

ESTUDO DE CONFORMIDADES EM RELAÇÃO À ABNT DE BLOCOS
CERÂMICOS PRENSADOS E QUEIMADOS

LEONARDO GONÇALVES PEDROTI

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE - UENF
CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
AGOSTO – 2007

ESTUDO DE CONFORMIDADES EM RELAÇÃO À ABNT DE BLOCOS
CERÂMICOS PRENSADOS E QUEIMADOS

LEONARDO GONÇALVES PEDROTI

“Dissertação de Mestrado
apresentado ao Centro de
Ciência e Tecnologia da
Universidade Estadual Norte do
Fluminense Darcy Ribeiro, como
parte das exigências para
obtenção do título de Mestre em
Engenharia Civil”

Orientador: Prof. Jonas Alexandre

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE - UENF
CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
AGOSTO – 2007

ESTUDO DE CONFORMIDADES EM RELAÇÃO À ABNT DE BLOCOS
CERÂMICOS PRENSADOS E QUEIMADOS

LEONARDO GONÇALVES PEDROTI

“Dissertação de Mestrado
apresentado ao Centro de
Ciência e Tecnologia da
Universidade Estadual do Norte
Fluminense Darcy Ribeiro, como
parte das exigências para
obtenção do título de Mestre em
Engenharia Civil”

Aprovada em de 2007

Comissão Examinadora:

Prof. Luiz Antonio Silveira Lopes (D.Sc., IME) – IME

Prof. Gustavo de Castro Xavier (D.Sc.) – UENF

Prof. Jean Marie Désir (D.Sc.) – UFRGS
Co-orientador

Prof. Jonas Alexandre (D.Sc.) – UENF
Orientador

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCT / UENF

13/2008

Pedroti, Leonardo Gonçalves

Estudo de conformidades em relação à ABNT de blocos cerâmicos prensados e queimados / Leonardo Gonçalves Pedroti. – Campos dos Goytacazes, 2007.

xi, 106 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) --Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Engenharia Civil. Campos dos Goytacazes, 2007.

Orientador: Jonas Alexandre.

Co-orientador: Jean Marie Désir

Área de concentração: Estruturas

Bibliografia: f. 99-106

1. Alvenaria estrutural 2. Blocos cerâmicos 3. Solo-cimento 4. Prensados e queimados 5. Análise numérica I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Engenharia Civil II. Título

CDD 624.183

SUMÁRIO

Resumo	IV
Abstract	V
Lista de Figuras	VI
Lista de Tabelas	X
Lista de Símbolos e Abreviaturas	XI
1. Introdução	01
1.1 Motivação	02
2. Revisão da Literatura	04
2.1 Solo	04
2.1.1 Compactação do solo	04
2.2 Argila	05
2.2.1 Argila na Indústria Cerâmica	06
2.3 Material Cerâmico	07
2.3.1 Queima	08
2.3.2 Processo de Fabricação	09
2.3.3 Perdas	10
2.3.4 Patologias em blocos cerâmicos	12
2.4 Solo-cimento	13
2.4.1 Fabricação dos Tijolos em solo-cimento	15
2.4.2 Patologias nos blocos em solo-cimento	17
2.5 Adobe	18
2.6 Alvenaria Estrutural	19
2.6.1 Alvenaria Estrutural Cerâmica	22
2.6.2 Elementos de Estudos das Alvenarias	22
2.6.2.1 Resistência do bloco, prisma e paredes	24
2.6.2.2 Avaliações segundo a NBR 15.270	28
2.6.3 Modelagem numérica	28
3. Metodologia	40
3.1 Matéria-prima: argila	40
3.2 Metodologia para preparação das amostras	40
3.2.1 Caracterização física	41
3.2.1.1 Análise granulométrica	41

3.2.1.2 Índices de consistência	41
3.2.1.3 Massa específica e real dos grãos	41
3.2.2 Caracterização química	42
3.3 Metodologia para confecção dos blocos prensados e queimados	42
3.3.1 Controle de umidade e confecção dos blocos	44
3.3.1.1 Blocos cerâmicos extrudados	47
3.3.1.2 Blocos em solo-cimento	48
3.4 Ensaio de resistência mecânica dos blocos	49
3.5 Ensaio em prismas de blocos prensados e queimados	49
3.6 Absorção d'água	50
3.7 Ensaio de desgaste: Slake Durability	50
3.8 Durabilidade: Ciclos de Secagem e Molhagem	52
3.9 Modelagem Numérica	53
3.9.1 Bloco	54
3.9.2 Prisma	56
3.9.3 Meia Parede	58
3.10 Resumo das etapas e dos ensaios experimentais realizados nos blocos	59
4. Resultados e discussão	60
4.1 Introdução	60
4.2 Caracterização Física da Matéria Prima	60
4.2.1 Análise granulométrica	60
4.2.2 Índices de consistência	61
4.2.3 Massa específica real dos grãos	61
4.3 Caracterização química	61
4.4 Estudo da determinação da umidade de prensagem dos blocos (BPQ) em uma prensa manual e em uma prensa mecânica	62
4.4.1 Umidade x resistência mecânica (ETAPA – 0)	63
4.4.2 Umidade x resistência mecânica (ETAPA – P MEC)	64
4.5 Ensaios das propriedades mecânicas dos blocos prensados e queimados (ETAPA-PMANUAL)	64
4.5.1 Ensaios de resistência mecânica em blocos prensados e queimados	65
4.5.2 Ensaios de absorção em blocos prensados e	

queimados	66
4.5.3 Ensaio de durabilidade em blocos prensados e queimados	67
4.5.4 Ensaio de resistência mecânica em prismas de blocos prensados e queimados manualmente	70
4.6 Ensaio em blocos de solo-cimento	72
4.6.1 Resistência em blocos de solo-cimento	72
4.6.2 Absorção em blocos de solo-cimento	72
4.6.3 Durabilidade em blocos de solo-cimento	73
4.7 Ensaio em blocos cerâmicos extrudados	74
4.7.1 Resistência em blocos cerâmicos	74
4.7.2 Absorção em blocos cerâmicos	75
4.7.3 Durabilidade em blocos cerâmicos	75
4.8 Comparação entre as Propriedades Físicas e Mecânicas dos Blocos Analisados	77
4.8.1 Ensaio de absorção	77
4.8.2 Ensaio de resistência dos blocos	78
4.8.3 Ensaio de durabilidade	79
4.9 Modelagem numérica	81
4.9.1 Bloco	82
4.9.2 Prisma	86
4.9.3 Parede	92
5. Conclusões e sugestões	96
6. Referências bibliográficas	99

RESUMO

O município de Campos dos Goytacazes é um dos principais produtores de peças cerâmicas para serem utilizadas na construção civil do estado do Rio de Janeiro. O processo de produção normalmente usado nessas indústrias é a extrusão, em que o material argiloso é umedecido para ser moldado, o que acarreta uma maior variabilidade dimensional das unidades devido à retração. Quando não descartados devido às deformações elevadas, esses blocos se tornam grandes problemas nos canteiros de obra, pois a deformidade exige correções com o uso de argamassas. Esse modelo de produção também exige tempo e grandes espaços físicos para secagem, o que agrega um custo adicional. A grande maioria dos processos produtivos é custosa e necessitam de diferentes equipamentos para a fabricação de um determinado produto, algumas vezes, inviabilizando um novo negócio. Devido a esses fatores, foi desenvolvida, a partir de uma técnica de moldagem do bloco em solo-cimento, uma nova morfologia de blocos cerâmicos, em que esses deixam de ser extrudados para serem prensados. A técnica de prensagem resgata a eficiência construtiva já conhecida pelos blocos em solo-cimento, possibilitando uma maior rapidez nas obras e uma redução no custo de processos de fabricação. Dessa forma, este trabalho visa o estudo de uma nova morfologia em bloco cerâmico, por processo de prensagem, contemplando as normas de blocos cerâmicos e de solo-cimento, e a comparação entre os modelos cerâmicos extrudados, prensados e solo-cimento. Foram realizados, também, ensaios em prismas e comparativos numéricos entre blocos, prismas e paredes, com o uso da modelagem computacional.

ABSTRACT

The municipal district of Campos dos Goytacazes is one of the main producers of ceramic pieces (brick, tile etc) used in the civil construction in Brazil. Normally the production process used in these industries is the extrusion, where the clay material is moistening to be molded; it's cause a high dimensional variability of the units due to retraction. When not discarded these blocks with high deformations, it's become great problems in the building site, because this deformity demands corrections with the use of mortar. This model production also demands time and great physical spaces for drying, what it produce an additional cost. The great majority of the productive processes is expensive and demands great physical spaces and different equipment for the manufacture of one determining product, many times making unfeasible a new business. Due these factors it was developed from a molding technique, a new morphology of ceramic bricks, where these quit to be extrusion to be pressed. The pressed technique ransom the efficiency constructive already known by the soil-cement brick, allow a high speed in the building site, and a cost reduction of manufacture processes. Hence this work aims at the study of a new morphology, by pressed process, accordant ceramic and soil-cement bricks norms. The numerical modeling will be another used tool to compare the experimental tests with numerical modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Modelos de blocos	02
Figura 2.1 – Tetraedro de Sílica	05
Figura 2.2 – Octaedro de Alumínio	05
Figura 2.3 – Exemplo de pátio de secagem de peças cerâmicas	07
Figura 2.4 – Exemplo de fluxograma de produção de blocos cerâmicos	10
Figura 2.5 – Perdas na extrusão	11
Figura 2.6 – Perdas no transporte e queima	11
Figura 2.7 – Patologias em alvenarias	12
Figura 2.8 – Diferentes formas de blocos em solo-cimento	14
Figura 2.9 – Passagem de tubulações hidráulicas e elétricas	16
Figura 2.10 – Modelos comerciais de prensas	16
Figura 2.11 – Fluxograma de produção do bloco em solo-cimento	17
Figura 2.12 – Formação de eflorescências e fungos no bloco	18
Figura 2.13 – Formatos de tijolos de solo cru	19
Figura 2.14 – Diferentes moldes para tijolos prismáticos	19
Figura 2.15 – Ziggurate de Ur (Detalhe da Escadaria) – Mesopotâmia	20
Figura 2.16 – Trincas provocadas por deformações nas vigas	23
Figura 2.17 – Relação de resistência para os diferentes grupos de grautes	27
Figura 2.18 – Modelos para alvenaria estrutural	30
Figura 2.19 – Curva de isovalores de deslocamentos e deformações em Y – MODELO 1	31
Figura 2.20 – Curva de isovalores das tensões em Y e das tensões principais S3 - MODELO 1	31
Figura 2.21 – Curva de isovalores de deslocamentos e deformações em Y – MODELO 2	32
Figura 2.22 – Curva de isovalores das tensões em Y e das tensões principais S3 - MODELO 2	33
Figura 2.23 – Curva de isovalores de deslocamentos e deformações em Y – MODELO 3	33
Figura 2.24 – Curva de isovalores das tensões em Y e das tensões principais S3 - MODELO 3	34

Figura 2.25 – Curva de isovalores de deslocamentos e deformações em Y – MODELO 4	35
Figura 2.26 – Curva de isovalores das tensões em Y e das tensões principais S3 MODELO 4	35
Figura 2.27 – Relação entre os valores de deslocamento obtidos nos modelos numéricos 1 e 2 e nos ensaios – paredes sem graute	36
Figura 2.28 – Relação entre os valores de deslocamento obtidos nos modelos numéricos 3 e 4 e nos ensaios – paredes grauteadas	36
Figura 2.29 – Áreas líquidas dos blocos analisados	37
Figura 2.30 – Distribuição de tensão de compressão no plano de direção Z das morfologias analisadas (MPa)	38
Figura 2.31 – Distribuição de tensão de compressão em Z das morfologias (MPa)	39
Figura 3.1 – Organograma das etapas de caracterização	40
Figura 3.2 – Equipamento de EDX	42
Figura 3.3 – Processo de produção do bloco prensado e queimado	43
Figura 3.4 – Misturador	43
Figura 3.5 – Prensa manual	45
Figura 3.6 – Blocos prensados manualmente	45
Figura 3.7 – Prensa mecânica	46
Figura 3.8 – Blocos prensados mecanicamente	47
Figura 3.9 – Blocos extrudados prontos para queima	48
Figura 3.10 – Blocos em solo cimento	49
Figura 3.11 – Prismas preparados para ensaio	50
Figura 3.12 – Aparelho Slake Durability	51
Figura 3.13 – Peças de um grupo preparadas para o ensaio	51
Figura 3.14 – Bloco padrão usado na modelagem numérica e nos ensaios experimentais	54
Figura 3.15 – Convenção de eixos	55
Figura 3.16 – Fundo do bloco: restrição dos nós do encaixe	56
Figura 3.17 – Prisma usado na modelagem numérica	56
Figura 3.18 – Fundo do prisma: restrição dos nós do encaixe	57
Figura 3.19 – Parede usada na modelagem numérica	58
Figura 3.20 – Detalhe do meio bloco utilizado na parede	58

Figura 3.21 – Resumo dos ensaios	59
Figura 4.1 – Curva granulométrica do material usado	60
Figura 4.2 – Blocos empacotados para não perderem a umidade	63
Figura 4.3 – Dispersão entre resistência e umidade - prensagem manual ...	63
Figura 4.4 – Dispersão entre resistência e umidade – prensagem mecânica	64
Figura 4.5 – Blocos prensados e queimados ETAPA-MANUAL	65
Figura 4.6 – Durabilidade referente aos ciclos de desgaste do Slake Durability do bloco prensado e queimado mecanicamente	68
Figura 4.7 – Durabilidade referente aos ciclos de desgaste do Slake Durability do bloco prensado e queimado manualmente	68
Figura 4.8 – Ensaio em prismas	71
Figura 4.9 – Desgaste dos blocos solo-cimento	73
Figura 4.10 – Resistência à compressão dos blocos	74
Figura 4.11 – Absorção média dos blocos	75
Figura 4.12 – Perda média do peso para 2º e 5º ciclos de desgaste	76
Figura 4.13 – Absorção média dos blocos	77
Figura 4.14 – Resistência média à compressão dos blocos	78
Figura 4.15– Perda média do peso para 2º e 5º ciclos de desgaste	79
Figura 4.16– Perda média por secagem e molhagem	80
Figura 4.17 – Distribuição de tensões no bloco, vista superior MOD B01	82
Figura 4.18 – Distribuição de tensões no bloco, vista inferior MOD B01	83
Figura 4.19 – Distribuição de deformações no bloco, vista superior MOD B01	83
Figura 4.20 – Distribuição de deformações no bloco, vista inferior MOD B01	84
Figura 4.21 – Distribuição de tensões no bloco, vista superior MOD B02	84
Figura 4.22 – Distribuição de tensões no bloco, vista inferior MOD B02	85
Figura 4.23 – Distribuição de deformações no bloco, vista superior MOD B02	85
Figura 4.24 – Distribuição de deformações no bloco, vista inferior MOD B02	86
Figura 4.25 – Distribuição de tensões no prisma, vista superior MOD P01 ..	87
Figura 4.26 – Distribuição de tensões no prisma, vista inferior MOD P01	87

Figura 4.27 – Distribuição de deformações no prisma, vista superior MOD P01	88
Figura 4.28 – Distribuição de deformações no prisma, vista inferior MOD P01	88
Figura 4.29 – Distribuição de tensões no prisma, vista superior MOD P02 ..	89
Figura 4.30 – Distribuição de tensões no prisma, vista inferior MOD P02	89
Figura 4.31 – Distribuição de deformações no prisma, vista superior MOD P02	90
Figura 4.32 – Distribuição de deformações no prisma, vista inferior MOD P02	90
Figura 4.33 – Resultados numéricos e experimentais	91
Figura 4.34 – Prisma sendo ensaiado	92
Figura 4.35 – Distribuição de tensões na paredinha – MOD01	93
Figura 4.36 – Distribuição de tensões na paredinha – MOD02	93
Figura 4.37 – Deslocamento – MOD02	94
Figura 4.38 – Deformações	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Números do setor cerâmico	8
Tabela 2.2 – Valores-limite segundo a NBR 10834	17
Tabela 2.3 – Valores de eficiência parede-bloco	24
Tabela 2.4 – Valores de eficiência prisma-bloco	25
Tabela 2.5 – Equação para determinação do módulo de elasticidade da alvenaria de tijolos cerâmicos	26
Tabela 2.6 – Resistência à compressão de blocos, prismas e grautes	27
Tabela 2.7 – Exigências segundo a NBR 15.270	28
Tabela 2.8 – Parâmetros adotados nas simulações	38
Tabela 3.1 – Classificação da durabilidade de rochas em função da perda de massa no ensaio Slake Durability	52
Tabela 3.2 – Lotes de ensaios com o determinado número de repetições ...	52
Tabela 3.3 – Parâmetros de entrada no software	54
Tabela 4.1 – Índices de Atterberg	61
Tabela 4.2 – Teores químicos do material utilizado na confecção dos blocos cerâmicos e dos blocos prensados e queimados (% em peso)	62
Tabela 4.3 – Resistência mecânica dos blocos prensados e queimados	66
Tabela 4.4 – Absorção dos blocos prensados e queimados	67
Tabela 4.5 – Resultados dos ensaios nos prismas de blocos prensados e queimados	70
Tabela 4.6 – Resultados dos ensaios a compressão de blocos em solo-cimento	71
Tabela 4.7 – Resultados de absorção de blocos em solo-cimento	72
Tabela 4.8 – Resumo de carregamentos e modelos utilizados	72

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

a. C.	Antes de Cristo
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BNH	Banco Nacional da Habitação
BPQ	Bloco Prensado e Queimado
BPR	Bureau of Public Roads
c:a:p	Traço - Cimento:areia:brita
CBR	Índice de Suporte Califórnia
CEBRACE	Centro Brasileiro de Construções e Equipamentos Escolares
CEPED	Centro de Pesquisas e Desenvolvimento
CP	Corpo-de-prova
CPA	Portland Cement Association
CPs	Corpos-de-prova
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
EDX	Aparelho de fluorescência de raios-X de energia dispersiva
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IP	Índice de Plasticidade
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
kg	Quilograma
kgf/s	Quilograma força por segundo
km	Quilômetro
km ²	Quilômetro quadrado
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
Mf	Massa seca final do bloco
Mi	Massa seca inicial do bloco
MIT	Massachusetts Institute of Technology
SC	Solo-cimento

1. INTRODUÇÃO

Um importante pólo da indústria de cerâmica vermelha no Brasil é o município de Campos dos Goytacazes que produz cerca de 40% da produção de cerâmica vermelha do Estado do Rio de Janeiro, possuindo mais de 100 empresas no setor, isso se justifica pela vasta reserva de argila. Segundo Xavier (2001), a região possui depósitos quaternários do tipo aluvionares, com abundância em material argiloso. A produção concentra-se na fabricação de tijolos e telhas e, em menor escala, na fabricação de blocos estruturais.

Inúmeros processos construtivos são usados em tempos atuais, processos que marcaram épocas de nossa história e são insubstituíveis. A evolução da construção civil é baixa se comparada com outras técnicas de diferentes áreas. Um processo conhecido que, agora, tenta ganhar espaço é o da construção modular, que é planejado do início ao fim, diminuindo consideravelmente desperdícios, pois suas paredes são formadas por blocos com dimensões que se completam. A alvenaria estrutural, acompanhada dessas modulações, ganhou força no Brasil na década de 80, quando pesquisadores começaram a desvendar e analisar materiais e formatos para produção dos blocos.

Um outro processo muito conhecido nas construções é o bloco em solo cimento, que pode, em muitos casos, ser fabricado no próprio canteiro de obra, quando acompanhado de uma orientação técnica.

O sistema de prensagem facilita o aparecimento de um modelo que vem ganhando espaço nas construções, o *bloco macho e fêmea* (encaixe). Essa característica (“encaixe”), juntamente com a modulação das paredes, possibilita ao construtor um ganho de tempo na montagem das alvenarias, já que esse processo favorece o assentamento dos blocos, dispensando o uso da argamassa.

Na tentativa de aliar a cerâmica vermelha que usa, para produção dos artefatos, o processo de extrusão, à técnica de prensagem de blocos, que permite formar blocos “macho e fêmea”, surge uma nova alternativa para a construção, a de blocos prensados e queimados de encaixe.

1.1 Motivação

O desperdício com materiais e a baixa produtividade das obras fazem com que novos materiais e novas técnicas surjam, a fim de minimizar tais conseqüências.

Afonso (2005) salienta a necessidade de se buscar maneiras racionais de desenvolvimento, passando decisivamente pela inserção desse grande mercado na busca por soluções que minimizem os impactos ambientais provocados pelo setor.

As causas do grande desperdício originam-se em projetos não modulados e em pequenas modificações não previstas em orçamentos, acrescidos pela falta de processos construtivos racionalizados.

A oportunidade de modular a alvenaria, evitando “improvisos” é bem vista por construtoras e engenheiros. A redução nos custos finais e a minimização dos resíduos gerados, aliadas a técnica de encaixe já conhecida dos blocos em solo-cimento, faz deste trabalho uma oportunidade para o início de uma evolução gradativa nas construções, formando uma nova morfologia para bloco cerâmico, o qual deixa de ser extrudado e passa a ser prensado. A Figura 1.1 apresenta os modelos de blocos estudados.



a) bloco cerâmico

b) bloco solo-cimento

c) bloco prensado e queimado

Figura 1.1 – Modelos de blocos

Para desenvolver uma nova técnica, além de se analisar o novo modelo proposto, há a necessidade de se avaliar os modelos semelhantes a fim de apontar qualidades e defeitos.

A prensagem define características às peças às quais os blocos extrudados não atendem em muitos casos: uniformidade, teor de umidade e a capacidade de apresentarem saliências em sua forma, possibilitando o encaixe. Testes preliminares em prensas manuais demonstraram que a umidade do material deve ser inferior à do material extrudado. Ao ser extrudado, o material está com umidade próxima ao limite

de plasticidade e suas partículas são unidas através da pressão provocada pela extrusora.

Na prensagem, o material, ao ser colocado na forma, deve estar com uma umidade de tal forma que seus grãos ocupem, sem nenhuma força aplicada, a maior quantidade de material possível a fim de diminuir os espaços vazios e, depois de prensados, reduzi-los ainda mais.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Solo

São diversas as definições para o solo, variando para cada ciência que o estuda. Segundo a EMBRAPA (1999), o solo é uma coleção de corpos naturais, que possui três fases: uma sólida, uma líquida e uma gasosa, que forma a maior parte do manto superficial das extensões continentais. Ele pode ser vegetado e conter matérias vivas, podendo também ser modificado pela ação humana.

Segundo Casanova (2004a), o solo provavelmente foi a primeira e mais antiga argamassa empregada pelo homem. Os vestígios de habitações artificiais humanas no período Mesolítico, 12.000 a.C., encontrados em diferentes tipos de sítios arqueológicos das antigas civilizações, confirmam o uso do solo em paredes e telhados.

2.1.1 Compactação do solo

Segundo Pinto (2000), a compactação de um solo é a sua densificação através de uma determinada energia de compactação aplicada a um solo. Xavier (2001) comenta, ainda que, quanto maior a compactação, menor a deformabilidade (maior a rigidez) e maior a capacidade de cargas, conseqüentemente, maior a resistência.

Noni Jr. (2005) realizou estudos no controle dimensional de placas cerâmicas e observa que o binômio pressão-umidade é o maior responsável pelo comportamento durante a compactação dos pós-cerâmicos granulares contendo argila.

A fase de compactação do material permite moldar a peça. Quando a pressão se dá sobre o material, pode-se descrever alguns fenômenos observados:

- consolidação permanente do material, ou seja, um aumento na compactação do corpo, que persiste mesmo após a retirada da carga;

- uma expansão do material após a retirada da força, devido à compressão elástica das partículas, ligantes e lubrificantes líquidos, bem como do gás presente do corpo;
- fluxo de líquidos e gases através dos poros do corpo por fluxo viscoso;
- atrito entre as partículas e entre estas e as paredes do molde o que provoca uma distribuição heterogênea da pressão de compactação no volume do material.

Uma forma de controle numa produção industrial na etapa de prensagem é a determinação de densidade aparente, peso e espessura das peças.

2.2 Argila

A argila é um material natural, terroso, de granulação fina, que geralmente adquire, quando umedecido com água, certa plasticidade. Quimicamente, são as argilas formadas essencialmente por silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio (Santos, 1989). Ainda segundo Santos (1989), as argilas são constituídas essencialmente por partículas cristalinas extremamente pequenas de um número restrito de minerais conhecidos como “argilominerais”. Quimicamente, os argilominerais são compostos por silicatos hidratados de alumínio e ferro, contendo ainda, geralmente, certo teor de elementos alcalinos e alcalinos-terrosos. Os silicatos de alumínio possuem formas lamelares, compostas por tetraedro de silício (Figura 2.1) ordenados em forma de hexágonos, formando folhas e condensados por camadas de octaedros com alumínio ou magnésio ao centro (Figura 2.2).

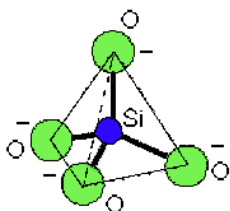


Figura 2.1 - Tetraedro de Sílica

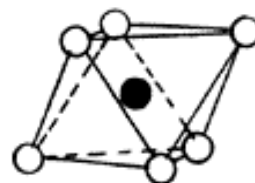


Figura 2.2 - Octaedro de Alumínio

Fonte: BUENO e VILAR (1980) - Adaptado

Os argilominerais são minerais secundários da forma 2:1 ou 1:1 em que há dois tetraedros de sílica para um octaedro de alumínio, e um octaedro de alumínio

para um tetraedro de sílica, respectivamente, formando, assim, conjuntos de lâminas finas sobrepostas. Essas formações podem se associar em novas formas diferentes, classificando como um argilomineral, pelo número de estruturas, acomodação ou distância entre as lâminas, grau de saturação.

Segundo Azambuja (2004), a resistência de uma argila é função das forças elétricas atuantes entre as partículas e das tensões de contato. Além disso, o espaço entre as partículas, a sua orientação, as tensões externas aplicadas, as características do líquido permeante e tudo o que afetar as forças elétricas interpartículas, afetarão a resistência das argilas. Quanto maiores as forças elétricas que atuam entre as partículas e as tensões de contato interpartículas, maior será a resistência de uma massa de argila.

2.2.1 Argila na Indústria Cerâmica

A palavra “cerâmica” é derivada da palavra grega *kerameikos*, que significa “feito de terra” ou “terroso”. Muito usada na indústria para fabricação de peças para a construção civil, como: ladrilhos, blocos, manilhas, telhas, entre outros, a argila ganhou espaço até mesmo entre os utensílios reais ingleses, quando Josiah Wedgwood comunicou à Royal Society da Inglaterra os primeiros resultados de seus trabalhos sistemáticos de pesquisa sobre cerâmica, que compreenderam perto de 7000 experiências de queima, dentre elas, a massa que resultou na louça da família inglesa.

As propriedades apresentadas por certas argilas como suportar, sem se deformar, altas temperaturas e também ataques corrosivos, proporciona, ao material cerâmico, uma grande e vasta área de estudo. Tal valor foi percebido após observações nos diferentes tempos da história, em que esses materiais sempre revestiam fornos, habitação ou eram usados como utensílios domésticos. Atualmente, o material cerâmico é usado em foguetes, fornos, satélites, entre outros.

A prática de se misturar barro com fibras vegetais para depois moldá-los na forma de tijolos ou blocos é uma das muitas técnicas de construção com terra conhecida pelo homem desde a Antigüidade (Valenciano, 1999).

A indústria cerâmica é uma das mais antigas da humanidade. Constatada por historiadores, que observaram, através de escavações, que o homem pré-histórico calafetava as cestas de vime com o barro e, ainda, potes feitos

somente com o material argiloso. Posteriormente, observaram que o calor endurecia o “barro”. Mais tarde, com o uso de diferentes argilas, que possivelmente possuíam baixo ponto de fusão, apareceram os elementos vidrados e vitrificados. Por volta de 4.000 a.C. ,os assírios já obtinham cerâmica vidrada. Com o aparecimento do torno de oleiro, inventado pelos semitas, as peças cerâmicas puderam ser fabricadas com melhor qualidade e rapidez.

2.3 Material Cerâmico

A cerâmica tem um papel importante para economia do país, com participação no PIB (Produto Interno Bruto) estimada em 1%, segundo dados da ANFACER, o que correspondeu a um faturamento de 15,6 bilhões de reais em 2003. A abundância de matérias-primas naturais, fontes alternativas de energia e disponibilidade de tecnologias práticas embutidas nos equipamentos industriais fizeram com que as indústrias brasileiras evoluíssem rapidamente e muitos tipos de produtos dos diversos segmentos cerâmicos atingissem nível de qualidade mundial com apreciável quantidade exportada.

A indústria da cerâmica vermelha vem buscando, cada vez mais, a obtenção de materiais duráveis, propiciando a ampliação do mercado e o crescimento do valor agregado ao produto final, favorecendo confiabilidade ao produto.

Um grande desafio da indústria cerâmica é produzir com eficiência e qualidade, formando peças uniformes, minimizando o desperdício. As etapas de fabricação das peças cerâmicas necessitam de grandes espaços físicos, tanto para a produção, quanto para estocagem e secagem (Figura 2.3).



Figura 2.3 – Exemplo de pátio de secagem de peças cerâmicas

Segundo dados da Associação Brasileira de Cerâmica (Tabela 2.1), em 2003, o setor gerou cerca de 214 mil empregos diretos o que denota sua importância no cenário nacional.

Tabela 2.1 – Números do setor cerâmico.

