes da estrutura.

Quanto ao material componente, as unidades mais utilizadas no Brasil para edificações de alvenaria estrutural são, em ordem decrescente de utilização: unidades de concreto, unidades cerâmicas e unidades sílico-calcáreas.

Com relação à forma as unidades podem ser maciças ou vazadas, sendo denominadas tijolos ou blocos, respectivamente. São consideradas maciças aquelas que possuem um índice de vazios de no máximo 25% da área total. Se os vazios excederem esse limite, a unidade é classificada como vazada (RAMALHO e CORRÊA, 2003).

Conforme Cavaleiro (1995), os blocos diferenciam-se dos tijolos, basicamente, por terem as maiores dimensões. Santos (1998) estabelece esta diferença pela prática na obra: “o tijolo pode ser manuseado facilmente, com apenas uma das mãos, quando do seu assentamento; o bloco, não. Os blocos, devido as suas dimensões e peso, normalmente, são assentados com ambas as mãos”.

Segundo Camacho (2006), as unidades (blocos e tijolo) são os componentes mais importantes que compõe a alvenaria estrutural, uma vez que são eles que comandam a resistência à compressão e determinam os procedimentos para aplicação da técnica da coordenação modular nos projetos.

Em relação ao bloco e tijolo, Figura 2.2, a NBR 7171 (1992) não faz uma distinção clara entre o tijolo com furos horizontais, denominado de bloco de vedação comum, e o bloco cerâmico estrutural. Todo bloco cerâmico estrutural somente poderá possuir furos dispostos na direção vertical. De forma inversa, todo tijolo ou bloco com furos na horizontal somente poderá ser utilizado como unidade de vedação, jamais como unidade estrutural.



Figura – 2.2 –Tijolo de vedação e bloco estrutural cerâmico

### 2.2.1.1 – Unidade cerâmica

O material constituinte das unidades é a argila. Ela é composta de sílica, silicato de alumínio e variadas quantidades de óxidos ferrosos. A argila pode ser calcária ou não. No primeiro caso, quando cozida, produz um bloco de cor amarelada. A que não é calcária contém de 2 a 10% de óxido de ferro e feldspato e produz uma unidade de variados tons vermelhos, que depende da quantidade do óxido de ferro.

A argila apropriada para a fabricação de blocos deve ter plasticidade quando misturada com água, de maneira que possa ser moldada, deve ter suficiente resistência à tração, para manter o formato depois de moldada, e, ainda deve ser capaz de fundir as partículas quando queimada a altas temperaturas.

A plasticidade, a água de moldagem e o comportamento, na secagem e na queima, dependem da granulometria e dos diversos minerais presentes.

Segundo a ABNT (P-EB-179), as argilas são compostas de partículas coloidais de diâmetro inferior a 0,005 mm, com alta plasticidade, quando úmidas, as quais, quando seca, formam torrões, dificilmente desagregáveis pela pressão dos dedos.

Todas as propriedades físicas dos blocos são afetadas pela composição da matéria-prima usada e pelo processo de fabricação.

O processo de preparação da matéria-prima consiste da dosagem (formulação) e mistura das argilas. A dosagem das argilas deve ser feita de forma a promover uma pasta que possua determinadas características para uma boa moldagem, secagem e queima.

A qualidade das unidades cerâmicas está intimamente relacionada à qualidade das argilas empregadas na fabricação e também ao processo de produção (ROMAN, MUTTI & ARAÚJO, 1999). Além disso, a conformação do bloco desempenha importante papel para obtenção de variadas resistências à compressão: pode-se obter resistências muito baixas até muito elevadas.

Para Pasquali (2007) a formulação da massa pode influenciar nas características finais do produto acabado, como a sua resistência à compressão. Podem ser obtidas unidades de baixa resistência (3 MPa) e de alta resistência (> 100 MPa).

A norma brasileira NBR 15270-2 (ABNT, 2005) define bloco cerâmico como o componente da alvenaria que possui furos prismáticos e/ou cilíndricos perpendiculares à face que os contém. Define, ainda que os blocos estruturais sejam unidades vazadas com furos na vertical, isto é, perpendiculares à face de assentamento, sendo classificados de acordo com a sua resistência à compressão.

Tanto os blocos de vedação quanto os blocos estruturais são classificados de acordo com sua resistência à compressão definida conforme a Tabela 2.1. É de lamentar a falta de uma diferenciação, nessa norma, entre blocos cerâmicos de vedação e blocos cerâmicos estruturais.

Tabela 2.1 – Resistência à compressão de blocos

Classe	Resistência à compressão na área bruta (MPa)
10	1,0
15	1,5
25	2,5
45	4,5
60	6,0
70	7,0
100	10,0

FONTE: NBR 7171 – 1992.

As normas brasileiras fixam valor muito baixo de resistência à compressão. Estudos realizados mostram que mesmo os blocos de baixíssima qualidade possuem resistência à compressão maior que a resistência de 4,0 MPa, determinada pela NBR 6460.

São fabricados diversos tipos de blocos, com diferentes funções, formando o que se chama de “família de blocos”, Figura 2.3. Também se obtêm variados acabamentos, de acordo com a utilização desejada (bloco à vista ou revestido, etc.).

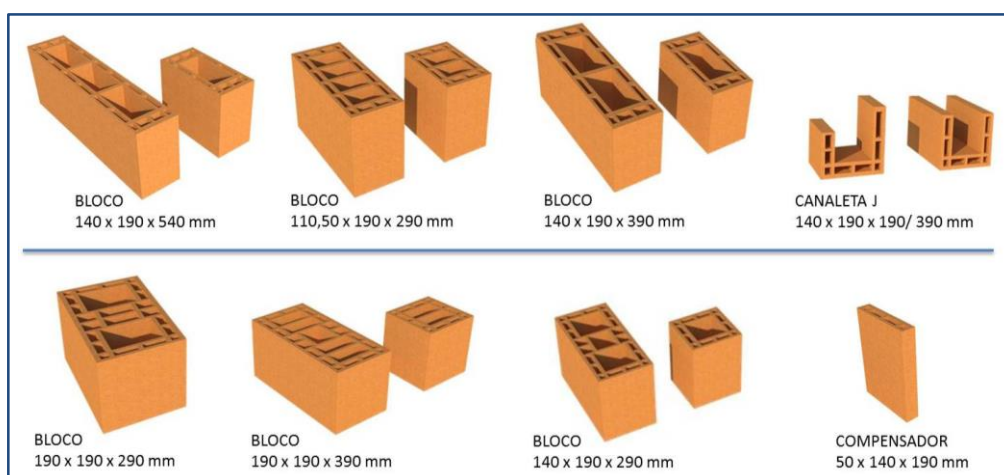


Figura – 2.3 – Exemplo de família de blocos cerâmicos

### 2.2.1.2 – Efeitos do processo de fabricação no desempenho mecânico do bloco

Para Gomes (1983), a produção de blocos cerâmicos deve reunir a experiência estrutural e a tecnologia das argilas, de forma que estes componentes tenham resistência e durabilidade necessária e proporcionem o conforto ambiental desejado.

As propriedades físicas dos blocos são afetadas pela composição da matéria-prima usada e pelo seu método de fabricação (RIZZATTI, 2003).

#### *Aspecto*

São características visuais que têm interesse do ponto de vista estrutural e estético. As falhas visualmente perceptíveis, as quais têm reflexos na capacidade resistente das paredes, são as quebras, as trincas e as deformações. Do ponto de vista estético, pode-se citar a integridade das arestas e vértices, a textura da superfície, a cor, etc.

#### *Dimensões*

Quanto mais uniforme o tamanho do bloco, mais fácil será o trabalho do pedreiro e melhor a qualidade da parede. A homogeneidade das dimensões torna-se ainda mais importante



na medida em que, cada vez mais, utiliza-se a modulação da alvenaria como forma de eliminar desperdício com quebras.

### *Esquadro e Planeza*

A extrusão, o corte e a queima dos blocos cerâmicos fazem com que ocorram, eventualmente, distorções nesse tipo de bloco, se não houver um controle adequado na produção. Blocos no esquadro e planos facilitam o assentamento e permitem maior produtividade. Na alvenaria estrutural, a geometria tem ainda maior importância, pois o esquadro e a planeza influem na capacidade portante da parede.

Os blocos não devem apresentar defeitos sistemáticos, tais como trincas, quebras, superfícies irregulares ou deformações, que impeçam seu emprego na função especificada. A NBR 15270 – 2005 recomenda as dimensões nominais dos blocos, estabelecendo ainda tolerâncias máximas de fabricação para os blocos, conforme Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Tolerâncias de Fabricação

Dimensão	Tolerância
Largura	$\pm 5$
Altura	$\pm 5$
Comprimento	$\pm 5$
Desvio em relação	
Ao esquadro	3
Flecha	3

Unid.: mm

Fonte: NBR 15270 – 2:2005

Em alguns países, a experiência estrutural combinada com a tecnologia das argilas, proporcionou a fixação de dimensões mínimas das espessuras das paredes constituintes dos blocos. No Brasil, com a última revisão da norma NBR 15270 – 2:2005, fixou-se a espessura mínima das paredes externas do bloco em 8 mm, abaixo da espessura mínima fixada pelas norma americana e britânica.

Ressalta-se que as dimensões mínimas são importantes, pois, nos ensaios de blocos e paredes, observa-se que a ruptura se inicia pelas nervuras ou flanges em contato com as faces externas do bloco.

## 2.2.2 – ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO

### 2.2.2.1 – Definições e funções

A argamassa de assentamento, conforme a norma NBR 13281 (ABNT, 2005) é uma mistura homogênea de agregados miúdo(s), aglomerante(s), inorgânico(s) e água contendo ou não aditivos com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada).

Na BS 5628-1 (1978) são descritas como sendo funções prioritárias da argamassa de assentamento: unir solidariamente as unidades de alvenaria e ajudá-las a resistir aos esforços laterais, distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede por toda a área resistente dos blocos, absorver as deformações naturais a que a alvenaria estiver sujeita.

Cardoso (1984) define argamassa como “uma substância ou mistura adesiva que, sofrendo um determinado endurecimento, pode ter duas funções ou finalidades: unir elementos de construção (tijolos, blocos de concreto e cerâmico, lajotas, pastilhas cerâmicas, azulejos etc.) entre si ou com uma base, ou também, revestir paredes externa ou internamente, pisos ou coberturas. No primeiro caso, chamam-se argamassa de assentamento, e no segundo argamassa de revestimento”.

Conforme Ramalho e Corrêa (2003), “a argamassa de assentamento possui as funções básicas de solidarizar as unidades, transmitir e uniformizar as tensões entre as unidades de alvenaria, absorver pequenas deformações e prevenir a entrada de água e de vento nas edificações. Usualmente composta de areia, cimento, cal e água, a argamassa deve reunir boas características de trabalhabilidade, resistência, plasticidade e durabilidade para o desempenho de suas funções”.

Sabbatini (1984) afirma que “as argamassas são materiais de construção sem forma ou função definida”, ou seja, passam a ter uma função quando se destinam a um determinado uso. No caso das argamassas de assentamento, como seu nome o indica, sua função específica é assentar as unidades de alvenaria e/ou outros componentes construtivos.

Para Rauber (2005) as argamassas mistas (constituídas de cimento, cal e areia) são as mais adequadas para o uso em alvenaria estrutural. O tipo de argamassa a ser utilizado depende, principalmente, da função que a parede exercerá, das condições de exposição da parede e do tipo de bloco empregado.

Pozzobon (2003) alerta que, em detrimento do concreto e argamassas conterem os mesmos componentes principais, ensina-se, equivocadamente, que a boa pratica do concreto é também a boa pratica das argamassas. O mesmo autor afirma que nem sempre uma argamassa mais resistente é a mais indicada. E mais: não há uma relação direta da resistência da argamassa com a resistência da parede. “Para cada resistência de bloco existe uma resistência ótima de argamassa. Um aumento desta resistência não aumentará a resistência da parede” (POZZOBON, 2003).

Duarte (1999) explica que, como a argamassa representa um volume aproximado de 20% na parede (sendo os demais 80% referentes às unidades de alvenaria), aumentos de resistências à compressão da argamassa incidem apenas sobre este percentual de 20% do total da parede.

Conciliando todos esses conceitos, Solórzano (1994) adota a seguinte definição: “as argamassas são materiais de construção sem forma ou função definida, constituídos de uma mistura de materiais inertes e aglomerantes que endurecem por um específico processo”. Porém a argamassa de assentamento, além de se diferenciar da do concreto em termos de consistência e na fase de adensamento, colocação e cura, diferencia-se principalmente na sua função. Enquanto a argamassa serve para juntar (“colar”) as unidades de alvenaria formando um material com função estrutural, o concreto endurecido por si só já é um material estrutural.

O concreto entra em contato com superfícies metálicas e ou de madeira, ambas normalmente impermeáveis e lisas que lhe servem de molde; ao contrário das argamassas, que são colocadas sobre superfícies porosas e absorventes que provocam no primeiro contato, uma substancial perda de água e o seu enrijecimento. Pode ser concluído que tanto as funções como as características desses dois materiais são bastante diferentes.

Segundo Prudêncio Jr<sup>1</sup> (1994 *apud* MATA, 2006) as principais funções das argamassas destinadas ao assentamento são:

1. Unir solidamente as unidades de alvenaria;
2. Distribuir as cargas atuantes por toda a área resistente dos blocos;
3. Resistir a esforços mecânicos;
4. Absorver as deformações naturais na qual a parede esteja submetida;
5. Selar as juntas contra a penetração de ar e água.

Davison<sup>2</sup> (1974 *apud* SABBATINI, 1986) resume as funções em uma única: “a função fundamental da argamassa de assentamento é unir as unidades de alvenaria constituindo um todo monolítico”.

#### 2.2.2.2 – Propriedades das argamassas

Enquanto que o concreto exige-se resistência a esforços mecânicos (propriedades do estado endurecido) nas argamassas exigem-se características de trabalhabilidade, retenção de água, coesão (no estado plástico), capacidade de aderência e de deformação (no estado endurecido), sendo que a resistência à compressão tem importância secundária e sua utilidade está mais direcionada a ser um parâmetro de controle da produção da argamassa (SOLÓRZANO, 1994).

Segundo Sabbatini (1986) para que a argamassa atenda a todas as funções atribuídas anteriormente, elas devem apresentar certas propriedades tanto no estado fresco como no endurecido. Essas propriedades são:

- a) Ter capacidade de retenção de água suficiente para que uma elevada sucção do bloco não prejudique as suas funções primárias;
- b) Ter trabalhabilidade (consistência, plasticidade e coesão) suficiente para que o pedreiro produza, com rendimento otimizado, um trabalho satisfatório, rápido e econômico;

<sup>1</sup> PRUDÊNCIO JR. **Alvenaria Estrutural**. 1994. Notas de aula, curso de graduação em Engenharia Civil, Universidade federal de Santa Catarina.

<sup>2</sup> DAVISON, J. I. **Masonry Mortar**. 1974. Ottawa, National Research Council of Canada, Canadian Building Digest, p163. 1974.

- c) Adquirir rapidamente alguma resistência depois de assentada para resistir os esforços que possam atuar durante a construção;
- d) Desenvolver resistência adequada para não comprometer a alvenaria da qual faz parte, não devendo ser mais resistente que os blocos que ela une;
- e) Ter suficiente baixo módulo de elasticidade de maneira a acomodar as deformações intrínsecas (retração na secagem e de origem térmica) e as decorrentes de movimentação estruturais de pequena amplitude da parede de alvenaria, sem fissurar;
- f) Obter adequada aderência aos blocos a fim de que a interface possa resistir a esforços cisalhantes e de tração e prover a alvenaria de juntas estanques à água da chuva;
- g) Ser durável e não afetar a durabilidade de outros materiais ou da construção como um todo.

Usuda (2004) resume as principais propriedades e sua importância, na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Propriedades e importância da argamassa de assentamento (USUDA, 2004)

Estado	Propriedade	Importância
Fresco	Fluidez	A argamassa deve deslizar na colher e permitir acertar a posição do bloco na fiada.
	Coesão	A argamassa não deve se desintegrar ao se fazer o “cordão” na colher; ela deve aderir aos blocos; deve suportar os blocos sem se deformar antes da pega.
	Retenção	A argamassa não deve perder fluidez enquanto está sendo trabalhada; não deve perder água por evaporação ou absorção excessiva para não trincar no estado fresco.
Endurecido	Resistência à compressão	A resistência se associa à durabilidade, à impermeabilidade, sendo fácil de medir. Tem influência na resistência mecânica da parede quando baixo ou muito alta; relacionando-se também com a deformabilidade, resistência à tração e ao cisalhamento.
	Módulo de deformação	Influi na deformabilidade da parede; influi no aparecimento ou não de trincas quando acomodação da alvenaria a pequenas movimentações ou variações dimensionais.
	Retração por secagem	Ligada à suscetibilidade de fissuração das juntas de argamassa devida ao próprio fenômeno de retração.

### 2.2.2.3 – Classificação das argamassas

Sabbatini et al. (1980) divide as argamassas em quatro subclassificações principais:

- a) Segundo a sua utilização;
- b) Segundo os aglomerantes empregados;
- c) Segundo a proporção dos elementos constituintes;
- d) Segundo critérios que ressaltam alguma propriedade intrínseca.

As quatro subclassificações são apresentadas a seguir.

#### **a) Segundo sua utilização**

As argamassas são classificadas segundo sua utilização em:

- Argamassas para assentamento de alvenaria: servem para assentar unidades de alvenaria como os tijolos, blocos e pedras.
- Argamassas para revestimentos: utilizada em chapiscos, emboços, rebocos, massas únicas e revestimentos de pisos.
- Argamassas para assentamento de outros componentes construtivos: como ladrilhos, azulejos e componentes pétreos.
- Outras utilizações: argamassas especiais destinadas a um determinado fim, diferente dos acima referidos, como as argamassas refratária, isolantes, para impermeabilização, para grauteamento, as anticorrosivas, etc.

#### **b) Segundo os aglomerantes empregados**

As argamassas são classificadas, segundo o tipo do aglomerante empregado em:

- Argamassas de cal: de cal hidratada (comercializada ensacada) e de cal virgem (extintas em obra);
- Argamassas de cimento: simples, com plastificantes minerais e aditivas;

- Argamassa de gesso;
- Argamassa de cimento e cal;
- Argamassa de cimento de alvenaria.

Desta classificação, as mais importantes são argamassas de cal, as argamassas de cimento Portland, as argamassas de cimento e cal (mistas) e por último as argamassa com cimentos especiais.

### **Argamassa de cal**

Esses tipos de argamassas são as mais antigas empregadas na alvenaria e foram muito usadas pelos romanos.

As argamassas de cal são usadas, comumente, em paredes de vedação de pequenas construções. São argamassas que possuem baixa resistência à compressão e grande porosidade e por isto que não devem ser usadas em climas úmidos e frios. São também muito suscetíveis à ação do congelamento. Também não devem ser utilizadas na alvenaria estrutural pelas suas características de baixa resistência mecânica e capacidade de aderência potencialmente pobre (SOLÓRZANO, 1994).

### **Argamassas de cimento Portland**

As argamassa de cimento Portland são argamassas que usam aditivos plastificantes, geralmente incorporadores de ar, com objetivo de aumentar a trabalhabilidade e a retenção de água. A quantidade de aditivo a ser colocado é de extrema importância, pois entra em pequena proporção e um pequeno erro na dosificação provocaria grandes variações nas características e no desempenho esperado da argamassa.

No Brasil, essas argamassas têm sido muito pouco utilizadas na alvenaria estrutural, pois seu custo é maior em relação à argamassa mista de cal e cimento e de propriedades semelhantes. Além disso, dosagens incorretas de aditivos podem trazer consequências adversas. São mais utilizadas para o assentamento de azulejos e outros revestimentos cerâmicos e na junta de painéis pré-fabricados.

## **Argamassas de cimento e cal**

Esse tipo de argamassa é constituído de cimento, cal e areia (argamassas mistas). É a união de dois aglomerantes com propriedades distintas. A cal tem baixa resistência à compressão, alta retenção de água, boa trabalhabilidade e excelente deformabilidade, enquanto que o cimento apresenta excelente resistência à compressão. A combinação de resistência do cimento com a trabalhabilidade e retenção de água dada pela cal torna esse tipo de argamassa o mais adequado para a alvenaria estrutural (MATA, 2006).

A norma ASTM C 270 (1988) em seu anexo final: “*Selection and use of mortar for unit masonry*”, expõe que as argamassas mistas de cimento e cal possuem um amplo espectro de propriedades, pois incorporam as qualidades tanto das argamassas de cal como as de cimento.

Solórzano (1994), na sua dissertação de mestrado, faz a seguinte comparação: as argamassas de cimento e areia têm altas resistências mecânicas associadas a uma baixa retenção de água e trabalhabilidade deficiente, porém estas características deixam a parede muito resistente, mais vulnerável à fissuração e à penetração da chuva. Por outro lado as argamassas somente de cal possuem características contrárias, como baixas resistências e alta retenção de água e trabalhabilidade, mas apresentam excelentes deformabilidades, o que diminui a fissuração e aumenta a sua estanqueidade. Porém em uma posição intermediária a dosagem de cimento e cal produz uma argamassa dotada de cada uma das propriedades anteriormente anunciadas, em que se combina a resistência dada pelo cimento com a trabalhabilidade e retenção de água dada pela cal.

Esse tipo de argamassa é a mais utilizada no Brasil tanto na alvenaria estrutural como não estrutural e foi selecionada para execução dos ensaios experimentais deste trabalho.



## **Argamassas com cimento de alvenaria**

Atualmente, as argamassas com cimento de alvenaria não são produzidas no Brasil, mas muito usadas em outros países. Possuem como aglomerante o cimento de alvenaria, que é, de forma geral, uma mistura de cimento Portland com pó calcário finamente moído e eventualmente aditivo incorporador de ar. Estas argamassas normalmente possuem boa trabalhabilidade, pois os cimentos de alvenaria contêm, além do aglomerante, o material plastificante.

### **c) Segundo a proporção dos elementos constituintes**

Solózarno (1994) aponta que as argamassas podem ser classificadas também segundo a relação entre volume da pasta e o volume de vazios granulares:

- Magras ou pobres: o volume da pasta não preenche os vazios entre os grãos;
- Normais ou básicas: o volume da pasta preenche os vazios dos agregados por completo;
- Gordas ou ricas: possuem excesso de pasta em relação ao índice de vazios.

A norma britânica BS 5628: Part 1 (1992) define os tipos de argamassas de assentamento a serem usadas na alvenaria estrutural, com seus respectivos traços e resistências à compressão, esperadas aos 28 dias. A Tabela 2.4 apresenta esses valores.

Tabela 2.4 – Traços de argamassas especificados pela BS 5628: Part 1 (1992)

Tipo de Argamassa	Traço da argamassa (em volume)	Resistência média à compressão aos 28 dias (MPa)	
	Cimento: cal: areia	Ensaio em laboratório	Ensaio em obra
(i)	1: 0 a ¼ : 3	16,00	11,00
(ii)	1: ½ : 4 a 4 ½	6,50	4,50
(iii)	1: 1: 5 a 6	3,60	2,50
(iv)	1: 2 : 8 a 9	1,50	1,00

**d) Segundo critérios que ressaltam alguma propriedade intrínseca.**

As argamassas podem ainda ser classificadas segundo alguma propriedade de específico interesse e que permite a escolha da argamassa adequada para uma dada aplicação. Por exemplo, podem ser classificadas pela consistência: ótima, boa, regular ou má, ou por retenção de água: alta, média ou baixa, etc.

Para concluir esse assunto é apresentado a seguir, na Figura 2.4, um diagrama esquemático em que se resume a classificação das argamassas de assentamento tratada neste item, para uma melhor compreensão do leitor.

## Classificação geral das argamassas

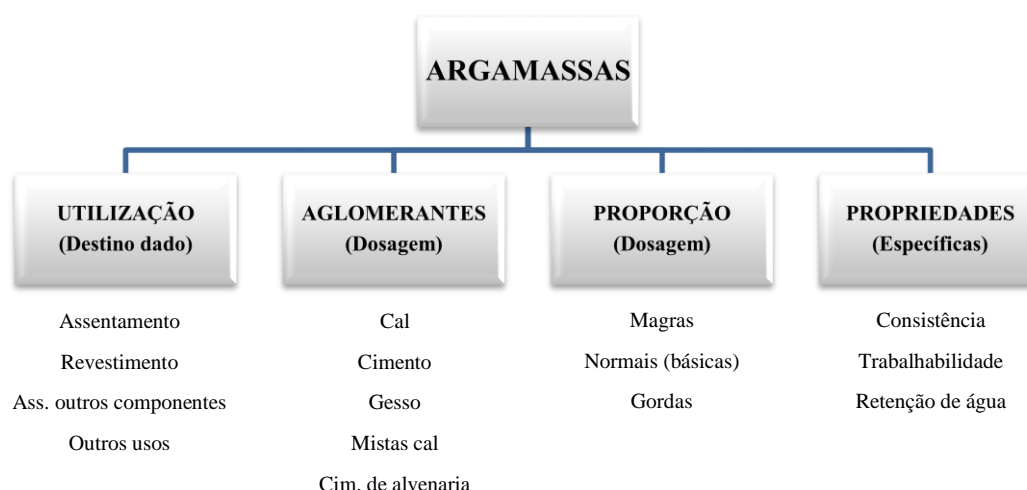


Figura 2.4 – Classificação geral das argamassas (SOLÓZARNO, 1994)

### 2.2.2.4 – Materiais constituintes das argamassas mistas

Aspectos importantes a tratar das argamassas são conforme Izquierdo (2011) seus materiais constituintes, sobretudo da argamassa mista que são: cimento, cal, areia e água, que serão explicados separadamente.

#### **Cimento**

Como tratado anteriormente, o cimento proporciona resistência e durabilidade à argamassa.

Aqui no Brasil podem ser utilizados diferentes tipos de cimentos Portland na confecção das argamassas mistas de assentamento. O consumidor pode escolher aquele cimento que se ajuste às suas necessidades, ou seja, pode selecionar o cimento de acordo com as propriedades desejadas da argamassa porque cada um deles tem características próprias e adequadas para cada condição específica, por exemplo: cimentos de diferentes classes de resistências irão produzir argamassas com resistências mecânicas variáveis; cimentos Portland pozolânicos, por apresentarem maior capacidade de retenção de água. Além disso, esse tipo de cimento tem endurecimento mais lento, contribuindo para produzir argamassas mais resistentes.

Rosello (1976) explica que se deve ter cuidado com os cimentos aluminosos de alta resistência inicial, não devendo ser usados em zonas com muito umidade e alta temperatura devido a seu poder de rápida hidratação.

A norma NBR 8798 (1985) não condena o uso de nenhum tipo de cimento desde que todos atendam às respectivas especificações normalizadoras. Podem ser utilizados, de acordo com a norma, todos os tipos de cimento Portland comum, com ou sem adição e os de alto forno e pozolânicos.

## **Cal**

Ao contrário do cimento, que é um 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.

A cal possui, por sua finura, importantes propriedades plastificantes e de retenção de água. Confere à argamassa coesão e extensão de aderência, sendo o componente fundamental para assegurar a obtenção da aderência. Por sua vez, a durabilidade da aderência é proporcionada pela habilidade da cal em evitar minúsculas fissuras e preencher vazios através da carbonatação que se processa ao longo do tempo (MATA, 2006).

## **Areia**

As areias usadas no Brasil para fabricar argamassas apresentam ampla variabilidade, tanto na sua origem petrológica e mineralógica como na sua granulometria.

As areias usadas na construção civil na região norte do Brasil dividem-se em silicosas, calcáreas e argilosas. As melhores e mais utilizadas são as areias silicosas. As calcáreas são consideradas boas quando não friáveis (são areias que podem reduzir-se facilmente a fragmentos ou pó), e compostas de grãos duros.

As areias provenientes dos rios são geralmente as mais puras e, por esta razão, as mais preferidas. É importante frisar que nem sempre é conveniente a lavagem das areias, pois se perdem os materiais mais finos, prejudicando assim a compacidade e resistência das argamassas. Depósitos de areia silicosa são encontrados em vários pontos do estado do Pará,

como as regiões dos municípios de Vigia, Santa Maria do Pará, Mosqueiro, Nova Timboteua, Igarapé Açu, Irituia, São Domingos do Capim, Marapanim, Bragança, etc.

Quanto à granulometria influem as dimensões, a distribuição granulométrica e a forma dos grãos. De forma geral, a areia que apresenta melhor potencial de produzir uma argamassa adequada é aquela que tem uma granulometria contínua, uma classificação como média em que o módulo de finura varia entre 1,8 e 2,8 e tenha uma predominância de grãos arredondados.

A Tabela 2.5, tomada de Sabbatini (1984), mostra uma sinopse qualitativa da influência desses parâmetros nas principais propriedades das argamassas e um melhor conhecimento das características da areia para obtenção de resultados satisfatórios das propriedades das argamassas.

Tabela 2.5 – Influência das características granulométricas nas propriedades das argamassas (SABATINI,1984)

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 na secagem	Aumenta	Aumenta	Variável
Porosidade	Variável	Aumenta	Variável
Aderência	Pior	Pior	Melhor
Resistências Mecânicas	Variável	Pior	Variável
Impermeabilidade	Pior	Pior	Variável

A Tabela 2.6 mostra a granulometria dos agregados proposta pela norma brasileira NBR – 7211 (2009), que são distribuídos segundo o tipo da zona.

Tabela 2.6 – Limites granulométricos do agregado, NBR 7211 (2009)

Peneiras ABNT (mm)	Porcentagem em peso retida acumulada na peneira ABNT			
	Zona 1 (muito fina)	Zona 2 (fina)	Zona 3 (média)	Zona 4 (grossa)
9,5	0	0	0	0
6,3	0 a 3	0 a 7	0 a 7	0 a 7
4,8	0 a 5*	0 a 10	0 a 11	0 a 12
2,4	0 a 5*	0 a 15*	0 a 25*	5 a 40
1,2	0 a 10*	0 a 25*	10 a 45*	30* a 70
0,6	0 a 20	21 a 40	41 a 65	66 a 85
0,3	50 a 85*	60* a 88*	78 a 92*	80* a 95
0,15	85** a 100	90** a 100	90** a 100	90** a 100

\*Pode haver tolerâncias de até 5 unidades de porcentagem em um só dos limites ou distribuídos em vários deles.

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

Já as normas inglesa e americana recomendam a granulometria apresentada na Tabela 2.7 para as areias destinadas às argamassas de assentamento.

Tabela 2.7 – Granulometria recomendadas para as areias de argamassa segundo as normas inglesa e americana

Porcentagem em peso que passa nas peneiras	
BS – 1200	ASTM C – 144
100	100
90 – 100	95 – 100
70 – 100	70 – 100
40 – 80	40 – 75
5 – 40	10 – 35
0 – 10	2 – 15

\*5,00 para BS – 1200

## Água

A norma brasileira NBR 8798 (1985) recomenda o uso de água potável com pH entre 5,8 e 8,0 e deve ser isenta de teores prejudiciais de substâncias estranhas, porém a água satisfatória para a argamassa de assentamento deve respeitar os limites da Tabela 2.8.

Tabela 2.8 – Limites máximos para a água de amassamento das argamassas, NBR 8798 (1985)

Matéria orgânica (expressa em oxigênio consumido)	3 mg/L
Resíduos sólidos	500 mg/L
Sulfatos (expressos em íons SO <sub>4</sub> )	300 mg/L
Cloretos (expressos em íons Cl <sup>-</sup> )	500 mg/L
Açúcar	5 mg/L

Estes limites têm maior importância quando a alvenaria é armada, pois alguns compostos na água podem corroer a armadura.

### 2.2.3 - PRISMA

As normas brasileira e britânica não estabelecem uma definição de prisma para blocos cerâmicos. Define-se, de uma maneira geral, prisma como conjunto composto pela justaposição de dois ou mais blocos, unidos através de juntas de argamassa com 1 cm de espessura, destinados ao ensaio de compressão axial.

Os ensaios com prismas são a base para o projeto estrutural, uma vez que ensaios das unidades componentes da alvenaria não apresentam boa correlação com aqueles sob condições de utilização das estruturas. Outro cuidado que se deve tomar, ao analisar os resultados de ensaios de prismas e utilizá-los no cálculo estrutural, está relacionado às características geométricas do prisma com relação à estrutura real.

Para Pasquali (2007) todos esses fatores, a melhor maneira de se estimar valores para as alvenarias seriam ensaios em escala real. Todavia, esses testes são de difícil preparação, onerosos, além de exigirem uma estrutura laboratorial sofisticada.

Pesquisas têm sido desenvolvidas para avaliar o quanto influência do índice de esbeltez (influência da altura e geometria do prisma) na resistência à compressão. Conforme Monk (1967), os trabalhos mais antigos sobre este assunto datam do século XIX, *Comprehensive Tests of Brick Piers*. Ainda, segundo ele, “provavelmente o fator geométrico que maior efeito tem sobre a resistência da alvenaria é o índice de esbeltez”.

A esbeltez é obtida em função do vínculo a que a parede está submetida e pela relação  $h/t$ , onde  $h$  é a altura da parede e  $t$  é a espessura dela. A respeito disso, Monk (1967) diz que: “Se a tensão de compressão  $f_{mt}$ , for baseada na resistência de espécime com baixos valores da relação  $h/t$  (esbeltez), irá resultar em uma estimativa errônea da verdadeira resistência da alvenaria dos prismas que estão sendo testados”.

Sinha (1986) ensaiou prismas aos 28 dias de dois e seis blocos, utilizando argamassa de cimento e areia no traço 1:4 (peso) e observou que a relação entre número de blocos no prisma e sua resistência é não-linear.