Fonte: ABC 2003

CERÂMICA VERMELHA	
Número de Unidades Produtoras (empresas)	7.000
Número de Peças/Ano (bloco)	25.224.000
Número de Peças/Ano (telha)	4.644.000
Quantidade Produzida (em massa t/ano)	64.164.000
Matéria-Prima (argilas)	82.260.000
Produção Média por Empresa (peças/mês)	365.000
Faturamento (R\$ bilhões)	4,2
Empregos Diretos	214.000

Fonte: Dados levantados pela ABC referentes a 2003

2.3.1 Queima

Segundo Ross (1991), o objetivo da queima em cerâmica é transformar um material friável num produto resistente através da ação do calor. Durante a queima, o material sinteriza. As partículas, em contato mecânico, criam continuidade da matéria na região do contato, isto é, as partículas se unem umas as outras em nível atômico. Os contatos formados crescem em função do transporte dos átomos ou íons para esta região. Ao longo da queima, ocorre uma série de transformações químicas e físicas no material: perda de massa associada às transformações químicas, densificação e vitrificação associada a transformações físicas (Noni Jr., 2005).

Transformações físicas:

- Desidratação: perda da umidade, de capilaridade e de água absorvida.
- Dilatação e Retração Térmica: variação das dimensões das placas com o aquecimento e resfriamento.
- Transformações alotrópicas: mudança do arranjo cristalino de determinados materiais, a mais conhecida é a transformação do quartzo de α para β a 573 °C.

- Fusão: mudança de estado físico do sólido para o líquido.
- Sinterização: transporte do material ainda no estado sólido de uma região qualquer para a região de interface entre duas ou mais partículas.

Transformações químicas devido ao processo térmico:

- Perda de água de constituição: água que faz parte da estrutura cristalina dos argilominerais.
- Decomposição da matéria orgânica.
- Decomposição de carbonatos: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$.
- Aumento de oxidação dos óxidos de ferro e enxofre.
- Formação de novas fases: mulita, por exemplo.

2.3.2 Processo de Fabricação

Os processos de fabricação empregados pelos diversos segmentos cerâmicos assemelham-se parcial ou totalmente. O setor que mais se diferencia quanto a esse aspecto é o do vidro, embora exista um tipo de refratário (eletrofundido), cuja fabricação se dá através de fusão, ou seja, por processo semelhante ao utilizado para a produção de vidro ou de peças metálicas fundidas. Esses processos de fabricação podem diferir de acordo com o tipo de peça ou material desejado. De um modo geral, eles compreendem as etapas de preparação da matéria-prima e da massa, formação das peças, tratamento térmico e acabamento. No processo de fabricação, muitos produtos são submetidos à esmaltação e decoração (ABC, 2003).

No caso dos blocos cerâmicos, o fluxograma abaixo (Figura 2.4) ilustra o processo de fabricação. Diferentes tipos de argilas podem ser usadas para a fabricação de uma peça, quando, em muitos casos, as indústrias executam-nas de maneira aleatória, sem nenhum estudo prévio das propriedades físicas e químicas.

Faz-se a dosagem da massa com um ou mais material argiloso, o qual é levado para homogeneização da mistura. Lamina-se e posteriormente segue para a extrusão. O corte das peças é realizado e o material é levado para secagem por processo mecânico ou natural. Após esse período, é levado para queima e, em seguida, à estocagem.

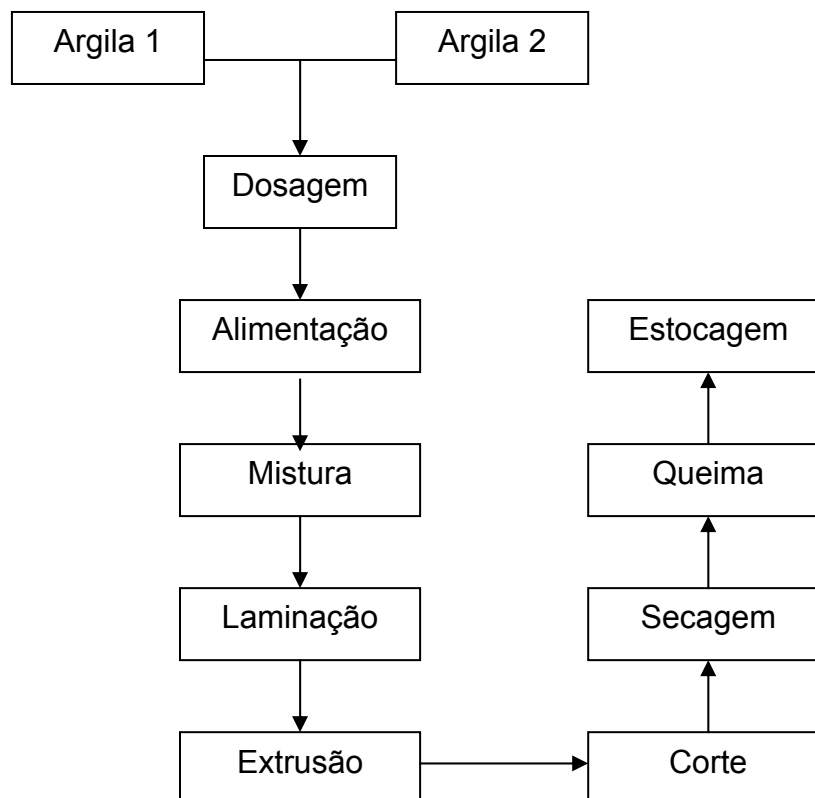


Figura 2.4 – Exemplo de fluxograma de produção de blocos cerâmicos

2.3.3 Perdas

Como na maioria dos processos produtivos, o setor cerâmico também possui perdas. A grande parte do processo é mecânico, o que levaria a uma perda mais baixa, mas não é isso que ocorre na prática. As perdas acontecem em todas as etapas de produção, desde a extrusão até a embalagem do produto final. Já na homogeneização, quando constatada uma mistura não adequada, o bloco já extrudado é descartado como observado na Figura 2.5. Outras partes do processo, com elevadas perdas, são o transporte e o manuseio.



Figura 2.5 - Perdas na extrusão

Chamote, nome dado ao caco de tijolo, quando descartado por problemas na peça, é um grande problema para o setor, tanto na área produtiva quanto na área ambiental. As elevadas quantidades geram inúmeros problemas, pois não podem ser descartados na natureza, tomando grandes espaços nas empresas (Figura 2.6).

Segundo Vieira *et al.* (2004), há um percentual de perda após queima bastante variado. As cerâmicas que adotam critérios de controle de qualidade apresentam uma perda na etapa de queima entre 0,5% e 1%. Entretanto, algumas cerâmicas chegam a apresentar 10% de perda da produção somente na etapa de queima.



Figura 2.6 - Perdas no transporte e na queima

2.3.4 Patologias em blocos cerâmicos

Alguns problemas podem ser encontrados em blocos cerâmicos. Sua durabilidade pode ser afetada devido aos inúmeros problemas encontrados em diversas obras.

A Figura 2.7 (a e b) representa a degradação em ambientes salinos.



a) Degradação rápida em alvenaria em ambiente marinho – Grussaí-RJ b) Degradação rápida em alvenaria em ambiente marinho – Macaé-RJ

Figura 2.7 (a e b) – Patologias em alvenarias (Xavier, 2006)

Xavier (2006) observa que fenômenos podem ser explicados por diferentes fatores: baixa proteção mecânica, clima tropical, dentre outros, mas sendo o principal fator a má qualidade dos produtos.

No Brasil, o clima tropical impõe intensas variações de temperatura e umidade. Os agentes atmosféricos ou de intemperismo que atuam diretamente nos materiais cerâmicos são (Frasca, 2005):

- Umidade na forma de chuva, névoa e umidade relativa do ar;
- Insolação e resfriamento sazonais: responsáveis pelos movimentos de dilatação e contração térmicos;
- Temperatura do ar: tende a acelerar as reações químicas;
- Vento: energia cinética que promove a ação abrasiva sobre as paredes.

Os mecanismos que atuam na degradação de materiais cerâmicos são naturalmente os mesmos que atuam nos processos intempéricos: físicos, químicos e microbiológicos. Os agentes físicos e químicos são devido à mudança de

temperatura e presença de umidade, o agente físico provoca dilatação e contração térmica e, como efeito, produz tensões internas na peça cerâmica.

Maia *et al.* (2004) avaliaram a durabilidade de materiais cerâmicos da região de Campos dos Goytacazes-RJ. Fez-se a alteração acelerada em laboratório e em campo, utilizando diferentes tempos ou intensidade de alteração. Utilizaram a lixiviação contínua e ciclos de umidade como procedimentos de laboratório para a aceleração da degradação.

Pedroti *et al.* (2006) estudaram a durabilidade dos blocos cerâmicos extrudados conforme a temperatura de queima e constataram que o aumento da temperatura melhora a durabilidade da peça, quando submetidos a ensaios de desgaste.

As conseqüências de uma má qualidade do produto (bloco) podem acarretar deficiências na constituição das construções, no caso da alvenaria estrutural, podem levar até mesmo à ruína da edificação.

2.4 Solo-cimento

Solo-cimento é definido como a mistura de solo pulverizado, cimento Portland e água que, sob compactação a um teor de umidade ótima, forma um material estruturalmente resistente, estável, durável e de baixo custo (Freire, 1976).

As primeiras tentativas para uso do solo-cimento como um material de construção civil, durável e econômico, ocorreram em Sarasota, na Flórida (EUA), em 1915, por um construtor que fez a pavimentação de uma rua com uma mistura de areia de praia, conchas e cimento, mas, pela falta de tecnologia na época, essas e outras experiências se tornaram inválidas, descreve Pitta (1995).

Ralph Proctor, em 1929, mostrou o efeito da compactação na melhoria das características mecânicas e hidráulicas dos solos influenciadas pela relação entre a massa específica aparente, a umidade e a energia de compactação.

A partir de bons resultados, como Pitta (1995) descreve, na construção entre 1932 e 1934, de um trecho de 160 m de comprimento e 6 m de largura, com 15 cm de espessura de uma pista de rodagem, realizada pelo Departamento de Estradas e Rodagem do Sul da Califórnia, a Portland Cement Association (PCA) começou, de forma intensiva, a pesquisar meios científicos de fixar uma proporção ótima de

cimento para cada tipo de solo que garantisse, ao produto final, uma boa resistência mecânica e possuisse uma durabilidade aos agentes agressivos e ao tempo.

O início da utilização do solo-cimento, no Brasil, ocorreu em 1940, pelas Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e Diretoria da Aeronáutica Civil, na construção da pista de circulação do aeroporto de Santos Dumont no Rio de Janeiro. Em seguida, fez-se, em março de 1941, um trecho da estrada de Osasco e, logo após, a estrada federal Caxambu-MG/Areias-SP.

O uso do solo-cimento para fabricação de tijolos (Figura 2.8) vem sendo pesquisado no Brasil há muito tempo, constituindo um dos elementos principais da construção com solo, daí a necessidade de se conhecer os materiais utilizados, principalmente o solo, que deve ser física e mecanicamente caracterizado, estudando-se a resistência à compressão simples do material solo-cimento, determinada, experimentalmente, em corpos-de-prova, tijolos e painéis de alvenaria, analisando-se também a deformabilidade (Rolim *et al.*, 1999).



Figura 2.8 - Diferentes formas de blocos em solo-cimento

No final da década de 40, segundo Silva (1994), dá-se início ao uso do solo-cimento nas habitações do Brasil, com a construção das casas do Vale Florido, em Petrópolis (RJ), ainda nessa mesma década, foi construído o Hospital Adriano Jorge, do Serviço Nacional de Tuberculose, em Manaus, com cerca de 10.800m².

A vantagem dessa modalidade de construção fica na grande facilidade da fabricação, a qual pode ser feita no próprio local da obra, utilizando até mesmo o solo das próprias fundações, a partir de uma dosagem adequada. Segundo

Fiquerola (2004), no final da década 70, o antigo BNH (Banco Nacional da Habitação) aprovou a técnica para construções de habitações populares. Na época, estudos feitos pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) e pelo CEPED (Centro de Pesquisas e Desenvolvimento) comprovaram que, além do bom desempenho termoacústico, o solo-cimento aplicado em construções gerava uma redução de custos de 20% a 40% , se comparado à alvenaria tradicional de tijolos de barro ou cerâmica.

Além da utilização do solo-cimento para a fabricação de blocos e em pavimentação, também foi empregado em quadras esportivas, revestimento de barragens, silo trincheira, terreiros de café, obras de contenção e paredes monolíticas.

Lima (2006) fez estudo com diferentes solos da cidade de Campos dos Goytacazes – RJ e propôs a análise de viabilidade de materiais para o uso em blocos de solo -cimento em regiões carentes, com adições de 5% e 10% de cimento, em relação ao volume total. Constatou diferentes desempenhos de absorção e de resistência mecânica dos blocos.

2.4.1 Fabricação dos Tijolos em solo-cimento

A possibilidade da fabricação dos blocos na própria construção, como já mencionado, gera diminuição de custo no transporte, economia de combustível, dispensa de mão-de-obra especializada e os tijolos possuem aparência regular, dispensando o uso de revestimentos.

Uma boa dosagem, seguida de uma compactação bem executada e uma boa cura do cimento, faz do bloco em solo-cimento uma alternativa simples e econômica para a habitação.

Outra grande vantagem dos blocos prensados é o formato de encaixe do tipo macho e fêmea, o que acelera o processo de montagem (Figura 2.9-a) e diminui o desperdício pois as tubulações podem ser embutidas (Figura 2.9-b), passando entre os furos, evitando os rasgos nas paredes.



a) Processo de encaixe

b) Instalações hidráulicas e elétricas embutidas

Figura 2.9 – Passagem de tubulações hidráulicas e elétricas

Os processos de moldagem dos blocos podem ser feitos por prensas hidráulicas, mecânicas (Figura 2.10-a) ou manuais (Figura 2.10-b). A produtividade e a qualidade de prensagem são fatores importantes que diferenciam tais equipamentos. A prensagem, usando um equipamento manual, dependendo da demanda, pode comprometer todo o processo e o cronograma de obra, uma alternativa é o uso pelo equipamento automatizado, que possui características que garantem uma melhor uniformidade da peça, já que a força de prensagem é mecânica ou hidráulica.



a) Prensa Mecânica



b) Prensa Manual

Figura 2.10– Modelos comerciais de prensas

Fonte: www.man.com.br

Vários fatores influenciam na produção: número de operários, números de misturas, a forma de alimentação das prensas, o número de vezes que as misturas serão peneiradas, a forma dos grãos em seu estado natural, entre outros, até a prensagem.

A seguir, o fluxograma de fabricação do tijolo em solo-cimento (Figura 2.11) de produção básico, desde sua mistura até prensagem. Após a etapa de prensagem, os blocos são levados para uma câmara úmida, onde deverão permanecer para hidratação do cimento.

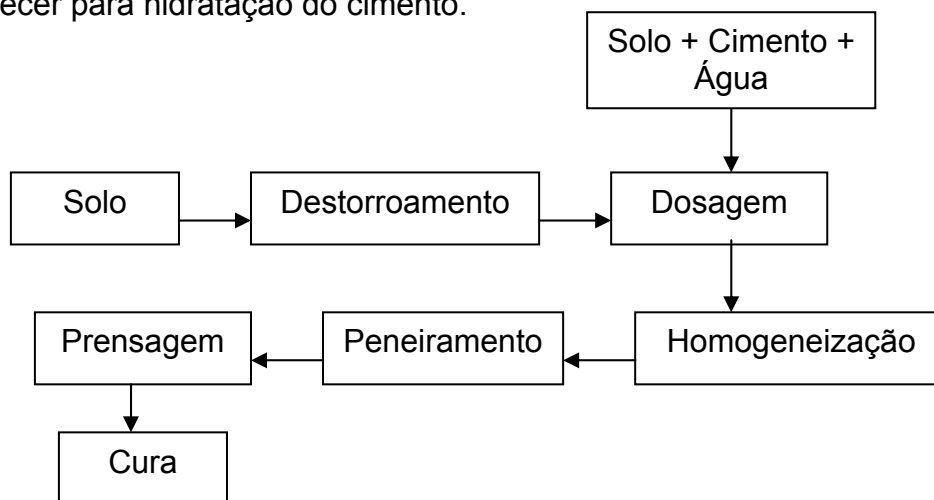


Figura 2.11 – Fluxograma de produção do bloco em solo-cimento

A cura dos blocos é essencial para atender às normas de bloco em solo-cimento. A NBR 10.834 apresenta a Tabela 2.2 abaixo, resumindo valores limites para a resistência mecânica e a absorção de água, aos 28 dias, dos lotes.

Tabela 2.2 – Valores-limite segundo a NBR 10834.

Valores-limite (aos 28 dias)	Média	Individual
Resistência à compressão (MPa)	$\geq 2,0$	$\geq 1,7$
Absorção de água (%)	≤ 20	≤ 22

2.4.2 Patologias nos blocos em solo-cimento

O estudo da durabilidade nos blocos em solo-cimento é de grande importância. A qualidade da obra está diretamente relacionada à qualidade do bloco e dos materiais empregados. O aparecimento de eflorescências e fungos (Figura 2.12) é comum nas primeiras fiadas, quando esses ficam em contato direto com a umidade, necessitando de uma proteção adicional aos mesmos.



Figura 2.12 – Formação de eflorações e fungos no bloco

Lopes (2002) comenta que o solo-cimento é afetado pelo conjunto de propriedades do solo, de tal maneira que a persistência de apenas uma característica desfavorável pode comprometê-lo, contra-indicando-o ou exigindo medidas especiais, muitas vezes, onerosas para o seu aproveitamento.

A existência da elevada variedade de solos faz com que o produtor faça constantes ensaios de caracterização nesse material.

2.5 Adobe

Adobe, por definição segundo tradução do texto inglês, é palavra de origem espanhola usada no sudoeste dos Estados Unidos para designar argilas adaptadas à manufatura de tijolos crus, secos ao sol. Às construções feitas com esse tipo de tijolo, dão-se o nome de construções de adobe.

Esse material pode resistir a tensões de compressão na ordem de 7 MPa, mas fica com o inconveniente de não poder, de forma alguma, entrar em contato com água, pois tornar-se-á plástico.

Quanto ao formato dos tijolos de adobe, não está restrito a um único modelo retangular e pode ser encontrada, na literatura, grande diversidade de formas e dimensões, em que há evolução do formato do tijolo de adobe no decorrer da história de algumas culturas (Doat *et al*, 1990). Os tijolos de adobe iniciaram-se com

formato cônico, depois passaram a piriforme, a seguir vieram a ser fabricados nas formas semi-esférica, dentiforme e, por fim, prismática. Ainda hoje, em Togo e no norte da Nigéria, fabricam-se tijolos piriformes sem auxílio de moldes, em que as paredes são executadas com espessura de dois ou três tijolos.

Fassoni (2000b) apresenta um resumo da evolução do formato do tijolo de solo cru (Figura 2.13) e dos diferentes moldes para tijolos prismáticos de adobe (Figura 2.14).

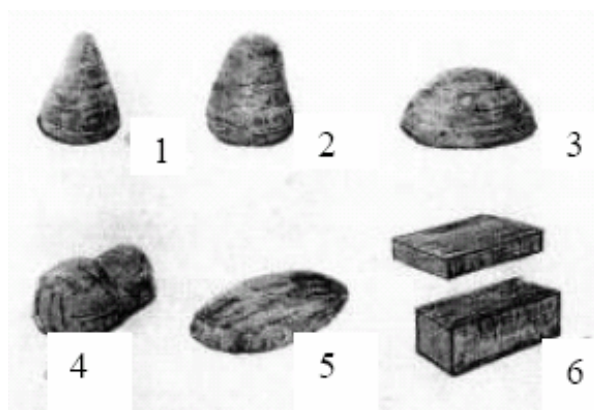


Figura 2.13 - Formatos de tijolos de solo cru: 1 - cônico, 2 - piriformes, 3 - semi-esféricos, 4 - dentiformes, 5 - plano-convexos e 6 - prismáticos.

Fonte: Fassoni (2000b).

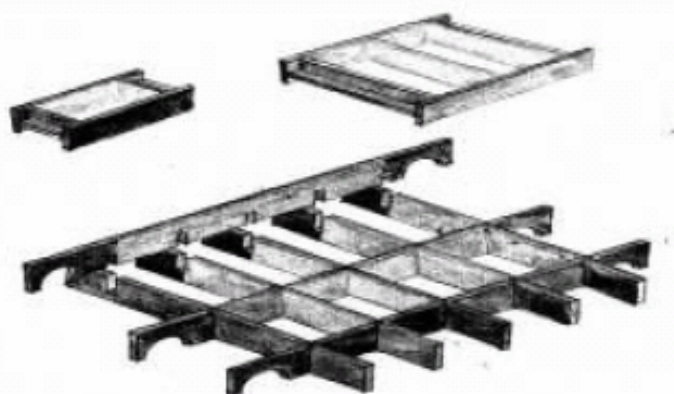


Figura 2.14 - Diferentes moldes para tijolos prismáticos, moldes para confecção de 1, 2 ou vários ao mesmo tempo.

2.6 Alvenaria Estrutural

A alvenaria como moradia é muito antiga, Gomes (1983) relata que, por volta do ano 10.000 a.C., ela já era usada pelas civilizações Assíria e Persa. Esses povos desenvolveram tijolos queimados ao sol como material base para a construção. Com a evolução da tecnologia, em torno do ano 3.000 a.C., surgiram os primeiros tijolos

de barro queimados em fornos, obtendo-se, assim, um material mais resistente e mais durável.

Lourenço (1996) cita construções israelitas como as pioneiras em alvenaria de pedra. Eram cabanas circulares e semi-circulares com diâmetros que variavam de 3 a 9 metros. Segundo o autor, somente no período de 8.350 a 7.350 a.C., teriam sido desenvolvidos os primeiros tijolos de barro queimados ao sol.

Diversas obras espalhadas ao longo dos tempos impressionam pela magnitude e pela forma que ainda mistificam suas construções. Obras como: as Pirâmides do Egito, erguidas há mais de 4.000 a.C.; Muralha da China, construída entre 300 e 200 a.C.; templo de Ziggurat (Figura 2.15); Farol de Alexandria; Ruínas do Coliseo de Roma terminado em 82 d.C., entre outras.



Figura 2.15 - Ziggurate de Ur (Detalhe da Escadaria) – Mesopotâmia

Aly (1992) observa que: “Todas estas estruturas foram construídas em alvenaria ciclópica até o início do século e foram dimensionadas empiricamente com base na experiência acumulada pelos construtores, onde o método mais utilizado era o da tentativa e do erro”.

Como não havia estudos aprofundados em tal prática, as estruturas eram super-dimensionadas, resultando em custos mais elevados de construção. Como exemplo clássico dessa prática pode-se citar o edifício “Monadock Building”, ainda existente, construído em Chicago durante os anos de 1889 e 1891, com 16 andares. Com os conhecimentos ainda incipientes da época, esse edifício teve as paredes da base dimensionadas e construídas com 180 cm de espessura, sendo suas

fundações executadas sobre blocos de pedras que funcionam como sapatas. Segundo Schneider (1970), se fossem utilizados os recursos hoje existentes de cálculo, as paredes desse edifício teriam na base 30 cm de espessura. Ainda segundo Schneider, o marco inicial para o uso racional de alvenaria estrutural foi o documento publicado na Índia, em 1923.

Posteriormente, na Inglaterra, no ano de 1948, foi elaborada a primeira norma consistente de cálculo de alvenaria estrutural, conhecida como CP 111 “Structural Recommendation for Loadbearing Walls”, que foi reformulada em 1970, sendo a mesma baseada no critério das tensões admissíveis. Em 1978, a CP 111 foi substituída pela BS 5628 : Part 1 “Structural Use of Unreinforced Masonry”, baseada nos métodos dos estados limites. Em 1985, a norma britânica foi complementada com a edição da BS 5628 : Part 2 “Structural Use of Reinforced and Prestressed Masonry” e a BS 5628 : Part 3 “Materials and Components, Design and Workmanship”.

Atualmente, os estudos aplicados nos Estados Unidos e na Inglaterra, voltam-se para o desenvolvimento de métodos de dimensionamento tendo como base o estado limite último para as estruturas de alvenaria que resistam a abalos sísmicos e alvenarias protendidas.

No Brasil, embora haja controvérsia, os primeiros edifícios de alvenaria foram construídos a partir da década de 60, com emprego mais acentuado na década de 70. Um marco no uso de alvenarias portantes no Brasil foi a construção do condomínio Central Parque da Lapa, em São Paulo, no ano de 1972, com 4 prédios de 12 andares (Sabbatini, 1984). Por não haver pesquisas nacionais e por não existir normalização da alvenaria como elementos estruturais, foram seguidos padrões estrangeiros para os dimensionamentos (Garcia, 2000).

Na década de 80, ocorre, no Brasil, a concentração de estudos e pesquisas em alvenarias portantes que priorizaram a avaliação da resistência mecânica e os processos construtivos. Na década de 90, nota-se significativo aperfeiçoamento das peças, reduzindo as patologias e incorporando-se novas técnicas construtivas e de cálculo.

Muitos estudos vêm sendo desenvolvidos por pesquisadores ao longo das décadas, a fim de determinar as capacidades de deformação e resistência à compressão em blocos, prismas, corpos-de-prova, paredes pequenas e até paredes em tamanho natural. O formato do bloco e suas dimensões são propostas sempre

muito abordadas em diferentes trabalhos. Segundo Monk (1967), “Provavelmente o fator geométrico que maior efeito tem sobre a resistência da alvenaria é o índice de esbeltez”. Esse é obtido em função do vínculo ao qual a parede está submetida e pela relação h/t onde h é a altura da parede e t é a espessura da mesma.

2.6.1 Alvenaria Estrutural Cerâmica

Na década de 80, observou-se, no País, a disseminação do uso da alvenaria estrutural e da fabricação de blocos de concreto. Hoje é possível encontrar, em boa parte das cidades brasileiras, indústrias produtoras desses blocos de pequeno e de grande porte. Essas indústrias, em sua maioria, produzem blocos de vedação (não estrutural). A alvenaria estrutural é, sem dúvida, o processo mais utilizado em São Paulo na construção de conjuntos habitacionais de até 5 pavimentos. Acredita-se, porém, que os estudos desenvolvidos sobre o assunto sejam insuficientes frente a sua importância técnico-econômica. (Prado, 1995).

Na mesma década, uma comissão foi formada, intitulada como “Comissão de Estudos de Tijolos de Barro Cozido”, com o objetivo de fazer revisão nas normas já existentes. Segundo Prudêncio (1986), mesmo com a criação da comissão, os valores apresentados para a resistência mínima à compressão dos tijolos maciços enquadrados nas categorias propostas pela NBR 7170 – 1983 continuaram muito aquém das possibilidades do material cerâmico produzido no nosso país.

Uma nova estruturação proposta pela ABNT para blocos cerâmicos foi sugerida no ano de 2005, agora com o título de NBR 15270, que foi dividida em três partes: Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação — Terminologia e requisitos, Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos e Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio.

2.6.2 Elementos de Estudos das Alvenarias

Com o uso do concreto armado nas construções, aumentaram os desafios para calculistas que, além de se preocuparem com a esbeltez das peças, também passaram a analisar diferentes materiais que compõem o conjunto. A alvenaria de

vedação passou a sofrer esforços não previstos, devido às flechas excessivas nas vigas, como demonstrado na Figura 2.16, que descarregam, sobre esses panos, provocando trincas, levando o empreendedor a exigir, dos novos blocos de vedação, características de blocos estruturais.

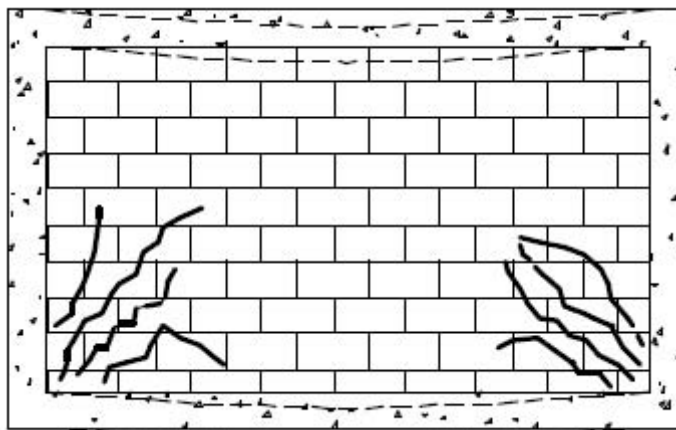


Figura 2.16 - Trincas provocadas por deformações nas vigas. Adaptada de Pfeffermann (1968).

Falhas nas construções são cada vez mais comuns. Os projetos em alvenaria estrutural devem ser concebidos em conjunto, evitando improvisos. Paredes hidráulicas podem ser previstas nos cálculos, quando essas ou são reforçadas ou adaptadas para não receberem cargas sobre elas, a não ser seu peso próprio.

Segundo Thomaz (1989), diversos fatores influenciam o comportamento mecânico das paredes de alvenaria como: geometria; rugosidade superficial e porosidade do componente da alvenaria; índice de retração; poder de aderência e poder de retenção de água da argamassa de assentamento; esbeltez; eventual presença de armaduras; número e disposição das paredes contraventantes; amarrações; cintamentos; disposição e tamanho dos vãos de portas e janelas e enfraquecimentos provocados pelo embutimento de tubulações; rigidez dos elementos de fundação; geometria do edifício, dentre outros.

Muitos estudos já foram realizados para analisar diferentes atuações das paredes. Ensaio normalizados são realizados para comprovação dos dados. Estudos com prismas, grauteados ou não, paredes armadas ou não, e diferentes traços de argamassas, também já foram ensaiados.

A estimativa da resistência de paredes através do ensaio de prismas é o procedimento adotado pela NBR 10.837.

2.6.2.1 Resistência do bloco, prisma e paredes

Ramalho e Corrêa (2003) descrevem que a determinação da resistência da peça (bloco) é de grande importância, muitos fatores são determinados a partir desse parâmetro experimental, que é regido pela NBR 15.270, para blocos cerâmicos. A resistência do bloco está intimamente ligada à sua forma e composição, e influencia diretamente na resistência da parede. Alguns estudos provaram relações entre a resistência do bloco com a resistência de prismas e paredes e também suas relações com o uso de graute e argamassas. É chamada de eficiência (η) a relação existente entre a resistência do bloco, ou prisma, e a resistência da parede. Muitas normas internacionais baseiam-se nos valores das resistências dos blocos e prismas para estimarem as resistências das paredes. A expressão 2.1 relaciona a resistência da parede com a resistência do bloco.

$$\eta = \frac{f_{par}}{f_b}, \quad 2.1$$

onde:

f_{par} : resistência da parede, ou do prisma

f_b : resistência do bloco

Ramalho e Corrêa (2003) descrevem, na Tabela 2.3 ,valores de eficiência para blocos cerâmicos e de concreto, com resistência entre 4,5MPa e 20 MPa, não grauteados e com argamassas usuais, e ,na Tabela 2.4, os valores entre prismas e blocos.

Tabela 2.3 – Valores de eficiência parede-bloco

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

Tabela 2.4 – Valores de eficiência prisma-bloco

Bloco	Valor mínimo	Valor máximo
Concreto	0,50	0,90
Cerâmico	0,30	0,60

Hilsdorf (1969) avaliou os mecanismos de ruptura na alvenaria com interações entre argamassa-bloco, em que observou que tal fato ocorreria, quando fosse atingida a resistência da argamassa.

Gomes (1983) fez estudos com alvenarias armadas e não armadas em blocos cerâmicos, provando diferenças entre os modelos, analisou ainda as deformações nas peças. Em seu trabalho, ele faz menção a ensaios realizados no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), que demonstraram um fator de eficiência para blocos cerâmicos variando de 0,16 a 0,39, tal faixa é representativa para valores de resistência dos blocos e argamassas.

Hamid e Drysdale (1979) também fizeram estudos para determinação da resistência da alvenaria a partir da resistência da unidade. Através do modelo desenvolvido por eles, a resistência não fica vinculada por suas características físicas ou mecânicas dos blocos. Segundo os autores, as deformações na direção paralela à aplicação da carga são compatíveis e consideraram a ruptura dos blocos sob um estado biaxial de tensões, já a argamassa e graute sob um estado de compressão triaxial.

Atkinson e Noland (1985) avaliaram prismas e os consideraram como compostos de camadas entre tijolos e argamassas sujeitos a uma compressão vertical uniforme σ_1 , e as tensões laterais em ambos os materiais também uniformes, o equilíbrio entre as tensões na direção lateral. Como conclusão, os pesquisadores afirmam que quanto maior a altura do bloco, menores as tensões de tração no conjunto.

Page e Shrive (1988) afirmam em seu trabalho que o ensaio em paredes é a melhor forma de ilustrar uma situação real de projeto, já que as unidades constituintes possuem características diferentes, em diferentes direções, graças à anisotropia das peças e da influência das juntas, mas esses ensaios se tornam caros e demorados. Para minimizar, são realizadas relações entre blocos, prismas e paredes, que avaliam esses valores.

Afirmam ainda: a resistência à compressão diminui com o aumento da altura do corpo de prova; a ruptura da unidade é causada pela iniciação e propagação de

fissuras. As fissuras dão início, quando as tensões de tração aumentam o suficiente, para quebrar a adesão interparticular. Os autores apontam a necessidade de transformar os ensaios em prismas e blocos nas mesmas condições em que seriam realizados, quando fossem feitos em paredes, no que diz relação ao capeamento, para se aproximar ao máximo da realidade.

Colville e Wolde-Tinsae (1991-a) utilizaram dados colhidos em ensaios em blocos cerâmicos dos Estados Unidos e Canadá na década de 60, a fim de avaliar o módulo de elasticidade da alvenaria. Concluíram que os valores e características das unidades podem variar muito de região para região. A Tabela 2.5, apresentada abaixo, mostra análises realizadas em prismas, propondo equações para determinação desse módulo.

Tabela 2.5 – Equação para determinação do módulo de elasticidade da alvenaria de tijolos cerâmicos (Colville e Wolde-Tinsae, 1991-a)

Tipo de módulo	Tipo de prisma	Equação
Tangente inicial	a prumo	$E_{alv}=480*fm'$
Tangente inicial	com amarração	$E_{alv}=524*fm'$
Tangente inicial	a prumo	$E_{alv}=728*fm'$ **
Secante a $0,2*fm'$	a prumo	$E_{alv}=455*fm'$
Secante a $0,5*fm'$	a prumo	$E_{alv}=422*fm'$

** fm' calculado usando os códigos ACI-ASCE, que se baseia na resistência da unidade e no tipo de argamassa.

Dhanasekar e Kumar (1994) realizaram ensaios em prismas de blocos cerâmicos não grauteados e grauteados, com e sem armadura. Foram utilizados prismas com quatro blocos, com dois furos de 100x80mm que ocupavam um total de 34,4% da área do bloco, já que o bloco possuía dimensões de 310mm x 50mm x 76mm, respectivamente, comprimento, largura e altura. O traço de argamassa usado foi de 1:1:6 em volume, já o graute, os autores variaram sete vezes. A figura 2.16 adaptada demonstra os resultados das resistências dos prismas em relação à resistência do graute.

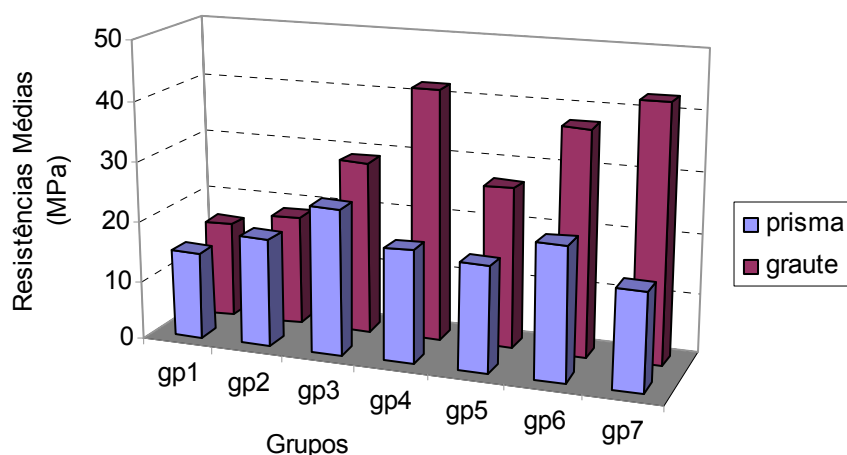


Figura 2.17 – relação de resistência para os diferentes grupos de grautes (Dhanasekar e Kumar, 1994 adaptado.)

Pode-se concluir que a resistência do prisma aumenta com o aumento da resistência do graute, até certa etapa, pois, como notado na Figura 2.17, o grupo gp4 e o grupo gp7, que possuem maior resistência de graute, aumentaram a diferença consideravelmente.

Camacho e Fusco (1994) analisaram a resistência de blocos cerâmicos e prismas para diferentes traços de grautes e avaliaram também em relação à escala do bloco. A Tabela 2.6 demonstra os ensaios e os dados obtidos.

Tabela 2.6 – Resistência à compressão de blocos, prismas e grautes – (Camacho e Fusco 1994, adaptado)

GRAUTE	TRAÇO (c:a:p)	RESISTÊNCIA (MPa)	ESCALA RESISTÊNCIA (MPa)		
			1:1	1:3	1:5
			*6,08	*9,36	*9,41
A	1:3,06:2,94	13,08	8,0	13,96	12,95
B	1:2,48:2,52	15,59	9,92	17,84	13,96
C	1:1,9:2,21	22,60	12,48	21,51	16,53

* valores referentes à resistência à compressão de prismas sem graute.

Como descrito na Tabela 2.6 acima, a resistência do prisma grauteado, aumenta quando comparada ao valor não grauteado. Esse valor varia em função da escala em estudo e do traço do graute. Para o graute C, em que os valores foram maiores, a resistência elevou significativamente, chegando a aumentos de

aproximadamente 57%, no caso da escala 1:5, quando comparado com o valor do bloco sem graute.

Concluíram também que o aumento da resistência dos prismas não cresce na mesma proporção que o aumento da resistência dos grautes.

2.6.2.2 Avaliações segundo a NBR 15.270

Segundo essa norma, vigente desde 2005, os blocos cerâmicos, para alvenaria estrutural ou vedação, devem suprir algumas exigências apresentadas na Tabela 2.7.

Tabela 2.7 – Exigências segundo a NBR 15.270

Características	Vedação	Estrutural
Tolerâncias dimensionais médias	± 3mm	± 3mm
Espessura dos septos (internos/externos), mínimos	6mm/7mm	7mm/8mm
Desvio em relação ao esquadro	3mm	3mm
Planeza das faces	3mm	3mm
Resistência à compressão *	≥ 1,5 MPa (furo horizontal)	≥ 3,0 MPa (furo vertical)
Índice de absorção d'água	8% a 22%	8% a 22%

* a resistência à compressão da amostra dos blocos ($f_{bk,est}$) é o valor estipulado pela equação

$$f_{bk,est} = 2 \left[\frac{f_{b(1)} + f_{b(2)} + \dots + f_{b(i-1)}}{i-1} \right] - f_{bi}$$

2.6.3 Modelagem numérica

Como já descrito anteriormente, a alvenaria é composta por elementos distintos, em que suas unidades possuem diferentes características. Pode-se afirmar, então, que se trata de um material heterogêneo e anisotrópico, que apresenta alta resistência à compressão, que depende basicamente da resistência da unidade, e baixa resistência à tração, determinada principalmente pela adesão entre argamassa e bloco.

Segundo Gallegos (1991), a alvenaria tem uma resistência à compressão elevada, dependente, principalmente, da resistência da própria unidade, mas a resistência à tração é reduzida e definida, principalmente, pela adesão entre a argamassa e a unidade. Segundo ele, nos casos em que a alvenaria é construída com unidades de baixa resistência, a adesão pode apresentar resistência à tração

igual ou superior à da própria unidade. Para esses casos, pode-se falar da homogeneidade e isotropia do material com alguma segurança, por outro lado, a resistência da alvenaria será reduzida.

Lourenço (1996) descreve, em seu trabalho, que vários fatores influenciam as propriedades das alvenarias como: anisotropia e dimensão das unidades, espessura das juntas, propriedades das unidades e da argamassa, arranjo das juntas horizontais e verticais e qualidade da mão-de-obra. Uma análise numérica levando esses fatores em consideração se torna trabalhosa. Adotam-se, então, modelos aproximados: micromodelagem e macromodelagem.

- Modelo micromodelagem – é separado o modelo bloco do modelo argamassa
 - Micromodelagem detalhada - as unidades e a argamassa são representadas por elementos contínuos, a interface entre eles é representada por elementos descontínuos. O módulo de elasticidade, o coeficiente de Poisson e, opcionalmente, as propriedades não-lineares da unidade e da argamassa são levadas em consideração. A interface da unidade com a argamassa representa um plano potencial de fissuração/deslizamento, com rigidez inicial pequena para evitar a interpenetração do meio contínuo. Isso possibilita que se estude a ação combinada da unidade, da argamassa e da interface de forma mais minuciosa.
 - Micromodelagem simplificada - somente as unidades e interfaces são representadas. As unidades são modeladas por elementos contínuos que incorporam a junta da argamassa e a interface é concentrada em elementos de interface. Cada junta é simulada como uma interface média, as unidades têm suas dimensões expandidas com o intuito de manter inalteradas as características geométricas da alvenaria. Essa alvenaria é, então, considerada como um conjunto de unidades elásticas unidas por linhas potenciais de fratura e deslizamento nas juntas. Perde-se precisão, porque nesse tipo de modelagem o efeito de Poisson na argamassa é desprezado.
- Modelo macromodelagem – o bloco e argamassa se tornam componentes únicos da alvenaria, com propriedades homogêneas. Não é feita distinção

entre a unidade e a argamassa, mas trata-se a alvenaria como um meio homogêneo, contínuo e anisotrópico.

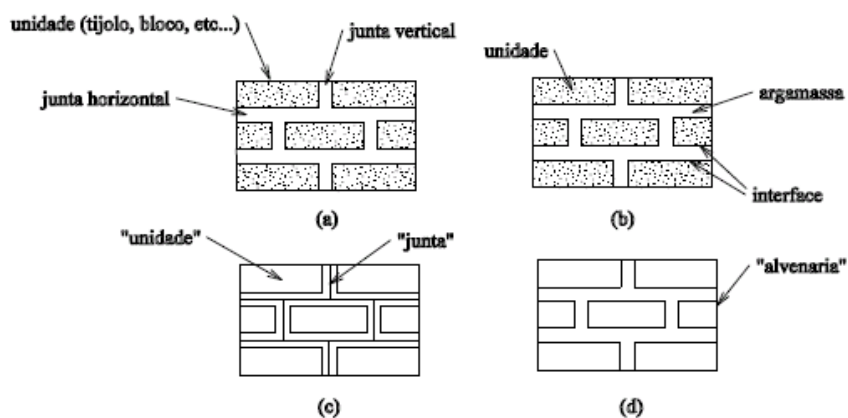


Figura 2.18 - Modelos para alvenaria estrutural: (a) elementos da alvenaria, (b) modelo micro detalhado, (c) modelo micro simplificado, (d) modelo macro, segundo Lourenço (1996)

A escolha do modelo numérico vai depender do objetivo da análise. Cada modelo possui suas vantagens e desvantagens. O estudo da micromodelagem é necessário, para fornecer um bom entendimento sobre o comportamento local das estruturas em alvenaria. Essa forma de modelagem apresenta-se muito importante para a análise de detalhes estruturais, por exemplo, análise de distribuição e concentração de tensões junto a vãos de portas e janelas. A macromodelagem é mais adequada para análises mais gerais da estrutura, principalmente, quando se está estudando paredes sólidas com dimensões grandes o suficiente, para garantir distribuições de tensões bastante uniformes.

Com a ajuda de softwares para análise estrutural, muitas situações vêm sendo desenvolvidas para ajudar a simular diferentes casos e combinações de carregamento. Tal fato também aumenta a confiabilidade dos ensaios em laboratório, pois há a possibilidade de fazer comparações entre os modelos experimentais e numéricos.

Garcia (2000) realizou ensaios numéricos com a ajuda do software Ansys, usando elementos de chapa PLANE 42, na qual modelou quatro paredes em diferentes situações com restrições nodais de deslocamento em X e em Y na base. Abaixo, os resultados encontrados.

Modelo 1

Parede composta por dois materiais – bloco e argamassa

Características do bloco : $E_b=817,2 \text{ kN/cm}^2$ e $\nu_b=0,25$

Características da argamassa : $E_a=1090 \text{ kN/cm}^2$ e $\nu_a= 0,20$

Espessura da parede igual a 7 cm

Tensão aplicada de 3,60 MPa – equivalente a uma força de 300 kN

Deslocamentos e deformações

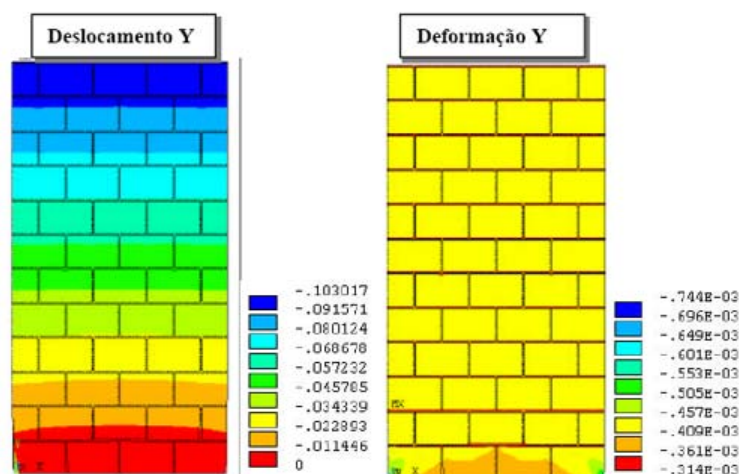


Figura 2.19 – Curva de isovalores de deslocamentos e deformações em Y –
MODELO 1 (GARCIA, 2000)

Observou-se que os deslocamentos no topo da parede foram maiores, reduzindo-se, gradativamente, quando se aproximaram da base.

Tensões

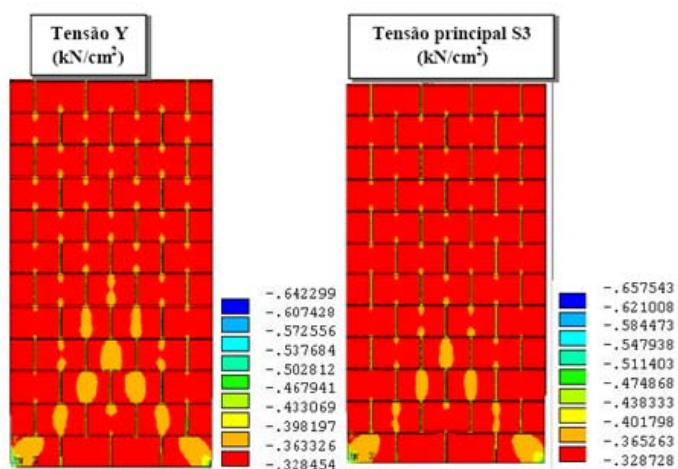


Figura 2.20 – Curva de isovalores das tensões em Y e das tensões principais S3
MODELO 1. (GARCIA, 2000)

Garcia (2000) observou uma concentração de tensões nas juntas verticais preenchidas com argamassa, por ser mais rígida que o bloco (cor laranja). Figura 2.20.

Modelo 2

Parede composta por apenas um material – alvenaria

Características do material : $E_{alv} = 965,8 \text{ kN/cm}^2$ e $\nu_{alv} = 0,25$

Espessura da parede igual a 7 cm

Tensão aplicada de 3,6 MPa – equivalente a uma força de 300 kN

Deslocamentos e deformações

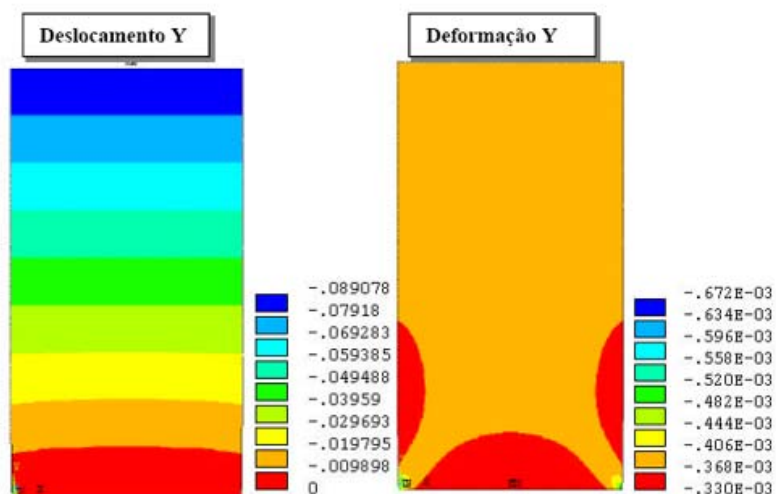


Figura 2.21 – Curva de isovalores de deslocamentos e deformações em Y – MODELO 2 (GARCIA, 2000)

Comparando-se com o modelo 1, os deslocamentos em Y são menores.

Tensões

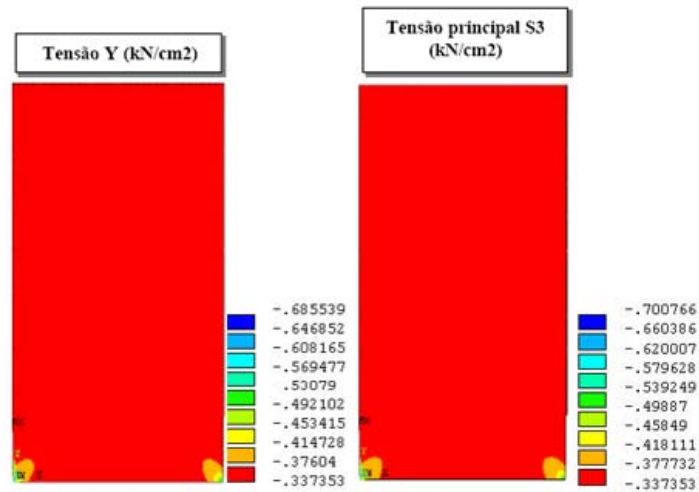


Figura 2.22 – Curva de isovalores das tensões em Y e das tensões principais S3
MODELO 2. (GARCIA, 2000)

Modelo 3

Parede composta por três materiais – bloco grauteado, bloco sem graute e argamassa

Características do bloco grauteado : $E_{bg}=849,3 \text{ kN/cm}^2$ e $\nu_{bg}=0,25$

Características do bloco sem graute : $E_b=817,2 \text{ kN/cm}^2$ e $\nu_b=0,25$

Características da argamassa : $E_a=1090 \text{ kN/cm}^2$ e $\nu_a=0,20$

Espessura da parede de 9,8 cm

Tensão aplicada de 2,55 MPa – equivalente a uma força de 300 kN

Deslocamentos e deformações

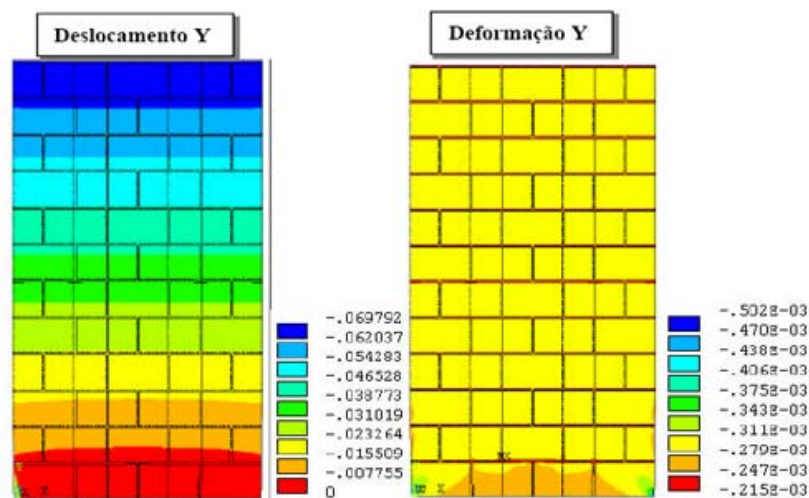


Figura 2.23 – Curva de isovalores de deslocamentos e deformações em Y –
MODELO 3. (GARCIA, 2000)

Uma maior absorção das tensões nas juntas verticais pode ser observada devido à diferença entre as rigidezes dos materiais. Observa-se que, nos blocos vazios, por serem menos rígidos que os blocos grauteados, não há concentração de tensões (Garcia, 2000).

Tensões

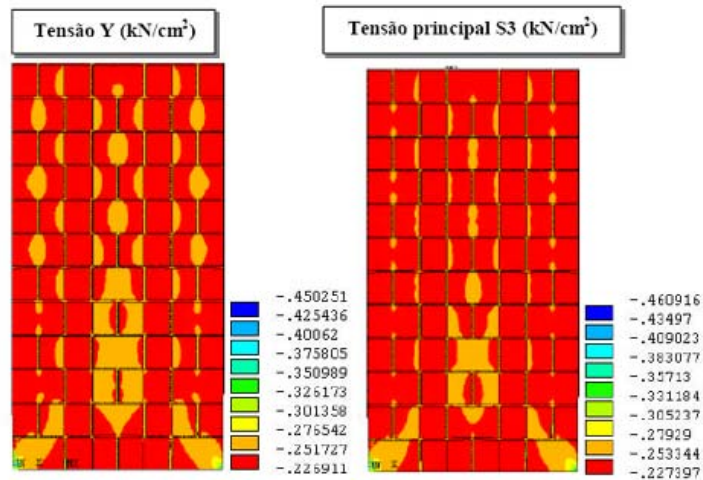


Figura 2.24 – Curva de isovalores das tensões em Y e das tensões principais S3
MODELO 3. (GARCIA, 2000)

Modelo 4

Parede composta por um material – alvenaria grauteada

Características do material : $E_{alv} = 1241,7 \text{ kN/cm}^2$ e $\nu_{alv} = 0,25$

Espessura da parede de 9,8 cm

Tensão aplicada de 2,55 MPa – equivalente a uma força de 300 kN

Deslocamentos e deformações

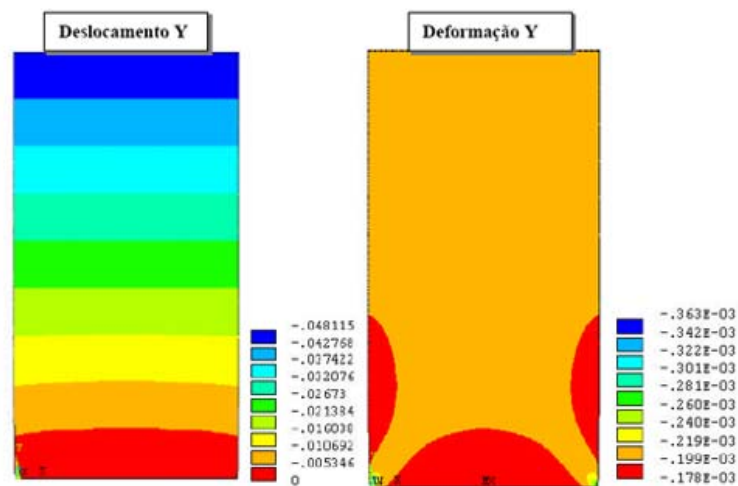


Figura 2.25 – Curva de isovalores de deslocamentos e deformações em Y –
MODELO 4. (GARCIA, 2000)

A Figura 2.25 apresenta o deslocamento na direção Y e sua deformação, observa-se a distribuição da deformação no fundo (cor vermelha).

Tensões

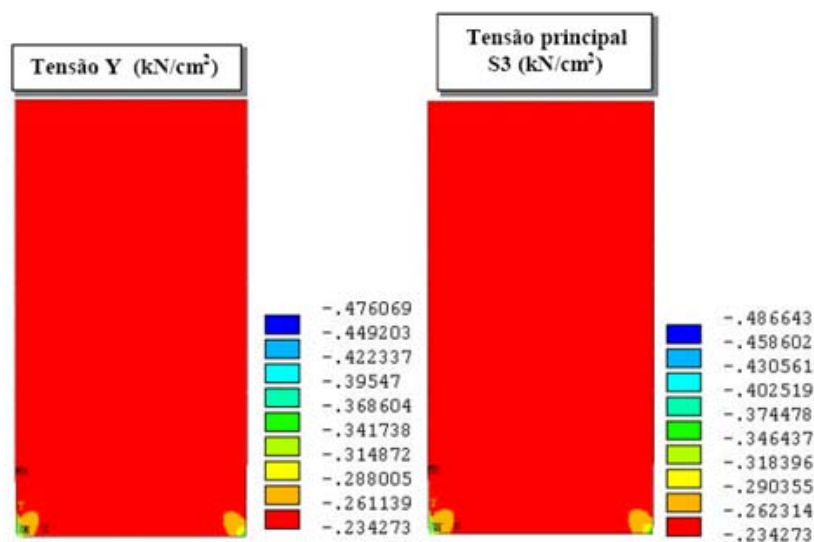
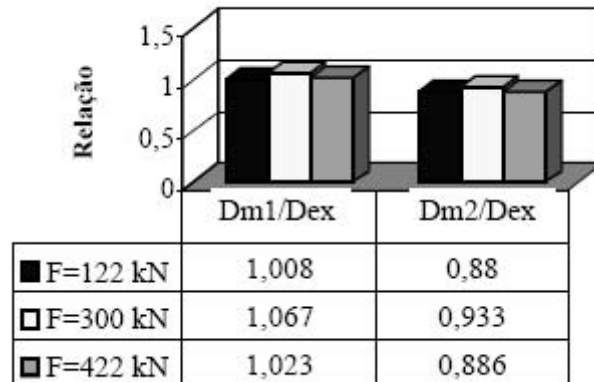


Figura 2.26 – Curva de isovalores das tensões em Y e das tensões principais S3
MODELO 4. (GARCIA, 2000)

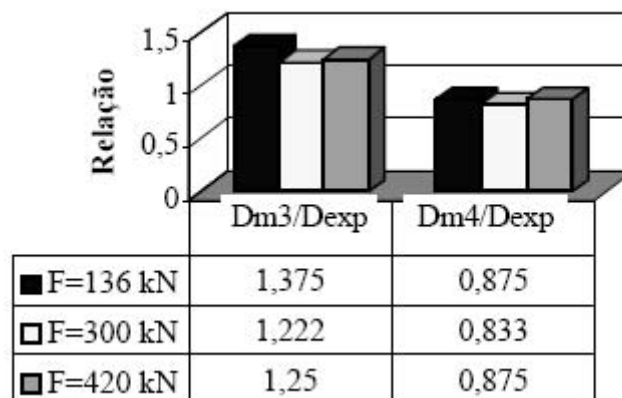
Posteriormente, a pesquisadora avaliou a relação entre resultados numéricos e resultados experimentais. A Figura 2.27 avalia a relação do modelo experimental, com os modelos 1 e 2 para paredes sem graute.



D_{m1} : Desloc. do modelo 1, D_{m2} : Desloc. do modelo 2, D_{exp} : Desloc. Experimental

Figura 2.27 – Relação entre os valores de deslocamento obtidos nos modelos numéricos 1 e 2 e nos ensaios – paredes sem graute

A Figura 2.28 avalia a relação do modelo experimental com os modelos numéricos 3 e 4, para paredes grauteadas.



D_{m3} : Desloc. do modelo 3, D_{m4} : Desloc. do modelo 4, D_{exp} : Desloc. Experimental

Figura 2.28 – Relação entre os valores de deslocamento obtidos nos modelos numéricos 3 e 4 e nos ensaios – paredes grauteadas.

Pode-se observar que, para o elemento único (alvenaria), houve um ganho de rigidez, quando comparado com os modelos bloco-argamassa e também com os modelos experimentais.

Sant'Ana *et al.* (2006) apresentaram, em seu trabalho, a influência da morfologia na distribuição de tensões em blocos cerâmicos de alvenaria estrutural, em que verificaram a real influência da morfologia do bloco na distribuição das tensões. Em seu trabalho, foram usados morfologias de mesmas dimensões e com área líquida igual a 50% da área bruta do bloco. Este procedimento foi empregado, pois, usualmente, comparam-se blocos que possuem áreas líquidas diferentes, o que pode não demonstrar a real situação de carregamento. A Figura 2.29 apresenta os modelos usados no trabalho.