La Rovere e Soliz (1995), ao ensaiarem prismas de blocos cerâmicos à compressão, com e sem juntas verticais preenchidas, observaram que não houve diferença significativa na resistência à compressão nos prismas com juntas de amarração quando comparados com prismas sem juntas de amarração. Com relação à altura do prisma, concluíram que, para prismas grauteados, o fator importante é a esbeltez ( $h/t$ ) e observaram um decaimento exponencial da resistência do prisma com o aumento de  $h/t$ , tendendo a um valor constante para  $h/t$  maior ou igual a 4. Para prisma não grauteado, houve um decréscimo significativo ao aumentar o prisma de 2 para 3 blocos na altura, mas não houve diferença significativa ao aumentar a altura de 3 para 4 blocos.

Conforme Pasquali (2007) diversos pesquisadores, como por exemplo, Monk (1967), e Sinha (1986), têm analisado o comportamento da alvenaria com blocos cerâmicos através de ensaios de blocos, prismas, mini-paredes e paredes em tamanho natural, com alturas variadas. As determinações mais comuns são as capacidades resistentes a esforços de compressão axial e a deformabilidade de elementos testados.

Medeiros e Sabatini (1993), Franco (1993), Oliveira e Pinheiro (1994), Muller (1989) e Aly (1992) recomendam que as pesquisas em alvenaria sejam realizadas empregando-se prismas com três blocos de altura.



A norma NBR 8215 (1983) cita dois métodos de preparação de prismas de concreto. No primeiro método, os prismas são moldados em laboratório, com diversos tipos de argamassa, blocos e graute. No segundo método, os prismas são moldados in loco, com os mesmos materiais e mão-de-obra em uso.

Define ainda a norma que os prismas devem ser compostos de dois blocos, unidos por uma junta de argamassa com 1 cm de espessura, e o resultado de resistência à compressão é a média do ensaio de três prismas. Essa especificação da NBR 8215 (1983) é contra a segurança, pois fornece valores maiores que os reais para a resistência da alvenaria.

Para Santos (2008) vários pesquisadores afirmam que os ensaios com prismas podem conter de um a um bloco e meio de largura, sendo o segundo, necessariamente, contra-fiado. Quanto aos modos de assentamento, os prismas podem ter a argamassa em toda sua superfície de assentamento, ou somente nas faces. E podem, também, serem grauteados ou não.

A Figura 2.5 apresenta os diferentes tipos de prismas que podem ser utilizados experimentalmente.

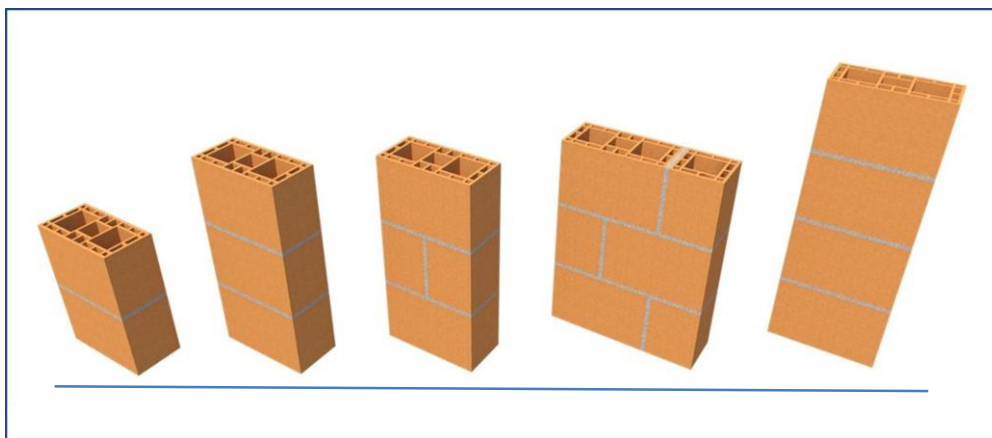


Figura 2.5 – Modelos de prismas que podem ser utilizados experimentalmente

#### 2.2.4 – MINI-PAREDES

Entre os séculos XIX e XX, edifícios de grande porte já eram construídos tendo como exemplo o “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.

Os blocos cerâmicos foram desenvolvidos na Europa, em 1870, e produzidos nos Estados Unidos em 1875. Acredita-se que os primeiros ensaios de resistência de tijolos cerâmicos tenham sido executados na Inglaterra, por volta de 1818. Na Europa, em 1876, realizaram-se as primeiras tentativas de normalização dos ensaios. Entre 1882 e 1906, foram ensaiados, nos Estados Unidos, no “Watertown Arsenal”, cerca de 173 pilares de alvenaria (MULLER, 1989; GOMES, 1974).

No período compreendido entre 1910 e 1928, no *National Bureau of Standards* (NBS), Estados Unidos, foram desenvolvidas várias pesquisas com paredes axialmente carregadas. Os ensaios em prismas surgiram, pela primeira vez, em 1929, abrindo a possibilidade de se estimar, satisfatoriamente, a resistência à compressão de paredes de alvenaria mediante ensaios nesse tipo de corpo-de-prova (STANG, 1929).

Um estudo publicado por A. Bredner, em 1923, resultado de estudos teóricos experimentais, é considerado como sendo o início da alvenaria estrutural. A partir dessa época, um grande número de pesquisas foram desenvolvidas com o intuito de equacionar o comportamento da alvenaria quando chamada a desempenhar a função estrutural. Nesse curto espaço de tempo, o conhecimento sobre alvenaria cresceu muito mais do que o acumulado ao longo de vários séculos. Em 1946, o engenheiro suíço Paul Haller deu início a um conjunto de ensaios em paredes e pilares em escala natural. Esses ensaios contribuíram para um melhor aproveitamento das potencialidades dos materiais de então, possibilitando a construção de vários edifícios na Basileia e em Zurique (HALLER, 1958). O primeiro desses edifícios foi construído em 1951, possuindo 13 pavimentos, com paredes internas de 15 cm de espessura e externas de 37,5 cm. Tal edifício foi considerado, por Sahlin apud Roman (1983), o primeiro edifício em alvenaria estrutural não armada.

Esses edifícios fizeram ressurgir a confiança na alvenaria como estrutura, levando os ingleses a reverem, em 1964, sua norma que tratava do assunto, o CP – 111 de 1948. Nessa nova versão, os coeficientes de redução devido à esbeltez tornaram-se menos conservadores. Após revisado, esse código foi publicado em 1970.

Durante a década de 60, os ingleses dedicaram-se ao estudo do prisma cubico de 229 mm com seis tijolos. Trabalhos conduzidos por Stedham (1965), Bradshaw e Hendry (1968), Everil e Beech (1968), buscaram, por muito tempo, correlações entre a resistência à compressão desse tipo de corpo-de-prova e paredes em escala natural. Os resultados desses estudos, já no final da década, mostraram que o prisma cubico era inadequado. A partir de então, passou-se a usar o prisma comum para o estudo do comportamento da alvenaria, quando submetida a diversos tipos de solicitações.

Em 1966, nos Estados Unidos, foram publicados o “Building Code Requirements for Engineered Brick Masonry”, pelo “Structural Clay Products”, hoje o “Brick Institute of America” (BIA), fato considerado como um marco na história da alvenaria estrutural. Posteriormente, em 1969, essas recomendações foram incluídas no “Recommended Practice for Engineered Brick Masonry” do BIA.

Na década de 70, ainda nos Estados Unidos, vários trabalhos foram desenvolvidos com prismas, numa tentativa de se conhecer as influencias das características dos componentes e da metodologia de ensaio sobre o comportamento da alvenaria, bem como as correlações com as resistências de paredes, a citar os trabalhos de Brown (1975), Redmond e Allen (1975).

Bélgica e França desenvolveram estudos, nos anos 70, com o objetivo de fornecer subsídios seguros para o desenvolvimento de critérios de projeto, tendo sido publicados diversos trabalhos sobre isso, como os de Résistance (1969), Schumacher (1971), realizados com prismas e painéis de paredes, dando origem a ensaios com mini-paredes.

Afirma Pasquali (2007), que na mesma época, os neozelandeses e australianos publicaram resultados de trabalhos experimentais sobre mini-paredes construídas com unidades cerâmicas e de concreto, concluído sobre a viabilidade de que as mini-paredes representem paredes e permitam o estudo da influência das propriedades dos componentes sobre a alvenaria. O exemplo desses trabalhos experimentais, podem ser citados os estudos de Bouolt (1976) e Anderson (1971).

Recomenda-se que os pequenos painéis sejam confeccionados com os mesmos materiais das alvenarias que pretendam representar, mantendo as mesmas características de espessura de juntas, tipo de argamassa e forma de assentamento.

Os ensaios em mini-paredes conduzem a melhores resultados que os observados nos ensaios de unidades e argamassas, por serem mais representativos da alvenaria que as unidades

isoladas Brick Institute of America (1975). Apresentam ainda, como vantagens, a relativa rapidez de execução, o baixo custo e a simplicidade de equipamentos. Outra grande vantagem desse tipo de ensaio é a possibilidade de diversificação dos materiais a serem utilizados e das técnicas construtivas, não se prendendo a uma padronização rígida como o verificado nos ensaios anteriores. No entanto, sua utilização pressupõe o conhecimento das correlações existentes com paredes reais, executadas de forma semelhante. A Figura 2.6, apresenta um modelo de mini-parede utilizado experimentalmente.

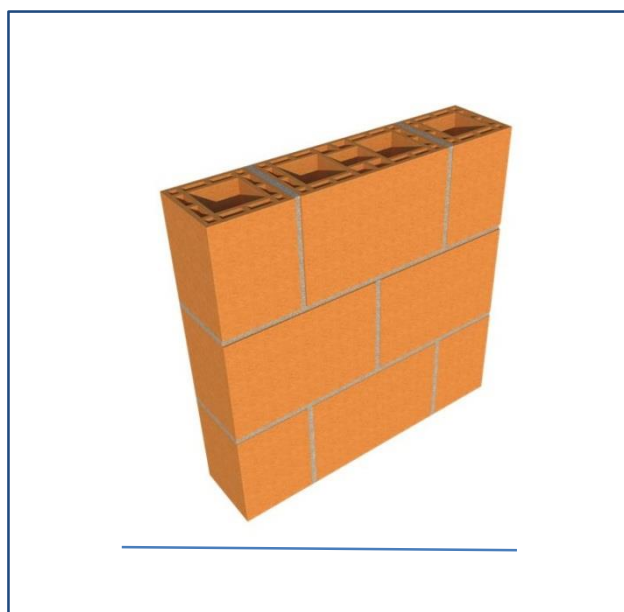


Figura 2.6 – Modelo de mini-parede utilizada experimentalmente

Não existe norma brasileira que contemple o ensaio de mini-paredes, mas é um ensaio usual, pois fornece uma melhor resposta que os prismas e são mais fáceis a aparelhagem e o manuseio que os ensaios em paredes.

## 2.2.5 – PAREDES

Em estudos e pesquisas na alvenaria estrutural, o elemento que melhor a representa, nos ensaios de resistência, são as paredes. Uma parede é o resultado da união de blocos e argamassa.

Para Santos (2008) a correlação prisma/parede é mais próxima do real do que a relação bloco/parede. Tendo em vista que estes ensaios são mais rápidos e econômicos, e não exigem sofisticação laboratorial, portanto são preferíveis. Mesmo sabendo que a melhor maneira de enumerar valores estruturais, seria por meio de ensaio em paredes com escala real.

Na NBR 8949 (ABNT, 1985a) está especificado o ensaio de parede com a dimensão mínima de 1,20 m de largura por 2,60 m de altura, Figura 2.7.

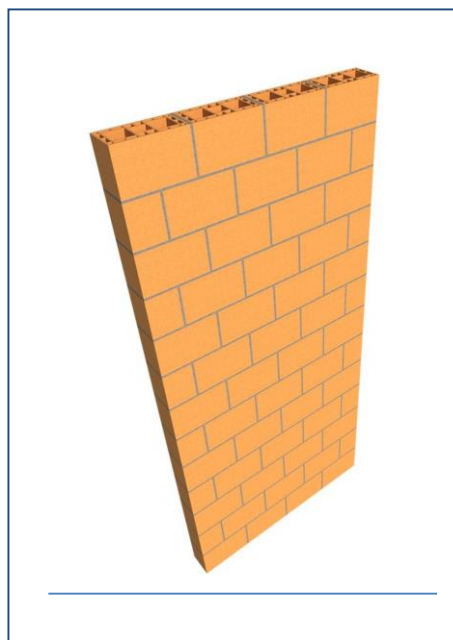


Figura 2.7 – Modelo de parede utilizada experimentalmente, NBR 8949 (ABNT, 1985a)

## 2.3 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NA ALVENARIA

### 2.3.1 – MODELOS DE RUPTURA

Segundo Santos (2008) a resistência à compressão da alvenaria é um fator importante, pois no dimensionamento, o carregamento vertical com combinação do esforço horizontal é suportado pela mesma, embora alguns autores a coloquem em 3º ou 4º grau de importância.

Para Monk (1967), em seus resultados obtidos em testes de laboratório ficou evidente que em praticamente todos os casos em que a ruptura ocorreu no bloco cerâmico pelo fendilhamento vertical, as tensões de tração ultrapassam a resistência à tração da unidade. Quando unidades cerâmicas são ensaiadas à compressão, o prato de aço da prensa sendo muito mais rígido do que o bloco, produz nestas deformações laterais de compressão, ocasionando a ruptura por cisalhamento.

Vários pesquisadores estudaram os modelos matemáticos, a fim de explicar o comportamento da alvenaria; salientam-se, entre os trabalhos em alvenaria cerâmica, os seguintes autores: Hilsdorf (1967); Atkinson e Nolan (1985) e Lenczner. Estes estudos são sintetizados a seguir:

#### a) Modelo de Hilsdorf

Hilsdorf (1967) apud GOMES (1983) foi o primeiro pesquisador a chegar a conclusões satisfatórias sobre a forma de ruptura na alvenaria, elaborando um modelo matemático considerando o comportamento elástico e baseando-se nos esforços resistidos pelos componentes da alvenaria.

As hipóteses do autor são as seguintes: comportamento de ruptura semelhante ao critério de Mohr (de acordo com este critério haverá ruptura quando a tensão de cisalhamento se igualar à resistência de cisalhamento); perfeita aderência entre bloco (tijolo maciço) e argamassa; distribuição uniforme de tensões laterais e verticais.

A Figura 2.8 apresenta o estado de tensões em prisma de alvenaria, segundo o modelo estabelecido por Hilsdorf.

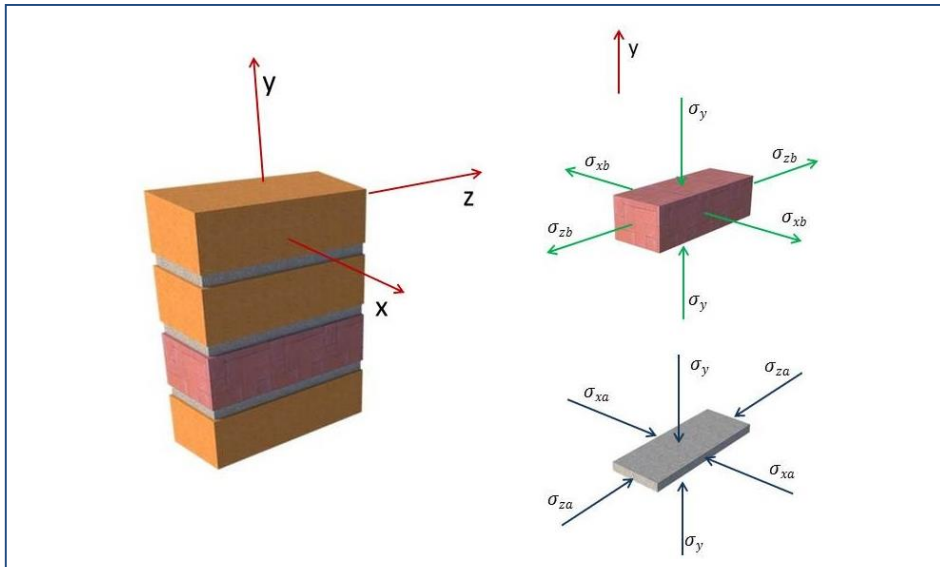


Figura 2.8 – Distribuição de tensões no prisma, conforme Hilsdorf

Admite-se, neste modelo, que ao mesmo tempo o bloco rompe sob estado bi-axial (tração-compressão) e a argamassa, sob estado tri axial de compressão. Na Figura 2.9 a linha CD, representa o esforço de compressão na argamassa, sendo que sua resistência aumenta com o nível de compressão lateral. A interseção desta reta com a reta de Coulomb AB, que define a envoltória de ruptura, causará a ruptura do prisma. Este critério permite chegar a valores quantitativos.

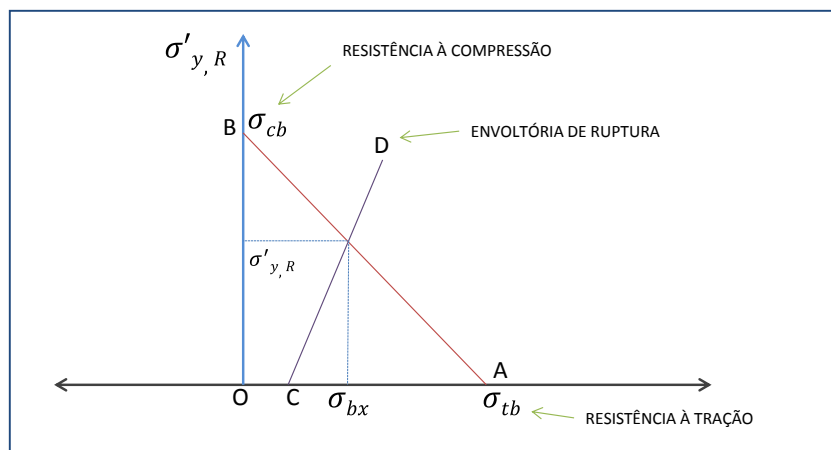


Figura 2.9 – Relação entre as tensões de compressão e tração em um bloco ou tijolo, na ruptura  
 Fonte: GOMES (1983, p.68)

Segundo este autor, a aplicação de cargas de compressão à argamassa, com um módulo de deformação menor que o bloco, tem a tendência de se expandir lateralmente. Quando as tensões de tração no bloco ultrapassarem a sua resistência à tração ocorre fissuração na unidade, porque há aderência entre bloco e argamassa que sugerem tensões de compressão triaxiais na argamassa, e que gera tensões de tração no bloco.

#### b) Modelo de Atkinson e Noland

Conforme Santos (2008) a teoria de Atkinson e Noland (1985) foi desenvolvida, relacionando propriedades de resistência e deformação de prismas submetidos a esforços de compressão, sendo baseada no critério de Hilsdorf (1969). Esta refere que o comportamento da alvenaria é baseado na compatibilidade de deformação dos blocos e argamassa.

As hipóteses dos autores são as seguintes: considera a relação linear entre a tensão de compressão local e a resistência à tração lateral biaxial; consideram o prisma com o conjunto bloco/argamassa, sujeito a uma tensão de compressão vertical uniforme; este estado de tensão é mostrado na Figura 2.10.

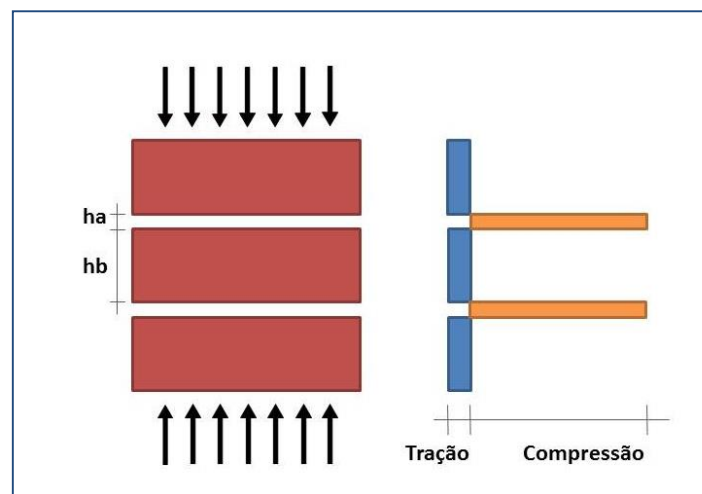


Figura 2.10 – Distribuição de tensões segundo Atkinson e Noland



De acordo com os autores, os critérios que afetam a resistência à compressão uniaxial da alvenaria são: a resistência à tração uniaxial e biaxial do bloco e da argamassa, assim como os padrões de forma do prisma. O modelo sugere que quanto maiores os blocos, menores são as tensões de tração induzidas à alvenaria.

Para Santos (2008) a partir do modelo proposto por Atkinson e Noland (1985), McNary e Abramns (1985) realizaram ensaios de prismas com blocos cerâmicos, tijolos maciços e diferentes tipos de argamassa, para confrontar os dados experimentais com os valores teóricos. Na realização dos procedimentos experimentais foram feitos os seguintes ensaios: compressão triaxial da argamassa, compressão uniaxial dos blocos e compressão uniaxial dos prismas.

Os autores concluíram que tendo a argamassa a tendência de se expandir lateralmente, quando ligada mecanicamente ao bloco, esta característica é restringida, surgindo, assim, tensões laterais de tração no bloco e de compressão na argamassa, e a resistência dos prismas é governada pela resistência à tração dos blocos e pelas propriedades de deformação da argamassa.

Argamassas com mais resistência possuem um comportamento na curva tensão x deformação essencialmente linear, porque seus prismas fissuram subitamente e romperam explosivamente no carregamento último. Já as argamassas mais fracas apresentam um comportamento mais dúctil, ocorrendo fissuração lenta nos prismas.

Portanto, de acordo com esta teoria, considerando a não linearidade da argamassa, pode ocorrer o fendilhamento do bloco, ao invés do esmagamento da argamassa.

### c) Critério de Lenczner

O critério de Lenczner considera a contribuição da argamassa de assentamento na resistência da alvenaria, baseando-se na compatibilidade de deformações entre os elementos da alvenaria, bloco e argamassa. Este critério é apresentado em Gomes (1983).

A argamassa, por possuir um módulo de elasticidade menor que o do bloco, fica submetida a esforços de compressão e os blocos, a esforços de tração, ocorrendo a ruptura por tração no bloco, devido a sua baixa resistência à tração. A Figura 2.11 explica este critério de compatibilidade de deformações.

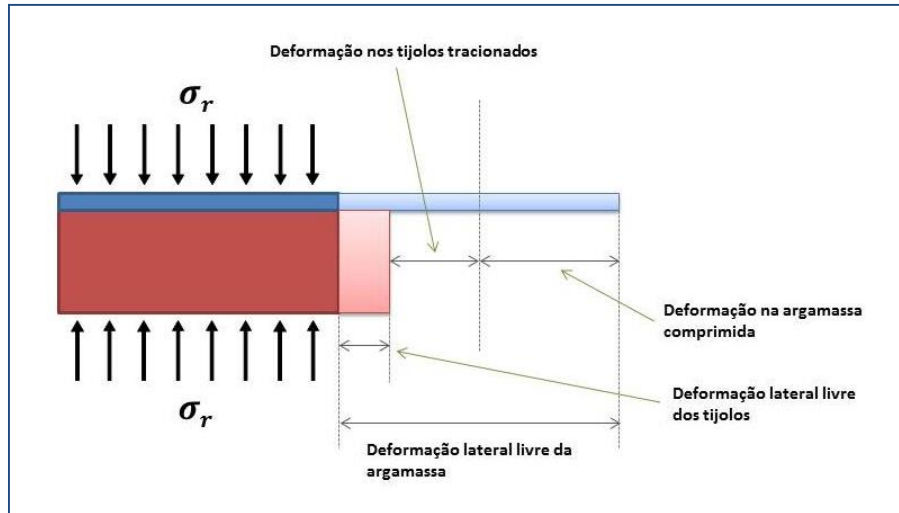


Figura 2.11 – Deformação lateral dos blocos e argamassa de assentamento submetidos à compressão Simples, Fonte: GOMES (1983, p.75)

### 2.3.2 – EQUAÇÕES PROPOSTAS PARA DETERMINAR A RESISTÊNCIA DA ALVENARIA

Vários autores tentam desenvolver equações para calcular a resistência da alvenaria, a fim de explicar matematicamente quanto ela suporta, sem que ocorra sua ruptura. Abaixo estão citados alguns deles, e suas equações.

#### a) La Rovere e Soliz (1995)

Uniformizam e apresentam as equações adotadas por Priestley e Yuk e também por Hamid e Drysdale para o cálculo da resistência da alvenaria. Pelo critério de Hilsdorf, a resistência à compressão da alvenaria é dada pela expressão:

$$f'_m = \frac{\sigma_y}{K_1} \quad \text{Equação 2.1}$$

onde:

$k_1$  = é um coeficiente para considerar a não uniformidade de distribuição de tensões laterais, variando entre 1,1 e 2,5.

$\sigma_y$  = resistência à compressão do bloco

b) Priestley e Yuk

Adotaram a mesma equação de Hilsdorf, sugerindo a utilização de 1,5 como valor para o coeficiente  $K_1$ :

$$f_m = 5,91 \cdot (0,1f'_{cb} + 0,1284f'_a) \quad \text{Equação 2.2}$$

c) Hamid e Drysdale

Também adotaram a equação de Hilsdorf, tomando  $K_1$  igual a 1,08 e chegando à seguinte equação para a resistência à compressão da alvenaria:

$$f'_m = 8,08 \cdot (0,1f'_{cb} + 0,01460f'_a) \quad \text{Equação 2.3}$$

onde:

$f'_{cb}$  = resistência à compressão do bloco

$f'_a$  = resistência à compressão da argamassa

d) Mohamad (1998)

Estabelece equações para indicar a resistência da alvenaria com blocos não grauteados, em função da rigidez entre os materiais. A resistência à compressão dos prismas, em função da resistência da argamassa, é dada pela primeira equação a seguir; já a resistência do prisma, em função da resistência à tração do bloco, é dada pela segunda equação. Segundo o autor a ruptura ocorrerá para o valor mais baixo das duas equações.

$$F_m = f_a \cdot 0,5794 \cdot \left(\frac{E_a}{E_b}\right)^{-1,1093} \quad \text{Equação 2.4}$$

$$F_m = f_{bt} \cdot \left[ 5,4491 \cdot \left(\frac{E_a}{E_b}\right)^2 + 3,6377 \cdot \left(\frac{E_a}{E_b}\right) + 10,219 \right] \quad \text{Equação 2.5}$$

onde:

$F_m$  = resistência à compressão da alvenaria

$f_a$  = resistência à compressão da argamassa

$f_{bt}$  = resistência do bloco à tração

$E_a$  = módulo de elasticidade da argamassa

$E_b$  = módulo de elasticidade do bloco

e) BS 5628 part 1 (1978)

Já na Norma britânica não são estabelecidas diferenças entre alvenaria de blocos cerâmicos ou de concreto, sendo que a resistência característica à compressão da alvenaria  $f_k$  pode ser obtida por duas maneiras:

- teste de resistência final de paredes de tijolos ou blocos, cujas dimensões devem ser de 1,20 m a 1,80 m de comprimento por 2,40 m de altura, com uma área mínima da seção transversal de 0,125 m<sup>2</sup> em que a execução e a argamassa empregadas nas paredes de ensaio devem ser as mesmas utilizadas na prática;
- por meio de correlações empíricas, tendo por base a resistência da unidade e o tipo de argamassa a ser empregado.

A resistência característica à compressão,  $f_k$ , pode ser calculado como segue:

$$f_k = \frac{F_m}{A} \cdot \frac{\Psi_v \cdot \Psi_m}{1,2} \quad \text{Equação 2.6}$$

onde:

$F_m$  = média da carga máxima de duas paredes ensaiadas

$A$  = área da seção transversal de qualquer parede

$\Psi_m$  = fator de redução da resistência da argamassa, dado Tabela 2.1 da BS 5628 part 1

$\Psi_v$  = fator de redução para amostras de elementos estruturais

Ainda, de acordo com a BS 5628 part 1, a resistência característica à compressão depende principalmente da resistência da unidade. Para valores mais baixos de resistência à compressão dos blocos, a argamassa não tem influência significativa na resistência da alvenaria. Entretanto, à medida que se aumenta a resistência do bloco a ser usado, essa influência passa a ser significativa.

f) EUROCODE 6

A equação abaixo é estabelecida pelo código europeu, para determinação da resistência característica da alvenaria à compressão:

$$Fk = k \cdot f_b^{0,75} \cdot f_a^{0,25} \quad \text{Equação 2.7}$$

onde:

k = é um coeficiente

$f_a$  = resistência à compressão média da argamassa

$f_b$  = resistência à compressão média da unidade

Sendo,  $k = 0,4 \cdot \varphi$

Para  $f_b > 15 \cdot \frac{N}{mm^2}$ ,  $\varphi = \left(\frac{15}{f_b}\right) \cdot 0,33 \leq 1,5$

Para  $f_b > 15 \cdot \frac{N}{mm^2}$ ,  $\varphi = 1$

Pode-se observar que, pelo EUROCODE 6, a argamassa tem uma influência bem pequena, comparada com o bloco.

## 2.4 – FATORES QUE INFLUENCIAM A RESISTÊNCIA DA ALVENARIA

Na alvenaria existem vários fatores que influenciam; entre os principais a serem analisados neste estudo podem ser citados:

- Espessura da junta de argamassa;
- Tipo de assentamento;
- Tipo de capeamento;
- Geometria dos blocos;
- Índice de absorção dos blocos;
- Resistência à compressão da alvenaria;
- Resistência à compressão da argamassa;
- Fator de eficiência;
- Módulo de elasticidade.

### 2.4.1 – ESPESSURA DA JUNTA DA ARGAMASSA

A junta de argamassa é essencial para nivelar e suprir as irregularidades dos blocos e é ela quem proporciona união dos blocos, criando uma monoliticidade à alvenaria. Diversas pesquisas indicam que a espessura ideal da junta horizontal é de 10 mm; valores menores, que teoricamente levariam a alvenarias mais resistentes, não são recomendáveis, pois a junta não consegue absorver essas imperfeições das unidades.

Segundo Francis (1967) apud GOMES (1983) a resistência da parede decresce com o aumento da espessura da junta horizontal.

Na norma NBR 8215 (ABNT, 1983) está especificado que a espessura da junta deve ser de  $10 \pm 3$  mm; valores fora deste padrão prejudicam o desempenho das paredes.

Conforme Cheema e Klingner (1986) apud SANTOS (2008) pesquisaram prismas de blocos de concreto com resistência de 25,8 Mpa e argamassa com resistência de 14,9 Mpa,

utilizando duas espessuras de junta de argamassa, uma com 10 mm e outra com 12,7 mm, obtendo uma redução da resistência nos prismas de 39%, quando utilizada a junta mais espessa, conforme pode ser visto na Tabela 2.9.

Tabela 2.9 – Resultados médios de resistências

Espessura da junta (mm)	Resistência do prisma (MPa)
10,00	19,23
12,70	13,80

Fonte: CHEEMA e KLINGNER (1986)

Mohamad (1998) realizou testes em prismas com juntas horizontais de espessura de 7 mm e 10 mm, em blocos de concreto, e concluiu, conforme a Tabela 2.10, que os prismas construídos com junta de 7 mm apresentaram um acréscimo no fator de eficiência de 34 (prisma/bloco).

Tabela 2.10 – Influência da espessura da junta na resistência do prisma

Resistência das argamassas (MPa)	Resistência dos blocos (MPa)	Espessura das juntas (mm)	Resistência dos prismas (MPa)	Eficiência da alvenaria
4,89	15,67	7	11,7	0,75
5,41	15,67	10	8,84	0,56

Fonte: MOHAMAD (1998, p. 86)

Importante é que mesmo com o aumento de resistência do prisma com juntas de menores espessuras, a capacidade da argamassa de acomodar tensões pode ficar comprometida. Por outro lado, espessuras maiores que 10 mm causam diminuição da resistência das alvenarias, devido ao aparecimento de tensões maiores de tração lateral nas unidades.

Sahlin apud ROMAN (1991) concluiu que a resistência da alvenaria diminui em 15% para cada aumento ou diminuição de 3 mm na espessura da junta.

#### 2.4.2 – TIPO DE ASSENTAMENTO DA ARGAMASSA

Na alvenaria estrutural há duas possibilidades de assentamento da argamassa. O primeiro tipo com argamassamento parcial (ou em cordão) nas paredes longitudinais dos blocos e o segundo tipo denominado de argamassamento total, é colocada argamassa em todas as faces das paredes dos blocos incluindo os septos transversais. É importante ressaltar que se for utilizada argamassa apenas nas paredes longitudinais e verticais, gerará uma racionalização ainda maior no processo; no entanto isso pode causar um aumento de tensões localizadas na alvenaria, influenciando o modo de ruptura dos mesmos. A Figura 2.12 mostra os dois tipos de assentamento citados.

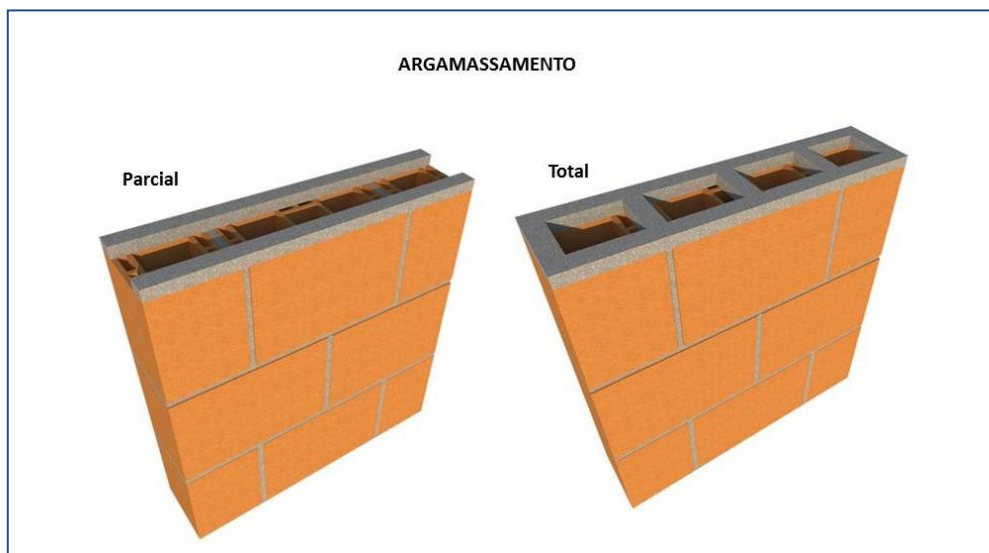


Figura 2.12 – Argamassamento parcial e total

Por meio de simulação computacional, utilizando-se o método dos elementos finitos para estudar o comportamento de prismas com diferentes tipos de assentamento, concluiu-se que a colocação de argamassa somente nas paredes laterais dos blocos, implica no surgimento de grandes concentrações de tensões nas paredes transversais, o que não acontece quando a colocação da argamassa é realizada em todo o bloco, sendo que no primeiro caso a fissuração inicia na parede transversal central (GANESAN e RAMAMURTHY, 1992).



Colville e Woldetinsae (1990) estudaram a influência do tipo de assentamento na resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto. Com base em seus resultados concluíram que a resistência à compressão dos prismas vazados é aproximadamente 8% menor para prismas com assentamento total do que para prismas com assentamento lateral. É importante ressaltar que os autores chegaram a esses resultados, considerando a resistência à compressão calculada em relação à área de assentamento da argamassa.

#### 2.4.3 – TIPO DE CAPEAMENTO

O capeamento de blocos, prismas e paredes é essencial porque melhora a distribuição de tensões, tornando suas superfícies regulares. Segundo a norma NBR 15270-3 (ABNT, 2005f) as faces devem estar devidamente regularizadas e, tanto quanto possível, paralelas. O capeamento deve ser feito com pasta de cimento ou argamassa com resistência superior à do bloco, na área bruta, e com espessura igual ou inferior a 3 mm, ou então os corpos-de-prova devem ser regularizados por meio de uma retífica, dispensando assim o capeamento.

O confinamento dos pratos da prensa, que pode ser minimizado de acordo com o tipo de capeamento.

#### 2.4.4 – GEOMETRIA DO BLOCO

Gomes (1983) salienta a importância da geometria dos blocos para a resistência das paredes, observando que a ruptura começa pelas nervuras em contato com as faces externas do bloco; tal fato exemplifica uma das influências da geometria dos blocos no comportamento das paredes. Blocos com paredes mais robustas têm melhores condições de absorver as tensões de tração geradas nas mesmas.

Boult (1979), estudando prismas de concreto, observou que a espessura do septo parece não influenciar na resistência do prisma e que furos mais paralelos produzem melhor resistência que os afunilados, concluindo que a geometria do furo é uma variável importante na resistência da alvenaria. Concluindo o afunilamento favorece a deformação do bloco.

Shrive (1983 apud PASQUALI, 2007) defende que existem vantagens em aumentar a espessura dos septos, reduzir o afunilamento dos furos e alinhá-los.

Abiko (1994) ao estudar a relação da resistência durante à compressão, de acordo com o formato dos blocos cerâmicos, concluiu que a da face lateral dos blocos de furos quadrados é maior que a dos blocos de furos redondos.

O comportamento dos blocos vazados é similar ao de blocos maciços, sendo que a ruptura ocorre nas paredes longitudinais, com fissuras verticais entre as paredes transversais, que funcionam como enrijecedores das paredes longitudinais. No caso de paredes muito delgadas, pode ocorrer o deslocamento ou a flambagem das paredes externas (LA ROVERE, 2001).

#### 2.4.5 – ÍNDICE DE ABSORÇÃO INICIAL

Os blocos possuem taxas de sucção que dependem do tipo de argila utilizada e do seu grau de queima. O eventual aumento dessas taxas ocasiona uma acentuada redução na resistência da alvenaria de maneira exponencial. As unidades com alta taxa de sucção interferem na resistência à compressão e aderência da argamassa, pois retiram rapidamente água desta.

Conforme Franco (1993) as altas taxas de absorção dos blocos provoca uma menor plasticidade da argamassa, durante o assentamento, fazendo com que não absorvam pequenas deformações de assentamento da alvenaria.

Na NBR 15270-3 (ABNT, 2005f) é recomendado que se o valor encontrado do índice de absorção inicial AAI for superior a 30g/193,55 cm<sup>2</sup> os blocos devem ser previamente umedecidos, antes de assentados, para o seu melhor desempenho; se for menor, os blocos podem ser assentados sem o prévio umedecimento.

## 2.4.6 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO BLOCO

Blocos com maior resistência tendem a aumentar a capacidade de tensão da alvenaria à compressão. Entretanto, esse aumento nas alvenarias não é linearmente proporcional ao dos blocos. Assim, Roman (1983), refere que quanto maior a resistência do bloco menor o fator de eficiência.

Na norma britânica BS 5628/78 estão estabelecidos parâmetros de resistência da alvenaria para o uso de diferentes tipos de blocos, como pode ser visto na Figura 2.13, onde são apresentados os valores dessa resistência à compressão dos prismas, de acordo com os blocos (com relação largura/espessura entre dois e quatro) de diferentes resistências.

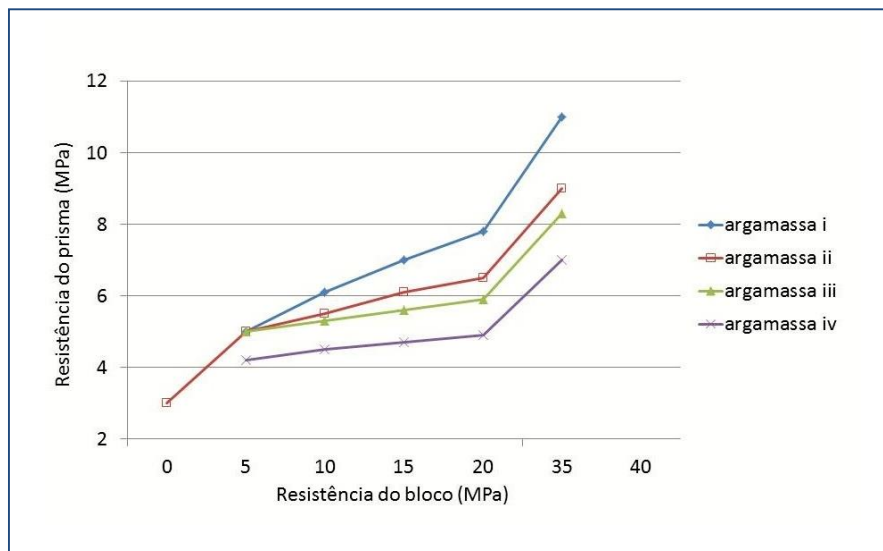


Figura 2.13 – Comparativo da resistência de prismas e blocos  
Fonte: (BS 5682 : 1978, adaptada)

Na figura apresentada observa-se o desempenho dos quatro tipos de argamassas padronizadas pela norma britânica BS 5682/78, onde ocorre um aumento de resistência do bloco em 12,5 vezes, gerando um ganho médio de resistência, no prisma, de 3,25 vezes, e a variação da resistência da alvenaria em função do traço da argamassa, conclui-se que em blocos, a partir de 15 Mpa, a variação começa a ser significativa, o que não ocorre nas de baixa resistência.

#### 2.4.7 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DA ARGAMASSA

A argamassa de assentamento tem importante função estrutural de ligação das unidades e componentes; sua maior resistência possibilitará a construção de paredes mais resistentes, no entanto, essas paredes apresentarão uma ruptura excessivamente frágil e não acompanharão os eventuais movimentos da estrutura. Um dos grandes problemas identificados é saber qual o nível de resistência é o ideal.

Conforme a BS 5628 part 1 (1978) a argamassa deve conter água potável, sendo necessário controlar o tempo de mistura, e o uso de aditivos é permitido. A resistência à compressão da argamassa é apresentada na Tabela 2.11.

Tabela 2.11 – Resistência à compressão das argamassas da Norma Britânica (BS 5628)

Designação	Tipos de argamassa (em volume)			Resistência média à compressão, aos 28 dias (MPa)	
	ci:cal:ar	ci(alv):ar	ci:cal:plast	Laboratório	Obra
i	1:0 a ¼:3	-	-	16	11
ii	1:¼:4 a 4½	1:2 ½ a 3½	1:3 a 4	6,5	4,5
iii	1:2:5 a 6	1:4 a 5	1:5 a 6	3,6	2,5
iv	1:2:8 a 9	1:5 ½ a 6½	1:7 a 8	1,5	1,0

Segundo a norma americana ASTM C (1987) o traço e as propriedades da argamassa de assentamento estrutural, devem seguir as especificações apresentadas nas Tabelas 2.12 e 2.13.

Tabela 2.12 – Especificações dos traços das argamassas (ASTM C 270 – 86b)

Tipo de argamassa	Traço em volume		
	Cimento	Cal	
M	1	0,25	Areia de 2,25 a 3 vezes a soma dos volumes de aglomerantes
S	1	0,25 a 0,50	
N	1	0,50 a 1,25	
O	1	1,25 a 2,25	

Tabela 2.13 – Especificações das propriedades das argamassas de cimento e cal (ASTM C 270 – 86b, 1987)

Tipo de argamassa	Resistencia média à compressão 28 dias (MPa)	Retenção de água (%)	Ar incorporado (%)
M	17,2	75	12
S	12,4	75	12
N	5,2	75	14
O	2,4	75	14

Ainda segundo a norma ASTM C 270 – 86b (1987), os agregados devem atender às especificações da norma ASTM C 144 – 84 (1987), mostrada na Tabela 2.14.

Tabela 2.14 – Limites granulométricos do agregado (ASTM C 144 – 84, 1987)

Peneiras (mm)	Porcentagem que passa (em peso)	
	Areia natural	Areia produzida
4,75	100	100
2,36	90 a 100	95 a 100
1,18	70 a 100	70 a 100
0,60	40 a 75	40 a 75
0,30	10 a 35	20 a 40
0,15	2 a 15	10 a 15
0,075	-	0 a 10

Müller (1999) afirma que a função do cimento Portland é essencial, porque proporciona resistência à argamassa e acelera seu endurecimento, ao contrário da cal hidratada, que atua principalmente como plastificante da mistura. Assim, pode-se ter argamassas muito diferentes, variando apenas as quantidades de cimento e de cal adicionados à mistura.

Para Gomes (1983) as argamassas de baixa resistência não distribuem as tensões corretamente, apresentam menor resistência à tração, menor aderência, e sofrem desgaste, se as paredes externas não são revestidas. Também concluiu que a resistência à compressão da argamassa de assentamento deve ser superior a 70% da resistência à compressão dos blocos, mas não deve ultrapassar a resistência à compressão dos mesmos. Isto porque, ao utilizar argamassas mais rígidas a alvenaria passará a ter uma ruptura excessivamente frágil e também não acompanhará eventuais movimentos da estrutura sob cargas em serviço. O mesmo autor realizou ensaios com paredes de alvenaria, analisando a influência do aumento da resistência da argamassa no comportamento das mesmas. A Tabela 2.15 mostra os resultados obtidos pelo pesquisador para paredes executadas com um mesmo bloco e dois diferentes tipos de argamassas.

Tabela 2.15 – Resultados de resistência à compressão

Resistência à compressão (MPa)		
Argamassa	Bloco	Parede
5,10	7,50	2,56
11,97	7,50	2,93

Conforme a Tabela 2.15, os resultados obtidos pelo pesquisador mostram um aumento de 14% na resistência das paredes, ao se aumentar a resistência da argamassa em 132%.

É importante salientar que um dos maiores motivos de o autor indicar o uso de argamassas nessa faixa de resistência é por não ter obtido um ganho significativo na resistência da alvenaria, ao utilizar argamassas mais resistentes Mohamad (1998), analisando prismas de bloco de concreto, não grauteados, verificou que, utilizando argamassas menos resistentes à compressão do que os blocos, a ruptura foi dúctil, ocorrendo um esfacelamento da parte externa das paredes dos blocos, já ao utilizar argamassas com o mesmo nível de resistência à compressão que os blocos na área líquida, a ruptura ocorrida era essencialmente frágil, no sentido da seção transversal do prisma. A Figura 2.14 representa a comparação entre conclusões de diversos autores, no que se refere ao comportamento mecânico de vários tipos de blocos de concreto, argamassa e prisma.

Entre os resultados obtidos por esses pesquisadores, observa-se uma grande variação na relação da resistência da argamassa e do bloco utilizado. Enquanto alguns usam essa relação na ordem de 10% a 20 % (LEVY e SABBATINI,1994), outros a empregam em torno de 60 % ou mais. Salienta-se, portanto, que a relação não é estabelecida pelo mesmo critério.

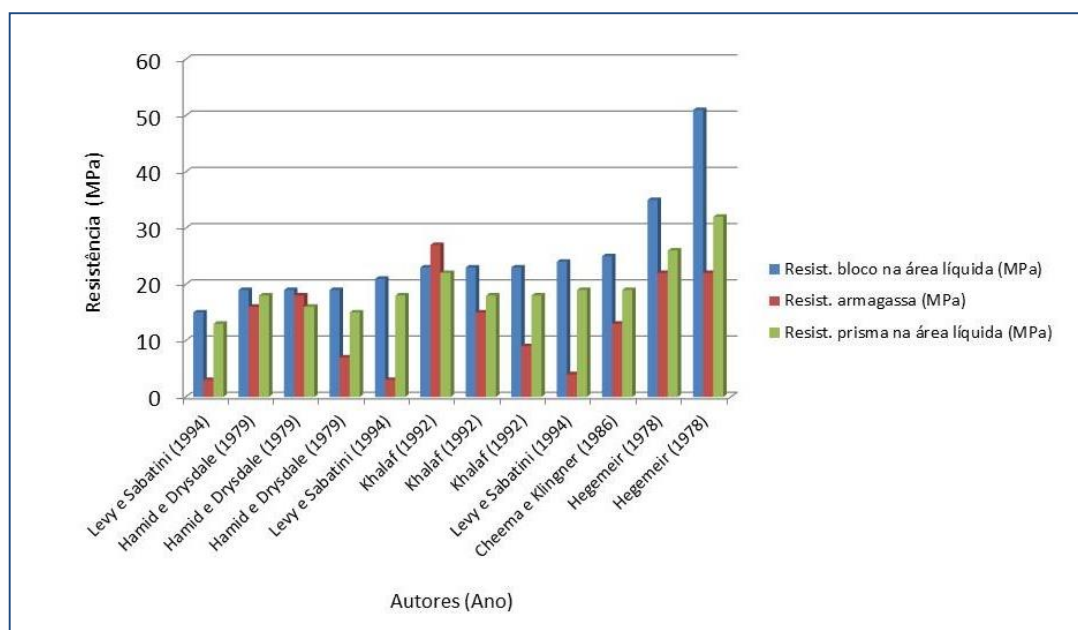


Figura 2.14 – Resistência à compressão simples de blocos, argamassas e prismas  
 Fonte: MOHAMAD (1998, p. 18)

Mendes (1998), trabalhando com resistência à compressão de alvenarias de blocos cerâmicos, concluiu que, para blocos de alta resistência, a utilização de argamassas mais resistentes resulta em alvenarias também mais resistentes. O tipo de ruptura constatado foi o mesmo observado por Mohamad (1998): para prismas assentados com argamassa iii (1:1:6) houve ruptura dúctil e para prismas assentados com argamassa i (1:1/4:3), ruptura frágil.

A ruptura da alvenaria com cargas menores ocorre porque há um aumento das tensões de tração nos blocos, devido à maior deformação entre os materiais. Isto ocorre quando há uma grande diferença na deformação específica entre o bloco e a argamassa.

Vários pesquisadores brasileiros também estudaram a influência da argamassa na resistência à compressão de prismas. Mohamad (1998) realizou ensaios com prismas de blocos de concreto com três unidades de altura, utilizando blocos com duas diferentes resistências e três tipos de argamassas, com resistências à compressão de 4,20 MPa, 8,63 Mpa e 19,90 MPa. Os resultados obtidos pelo autor encontram-se na Tabela 2.16



Tabela 2.16 – Resultados de resistência à compressão

	Resistência à compressão (MPa)			
	Bloco de concreto	Prisma A1	Prisma A2	Prisma A3
B1	10,7	8,17	8,60	10,56
B2	15,7	8,84	10,80	11,70

Fonte: MOHAMAD (1998, p. 87, adaptada)

A partir dos resultados obtidos por Mohamad (1998) pode-se perceber um ganho médio na resistência dos prismas de 14% para um aumento de 105% na resistência da argamassa enquanto a resistência da argamassa é aumentada em 160%, os prismas têm um ganho de resistência de 31%.

Mendes (1998) ensaiou prismas de blocos cerâmicos, grauteados e não grauteados, com três blocos de altura sobrepostos, utilizando blocos de 22,89 MPa e argamassas de 6,64 MPa e 20,18 MPa. Entre as suas constatações está a influência do aumento da resistência da argamassa no comportamento dos prismas ociosos. Conforme a Tabela 2.17 houve aumento na resistência do prisma de 55%, quando a da argamassa é aumentada em 211%.

Tabela 2.17 – Resultados de resistência à compressão

Prisma oco	Resistência à compressão (MPa)	
	A1 (6,64 MPa)	A2 (20,18 MPa)
	8,11	12,56

Fonte: MENDES (1998, p. 149, adaptada)

#### 2.4.8 – FATOR DE EFICIÊNCIA

O fator de eficiência é a relação entre a resistência do bloco e do componente em questão, sendo calculado dividindo-se o valor da resistência à compressão do prisma, ou da parede, pela resistência do bloco.

SAHLIN (1971) apud GOMES (1983) concluiu por meio de ensaios, que a resistência da alvenaria em relação ao tijolo é de cerca de 25%, quando utilizada argamassa de baixa resistência, e de 50% com argamassa de alta resistência.

Já para Gomes (1983), um fator de eficiência de 0,30 é desejável para paredes de alvenaria cerâmica, isto com base nos resultados encontrados, especificados na Tabela 2.18

Com relação ao fator de eficiência, ROMAN (1999) concluiu que este diminui com o aumento da resistência da unidade, sendo maior para blocos do que para tijolos.

Tabela 2.18– Resultados de fatores de eficiência

Resistência à compressão (MPa)			Fator de eficiência
Argamassa	Bloco	Parede	
10,20	9,60	3,15	0,32
5,10	7,50	2,56	0,34
11,97	7,50	2,93	0,39

Fonte: GOMES (1983, p. 50, adaptada)

Na Tabela 2.19 são indicados resultados obtidos por vários pesquisadores no que se refere a fatores de eficiência para a alvenaria.

Tabela 2.19 – Fator de eficiência para diversos tipos de unidades

UNIDADES	FATOR DE EFICIÊNCIA (Autor)
Tijolo cerâmico	60 a 90% (Monk)
Blocos de concreto	65 a 90% (Sutherland)
Tijolo cerâmico	25 a 50% (Sahlin)
Tijolo cerâmico	10 a 40% (Monk)
Tijolo cerâmico	18 a 30% (Prudêncio)
Bloco cerâmico	16 a 39% (Gomes)
Sílico – calcáreo	46% (Franco)
Sílico – calcáreo maciço	33% (Franco)

Garcia (2000), a partir de ensaios realizados em alvenaria cerâmica, onde foram testados blocos, prismas de dois e três blocos e paredes de 1,20 x 2,40m (largura x altura), utilizando um tipo de bloco e dois de argamassa, apresenta os valores de resistência à compressão e fatores de eficiência para as paredes sem graute, conforme a Tabela 2.20

Tabela 2.20 – Resultados médios de resistência

Resistência à compressão (MPa) – área bruta			
Argamassa	Bloco	Paredes	Eficiência
13,24	12,15	4,02	0,33

Fonte: GARCIA (2000, p. 70, adaptada)

Outros autores como Arantes (2003), Mendes (1998), Calçada (1998) e Mohamad (1998) também estudaram as relações de fatores de eficiência para prismas com blocos cerâmicos e de concreto. Na Tabela 2.21 encontra-se um resumo dos resultados constatados por esses pesquisadores.

Tabela 2.21 – Fatores de eficiência encontrados em outras pesquisas

Autores	Resistência à compressão (MPa)			Fator de eficiência
	Argamassa	Bloco	Prisma	
Arantes (2003)**	6,08	13,08	7,35	0,56
Arantes (2003)**	18,80	13,08	7,66	0,59
Mendes (1998)**	6,64	22,89	8,11	0,35
Mendes (1998)**	20,18	22,89	12,56	0,55
Calçada (1998)*	5,22	17,11	11,05	0,65
Calçada (1998)*	5,22	24,61	13,81	0,56
Calçada (1998)*	5,22	29,66	18,71	0,63
Mohamad (1998)*	4,20	15,70	8,84	0,56
Mohamad (1998)*	8,63	15,70	10,80	0,69
Mohamad (1998)*	19,90	15,70	11,70	0,75

Observação: \* pesquisas com blocos de concreto, \*\* pesquisas com blocos cerâmicos.

Analisando prismas com três blocos de altura, observa-se que enquanto em prismas de blocos cerâmicos os valores giram em torno de 0,35 e 0,59, nos blocos de concreto ficam entre 0,56 e 0,75, o que caracteriza sua maior eficiência.

Para Mendes (1998), o aumento da resistência da argamassa aumenta consideravelmente o fator de eficiência pelo bloco possuir uma resistência elevada (43 MPa) na área líquida.

Ao se compararem os resultados dos autores, notam-se valores diferenciados para os fatores de eficiência de prismas com blocos cerâmicos e de concreto. Acredita-se que os motivos pelos quais estes valores de eficiência foram baixos tenha sido a não compatibilização das deformações entre o bloco e argamassa, bem como o fato de a geometria das unidades não estar adequada à distribuição das tensões, pois um é de paredes vazadas e outro com paredes maciças.

De forma geral, quando a resistência dos prismas com blocos de concreto assemelha-se aos de cerâmica, o fator de eficiência para o primeiro é aproximadamente 45% superior.

Rizzatti (2003) analisou quatro tipos distintos de blocos e, utilizando escala reduzida, verificou a resistência à compressão do bloco e do prisma, chegando aos fatores de eficiência, indicados na Tabela 2.22.

Tabela 2.22 – Resultados médios dos blocos e prismas

Tipos de blocos	A	B	C	D
Área líquida (cm <sup>2</sup> )	18,70	20,92	17,50	20,87
Resistência à compressão (MPa)	29,43	32,95	30,31	33,57
Resistência à tração (MPa)	1,81	1,57	1,67	1,80
Resistência dos prismas (MPa)	10,56	13,61	11,18	11,67
Fator de eficiência	0,36	0,41	0,37	0,35

Os resultados do autor comprovam que não só a distribuição geométrica dos blocos, e a sua área líquida influenciam a resistência dos prismas, pois se nota que a maior relação de área líquida/área bruta não apresenta, necessariamente, um maior fator de eficiência.

Segundo Ganesan et al. (1988), o fator de eficiência varia com a forma do bloco e o tipo de assentamento, e em alguns tipos aparecem concentrações de tensões que reduzem a resistência à compressão da alvenaria.

Para Ramalho e Corrêa (2003) a eficiência costuma variar bastante, dependendo da sua forma, material e até mesmo da resistência dos blocos. Normalmente, quanto mais resistente for o bloco menor será a eficiência e vice-versa. Também se pode considerar que usualmente os blocos cerâmicos apresentem um eficiência menor que a dos blocos de concreto. Além disso, características dos outros componentes podem influir na eficiência parede-bloco.

Levando em consideração os casos mais comuns no Brasil: paredes executadas com blocos vazados de concreto ou cerâmicos (resistência entre 4,5 e 20 MPa), não-grauteadas e com argamassas usuais, pode-se estimar que a eficiência apresente os valores que constam da Tabela 2.23.

Tabela 2.23 – Valores de eficiência parede-bloco, segundo Ramalho e Corrêa (2003)

Bloco	Valor mínimo	Valor máximo
Concreto	0,40	0,60
Cerâmico	0,20	0,50

#### 2.4.9 – MÓDULO DE ELASTICIDADE

O conhecimento da tensão e da deformação específica na compressão permite a obtenção do módulo de elasticidade, com o objetivo de se avaliar, quantificar e compreender os fenômenos ocorridos nos ensaios realizados.

No que se refere ao módulo de elasticidade, Mendes (1998), não teve como objetivo principal encontrar números absolutos e, sim, obter uma indicação de caminhos a trilhar e possíveis explicações do comportamento da alvenaria de blocos cerâmicos ocios e grauteados, pois ao se falar de módulo de elasticidade, precisa-se ter cuidado em não apenas obter seu valor, mas sim como o gráfico tensão deformação se comportou.

Drysdale et al. (1994) citam que a forma de capeamento interfere na deformação, particularmente para níveis mais altos de tensão, sendo que a não linearidade começa a ser mais perceptível entre 35% e 50% da resistência da unidade.

Existem várias maneiras de determinar o módulo de deformação específica dos componentes da alvenaria. Normalmente se utiliza o gráfico tensão-deformação para uma carga de 40% a 60% da carga última para o módulo secante e de 30% para o tangente inicial; para Mohamad (2007) isto se dá por ocorrer neste trecho um comportamento linear dos componentes (prisma e parede). Para blocos cerâmicos, ou mesmo de concreto, não existem ensaios brasileiros normalizados para a determinação do módulo de elasticidade na alvenaria.

Na NBR 15270-3 (ABNT, 2005f) é recomendada para blocos de cerâmica e argamassa a utilização da NBR 8522 (ABNT, 2008) para a determinação do módulo de deformação longitudinal desses componentes.

O ACI – Building Code 318 adota, para concretos de massa específica entre 1442 e 2483 kg/m<sup>3</sup>, a seguinte expressão para a determinação do módulo de elasticidade secante do bloco:

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

Equação 2.10

onde:

$E_b$  = módulo de elasticidade do bloco em MPa

$w_b$  = peso unitário do bloco em kg/m<sup>3</sup>

$f_b$  = resistência à compressão do bloco em MPa

O CEB – FIB Mode Code (1990) especifica que o módulo de elasticidade do bloco de concreto pode ser obtido pela equação:

$$E_b = 2,5 \times 10^4 \cdot \left(\frac{f_b}{10}\right)^{1/3}$$

Equação 2.11

onde:

$E_b$  = módulo de elasticidade do bloco em MPa

$f_b$  = resistência à compressão do bloco aos 28 dias em MPa

Holm (1978) sugeriu a formula seguinte para a determinação do módulo de elasticidade secante para blocos de concreto:

$$E_b = 0,0428 \cdot f_b^{1/2} \cdot w_b^{1,5} \quad \text{Equação 2.12}$$

onde:

$w_b$  = peso unitário do bloco kg/m<sup>3</sup>

$f_b$  = resistência à compressão do bloco em MPa

Dahanasekar (1985) apud MOHAMAD (2007) sugere uma relação não linear para estabelecer o módulo de elasticidade da alvenaria em função da resistência à compressão, apresentada na equação:

$$E_{alv.} = 1180 \cdot (f_c)^{0,83} \quad \text{Equação 2.13}$$

onde:

$E_{alv.}$  = módulo de elasticidade da alvenaria

$f_c$  = resistência à compressão

A norma EN 1996 1-1 (2005) fornece uma aproximação simples para determinar o módulo de elasticidade da alvenaria como  $K \cdot f_k$ , onde  $f_k$  é a resistência à compressão característica da alvenaria, sendo que o valor recomendado para K é 1000.

Knutson (1993) analisou o diagrama de tensões-deformações da alvenaria para diferentes combinações de argamassa e tijolos (três sólidos e um vazado), como mostra a Figura 2.15. Os estudos desenvolvidos mostraram que os diagramas tensão-deformação foram diferentes em função do tipo de unidade e argamassa utilizadas. A figura a seguir apresenta o ensaio do módulo tangente inicial de três unidades maciças (representado pelas linhas sólidas) e uma vazada, (representada pela linha tracejada). O número indica à resistência do tijolo e o asterisco (\*) a argamassa forte. Observa-se que utilizando unidades vazadas o comportamento da curva tensão deformação assume um comportamento muito diferente quando se altera a



resistência da argamassa influenciando no modo de ruptura da alvenaria, o que nas unidades maciças não é tão significativo.

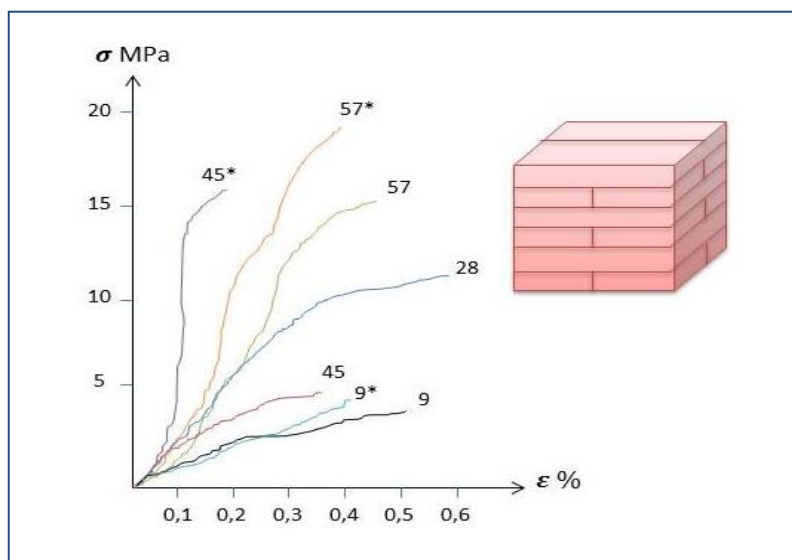


Figura 2.15 – Diagrama tensão – deformação de alvenaria à compressão

Garcia (2000) pesquisou o módulo de elasticidade em torno de 30% a 40% da carga de ruptura de blocos, argamassa, prismas e paredes, utilizando a planilha eletrônica Office Excel para linearizar o gráfico e gerar módulo de elasticidade a partir do coeficiente angular da reta isto porque, nesse trecho, o gráfico tende a se comportar como linear. A autora considerou o terço médio para a obtenção do módulo, por esse possuir menor influência dos pratos da prensa.

Os valores encontrados pela autora estão na Tabela 2.24, ressaltando que a relação área líquida / área bruta é de 0,51 e os valores são de blocos e paredes sem graute.

Tabela 2.24 – Relação área líquida / área bruta para blocos e paredes sem graute

	Resistência média (MPa)	Área considerada	Módulo (MPa)
Bloco	16,30	Área líquida	8182
Argamassa	13,24	-	10900
Paredes	4,02	Área bruta	4829

Seguindo o raciocínio de Garcia (2000), Mohamad (2007) em sua tese concluiu que o módulo de elasticidade deve ser obtido no terço médio, pois os resultados são afetados pelos pratos da prensa quando se considera o deslocamento total do corpo-de-prova.

Parsekian (2002) reuniu várias normas e autores nacionais e internacionais, relacionando, em sua maioria, o módulo de elasticidade com a tensão de ruptura do elemento ou um coeficiente multiplicador da resistência da alvenaria ou do próprio bloco. Na Tabela 2.25 podem-se sintetizar as normas e os autores internacionais pesquisados pelo autor, referentes a blocos cerâmicos.

Tabela 2.25 – Normas e autores internacionais pesquisados, referente a blocos cerâmicos

Fonte	Tipo do bloco cerâmico	Argamassa	$E_p$ (MPa)	Observações
AS 3700 (1998)	Resistência entre 5 a 30 MPa	M2, M3	$700 f_p$	Carga de curta duração
	Resistência superior a 30 MPa	M3, M4	$1000 f_p$	
BS 5628 – (1995)	Qualquer	Qualquer	$900 f_p$	
Norte Americana	-	-	$700 f_p$	Especifica o módulo de elasticidade de acordo com a corda dos pontos 5% e 33% de $f_p$ do diagrama tensão/deformação
LENCZNER (1986)	Padrão Britânico	(i) e (ii)	$3750 \text{ raiz}(f_{bk}) - 1000$	
WOLDE-TINSAE et al (1993)	Vazados	-	$550 f_p$	Grauteados ou não

Pasquali (2007) demonstra na Tabela 2.26 os valores obtidos em sua pesquisa e adicionados outros autores brasileiros para blocos cerâmicos. É importante salientar que para os módulos obtidos nem sempre foi utilizado a mesma metodologia pelos diferentes autores.

Tabela 2.26 – Valores de módulo de elasticidade de autores brasileiros para blocos cerâmicos

Fonte	Tipo do bloco cerâmico	$\Sigma$ (MPa)	$E_p$ (MPa)	$E/\sigma$	Média $E/\sigma$	Observações
GOMES (1983)	Vazado	2,4	3593	1497	1152	Ensaio de paredes ( $\sigma$ e $\epsilon$ )
		3,1	2775	895		
		2,6	2448	942		
		2,9	3692	1273		
FRANCO (1987)	Perfurado	5,85	3661	626	529	Ensaio de prisma ( $\sigma$ ) e paredes ( $\epsilon$ )
		5,52	2900	525		
		5,57	2816	506		
		4,82	2204	457		
MULLER (1989)	Vazado	5,95	3326	559	478	Ensaio de prisma ( $\sigma$ ) e paredes ( $\epsilon$ )
		5,70	2523	443		
		5,37	2326	433		
MENDES (1998)	Vazado	8,11	4508	556	487	Ensaio de prisma sem graute ( $\sigma$ e $\epsilon$ )
		12,56	5249	418		
PASQUALI (2006)	Vazados de paredes maciças	4,68	5185	1108	1122	Ensaio de mini-paredes ( $\sigma$ e $\epsilon$ ) (argamassa 2, 4 e 10 MPa)
		5,16	5200	1008		
		4,48	5604	1251		
	Vazados de paredes Vazadas	4,56	4196	920	803	Ensaio de mini-paredes ( $\sigma$ e $\epsilon$ ) (argamassa 2, 4 e 10 MPa)
		4,34	3665	844		
		5,21	3355	644		

Fonte: PASQUALI (2007, p. 107, adaptada).