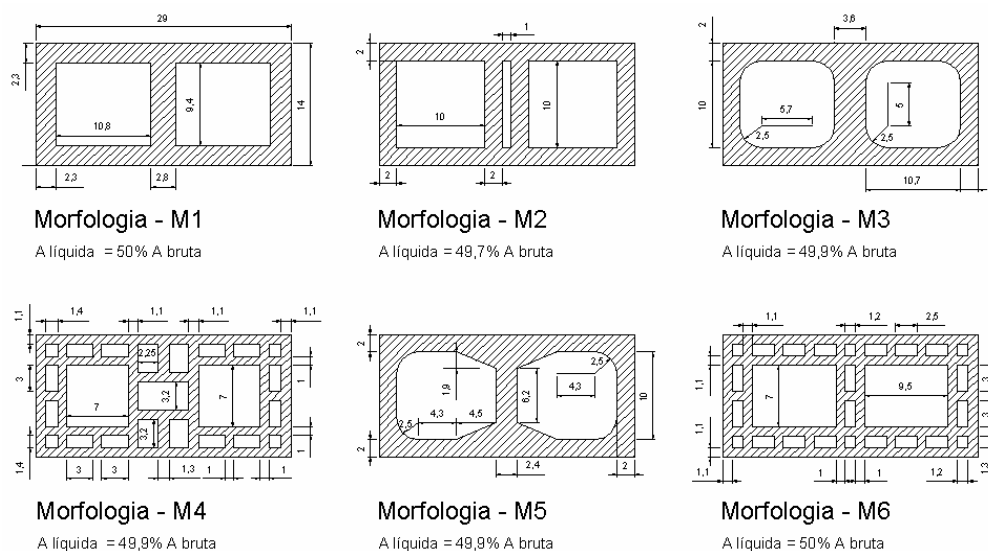


Figura 2.29 - Áreas líquidas dos blocos analisados

A Tabela 2.8 traz os parâmetros utilizados na análise, que foi feita pelo método dos elementos finitos com auxílio do programa ANSYS 9, simulando o comportamento dos blocos isoladamente bem como na forma de prismas de três blocos com juntas de 1 cm de espessura. Em todas as simulações realizadas, utilizou-se o elemento sólido 92 (tetraédrico de 10 nós).

Tabela 2.8 - Parâmetros adotados nas simulações.

	Bloco cerâmico (MPa)	Argamassa (MPa)	Autor
Módulo de elasticidade (E) em relação a $A_{líquida}$	8172	1090	Garcia (2000)
Coefficiente de Poisson (ν)	0,25	0,20	Neto (2000)
Resistência á compressão	12,15	11,0	Garcia (2000)
Tensão aplicada nas simulações no topo dos blocos e dos prismas (MPa)			6,0
Espessura da argamassa nos prismas (cm)			1,0

A Figura 2.30 apresenta a distribuição de tensões nos blocos, observa-se a escala de cores, em que nos pontos avermelhados há concentração mais acentuada, o que demonstra um possível ponto de ruptura.

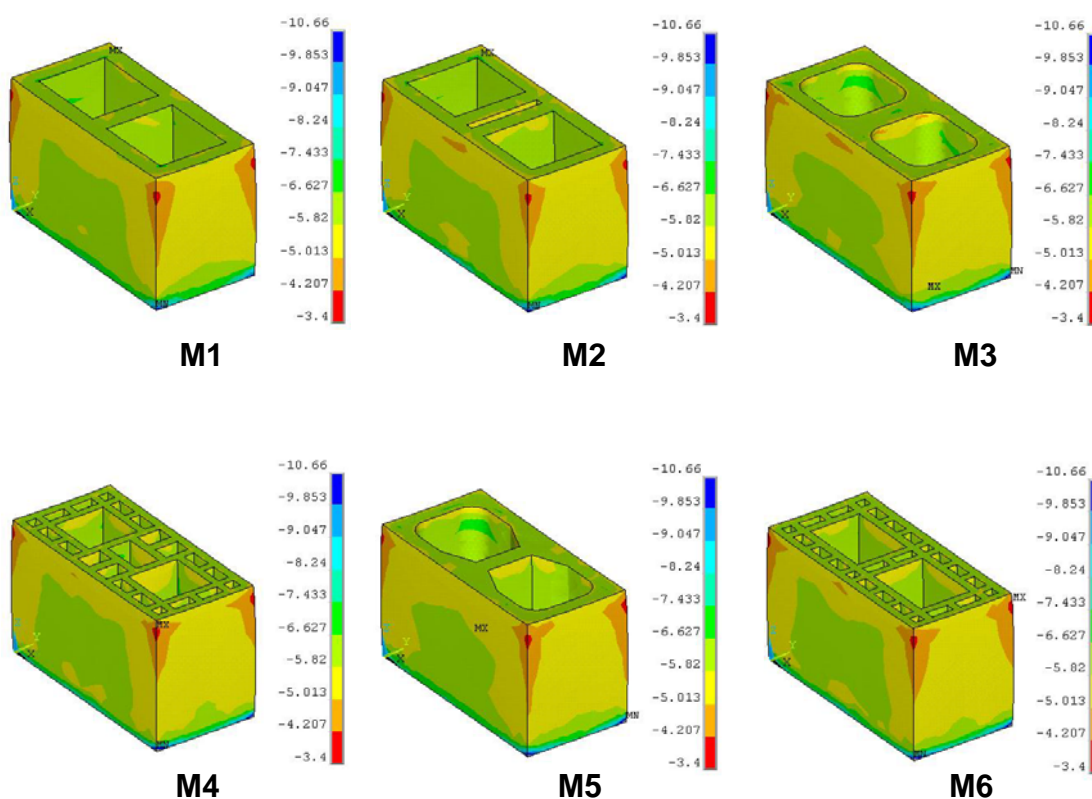


Figura 2.30 - Distribuição de tensão de compressão no plano de direção Z das morfologias analisadas (MPa)

Para o modelo prisma apresentado na Figura 2.31, os resultados demonstram que a morfologia M1 apresentou o menor valor absoluto de tensão entre os casos analisados, sendo esse valor de 10,67 MPa, 13% menor que a máxima tensão presente na morfologia M4, cujo valor foi de 12,095 MPa.

Os blocos com paredes externas mais espessas (M3 e M5, por exemplo) possibilitaram níveis de tensão do bloco intermediário um pouco menor que a observada nos blocos com paredes mais esbeltas (M4 e M6). Já com relação à tensão máxima local de compressão, a morfologia M1 continua apresentando o menor valor, que foi de 10,71 MPa. O maior valor de tensão de compressão foi detectado na morfologia M6, e igual a 11,95 MPa.

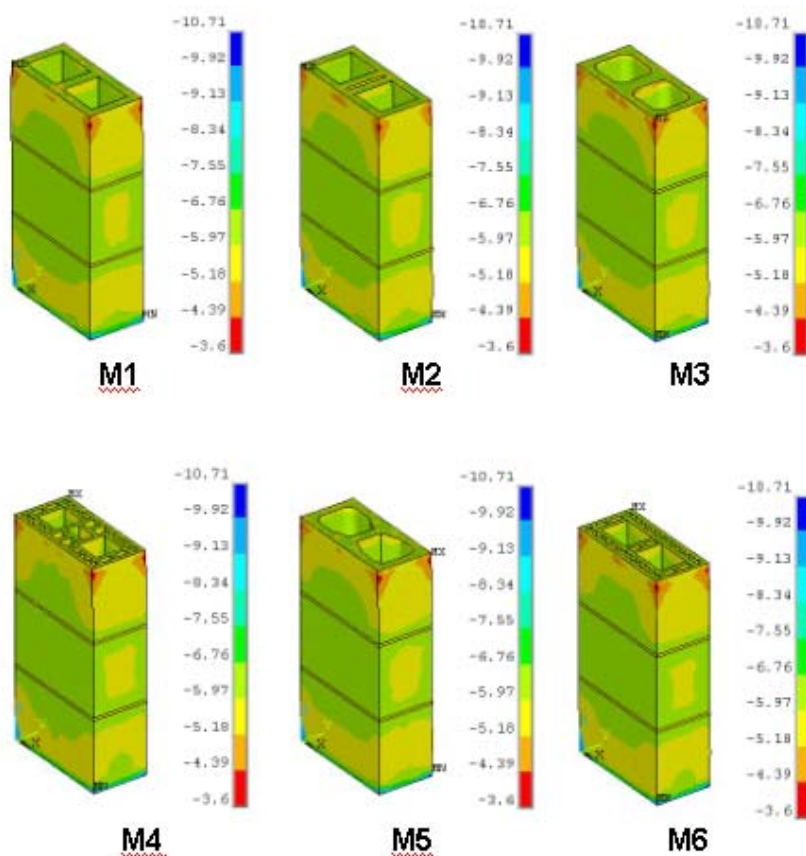


Figura 2.31 - Distribuição de tensão de compressão em Z das morfologias (MPa)

3. METODOLOGIA

Neste capítulo, são apresentadas as seqüências dos ensaios realizados neste trabalho. Além disso, é analisado o procedimento para compactação dos blocos prensados e queimados.

3.1 Matéria-prima: argila

A matéria-prima utilizada foi coletada na jazida da empresa Cerâmica União, localizada no município de Campos dos Goytacazes-RJ. Essa mesma massa é utilizada para confecção dos blocos estruturais, tijolos e lajes em cerâmica vermelha. Foram coletados aproximadamente 1300 kg de material.

3.2 Metodologia para preparação das amostras

O organograma abaixo, Figura 3.1, demonstra as etapas da caracterização das amostras.

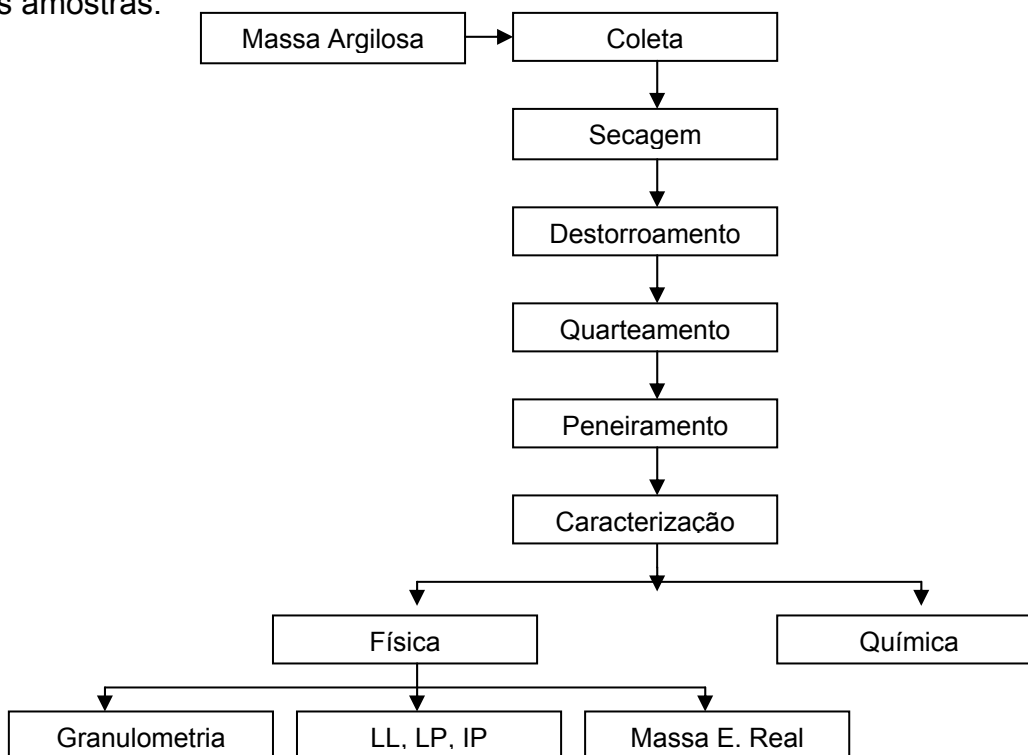


Figura 3.1 – Organograma das etapas de caracterização

Após coleta, o material foi separado para secagem ao ar livre. Posteriormente destorroado, com ajuda de marreta e auxílio de uma picadeira elétrica, obtendo-se material com partículas mais finas. Em seguida, peneirado ABNT nº 60 (peneira de arroz).

Parte deste material foi selecionada para caracterização física e química, o restante foi estocado em sacos plásticos fechados, a fim de se manter uma umidade controlada e, posteriormente, usada na confecção dos blocos.

3.2.1 Caracterização física

3.2.1.1 Análise granulométrica

As determinações da curva granulométrica do material utilizado na pesquisa foram determinadas segundo a ABNT 7.181 (1984), que consiste na combinação entre peneiramento e sedimentação do material. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Solos da Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes-RJ.

3.2.1.2 Índices de consistência

A determinação dos limites de Atterberg é prescrita pela ABNT 6.459 (1984) e pela ABNT 7.180 (1984), que determinam a umidade ótima de conformação da massa para ser moldada, por processo convencional de extrusão. Os índices foram determinados no Laboratório de Solos, da Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes-RJ, e têm como objetivo demonstrar que a matéria-prima utilizada foi a mesma empregada nas indústrias para fabricação de peças cerâmicas.

3.2.1.3 Massa específica e real dos grãos

A determinação da massa específica e real dos grãos foi determinada segundo a ABNT 6.508 (1984) e a ABNT 6.457 (1986), realizada no Laboratório de

Solos da Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes-RJ.

3.2.2 Caracterização química

A análise química em forma de óxidos da matéria-prima foi realizada por equipamento EDX (SHIMADZU EDX-700) (Figura 3.2) e tem por objetivo identificar a composição química da amostra. Foi realizada no Laboratório de Solos da Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes-RJ.



Figura 3.2 – Equipamento de EDX

3.3 Metodologia para confecção dos blocos prensados e queimados

Para fazer uso de uma nova técnica de moldagem de blocos cerâmicos, fez-se a associação do processo utilizado na confecção dos blocos em solo-cimento, com ajustes para atender uma melhor qualidade nos blocos prensados **sem cimento**. Todo o material que não foi utilizado na caracterização foi preparado e ensacado como já mencionado.

A Figura 3.3 demonstra as etapas utilizadas na fabricação dos blocos.

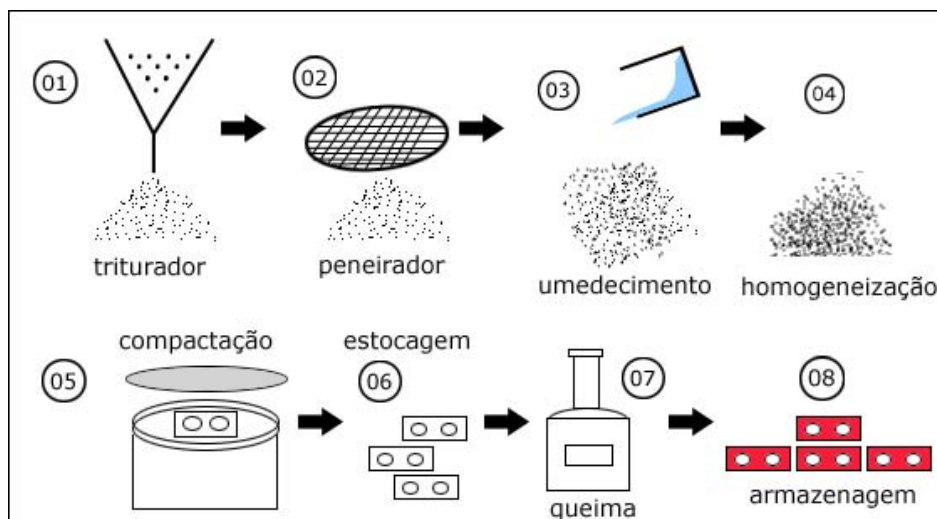


Figura 3.3 – Processo de produção do bloco prensado e queimado

Depois de triturado e peneirado, faz-se o umedecimento do solo com ajuda de um aspersor, a fim de evitar a formação de grumos. Para homogeneização, é utilizada uma betoneira normal de obra, ou um misturador (Figura 3.4). Após a determinação da umidade desejada de mistura, o material é novamente peneirado para retirada dos grumos existentes e compactado na prensa, que pode ser a manual ou mecânica. Faz-se a estocagem desse material para posterior queima.

Neste trabalho, esse processo foi seguido com controle da umidade da massa, a fim de se determinar a melhor umidade de prensagem, ou a faixa que melhor se adequasse ao material.



Figura 3.4 – Misturador

3.3.1 Controle de umidade e confecção dos blocos

Foram feitos diferentes dosagens de umidade na mistura, para proporcionar uma faixa de trabalho. Verificou-se inicialmente que a umidade, normalmente usada nas olarias pelo processo de extrusão, era inadequada para a prensagem, já que a massa se tornava plástica e agarrava na prensa. Então, foi reduzida a umidade, o que favoreceu o processo, já que o bloco não necessitaria mais de ser estocado antes de entrar no forno, a faixa inicial de trabalho foi de 13% a 35% de umidade. Os sacos foram hermeticamente fechados, a fim de manter o controle da umidade desse material. Para a determinação da umidade, foram retiradas, de cada saco, três amostras, as quais foram para estufa por 24 horas, a uma temperatura de 100 °C ±5 °C. Após esse período, eram retiradas e pesadas para medir a perda de água. Através da equação 3.1, foi possível medir a umidade de cada amostra.

$$U(\%) = \frac{mu - ms}{ms} * 100 \quad 3.1$$

onde:

U(%) – umidade em porcentagem

mu – massa úmida

ms – massa seca

Foi retirada a média da umidade de cada saco. Com esses valores, foi possível calcular qual a quantidade de água necessária para se chegar a uma umidade desejada. Foram ensaiadas diferentes faixas de umidade e prensados em uma prensa manual do tipo MTS-010 normalmente usada para prensagem de blocos em solo-cimento. Foram retirados cinco blocos por faixa para a determinação da resistência a compressão. Essa etapa é caracterizada como ETAPA 0, já que seria necessária para dar início à pesquisa.



Figura 3.5 – Prensa manual

A prensa (Figura 3.5) produz dois blocos por prensagem com formato de cada bloco de 25cm x 12,5cm x 7cm (Figura 3.6).



Figura 3.6 – Blocos prensados manualmente

Após determinação da faixa de umidade ideal (aquela que melhor apresenta resultados de resistência à compressão), foram confeccionados os demais blocos para os ensaios de resistência à compressão, absorção, durabilidade, ensaio de meia-parede, ensaios de prisma e parâmetros da NBR 15.270. Os blocos prensados manualmente foram fabricados no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade

Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes-RJ. Foram fabricados cerca de 1000 blocos, o que caracterizou o valor de um lote. Essa etapa foi caracterizada de ETAPA-PMANUAL. Todos os blocos produzidos dessa etapa foram queimados a uma temperatura de 900 °C, em um forno abóbada da cerâmica Arte Cerâmica.

Foram confeccionados, posteriormente, 30 blocos em uma prensa mecânica, onde foram dosados (umidade) pelo mesmo processo utilizado nos blocos manuais. Foram ensaiados três tipos de umidade 10%, 14% e 15% (essa faixa de umidade utilizada foi baseada nos resultados da ETAPA-PMANUAL, o qual será discutido posteriormente). Observou, através desses ensaios, que quanto menor a umidade de prensagem, maior a resistência à compressão. Esses blocos prensados por prensa mecânica (Figura 3.7) foram fabricados na fábrica da empresa Máquinas-Man, em Marília – SP, a uma força de compressão de 8 toneladas. Os blocos possuem dimensões de 25cm x 12,5cm x 7cm (Figura 3.8).



Figura 3.7 – Prensa mecânica



Figura 3.8 – Blocos prensados mecanicamente

Os blocos prensados mecanicamente foram ensaiados quanto à resistência mecânica, absorção e durabilidade. Essa etapa foi caracterizada de ETAPA-PMEC.

Com o intuito de se obter parâmetros de comparação industrial, foram colhidas amostras em indústrias que confeccionam blocos cerâmicos estruturais e blocos em solo-cimento. O número de amostras de blocos cerâmicos e dos blocos em solo-cimento seguiu determinação de suas normas respectivas.

3.3.1.1 Blocos cerâmicos extrudados

Os blocos cerâmicos colhidos foram retirados após extrusão (Figura 3.9) e levados para serem calcinados em diferentes temperaturas no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes-RJ. O material utilizado na confecção desses blocos é o mesmo material utilizado na confecção dos blocos prensados e queimados.



Figura 3.9 – Blocos extrudados prontos para queima

As faixas de temperatura desses blocos extrudados foram: 600°C, 700°C, 800°C, 900°C, 1000°C. As dimensões dos blocos: (14x19x29) cm. Foram selecionados, de cada faixa de temperatura, 13 blocos para resistência à compressão e 13 blocos para absorção e durabilidade. A temperatura de queima foi controlada por termopar.

3.3.1.2 Blocos em solo-cimento

Os blocos em solo-cimento foram fornecidos por uma empresa, com teor de cimento de 8%. As dimensões dos blocos em solo-cimento foram de (25x12,5x6) cm (Figura 3.10). Foram selecionados 5 blocos para ensaios de resistência; 5 blocos para ensaios de absorção e 5 para durabilidade.

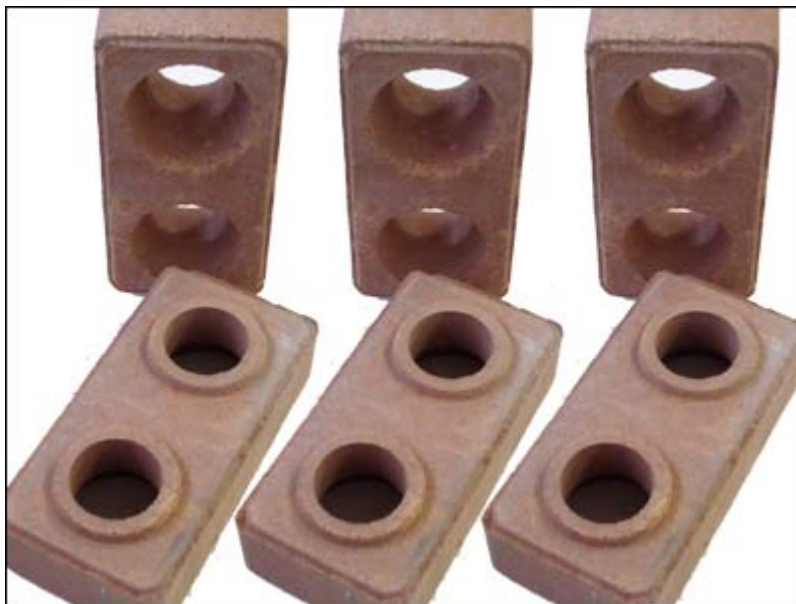


Figura 3.10 – Blocos em solo cimento

3.4 Ensaio de resistência mecânica dos blocos

Os blocos extrudados foram ensaiados segundo a NBR 15.270, já os blocos prensados e queimados e os blocos em solo-cimento seguiram a norma NBR 8.492. Como não há norma para determinação da resistência de blocos prensados e queimados, mas considerando que seu formato é o mesmo do bloco em solo-cimento, foram assumidas as características de ensaio desse padrão.

3.5 Ensaio em prismas de blocos prensados e queimados

Para determinação do ensaio nos prismas, foi utilizada a NBR 8.215, a qual recomenda um número mínimo de três blocos. Foi utilizada essa norma de blocos em concreto, já que a norma cerâmica não contempla ensaios em prismas nem em paredes.

Foram selecionados aleatoriamente, da ETAPA-PMANUAL, 15 blocos para confecção de 5 prismas (Figura 3.11), para determinação da resistência à compressão.



Figura 3.11 – Prismas preparados para ensaio

3.6 Absorção d'água

Em todos os blocos, foram realizados testes de absorção d'água segundo a NBR 15.270.

3.7 Ensaio de desgaste: Slake Durability

Para avaliar a durabilidade pela perda de massa devido ao desgaste por atrito, fez-se o estudo nos blocos prensados e queimados, em que foram realizados testes com o aparelho Slake Durability, descrito pela ASTM D 4644-92. Esse ensaio é tradicionalmente utilizado para previsão da durabilidade de materiais rochosos de baixa resistência. No entanto, Xavier *et al.* (2005) mostram que esse ensaio pode ser utilizado para materiais cerâmicos. Maia *et al.* (2002) tomam como resultado para prévia de desgaste, o 5º ciclo de ensaio. Pedroti *et al.* (2006) provam que a resistência e a durabilidade do material cerâmico extrudado também estão intimamente ligadas, ficando evidentes, perante os ensaios, o aumento da resistência com o aumento da durabilidade.

Nesse ensaio, o corpo-de-prova é submetido a uma baixa energia de desgaste superficial (Figura 3.12). Durante o ensaio, o material é lavado, enquanto sofre desgaste por abrasão entre as próprias partículas e a malha metálica com

abertura de 2mm, que envolve o cesto. O cesto metálico fica parcialmente submerso e gira em torno do seu eixo. O conjunto é submetido a 200 revoluções durante 10 minutos, o que leva a um ciclo de ensaio, após 24 horas, à medida da massa final.

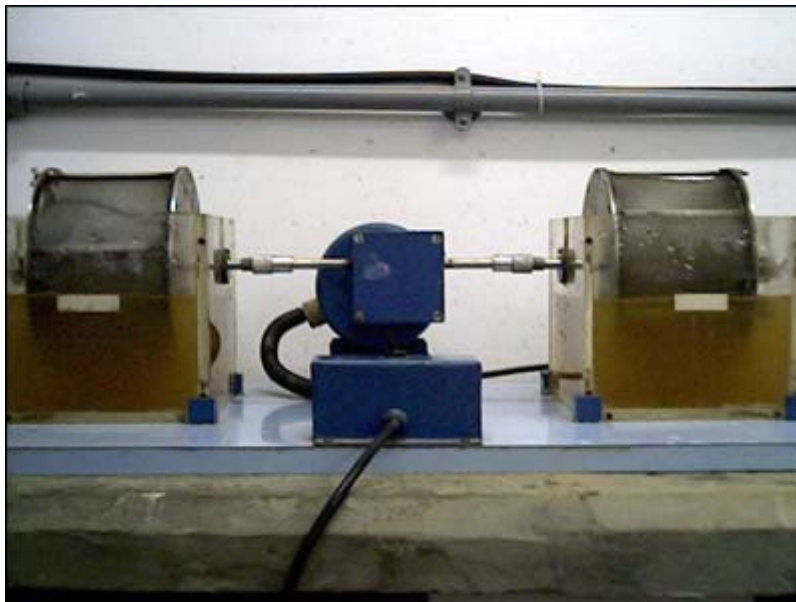


Figura 3.12 – Aparelho Slake durability

O corpo-de-prova é constituído por 10 partículas Figura 3.13 com massa variando entre 40 e 60g cada.



Figura 3.13 – Peças de um grupo preparadas para o ensaio

Após a realização dos ciclos de desgaste, o material é avaliado segundo a tabela proposta por Gamble (1971), Tabela 3.1, a qual avaliará o nível de desgaste desse material.

Tabela 3.1 - Classificação da durabilidade de rochas em função da perda de massa no ensaio Slake Durability

Classificação da Durabilidade	Perda de massa (%)		
	1º ciclo	2º ciclo	5º ciclo
Muito alta	< 1	< 2	< 5
Alta	1 - 2	2 - 5	5 - 15
Medianamente alta	2 - 5	5 - 15	15 - 40
Média	5 - 15	15 - 40	40 - 70
Baixa	15 - 40	40 - 70	70 - 80
Muito baixa	> 40	> 70	> 80

Os números de repetições para os lotes de ensaios estão descritos na Tabela 3.2 abaixo.

Tabela 3.2 – Lotes de ensaios com o determinado número de repetições

Material	Lotes			
	Cerâmico extrudado	Solo-cimento	BPQ-Manual	BPQ-Mecânica
600 °C	3			
700 °C	3			
800 °C	3			
900 °C	3		3	3
1000 °C	3			
Sem queima		3		

3.8 Durabilidade: Ciclos de Secagem e Molhagem

Avaliando o ensaio proposto pela norma DNER-ME 203/94, os blocos após queima foram pesados, secos em estufa ($105^{\circ}\text{C} \pm 5$) por 24h, novamente pesados, mergulhados em um tanque com água por mais 24h e depois pesados. Obteve-se assim: a massa inicial natural, a massa inicial seca e a massa úmida. Esse procedimento foi considerado como o primeiro ciclo de 48h. Em seguida, os blocos foram secos por 42h em estufa ($105^{\circ}\text{C} \pm 5$), pesados e novamente mergulhados em um tanque com água por mais 6h, em seguida, retirados e pesados, perfazendo, assim, o segundo ciclo de 48h, repetindo-se o segundo ciclo por mais onze vezes. Entre a retirada do tanque e a pesagem o tempo não pode exceder 3 minutos.

No final do ensaio foram realizados 12 ciclos de 48h, entre secagens e molhagens, tendo sido pesados todos os corpos de prova entre as etapas dos ciclos. Após o último ciclo, secou-se o bloco por 24h em estufa (105°C ±5) e pesou-se, obtendo, desse modo, a massa final seca.

Fez-se, então, a razão entre a massa seca inicial do bloco menos a massa final seca com a massa seca inicial do bloco, para determinar o ganho ou perda de massa, como é apresentado na fórmula abaixo:

$$A = \frac{M_i - M_f}{M_i} * 100 \quad 3.2$$

A = Porcentagem de massa final (positivo = ganho de massa e negativo = perda de massa);

M_i = massa seca inicial do bloco;

M_f = massa seca final do bloco.

Xavier (2006) verificou em seu trabalho que a perda média para o desgaste em peças cerâmicas submetidos a ciclos de umidade por cerca de 3.500 horas calcinados a uma temperatura de 500°C a 900°C foram abaixo de 0,5% e, segundo Lima (2006), a variação de blocos em solo-cimento prensados manualmente, apresentaram valores abaixo de 0,8% e, em alguns casos, abaixo de 0,13% de perda de massa, quando submetidos aos ciclos propostos pela DNER-ME 203/94.