Juste (2001) ressalta a necessidade de uma norma específica para a obtenção do módulo de elasticidade das unidades e componentes da alvenaria. Comenta, ainda, que os valores obtidos sejam afetados por diversos fatores, tais como velocidade de carregamento, dimensões dos corpos de prova, inviabilizando, assim, a comparação direta dos seus resultados com os de outros pesquisadores.

Com tanta diversidade entre autores para a determinação de módulo de elasticidade. Fez-se uso para este trabalho de valores constante apresentados por Ramalho e Corrêa (2003) para alvenaria estrutural de blocos cerâmicos, Tabela 2.27.

Tabela 2.27 – Módulos de elasticidade da alvenaria

Bloco	Módulo de Elasticidade	$E_{alv}$ (MPa)	Valor máximo (MPa)
Cerâmico	Longitudinal	$600 \cdot f_p$	12.000
	Transversal	$300 \cdot f_p$	4.500

Fonte: RAMALHO e CORRÊA (2003, p. 94, adaptada).

## 2.5 – ASPECTOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS DA ALVENARIA ESTRUTURAL

Com o aparecimento de novos sistemas construtivos, é inevitável a discussão a respeito de aspectos técnicos e econômicos. Dessa forma é importante levar em consideração as principais vantagens, com relação à alvenaria estrutural. Assim, comparando suas principais características com o sistema mais disseminado e bastante conhecido no Brasil, o concreto armado.

A utilização da alvenaria estrutural para a construção de edifícios residenciais, parte de uma concepção interessante que é a de transformar a alvenaria de vedação, na própria estrutura. Com isso, pode-se evitar a necessidade da existência dos pilares e vigas que dão suporte a uma estrutura convencional.

Para Ramalho e Corrêa (2003) a alvenaria passa a ter a dupla função de servir de vedação e suporte para a edificação, o que é, em princípio, muito bom para a economia. Entretanto, a alvenaria, nesse caso, precisa ter sua resistência perfeitamente controlada, de forma a se garantir a segurança da edificação. Essa necessidade demanda a utilização de materiais mais caros e também uma execução mais cuidadosa, o que evidentemente aumenta o seu custo de produção em relação à alvenaria de vedação.

## 2.5.1 – PRINCIPAIS FATORES A SEREM CONSIDERADOS PARA A ADOÇÃO DO SISTEMA

A produção da alvenaria estrutural compensa com folga a economia que se tem com a retirada de pilares e vigas. No entanto, é necessário que se atente para alguns detalhes importantes para que a situação não se inverta, passando a ser a alvenaria um processo mais oneroso para a produção da estrutura.

Ramalho e Corrêa (2003), esses detalhes dizem respeito a determinadas características da edificação que se pretende construir, pois não é correto se considerar que um sistema construtivo seja considerado adequado a qualquer edifício. Para maior clareza, apresentam-se a seguir as três características mais importantes que devem ser levadas em conta para se decidir pelo sistema construtivo mais adequado.

### *a) Altura da edificação*

No caso da altura, considerando-se os parâmetros atuais no Brasil, pode-se afirmar que a alvenaria estrutural é adequada a edifícios de no máximo 15 ou 16 pavimentos. Para estruturas com um número de pavimentos acima desse limite, a resistência à compressão dos blocos encontrados no mercado não permite que a obra seja executada sem um esquema de grauteamento generalizado, o que prejudica muita a economia. Além disso, mesmo que a resistência dos blocos pudesse ser adequada quanto à compressão, às ações horizontais começariam a produzir tensões de tração significativas, o que exigiria a utilização de armaduras e graute. E se o número de pontos sob essas condições for muito grande, a economia da obra estará irremediavelmente comprometida.

### *b) Arranjo arquitetônico*

As afirmações feitas no item anterior referem-se a edifícios usuais. Para arranjos arquitetônicos que fujam desses padrões usuais, a situação pode ser um pouco melhor, ou bem pior. Nesse caso é importante se considerar a densidade de paredes estruturais por m<sup>2</sup> de pavimento. Um valor indicativo razoável é que haja de 0,5 a 0,7 m de paredes estruturais por m<sup>2</sup> de pavimento. Dentro desses limites, a densidade de paredes pode ser considerada usual e as condições para seu dimensionamento também refletirão essa condição.

c) Tipo de uso

Referindo-se ao arranjo arquitetônico, é importante ressaltar que para edifícios comerciais ou residenciais de alto padrão, onde seja necessária a utilização de grandes vãos, esse sistema construtivo normalmente não é adequado. A alvenaria estrutural é muito mais adequada a edifícios residenciais de padrão médio ou baixo, onde os ambientes, e também os vãos, são relativamente pequenos.

Em especial para edifícios comerciais, é desaconselhável o uso indiscriminado da alvenaria estrutural. Nesse tipo de edificação é muito comum a necessidade de um arranjo das paredes internas de forma a acomodar empresas de diversos portes. A adoção de alvenarias estruturais para esses casos seria inconveniente, pois essa flexibilidade deixa de existir. Pode-se inclusive considerar que sua adoção seja perigosa, pois com o tempo é provável que proprietários realizem modificações sem estarem conscientes dos riscos que correm.

## 2.5.2 – PRINCIPAIS PONTOS POSITIVOS DO SISTEMA

A seguir são apresentadas as características que podem representar as principais vantagens da alvenaria estrutural em relação às estruturas convencionais de concreto armado.

a) Economia de fôrmas

Quando existem, as fôrmas se limitam para a concretagem das lajes. São, portanto, fôrmas lisas, baratas e de grande reaproveitamento.

b) Redução significativa nos revestimentos

Por se utilizar blocos de qualidade controlada e pelo controle maior na execução, a redução dos revestimentos é muito significativa. Usualmente o revestimento interno é feito com uma camada de gesso aplicada diretamente sobre a superfície dos blocos. No caso dos azulejos, eles também podem ser colocados diretamente sobre os blocos.

c) Redução nos desperdícios de material e mão-de-obra

O fato das paredes não admitirem intervenções posteriores significativas, como rasgos ou aberturas para colocação de instalações hidráulicas e elétricas, é uma importante causa da eliminação de desperdícios. Assim, o que poderia ser encarado como uma desvantagem, na verdade implica a virtual eliminação da possibilidade de improvisações, que encarem significativamente o preço de uma construção.

d) Redução do número de especialidades

Deixam de ser necessários profissionais como armadores e carpinteiros.

e) Flexibilidade no ritmo de execução da obra

Se as lajes forem pré-moldadas, o ritmo da obra estará desvinculado do tempo de cura que deve ser respeitado no caso das peças de concreto armado.

Para Ramalho e Corrêa (2003) a principal vantagem da utilização da alvenaria estrutural reside numa maior racionalidade do sistema executivo, reduzindo-se o consumo de materiais e desperdícios que usualmente se verificam em obras de concreto armado convencional.

### 2.5.3 – PRINCIPAIS PONTOS NEGATIVOS DO SISTEMA

Apesar de as vantagens apresentadas serem de grande relevância, não se pode esquecer de algumas desvantagens da alvenaria estrutural em relação às estruturas convencionais em concreto armado. Elas se encontram listadas a seguir.

a) Dificuldades de se adaptar arquitetura para um novo uso

Fazendo as paredes parte da estrutura, obviamente não existe a possibilidade de adaptações significativas no arranjo arquitetônico. Em algumas situações isso se torna um

problema bastante sério. Estudos realizados demonstram que ao longo de sua vida útil uma edificação tende a sofrer mudanças para se adaptar a novas necessidades de seus usuários. No caso da alvenaria isso não só é inconveniente como tecnicamente impossível na grande maioria dos casos.

Para Ramalho e Corrêa (2003), deve-se ressaltar a impossibilidade de se efetuar modificações na disposição arquitetônica original. Essa limitação é um importante inibidor de vendas e até mesmo um fator que pode comprometer a segurança de uma edificação durante a sua vida útil.

*b) Interferência entre projetos de arquitetura/estruturas/instalações*

A interferência entre os projetos é muito grande quando se trata de uma obra em alvenaria estrutural. A manutenção do módulo afeta de forma direta o projeto arquitetônico e a impossibilidade de se furar paredes, sem um controle cuidadoso desses furos, condiciona de forma marcante os projetos de instalações elétricas e hidráulicas.

*c) Necessidade de uma mão-de-obra bem qualificada*

A alvenaria estrutural exige uma mão-de-obra qualificada e apta a fazer uso de instrumentos para sua execução. Isso significa um treinamento prévio da equipe contratada para sua execução. Caso contrário, os riscos de falhas que comprometam a segurança da edificação crescem sensivelmente.



## 2.6 – PROCESSO BAYER

Em 1888, Karl Josef Bayer desenvolveu e patenteou o processo hoje internacionalmente conhecido como “Processo Bayer” (Hind *et al*, 1999). O processo Bayer representa um marco na história da metalurgia, sendo considerado, ao lado do processo de cianetação para tratamento de ouro e prata, marco do nascimento da hidrometalurgia moderna (Habashi, 2005).

O minério de importância industrial para obtenção do alumínio metálico e de muitos compostos de alumínio é a bauxita, que se forma em regiões tropicais e subtropicais por ação do intemperismo sobre aluminossilicatos. Apesar de ser frequentemente descrita como o mineiro de alumínio, a bauxita não é uma espécie mineral propriamente dita, mas um material heterogêneo formado por uma mistura de hidróxidos de alumínio hidratados contendo impurezas. Os principais constituintes deste material são a gibbsita,  $g\text{-Al}(\text{OH})_3$ , e os polimorfos boehmita,  $g\text{-AlO}(\text{OH})$ , e diaspório,  $a\text{-AlO}(\text{OH})^3$ , sendo que as proporções das três formas variam dependendo da localização geográfica do minério. As bauxitas mais ricas em boehmita são encontradas em depósitos europeus (França e Grécia) enquanto que aquelas ricas em diaspório são encontradas na China, Hungria e Romênia. As bauxitas geologicamente mais novas possuem alto conteúdo de gibbsita, são comuns em depósitos em áreas de clima tropical como Jamaica, Brasil, Austrália, Guiné, Guiana, Suriname e Índia, e são as que apresentam maior interesse comercial. (CONSTANTINO, 2001).

O processo industrial mais importante para a purificação da bauxita é o processo Bayer, que é utilizado para a manufatura de hidróxido de alumínio  $\text{Al}(\text{OH})_3$  e de óxido de alumínio, a alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

De acordo com a Associação Brasileira de Cerâmica (ABC), o processo Bayer consiste resumidamente:

- no tratamento da bauxita com hidróxido de sódio (solução cáustica) em tanques pressurizados e aquecidos a 145 °C denominados de digestores, resultando uma solução de aluminato de sódio e uma lama vermelha insolúvel, onde se concentram as impurezas;
- a lama vermelha é decantada e filtrada e a solução de aluminato de sódio é nucleada com cristais de gibbsita e resfriada, obtendo dessa forma a gibbsita ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) – alumínio;

- a gibbsita é calcinada em fornos rotativos à temperatura de aproximadamente 1000 °C.

A bauxita é processada pela unidade industrial Alumina do Norte do Brasil S/A – Alunorte, originando a alumina, e este é convertido em alumínio pela indústria Alumínio Brasileiro S/A – ALBRAS.

A seguir as Figura 2.16 apresenta um fluxograma do ciclo de processo da alumina e a geração do resíduo lama vermelha.

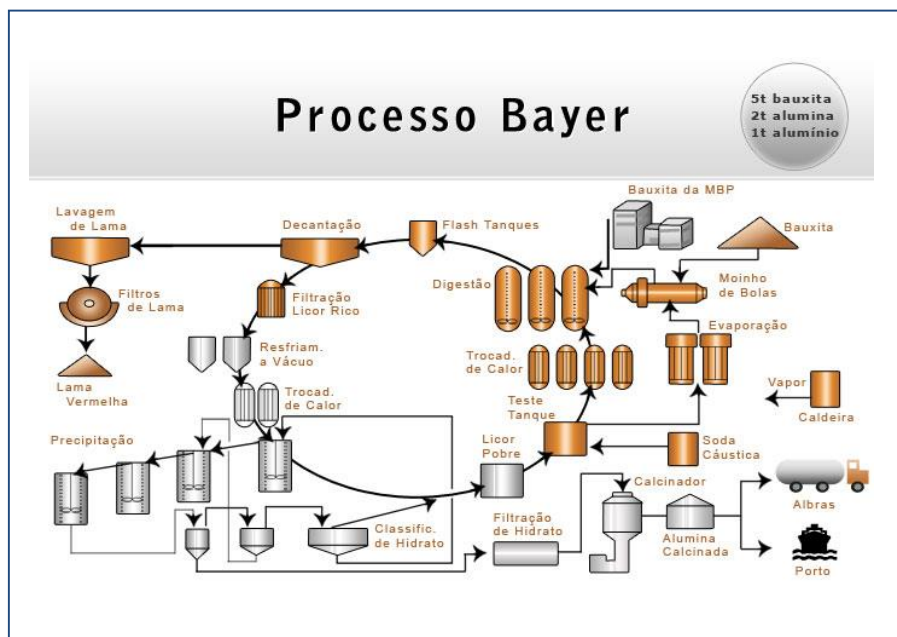


Figura 2.16 – Fluxograma processo Bayer – Alunorte

## 2.7 – LAMA VERMELHA

Segundo Chaves (1963) apud HILDEBRANDO (1998), é o nome dado ao resíduo insolúvel que resta após a digestão da bauxita pelas soluções e hidróxido de sódio, na fabricação da alumina pelo Processo Bayer. Essa lama é um resíduo, usualmente inaproveitável da indústria de alumínio.

A lama vermelha apresenta grandes quantidades de partículas muito finas contendo óxido de ferro e uma quantidade significativa de óxido de sódio extremamente perigoso, (SALOPEK e STRAZISAR, 1993). Entretanto, o processo de sinterização que ocorre com a

mistura (lama vermelha e argila), provoca uma insolubilização do sódio solúvel presente inicialmente na mistura.

A lama vermelha não é classificada como um resíduo perigoso segundo a United States Environmental Protection Agency (EPA, 2005), porém a sua produção através das fábricas de alumina constitui um problema ambiental, devido ao teor cáustico pela presença de Na(OH), que leva o pH do resíduo a valores entre 12 e 14, tornando-se a principal fonte de cuidados e segurança, pois acidentes podem tomar proporções consideráveis em função da quantidade produzida.

Uma indústria típica de alumina pode gerar de 0,5 a 2 toneladas de sólidos secos de lama vermelha para cada tonelada de alumina produzida. Além disso, até duas toneladas de licor cáustico de 5 a 20 gpl (como Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) podem acompanhar cada tonelada de sólidos secos de lama. Considerando a capacidade atual das indústrias de alumina, o volume gerado de lama vermelha, geralmente dobra em uma década. (PRADHAN *et al*, 1996). Sendo assim, é um problema considerável que diz respeito a toda a indústria de alumínio.

## **3 – METODOLOGIA DA PESQUISA**

### **3.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

O presente trabalho aborda a utilização de um resíduo proveniente da produção da alumina metalúrgica conhecido como lama vermelha (LV), no desempenho estrutural de unidades e elementos de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos, produzidos a partir da mistura de LV e argila. Os blocos empregados possuem duas seções transversais, uma comumente empregada no mercado, reticulada, e a outra seção circular proposta por GOUVEIA (2006).

Todos os ensaios de caracterização e ensaios de resistência à compressão axial efetuados em blocos, prismas, mini-paredes e paredes, foram realizados no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará – UFPA.

Foram realizados ensaios em 48 blocos com as suas duas seções transversais distintas, circular e reticulada, juntamente com a confecção de 15 prismas de três fiadas, 8 mini-paredes e 5 paredes, ambos os elementos e unidades com adição de lama vermelha e os confeccionados com 100% de argila para referência.

Nesta pesquisa foram caracterizados os componentes (blocos) e os elementos (prismas, mini-paredes e paredes) empregados. Também foram descritos os procedimentos para modelagem dos elementos e os ensaios de caracterização dos mesmos.

### **3.2 - MATERIAIS**

Neste capítulo será apresentado os materiais que constituem os blocos, como a argila e o resíduo industrial, juntamente com a argamassa de assentamento, ambos empregados na fase experimental.

### 3.2.1 – LAMA VERMELHA

A lama vermelha (LV) consiste no resíduo dos componentes minerais insolúveis provenientes da digestão da bauxita pelas soluções de hidróxido de sódio, na fabricação de alumina pelo processo Bayer (HILDEBRANDO, 1998). É composta, principalmente, por óxido de ferro, quartzo, aluminossilicatos de sódio, carbonato de cálcio/aluminato, dióxido de titânio e hidróxido de sódio (NORTON, 1973), sendo considerada como um resíduo de classe II, não inerte (LIMA, 2006).

A composição química da LV varia bastante dependendo da natureza da bauxita e da técnica empregada no processo Bayer em cada indústria. Geralmente, a LV retém todo o ferro, titânio e sílica presentes na bauxita, além do alumínio não extraído durante o refino, combinado com o sódio sob a forma de um silicato hidratado de alumínio e sódio de natureza zeolítica (REESE; CUNDIFF, 1955 e McCONCHIE et al., 2002 apud SILVA FILHO et al., 2007). Existem relatos de que a composição química da LV pode variar até em função do tempo de deposição e do grau de exposição com o ar ambiente, perda de seu teor de causticidade, por exemplo (SILVA FILHO et al, 2007). A Tabela 3.1 apresenta algumas variações nas propriedades químicas da LV.

Tabela 3.1 – Composição química da LV por diferentes fontes (%) (SILVA FILHO, 2007)

<i>Composto</i>	<i>ALUNORTE</i>	<i>ALCOA</i>	<i>CBA</i>	<i>ALCAN Canadá</i>	<i>ALCOA Australia</i>	<i>ALCAN África</i>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35,50	35,67	36,7	37,6	25,45	26,60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	37,16	33,78	29,89	32,45	34,50	48,40
SiO <sub>2</sub>	2,34	3,45	6,78	3,67	17,06	5,50
TiO <sub>2</sub>	6,18	4,56	5,67	4,12	4,90	2,80
Na <sub>2</sub> O	8,49	9,67	7,89	6,78	2,74	2,40
CaO	1,23	2,34	1,20	3,45	3,69	-
MgO	-	-	-	-	-	-
P.F. (Perda ao Fogo)	11,19	11,24	12,35	9,80	12,90	14,60

Segundo a Associação Brasileira de Alumínio, os Estados Unidos e o Canadá, são os maiores produtores mundiais de alumínio. Entretanto, nenhum deles possui jazida de bauxita em seu território. O Brasil possui a terceira maior reserva de bauxita no mundo, localizada na região amazônica, principalmente no estado do Pará. Em 2004, o Brasil ocupou a segunda

posição no ranking mundial, produzindo 21 milhões de toneladas de bauxita que é o mineral que origina o alumínio e de acordo com Nunn (apud HILDEBRANDO, 1998), uma fábrica de alumina pode gerar 0,5 a 2 toneladas de sólidos secos de lama vermelha para cada tonelada de alumina produzida. Na região, a Alunorte gera 1,1 toneladas de lama vermelha para cada tonelada de alumina produzida.

A utilização da lama vermelha evidentemente depende da composição, a qual função da natureza da bauxita e também da técnica empregada no processo Bayer utilizado na indústria da alumina. Geralmente a LV contém hidróxido, óxidos de ferro e alumínio como maiores constituintes, ao passo que, os óxidos de silício, titânio, sódio e cálcio são os constituintes menores. Por outro lado os óxidos de V, Ga, P, Mg, Zn, Zr, Th, Cr, Nb, etc., estão presentes como traços no rejeito. Deste modo, a composição química exata da lama vermelha varia extensamente dependendo da fonte atual (bauxita) da qual é proveniente; as maiores fases identificadas incluem a hematita ( $\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) boemita ( $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), gibbsita ( $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), geotita ( $\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  ou  $\alpha - \text{FeO}(\text{OH})$ ), calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) e o grupo mineral sodalita. A LV é geralmente alcalina e possui partículas solidas muito finas. As complexas propriedades químicas e mineralógicas da LV impõem dificuldades na sua utilização (PRADHAN *et al.*, 1996).

A Tabela 3.2 mostra a análise química de lamas vermelhas encontradas nos trabalhos de SUJANA *et al.* (1996); SHIMANO e KOGA (1979) e KIRKPATRICK (1996).

Tabela 3.2 – Composição química de lamas vermelhas

CONSTITUINTES (%)	SUJANA <i>et al</i> (NALCO)	SHIMANO KOGA (MITSUI)	KIRKPATRICK (GRAMERCY)
$\text{Al}_2\text{O}_3$	15,65	20,6	16,0
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	56,45	45,5	53,0
$\text{TiO}_2$	4,07	8,4	10,0
$\text{SiO}_2$	3,32	7,0	3,0
$\text{Na}_2\text{O}$	4,87	3,2	2,0
$\text{MgO}$	0,282	-	1,0
$\text{CaO}$	0,525	4,0	8,0
P.F	9,85	8,5	-

Pode-se perceber que, a lama vermelha apresenta um teor elevado de material fundente, tais como, ferro e sódio o que possibilita sensivelmente a redução da temperatura de sinterização dos componentes constituídos da LV.

### 3.2.1.1 – Utilização da lama vermelha em produtos cerâmicos

Como o Estado do Pará é rico por possuir diversas regiões ricas em argila de origem sedimentar, optamos por utilizar a argila oriunda das jazidas localizadas no município de São Miguel do Guamá para confecção dos blocos. Também no estado o setor oleiro tem um importante segmento no conjunto de sua economia em função de seu destaque na participação na geração de empregos, no valor da transformação industrial, e é também de fundamental importância o seu papel complementar no campo da construção civil.

O segmento cerâmico para construção civil produz tijolos furados, maciços, blocos de vedação e estrutural, telhas e outros. Distribui-se por todo país, fragmentadas em micro e pequenas empresas, quase sempre em organização simples e familiar. Segundo a Associação Nacional de Cerâmica, no Brasil, existem 11 mil indústrias de cerâmica vermelha, das quais 62% fabricam blocos e tijolos, onde são consumidos mensalmente 10,5 milhões de toneladas de argila. O setor cerâmico é responsável por gerar 650 mil empregos diretos e 2 milhões de empregos indiretos, desta forma, caracterizando uma grande importância para a economia do país.

No entanto, a extração de argila para a fabricação de blocos cerâmicos, embora não seja considerada uma atividade poluidora, degrada o meio ambiente e causa assoreamento nos rios. A indústria cerâmica, por sua vez, tem como um dos principais problemas ambientais, a emissão de fluoretos para a atmosfera nas formas de queimas.

O Brasil é um país que dispõe de importantes recursos geológicos e onde sua produção se encontra em pleno desenvolvimento. As indústrias habilitadas a essa produção, atualmente passam por sérios problemas com resíduos provenientes dessa extração, ocasionando assim, impactos ambientais através da contaminação de rios e solos. E nesse quadro, encontram-se as indústrias de fabricação da alumina (matéria-prima do alumínio), pela crescente deposição de um resíduo sólido conhecido comumente por *lama vermelha*.

No caso da indústria cerâmica as argilas caulínicas utilizadas como matéria prima, já apresentam uma relação sílica/alumina suficiente para as reações características dos silicoaluminatos e índices de ferro acima de 10% em massa, além da presença de titânio e alcalinos, substâncias importantes para as reações de estado sólido, responsáveis pela sinterização (SOUZA, 2002; SOUZA et al., 2002). Desta forma a LV se mostra um importante componente na mistura, contribuindo para a redução de porosidade e aumento de resistência mecânica do material. A LV apresenta elevados teores de ferro, além de sódio, cálcio e outros elementos chamados cátions vitrificantes (fundentes) que agregam características importantes aos produtos cerâmicos, tais como, aumento da resistência mecânica e redução de porosidade. Na Figura 3.1 são mostradas as difrações de raio X para uma amostra de LV da Alumina do Norte do Brasil S.A. - ALUNORTE e uma argila caulínica com presença laterítica (APCA), utilizada na indústria cerâmica da região, mostrando a presença das fases responsáveis pelas reações de estado sólido na sinterização.

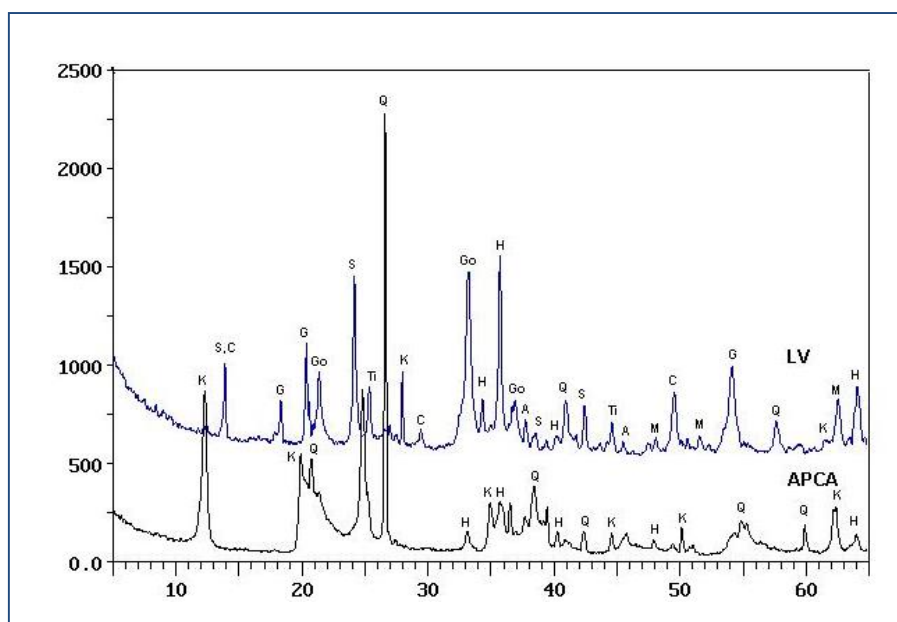


Figura 3.1 – Difração de raios – X da argila e LV “in natura” (VIEIRA, 2008)



O aumento no teor de LV em misturas com argila implica uma maior quantidade de fundentes (Fe, Na) presentes na massa, aumentando a eficiência de reações de estado sólido, formando mais fase amorfa pela presença de mais sódio (Na) e ferro (Fe). As reações de estado sólido entre o Sódio (Na) e a sílica livre ( $\text{SiO}_2$ ) representam a formação de mais fase amorfa (vidro) e, conseqüentemente, melhora na sinterização, com redução de porosidade e como reação complementar o aumento do teor de mulita secundária, resultando em aumento de resistência mecânica (VIEIRA, 2008; SOUZA, 2010). Essa característica é a vantagem do uso de fundentes eficientes, presentes na lama vermelha, uma vez que pode-se obter componentes cerâmicos mais resistentes sem necessariamente aumentar a temperatura de sinterização.

O cuidado que se deve ter nesse processo é procurar avaliar a dosagem ótima de adição de LV na mistura com argila em função do tipo de produto a ser fabricado e o nível de temperatura de sinterização. O controle de temperatura é importante para garantir que todo o material esteja sinterizado para que não haja liberação de material cáustico. Estudos sobre lixiviação e solubilização da mistura LV e argila mostraram não haver residual cáustico para o material queimado a partir de  $750^\circ\text{C}$  (SOUZA et al., 2000; SANTOS et al., 2001).

Com a finalidade de minimizar os problemas ambientais gerados com o despejo desses resíduos no meio ambiente, pesquisas realizadas, mostram que tal rejeito em misturas com argilas, oferecem uma grande alternativa quanto a utilização deste para a fabricação de produtos da indústria de cerâmica, possuindo todas as possibilidades de serem empregados na produção, por exemplo, de tijolos maciços, telhas e ladrilhos de piso uma vez que apresentam excelentes qualidades, ligado principalmente a sua boa resistência mecânica e a absorção de água (HILDEBRANDO, 1998 ).

Com a análise dos resultados obtidos nessas pesquisas, observa-se que a utilização da lama vermelha em mistura com a argila para a fabricação de blocos cerâmicos estruturais originou componentes com valores satisfatórios quanto à resistência a compressão, e ainda dispõe de aceitáveis índices de absorção de água. Especialmente, devido apresentar propriedades fundentes, a mistura com a lama vermelha, requer menores temperaturas de sinterização, possibilitando a produção desses blocos em olarias de pequeno porte (GOUVEIA, 2006).

### 3.2.1.2 – Armazenamento da lama vermelha

A lama vermelha cedida pela ALUNORTE S/A e transportada para o município de São Miguel do Guamá aonde se situa o maior parque da indústria cerâmica do estado do Pará. A Cerâmica Barbosa como parceira fundamental estocou e armazenou o resíduo em galpões de forma que o material ficasse protegido de intemperes. Na Figura 3.2 é mostrada a estocagem da LV.



Figura 3.2 – Disposição da lama vermelha na Cerâmica Barbosa

### 3.2.1.3 – Mistura Lama vermelha e Argila

Após análise ao trabalho de Gouveia (2006), optou-se por fazer modificações nas proporções de mistura dos materiais. As proporções da mistura empregadas para esta pesquisa foram de 40% de argila e 60% de LV em massa.

A Cerâmica Barbosa realizou a mistura dos dois materiais com o auxílio de uma pá mecânica, com forme apresentado na Figura 3.3, e posteriormente colocado em um sistema de esteiras por onde os materiais passaram pelos processos de fabricação dos blocos.



Figura 3.3 – Mistura dos materiais com a pá mecânica

### 3.2.2 – BLOCOS ESTRUTURAIS

#### 3.2.2.1 – Bloco reticulado

Esse tipo de geométrico da seção transversal reticulado do bloco é usualmente empregado no mercado da construção civil, e por esse modo, foram utilizados neste trabalho blocos reticulados constituídos com 100% de argila e blocos com a adição de lama vermelha, servindo de parâmetro de comparação. A Figura 3.4 resume as geometrias em questão e a simbologia adotada para os blocos de argila e os de lama vermelha.

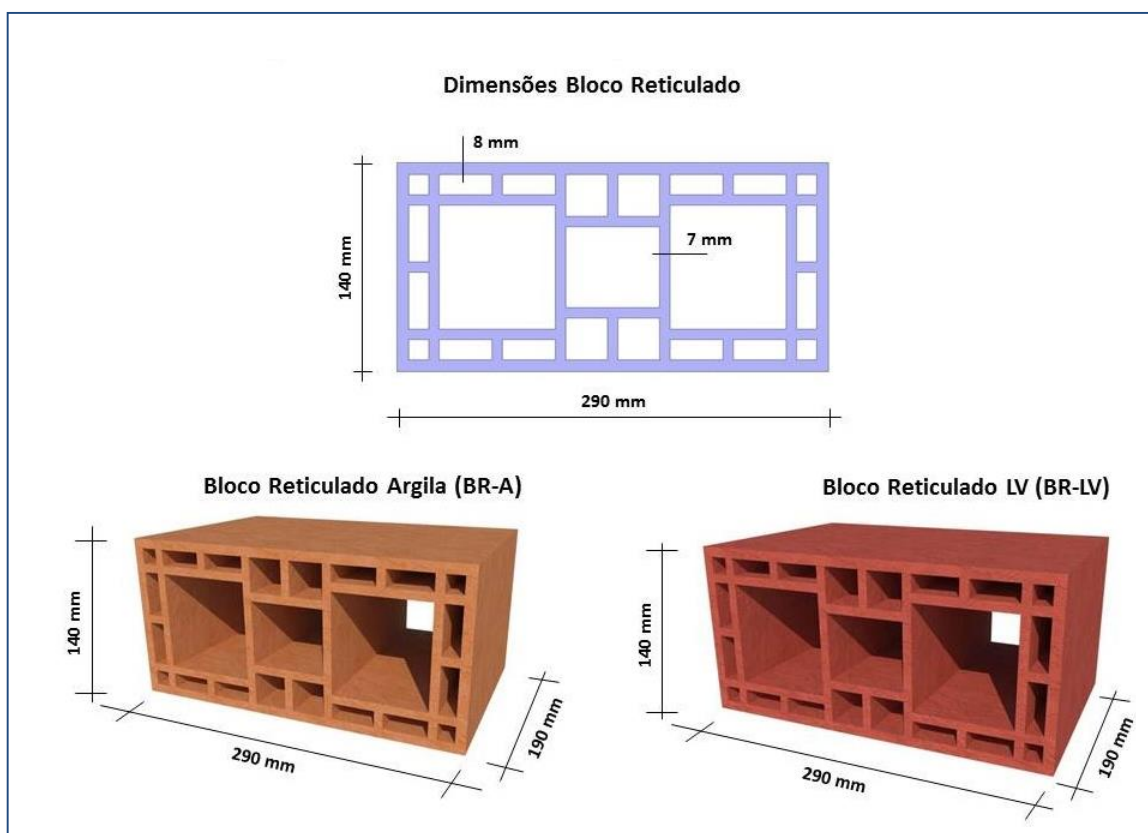


Figura 3.4 – Geometria do bloco cerâmico estrutural padrão reticulado utilizado

### 3.2.2.2 – Bloco circular

O bloco circular confeccionado foi o mesmo desenvolvido no trabalho de Gouveia (2006), e conforme o autor, a produção do bloco estrutural requereu o estudo inicial para se definir a geometria do bloco vazado a ser fabricado. Confeccionou-se blocos com seções vazadas circulares, respeitando a espessura mínima de 7 mm e espessura das paredes externas de 8 mm, de acordo com a NBR – 15270-2:2005 – Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos.