3.9 Modelagem Numérica

Para a análise numérica, faz necessária a utilização do software Ansys 9.0, o qual usa a ferramenta Solid 92, que possui dez nós com três graus de liberdade em cada nó.

A morfologia de encaixe, sem o uso de argamassa de assentamento, apresenta concentrações de tensões diferentes daquelas com argamassa. Faz-se aqui o estudo de distribuição de tensões, em bloco, prisma e parede. A Tabela 3.3 apresenta os parâmetros de entrada no software.

Tabela 3.3 – Parâmetros de entrada no software

	Bloco cerâmico (MPa)	Autor
Módulo de elasticidade em relação à $A_{líquida}$	8172	Garcia (2000)
Coefficiente de Poisson	0,25	Neto (2000)

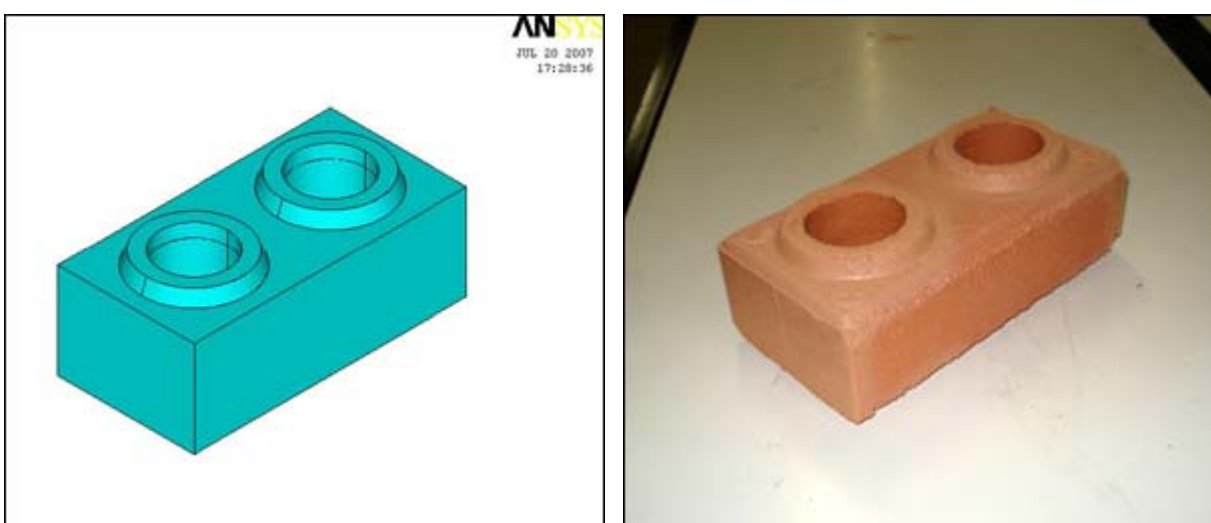
Considerações

1^a Para avaliação dos modelos, optou-se por dois tipos de restrições: a primeira, restringir o plano do fundo em todas as direções e o plano do topo nas direções x e y; já o segundo, além de restringir todos igualmente ao primeiro, restringiu o encaixe do bloco na primeira fiada em todas as direções a fim de simular a ação da argamassa nessa fiada.

2^a A argamassa de regularização da primeira fiada é muito mais rígida que o bloco e se deforma muito menos que o bloco até a ruptura da peça.

3.9.1 Bloco

O bloco, como apresentado na Figura 3.14, possui dimensão de (20x10x7) cm, com dois furos de diâmetro igual a 5cm. Sua área líquida é de, aproximadamente, 160,73 cm², o que corresponde a 80,37% da área bruta.



a) bloco modelado no software ANSYS

b) bloco prensado e queimado

Figura 3.14 – Bloco padrão usado na modelagem numérica e nos ensaios experimentais

A carga utilizada no bloco foi à mesma carga encontrada no ensaio experimental a fim de analisar as concentrações de tensões presentes no modelo. Para melhor discussão, foram utilizados dois modelos para análise. A Figura 3.15, apresenta a convenção de eixos adotada no modelo.

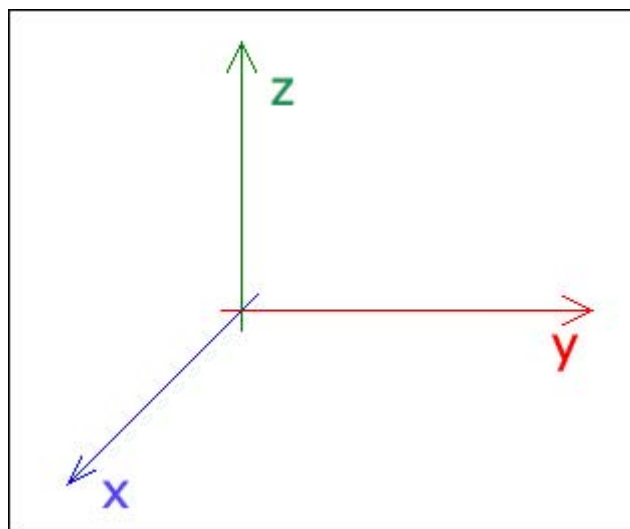


Figura 3.15 – Convenção de eixos

No primeiro modelo, foram restringidos todos os nós do topo do bloco, nos eixos x e y, e os nós da base em todas as direções. No segundo modelo, foram restringidos o plano do topo do bloco, também os eixos x e y, porém a base, além de restringir o seu plano em todas as direções, foi restringido o encaixe do bloco, como demonstrado na Figura 3.16 (cor rosa), para comparação de distribuição de tensões quando esse bloco está completamente encaixado com o bloco subsequente.

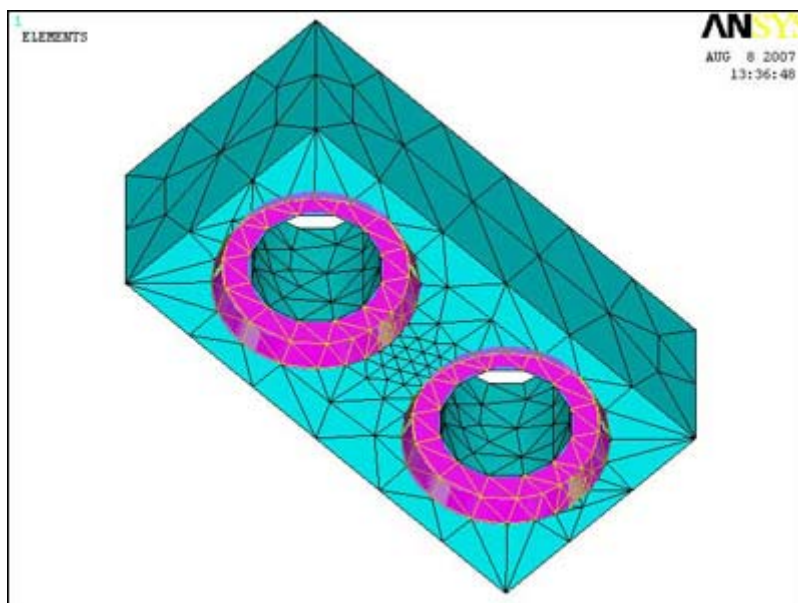


Figura 3.16 – Fundo do bloco: restrição dos nós do encaixe

3.9.2 Prisma

O prisma, composto de três blocos sobrepostos, sem o uso de argamassa, como demonstrado na Figura 3.17, somente unidos pelos encaixes. Nota-se que foi retirado o encaixe do bloco superior, para evitar o acúmulo de tensões naquele local. Esse procedimento foi aplicado em todos os casos aqui avaliados, bem como nos casos experimentais. Com a montagem do prisma, suas dimensões passaram a ser (20x10x21)cm.

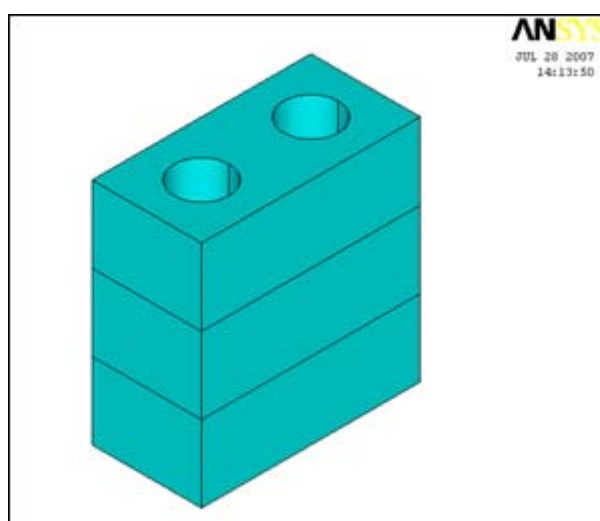


Figura 3.17 – Prisma usado na modelagem numérica

A tensão utilizada na análise numérica foi a mesma utilizada no ensaio experimental, visto a necessidade de avaliar e comparar os modelos. Do mesmo modo analisado no ensaio do bloco, foram avaliados dois modelos de restrição de apoio. O primeiro modelo restringiu todos os nós do topo do prisma, nos eixos x e y, e todos os nós da base em todas as direções. No segundo modelo, foi restringido o plano do topo do prisma, também os eixos x e y, porém a base, além de restringir todos os nós, foram restringidos também os nós do encaixe do bloco inferior em todas as direções, como demonstrado na Figura 3.18, para a comparação de distribuição de tensões, quando esse bloco está com o preenchimento de argamassa, visto que a primeira fiada de qualquer parede também possui uma camada de argamassa para assentamento. Não foram avaliadas as deformações e tensões nas argamassas, somente nos blocos, prismas e paredes. A suposição de restringir o plano de encaixe traz, ao modelo, a alternativa de confiná-lo com a ajuda da argamassa, impedindo que, naquele plano, ele se deforme muito menos que o bloco.

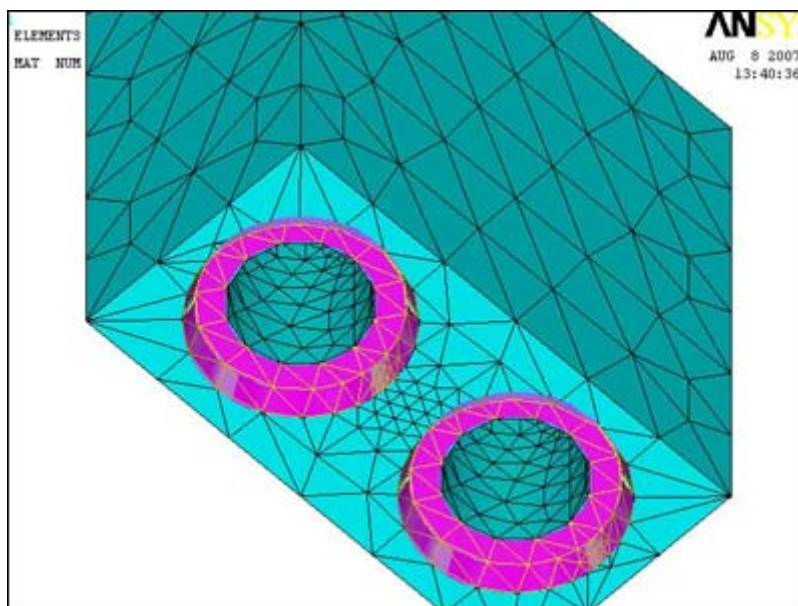


Figura 3.18 – Fundo do prisma: restrição dos nós do encaixe

3.9.3 Meia parede

A meia parede avaliada apresenta dimensões de (120x10x140) cm, como demonstrado na Figura 3.19. Para dar a modulação perfeita na montagem, foi utilizado o meio bloco, como demonstrado na Figura 3.20.

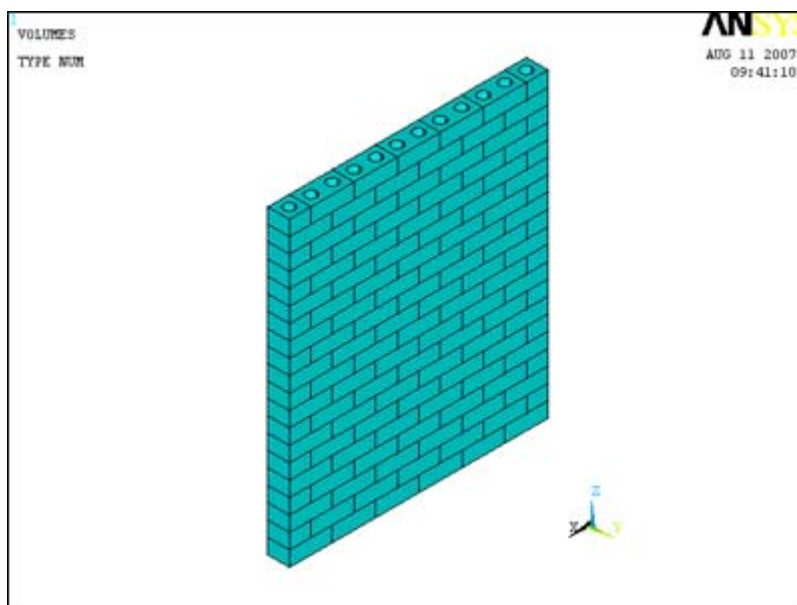


Figura 3.19 – Parede usada na modelagem numérica

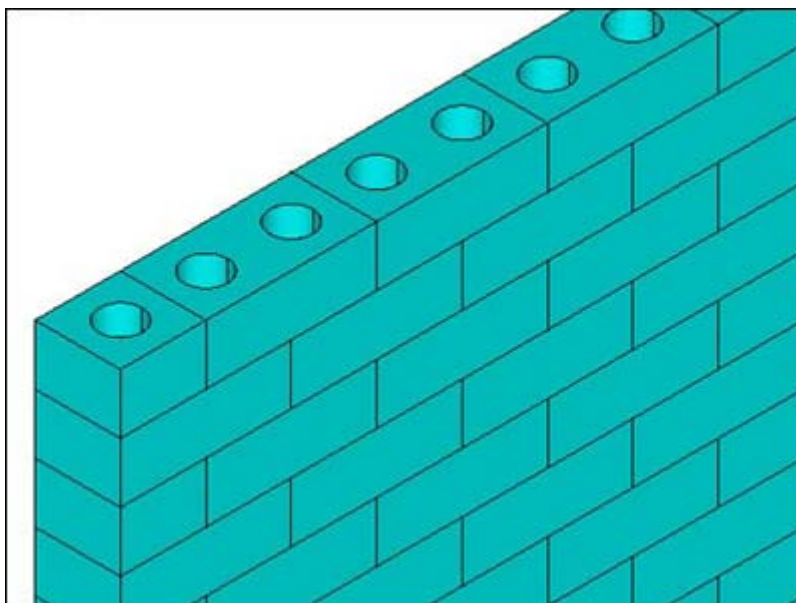


Figura 3.20 – Detalhe do meio bloco utilizado na parede

Da mesma forma analisada pelos elementos (bloco e prisma), foram confeccionados dois modelos de paredes, onde, no primeiro, restringiram-se os nós

do topo nas direções x e y. No plano de fundo, em todas as direções. Já o modelo dois restringiu igualmente ao primeiro modelo, além de restringir, em todas as direções, o encaixe dos blocos da primeira fiada.

3.10 Resumo das etapas e dos ensaios experimentais realizados nos blocos

A Figura 3.21 mostra o resumo dos ensaios realizados, de acordo com as etapas dos projetos. Legenda: (RES – resistência mecânica, ABS – absorção, DUR – durabilidade).

TIPO	1ª FASE	2ª FASE	ENSAIOS		
			RES	ABS	DUR.
BPQ	ETAPA-0		X		
		ETAPA-PMEC	X	X	X
		ETAPA-PMANUAL	X	X	X
SOLO-CIMENTO			X	X	X
CERÂMICO			X	X	X

Figura 3.21 – Resumo dos ensaios

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Introdução

Neste capítulo, serão descritos: a caracterização dos materiais, os resultados experimentais, as discussões e as conclusões pertinentes. Também são apresentados os resultados comparativos entre os modelos blocos x prismas e as simulações, envolvendo modelos de paredes, bem como os resultados numéricos.

4.2 Caracterização Física da Matéria Prima

4.2.1 Análise granulométrica

A Figura 4.1 apresenta a curva de distribuição granulométrica da massa argilosa utilizada para a confecção dos blocos extrudados assim como dos blocos prensados e queimados.

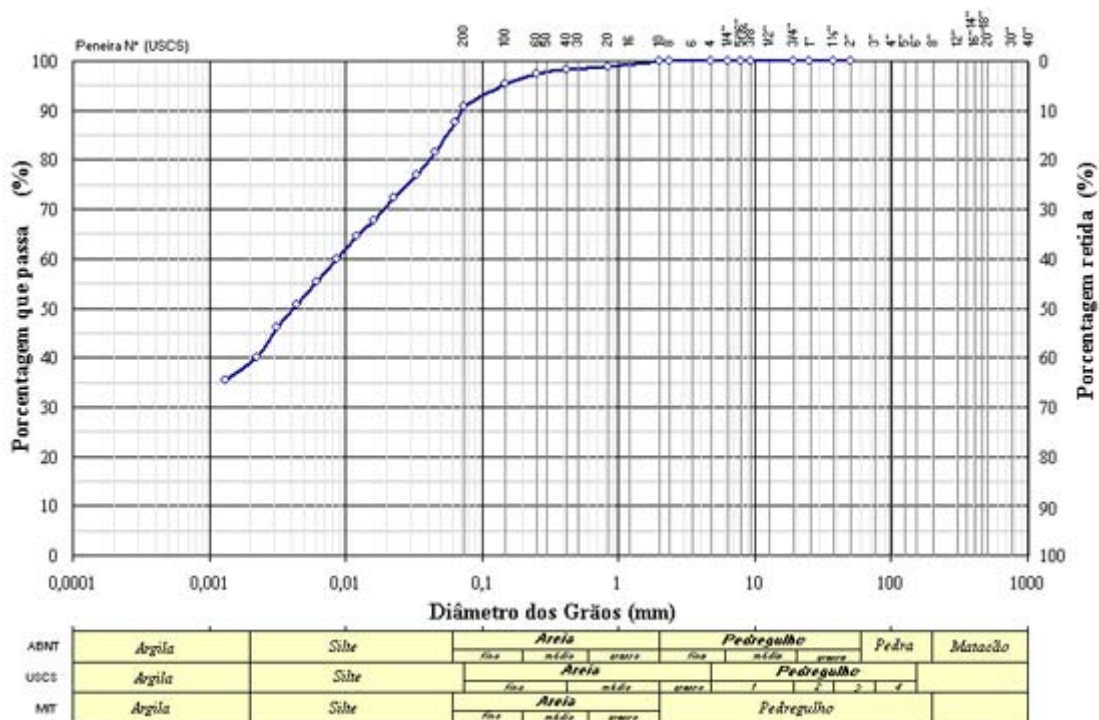


Figura 4.1 – Curva granulométrica do material usado.

Na Figura 4.1, são mostradas as proporções de argila, silte e areia respectivamente de 38,8%, 47,5% e 13,7%. Considerando os resultados de Souza Santos (1992), Alexandre (2000), Vieira (2001) e Paes Mothé (2004), no estudo de argilas, para aplicação em cerâmica vermelha e como pozolana, conclui-se que a massa argilosa possui faixa granulométrica recomendada para uso em cerâmica vermelha ($30\% \leq \text{fração argila} \leq 70\%$).

4.2.2 Índices de consistência

A Tabela 4.1 apresenta os resultados dos Índices de Atterberg em que a massa argilosa é indicada para uso cerâmico.

Tabela 4.1 – Índices de Atterberg

Índices	LL (%)	LP (%)	IP (%)
	59,5	30,2	29,3

4.2.3 Massa específica real dos grãos

O resultado médio de duas determinações da massa específica real dos grãos foi $2,81 \text{ g/cm}^3$. Observa-se que o valor ficou acima da faixa encontradas para as argilas da região conforme estudos realizados por: Alexandre, 1997; Alexandre, 2000; Paes Mothé, 2004 que encontraram valores entre $2,55$ a $2,77 \text{ g/cm}^3$. A diferença não é significativa e pode ser explicada pela adversidade de operação no ensaio.

4.3 Caracterização Química e Minerológica por Difração de Raios-X

A seguir são apresentadas, na Tabela 4.2, as composições químicas semiquantitativas da massa argilosa.

Tabela 4.2 – Teores químicos do material utilizado na confecção dos blocos cerâmicos e dos blocos prensados e queimados (% em peso).

Elementos	%
SiO ₂	46,5
Al ₂ O ₃	37,6
Fe ₂ O ₃	9,9
K ₂ O	2,3
TiO ₂	1,7
SO ₃	1,2
CaO	0,3

Observando os valores obtidos na Tabela 4.2 e segundo Xavier (2006), verifica-se que a quantidade de SiO₂ (46,50%) indica a provável presença de argilominerais tais como: caulinita (Al₂O₃. 2SiO₂. 2H₂O) e illita, bem como a provável presença de quartzo livre na amostra total. A quantidade de Al₂O₃ (37,60%) apresenta-se quase totalmente, formando argilominerais, podendo também ser devido a hidróxidos como gibsita (Al(OH)₃). O valor total de 84,10% (SiO₂ + Al₂O₃) indica o caráter refratário da matéria-prima.

A quantidade de óxido Fe₂O₃ (9,9%) caracteriza-se como agente fundente e indica a cor vermelha após a calcinação do material.

4.4 Estudo da Determinação da Umidade de Prensagem dos Blocos (BPQ) em uma Prensa Manual e em uma Prensa Mecânica

Os blocos prensados e queimados (BPQ) foram moldados em diferentes umidades de prensagem a fim de relacionar a umidade de prensagem e sua resistência à compressão. A umidade de prensagem variou, aleatoriamente, entre 13% e 34%.

A análise abaixo se fez necessária para que se encontrasse a “faixa de umidade de trabalho” sendo que esse parâmetro é essencial para o desenvolvimento do estudo.

Após moldagem, foram selecionados cinco blocos por faixa de umidade, os quais foram calcinados imediatamente no laboratório a 900°C, sendo a temperatura controlada por termopar. No caso dos blocos prensados mecanicamente, foram colocados em sacos plásticos, como demonstrado na Figura 4.2, para não perderem sua umidade de prensagem.



Figura 4.2 – Blocos empacotados para não perderem a umidade

4.4.1 Umidade x resistência mecânica (ETAPA – 0)

A Figura 4.3 apresenta os resultados dos ensaios de resistência mecânica, para a faixa de umidade de prensagem manual, citada acima, em uma prensa MTS-010.

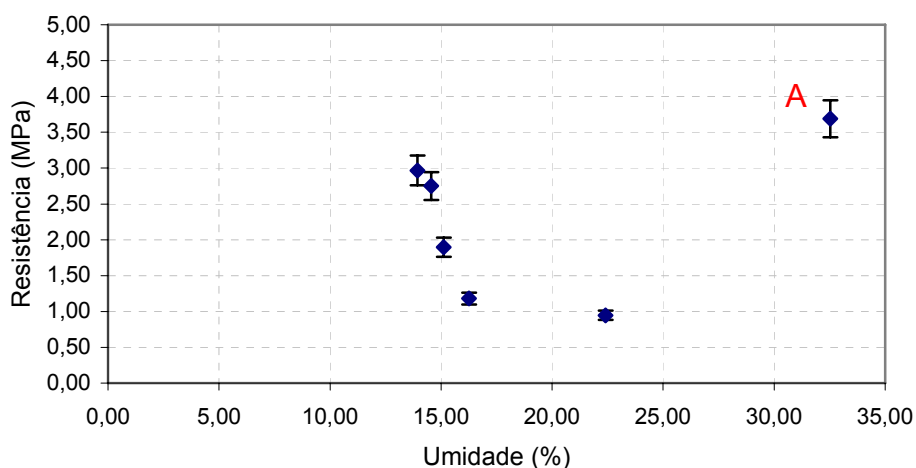


Figura 4.3 – Dispersão entre resistência e umidade - prensagem manual

Nota-se que, com um aumento de umidade, a resistência mecânica diminui. Observa-se também o ponto “A”, um ponto de dispersão, em que a umidade de prensagem foi muita superior às demais. Aumentando a resistência do bloco, porém, a estética desse bloco e outras características físicas (dimensões) foram muito comprometidas, já que esse bloco apresentou elevada porosidade.

Observa-se que a melhor umidade de prensagem foi de 13,8%, o que proporcionou uma resistência de 3MPa.

Quanto mais baixa a umidade na prensagem, maior a resistência da peça, visto que o material, colocado na forma, ocupará o maior espaço de agrupamento possível, preenchendo sem esforços extras o maior número de vazios, para posterior prensagem, a qual adensa o material formando a massa sólida.

4.4.2 Umidade x resistência mecânica (ETAPA – PMEC)

A Figura 4.4 apresenta os resultados encontrados em uma prensa mecânica modelo P-6, da marca MAN. Essa prensa é normalmente usada para fabricação de blocos em solo-cimento, com capacidade de prensagem de oito toneladas, em que o grau de compactação e a uniformidade das dimensões são de maior confiabilidade. Foram avaliadas três umidades de prensagem - 10%, 14%, e 15%. Em cada umidade, foram ensaiados cinco blocos e os resultados apresentados foram os valores médios. As umidades escolhidas se basearam na umidade de prensagem da ETAPA-0, já que, como demonstrado acima, a umidade ideal foi de 13,8%, então, buscou-se a faixa em torno desse valor. Na prensagem manual, não foi possível moldar os blocos abaixo dessa umidade devido à elevada força humana, porém a prensagem mecânica conforma com força muito superior a anterior, por esse motivo, foi escolhida uma umidade abaixo da ideal (proposta pela manual) e uma, acima da ideal umidade abaixo da faixa da manual.

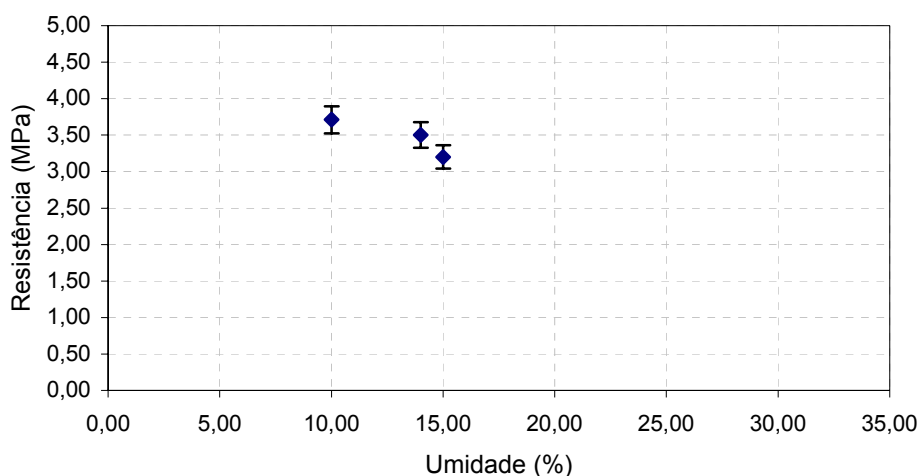


Figura 4.4 – Dispersão entre resistência e umidade – prensagem mecânica

Observa-se que, do mesmo modo encontrado na prensagem manual, a prensagem mecânica mostrou-se eficiente com a diminuição da umidade de prensagem. Comparando a prensagem manual (3,0 MPa) com a mecânica (3,7 MPa), a diferença da melhor resistência alcançada foi de 23,3%. Nota-se, também uma maior uniformidade entre as peças, com melhor acabamento e ressalta-se, ainda, a elevada produtividade do processo automático.

Com esse estudo preliminar, foi possível analisar a faixa de trabalho para moldagem dos demais blocos. A partir dessa avaliação foram moldados pela prensa manual, cerca de 1.000 blocos (ETAPA-PMANUAL), os quais fazem parte desse estudo. Novos ensaios foram realizados com este lote, em que se buscou trabalhar com a faixa de umidade para prensagem entre 13% e 15%.

Vale ressaltar que umidade de conformação, na prensagem manual, foi estabelecida a partir dos 13% devido aos esforços dos operadores em compactar o material, pois quanto menor a umidade, maiores os esforços de compactação.

4.5 Ensaio das Propriedades Mecânicas e Físicas dos Blocos Prensados e Queimados (ETAPA-PMANUAL)

Como já mencionado, os blocos (Figura 4.5) foram prensados em uma prensa manual e calcinados na cerâmica Arte Cerâmica, a uma temperatura de 900°C e umidade de prensagem de 13% a 15%.



Figura 4.5 – Blocos prensados e queimados ETAPA-PMANUAL

Desses blocos foram extraídas amostras, para os ensaios. Foram realizados ensaios de resistência mecânica, absorção, durabilidade e ensaios em prismas.

4.5.1 Ensaio de resistência mecânica em blocos prensados e queimados

Foram ensaiados treze blocos, segundo a NBR 15.270, com dimensões de (20x10x7)cm. Os resultados são apresentados na Tabela 4.3:

Tabela 4.3 – Resistência mecânica dos blocos prensados e queimados

Bloco	Resistência (MPa)	(Média; DP)
B1	2,94	(3,10 ; 0,41)
B2	3,91	
B3	3,24	
B4	2,28	
B5	2,99	
B6	3,05	
B7	3,13	
B8	3,56	
B9	3,48	
B10	2,98	
B11	3,16	
B12	3,45	
B13	3,00	

Como observado na Tabela 4.3, o valor médio obtido encontra-se dentro da norma, com média superior a 3 MPa.

4.5.2 Ensaio de absorção em blocos prensados e queimados

Foram ensaiados treze blocos, segundo a NBR 15.270, para a determinação da absorção d'água. A Tabela 4.4 apresenta os valores encontrados no ensaio.

Tabela 4.4 – Absorção dos blocos prensados e queimados

Bloco	Absorção (%)	(Média; DP)
B1	31,77	(31,85 ; 0,68)
B2	31,71	
B3	33,14	
B4	32,78	
B5	31,15	
B6	32,80	
B7	31,13	
B8	31,78	
B9	31,57	
B10	31,45	
B11	31,43	
B12	31,17	
B13	32,23	

Observa-se que a média da absorção d'água foi de 31,85% e o desvio padrão de 0,68, estando esse valor acima do proposto pela norma que é de 22%. Mesmo esse valor estando acima do recomendado, faz-se necessária a apuração de outras análises, para verificar a durabilidade do novo modelo.