A Figura 3.5 resume as geometrias em questão e a simbologia adotada para os blocos de argila e os de lama vermelha.

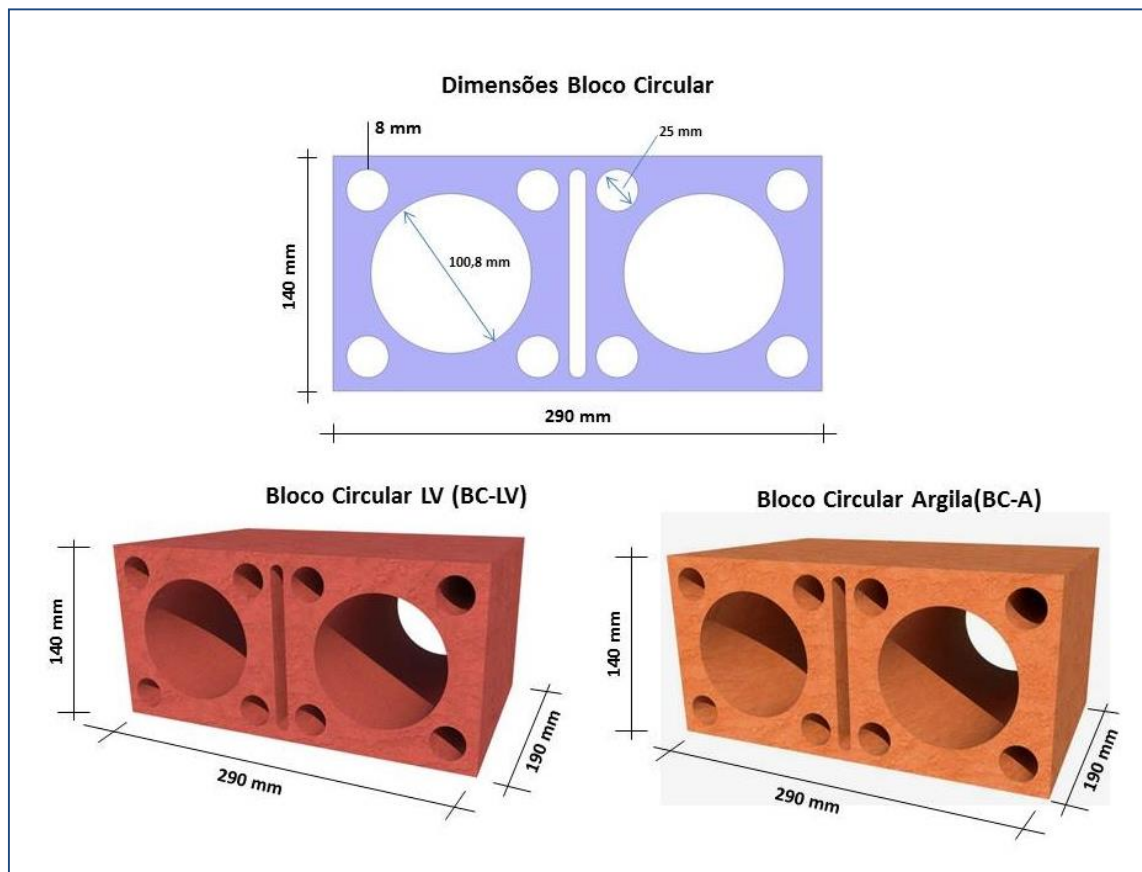


Figura 3.5 – Geometria do bloco cerâmico estrutural padrão circular utilizado

As dimensões de fabricação do bloco circular seguem recomendações da NBR – 15270-2:2005 – Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos, conforme Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Dimensões de fabricação de blocos cerâmicos estruturais

Dimensões L x H x C	Dimensões de fabricação (cm)					
Módulo dimensional M = 10 cm	Largura (L)	Altura (H)	Comprimento (C)			
			Bloco principal	½ Bloco	Amarração (L)	Amarração (T)
(5/4)M x (5/4)M x (5/2)M		11,5	24	11,5	-	36,5
(5/4)M x (2)M x (5/2)M			24	11,5	-	36,5
(5/4)M x (2)M x (3)M			29	14	26,5	41,5
(5/4)M x (2)M x (4)M	11,50	19	39	19	31,5	51,5
(3/2)M x (2)M x (3)M			29	14	-	44
(3/2)M x (2)M x (4)M	14	19	39	19	34	54
(2)M x (2)M x (3)M			29	14	34	49
(2)M x (2)M x (4)M	19	19	39	19	-	59

Bloco L – bloco para amarração em paredes em L.  
Bloco T – bloco para amarração em paredes em T.

### 3.2.2.2.1 – Características da geometria do bloco circular

- As dimensões do bloco se enquadram nas dimensões usuais dos blocos estruturais definidas na NBR 15270 – 2:2005 – Terminologia e requisitos;
- Segundo Gouveia (2006), nas faces optou-se pelo formato circular a fim de minimizar efeitos de concentração de tensões nas arestas;
- As seções vazadas maiores com  $\varnothing$  100,8 mm possibilitam a passagem de tubulações hidrosanitárias e instalações elétricas;
- Os círculos menores na seção transversal foram dimensionados para garantir um equilíbrio entre a área bruta e área líquida inerentes no bloco.

### 3.2.2.2.2 – Produção dos blocos

Para produção dos blocos de seção transversal circular foi utilizado uma boquilha, que nada mais é que um molde metálico constituído de materiais de alta resistência ao desgaste abrasivo, que acoplado ao maquinário de extrusão produz os blocos. A boquilha usada para a confecção dos blocos foi desenvolvida por Gouveia (2006), como mostra a Figura 3.6.



Figura 3.6 – Boquilha utilizada, desenvolvida por GOUVEIA (2006)

A extrusora empregada na produção é da marca VERDÉS com capacidade para 25 ton/h de material cerâmico extrudado, Figura 3.7.



Figura 3.7 – Extrusora da marca VERDÉS

A seguir a mistura, quando se tem adição de lama vermelha, ou quando se trabalha com 100% com argila, o material é transferido para um sistema de esteiras de alimentação dando início a linha de produção. Primeiro o material passa por um destorrador fragmentando os grãos, em seguida passa por um misturador horizontal, levado a uma laminadora homogeneizando ainda mais o material e pôr fim a extrusora com a prensagem e modelagem dos blocos. A Figura 3.8 apresenta o fluxograma do processo de produção dos blocos.

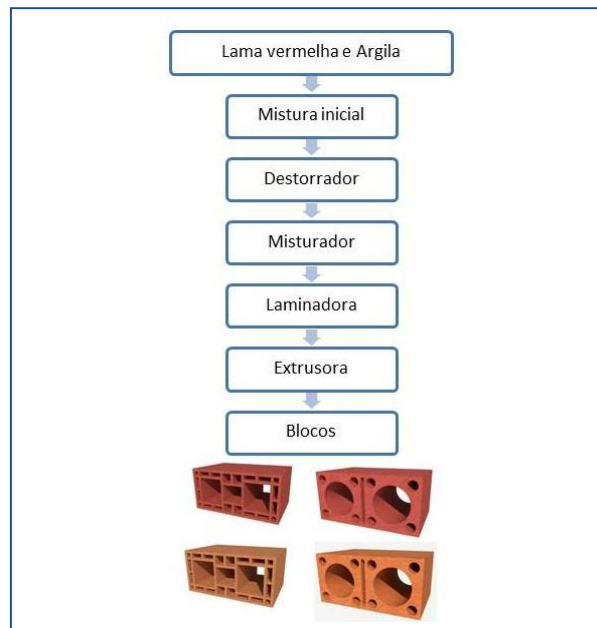


Figura 3.8 – Fluxograma do processo de produção dos blocos

Após a moldagem, todos os blocos foram acondicionados em prateleiras abrigadas e submetidos a uma secagem à temperatura ambiente, por um período mínimo de 48 horas, para evitar o surgimento de trincas devido à retração. Em seguida, foram levados ao forno fechado para a sinterização a uma temperatura de aproximadamente 950°C. Essa temperatura foi definida por se considerar que para esse nível o material torna-se inerte após a sinterização, ou seja, todo o hidróxido de sódio - Na(OH) reage com a sílica para formar vidro e auxiliar na formação da mulita, além de ser a temperatura usual na indústria cerâmica na região.



### 3.2.2.3 – Ensaaios

Os blocos foram ensaiados para obtenção de suas características físicas e mecânicas, de acordo com as normas brasileiras pertinentes. As propriedades estudadas foram: as características dimensionais, determinação do índice de absorção d'água e resistência à compressão. Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Construção Civil (LCC) da UFPA.

O total de blocos utilizados para cada ensaio está descrito na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Número de blocos utilizados por ensaio

Ensaio	BR - A	BR - LV	BC - A	BC - LV
Dimensional	12	12	12	12
Absorção	12	12	12	12
Compressão	12	12	12	12

Os ensaios realizados são descritos a seguir:

a) Características dimensionais

Os blocos foram previamente identificados e armazenados em um local adequado, garantindo a integridade da amostra. Para caracterização dimensional foi utilizada a NBR 15270 – 3, anexo A (ABNT, 2005c).

No primeiro momento, realizaram-se as medidas geométricas de todos os blocos, conforme se vê na Figura 3.9.

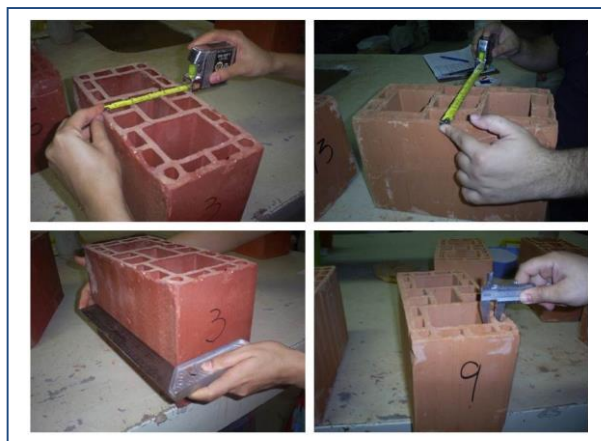


Figura 3.9 – Ensaio dimensionais

*b) Absorção d'água*

A norma seguida para esse ensaio foi a NBR 15270 – 3, anexo B (ABNT, 2005). O índice de absorção d'água (AA) de cada bloco é determinado pela Equação 3.1.

$$AA(\%) = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100 \quad \text{Equação 3.1}$$

onde:

$m_u$  = massa úmida, determinada pela pesagem de cada bloco saturado em água a temperatura ambiente por 24 h.

$m_s$  = massa seca, determinada pela secagem dos bloco em estufa a  $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$  e posterior pesagem.

Realizando-se o ensaio de absorção d'água, conforme Figura 3.10.



Figura 3.10 – Ensaio absorção d'água

c) Resistência à compressão

A resistência à compressão dos blocos foi obtida de acordo com a NBR 15270 – 3, anexo C (ABNT, 2005), sendo submetidos ao preparo e ensaio da prensa da marca AMSLER com capacidade de aplicação de até 2000 kN, de controle de carga manual. Primeiramente os blocos foram capeados com argamassa de cimento e areia (1:1) de, no máximo 3 mm de espessura, em ambas as faces, sendo respeitado um período de 48 horas para cura do capeamento, antes da realização do ensaio. O processamento se deu regulando a velocidade da prensa, de maneira que a tensão aplicada fosse elevada progressivamente, sempre na observância do início da ruptura do bloco.

A determinação da resistência à compressão dos blocos individuais é calculada com referência a área bruta. As resistências médias e características foram determinadas com auxílio de planilha eletrônica, obedecendo às recomendações da NBR 15270-2 (ABNT, 2005a) para a determinação da resistência característica, Equação 3.2.

$$f_{bk} = 2 \cdot \left[ \frac{f_{b(1)} + f_{b(2)} + \dots + f_{b(i-1)}}{i - 1} \right] - f_{b(i)} \quad \text{Equação 3.2}$$

onde:

$f_{b(1)}, f_{b(2)}, \dots, f_{b(i)}$  são os valores de resistência à compressão individual, ordenados crescentemente;

$i = n/2$  se for n for par

$i = (n - 1)/2$  se n for ímpar;

n = é a quantidade de blocos da amostra.

Se o valor de  $f_{bk}$  obtido pela Equação 3.2 for inferior a  $f_{b(1)}$  a norma recomenda que  $f_{bk} = \phi \cdot f_{b(1)}$ , com  $\phi = 0,98$  para  $n = 12$ .

A Figura 3.11 ilustra o ensaio de compressão dos blocos.



Figura 3.11 – Ensaio de compressão dos blocos

### 3.2.3 – ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO

Neste trabalho, para a confecção dos prismas, mini-paredes e paredes foi utilizada a argamassa de assentamento do tipo mista composta por cimento, cal e areia. De acordo com a resistência característica à compressão dos blocos, foi utilizada argamassa de resistência média, que segundo a norma britânica BS 5628:part 1 (1992) é denominada tipo (ii) e seu traço em volume é 1:0,5:4,5 (cimento : cal : areia). Este traço é usualmente empregado em trabalhos científicos e em obras de alvenaria estrutural.

Utilizou-se o cimento tipo CP II – Z 32 e substituindo a cal hidratada usou-se o aditivo acelerador de pega Sika. A areia empregada encontrava-se disponível no Laboratório de Construção Civil da UFPA

A Tabela 3.5 mostra o total de corpos-de-prova de argamassa utilizados para cada elemento construído e respectivo ensaio a compressão.

Tabela 3.5 – Número de corpos-de-prova de argamassa por ensaio a compressão e determinado elemento

Ensaio à Compressão	
Elementos	Número de amostra por traço
Prismas	9
Mini-paredes	9
Paredes	9
Total	27

A argamassa de assentamento foi produzida com auxílio de betoneira e a fração de cada material foi medida em volume e não em massa.

### 3.3 – ELEMENTOS

#### 3.3.1 – PRISMAS

Os primas foram confeccionados com três fiadas, não contra-fiadas, de dimensões 140 mm x 290 mm x 590 mm, conforme especificado na norma americana ASTM E 447 (1997), a partir das duas geometrias de blocos cerâmicos utilizados, o reticulado e circular, assim como os blocos com adição de lama vermelha, e argamassa de assentamento do tipo total. Foram produzidos 15 primas sendo, 5 com blocos de seção circular e adição de LV, 5 com blocos de seção reticulado e adição de LV e 5 com blocos de seção reticulado e 100% em argila, servindo de parâmetro de referência. A Figura 3.12 ilustra a representação esquemática dos primas utilizados.

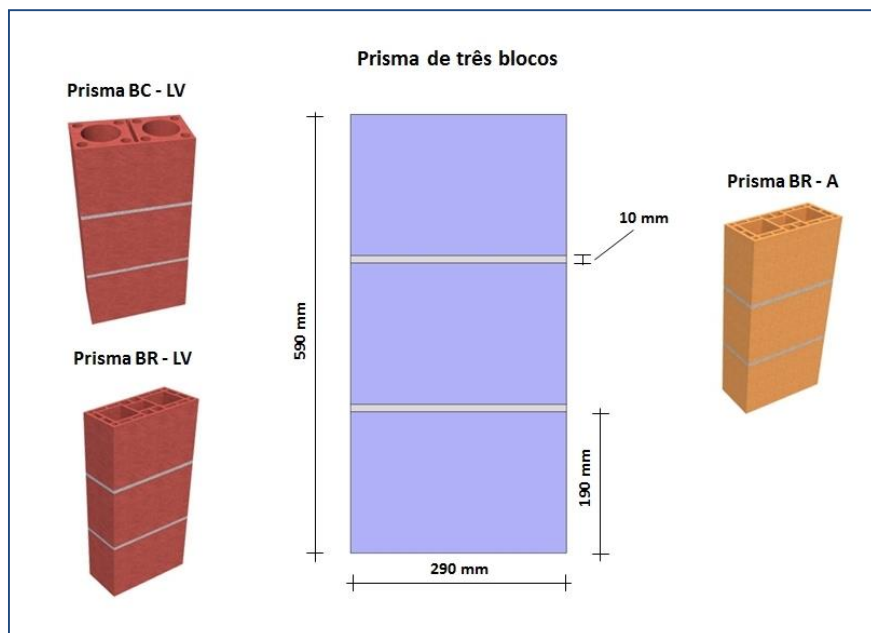


Figura 3.12 – Prismas utilizados para ensaio

A produção dos primas foi realizada por um profissional com experiência em execução de obras em alvenaria estrutural. Os blocos foram devidamente selecionados e preparados, durante a moldagem dos primas, teve-se cuidado em relação às juntas para que ficassem com  $10 \pm 3$  mm e nivelamento dos mesmos, conforme Figura 3.13.



Figura 3.13 – Modelagem dos prismas

• Resistência à compressão

A determinação da resistência à compressão dos 15 prismas, foram submetidas aos 28 dias, na prensa da marca AMSLER com capacidade para 2.000 kN. O processamento se deu regulando a velocidade da prensa, com intervalos de aplicação de carga a cada 10 kN, de maneira que a tensão aplicada fosse elevada progressivamente, sempre na observância do início da ruptura do prisma. A Figura 3.14 representa esquematicamente o ensaio dos prismas.

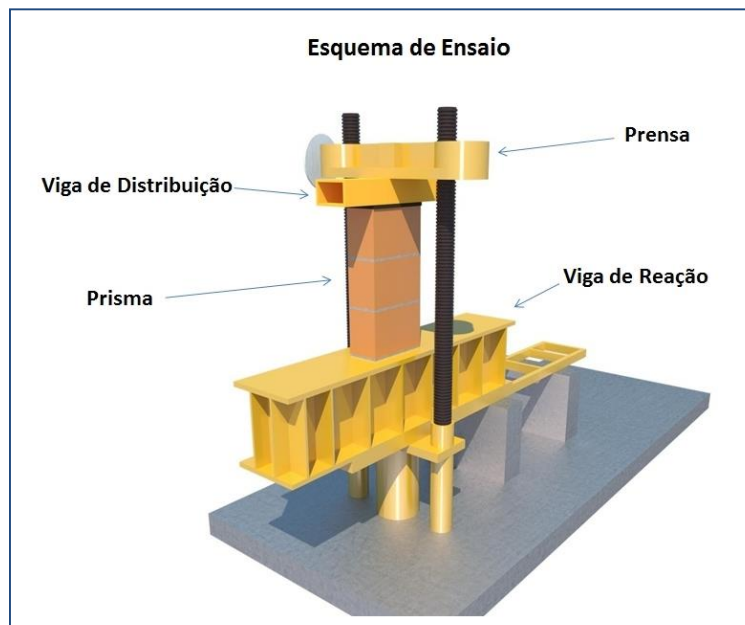


Figura 3.14 – Esquema de ensaio dos prismas

Como a NBR 8215 (1983), em seu método de preparo, refere-se ao prisma formado por dois blocos com uma junta de argamassa, optou-se por utilizar a norma americana, seguindo uma tendência das teses e dissertações na área da alvenaria estrutural.

### 3.3.2 – MINI-PAREDES

Primeiramente foram construídas bases de madeira para possibilitar o manuseio e futuro transporte das mini-paredes.

O modelo dos corpos-de-prova adotados para esta pesquisa, são constituídos de três fiadas de blocos, sendo duas contra-fiadas, tendo as dimensões de 140 mm x 590 mm x 590 mm. Usaram-se duas geometrias de seção transversal para os blocos cerâmicos, a reticulada e circular, assim como blocos com adição de LV.

Foram produzidos um total de 10 mini-paredes sendo, 5 com blocos de seção circular e adição de LV, 4 com blocos de seção reticulado e adição de LV e 1 com blocos de seção reticulado e 100% em argila servindo de parâmetro de referência. A Figura 3.15 ilustra a representação esquemática das mini-paredes utilizada para ensaio.

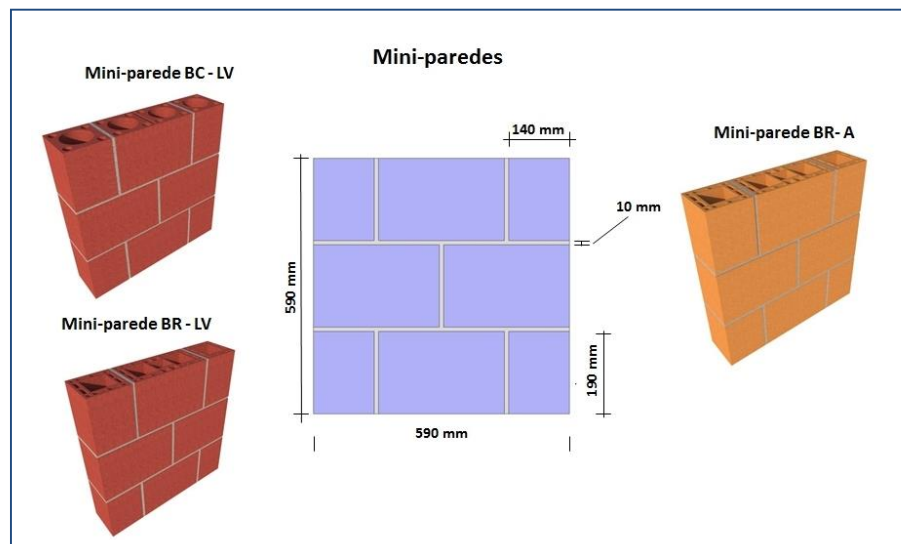


Figura 3.15 – Mini-paredes utilizadas para ensaio

A construção das mini-paredes foi realizada por um profissional com experiência em execução e obras em alvenaria estrutural. Com os blocos devidamente selecionados e



preparados, teve-se a modelagem dos corpos-de-prova sobre a base de madeira previamente construída, usando argamassa de assentamento do tipo total. Também houve o cuidado em relação as juntas para que ficassem com  $10 \pm 3$  mm e o correto nivelamento dos blocos. A Figura 3.16 apresenta a modelagem das mini-paredes.



Figura 3.16 – Modelagem das mini-paredes

a) Resistência à compressão

A determinação da resistência à compressão das 10 mini-paredes, foram realizadas aos 28 dias, na prensa da marca AMSLER com capacidade para 2.000 kN. O processamento se deu regulando a velocidade da prensa, com intervalo de aplicação e carga a cada 10 kN, de maneira que a tensão aplicada fosse elevada progressivamente, sempre na observância do início da ruptura dos corpos-de-prova. A Figura 3.17 e 3.18 ilustra o esquema do ensaio à compressão e o próprio ensaio das mini-paredes.

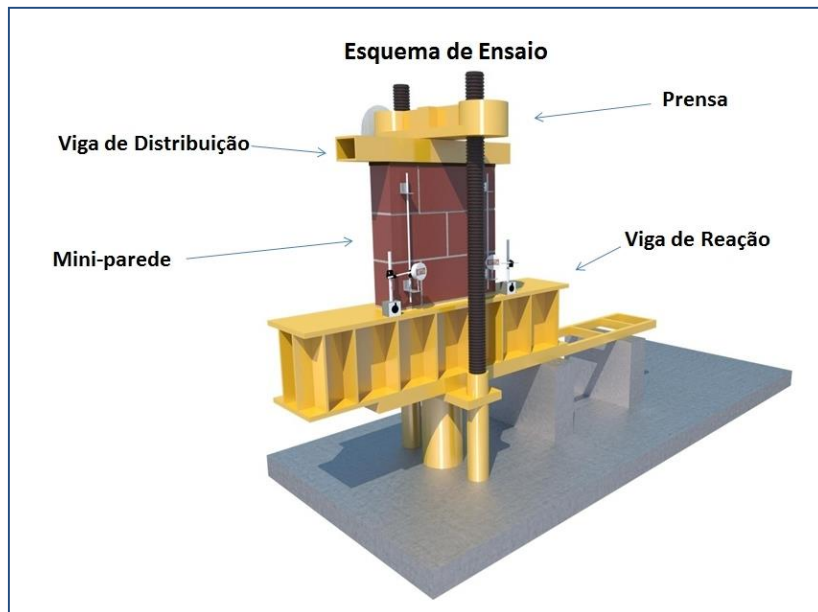


Figura 3.17 – Esquema de ensaio à compressão das mini-paredes



Figura 3.18 – Ensaio à compressão das mini-paredes

*b) Módulo de elasticidade*

A determinação do módulo de elasticidade das mini-paredes se deu de forma longitudinal a verificação da deformação.

Os dispositivos de ensaio (defletômetros), digitais e com resolução de 0,001 mm, foram posicionados em uma das faces da mini-parede, conforme esquema apresentado pela Figura 3.19.

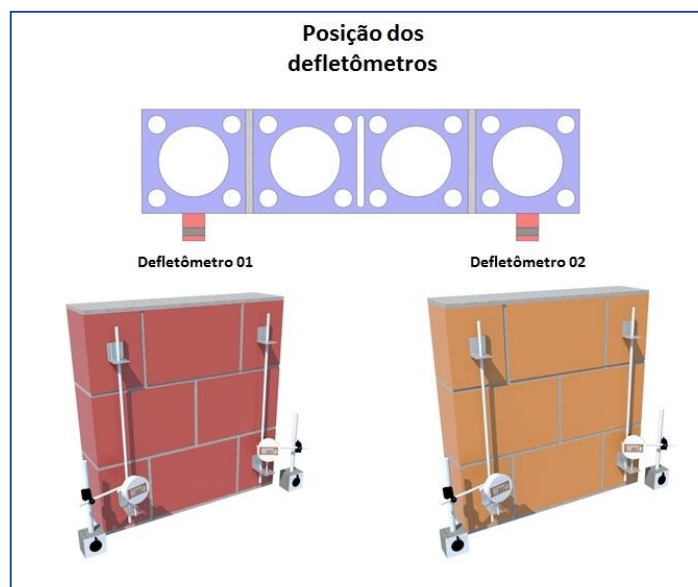


Figura 3.19 – Esquema de posicionamento dos defletômetros digitais, mini-paredes

### 3.3.3 - PAREDES

Para realização dos ensaios em escala real, tornou-se necessário a construção de um pórtico metálico, para comportar as paredes com dimensões de 1.200 mm x 2.600 mm. Com relação às duas geometrias de blocos empregados e com adição de LV. Foram confeccionadas 03 paredes com blocos de seção circular e adição de LV, 01 parede com blocos reticulados e adição de LV e 01 parede servindo de parâmetro de referência construída com blocos de seção reticulada e 100% em argila, totalizando 05 paredes ensaiadas. A Figura 3.20 apresenta esquematicamente as paredes utilizadas para ensaio.

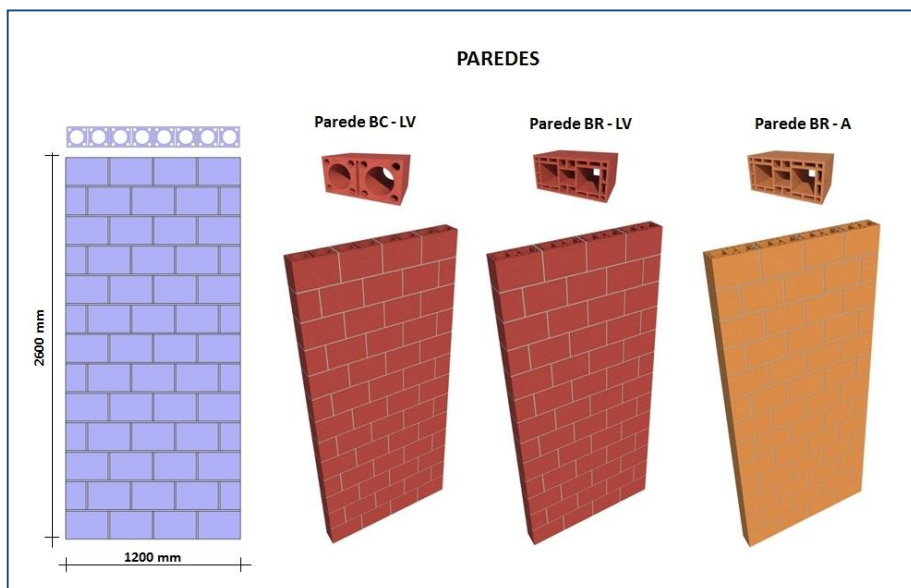


Figura 3.20 – Paredes utilizadas para ensaio

A confecção das paredes foi realizada por um profissional experiente em alvenaria estrutural. Os bloco foram devidamente selecionados e preparados para modelagem das paredes, também teve-se cuidado com relação a prumada e juntas que obedecem os padrões normativos, ficando com  $10 \pm 3$  mm. A Figura 3.21 ilustra o processo de modelagem das paredes.



Figura 3.21 – Processo de modelagem das paredes

Lembrado que para ensaio à compressão simples de paredes de alvenaria estrutural, esta pesquisa adotou a NBR – 8949 – 1995.

a) Resistência à compressão

Utilizando-se da NBR 8949 – 2005, a determinação da resistência à compressão das paredes foi realizada aos 28 dias. O sistema de ensaio foi composto por um pórtico metálico fixo a uma laje de reação, onde se modelaram as paredes para ensaio, também nesse conjunto inclui-se 01 viga de distribuição, 01 cilindro hidráulico com capacidade de 1.000 kN, 01 bomba hidráulica manual para o acionamento do cilindro, 01 célula de força com capacidade de 2.000 kN e precisão de 0,5 kN, 01 indicador digital rastreado utilizado para acompanhar e controlar os carregamentos aplicados.

A Figura 3.22 e 3.23 mostram respectivamente o esquema de ensaio sugerido pela NBR 8949 e o ensaio executado no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará.

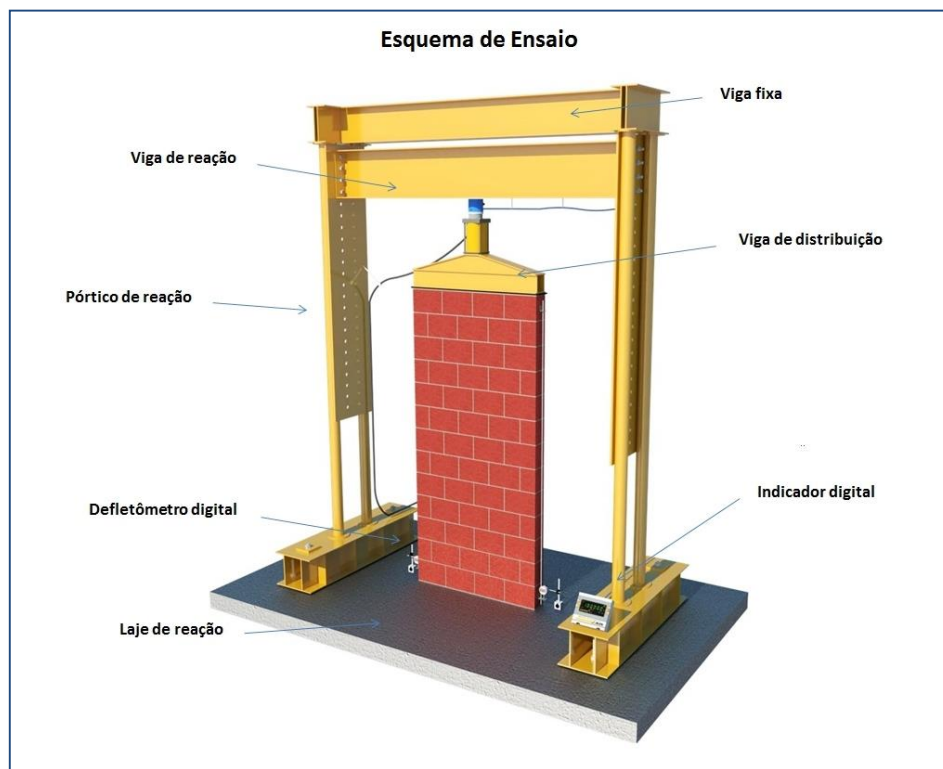


Figura 3.22 – Esquema de ensaio das paredes



Figura 3.23 – Ensaio à compressão das paredes

b) Módulo de elasticidade

A determinação do módulo de elasticidade das paredes foi realizado no mesmo modelo das mini-paredes, sendo diferente pela utilização de 03 defletômetros digitais com resolução de 0,001 mm. O equipamento de ensaio fixado em hastes que, por sua vez, é fixado nas duas extremidades na posição vertical (D1 e D3, aferindo as deformações longitudinais, e o terceiro ficou posicionado no centro (D2) da parede para mapear os deslocamentos horizontais. Na Figura 3.24 é mostrada o posicionamento dos equipamentos de ensaio.