4.5.3 Ensaio de durabilidade em blocos prensados e queimados

- Slake Durability

A Figura 4.6 apresenta a perda média de massa por ciclos de desgaste.

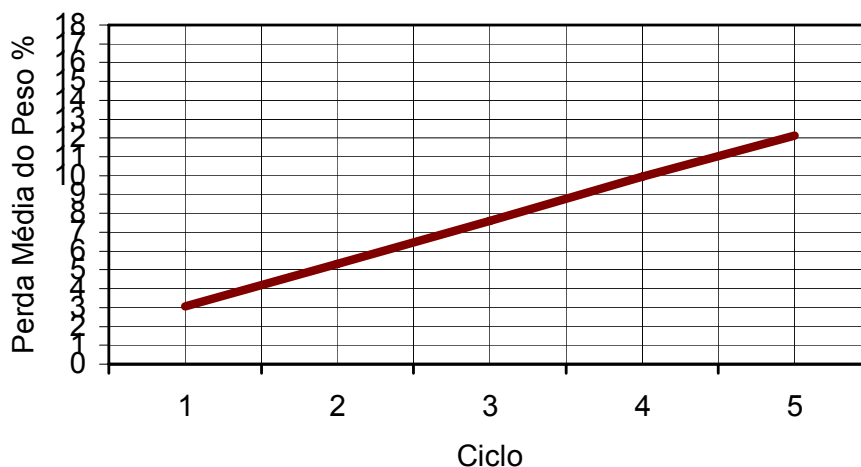


Figura 4.6 – Durabilidade referente aos ciclos de desgaste do Slake Durability do bloco prensado mecanicamente e queimado

Observa-se o aumento linear do desgaste, em blocos prensados mecanicamente, com o passar dos ciclos, chegando ao quinto ciclo com uma perda de 12,13% do seu peso inicial.

Na Figura 4.7, o desgaste em blocos prensados manualmente, apresentou um desgaste de 67%, muito acima do bloco mecânico. Isso pode ser explicado pela baixa energia de compactação.

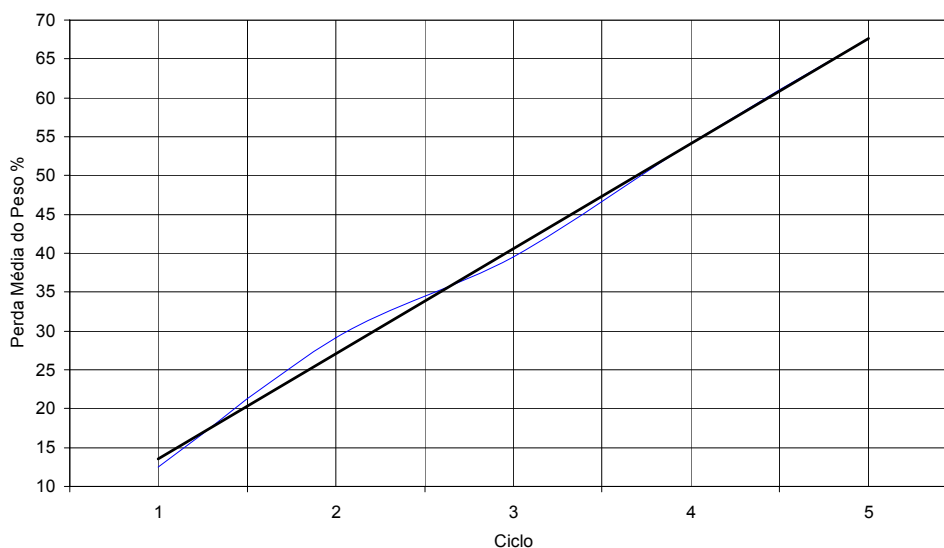


Figura 4.7 – Durabilidade referente aos ciclos de desgaste do Slake Durability do bloco prensado manualmente e queimado

Segundo a Tabela 3.1, apresentada no capítulo 3, a durabilidade do bloco prensado mecanicamente é classificada como medianamente alta, já o prensado manual, é classificado como durabilidade média.

O ensaio de desgaste pelo aparelho Slake, como já mencionado anteriormente, é utilizado para avaliar desgastes em rochas, portanto, faz-se necessária a apuração de outro ensaio de durabilidade, com o intuito de avaliar os valores encontrados e confrontá-los.

- Ciclos de Secagem e Molhagem

Avaliando o ensaio proposto pela norma DNER-ME 203/94, os blocos após queima foram pesados, secos em estufa ($105^{\circ}\text{C} \pm 5$) por 24h, novamente pesados, mergulhados em um tanque com água por mais 24h e depois pesados. obtendo-se assim: a massa inicial natural, a massa inicial seca e a massa úmida. Esse procedimento foi considerado como o primeiro ciclo de 48h. Em seguida, os blocos foram secos por 42h em estufa ($105^{\circ}\text{C} \pm 5$), pesados e novamente mergulhados em um tanque com água por mais 6h, em seguida, retirados e pesados, fazendo-se, assim, o segundo ciclo de 48h, repetindo-se o segundo ciclo por mais onze vezes. Entre a retirada do tanque e a pesagem não devem exceder a 3 minutos.

No final do ensaio, foram realizados 12 ciclos de 48h, entre secagens e molhagens, tendo sido pesados todos os corpos de prova entre as etapas dos ciclos. Após o último ciclo, secou-se o bloco por 24h em estufa ($105^{\circ}\text{C} \pm 5$), pesando-o e obtendo, desse modo, a massa final seca.

Fez-se, então, a razão entre a massa seca inicial do bloco menos a massa final seca com a massa seca inicial do bloco, para determinar o ganho ou perda de massa, como é apresentado na fórmula abaixo.

$$A = \frac{M_i - M_f}{M_i} * 100 \quad 4.1$$

A = Porcentagem de massa final (positivo = ganho de massa e negativo = perda de massa);

M_i = massa seca inicial do bloco;

M_f = massa seca final do bloco.

A Tabela 4.5 apresenta os resultados dos ensaios de ciclo de umidade, para os blocos prensados e queimados, manual e mecanicamente.

Tabela 4.5 – Resumo dos ensaios de perda de massa.

Bloco	Peso Seco (g)	Peso Seco Final (g)	Percentual final (%)	Média (%)
MANUAL	985	987	0,20	0,19
	955	955	0,10	
	901	901	0,22	
	906	906	0,22	
	936	936	0,21	
MECÂNICO	1181	1182	0,08	0,11
	1236	1237	0,08	
	1219	1221	0,16	
	1209	1210	0,08	
	1246	1248	0,16	

Pelo resultado dos ensaios de ciclos de secagem e umidade, observa-se a perda de 0,11% de massa, para os blocos prensados mecanicamente e de 0,19% para os blocos prensados manualmente, o que representa valores baixos de desgaste. Esse ensaio simula melhor as condições de retração e expansão provocadas pelo meio ambiente, quando comparado com o ensaio de durabilidade do aparelho Slake Durability.

4.5.4 Ensaio de resistência mecânica em prismas de blocos prensados manualmente

Foram ensaiados cinco prismas de blocos prensados e queimados manualmente, formados por três blocos prensados. Os resultados são apresentados na Tabela 4.6. A Figura 4.8 mostra o prisma sendo ensaiado.

Somente foram realizados ensaios com os blocos prensados manualmente, devido ao número reduzido de amostras dos blocos prensados mecanicamente. Portanto, para a comparação e cálculo de eficiência, foram usados como parâmetros

os resultado dos blocos prensados manualmente e dos prismas em blocos também prensados manualmente.



Figura 4.8 – Ensaio em prismas

Tabela 4.6 - Resultados dos ensaios nos prismas de blocos prensados e queimados

Bloco	Resistência (MPa)	(Média; DP)
P1	1,26*	
P2	2,42	
P3	1,95	(2,19 ; 0,21)
P4	2,28	
P5	2,1	

* descartado por problemas no ensaio.

Como descrito na Fórmula 2.1, no capítulo 2, a eficiência (η) entre o prisma e o bloco pode ser calculado. Assim sendo, achou-se um valor médio de 0,71 para a eficiência. Ainda nesse mesmo capítulo, a Tabela 2.4 mostra que a eficiência para materiais cerâmicos prisma/bloco, varia de 0,30 a 0,60. O valor mais alto encontrado pode ser explicado pela melhor distribuição de tensões dadas pelos encaixes.

4.6 Ensaio em Blocos de Solo-cimento

4.6.1 Resistência em blocos de solo-cimento

Os blocos foram prensados em um prensa hidráulica e separados de um lote comercial cedidos por uma empresa. Suas dimensões foram de (25x12,5x7) cm. Os resultados são apresentados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Resultados dos ensaios a compressão de blocos em solo-cimento.

Bloco	Resistência (MPa)	(Média; DP)
SC1	2,17	(2,04 ; 0,16)
SC2	1,77	
SC3	2,13	
SC4	2,05	
SC5	2,10	

Observa-se que os valores estão de acordo com a norma NBR 10.836, a qual exige resistência média de 2,0MPa e resistência individual superior a 1,7MPa.

4.6.2 Absorção em blocos de solo-cimento

Segue abaixo, na Tabela 4.8, os resultados do ensaio de absorção segundo a NBR 10.836, que preconiza que os valores médios devem ser inferiores a 20%

Tabela 4.8 - Resultados de absorção de blocos em solo-cimento.

Bloco	Absorção (%)	(Média; DP)
SC6	25,34	(24,18 ; 2,05)
SC7	26,30	
SC8	25,25	
SC9	22,41	
SC10	21,60	

Nota-se que o valor médio encontrado (24,18%) não está em conformidade com a norma.

4.6.3 Durabilidade em blocos de solo-cimento

- Slake Durability

A Figura 4.9 apresenta o desgaste sofrido pelo material em solo-cimento, o qual apresentou, no quinto ciclo, 17,42% de perda de massa média, quando comparado ao seu estado inicial.

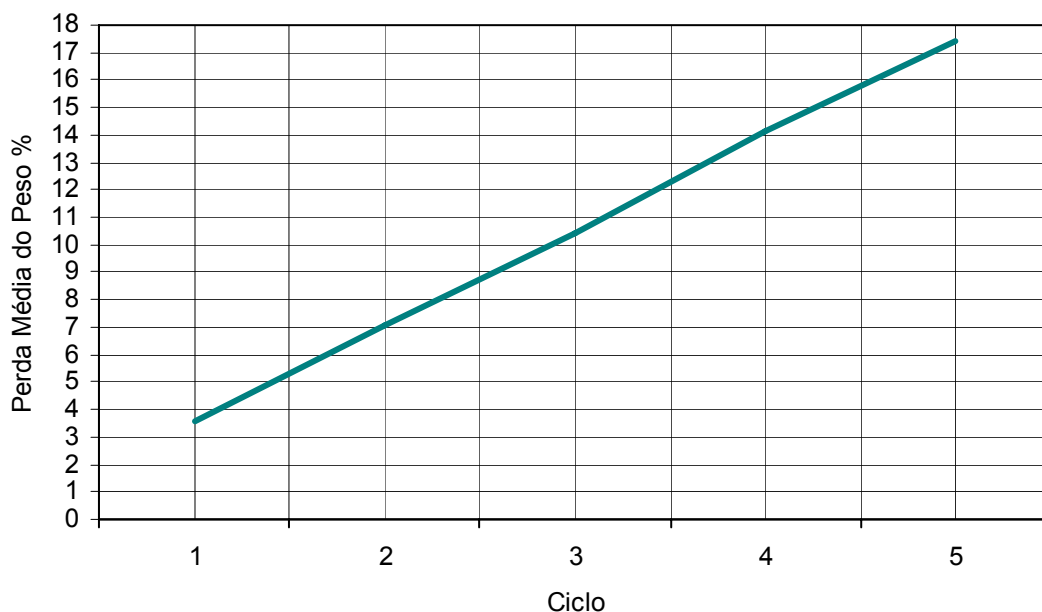


Figura 4.9– Desgaste dos blocos solo-cimento

Segundo a Tabela 3.1, apresentada no capítulo 3, a durabilidade do material é classificada como medianamente alta.

- Ciclos de Secagem e Molhagem

Da mesma forma que nos blocos prensados e queimados, fez-se o ensaio de durabilidade, com ciclos de secagem e molhagem, em que os valores são apresentados na Tabela 4.9 abaixo.

Tabela 4.9 – Resumo dos ensaios de perda de massa.

Bloco	Peso Seco (g)	Peso Seco Final (g)	Percentual final (%)	Média (%)
SOLO-CIMENTO	2257	2262	0,22	0,21
	2247	2254	0,31	
	2281	2285	0,18	
	2276	2279	0,13	
	2289	2294	0,22	

Observa-se a perda média de 0,21% de massa, diferente do bloco prensado que obteve valor inferior.

4.7 Ensaios em Blocos Cerâmicos Extrudados

4.7.1 Resistência em blocos cerâmicos

Foram ensaiados blocos de 14x19x29 cm, calcinados a temperaturas que variaram de 600°C a 1000°C. A Figura 4.10 mostra a variação da resistência à compressão simples versus a temperatura de queima, demonstrando resultados comparados com a área bruta e com a área líquida dos blocos, em tamanho real.

Verifica-se um aumento não proporcional das resistências em relação às temperaturas, isso pode ser devido ao aumento da temperatura, provocando a sinterização e densificando a massa, o que leva a uma elevação no valor da resistência.

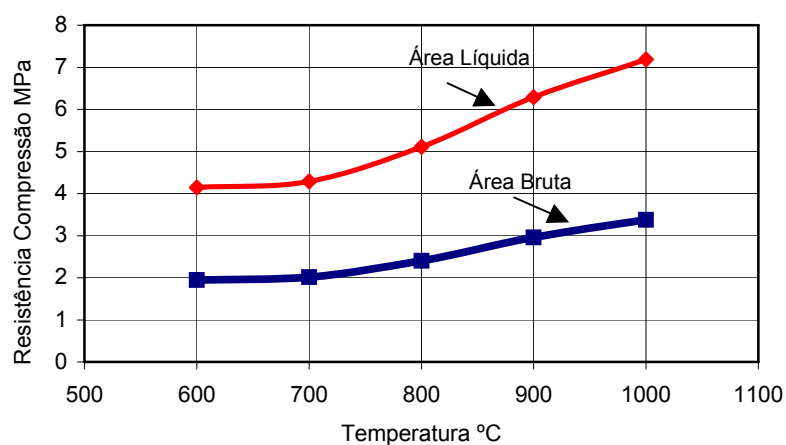


Figura 4.10– Resistência à compressão dos blocos

4.7.2 Absorção em blocos cerâmicos

A Figura 4.11 apresenta a variação da absorção d'água do material cerâmico com a temperatura de queima. Nota-se que, próximo aos 800 °C, a curva tem um ponto de inflexão, iniciando-se os processos de sinterização e recristalização de fases amorfas.

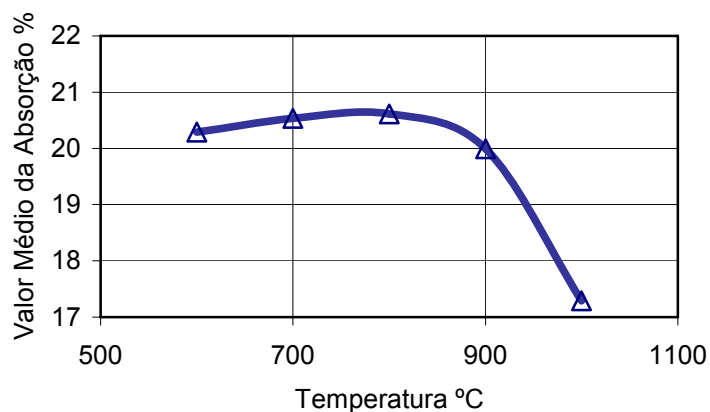


Figura 4.11 – Absorção média dos blocos

4.7.3 Desgaste em blocos cerâmicos

- Slake Durability

A Figura 4.12 apresenta a variação do desgaste para o 2º e 5º ciclos de ensaio. Nos resultados, nota-se uma homogeneidade no material queimado, pois seu desgaste foi proporcional ao aumento dos ciclos, demonstrando quase uma reta. As linhas de tendências do 2º e do 5º ciclo mostram o aumento da durabilidade com o aumento da temperatura de queima.

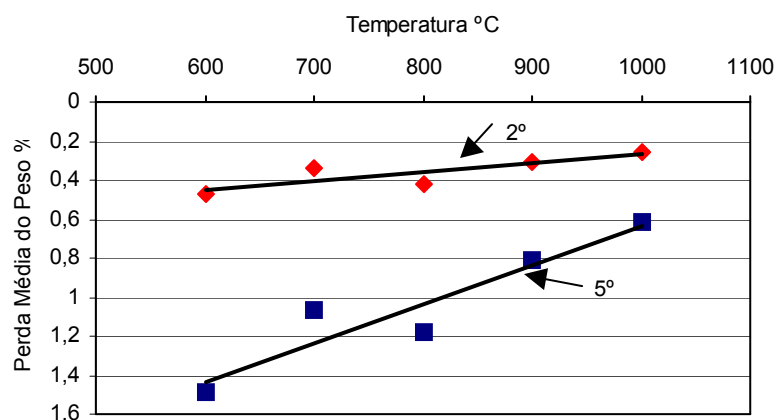


Figura 4.12 – Perda média do peso para 2º e 5º ciclos de desgaste

Considerando o sistema de classificação proposto por Gamble (1971), atualizado por Maia *et al.* (2002), nota-se que os materiais estudados possuem elevada durabilidade.

- Ciclos de Secagem e Molhagem

Os ensaios de ciclo de secagem e molhagem nos blocos cerâmicos são apresentados na Tabela 4.10.

Tabela 4.10 – Resumo dos ensaios de perda de massa.

Bloco	Peso Seco (g)	Peso Seco Final (g)	Percentual final (%)	Média (%)
CERÂMICO 600°C	4843	4852	0,19	0,19
	4731	4739	0,17	
	4865	4875	0,21	
	4875	4883	0,16	
	4789	4799	0,21	
CERÂMICO 700°C	4880	4888	0,16	0,18
	4784	4792	0,17	
	4712	4721	0,19	
	4838	4849	0,23	
	4823	4831	0,17	
CERÂMICO 800°C	4758	4766	0,11	0,17
	4780	4788	0,10	
	4727	4736	0,08	
	4851	4859	0,10	
	4789	4796	0,10	
CERÂMICO 900°C	4804	4811	0,15	0,14
	4683	4689	0,13	
	4747	4753	0,13	
	4824	4830	0,12	

	4780	4788	0,17	
	4796	4802	0,13	
	4839	4843	0,08	
CERÂMICO	4793	4796	0,06	0,09
1000°C	4775	4779	0,08	
	4804	4809	0,10	

A Tabela 4.10 apresentada relaciona o desgaste em função da temperatura de queima.

O desgaste decresce em relação ao aumento da temperatura, isso pode ser explicado pelo melhor poder de agrupamento e transformações ocorrido.

4.8 Comparação entre as Propriedades Físicas e Mecânicas dos Blocos Analisados

A seguir, são apresentados os resultados comparativos entre os modelos: bloco cerâmico extrudado (CER), bloco em solo-cimento (SC), bloco prensado e queimado (BPQ).

4.8.1 Ensaio de absorção

A Figura 4.13 apresenta as variações da absorção d'água dos materiais estudados.

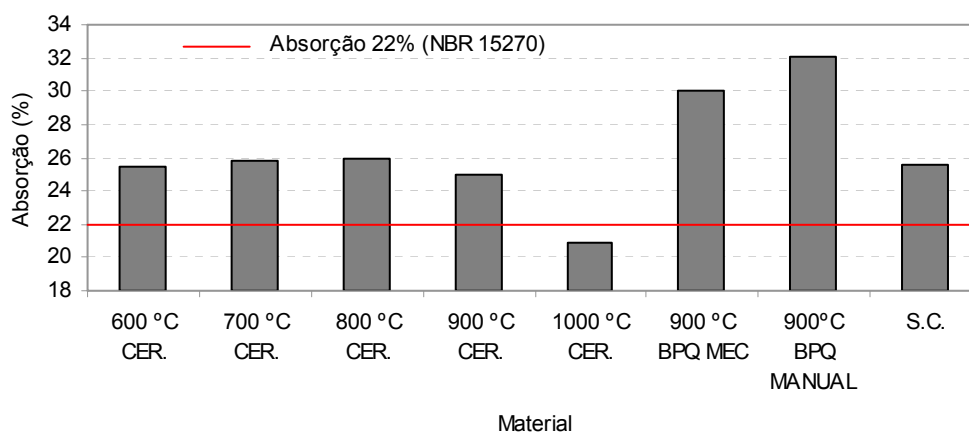


Figura 4.13 – Absorção média dos blocos

Nota-se que o bloco prensado e queimado (BPQ) a 900 °C apresentou maior absorção que os blocos cerâmicos (CER), queimados entre 600 °C e 1000 °C, e que os blocos de solo-cimento (SC).

Somente o bloco calcinado a 1000°C apresentou valores aceitáveis perante a norma, porém essa temperatura não é atingida na maioria das cerâmicas da região. Deve-se ressaltar que o fator absorção deve ser analisado com critérios mais específicos, antes de condená-los.

4.8.2 Ensaio de resistência dos blocos

A Figura 4.14 mostra a variação da resistência à compressão simples dos blocos ensaiados.

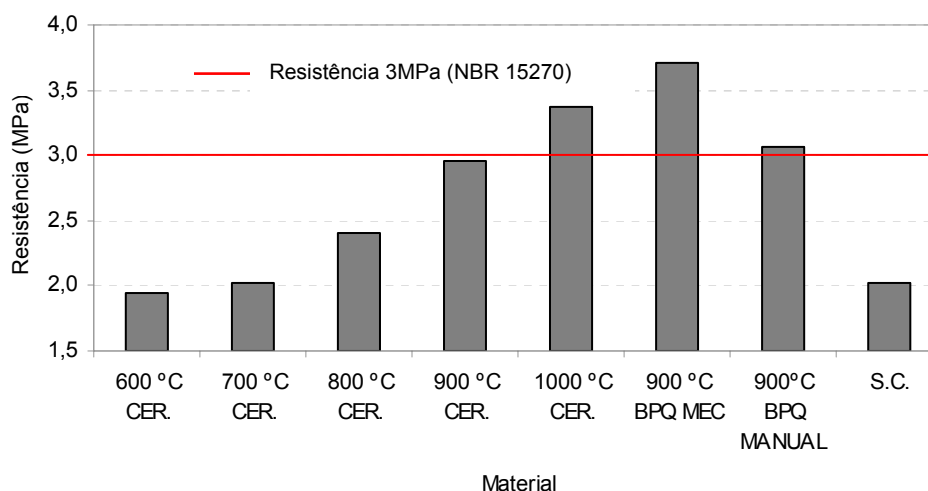


Figura 4.14 – Resistência média à compressão dos blocos

O aumento da temperatura provocou a densificação da massa no caso dos blocos cerâmicos extrudados, o que levou a uma elevação no valor da resistência. Observa-se também que o valor apresentado pelo bloco prensado e queimado (BPQ) superou os outros blocos da análise.

Comparando com os valores de absorção encontrados anteriormente, fica evidente que a resistência, no caso dos BPQ, provavelmente não está ligada à absorção de água, pois apresentou um valor elevado na Figura 4.13.

Somente na temperatura de 1000°C, o bloco cerâmico atingiu o valor aceitável pela norma, mas como já descrito anteriormente, essa temperatura não é normalmente aplicada nas indústrias cerâmicas da região.

4.8.3 Ensaios de durabilidade

- Slake Durability

A Figura 4.15 apresenta a variação do desgaste para o 2º ciclo e 5º ciclo de ensaio. Nos resultados, nota-se uma certa homogeneidade no material cerâmico, pois seu desgaste foi proporcional ao aumento dos ciclos. Nota-se, também, que o bloco BPQ (mecanicamente) e o bloco em solo-cimento apresentaram desgastes muito superiores aos blocos cerâmicos extrudados. Não foram incluídos, nessa figura, os blocos prensados manualmente, visto que seu desgaste foi muito superior aos demais estudados.

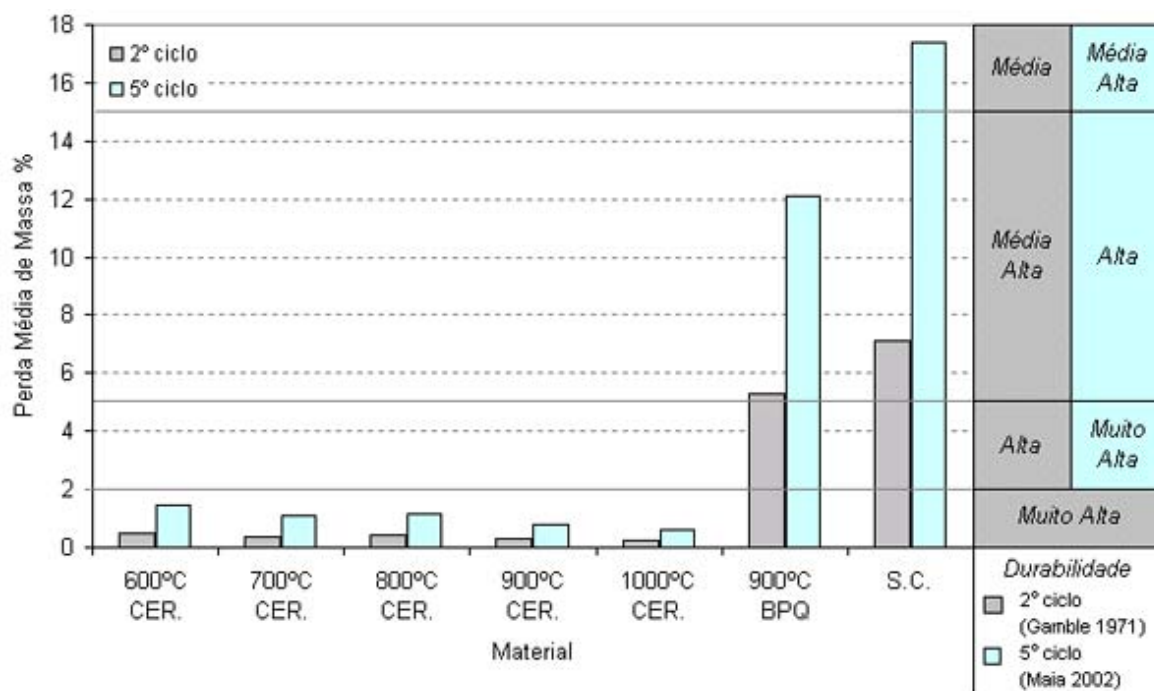


Figura 4.15 – Perda média do peso para 2º e 5º ciclo de desgaste

O bloco em solo-cimento obteve maior desgaste, quando comparado com os blocos prensados e queimados (mecanicamente), esse fato pode ser explicado pela melhor conformação e densificação (queima) da peça, quando comparado ao bloco

em solo-cimento. Pedroti *et. al.* (2006) apresentaram em seu trabalho que a durabilidade dos blocos cerâmicos está diretamente ligada à temperatura de queima, o que não pode ser afirmado, quando comparados com os blocos prensados. O bloco prensado mecanicamente se mostrou superior quanto à durabilidade, quando comparado com o bloco em solo-cimento.

Como pode ser observado, os resultados comparativos trazem a idéia das proporções de perdas, quando submetidos ao Slake. Mas, como já foi mencionado, esse aparelho (Slake Durability) é usado para medir desgastes em rochas e está sendo usado em caráter experimental, por alguns pesquisadores, em cerâmica, já que é um ensaio rápido e barato. Entretanto, os resultados não foram satisfatórios, para quantificar a durabilidade dos blocos, como pode ser observado pelos resultados dos ensaios de ciclos de umidades e vários casos reais que foram documentados na cidade de Campos dos Goytacazes-RJ, em que os blocos calcinados na faixa de temperatura entre 600°C e 700°C deterioraram-se, quando expostos ao tempo em um período de dois anos (Figura 2.1).

Sendo assim, outros métodos devem ser utilizados para essa qualificação e quantificação.

- Ciclos de Secagem e Molhagem

Para a comparação dos ensaios de ciclos de umidade, destaca-se a Figura 4.16.

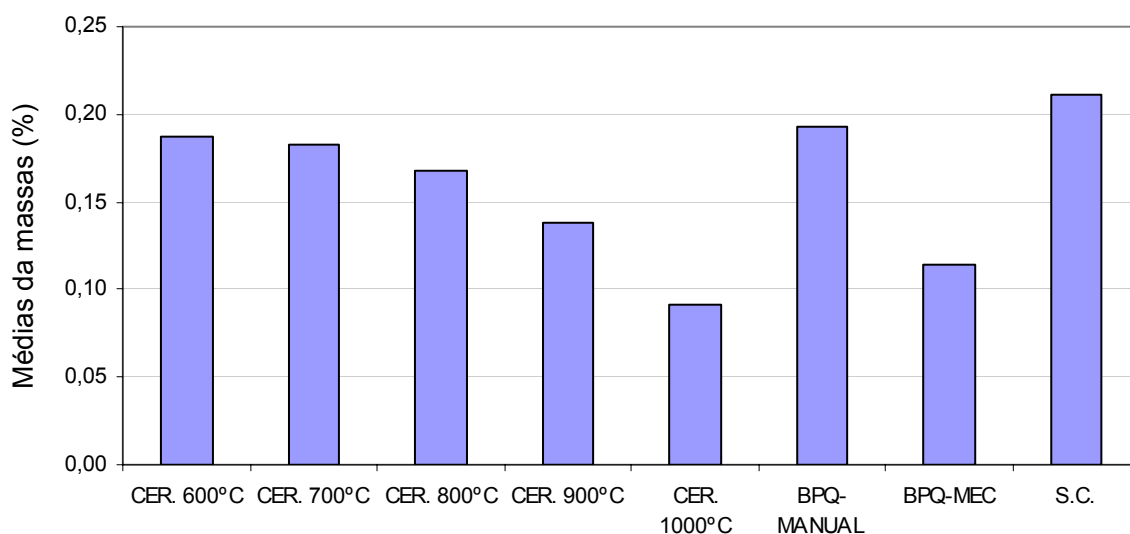


Figura 4.16 – Perda média por secagem e molhagem

A Figura 4.16 apresenta que os blocos cerâmicos extrudados têm a sua perda média diminuída com o aumento da temperatura de calcinação. Para os blocos BPQ (mecânicos e manuais) queimados a 900°C, a porcentagem média foi inferior ao apresentado pelo bloco em solo-cimento.

O BPQ-MEC ficou muito próximo dos valores encontrados nos blocos cerâmicos extrudados. A perda apresentada por todos os modelos de blocos é satisfatória, com variações muito baixas.

Os valores encontrados tanto pelo método de secagem e molhagem, quanto pelo Slake Durability, devem ser avaliados por maiores critérios, com verificações aprofundadas, a fim de avaliar qual a importância real dos valores encontrados e qual a ligação real da absorção, resistência e durabilidade, para os blocos prensados e queimados.

4.9 Modelagem Numérica

Os modelos analisados com o software Ansys 9.0 estão apresentados a seguir. A Tabela 4.8 apresenta o resumo de carregamentos e modelos utilizados, nas análises.

Tabela 4.8 – Resumo de carregamentos e modelos utilizados

Tipo	Modelo	Restrição	Peso Próprio	Carga utilizada (topo)
Bloco	MOD B01	Topo – x e y Base – x, y e z	Não	60 kN
	MOD B02	Topo – x e y Base – x, y e z Encaixe – x, y e z	Não	
Prisma	MOD P01	Topo – x e y Base – x, y e z	Não	44 kN
	MOD P02	Topo – x e y Base – x, y e z Encaixe do último bloco – x, y e z	Não	
Parede	MOD PAR01	Topo – x e y Base – x, y e z	Sim	250kN
	MOD PAR02	Topo – x e y Base – x, y e z Encaixe do último bloco – x, y e z		

Para os resultados das simulações apresentados abaixo, foram relacionadas, entre os modelos, as mesmas faixas de variações, tanto para o modelo de tensões, quanto para o modelo de deformações. Esse detalhe foi aplicado, com o intuito de visualizar as cores e comparar as diferenças presentes entre os dois modelos.

4.9.1 Bloco

MOD B01

As Figuras 4.17 e 4.18 apresentam as distribuições de tensões no bloco.

Tensões

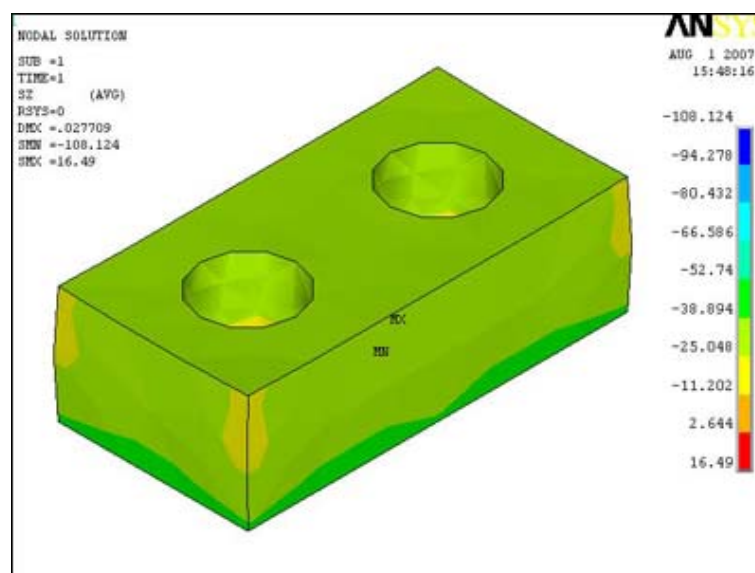


Figura 4.17 – Distribuição de tensões no bloco, vista superior

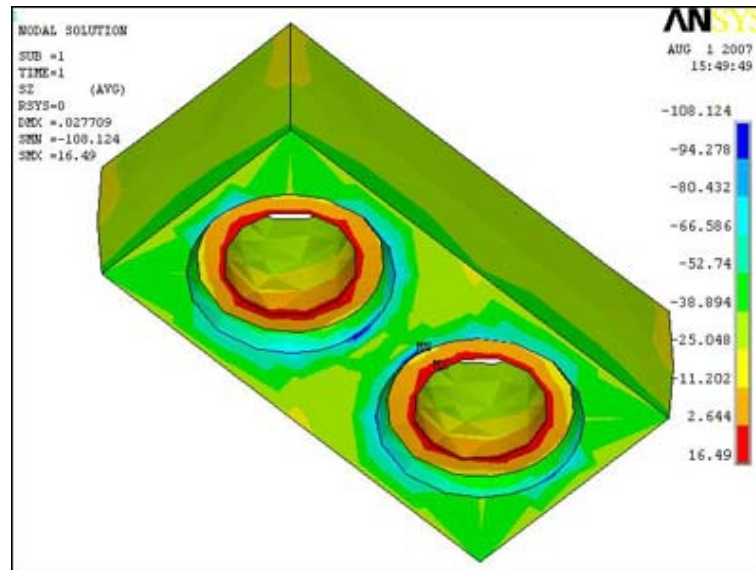


Figura 4.18 – Distribuição de tensões no bloco, vista inferior

Observa-se, na Figura 4.17, a concentração das tensões (cor verde escura) no fundo do bloco, já na vista inferior, a concentração indicada pela cor vermelha (tração) sinaliza a tendência de abertura dos furos, por esse motivo, fez-se a segunda observação para o MOD B02.

As Figuras 4.19 e 4.20 apresentam as deformações na direção z para o bloco. Nota-se a cor vermelha, que indica a deformação zero, já que o plano da base foi restringido. Nota-se a distribuição da deformação em relação à altura do bloco.

Deformações

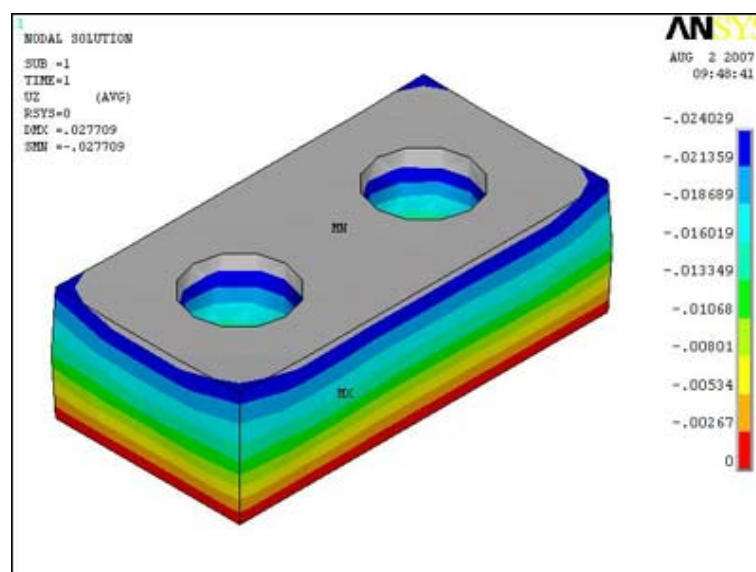


Figura 4.19 – Distribuição de deformações no bloco, vista superior

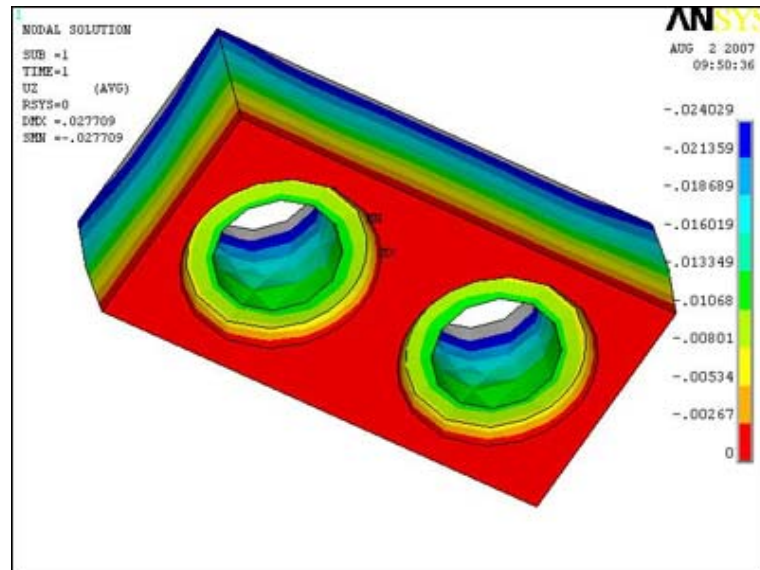


Figura 4.20 – Distribuição de deformações no bloco, vista inferior

MOD B02

Agora se faz a verificação da distribuição de tensões para o bloco com a restrição do encaixe do fundo, apresentada nas Figuras 4.21 e 4.22.

Tensões

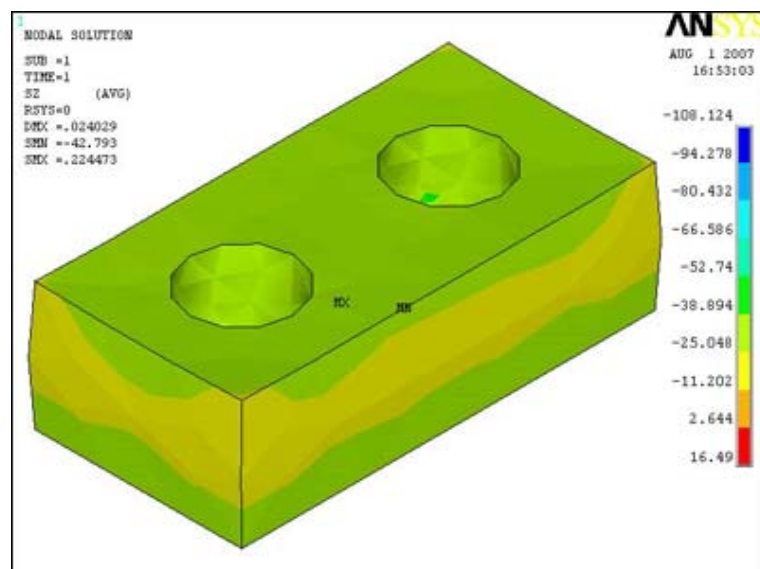


Figura 4.21 – Distribuição de tensões no bloco, vista superior

A restrição do encaixe possibilitou diminuir os valores das tensões, em que, na cor amarela, há distribuição de tensões na compressão por todo o bloco, que apresentou valores maiores no topo e na base.

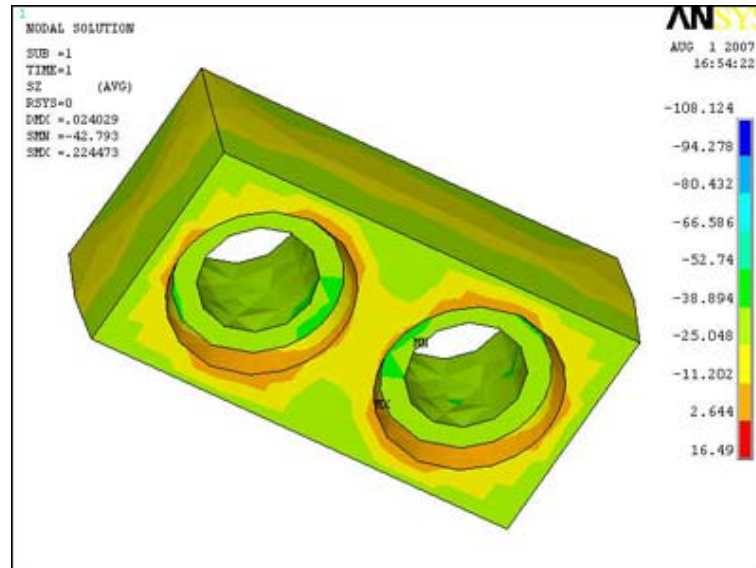


Figura 4.22 – Distribuição de tensões no bloco, vista inferior

A restrição do fundo e do encaixe apresentada na Figura 4.22 faz com que haja uma distribuição das tensões em volta do círculo, combatendo os esforços de tração, apresentados pela cor laranja.

Deformações

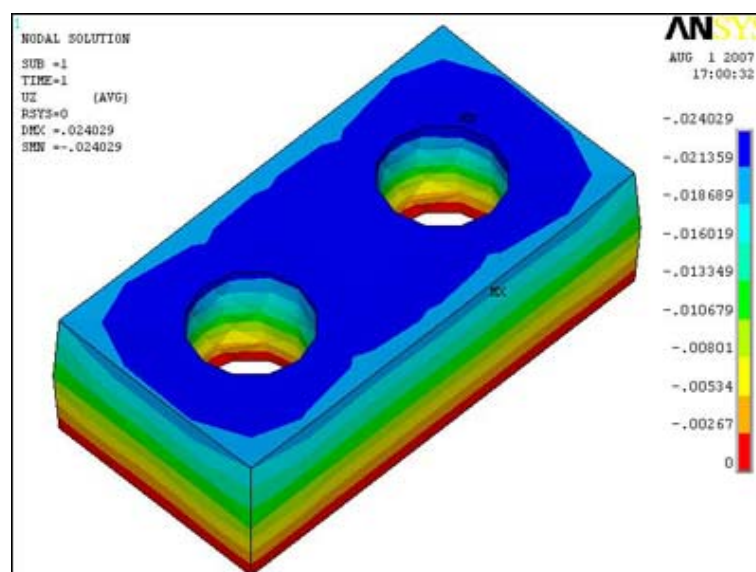


Figura 4.23 – Distribuição de deformações no bloco, vista superior

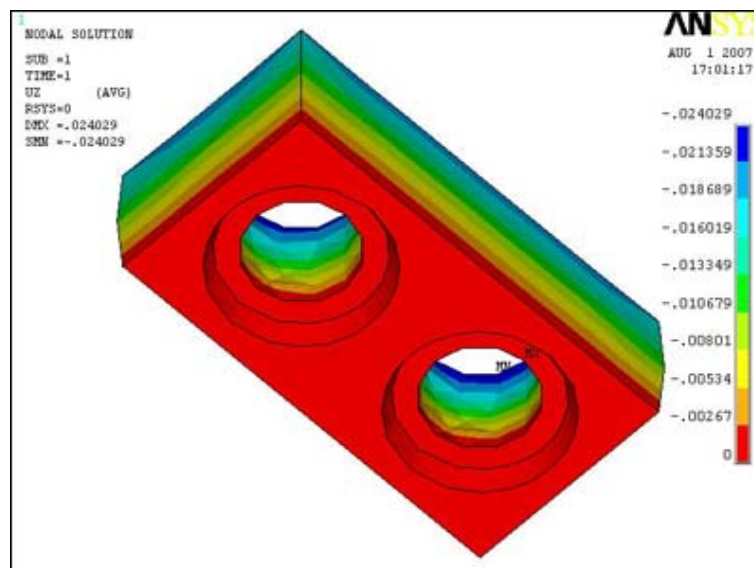


Figura 4.24 – Distribuição de deformações no bloco, vista inferior

A Figura 4.23 e Figura 4.24 apresentam os deslocamentos nos blocos, quando restringidos os encaixes.

4.9.2 Prisma

Da mesma forma apresentada pelos blocos, dois modelos numéricos foram avaliados para prismas formados por três blocos. O primeiro modelo MOD P01 com restrições somente no plano de fundo e no plano do topo, porém o modelo MOD P02, além dessas restrições, um incremento no encaixe, também o deixando restrito em todas as direções, simulando, assim, a atuação de uma argamassa de assentamento, no último bloco.

MOD P01

O primeiro modelo avaliado como apresentado na Figura 4.25 concentra tensões próximas à aplicação da carga (plano superior), não distribuindo para os outros blocos adequadamente.

Tensões

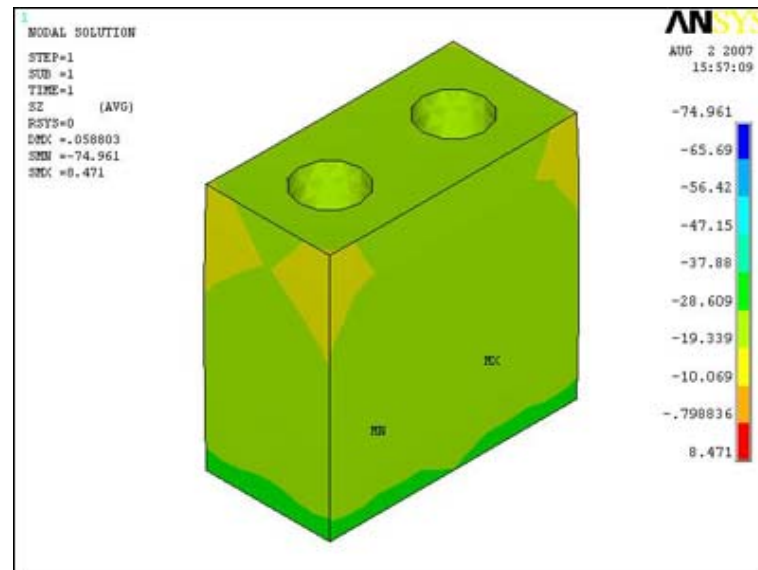


Figura 4.25 – Distribuição de tensões no prisma, vista superior

A Figura 4.26 apresenta a visão inferior do prisma, onde o encaixe não está restrito, nota-se a concentração indicada pela cor vermelha (tração).

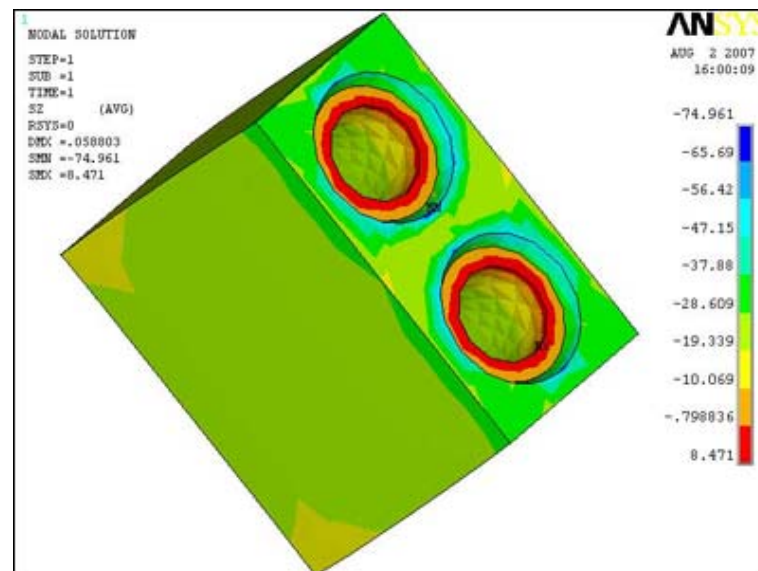


Figura 4.26 – Distribuição de tensões no prisma, vista inferior

Da mesma forma encontrada no bloco, o prisma apresentou concentração de tração no furo. O encontro das cores laranja e verde, apresentado nas quinas, são pontos de fraqueza, pois há diferença de esforços, provocando destacamento naquela região.

Deformações

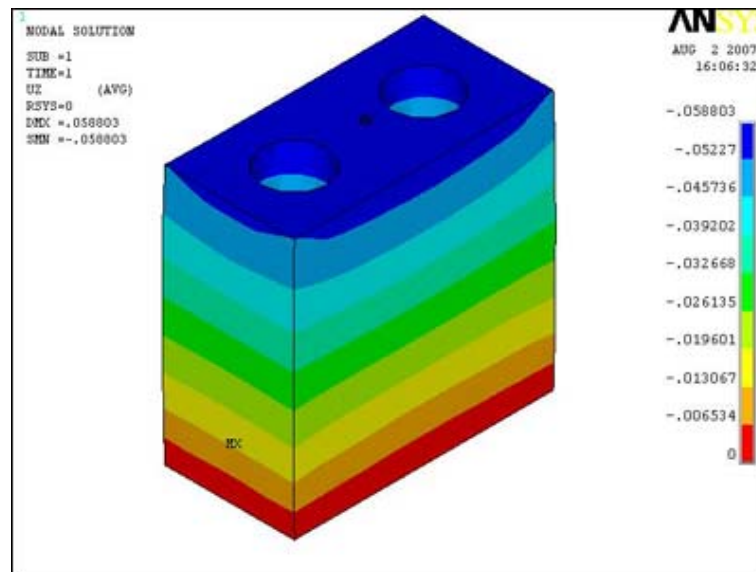


Figura 4.27 – Distribuição de deformações no prisma, vista superior

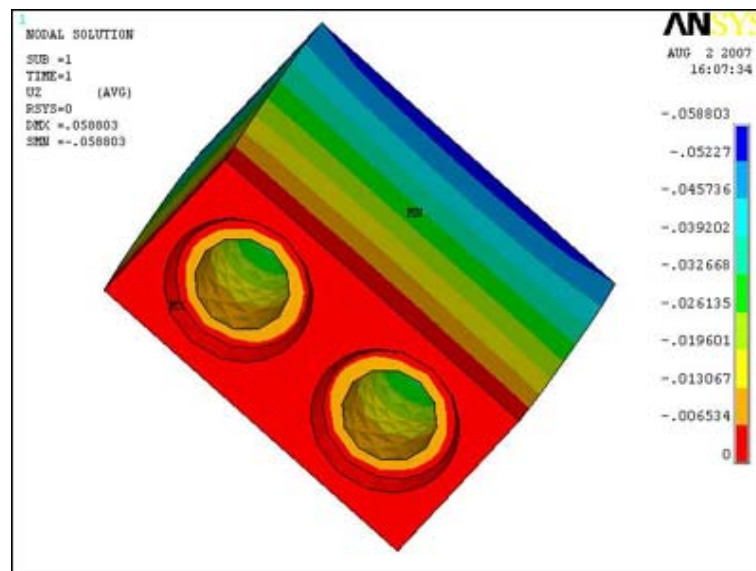


Figura 4.28 – Distribuição de deformações no prisma, vista inferior

Assim como encontrado no bloco, o prisma também se deformou proporcionalmente a sua altura, demonstrando uniformidade entre os blocos e encaixes sem imperfeições.

MOD P02

O novo modelo avaliado (Figura 4.29 e 4.30) apresenta a concentração de tensões próximas à aplicação da carga (cor verde), mas diferente do modelo anterior, surge o aparecimento de tensões da mesma ordem, próximas à base, porém a restrição do fundo diminuiu a tensão, não muito considerada na base do prisma. Na Figura 4.30, com concentração de tensões na base, há o aparecimento de uma auréola de tensões nos furos, que foram combatidas pela restrição imposta, alterando a distribuição dois valores, quando comparados com o modelo anterior.

Tensões

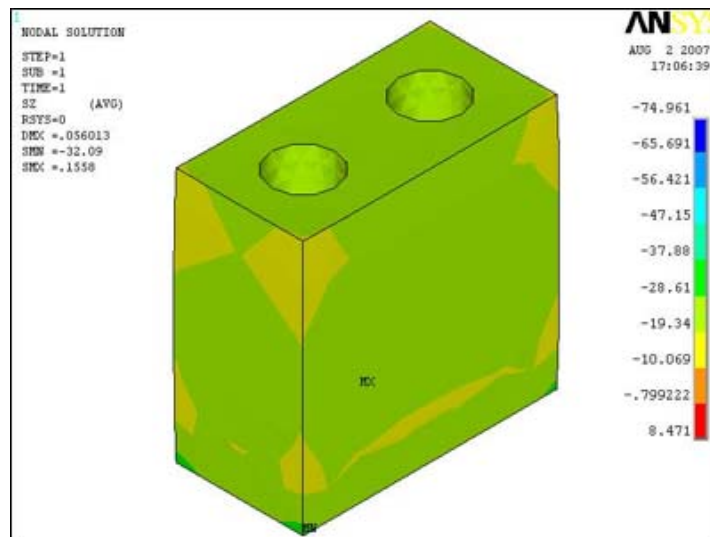


Figura 4.29 – Distribuição de tensões no prisma, vista superior

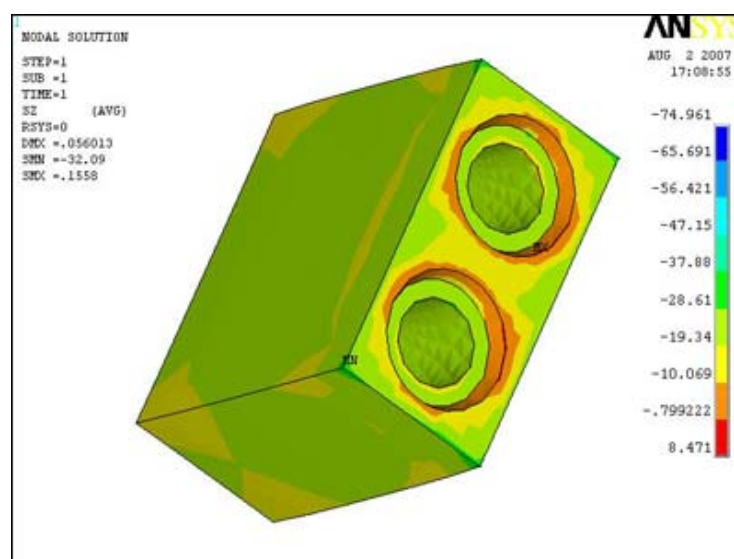


Figura 4.30 – Distribuição de tensões no prisma, vista inferior

Deformações

As Figuras 4.31 e 4.32 apresentam as deformações com vistas superiores e inferiores respectivamente. Da mesma forma que a anterior, as deformações se desenvolveram gradativamente pela altura. Comparando os dois modelos, a restrição conseguiu diminuir o valor da maior deformação, quando visualmente se compara os dois modelos.

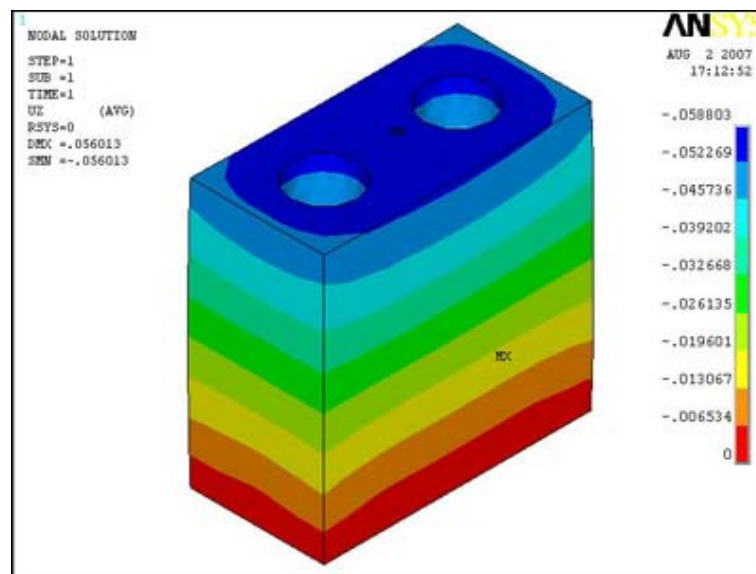


Figura 4.31 – Distribuição de deformações no prisma, vista superior

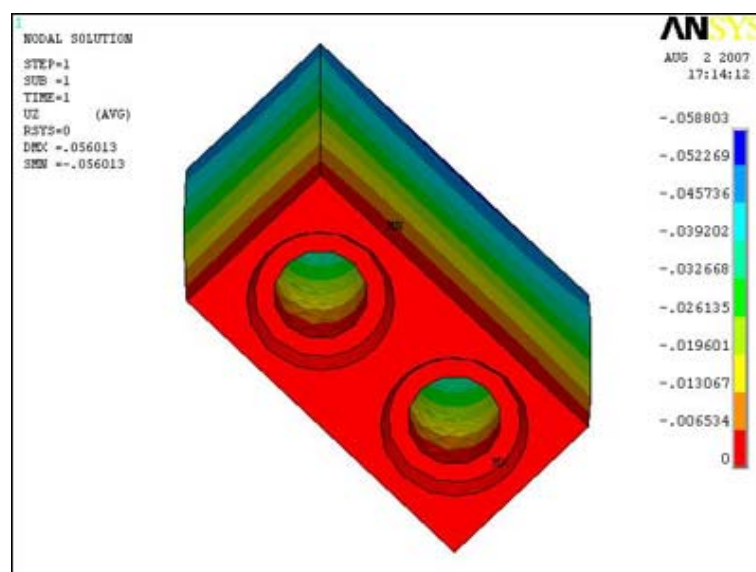
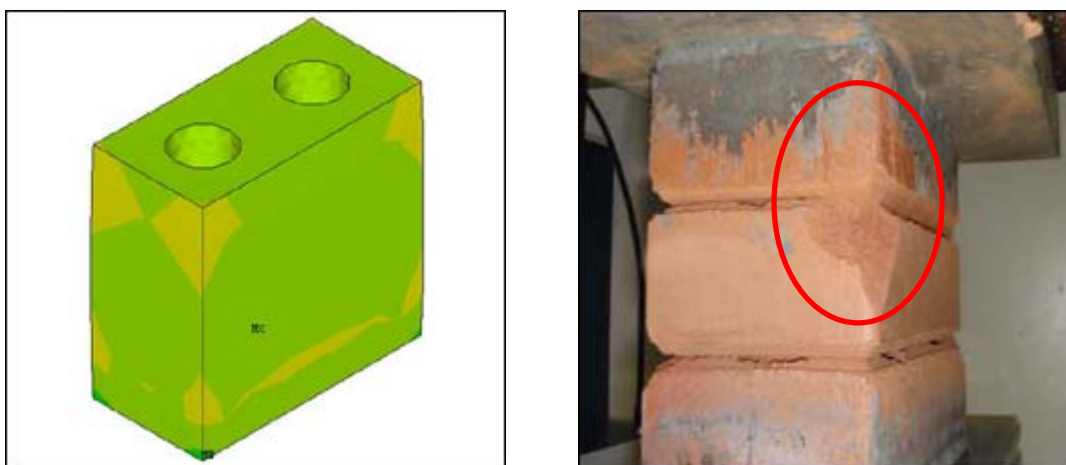


Figura 4.32 – Distribuição de deformações no prisma, vista inferior

Comparação entre o modelo numérico e o modelo experimental



a) prisma modelado no software ANSYS

a) prisma ensaiado no laboratório

Figura 4.33 – Resultados numéricos e experimentais

Faz-se necessária a comparação dos modelos, a Figura 4.33-a, apresentada, é o modelo que mais se assemelhou com o modelo proposto em laboratório. Esse modelo foi o MOD P02, que restringia o encaixe do fundo. A figura mostra ainda a concentração de tensões o que provoca naquele ponto ruptura do bloco, como apresentada na Figura 4.33-b.