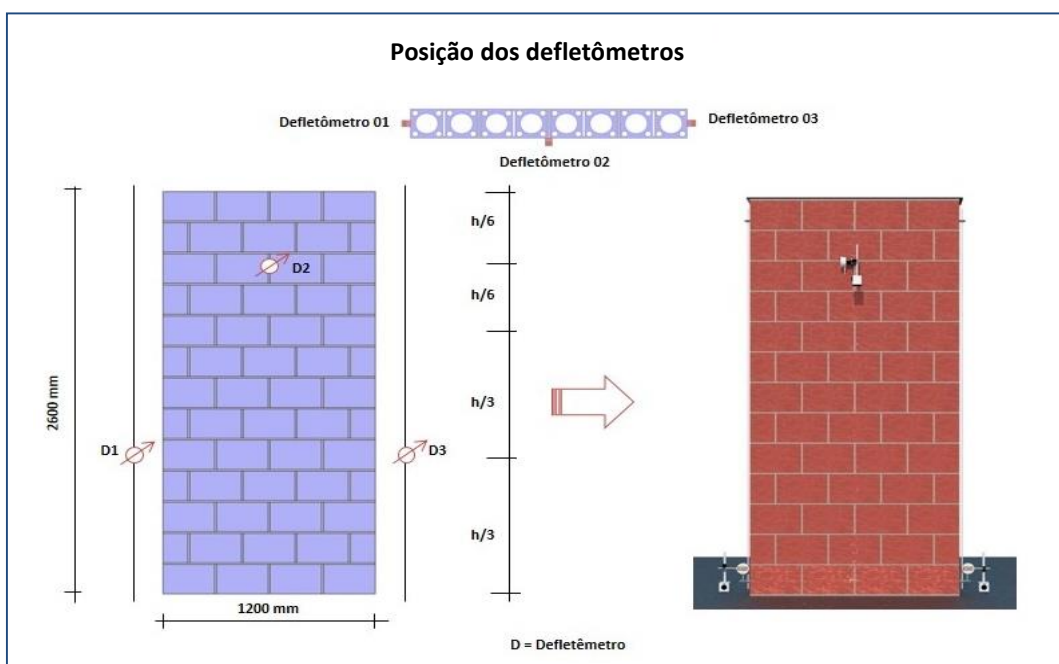


Figura 3.24 – Esquema de posicionamento dos defletômetros digitais das paredes

## **4 – RESULTADOS E ANÁLISES:**

### **4.1 – INTRODUÇÃO**

Este capítulo apresentará os resultados dos ensaios experimentais, fazendo uma análise dos mesmos com os objetivos fundamentais de avaliar a influência da adição de lama vermelha na confecção de blocos cerâmicos estruturais.

Objetivando uma melhor compreensão, serão apresentadas tabelas contendo os resultados dos ensaios.

### **4.2 – RESULTADOS E ANÁLISES DOS ENSAIOS DOS BLOCOS**

Para uma melhor identificação dos resultados dos ensaios dos blocos estruturais, optou-se pela apresentação em separado para os blocos compostos de 100% argila e para blocos com adição de LV. No item 3.2.2.3 foram detalhados os procedimentos realizados nos ensaios.

#### **4.2.1 – RESULTADOS DOS BLOCOS ESTRUTURAIS CERÂMICOS 100% ARGILA**

##### *a) Características dimensionais*

As inspeções visuais e os ensaios, quanto às dimensões efetivas, espessuras mínimas de paredes e septos, características visuais e geométricas individuais, foram determinadas segundo critérios da NBR 15270-3, anexo A (ABNT, 2005c).

A Tabela 4.1 apresenta os resultados dos ensaios dimensionais em blocos reticulados de argila (BR – A).

Tabela 4.1 – Precisão dimensional – Blocos reticulados de Argila (BR – A)

Amostra	Dimensões efetivas média dos blocos (mm)			Espessuras mínimas (mm)		Desvios máximos (mm)	
	Largura	Altura	Comp.	Paredes ext.	Paredes int.	Esquadro	Flecha
01	140	189	289	8	8	0	0
02	140	190	285	8	7	0	0
03	140	189	290	9	7	1	0
04	138	190	290	9	7	0	0
05	140	190	290	8	7	0	0
06	140	190	290	8	7	0	0
07	140	189	289	8	8	0	0
08	140	190	289	8	8	0	0
09	139	190	290	8	7	0	0
10	139	190	290	8	7	0	0
11	138	190	290	8	7	0	0
12	138	190	290	8	7	2	0
Média	139,3	189,7	289,3	8,1	7,2	0,2	0

Ao observar os dados pode-se concluir que as dimensões do bloco reticulado composto de 100% de argila (BR – A) encontra-se dentro dos limites fixados pela NBR 15270 (2005). E então, quanto a esse aspecto, o bloco comparado pode ser utilizado perfeitamente nos ensaios experimentais.

A seguir a Tabela 4.2 expõe os resultados dos ensaios dimensionais realizados nos blocos circulares de argila (BC – A).



Tabela 4.2 – Precisão dimensional – Blocos circulares de Argila (BC – A)

Amostra	Dimensões efetivas média dos blocos (mm)			Espessuras mínimas (mm)		Desvios máximos (mm)	
	Largura	Altura	Comp.	Paredes ext.	Paredes int.	Esquadro	Flecha
01	141	190	290	8	21	1	0
02	140	190	290	8	23	0	0
03	140	190	290	9	23	0	0
04	139	188	289	9	23	0	0
05	140	189	289	8	22	1	0
06	140	190	289	9	22,5	0	0
07	138	190	290	9	22,5	0	0
08	140	191	290	8	22,5	0	0
09	140	190	290	8	22	0	0
10	140	188	290	8	22,5	0	0
11	140	190	290	9	22,5	0	0
12	138	190	290	9	22,5	0	0
Média	139,6	189,6	289,7	8,5	22,4	0,16	0

Com relação aos dados apresentados referente ao bloco de seção circular, proposto por GOUVEIA (2006), todos os valores de tolerância individuais e relacionado às medias estão de acordo com a norma, assim como espessuras externas e internas de ambos os tipos de blocos, encontram-se dentro dos limites fixados pela NBR 15270 (2005), tornando o bloco circular aceitável para ensaios experimentais.

#### *b) Absorção d'água*

Na Tabela 4.3 são apresentados os resultados do índice de absorção d'água dos blocos 100% argila de seção reticulada (BR – A) e de seção circular (BC – A).

Tabela 4.3 – Índice de absorção d'água – blocos 100%, reticulado e circular

Amostra	AA(%)	
	BR – A	BC – A
01	13	13
02	13	14
03	13	14
04	13	13
05	13	13
06	13	13
07	14	13
08	14	13
09	13	13
10	13	13
11	13	14
12	13	14
Média	13,16	13,33

Quanto à absorção d'água, a NBR 15270-3 (2005) limita o índice em não inferior a 8% e nem superior a 22% para os blocos. Seguindo as recomendações de norma, os blocos encontram-se dentro dos limites devido apresentarem em média um índice de 13%.

*c) Resistência à compressão*

Os ensaios das unidades à compressão apresentaram geralmente ruptura nas arestas dos blocos e ruptura em forma de cone, típica da compressão de um corpo-de-prova confinado nas extremidades.

A Tabela 4.4 apresenta os resultados da resistência à compressão dos blocos estruturais de argila, seção reticulada (BR – A) e circular (BC – A).

Tabela 4.4 – Resultados da resistência à compressão das unidades seção reticulada e circular

Amostra	BR – A	BC – A
	Resistência (MPa)	Resistência (MPa)
01	3,9	4,3
02	4	4,4
03	3,5	3,8
04	4	4,2
05	4,2	4,1
06	4,2	4,3
07	3,3	4,3
08	4,5	4,8
09	4,4	4,7
10	3,7	4,3
11	3,3	3,2
12	4	3,8
Característica	3,2	3,3
Média	3,9	4,1
Desvio padrão	0,38	0,41

Apreciando os resultados da Tabela 4.4, o bloco de seção circular, (BC – A), apresentou uma resistência média superior, com relação ao bloco reticulado (BR – A) na ordem de 4,9%. De forma geral, a resistência característica dos blocos dos dois lotes está em total conformidade com os padrões normativos de blocos cerâmicos estruturais.

#### 4.2.2 – RESULTADOS DOS BLOCOS ESTRUTURAIS CERÂMICOS COM ADIÇÃO DE LV

##### a) *Características dimensionais*

Quanto as inspeções visuais e aos ensaios, os blocos com adição de lama vermelha passaram pelo mesmo processo de ensaio que os blocos com 100% argila fazendo uso da NBR 15270-3, anexo A (ABNT, 2005c).

A Tabela 4.5 apresenta os resultados dos ensaios dimensionais em blocos reticulados com adição de LV.

Tabela 4.5 – Precisão dimensional – Blocos reticulados com LV (BR – LV)

Amostra	Dimensões efetivas média dos blocos (mm)			Espessuras mínimas (mm)		Desvios máximos (mm)	
	Largura	Altura	Comp.	Paredes ext.	Paredes int.	Esquadro	Flecha
01	140	188	289	9	8	0	0
02	138	190	285	8	8	0	0
03	140	189	290	9	8	1	0
04	138	190	287	9	7	0	0
05	138	188	290	8	7	0	0
06	137	190	290	8	7	0	0
07	140	189	289	8	8	0	0
08	140	190	289	8	8	0	0
09	139	190	290	8	8	0	0
10	139	190	290	8	7	0	0
11	138	187	288	8	7	0	0
12	138	190	285	9	7	1	0
Média	138,7	189,2	288,5	8,3	7,5	0,16	0

Os dados dimensionais do bloco reticulado com adição de LV, (BR – LV), encontra-se dentro dos limites normativos, sendo assim o bloco comparado pode ser utilizado perfeitamente nos ensaios experimentais.

A seguir a Tabela 4.6 expõe os resultados dos ensaios dimensionais realizados nos blocos com seção circular e adição de LV (BC – LV).

Tabela 4.6 – Precisão dimensional – Blocos circulares com LV (BC – LV)

Amostra	Dimensões efetivas média dos blocos (mm)			Espessuras mínimas (mm)		Desvios máximos (mm)	
	Largura	Altura	Comp.	Paredes ext.	Paredes int.	Esquadro	Flecha
01	140	190	290	8	23	1	0
02	138	190	290	8	23	0	0
03	140	187	290	8	23	1	0
04	138	189	285	8	21	0	0
05	138	188	288	8	21	0	0
06	137	190	288	8	23	0	0
07	140	189	289	8	22	0	0
08	140	190	289	8	22	0	0
09	139	190	289	9	22	0	0
10	139	190	290	9	21,5	0	0
11	140	190	288	8	23	0	0
12	140	190	285	9	23	1	0
Média	139	189,4	288,4	8,2	22,2	0,25	0

O bloco de seção circular com adição de LV, encontra-se em conformidade com a NBR 15270 (2005), provando que a adição de lama vermelha não provocou irregularidades dimensionais de ambos os blocos estudados, (reticulado e circular), tornando os blocos aceitáveis experimentalmente.

#### *b) Absorção d'água*

Seguindo a mesma linha de ensaios para os blocos 100% argila, a Tabela 4.7 apresenta o resultado do ensaio do índice de absorção d'água dos blocos com adição de LV, reticulado (BR – LV) e circular (BC – LV).

Tabela 4.7 – Índice de absorção d'água – blocos (BR – LV) e (BC – LV)

Amostra	AA(%)	
	BR – LV	BC – LV
01	9	10
02	9	8
03	8	9
04	9	8
05	10	9
06	10	8
07	8	9
08	10	11
09	8	10
10	8	9
11	9	9
12	10	9
Média	9	9,1

Conforme os padrões anteriormente fixados pelos blocos 100% argila, os blocos com adição de lama vermelha atendem ao índice de absorção d'água com médias de aproximadamente 9% para ambas as unidades, assim estando dentre dos limites da NBR 15770 (2005).

*c) Resistência à compressão*

Assim como os blocos de argila, as unidades com adição de LV ensaiadas à compressão também apresentaram ruptura nas arestas dos blocos e ruptura em forma de cone típica de um corpo-de-prova confinado em suas arestas.

A Tabela 4.8 apresenta os resultados da resistência à compressão dos blocos com adição de lama vermelha, reticulado (BR – LV) e circular (BC – LV).

Tabela 4.8 – Resultados da resistência à compressão das unidades seção reticulada e circular

Amostra	BR – LV	BC – LV
	Resistência (MPa)	Resistência (MPa)
01	17,7	12,8
02	19,6	13,2
03	7,3	14,9
04	13,9	4,6
05	11,1	11,6
06	16,4	6,3
07	8,8	10,3
08	12,4	13,3
09	11,3	17
10	7,5	13,4
11	12,4	7,7
12	14	12,4
Característica	7,15	4,5
Média	12,7	11,4
Desvio padrão	3,71	3,47

Analisando os resultados dos ensaios à compressão dos blocos com adição de LV, a unidade com seção transversal reticulada, BR – LV, obteve média superior ao bloco BC – LV, na ordem de 10%. De modo geral os dois tipos de blocos com adição de lama vermelha atenderam aos padrões normativos e apresentaram significativos ganho de resistência à compressão.

#### 4.2.3 – ANÁLISE DOS BLOCOS

Neste item serão analisados os resultados dos blocos compostos de 100% argila e os com adição de LV, ambos com suas seções transversais, reticulada e circular.

Com relação aos aspectos dimensionais, todos os blocos, independentemente de suas concentrações de argila e lama vermelha, e das suas seções transversais empregadas, corresponderão de forma positiva aos padrões normativos conforme a NBR 15270 – 3, anexo A (ABNT, 2005).

A Tabela 4.9 apresenta dos resultados médios das características dimensionais dos blocos.

Tabela 4.9 – Resultado médio das características dimensionais dos blocos

Amostra	Dimensões efetivas média dos blocos (mm)			Espessuras mínimas (mm)		Desvios máximos (mm)	
	Largura	Altura	Comp.	Paredes ext.	Paredes int.	Esquadro	Flecha
BR – A	139,3	189,7	289,3	8,1	7,2	0,2	0
BC – A	139,6	189,6	289,7	8,5	22,4	0,16	0
BR – LV	138,7	189,2	288,5	8,3	7,5	0,16	0
BC – LV	139	189,4	288,4	8,2	22,2	0,25	0

Analisando os resultados percebemos que tanto a forma circular da seção transversal do bloco quanto à adição de lama vermelha não provocou a reprovação das amostras já que os valores médios encontram-se dentro dos limites da norma.

A Figura 4.1 apresenta a média dos índices de absorção d'água, AA(%), de todos os blocos estudados.

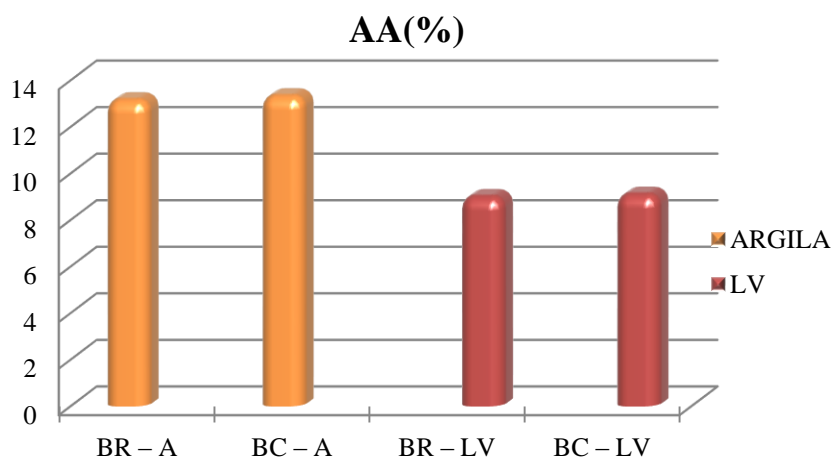


Figura 4.1 – Média dos resultados dos índices de absorção d'água dos blocos

Seguindo especificações da NBR 15270 (2005) que limita o índice em não inferior a 8% e nem superior a 22%, verificamos a diferença com relação aos materiais empregados. Os blocos de argila obtiveram um índice padrão em relação aos blocos utilizados na construção civil.



Os blocos com adição de lama vermelha apresentaram resultados mais baixo devido a LV possuir uma menor granulometria e maior variabilidade de grãos, assim possibilitando um maior preenchimento dos vazios e resultando em uma menor permeabilidade. Apesar desta diferença com relação aos materiais constituintes, todos os blocos atendem as recomendações normativas.

Com relação à resistência característica à compressão ( $f_{bk}$ ), a NBR 15270 – 2 (2005) determina que os blocos cerâmicos estruturais devem ser considerados a partir de 3,0 Mpa, referida à área bruta. A Tabela 4.10 apresenta os resultados de resistência característica, resistência média e desvio padrão para os blocos estudados.

Tabela 4.10 – Resultados da resistência à compressão de todos os tipos de blocos

Dados	BR – A	BC – A	BR – LV	BC – LV
	Resistência (MPa)	Resistência (MPa)	Resistência (MPa)	Resistência (MPa)
Característica	3,2	3,3	7,15	4,5
Média	3,9	4,1	12,7	11,4
Desvio padrão	0,38	0,41	3,71	3,47

Analisando a tabela acima percebemos que com relação as resistências características os blocos estudados de argila e lama vermelha encontram-se de acordo com os limites estipulados pela norma. Também verificamos o acréscimo de resistência para os blocos com adição de LV, com resistência média de 12,7 Mpa para os blocos BR – LV e 11,4 Mpa para BC – LV, porém analisamos a dispersão dos resultados como valores de  $f_{bk}$  e desvio padrão, concluímos que está dispersão ocorreu pela adição da lama vermelha no processo industrial dos blocos, modificando uma linha de produção que era constituída de 100% argila para uma linha de produção mista, argila e LV, deste modo dificultando um controle mais rigoroso devido ao incremento de argila no maquinário resultando na variação do traço original de argila e LV proposto e com isso gerando valores maiores e menores de resistência dos blocos com adição de lama vermelha.

Em comparação com a NBR 6136 (2007) Blocos vazados de concreto simples para alvenaria, referente aos requisitos para resistência característica conforme a Tabela 4.11 abaixo.

Tabela 4.11 – Requisitos para resistência característica à compressão de blocos vazados de concreto

Classe	Resistência Característica (MPa)
A	$\geq 6,0$
B	$\geq 4,0$
C	$\geq 3,0$
D	$\geq 2,0$

Ao qual são destinados à execução de alvenaria com ou sem função estrutural, determinando blocos vazados de concreto pertencerem a quatro classes; A, B, C e D, sendo a classe A estrutural para obras acima ou abaixo do nível do solo, B e C para estruturais acima do nível do solo e classe D para blocos de vedação.

Exemplificando essa comparação, bloco cerâmico e bloco de concreto, apresentamos a Figura 4.2.

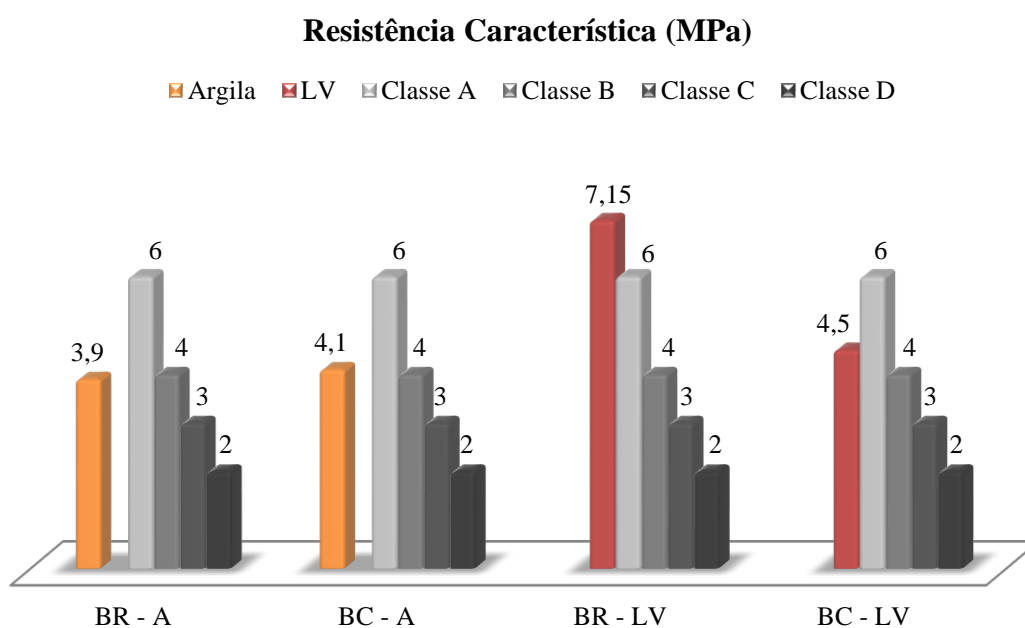


Figura 4.2 – Resistência característica à compressão, bloco cerâmico x bloco concreto

Aos blocos estudados, analisamos que todos se enquadram nos parâmetros das classes de blocos estruturais segundo a NBR 6136 (2007), salientando o bloco reticulado com adição de LV que obteve um resultado superior ao limite pela Classe A de blocos de concreto.

#### 4.3 – RESULTADOS E ANÁLISES DA ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO

Na tabela 4.12 são mostrados os resultados da resistência aos 28 dias da argamassa de assentamento utilizada na confecção dos prismas, mini – paredes e paredes.

Tabela 4.12 – Resultado da resistência à compressão média da argamassa de assentamento aos 28 dias

Elementos	Resistência
	Média (MPa)
Prisma	6,57
Mini - Parede	6,16
Parede	7,48
Média	6,74
Desvio padrão	0,67

Analisando os resultados apresentados na Tabela 4.12, pode-se dizer que a argamassa apresentou uma resistência à compressão média dentro do esperado, pois segundo a BS 5628 : Part 1 (1992) a argamassa do tipo (ii), apresenta resistência média em torno de 6,5 Mpa e a média obtida nos ensaios gira em torno de 6,74 Mpa.

#### 4.4 – RESULTADOS E ANÁLISES DOS PRISMAS

A ruptura dos prismas, em geral se caracterizou pelo desenvolvimento de uma fissura vertical ao longo de suas espessuras, ocorrendo também uma ruptura em que se percebeu o esmagamento dos blocos.

Os resultados da resistência à compressão dos prismas são apresentados na Tabela 4.13.

Tabela 4.13 – Resistência à compressão dos prismas com blocos, BC –LV, BR – LV e BR – A

Amostras	Prismas BC-LV		Prismas BR-LV		Prismas BR-A	
	Ruptura (kN)	Resistência (MPa)	Ruptura (kN)	Resistência (MPa)	Ruptura (kN)	Resistência (MPa)
1	165	4,06	180	4,43	66	1,62
2	158	3,90	122	3,05	42	1,03
3	187	4,60	148	3,64	70	1,72
4	128	3,15	158	3,90	65	1,60
5	178	4,38	162	4,00	58	1,43
Média	163,2	4,02	154	3,80	60,20	1,48
Desvio padrão	22,66	0,56	21,31	0,51	11,05	0,27

De acordo com os resultados da Tabela 4.13 observam-se diferenças entre as resistências dos prismas, quanto à adição de lama vermelha e o tipo de seção transversal dos blocos. A Figura 4.3 ajuda a compreender melhor as relações dessas diferenças.

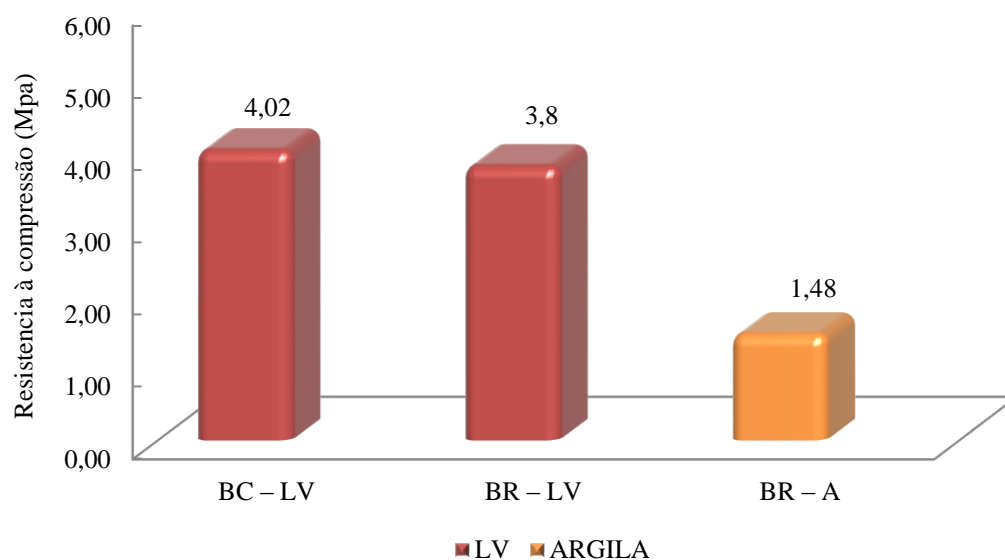


Figura 4.3 – Resultados médios da resistência à compressão dos prismas

A Tabela 4.14 faz uma comparação desses valores, tomando-se sempre como padrão o prisma confeccionado com blocos de argila.

Tabela 4.14 – Comparação dos resultados da resistência à compressão dos prismas

Prismas	Resistência (MPa)	Comparação da resistência à compressão
BC – LV	4,02	BR – A < BC – LV em 63%
BR – LV	3,8	BR – A < BR – LV em 62%
BR – A	1,48	BC – LV > BR – LV em 5%

A Figura 4.3 e a Tabela 4.14 mostraram uma evidência clara de que os prismas de blocos 100% argila apresentaram menor resistência que os prismas com blocos de lama vermelha, sendo a diferença média de 62,5%.

Também é analisada outra medida, o “fator de eficiência da alvenaria”, que pode ser obtido mediante a razão entre a resistência do prisma ou parede e a resistência do bloco.

A Figura 4.4 mostra a eficiência dos prismas com respeito à resistência dos blocos para uma melhor compreensão e análise dos resultados.

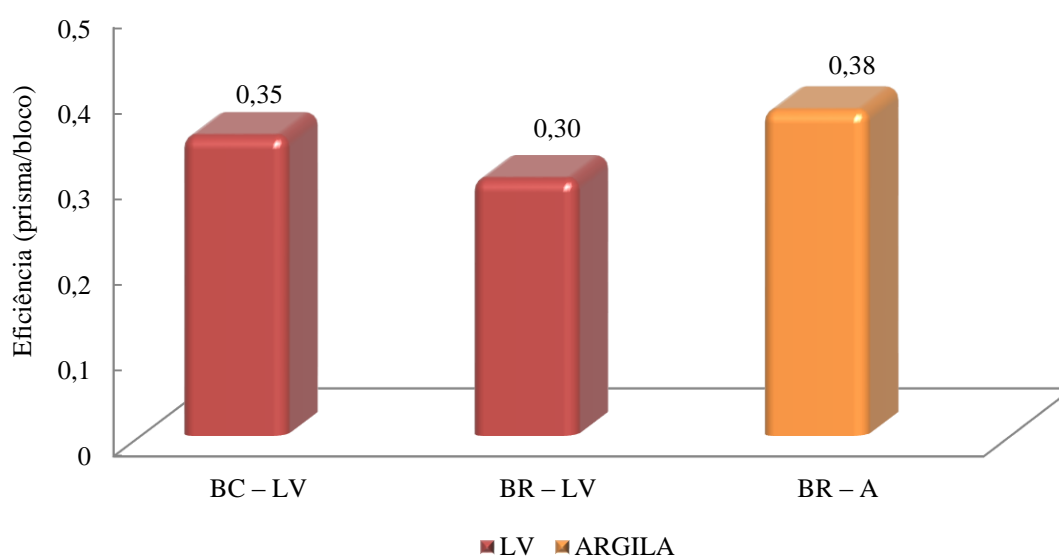


Figura 4.4 – Eficiência dos prismas

Pode-se afirmar que além dos blocos com adição de LV proporcionarem o acréscimo de resistência aos prismas, outra indicação a fazer é que, normalmente, esses valores de eficiência prisma-bloco, para as práticas comuns no Brasil e seguindo as recomendações de Ramalho e Corrêa (2003), variam de 0,2 a 0,5 para blocos cerâmicos. Os valores de eficiência mostrados na Figura 4.4 encontram-se dentro desse limite, o que valida esses resultados.

#### 4.5 – RESULTADOS E ANÁLISES DAS MINI-PAREDES

Conforme descrito anteriormente, foram ensaiadas 10 mini-paredes, sendo 5 com blocos de seção circular e adição de LV (BC – LV), 4 com blocos de seção reticulada e adição de LV (BR – LV) e 1 com blocos de seção reticulada e 100% em argila (BR – A) servindo de parâmetro de referência.

A Tabela 4.15 mostra os resultados da resistência à compressão das mini-paredes em função da área bruta.

Tabela 4.15 – Resultado da resistência à compressão das mini-paredes

Amostras	Mini-paredes BC-LV		Mini-paredes BR-LV		Mini-parede BR-A	
	Ruptura (kN)	Resistência (MPa)	Ruptura (kN)	Resistência (MPa)	Ruptura (kN)	Resistência (MPa)
1	285	3,39	100	1,19	77	0,92
2	183	2,18	94	1,12	-	-
3	143	1,70	130	1,55	-	-
4	151	1,80	122	1,46	-	-
5	134	1,60	-	-	-	-
Média	179,2	2,13	111,5	1,33	-	0,92
Desvio padrão	61,96	0,73	17,23	0,21	-	-

Analisando a Tabela 4.15 verificamos as diferenças das mini-paredes quanto à adição de LV nos blocos e também com relação ao tipo de seção transversal do bloco. A Figura 4.5 ajuda a compreender melhor as relações dessas diferenças.

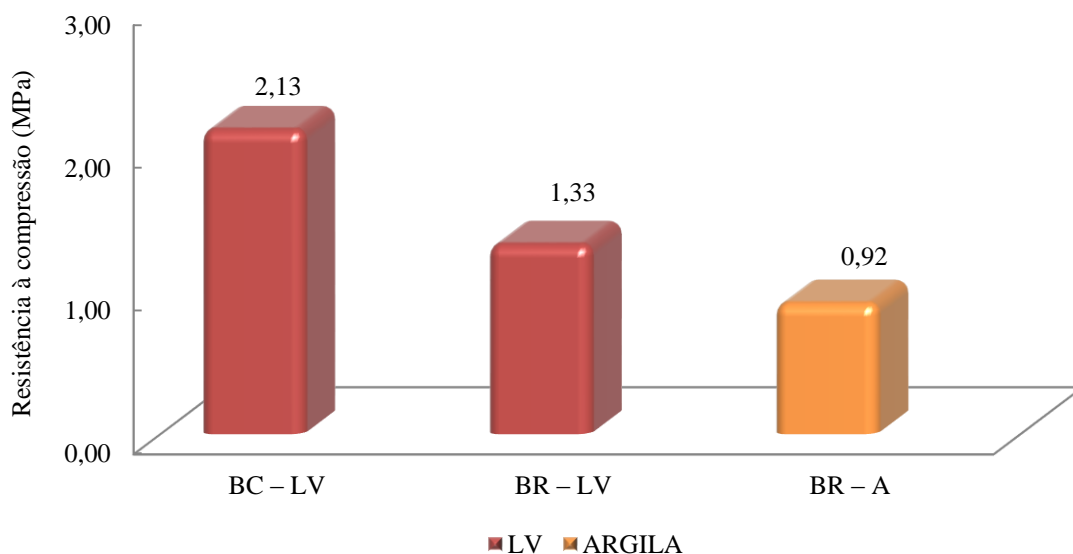


Figura 4.5 – Resultados médios da resistência à compressão das mini-paredes

A Tabela 4.16 faz uma comparação desses valores tomando-se sempre como padrão as mini-paredes confeccionadas com blocos de argila.

Tabela 4.16 – Comparação dos resultados da resistência à compressão das mini-paredes

Mini-paredes	Resistência (MPa)	Comparação da resistência à compressão
BC – LV	2,13	BR – A < BC – LV em 57%
BR – LV	1,33	BR – A < BR – LV em 30%
BR – A	0,92	BC – LV > BR – LV em 37%

A Figura 4.5 e a Tabela 4.16 apresentam claramente que as mini-paredes confeccionadas com blocos com adição de LV obtiveram resultados maiores de resistência à compressão em comparação com as mini-paredes de blocos 100% argila, sendo esse acréscimo de resistência para as mini-paredes de blocos BC – LV na ordem dos 57%.

Fazendo-se necessário mostrar uma relação de grande importância e que não deixa de ser também uma eficiência: a razão entre a resistência da parede e o bloco.

A Figura 4.6 apresenta a relação do fator de eficiência entre, mini-parede/bloco

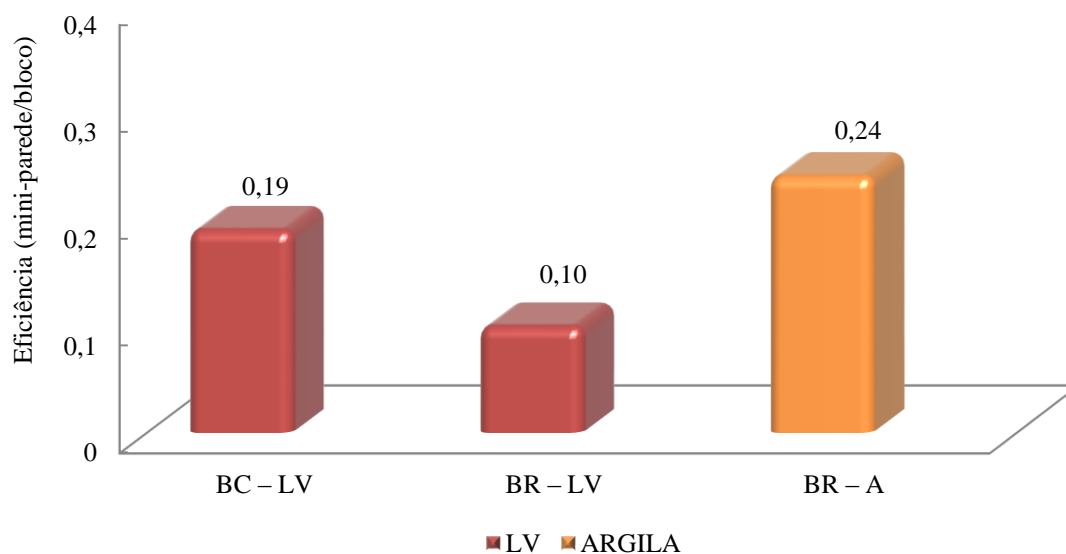


Figura 4.6 – Eficiência mini-parede/bloco

Analisando as Figuras 4.6 percebemos valores menores que os apresentados por Ramalho e Corrêa (2003) para eficiência mini-parede/bloco. Conforme comentado anteriormente no Capítulo 2, item 2.4.9, que entre vários autores, notam-se essa divergência de valores quanto a eficiência.

Os aspectos relacionados a esses baixos valores de eficiência estão relacionados à resistência do bloco, quanto mais resistente for o bloco menor será a eficiência. Outro ponto é com relação a não compatibilização das deformações entre bloco e argamassa, sendo o equilíbrio entre resistências de bloco e argamassa para otimização dos resultados. Percebemos também que o valor de eficiência para as mini-paredes confeccionada de blocos 100% argila atenderam aos limites mencionados, ratificando ainda mais que a resistência dos blocos influência diretamente na eficiência de elementos como prisma, mini-paredes e paredes.



Com relação ao modo de ruptura das mini-paredes, as primeiras fissuras apareceram nas faces frontais externas e suas apresentações se deram com valores de carga acima de 120 kN, já na face lateral das mesmas, as fissuras foram menos visíveis e, em algumas não apareceram. A Figura 4.7 mostra um exemplar de mini-parede e seu respectivo modo de ruptura.

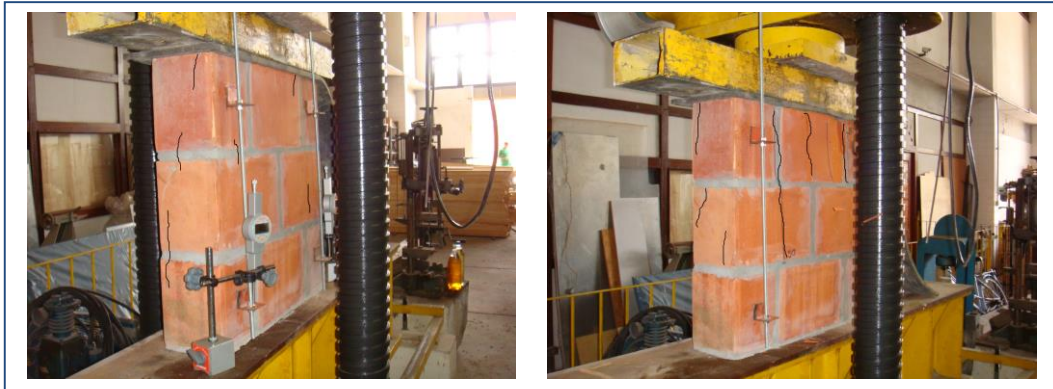


Figura 4.7 – Modo de ruptura das mini-paredes

O módulo de deformação obtido, tomou como base a Tabela 2.28 apresentada anteriormente no Capítulo 2. A Tabela 4.17 apresenta a média dos valores do módulo de deformação das mini-paredes.

Tabela 4.17 – Módulo de deformação das mini-paredes

Bloco	$f_b$ médio (MPa)	$E_{atv}$ (MPa)
BC – LV	2,13	1278
BR – LV	1,33	798
BR – A	0,92	552

Tais valores encontram-se dentro da faixa de valores obtidos por outros pesquisadores, conforme se ilustrou na Tabela 2.27 também no Capítulo 2, em que os resultados de modulo de deformação vão de 478 MPa a 1152MPa.

As curvas tensão x deformação apresentadas nas Figuras 4.9 a 4.18, foram traçadas tomando-se a tensão na área bruta e calculando-se a deformação específica, dividindo-se a média dos deslocamentos medidos pelos defletômetros (D1 e D2), pelo comprimento das suas hastes. Em todos os gráficos foi considerada positiva a carga de compressão aplicada às mini-paredes.

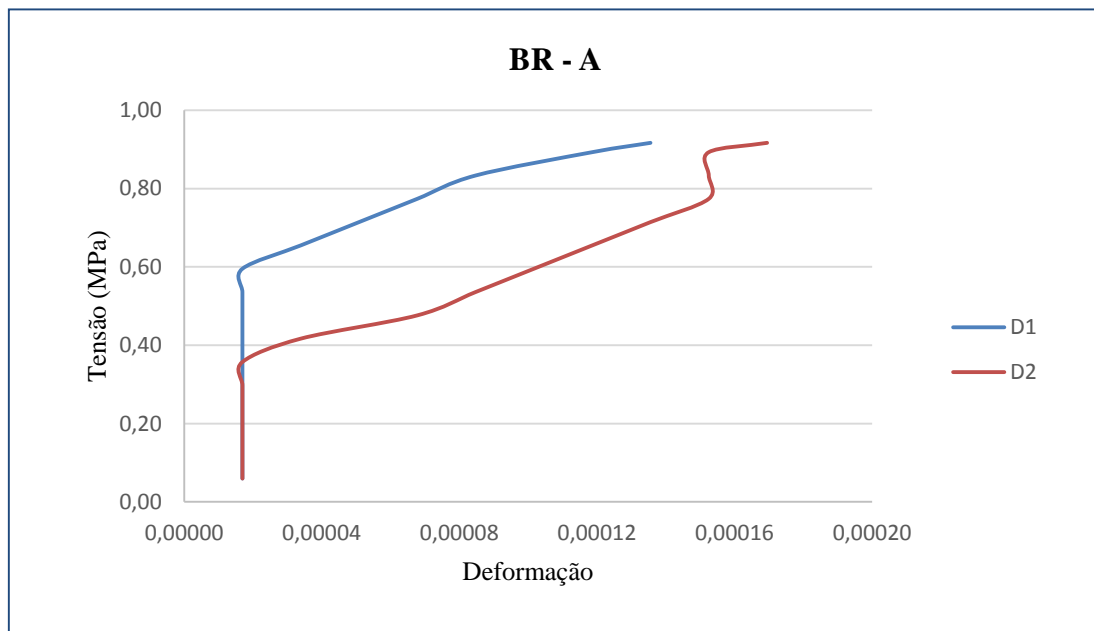


Figura 4.8 – Gráfico tensão x deformação da mini-parede com blocos BR – A (Referencia)

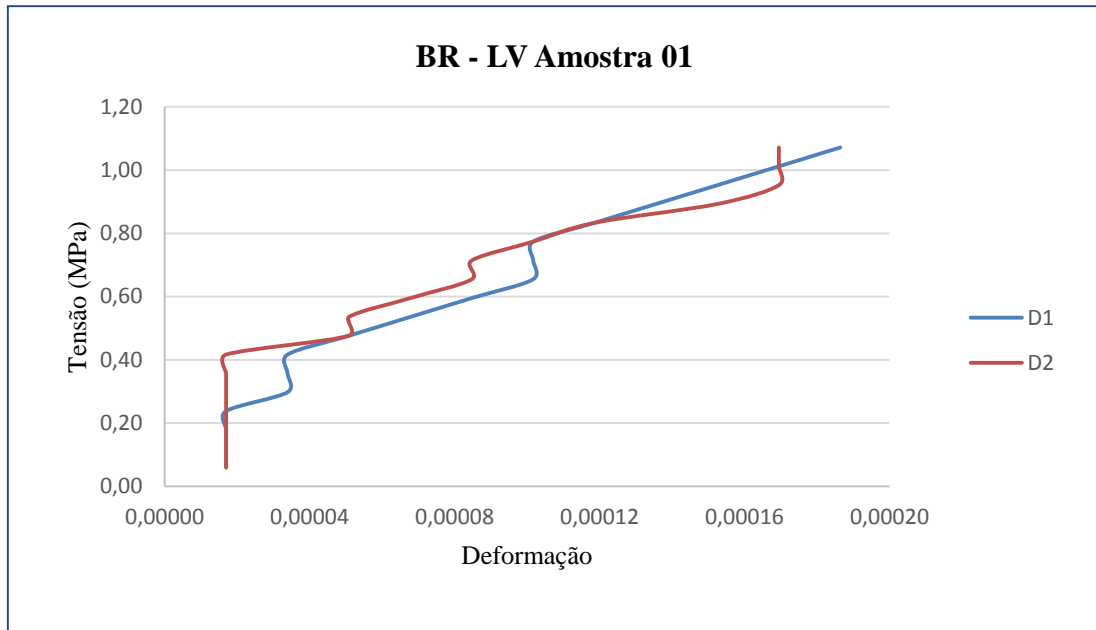


Figura 4.9 – Gráfico tensão x deformação das mini-paredes com blocos BR – LV (Amostra 01)

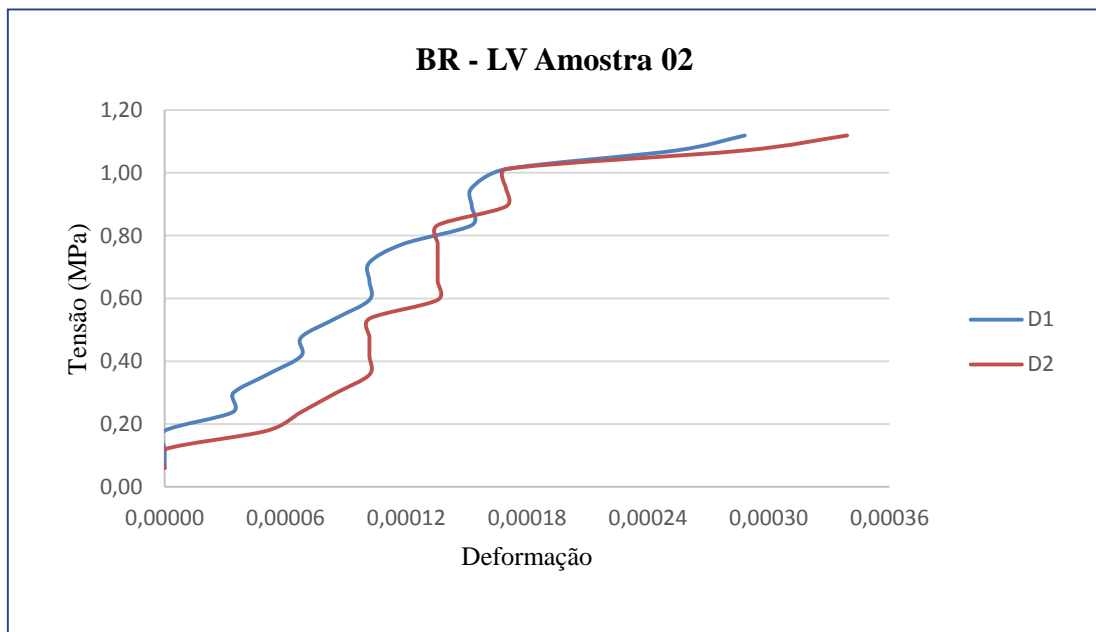


Figura 4.10 – Gráfico tensão x deformação das mini-paredes com blocos BR – LV (Amostra 02)

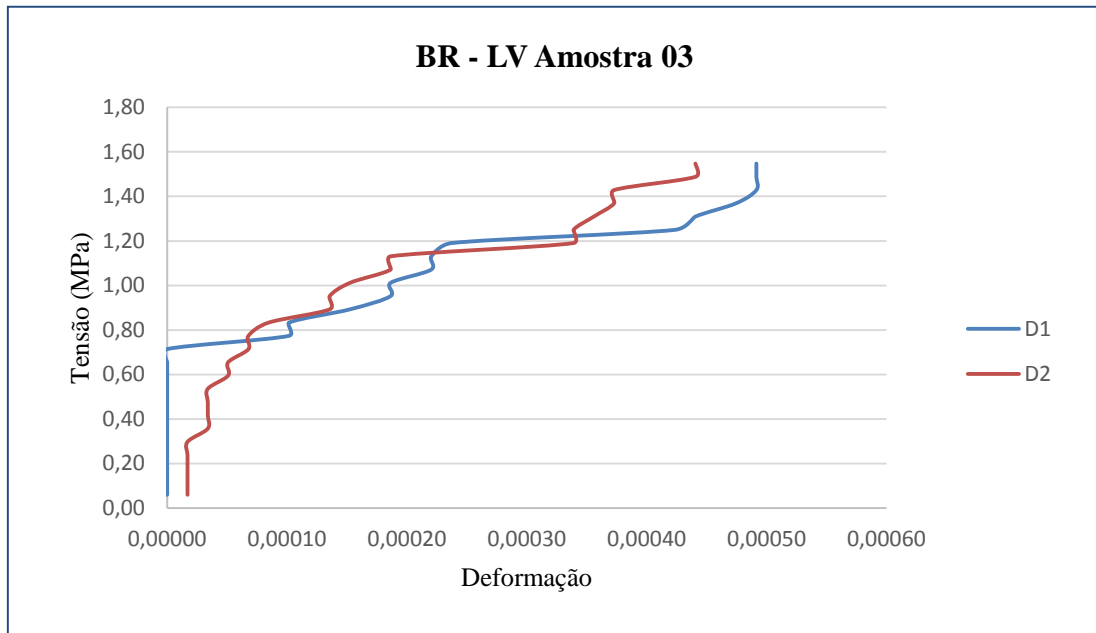


Figura 4.11 – Gráfico tensão x deformação das mini-paredes com blocos BR – LV (Amostra 03)

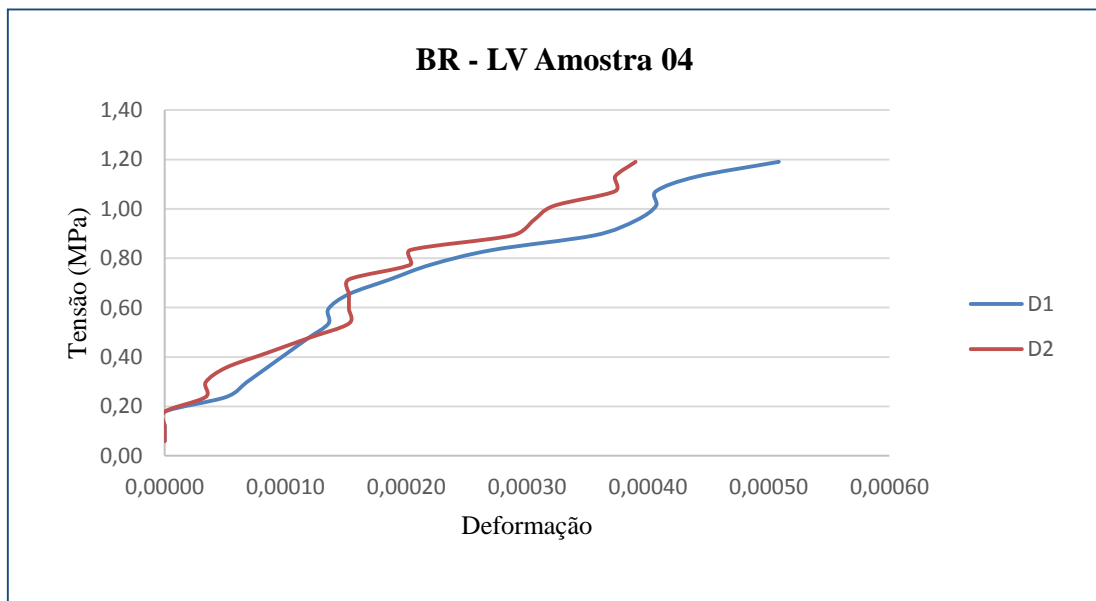


Figura 4.12 – Gráfico tensão x deformação das mini-paredes com blocos BR – LV (Amostra 04)

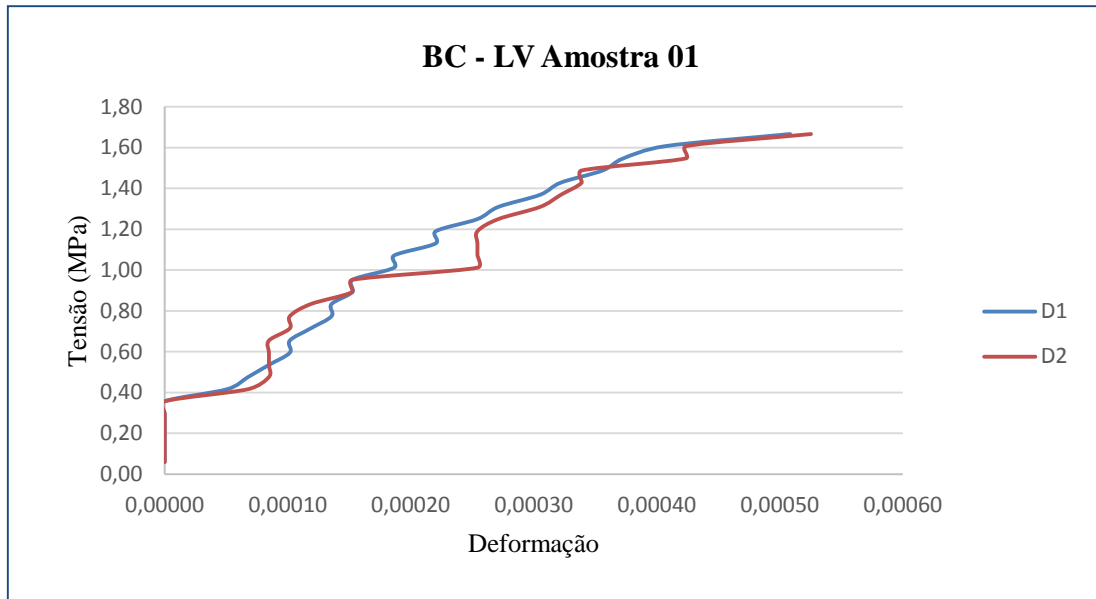


Figura 4.13 – Gráfico tensão x deformação das mini-paredes com blocos BC – LV (Amostra 01)

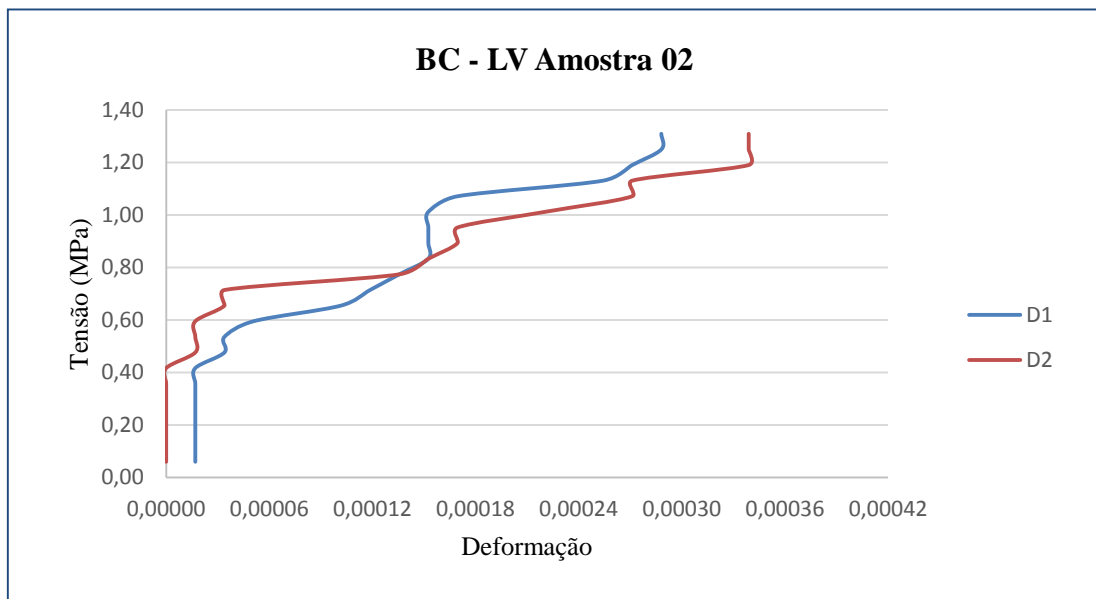


Figura 4.14 – Gráfico tensão x deformação das mini-paredes com blocos BC – LV (Amostra 02)

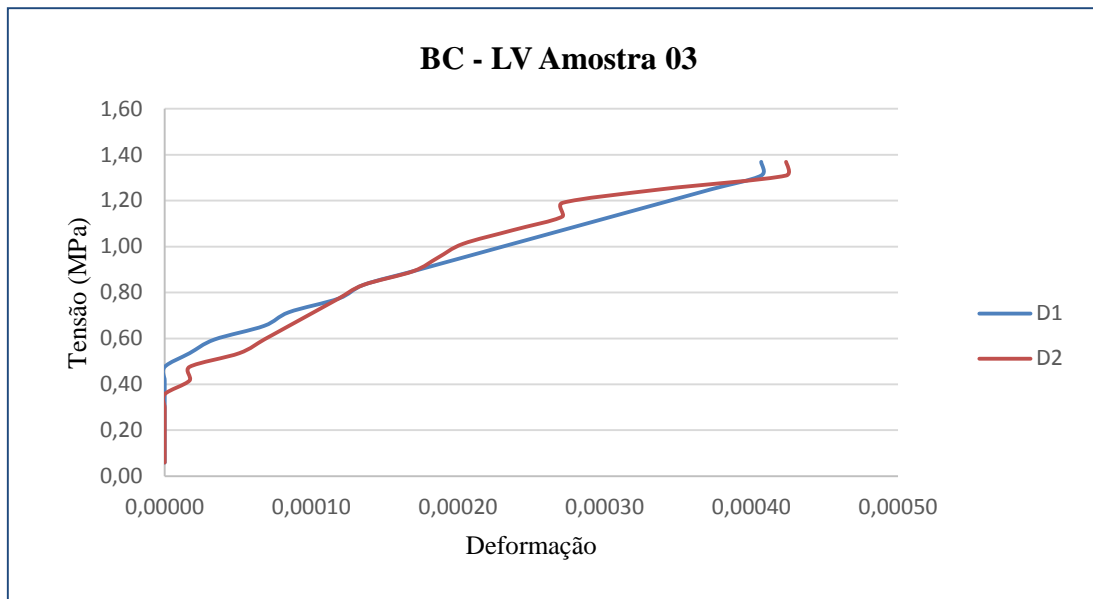


Figura 4.15 – Gráfico tensão x deformação das mini-paredes com blocos BC – LV (Amostra 03)

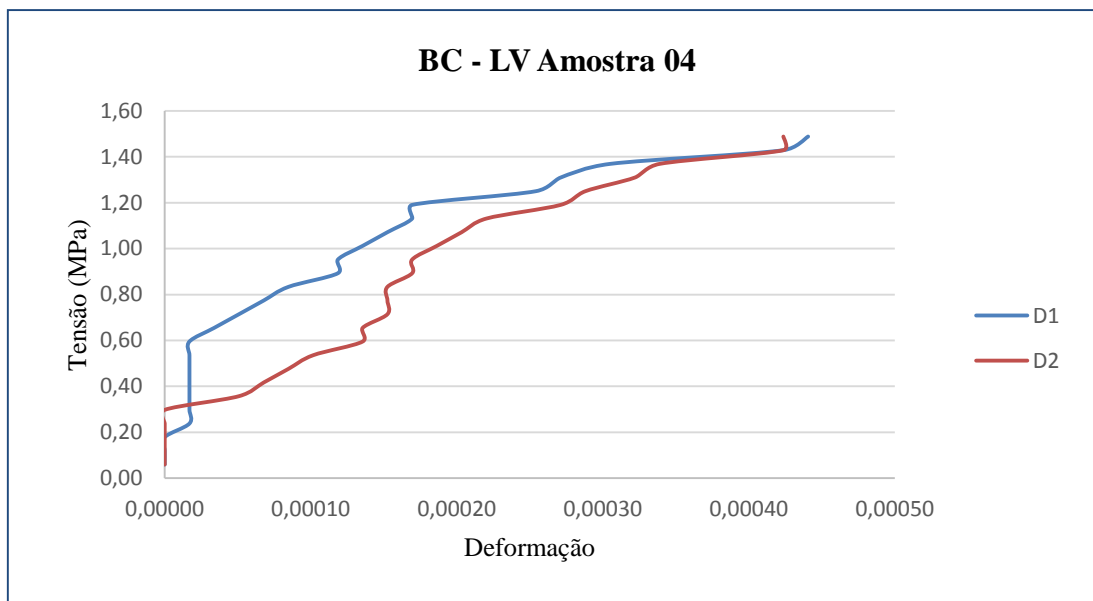


Figura 4.16 – Gráfico tensão x deformação das mini-paredes com blocos BC – LV (Amostra 04)

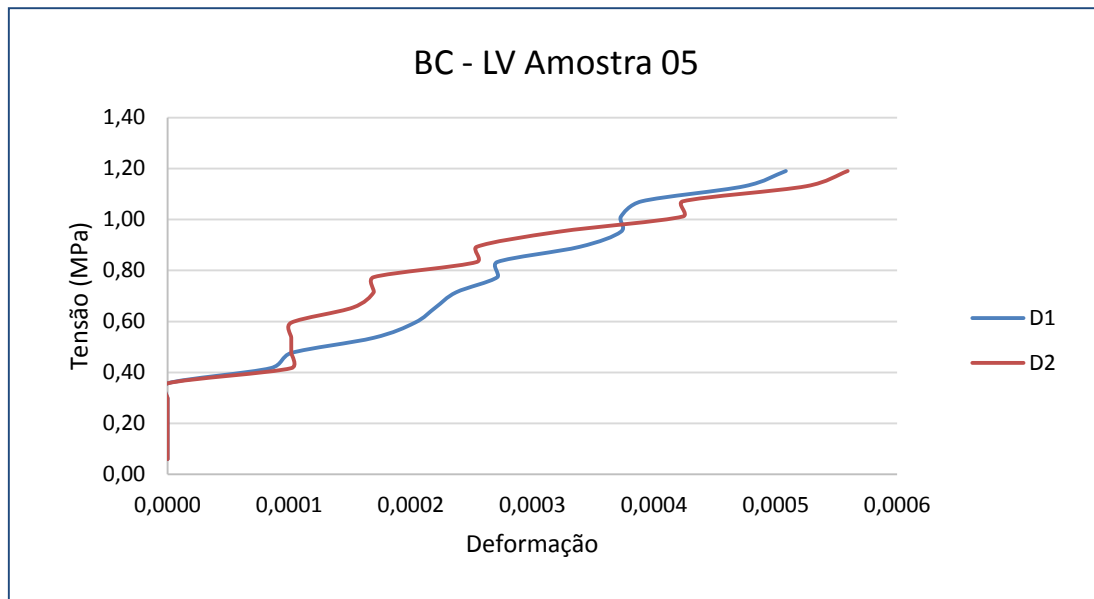


Figura 4.17 – Gráfico tensão x deformação das mini-paredes com blocos BC – LV (Amostra 05)

Analisando as figuras, percebe-se que além da lama vermelha influenciar na resistência das mini-paredes, também influencia na sua rigidez, sendo mais resistentes e mais rígidas as mini-paredes com blocos circulares e adição de LV.

#### 4.6 – RESULTADOS E ANÁLISES DAS PAREDES

Conforme apresentado anteriormente, foram ensaiadas 5 paredes, sendo 3 com blocos de seção circular e adição de LV (BC – LV), 1 com blocos de seção reticulada e adição de LV (BR – LV) e 1 com blocos de seção reticulada e 100% em argila (BR – A) servindo de parâmetro de referência.

A Tabela 4.18 mostra os resultados da resistência à compressão das paredes em função da área bruta.

Tabela 4.18 – Resultado da resistência à compressão das paredes

Amostras	Parede BR-A		Parede BR-LV		Paredes BC-LV	
	Ruptura (kN)	Resistência (MPa)	Ruptura (kN)	Resistência (MPa)	Ruptura (kN)	Resistência (MPa)
1	330	1,96	-	-	-	-
2	-	-	270	1,60	-	-
3	-	-	-	-	530	3,15
4	-	-	-	-	440	2,62
5	-	-	-	-	290	1,73
Média	330	1,96	270	1,60	420	2,50
Desvio padrão	0	0	0	0	99	0,58

Analisando a Tabela 4.18 verificamos as diferenças das paredes quanto à adição de LV nos blocos e também com relação ao tipo de seção transversal do bloco. A Figura 4.19 ajuda a compreender melhor as relações dessas diferenças.

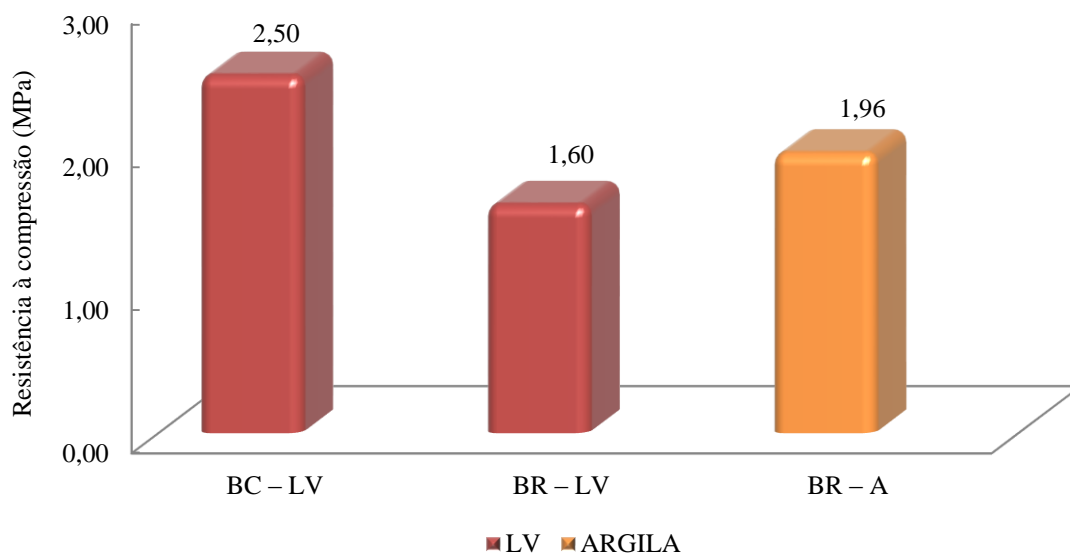


Figura 4.18 – Resultados médios da resistência à compressão das paredes



A Tabela 4.19 faz uma comparação desses valores tomando-se sempre como padrão a parede confeccionada com blocos de argila.

Tabela 4.19 – Comparação dos resultados da resistência à compressão das paredes

Mini-paredes	Resistência (MPa)	Comparação da resistência à compressão
BC – LV	2,50	BR – A < BC – LV em 21%
BR – LV	1,60	BR – A > BR – LV em 18%
BR – A	1,96	BC – LV > BR – LV em 36%

A Figura 4.19 e a Tabela 4.19 apresentam claramente que as paredes confeccionadas com blocos circulares e adição de LV obtiveram resultados maiores de resistência à compressão em comparação com a parede de blocos 100% argila, sendo esse acréscimo de resistência para as paredes de blocos BC – LV em torno de 21%.

É interessante observar que os valores das paredes BR – LV e BR – A possuem uma diferença de 18%, assim apresentando que não somente o fator da adição de lama vermelha foi primordial para o acréscimo de resistência, mas que também a seção transversal circular do bloco proposto contribuiu para este acréscimo.

A Figuras 4.20 apresentam as relações de fator de eficiência entre, parede/bloco.

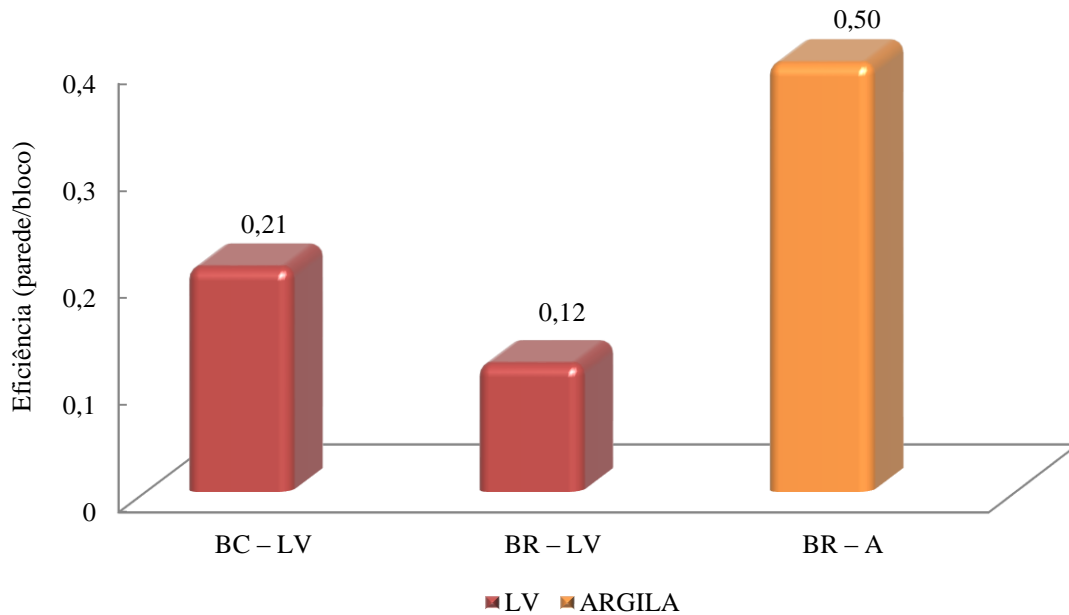


Figura 4.19 – Eficiência parede/bloco

Analisando o fator de eficiência parede/bloco, observamos que os valores estão de acordo com os valores adotado por Ramalho e Corrêa (2003).

O modo de ruptura das paredes ocorreu com as primeiras fissuras nas faces frontais externas superior e suas apresentações se deram com valores de carga a partir de 200 kN, já na face lateral das mesmas, as fissuras foram menos visíveis e, em algumas não apareceram. A Figura 4.21 e 4.22 mostra um exemplar de parede e seu respectivo modo de ruptura.



Figura 4.20 – Modo de ruptura das paredes, face frontal



Figura 4.21 – Modo de ruptura das paredes, face frontal posterior

O módulo de deformação para as paredes, tomou como base a Tabela 2.28 apresentada anteriormente no Capítulo 2. A Tabela 4.20 apresenta a média dos valores do módulo de deformação das paredes.

Tabela 4.20 – Módulo de deformação das paredes

Bloco	$f_b$ médio (MPa)	$E_{alv}$ (MPa)
BC – LV	2,50	1500
BR – LV	1,60	960
BR – A	1,96	1176

Os valores de módulo de deformação das paredes encontram-se dentro da faixa de valores obtidos por outros pesquisadores, conforme se ilustrou na Tabela 2.27 também no Capítulo 2, em que os resultados de módulo de deformação vão de 478 MPa a 12000 MPa.

As curvas tensão x deformação apresentadas nas Figuras 4.23 a 4.27, foram traçadas tomando-se a tensão na área bruta e calculando-se a deformação específica, dividindo-se a média dos deslocamentos medidos pelos defletômetros (D1, D2 e D3), pelo comprimento das suas hastes. Em todos os gráficos foi considerada positiva a carga de compressão aplicada às paredes.

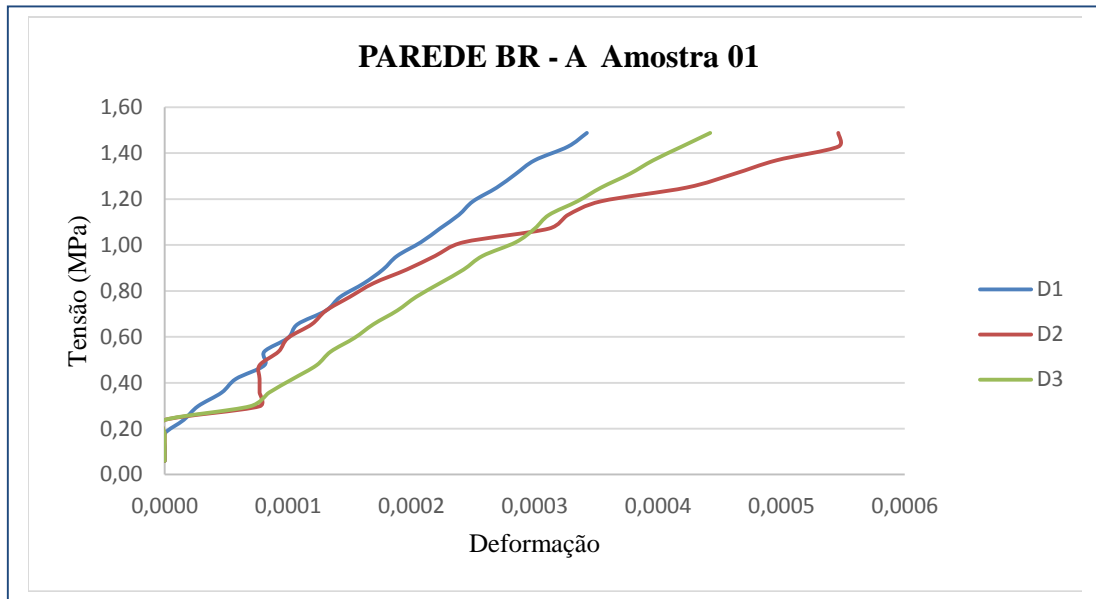


Figura 4.22 – Gráfico tensão x deformação da parede com blocos BR – A (Amostra 01)

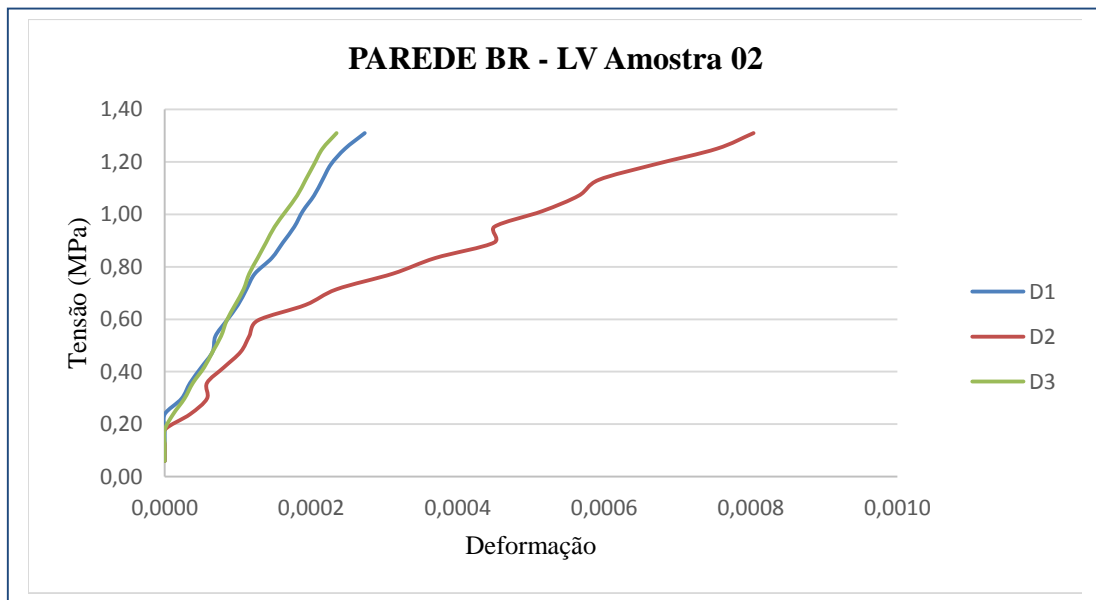


Figura 4.23 – Gráfico tensão x deformação da parede com blocos BR – LV (Amostra 02)

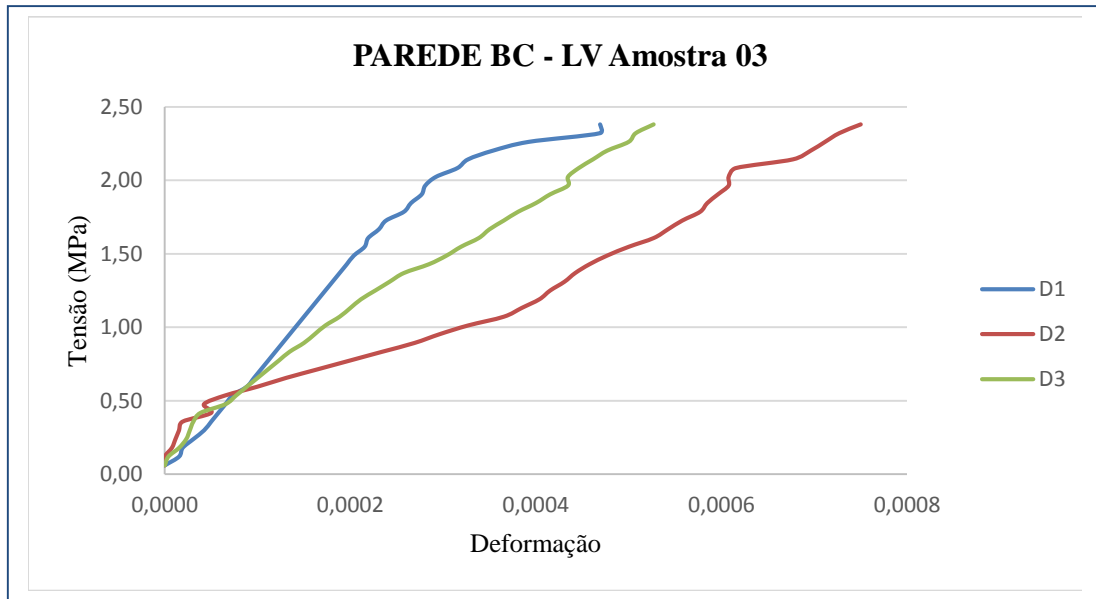


Figura 4.24 – Gráfico tensão x deformação da parede com blocos BC– LV (Amostra 03)

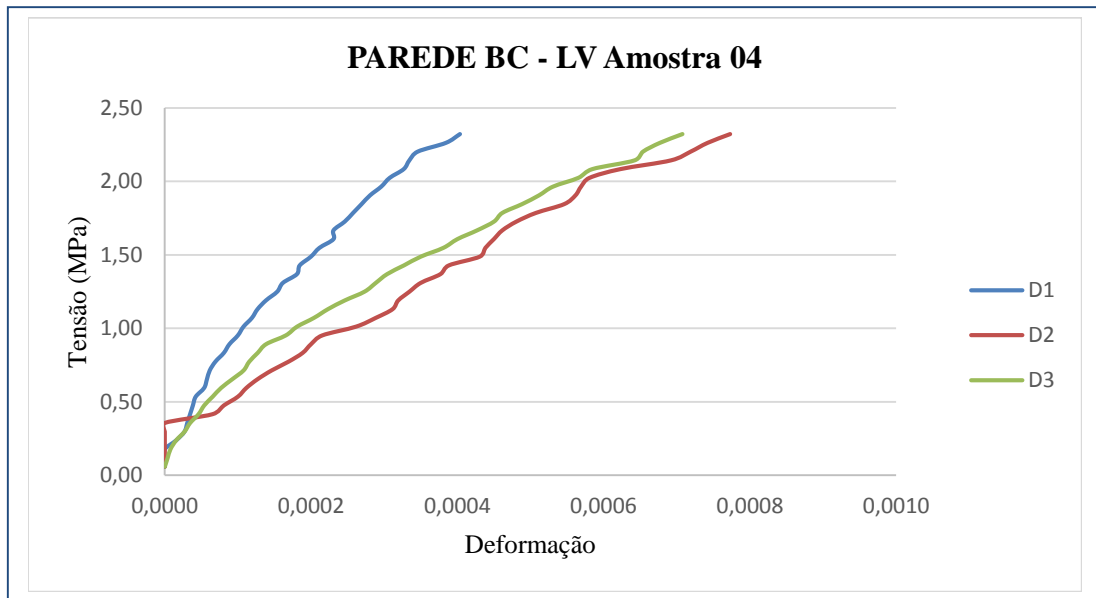


Figura 4.25 – Gráfico tensão x deformação da parede com blocos BC – LV (Amostra 04)

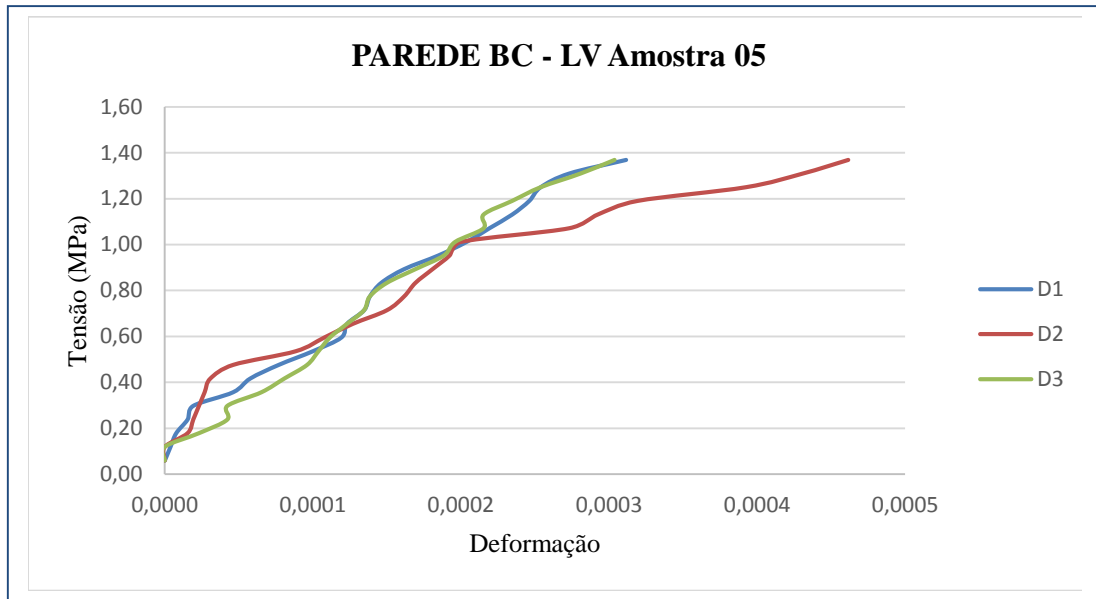


Figura 4.26 – Gráfico tensão x deformação da parede com blocos BC – LV (Amostra 05)

Analisando as figuras, percebe-se que além da lama vermelha influenciar na resistência das paredes, também influencia na sua rigidez, sendo mais resistentes e mais rígidas as paredes com blocos circulares e adição de LV.

## **5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

### **5.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões retiradas ao analisar os resultados experimentais deste trabalho, bem como sugestões para trabalhos futuros, nesta área de pesquisa.

### **5.2 – CONCLUSÕES**

Esta pesquisa se caracterizou por ser um estudo experimental. Foram realizados ensaios experimentais para o cumprimento dos objetivos traçados. Esses objetivos consistiram em investigar a alteração da resistência à compressão em blocos, prismas, mini-paredes e paredes de alvenaria estrutural, causada por dois fatores fundamentais: o bloco de seção transversal circular utilizado e proposto por Gouveia (2006) e a adição de lama vermelha para composição dos blocos.

Basicamente, o trabalho experimental foi dividido em três etapas. A primeira constituiu na caracterização física de todos os materiais usados nesta pesquisa: os bloco de argila e blocos com adição de lama vermelha. A segunda foi o estudo da alvenaria, que teve como finalidade a modelagem dos corpos-de-prova cilíndricos da argamassa, dos prismas, das mini-paredes e paredes. A última etapa consistiu na realização dos ensaios à compressão de todos os modelos (unidades, argamassa, prismas, mini-paredes e paredes).

A seguir são apresentadas as conclusões obtidas em cada etapa.

A respeito à análise dimensional das unidades, todas as dimensões dos blocos como: comprimento, largura, altura, espessura mínima das paredes e dimensões dos furos, se encontram em plena conformidade com os limites fixados pela norma NBR 15270-3 (2005). A caracterização física dos mesmos como: área líquida e absorção d'água, também cumpriram os requisitos da referida norma. Desta maneira, conclui-se que tanto os blocos de argila e os blocos com adição de LV cumpriram todos os requisitos normalizados, o que validou sua utilização nesta pesquisa.



As confecções de todos os corpo-de-prova foram feitas por um pedreiro experiente. No caso dos prismas, mini-paredes e paredes sempre foi verificado o nível, o prumo, a planeza e a espessura da junta, que foi mantida em 10 mm. Para esses controles o pedreiro fez uso de prumo, martelo de borracha e nível de bolha. Todos os modelos foram moldados corretamente para serem ensaiados à compressão.

Quanto aos resultados da resistência à compressão dos corpos-de-prova, a seguir apresentam-se as conclusões.

A argamassa utilizada na confecção dos prismas, mini-paredes e paredes, segundo a BS 5628 : Part 1 (1992) foi do tipo (ii), cujo traço em volume é 1:0,5:4,5, e a resistência à compressão esperada é de 6,5 MPa em laboratório. A resistência média atingida à compressão da argamassa ensaiada foi de 6,74 MPa, valor bastante próximo do sugerido pela norma, o que permite entender que a argamassa utilizada nos ensaios experimentais desta pesquisa foi confeccionada corretamente.

Os blocos compostos de 100% argila com seção reticulada apresentaram resistência característica média de 3,2 MPa e os com seção circular apresentaram resistência característica média de 3,3 MPa. Passando aos blocos com adição de LV, os com seção reticulada apresentaram resistência característica média de 7,15 MPa e os com seção circular 4,5 MPa. Geralmente todos os blocos apresentaram ruptura inicial pelas arestas, posteriormente em forma de cone, típica da compressão de um corpo-de-prova confinado nas extremidade, como também observado por Gouveia (2006). Portanto todos os blocos foram classificados como estruturais.

Quanto aos ensaios de compressão dos prismas, mini-parede e paredes, pode-se concluir que a adição de lama vermelha influenciou notavelmente na resistência à compressão dos mesmos, sendo melhor os blocos e elementos compostos pela adição da LV, já que os corpos-de-prova com blocos LV apresentaram maior resistência e eficiência. A ruptura dos prismas, em geral, se caracterizou pelo desenvolvimento de fissura vertical e ocorrendo uma divisão das unidades através dos septos transversais. Assim, conclui-se que a adição de LV foi fator predominante no ganho de resistência à compressão dos prismas.

Os ensaios de compressão das mini-paredes permitiram chegar a duas conclusões de acordo com os objetivos traçados: adição de LV e os blocos com seção transversal circular.

Quanto à adição de LV, as mini-paredes com blocos de lama vermelha tiveram ganho na resistência e eficiência em relação as mini-paredes de blocos com 100% de argila em sua

composição. Também a geometria da seção transversal dos blocos circulares obteve uma eficiência de 57% em relação as mini-paredes com blocos reticulados de 100% argila. Esses resultados se evidenciaram também no modo de ruptura, já que as mini-paredes de um modo geral apresentaram fissuras verticais bem acentuadas ao longo de suas espessuras, sendo as fissuras menos acentuadas nos corpos-de-prova com adição de lama vermelha.

Quanto ao modo de deformação, as mini-paredes com adição de LV apresentaram modulo de deformação maior que as mini-paredes com blocos de somente argila.

Os ensaios a compressão das paredes apresentaram resultados satisfatórios para as paredes com adição de LV e seção transversal circular, sendo o ganho de resistência em torno de 21% a mais que a parede com bloco de argila, também as paredes de um modo geral apresentaram fissuras verticais bem acentuadas ao longo de suas espessuras, sendo as fissuras menos acentuadas nos corpos-de-prova com adição de lama vermelha.

Com relação ao modo de deformação, as paredes com adição de lama vermelha apresentaram modulo de deformação maior que a parede confeccionada com blocos 100% argilas.

As conclusões obtidas experimentalmente foram avaliadas e analisadas para mostrar que existem diferenças significativas e positivas ao uso da adição de lama vermelha na composição de blocos estruturais, diferenças essas para melhor, devido principalmente ao acréscimo de resistente para as unidades. Em contra partida e de maneira satisfatória criamos meios para otimizar o uso deste resíduo de maneira sustentável.

De acordo com as conclusões desta pesquisa o autor deste trabalho propõe as seguintes recomendações para trabalhos futuros.

### 5.3 – RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se a continuação dos estudos sobre a influência da lama vermelha em blocos estruturais.

Realizar estudos com uma maior amostragem de blocos, prismas, mini-paredes e paredes confeccionados com a adição de lama vermelha e variando os tipos de argamassas de assentamento.

Fazer uma análise financeira, confrontando os blocos de lama vermelha e os bloco de argila para um mesmo projeto em alvenaria estrutural.

Aperfeiçoar os processos de produção dos blocos a fim de minimizar defeitos nos blocos e dispersão nos resultados estatísticos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 318/99**: Building Code Requierents for structural concrete with commentary. Detroid, Michigam, 1999.

\_\_\_\_\_. **ACI 530/ASCE/TMS 402**: Building Code requirements for Masonry Structures. Detroid, Michigam, 1996.

ALUNORTE – Alimina do Norte do Brasil S/A. Relatório Administrativo Anual de 2010. Acesso em 21 de Maio de 2011, disponível em: [www.alunorte.net](http://www.alunorte.net).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ALUMÍNIO, Acessado em 24 de Março de 2007 – Disponível em: [www.abal.org.br](http://www.abal.org.br).

ALY, V. L. C. **Determinação da Capacidade Resistente do Elemento Parede de Alvenaria Armada de Blocos de Concreto, Submetido a Esforços de Compressão**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola Politécnica da universidade de são Paulo, 1992.

ALY, V. L. C.; SABBATINI, F. H. **Determinação de Correlações de Resistência Mecânica de Paredes de Alvenaria Estrutural de Blocos de Concreto**. In: The 5<sup>th</sup> International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries. Florianópolis, August 1994.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 144**: Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar. Philadelphia, 1987.

\_\_\_\_\_. **ASTM C 270**: Standard Specification for Mortar for Unit Masonry. Philadelphia, 1988.

\_\_\_\_\_. **ASTM E 447**: Test Methods for Compressive Strength of Laboratory Constructed Masonry Prisms. Philadelphia, 1997.

ANDERSON, G. W. **Stack-bonded small Specimens as Design and Construction Crieria**. In: International Brick masonry Conference, 1979. Stoke-on-Trent: The British Ceramic Research Association, 1971, p. 38-43.

ANICER – Associação Nacional da Indústria Cerâmica. Acesso em 11 de Dezembro de 2011, disponível em: [www.anicer.com.br](http://www.anicer.com.br).

ARANTES, C. A. **Influência do Graute na Alvenaria Estrutural Cerâmica**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

ARAÚJO, H. N. **Intervenção em Obra para Implantação do Processo Construtivo em Alvenaria Estrutural**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10837**: Cálculo de Alvenaria Estrutural de Blocos Vazados de Concreto: Procedimento. Rio de Janeiro. 1989.

\_\_\_\_\_. **NBR 13281**: Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos: Requisitos. Rio de Janeiro. 2005. p. 9.

\_\_\_\_\_. **NBR 15270**: Componentes Cerâmicos – Parte 1: Blocos Cerâmicos para Alvenaria de Vedação: Terminologia e Requisitos. Rio de Janeiro. 2005d. p. 11.

\_\_\_\_\_. **NBR 15270**: Componentes Cerâmicos – Parte 2: Blocos Cerâmicos para Alvenaria Estrutural: Terminologia e Requisitos. Rio de Janeiro. 2005e. p. 11.

\_\_\_\_\_. **NBR 15270**: Componentes Cerâmicos – Parte 3: Blocos Cerâmicos para Alvenaria Estrutural e de Vedação: Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro. 2005f. p. 27.

\_\_\_\_\_. **NBR 6460**: Tijolo Maciço Cerâmico para Alvenaria – Verificação da Resistência à Compressão. Rio de Janeiro. 1983.

\_\_\_\_\_. **NBR 7171**: Bloco Cerâmico para Alvenaria: Especificação. Rio de Janeiro. 1992. p. 8.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211**: Agregado para Concreto: Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 8215**: Prismas de Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria Estrutural: Preparação e Ensaio à Compressão – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1983.

\_\_\_\_\_. **NBR 8798**: Execução e Controle de Obras em Alvenaria Estrutural de Blocos vazados de Concreto: Procedimento. Rio de Janeiro, 1985.

\_\_\_\_\_. **NBR 8949**: Paredes de Alvenaria Estrutural: Ensaio à Compressão Simples – Procedimentos. Rio de Janeiro, 1985b. p.7.

ATCKINSON, R. H.; NOLAND, J. L. **Investigation into the Failure Theory for Brick Masonry in Compression**. Canadian Masonry Symposium, 1985. p.5.1-5.17.

BUOLT, B. F. **Concrete Masonry Prism Testing**. American Concrete Institute - ACI Journal. V. 76, n. 4. Detroit, 1979.

BRADSHAW, R. E.; HENDRY, A. W. **Further Crushing Tests on Storey-eight Walls**. British ceramic Society. 1968.

BROWN, B. H. **Prediction of Brick Masonry Strength from Reduced Constraint Brick Tests**. Philadelphia: ASTM, 1975. p. 171-194 (ASTM Special Technical Publication, 589).

BRITISH SATANDARD INSTITUTION. **BS 5628**: Part 1. Code of Praticce for Structural use of Masonry, London, Inglaterra, 1985.

\_\_\_\_\_. **BS 5628**: Part 1: Code of Praticce Structural use of Masonry - Structural use of Unreinforced Masonry, London, Inglaterra, 1992.

\_\_\_\_\_. **BS 5628: Part 2: Code of Practice Structural use of Masonry - Reinforced and Prestressed masonry**, London, Inglaterra, 1992.

\_\_\_\_\_. **BS 5628: Part 3: Code of Practice Structural use of Masonry – Materials and Components Design and Workmanship**, London, Inglaterra, 1992.

CALÇADA, L. M. L. **Avaliação do comportamento de Prismas Grauteados e não Grauteados de Blocos de Concreto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998. p. 167.

CAMACHO, J. S. **Alvenaria Estrutural não armada – Parâmetros Básicos a serem Considerados no Projeto dos Elementos Resistentes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1986. p. 183.

CARDOSO, M. H. **Argamassa de Assentamento para Alvenaria**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 1980.

CAVALHEIRO, O. P. **Argamassa de Assentamento: receita, Dosagem ou Adequação de Traço?** In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Anais, Goiânia, 1995.p. 134-142.

CHEEMA, T. S.; KLINGNER, R. E. **Compressive Strength of Concrete Masonry Prisms**. American Concrete Institute Journal, 1986. p.88-97.

COLVILLE, J.; WOLDETINSAE, A. M. **Compressive Strength of Grouted Concrete Masonry**. Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Brick/Block Masonry Conference. v. 1. Berlin, Germany, 1990. p. 149-156.

COMITÉ EURO – INTERNATIONAL DU BETÓN. **CEB-FIP model code 1990**. Bulletin d'information, 1990.

DRYSDALE, R. G. **Masonry Structures: Behavior and Design**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1994. p. 784.

DUARTE, R. B. **Recomendações para o Projeto e Execução de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. ANICER, Porto Alegre, 1999.p.79.

EUROCODE 6. **Design of Masonry Structures – Part 1-1: Common rules for Reinforced and Unreinforced Masonry Structures**, Madrid, Espanha, 1996.

FRANCO, L. S. **Aplicação de Diretrizes de Racionalização Construtiva para a Evolução tecnológica dos Processos Construtivos em Alvenaria Estrutural não armada**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Escola Politécnica da universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

GANESAN, T. P.; RAMAMURTHY, K. **Behavior of Concrete HollowBlock Masonry Prisms under Axial Compression**. Journal of Structure Engineering. v. 188, 1992.

GARCIA, P. D. **Contribuições ao estudo da Resistência à Compressão de Paredes de Alvenaria de Blocos Cerâmicos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, 2000.

GOMES, N. S. **A Resistência das Paredes de Alvenaria.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola politécnica de São Paulo, 1974.

GOUVEIA, F. P. **A Utilização da Lama Vermelha (LV) como Matéria-Prima para produção de Blocos Cerâmicos Estruturais Destinados a Indústria da Construção Civil.** TCC (Trabalho de Conclusão de Curso), Universidade Federal do Pará, Belém, 2006.

HALLER, P. **Die Technischen Eigenschaften von Backstein-Mauerwerk für Hochhäuser.** Schweizerische Bauzeitung, v. 76. n. 28. Zürich, 1958.p.411-419.

HILDEBRANDO, E. A. **Aplicação do Rejeito do Processo Bayer (Lama Vermelha) como Matéria-Prima na Indústria de Cerâmica.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Pará, Belém, 1998. p. 82,

HOLM, T. A. **Structural Properties of Block Concrete.** In: North America Masonry Conference, 1978.

IZQUIERDO, O. S. **Influência do Tipo de Argamassa e da Utilização de Peças de Ajuste Dimensional na Resistência à Compressão da Alvenaria de Blocos de Concreto.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola Politécnica de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

JUSTE, A. E. **Estudo da Resistência e da Deformabilidade da Alvenaria de Blocos de Concreto submetida a Esforços de Compressão.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola Politécnica de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

KNUTSSON, H. H. **The Stress-Strain Relationship for Masonry.** Masonry International, v.7, n.1, 1993

LA ROVERE, H. L.; SOLIZ, V. H. V. **Efeito da Altura na Resistência de Prismas de Alvenaria de Blocos Cerâmicos Vazados.** In: Jornadas Sudamericanas de Ingenieria Estructural, Argentina, 1995.

MACHADO, S. L. **Sistemática de Concepção e Desenvolvimento de Projetos Arquitetônicos para Alvenaria Estrutural.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

MATA, R. C. **Influência do Padrão de Argamassa na Resistência à compressão de Prismas e Mini-paredes de Alvenaria estrutural de Blocos de Concreto.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

MCNARY, W. S.; ABRAMS, D. P. **On the Modulus of Elasticity for Masonry.** Structural Engineering Journal. 1985. n.4, v.111, p. 857-870.

MEDEIROS, J. E.; SABBATINI, F. H. **Alvenaria estrutural não Armada de Blocos de Concreto: Produção de Componentes e Parâmetros de Projeto.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da universidade de São Paulo, São Paulo. 1993, p.20.

MENDES, R. J. K. **Resistência à compressão de Alvenarias de Blocos Cerâmicos Estruturais.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

MOHAMAD, G. **Comportamento Mecânico na Ruptura de prismas de Blocos de Concreto.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

MOHAMAD, G. **Mecanismos de Ruptura da Alvenaria de Blocos à Compressão.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Portugal, 2007. .p 290.

MONK, C. B. Jr. **A Historical Survey and Analysis of the Compressive Strength of Brick Masonry.** Structural Clay Products Research Fundation, 1967.

MULLER, M. S. K. **Estudo das correlações entre Resistência à Compressão de Paredes e Prismas de Alvenaria Estrutural Cerâmica não Armada submetidos a Esforços de Compressão Axial.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola Politécnica de São Paulo, 1989.

NÚCLEO DE ENSINO E PESQUISA DE ALVENARIA ESTRUTURAL – NEPAE – Disponível em: [www.nepae.fies.unesp.br/alvenaria.htm](http://www.nepae.fies.unesp.br/alvenaria.htm). Acesso 28 de Fevereiro de 2012.

OLIVEIRA JR. V.; PINHEIRO, L. M. **Análise de Paredes de Alvenaria Estrutural Calculadas no estado Limite Último.** 5<sup>th</sup> International Seminar on Structural Masonry for Developing Contries, 1994.

PERSEKIAN, G. A. **Tecnologia de Produção de Alvenaria Estrutural Protendida.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Escola Politécnica de São Paulo, 2002 p. 263.

PASQUALI, I. **Influência do Tipo de Argamassa na Resistência à Compressão de Pequenas Paredes de Alvenaria Estrutural Cerâmica.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, 2007. p. 138.

POZZOBON, M. A. **O Processo de Monitoramento e Controle Tecnológico em Obras de Alvenaria Estrutural.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, 2007. p. 170.

PRADHAN, J.; DAS, S. N.; DAS, J.; RAO, S. B.; THAKUR, R. S. **Characterisation of Indian Red Muds and Recovery of their Metals values.** Light Metals, 1996. p. 87-92.

PRADO, S. H. **Resistência à Compressão de Tijolos e Blocos Cerâmicos de Diferentes Formas e Dimensões.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.



PRADO, D. M. **Propriedades Físicas e Mecânicas de Blocos Estruturais Produzidos com Agregados Reciclados de Concreto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2006

PRUDÊNCIO Jr., L. R. **Resistência à Compressão da Alvenaria e Correlação entre Resistência de Unidade, Prisma e Paredes Capacidade resistente de Tijolos Cerâmicos Maciços**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1986.

PUCCI, J. R.; SOUZA, R. **Estudos sobre a Capacidade de Troca de Cátions da Lama Vermelha**. Enga. Miner. Metal. 1962 v. 36, p. 12.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Livro: Projeto de Edifícios em Alvenaria Estrutural**. Editora Pini, 1ª edição, 3ª Tiragem, São Paulo, 2008. .p. 75-94.

RAUBER, F. C. **Contribuição ao Projeto Arquitetônico de Edifícios em Alvenaria Estrutural**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, 2005. p. 96.

REESE, K. M.; CUNDIFF, W. H. **Bauxite to Alumina. Industrial and Engineering Chemistry**. 1995, v. 47, n. 1675, p. 2066-2070.

RIZZATTI, E. **Influência da Geometria do Bloco Cerâmico no Desempenho Mecânico da Alvenaria Estrutural sob Compressão**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. p.170.

ROMAN, H. R. **Determinação das Características Físicas e Análise Estatística da Capacidade Resistente de Tijolos Cerâmicos Maciços**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1983.

ROMAN, H. R.; MOHAMAD, G. **Alvenaria Estrutural – Classificação e Materiais**. Universidade de Santa Catarina, 1999.

ROMAN, H. R.; MUTTI, C. N.; ARAÚJO, H. N. **Construindo em Alvenaria Estrutural**. Universidade de Santa Catarina, 1999.

ROMAN, H. R.; PRADO, S. H. **Estudo Comparativo da Resistência à Compressão de Prismas de diferentes Blocos e Tijolos Cerâmicos**. XXVII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, Argentina, 1995.

ROSELLO, M. T. **Morteros de Cemento para Albañilería**. Instituto edoardo Torroja de La Construcción y del Concreto. Boletín nº 337, Madrid, 1976.

SABBATINI, F. H. **Argamassas**. Apostilha do Departamento de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1980.

SABBATINI, F. H. **Argamassa de Assentamento para paredes de Alvenaria Resistente**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1986.

SABBATINI, F. H. **O Processo Construtivo de Edifícios de Alvenaria Estrutural Sílico Calcária.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1984.

SALOPEK, B.; STRAZISAR, J. **The Influence of red Mud Impoundments on the Environmente.** Light Metals, 1993, p. 41-44.

SANTOS, M. D. F. **Técnicas Construtivas em Alvenaria Estrutural: Contribuição ao Uso.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, 1998. p. 143.

SANTOS, F. A. **Efeitos do não Preenchimento de Juntas Verticais no Desempenho de edifícios em Alvenaria Estrutural.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, 2001. p. 154.

SHIMANO, S.; KOGA, T. **Utilization of Red Mud as Raw Material for the Cement Industry.** Light Metals, 1979, p. 53-68.

SOLÓRZANO, M. G. P. **Características e Desempenho de Juntas de Argamassa na Alvenaria Estrutural de Blocos de Concreto.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1994, p. 203.

SUJANA, M. G.; THAKUR, R. S.; ACHARYA, B. C.; DAS, S. N.; RAO, S. B. **Effect of Calcination and Physico – Chemical Properties of red Mud.** Light Metal, 1996, p. 93-98

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – **U.S.E.P.A.**, Electronic Code of federal regulations. Title 40, Part 261, [www.ecfr.gpoaccess.gov](http://www.ecfr.gpoaccess.gov). Acessado dia 25 de Outubro de 2005.

USADA, F. **Alvenaria Estrutural.** Técnicas Construtivas Especiais, Faculdade de Engenharia de Sorocaba, São Paulo, 2004.