Como a deformação ocorre gradativamente pela altura do bloco, a carga aplicada no topo deve ser distribuída igualmente pela área do bloco, para que não se concentrem esforços que provoquem rupturas não desejadas, ou não previstas.

A seqüência de imagens (Figura 4.34) abaixo demonstra as fases de ruptura do prisma.

Com a aplicação da carga, inicia-se a fissuração, como indica a seta da Figura 4.44-b, onde se concentram tensões que provocam à abertura da quina do bloco (Figura 4.44-c), posteriormente, a placa lateral do bloco intermediário se destaca (Figura 4.44-d), o que ocorre nas outras faces (Figura 4.44-e) e, finalmente, a Figura 4.44-f ilustra a ruptura total do bloco - nota-se o formato cônico na peça.

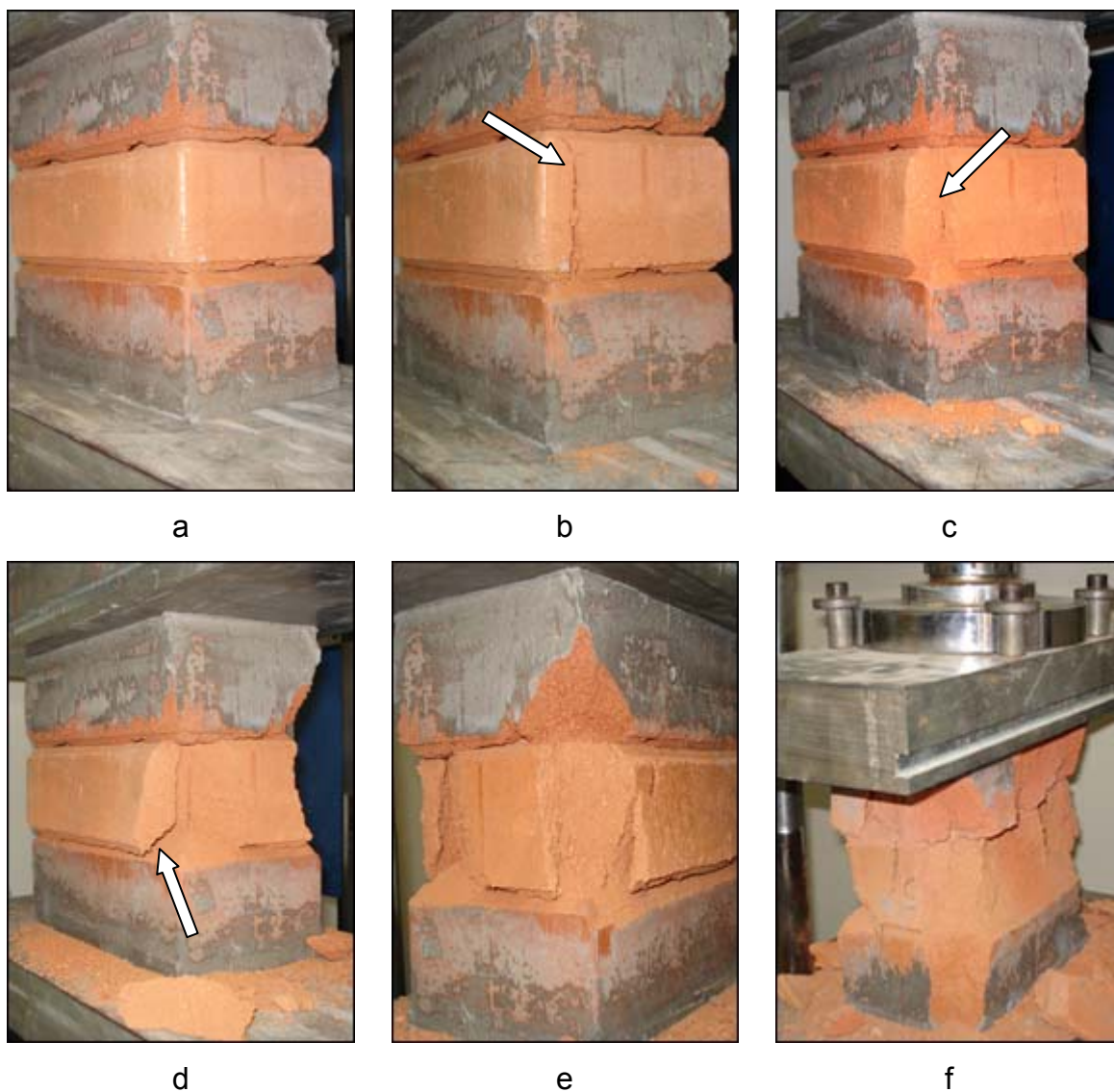


Figura 4.34 – Prisma sendo ensaiado

4.9.3 Parede

Para o cálculo da carga aplicada nas paredes, foram usados os parâmetros encontrados e apresentados na Tabela 2.3 em que a eficiência do bloco cerâmico variava de 0,3 a 0,5. O valor adotado seria de 0,5, correspondente à Tensão de 1,54 MPa, correspondente a uma carga aplicada de 185 kN, porém fez-se o uso de uma carga de 250 kN, pois esta última demonstrava melhor as distribuições de tensões na peça.

MOD PAR01

A Figura 4.35 apresenta o primeiro modelo, para um carga aplicada de 250 kN, sem restrição de deslocamento nos nós do encaixe da primeira fiada, simulando uma argamassa mais rígida que o bloco.

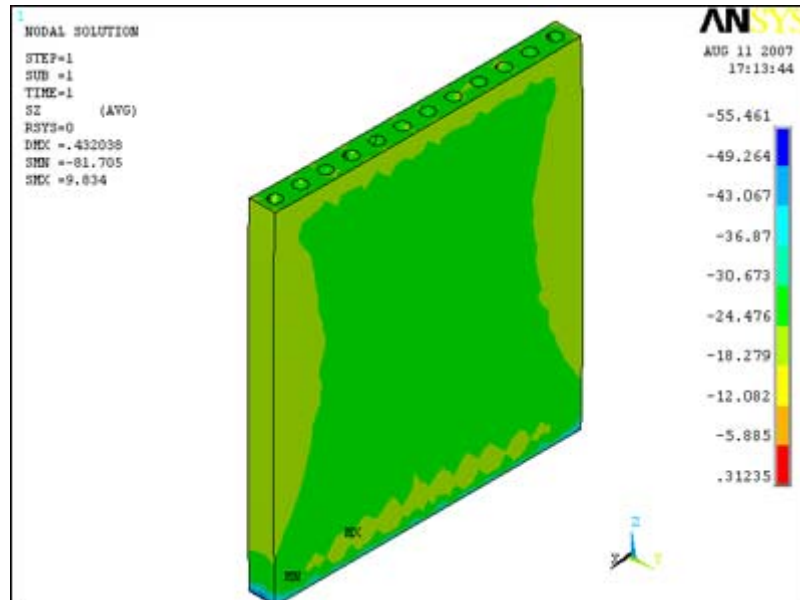


Figura 4.35 – Distribuição de tensões na parede – MOD01

MOD PAR02

A Figura 4.36 demonstra o segundo modelo, o qual foram feitas restrições no encaixe da primeira fiada.

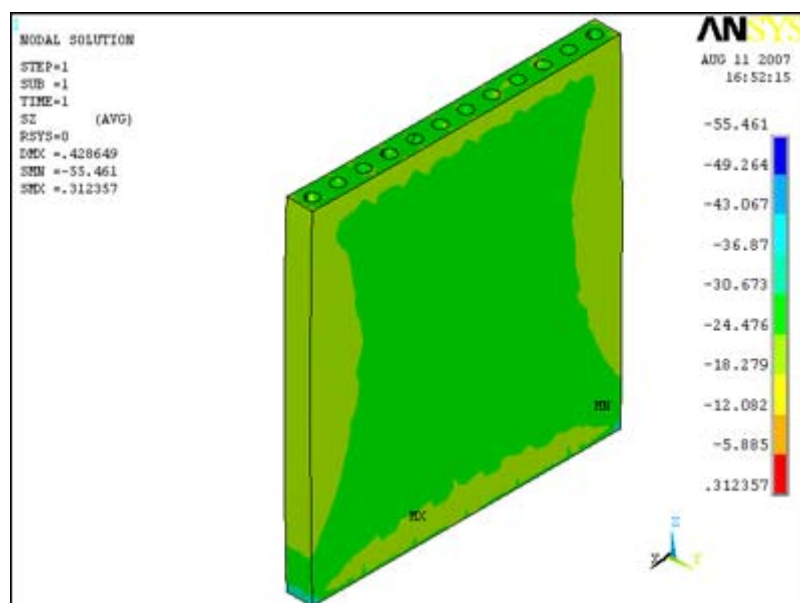


Figura 4.36 – Distribuição de tensões na parede – MOD02

As Figuras 4.35 e 4.36 apresentaram diferenças na distribuição de tensão, visto que a parte de baixo, na Figura 4.36, há uma concentração na distribuição de tensões, quando restringido o fundo, fazendo com que a parede se comporte como uma peça monolítica e as distribuições de tensões sejam satisfatórias para o sistema, já que a compressão da peça demonstra um modelo clássico de ruptura em forma de cone, rompendo a 45° . O encaixe distribuiu perfeitamente os esforços, o que traz, ao conjunto, a idéia de peça única.

A Figura 4.37 apresenta a deformação da parede em relação ao eixo Z. Pode-se observar a distribuição gradativa em relação à altura.

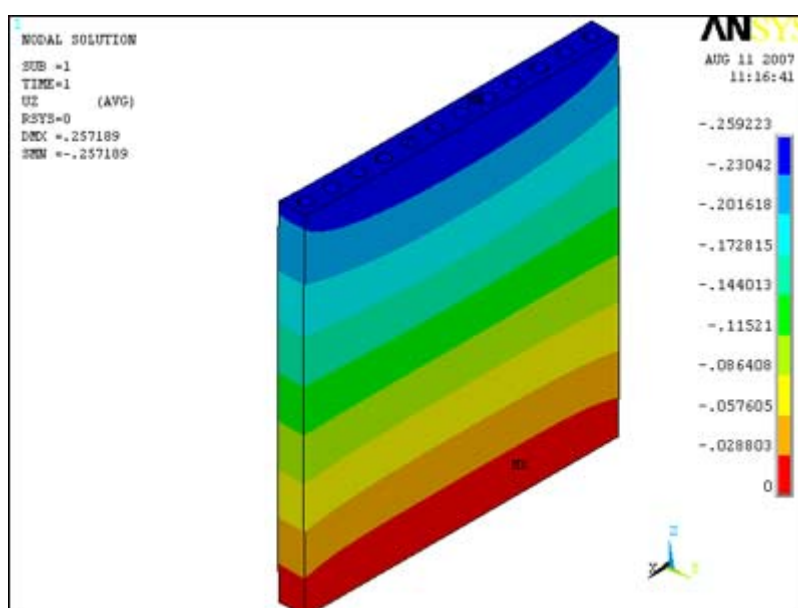


Figura 4.37 – Deslocamento – MOD02

A Figura 4.38 apresenta a comparação entre as paredes estudadas nos dois modelos quanto às deformações na direção Z. Observam-se as diferenças e o aparecimento de restrições de deformações na base no modelo 2 (cor verde), que diminuiu a cor azul (valor máximo de deformação) cerca de 5,6 mm. A deformação, predominante em cada peça (cor azul clara), variou entre 1,87 mm e 2,63 mm.

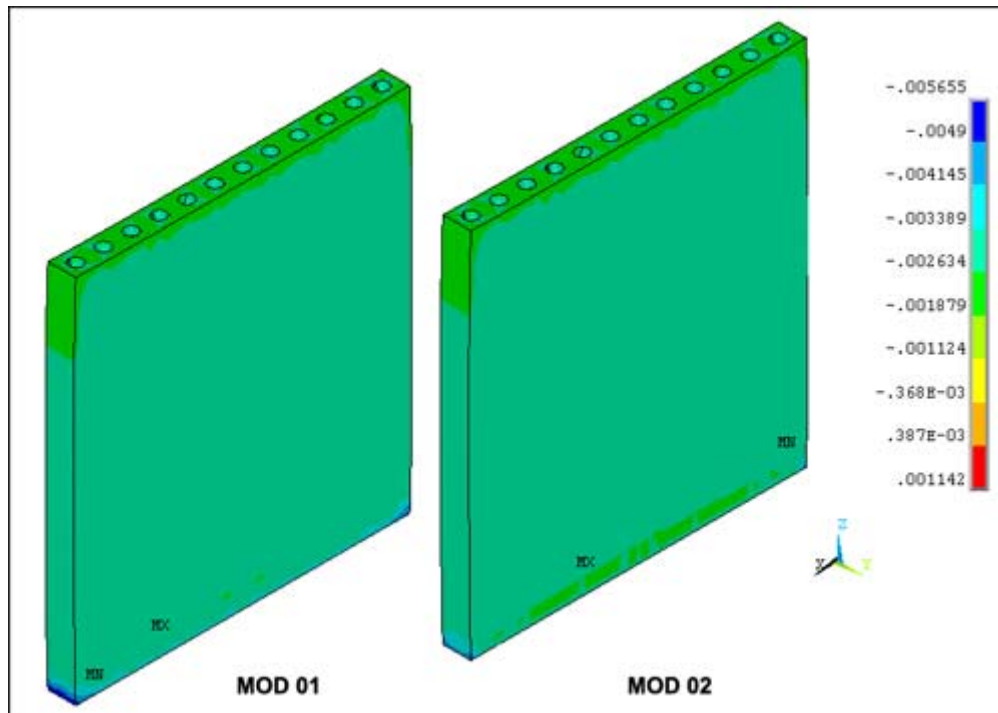


Figura 4.38 – Deformações

O modelo 02 diminuiu, na base, a deformação, linha verde, devido às restrições impostas nas bases.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Durante os estudos realizados, buscou-se avaliar os parâmetros físicos e mecânicos de um novo produto para ser usado como alternativa em edificações na construção civil. Dentre os itens avaliados, alguns podem ser enfatizados como de maior relevância:

- O novo produto (BPQ) atende aos valores de resistência mecânica, conforme preconizam as normas da ABNT e, para tanto, foram utilizados os ensaios de bloco e de prisma que são requisitos básicos para os cálculos estruturais;
- O bloco prensado e queimado agrega todas as características do modelo construtivo de encaixe, usado em solo-cimento, onde todas as morfologias já consagradas pelo uso do método, ao longo dos anos, podem ser perfeitamente ampliadas, tais como: formas de blocos e canaletas;
- Além das finalidades dos sistemas construtivos de encaixe, já utilizadas em blocos de solo-cimento, o novo produto mostra-se superior e poder ser produzido em larga escala em olarias, disponibilizando-se para o mercado da construção civil;
- Em relação aos blocos de solo-cimento, o BPQ, quando produzido em escala experimental, mostrou ser mais uniforme;
- Quando comparados os BPQ's com blocos extrudados, ambos produzidos com as mesmas argilas usadas nas olarias de Campos dos Goytacazes, observa-se que os valores de resistência dos BPQ's são superiores. Os BPQ's agregam também, ao processo produtivo, economia, pois dispensam a etapa de secagem usada no processo de extrusão;
- A técnica de construção com utilização de blocos de encaixe, adaptada do sistema já consagrado de solo-cimento, mostra ser um avanço em relação aos sistemas convencionais;
- Os valores de absorção de água tanto para blocos prensados de solo-cimento, como para blocos extrudados, mostraram valores superiores dos sugeridos pela norma. Entretanto, esse requisito deve ser mais bem avaliado, visto que a influência da absorção de água sobre a durabilidade e resistência dos materiais parece estar associada a propriedades físico-químicas, características de cada matéria-prima, que pode ser alterada pela temperatura de calcinação;

- Durante o processo produtivo dos BPQ's, observou-se que o sistema pode ser mais econômico e racional que o processo tradicional de extrusão, pois as peças, que apresentam problemas na moldagem, podem ser reaproveitadas como matéria-prima;
- Comparando o processo de queima dos blocos prensados com o dos blocos extrudados, pode-se observar que o patamar de queima é maior nos extrudados, pois estes necessitam de um maior tempo na pré-queima, já que apresentam maior umidade, mesmo após terem sido "secos" para serem calcinados;
- O ensaio do Slake Durability, não demonstrou a real durabilidade dos blocos, já que muitos blocos queimados em temperaturas entre 600°C e 700°C, quando expostos ao tempo, apresentaram problemas de deterioração acelerada;
- Observou-se, também, a influência da umidade de moldagem sobre a resistência dos blocos pós-queima.

A modelagem mostrou-se muito satisfatória, com resultados muito parecidos com o experimental. O sistema de encaixe permitiu a transferência de cargas para as demais peças, o que deu a idéia de ser uma peça única no caso da parede, isso pode ser explicado devido ao modelo clássico de ruptura a 45°. A opção de restringir a base, considerando que a argamassa é mais rígida que o bloco e não se deforma enquanto o bloco não romper, faz com que surja o aparecimento de novas distribuições de tensões, principalmente, próximas à base.

Perante a avaliação dos resultados, diante da realidade encontrada no dia a dia, o bloco prensado e queimado pode ser utilizado em construções de médio porte (2 a 3 pavimentos), com segurança, pois sua resistência mecânica garante tal aplicação.

O percentual de economia final de obra pode atingir até 25% no modelo constituído por blocos prensados e queimados, quando este é comparado com o modelo tradicional armado de construção.

Como sugestões para futuros trabalhos, podem ser estudados com maiores detalhes os seguintes temas:

- Absorção de água e a influência sobre a durabilidade, analisando-se as melhores técnicas para sua aplicação;

- Processos industriais que melhor se adaptem ao novo produto, usando maior produtividade e diversidade dos produtos, tais como: resistência mecânica, tonalidade das peças e novas morfologias;

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO, W. M. (2005) Caracterização de resíduo de corte de rochas na produção de argamassas. Dissertação (Mestrado) – Campos dos Goytacazes-RJ, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense.

ALEXANDRE, J. (2000). Análise de Matéria-Prima e Composições de Massa Utilizada em Cerâmica Vermelha. Tese de Doutorado em Ciências de Engenharia – Campos dos Goytacazes – RJ. Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF. 174p.

ALY, V.L.C. (1992) Determinação da capacidade e resistente do elemento parede de alvenaria armada de blocos de concreto, submetido a esforço de compressão. São Paulo. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, USP.

ANFACER. Produção e Consumo Mundiais. Mundo Cerâmico. Ano XII, num 102, p. 10-14, Nov/Dez 2004.

Associação Brasileira de Cerâmica (2006). Disponível em: <http://www.abceram.org.br>. Acesso em 21 dez. 2006

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP (1985). Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensa manuais. Publicações ABCP, São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP (1986). Dosagem das misturas de solo-cimento: normas de dosagem e métodos de ensaio. São Paulo, SP, ABCP, ET-35, 51p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP (1987). Solo-cimento na habitação popular. São Paulo, SP. ABCP, 2.a edição, EC-4, 14p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP (2002). Guia básico de utilização do cimento portland. BT-106, 7ª Edição, São Paulo, 28p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1983). Tijolos Maciços para Alvenaria. Especificações. NBR 7170. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1992). Bloco cerâmico para alvenaria. NBR 7171. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.270 Componentes Cerâmicos. Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação — Terminologia e requisitos, Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos e Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio, Rio de Janeiro, 2005.

ATKINSON, R. H., e NOLAND, J. L. Investigation into the failure theory for brick masonry in compression. In: 3rd Canadian Masonry Symposium, 1985, Edmonton, Canada, Proceedings. 1985, p. 5.1-5.17.

AZAMBUJA R. M. B.(2004) Comportamento mecânico e hidráulico de misturas de solo-cimento-bentonita para a aplicação em barreiras verticais de contenção de contaminantes. Tese de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, 115p.

BRITISH STANDART INSTITUTION Structural Use of Unreinforced Masonry. BS 5628: Part 1. BSI. London, 1978.

BRITISH STANDART INSTITUTION. Structural Use of Reinforced and Prestressed Masonry. BS 5628: Part 2. BSI. London, 1985.

BRITISH STANDART INSTITUTION. Materials and Components, Design and Workmanship. BS 5628: Part 3. BSI. London, 1985.

CAMACHO, J. S. e FUSCO, P. B. Influência do graute na resistência à compressão de prismas de blocos cerâmicos em diferentes escalas. In: 5th International seminar on Structural Masonry for developing Countries , 1994. Florianópolis : Universidade Federal de Santa Catarina e University of Edinburgh, ago. 1994. p. 168-175.

CASANOVA, F. J. (2004a). O solo como material de construção. Revista Habitare, Ano 4, Agosto.

COLVILLE J. e WOLDE –TINSAE, A. M. Modulus of elasticity of clay brick masonry. In: 9th international brick/block masonry conference, 1991 a. Proceedings. V2, p. 1136-1143.

CORRÊA, M. R. S.; RAMALHO, M. A. Procedure for the analysis of masonry buildings under vertical loads. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 6, 1994, Florianópolis. Universidade Federal de Santa Catarina, 1994. p. 305-374.

CORRÊA, M. R. S.; RAMALHO, M. Projeto de Edifícios de alvenaria estrutural. ed:1. São Paulo. Editora PINI, 2003.

DHANASEKAR , M. E KUMAR, M. Parametric studies on the strength and stiffness of reinforced clay block masonry. In: 10th international brick/block masonry conference, 1994 a. Alberta , Canada, 1994, Proceedings. V1, p. 97-106.

DOAT, P.; HAYS, A.; HOUBEN, H.; MATUK, S.; e VITOUX, F.(1990) Construir con Tierra, Fondo Rotorio Editorial, Tomo I, Bogotá, Colômbia, pág.221.

EMBRAPA (1999) Sistema brasileiro de classificação de solos – Brasília Embrapa Produção de Informação, Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 412p.

FASSONI, D. P. (2000b) Desenvolvimento de um processo racionalizado de construção em adobe para habitações de baixo custo. Relatório Final de Pesquisa FAPEMIG TEC 1020/96, DEC/UFV, 49p.

FIQUEROLA, V (2004). Alvenaria de solo-cimento, Revista Técnica, Editora Pini, São Paulo-SP, Nº 85, Abril.

FRASCA, M.H.B.O. (2005). Durabilidade e Alterabilidade em Rochas Ornamentais e para Revestimento. Revista Rochas de Qualidade. Edição 180: pág. 178-188.

FREIRE, W.J. (1976). Tratamento prévio do solo com aditivos químicos e seu efeito sobre a qualidade do solo-cimento. Piracicaba: Universidade de São Paulo - ESALQ, 142p. Tese Doutorado

GALLEGOS, H. (1989) Albenileria Estructural. Pontificia Universidad Católica do Peru. Fondo Editorial.

GAMBLE, J. C., (1971), Durability-plasticity classification of shales and other argillaceous rock. Ph. D. Thesis. University of Illinois.

GARCIA, P. D. (2000) Contribuições ao estudo da resistência à compressão de paredes de alvenaria de blocos cerâmicos. São Carlos. 115p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Gestão de resíduos sólidos (2005). Disponível em: <http://www.ibam.org.br> . Acesso em 01 abr. 2005

GOMES, N. S. (1983) A resistência das paredes de alvenaria. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1983, 190p.

HAMID, A. A. e Drysdale, R. G. "Suggested failure criteria for grouted masonry under axial compressive". American Concrete Institute journal, 1979, 76, nº 10, p. 1047-1061.

HILSDORF, H. R. "Investigation into the failure mechanisms of brick masonry loaded in axial compression". Designing, Engineering and construction with masonry product. Houston, Texas, Gulf Publishing Co., 1969, p. 34-41.

HENDRY, A.W. (1981) Structural Brickwork. The Mac-Millan Press.

LIMA, T. V. (2006) Estudo da produção de blocos de solo-cimento com matérias-primas do núcleo urbano da cidade de Campos dos Goytacazes – RJ. Tese de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF

LOPES, W. G. R. (2002), Solo-cimento reforçado com bambu: características físico-mecânicas. Dissertação de Doutorado, Campinas, SP, UNICAMP, 158p.

LOURENÇO, P.J.B.B. (1996). *Computational strategies for masonry structures* Delft, The Netherlands, Delft University Press.

MAIA, P.C.A.; PINHEIRO, A.D.; ALEXANDRE, J. (2004). Avaliação da Durabilidade de Materiais Cerâmicos da Região de Campos dos Goytacazes. Anais do 48º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Curitiba – PR. 12p.

MONK, C.B.JR. A Historical Survey and Analyses of the Compressive Strength of Masonry. Research report No. 12, Structural Clay Products Research Foundation, Geneva, Ill. (1967).

NONI Jr, A. (2005) Modelagem matemática aplicada ao controle dimensional de placas cerâmicas de monoqueima processadas por via úmida. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) apresentado pelo Curso de Pós graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

PAGE, A. W. e SHRIVE, N. G. "A critical assesment of compression tests for hollow block masonry". *Masonry International journal*, 1988, nº 2, v2, p. 64-70.

PAES MOTHÉ, L. (2004). Avaliação das Condições Ideais para a Produção de Metacaulinita através da Análise da sua Atividade Pozolânica. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Campos dos Goytacazes-RJ. Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF. 86p.

PEDROTI, L. G.; ALEXANDRE, J.; MAIA, P. , (2006), Estudo do efeito da temperatura de queima na durabilidade de blocos cerâmicos estruturais. Anais do 50º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Blumenau – SC 2006.

PFEFFERMAN, O. (1968). Les fissures dans les constructions conséquence de phénomènes naturels. Annales de L'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, v.21, n.250, p.1453-82, oct. 1968.

PINTO, C. S. (2000). Curso básico de mecânica dos solos. São Paulo, SP.

PITTA, M. R. (1995) Estabilização com solo-cimento. Revista Techne, Editora Pini, São Paulo-SP, Nº 17, Julho/Agosto. BUENO B. S.; VILAR O. M. (1980) Mecânica dos Solos. Apostila nº 69, Imprensa Universitária, UFV, Viçosa-MG, 131p.

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

PRUDÊNCIO JR., L.R. (1986) Resistência à compressão da Alvenaria e Correlação entre Resistência de Unidades, Prismas e Paredes. Porto Alegre. 123p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ROLIM, M. M.; FREIRE, W. J.; BERALDO, A. L. (1999) Análise comparativa da resistência à compressão simples de corpos-de-prova, tijolos e painéis de solo-cimento, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.3, n.1, p.89-92, Campina Grande, PB, DEAg/UFPB.

ROSS, P. J. (1991) Aplicações das Técnicas Taguchi na Engenharia da Qualidade. 4ª ed. McGraw-Hill, São Paulo.

SANT'ANA, M. V. P.; DESIR J. M.; ALEXANDRE J. ; SABOYA, F. A. JR. Influência da Morfologia na Distribuição de Tensões em Blocos Cerâmicos de Alvenaria Estrutural. Anais do 50º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Blumenau – SC 2006.

SANTOS, P. S. (1989). Ciência e Tecnologia de Argilas, Volume 1, 2ª Edição, Editora Edgard Blücher Ltda. 408p.

SABBATINI, F.H. (1984). Processo construtivo de edifícios de alvenaria sílicocalcária. São Paulo. 298 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SCHNEIDER, R.R. DICKEY, W.L. (1970) Reinforced Masonry Design. Englewood Cliffs, U.S.A. Prentice Hall.

SHALIN, S. (1971) Structural Masonry. Englewood Cliffs, U.S.A., Prentice Hall.

SILVA, M. R. (1994) O solo-cimento, In: Bauer L. A. F., 5ª Edição, Materiais de Construção, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 1994, Cap. 24, p. 704-729.

SILVA, W. J. (2003). Estudo experimental de ligações entre paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos sujeitas a ações verticais. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista.

SOUZA SANTOS, P. (1992). Ciência e Tecnologia das Argilas. 3ª Ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda. Vol. 1, 499p.

THOMAZ, E. (1989). Trincas em edifícios: causas prevenção e recuperação. São Paulo. PINI.

VALENCIANO, M. D. C. M. (1999). Incorporação de resíduos agroindustriais e seus efeitos sobre as características físico-mecânicas de tijolos de solo melhorado com cimento. Tese de Mestrado, Campinas, SP, FEAGRI, UNICAMP, 115p.

VIEIRA, C.M.F. (2001). Caracterização de Argilas de Campos dos Goytacazes Visando à Fabricação de Revestimento Cerâmico Semiporoso. Tese de Doutorado

em Engenharia de Materiais – Campos dos Goytacazes – RJ. Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF. 118p.

VIEIRA, C. M. F., SOUZA E. T. A., MONTEIRO, S. N. (2004). Efeito da incorporação do chamote no processamento e microestrutura de cerâmica vermelha. *Revista Cerâmica* 50, p. 254-260.

XAVIER, G.C. (2001). Utilização de Resíduos de Mármore e Granito na Massa de Conformação de Cerâmica Vermelha. Dissertação de Mestrado em Ciências de Engenharia – Campos dos Goytacazes – RJ. Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF.

XAVIER, G.C. (2006). Resistência, Alterabilidade e Durabilidade de Peças Cerâmicas Vermelhas Incorporadas com Resíduo de Granito. Tese de Doutorado em Engenharia Civil – Campos dos Goytacazes – RJ. Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF.