



UFSM

Dissertação de Mestrado

**ANÁLISE NUMÉRICA E EXPERIMENTAL DO
COMPORTAMENTO DA ALVENARIA ESTRUTURAL
SUBMETIDA À COMPRESSÃO DIAGONAL**

Rodrigo Roderico de Bivar Diogo Pereira dos Santos

PPGEC

Santa Maria, RS, Brasil

2004

**ANÁLISE NUMÉRICA E EXPERIMENTAL DO
COMPORTAMENTO DA ALVENARIA ESTRUTURAL
SUBMETIDA À COMPRESSÃO DIAGONAL**

por

**RODRIGO RODERICO DE BIVAR DIOGO PEREIRA DOS
SANTOS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil**.

PPGEC

Santa Maria, RS, Brasil

2004

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ANÁLISE NUMÉRICA E EXPERIMENTAL DO
COMPORTAMENTO DA ALVENARIA ESTRUTURAL
SUBMETIDA À COMPRESSÃO DIAGONAL**

Elaborada por

Rodrigo Roderico de Bivar Diogo Pereira dos Santos

como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Odilon Pancaro Cavalheiro
(Presidente/Orientador)

Prof. Eduardo Rizzatti
(UFSM)

Prof. Herbert Martins Gomes
(UFRGS)

Santa Maria, 10 de dezembro de 2004.

DEDICATÓRIA

*À minha filha
Marina Fernandez Santos*

*O caminho da sabedoria
é não ter medo de errar.*

Paulo coelho

AGRADECIMENTOS

Ao professor Odilon Pancaro Cavalheiro pela orientação, pela amizade e auxílio na realização deste trabalho e de muitos outros, ao longo desses seis anos de pesquisa.

Aos meus pais, irmãos e toda a família pelo constante apoio e incentivo.

A mãe de minha filha pela paciência e compreensão durante este período.

Aos colegas Eduardo Noll, Fabiano Missau, Leandro Grohmann e Rodrigo Tomazetti pela força e incentivo nos momentos difíceis no decorrer do mestrado.

Ao professor Herbert Gomes pela co-orientação no trabalho referente à análise numérica dos ensaios.

Aos colegas Marco Pozzobon e Marcus Daniel pelo auxílio na realização dos ensaios necessários à pesquisa.

Aos colegas do curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, pelo coleguismo e lições de vida.

A todos os colegas do Grupo de Pesquisa e Desenvolvimento em Alvenaria Estrutural, pelo auxílio nos ensaios necessários à pesquisa.

Ao bolsista Christian Donin, pela ajuda na análise dos modelos numéricos.

A indústria cerâmica Pallotti pelo fornecimento dos blocos para realização dos ensaios.

Aos fabricantes de argamassas industrializadas Dagoberto Barcellos S/A e Votorantin Cimentos pelo fornecimento de argamassas para realização dos ensaios.

Aos funcionários e amigos do Laboratório de Materiais de Construção Civil, que contribuíram de alguma forma, para realização deste trabalho. Adelar Alles, Emerson Wagner, João Maciel, Marialva Lorenzi e Paulo Obregon.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	VI
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABELAS	XII
RESUMO	XIII
ABSTRACT	XIV
1. Introdução	1
1.1 Considerações iniciais	1
1.2 Resumo histórico	2
1.3 Justificativa	5
1.4 Objetivo	7
1.5 Estrutura da dissertação	8
2. Revisão Bibliográfica	10
2.1 Considerações iniciais	10
2.1.1 Conceituações preliminares	10
2.2 Componentes da alvenaria estrutural	11
2.2.1 Argamassas	11
2.2.1.1 Propriedades das argamassas	12
2.2.2 Blocos	15
2.3 Cisalhamento na alvenaria estrutural	16
2.4 Módulo de elasticidade da alvenaria estrutural	20
2.4.1 Módulo de elasticidade da argamassa	21
2.4.2 Módulo de elasticidade do bloco	23
2.5 Método dos elementos finitos	26
3. Programa Experimental	30
3.1 Considerações iniciais	30

3.2 Componentes e elementos	30
3.2.1 Blocos	31
3.2.2 Argamassas	32
3.2.3 Paredes	34
3.3 Ensaio de compressão diagonal - Resultados	36
3.4 Análise e discussão dos resultados	40
3.4.1 Análise estatística	41
4. Análise Numérica	43
4.1 Introdução	43
4.2 Modelagem numérica	44
4.2.1 Modelos geométricos	44
4.2.2 Propriedades mecânicas dos componentes	46
4.2.3 Discretização da malha de elementos finitos	47
4.2.4 Carregamento	49
4.2.5 Restrições	52
4.3 Resultados	53
4.4 Interpretação dos resultados e correlações com os ensaios	59
5. Conclusões	61
5.1 Programa experimental	61
5.2 Análise numérica	62
5.3 Conclusões gerais	63
5.4 Sugestões para trabalhos futuros	64
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	65
ANEXO A	74
ANEXO B	86
ANEXO C	90

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplos da utilização da alvenaria estrutural no passado	3
Figura 2 - Hotel Cassino Excalibur, em Las Vegas (EUA)	4
Figura 3 – Prédios de alvenaria estrutural abrangendo diferentes classes econômicas	5
Figura 4 - Ensaio de compressão diagonal	18
Figura 5 - Curva "tensão x deformação" correspondente a 40% da carga de ruptura	22
Figura 6 – Esquema de ensaio para a obtenção do módulo de elasticidade	24
Figura 7 - Curva "tensão x deformação" de meio bloco	25
Figura 8 - Elementos sólidos em cada camada	28
Figura 9 - Esquema de numeração dos nós	28
Figura 10 - Análise numérica obtida a partir do SAP 90 - viga pouco rígida	29
Figura 11 – Bloco e meio bloco utilizados nos ensaios	32
Figura 12 – Resultados médios da resistência à compressão das argamassas	34
Figura 13 – Canaleta para colocação da argamassa	35
Figura 14 – Disposição da argamassa nos septos dos blocos	35
Figura 15 – Ensaio de compressão diagonal das paredes	36
Figura 16 – Esquema de ensaio de compressão diagonal	37
Figura 17 – Rejunte de argamassa nas juntas de extremidade das paredes	38
Figura 18 – Modos de ruptura das paredes	40
Figura 19 – Resultados médios obtidos aos 30 dias de idade	41
Figura 20 – Dimensões do bloco e meio bloco utilizados na análise numérica, em (cm)	44
Figura 21 – Sistema de eixos coordenados	45
Figura 22 – Modelos das paredes com e sem juntas verticais preenchidas	46
Figura 23 - Elemento SOLID45	48
Figura 24 – Malha de elementos finitos aplicada nos modelos	49

Figura 25 – Detalhe das dimensões máximas dos elementos nos modelos, em (cm)	49
Figura 26 – Detalhe da decomposição das forças no modelo	50
Figura 27 – Detalhe de aplicação das tensões no modelo	51
Figura 28 – Detalhe de aplicação das restrições no modelo	53
Figura 29 – Região central do modelo utilizado para análise das tensões	55
Figura 30 – Detalhe da ruptura dos blocos	62

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Resistência média à compressão das argamassas	21
TABELA 2 – Resultados do módulo de deformação da argamassa	23
TABELA 3 – Módulo de deformação do bloco cerâmico	25
TABELA 4 – Valores médios obtidos para cada ensaio de bloco	32
TABELA 5 – Valores médios de resistência à compressão das argamassas	33
TABELA 6 – Valores das tensões de cisalhamento nas paredes	39
TABELA 7 – Resultados da análise de variância nas paredes	42
TABELA 8 - Propriedades mecânicas dos componentes	47
TABELA 9 – Tensões médias aplicadas nos modelos geométricos com junta vertical preenchida	51
TABELA 10 – Tensões médias aplicadas nos modelos geométricos sem junta vertical preenchida	52
TABELA 11 – Tensões normais de compressão e tração no bloco, em MPa	56
TABELA 12 – Tensões de von Mises no bloco, em MPa	57
TABELA 13 – Tensões normais de compressão e tração na argamassa, em MPa	58
TABELA 14 – Tensões de von Mises na argamassa, em MPa	59

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria , RS, Brasil

ANÁLISE NUMÉRICA E EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO DA ALVENARIA ESTRUTURAL SUBMETIDA À COMPRESSÃO DIAGONAL

Autor: Rodrigo Roderico de Bivar Diogo Pereira dos Santos

Orientador: Odilon Pancaro Cavalheiro

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 10 dezembro de 2004

O trabalho compreende um estudo teórico e experimental sobre paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos, com foco na resistência ao cisalhamento. Inicialmente são apresentados, de maneira resumida, tópicos relevantes para o estudo do assunto, como por exemplo: componentes da alvenaria (bloco e argamassa), prescrições de algumas normas, alguns resultados de ensaios de determinação do módulo de deformação de blocos cerâmicos e de argamassas, realizados em centros de pesquisa no Brasil, e procedimentos para modelagem numérica das paredes, a serem observados na análise posterior feita por elementos finitos. É feita uma comparação entre os resultados experimentais obtidos de paredes confeccionadas com junta vertical preenchida e sem junta vertical preenchida. Por fim, são modeladas, numericamente, paredes nas duas situações de juntas descritas visando, principalmente, determinar as regiões que apresentam maiores concentrações destas tensões, para que se possam identificar as zonas com maiores possibilidades de apresentar falhas e até mesmo o colapso da alvenaria para a ação estudada.

ABSTRACT

Master Dissertation

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Universidade Federal de Santa Maria , RS, Brasil

**NUMERICAL AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF STRUCTURAL
MASONRY UNDER DIAGONAL COMPRESSIVE LOADING**

Author: Rodrigo Roderico de Bivar Diogo Pereira de Santos

Adviser: Odilon Pancaro Cavalheiro

Date and Place of the Defense: Santa Maria, December 10th of 2004

The work leads to theoretical and experimental study on hollow clay block structural masonry walls, focusing on the shear strength. Firstly, some fundamental related topics are summarized, for instance: masonry components (block and mortar), prescriptions of some codes, results of the Young's modulus of hollow clay block and mortars, adopted by researchers in Brazil, and numerical procedures for modeling the walls, to be used in the subsequent analysis done by finite elements. A comparison among the obtained experimental results of tested walls with filled and unfilled head joints is made. Finally, walls in the two situations described are numerically modeled mainly to determine the regions that present larger stress concentrations, in order to identify the areas with larger possibilities of presenting cracks and even the collapse of the masonry for the studied action.

1

Introdução

1.1 Considerações iniciais

Com a crescente utilização da alvenaria estrutural na construção civil brasileira, torna-se cada vez mais importante o aperfeiçoamento de modelagens numéricas que visem determinar o comportamento mecânico dos componentes e elementos da alvenaria, buscando aprimorar os critérios de dimensionamento e o sistema construtivo.

Esse sistema, muito difundido na Europa, e em outras regiões do mundo, chegou ao Brasil na década de 60, mas foi na década de 70 que teve maior impulso, principalmente no centro do país, se expandindo por outros estados, inclusive no Rio Grande do Sul. Hoje o sistema consolidou-se por ter um bom desempenho no que se refere a construções racionalizadas e, dependendo do projeto, muitas vezes de custo menor que o sistema construtivo em concreto armado, sendo utilizado em obras dos mais diversos padrões.

O conceito de racionalização é inerente ao sistema construtivo em alvenaria estrutural.

Neste trabalho, serão feitas modelagens e análises numéricas de paredes de alvenaria estrutural cerâmica, através do método dos elementos finitos (MEF), comparando-se os resultados obtidos com aqueles determinados através de ensaios laboratoriais de compressão diagonal, já realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), com participação do autor, divulgados apenas no Relatório Final do Projeto Fapergs (1999).

O método dos elementos finitos tem demonstrado ser uma ferramenta eficaz na análise estrutural, podendo simular com boa precisão os ensaios realizados em laboratório com elementos de alvenaria estrutural, e até mesmo auxiliar no aperfeiçoamento destes ensaios.

Os ensaios mecânicos à compressão axial, ao cisalhamento e à flexão da alvenaria fornecem subsídios básicos utilizados no dimensionamento de estruturas em alvenaria estrutural e são, em geral, avaliados a partir de ensaios de prismas e paredes. Os ensaios de compressão diagonal, citados acima, inserem-se entre os que avaliam a resistência ao cisalhamento da alvenaria.

1.2 Resumo histórico

A alvenaria é uma das mais antigas formas de construção. Gomes (1983), relata que, por volta do ano 10000 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 3000 a.C. surgiram os primeiros tijolos de barro queimados em fornos, obtendo-se, assim, um material mais resistente e mais durável.

Desde então a alvenaria tem sido utilizada nas construções de cidades inteiras, templos religiosos, fortalezas, etc. Podemos citar como exemplo: o Taj

Mahal, na Índia, construído por volta de 1600 d.C., e a cidade de Machu Pichu, no Peru, construída no século VIII, obras estas mostradas na Figura 1.



Figura 1 - Exemplos da utilização da alvenaria estrutural no passado ^{1,2}.

A alvenaria estrutural desde a antiguidade até o início do século XX, foi executada de maneira empírica, resultando em construções de paredes espessas. Com o passar do tempo o metro quadrado das áreas urbanas supervalorizou, obrigando os engenheiros a pesquisar melhor as propriedades da alvenaria possibilitando dimensionar estruturas com paredes de menor espessura.

O Hotel Cassino Excalibur, em Las Vegas, concluído em 1999, (Figura 2), com quatro torres de vinte e oito pavimentos, é considerado o prédio mais alto do mundo em alvenaria estrutural armada; esta edificação é constituída de cinco pavimentos com paredes de blocos de concreto de 290mm de largura e os pavimentos restantes com blocos de concreto de 190mm de largura (Revista Técnica nº75, 2003).

¹ Taj-Mahal. <http://www.taj-mahal.net/> (Abril, 2002)

² Machu Pichu. <http://silvanatours.com.pe> (Abril, 2002)



Figura 2 - Hotel Cassino Excalibur, em Las Vegas (EUA) ³.

O bloco cerâmico vazado com função estrutural surgiu, no Brasil, em meados da década de 80, e o número de pesquisas experimentais e ensaios de controle com esta unidade de alvenaria e seus elementos derivados, vêm aumentando expressivamente, face ao grande número de obras (de altura limitada, atualmente, a doze pavimentos), independentemente de alguns projetistas alegarem não haver norma brasileira de cálculo para edificações com bloco cerâmico, e, assim, optando pela utilização do bloco de concreto. A norma brasileira de cálculo para alvenaria cerâmica está atualmente em estudo, sendo provável a sua disponibilidade em 2005.

No Brasil as obras em alvenaria estrutural estão bem distribuídas em relação às diferentes classes econômicas, podendo ser constatada a existência desde edificações de caráter social até aquelas de médio e alto padrão, como pode ser visto, a título de exemplo, na Figura 3.

³ Hotel Cassino Excalibur <http://www.skyscrapers.com> (Agosto, 2003)



Figura 3 – Prédios de alvenaria estrutural abrangendo diferentes classes econômicas ^{4, 5}.

1.3 Justificativa

Para o correto dimensionamento de estruturas em alvenaria estrutural é indispensável o conhecimento de suas resistências à compressão axial, ao cisalhamento e à flexão, bem como os módulos de deformação longitudinal e transversal, grandezas estas determinadas através de ensaios em prismas ou paredes, como comentado em 1.1, construídos com os componentes com os quais se deseja executar a estrutura (bloco e argamassa).

A aderência entre blocos e argamassa, que afeta diretamente as principais propriedades da alvenaria, é uma das características fundamentais a ser pesquisada na alvenaria estrutural, principalmente em se tratando de prédios acima de 5 pavimentos. A aderência depende basicamente de características do bloco, como índice de absorção inicial (IRA), rugosidade de suas faces de assentamento, e de características da argamassa no estado plástico, onde inicia realmente o mecanismo do fenômeno de aderência.

⁴ Moradia universitária <http://www.revistaprisma.com.br/n5/arquitetura2.htm> (janeiro,2004)

⁵ Condomínio empresarial <http://www.revistaprisma.com.br/n1/parksul.htm> (janeiro,2004)

Procura-se, assim, adotar argamassa com boa capacidade retentiva de água, para permitir perfeita hidratação do cimento e cessão de água para o bloco de forma gradual e contínua, condições estas que permitirão uma adequada aderência dos compostos da argamassa no bloco, possibilitando o posterior endurecimento de cristais de etringita que promoverão a aderência mecânica das interfaces dos dois componentes. A qualidade da aderência está fortemente ligada a trabalhabilidade da argamassa, para que haja perfeita extensão da mesma na área útil de assentamento, e à sua adequada resistência à compressão em relação ao bloco e aos esforços de corte aos quais a alvenaria estará submetida.

Quando o índice de absorção inicial de água das unidades cerâmicas não for compatível com a capacidade retentiva da argamassa (exagerado ou de baixa sucção), poderá haver prejuízo na resistência ao cisalhamento da alvenaria.

A resistência ao cisalhamento da alvenaria estrutural pode ser determinada através do ensaio de compressão diagonal de parede, avaliando-se a tensão de cisalhamento na ruptura (τ_{alv}), de acordo com a norma NBR 14321 (ABNT, 1999), a qual também prescreve o método para a determinação do módulo de deformação transversal (G_{alv}) da alvenaria. A tensão de cisalhamento e o módulo de deformação podem variar sensivelmente com as propriedades mecânicas dos componentes e com o preenchimento ou não, com argamassa, das juntas verticais da parede.

Assim, observa-se que a tensão de cisalhamento entre os componentes da alvenaria é uma importante propriedade buscada na parede de alvenaria estrutural, necessitando, pois, de estudos aprofundados, para a determinação das correlações entre as propriedades das argamassas e blocos e suas influências no processo de aderência, pois uma má aderência entre os componentes da alvenaria acarreta deficiências nas resistências mecânicas de cisalhamento, tração e flexão desta, como já mencionado, diminuindo com isso

sua durabilidade e aumentando a ocorrência de patologias em construções que utilizam este sistema construtivo.

Por outro lado, através da modelagem e análise numérica por elementos finitos, também é possível determinar-se às tensões e as deformações que surgem em paredes de alvenaria submetidas ao cisalhamento, variando-se as propriedades mecânicas dos componentes. Desta maneira, pode-se avaliar a influência destas variações na tensão de cisalhamento e no módulo de deformação transversal (G_{alv}) da parede de alvenaria, e até mesmo se determinar algumas propriedades mecânicas dos componentes que proporcionam o máximo desempenho da parede.

1.4 Objetivo

Objetivo Geral

Oferecer uma contribuição para o desenvolvimento da alvenaria estrutural, simulando ensaios de paredes em laboratório, através de software de elementos finitos, buscando correlações entre os ensaios experimentais e os gerados por modelagem numérica, tentando buscar melhor compreensão do comportamento da alvenaria, com relação à resistência de cisalhamento, nas situações estudadas.

Objetivos Específicos

Neste trabalho será avaliado o desempenho de paredes de alvenaria estrutural, buscando os seguintes objetivos:

- analisar o estado de tensões em paredes construídas com blocos cerâmicos estruturais vazados, com juntas verticais preenchidas e não preenchidas com argamassa, quando submetidas à compressão diagonal, conforme a norma NBR 14321 (ABNT, 1999), através de modelos numéricos,

empregando o software *ANSYS* 5.4 que permite a utilização da técnica de discretização em elementos finitos;

- pesquisar relações entre os valores de tensão de cisalhamento na ruptura, já obtidos em programa experimental, e aqueles obtidos através da modelagem numérica;

- colaborar para o desenvolvimento da análise numérica para alvenaria estrutural, submetida a tensões de cisalhamento, realizando um comparativo entre os modelos gerados, e assim procurar determinar as características desses modelos e suas condições de utilização neste tipo de análise;

- determinar através das tensões “plotadas” pelo programa *ANSYS*, as regiões que apresentam maiores concentrações destas tensões, para que se possam identificar as zonas com maiores possibilidades de apresentar fissuras;

- contribuir com a normalização brasileira, objetivando tornar o ensaio de compressão diagonal mais eficiente, econômico e apropriado para a verificação da tensão de cisalhamento, na ruptura, em elementos de alvenaria estrutural não armada.

1.5 Estrutura da dissertação

O Capítulo 1 apresenta um breve histórico sobre a alvenaria estrutural, desde a antiguidade até os dias de hoje, apresentando, também, a justificativa do trabalho, juntamente com os objetivos da dissertação.

No Capítulo 2 é feita a revisão bibliográfica, com uma atenção especial à literatura que enfoca especificamente o tema básico da pesquisa.

O Capítulo 3 apresenta as características básicas dos componentes principais da alvenaria, no caso, bloco cerâmico estrutural e argamassas

mistas e industrializadas, incluindo resultados já existentes, obtidos em ensaios de compressão diagonal, objetivando servir de parâmetro de comparação para os valores obtidos através da modelagem numérica. Faz-se uma discussão e análise estatística dos resultados obtidos.

Já o Capítulo 4 apresenta uma análise numérica de paredes submetidas a tensões de cisalhamento, efetuando-se um comparativo entre os modelos e os resultados obtidos nos ensaios de laboratório, procurando-se determinar as características de cada um deles, suas condições de utilização neste tipo de análise, resultados que cada modelo apresenta, regiões que apresentam maiores concentrações de tensões, para identificação das zonas com maiores riscos de fissuras. É feita, igualmente, uma discussão dos resultados.

Finalmente, no Capítulo 5 são apresentadas as conclusões do trabalho e recomendações para trabalhos futuros.

2

Revisão Bibliográfica

2.1 Considerações Iniciais

O objetivo deste capítulo é descrever, através de uma revisão bibliográfica, algumas propriedades mecânicas dos componentes e elementos utilizados na pesquisa, abordando também a modelagem numérica dos elementos.

2.1.1 Conceituações preliminares

Com o propósito de estabelecer uma linguagem padronizada, algumas conceituações utilizadas neste trabalho são apresentadas a seguir.

Materiais: são agregados e aglomerantes utilizados para confecção dos componentes da alvenaria, podendo-se destacar: cimento, cal, areia, brita, argila etc.

Componentes: são obtidos dos materiais e compõem a alvenaria propriamente dita, podendo-se exemplificar: argamassa, graute e bloco.

Elemento: é o resultado da união de dois ou mais componentes (pilar, cinta, verga, prisma e parede).

Módulo de elasticidade longitudinal (E) é uma grandeza, característica de um determinado material, que relaciona tensões e deformações.

- Módulo de elasticidade tangente: é representado pela declividade de uma reta tangente à curva “tensão-deformação”, em relação a um determinado ponto da mesma.

- Módulo de elasticidade secante: é representado pela declividade de uma reta traçada da origem a um ponto da curva “tensão-deformação”, correspondente a trinta por cento da tensão de ruptura.

Coefficiente de Poisson (ν): é a relação entre a deformação transversal e a deformação longitudinal dentro de um intervalo elástico.

2.2 Componentes da alvenaria estrutural

2.2.1 Argamassas

Segundo Sabbatini (1984), as “argamassas de assentamento” não têm forma definida, mas possuem uma função específica: destinam-se ao assentamento das unidades de alvenaria. A “argamassa de assentamento” forma a junta de argamassa que é um componente com forma e funções bem definidas.

Pode-se dizer que as funções da argamassa se resumem basicamente em unir as unidades de alvenaria (blocos ou tijolos), absorvendo esforços que a parede irá sofrer, distribuindo uniformemente, na medida do possível, as cargas atuantes na parede, tendo, também, um papel importante como obstáculo contra a penetração de água, calor, frio e som.

2.2.1.1 Propriedades das argamassas

- Estado plástico

As propriedades mais importantes da argamassa no seu estado plástico são: trabalhabilidade e retenção de água.

A trabalhabilidade conforme Davison *apud* Sabbatini (1986) é a mais importante propriedade da argamassa no estado plástico, sendo igualmente difícil de ser definida e medida. Apesar do pedreiro reconhecer a trabalhabilidade de uma argamassa, facilmente, ao manuseá-la com seu instrumento de trabalho (colher, desempeno), é impossível mensurá-la em laboratório, pois é uma combinação de várias características reológicas da argamassa, sendo as principais: plasticidade, coesão, consistência, viscosidade, adesão e densidade.

Na prática, diz-se que uma argamassa tem boa trabalhabilidade quando se distribui facilmente ao ser assentada, preenchendo todas as reentrâncias, não “escorregando” da colher ou desempeno no momento do assentamento, não segregando ao ser transportada, não endurecendo rapidamente em contato com blocos de índice de sucção normal (IRA), permanecendo plástica por tempo suficiente para que os blocos sejam ajustados facilmente no nível, prumo e alinhamento. No caso de blocos com índice absorção inicial elevado, poderá ocorrer perda significativa de água da argamassa, prejudicando a hidratação do cimento, endurecendo precocemente e, por conseguinte, prejudicando a operação de assentamento e propriedades do estado endurecido (Pedroso, 2001).

Sobre a retenção de água pode-se dizer que é a capacidade da argamassa de reter a água quando em contato com a unidade de alvenaria. A cal apresenta boas características de retenção de água, não só em razão de sua elevada superfície específica, mas também devido a grande capacidade adsortiva de seus cristais (até 100% do seu volume) (Sabbatini, 1986).

Segundo Pedroso (2001), quanto às condições de assentamento da argamassa, deve-se considerar que a mesma deve se adequar ao fim a que se destina, proporcionando condições ao operário de manusear a argamassa adequadamente e com facilidade para que, ao efetuar o assentamento, a mesma tenha uma consistência fluída e firme para uma distribuição uniforme nas fiadas e para que possa suportar e unir adequadamente as unidades.

- Estado endurecido

Podem-se citar como propriedades mais relevantes no estado endurecido, a resistência de aderência entre a argamassa e a unidade, a resistência à compressão e a resiliência (capacidade que a argamassa possui de se deformar sem apresentar ruptura macroscópica quando sujeita a solicitações diversas e de retornar a dimensão original quando cessam estas solicitações).

Conforme Davison *apud* Franco (1987), as propriedades mecânicas das argamassas endurecidas são importantes, porém a resistência de aderência entre a argamassa e o bloco é, entre todas, a de maior importância. A aderência influencia o desempenho da parede em diversos de seus requisitos. Má aderência implica em má resistência à tração, flexão, cisalhamento, durabilidade e estanqueidade.

Segundo Sabbatini (1986), os motivos para ainda hoje se ensaiar a resistência à compressão de cubos e cilindros de argamassas empregadas na alvenaria estrutural, são que o ensaio permite um controle estatístico da qualidade da argamassa em si, e justifica-se, também, porque a resistência à compressão reflete o grau de hidratação da argamassa, que influencia outras características de desempenho da mesma, como, por exemplo, a durabilidade.

Segundo Pedroso (2001), as argamassas utilizadas freqüentemente em alvenaria estrutural são as mistas (cimento, cal e areia) e aquelas

industrializadas (geralmente com aditivos químicos ou cal). O primeiro tipo tem sido, ao longo do tempo, o mais usado, em virtude de ser recomendado por normas nacionais e internacionais, sendo o segundo tipo de argamassa ultimamente usado com mais frequência, pelo fato de as indústrias estarem num grau de aprofundado estudo da substituição da cal pelos aditivos químicos. Deve-se acrescentar que também foram desenvolvidas e estão já em uso excelentes argamassas industrializadas sem o abandono da cal. Quanto ao tipo de argamassa (mista ou aditivada), as mistas são reconhecidas pelo ótimo desempenho, principalmente pela ação da cal, tendo esta excelente capacidade retentiva de água, um dos fatores preponderantes para um bom desempenho da junção argamassa-bloco.

Alguns autores, como Candia (1994), citam que para se obter resistências satisfatórias de aderência à tração, a quantidade de cimento do volume total da pasta da argamassa deve estar em torno de 50 a 75 % e o restante deve ser constituído pela cal hidratada. Segundo o mesmo autor, a areia deve ser bem graduada e os aditivos, tais como incorporadores de ar e outros que reduzem a resistência de aderência, não devem ser usados.

Conforme Collantes (1994), a resistência das argamassas tem marca importante na resistência de aderência ao cisalhamento, já que nos ensaios, por ele realizados, a aderência aumentava quando se aumentava a resistência das argamassas.

Gomes (1983) concluiu que a argamassa de assentamento deve ter, como resistência mínima, 70% da resistência do bloco e, como máxima, a própria resistência do bloco, na área bruta.

Nos ensaios de compressão diagonal executados com paredes cerâmicas, com cinco argamassas de resistências características diferentes, realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil da UFSM, em 1999, mas ainda não divulgados, notou-se que a tensão de cisalhamento nas paredes aumentou sensivelmente com o aumento da resistência da argamassa

utilizada. Esses resultados serviram de base para a modelagem numérica feita neste trabalho.

2.2.2 Blocos

Como elementos básicos da alvenaria estrutural, os blocos são os principais responsáveis pela definição das características resistentes da estrutura. São classificados em dois grupos: blocos vazados e blocos maciços, sendo os primeiros àqueles que possuem área vazada igual ou superior a 25% da área total, (Joaquim, 1999).

Na escolha das unidades, deve-se levar em consideração os critérios de modulação vertical e horizontal dos painéis, evitando-se o corte de blocos, e resistência à compressão. A modulação é prevista por ocasião do projeto de arquitetura e sua finalidade é a de racionalizar a execução, (Silva, 1996).

Conforme Candia (1994), no que se refere à influência do índice de absorção inicial na resistência de aderência à tração e ao cisalhamento da alvenaria, conclui-se o seguinte:

- é bastante claro que o índice de absorção inicial das unidades de alvenaria tem uma relação direta com a resistência de aderência desenvolvida com os vários tipos de argamassas;

- unidades com baixos índices de absorção inicial desenvolvem uma resistência de aderência média, tanto com argamassas de cimento como com argamassas mistas de cimento e cal, quando assentados secos ou molhados;

- unidades com índice de absorção inicial médio desenvolvem alta resistência de aderência com argamassas de cimento e com argamassas mistas de cal e cimento quando assentados tanto secos como molhados;

- unidades com índice de absorção inicial alto desenvolvem baixas resistências de aderência, tanto com argamassas de cimento, como com

argamassas mistas, quando assentados secos. A aderência é bastante melhorada quando os tijolos são previamente molhados.

Carasek (1990) afirma que um bloco com textura superficial rugosa permite maior aderência quando comparado com outro de textura lisa. Isto porque a superfície áspera permite uma melhor ação de encunhamento da argamassa. Muitas vezes existem partículas soltas na face de assentamento da unidade, podendo afetar a aderência na interface argamassa-bloco. Este fato diminui a extensão de aderência e conseqüentemente afeta a resistência ao cisalhamento da alvenaria.

2.3 Cisalhamento na alvenaria estrutural

Segundo Franco (1993), as paredes que resistem ao cisalhamento desempenham um importante papel na transmissão dos esforços solicitantes horizontais até as fundações, garantindo desta forma a estabilidade global do edifício às ações do vento.

Conforme Candia (1994), muitos pesquisadores concordam em manifestar, que muitas são as variáveis que afetam a resistência de aderência, e citam as seguintes:

- ingredientes da argamassa, como tipo e quantidade de materiais aglomerantes, forma e granulometria da areia, capacidade de retenção de água, trabalhabilidade e conteúdo de ar;
- características das unidades de alvenaria, tais como textura superficial, índice de absorção inicial e umidade das unidades no instante do assentamento;
- mão-de-obra, tais como espalhamento uniforme, grau de compactação aplicada na argamassa durante o assentamento das unidades;

- condições de cura, dentre estas a temperatura e a umidade relativa da região onde se está trabalhando.

Conforme Carasek (1990), a aderência argamassa-bloco origina-se da interação entre a argamassa e o substrato poroso, não constituindo assim uma característica inerente à argamassa, mas ao conjunto. A aderência deriva da conjunção de três propriedades da interface argamassa-substrato:

- resistência de aderência à tração;
- resistência de aderência ao cisalhamento;
- extensão de aderência (que corresponde à razão entre a área de contato efetivo e a área total possível de ser unida).

A norma NBR 14321 (ABNT, 1999), determina que os corpos de prova, para ensaio de compressão diagonal, deverão ter dimensões mínimas de 1200mm x 1200mm, sendo que a espessura deve ser a mesma da parede real. A carga deve ser aplicada ao longo de uma das diagonais (Figura 4).

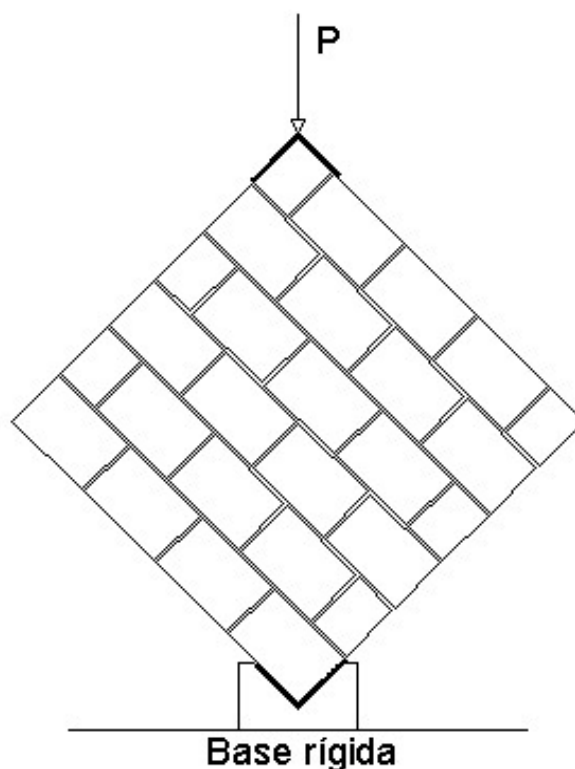


Figura 4 - Ensaio de compressão diagonal.

Segundo a Norma Americana ASTM E 519 (ASTM, 1981), o tamanho do corpo de prova recomendado, 1200mm x 1200mm de lado, representa apropriadamente as paredes de alvenaria em escala real. A norma estipula, também, que podem ser realizados ensaios de compressão diagonal em corpos de prova de dimensões inferiores, desde que o equipamento de aplicação de carga usado atenda às condições necessárias de velocidade de carregamento e posicionamento do corpo de prova.

Conforme Collantes (1994), neste tipo de ensaio, à medida que se aumenta o tamanho das paredes, a resistência de aderência ao cisalhamento diminui e o coeficiente de variação aumenta, como manifestam Astroza (1986) e Fattal *et al* (1977).

Ainda conforme Collantes (1994), a resistência ao cisalhamento, está intrinsecamente ligada ao índice de absorção inicial dos blocos, a trabalhabilidade, retenção de água e à resistência das argamassas, e a qualidade da mão-de-obra utilizada na moldagem dos corpos de prova.

Para se calcular a tensão de cisalhamento nos ensaios de compressão diagonal, utiliza-se a expressão recomendada pela norma NBR 14321 (ABNT, 1999):

$$\tau_{alv} = (0,707 \cdot P) / A$$

sendo,

τ_{alv} = Tensão de cisalhamento;

P = Carga de ruptura média de três paredes, em Newton;

A = Área líquida correspondente à face vazada da parede, em milímetros quadrados.

De acordo com Sabbatini (1984), a alvenaria sujeita aos esforços combinados de compressão e cisalhamento apresentam dois tipos de ruptura:

- ruptura por cisalhamento na interface bloco argamassa;
- ruptura por fissuras de tração diagonal através dos blocos e juntas de argamassa.

Ainda conforme Sinha & Hendry *apud* Sabbatini (1984), pode-se considerar o seguinte:

- quando não existe a pré-compressão a ruptura ocorre pelo primeiro tipo e a resistência ao cisalhamento depende quase que totalmente da resistência de aderência entre o bloco e a argamassa;

- a ruptura de paredes resistentes (ao cisalhamento) com aberturas (janelas e portas) sob cargas de cisalhamento é geralmente devida à perda de aderência na interface e tem a forma de uma escada começando na parte superior, descendo através de juntas horizontais e verticais;

- acima de uma certa faixa de valores de compressão vertical, a ruptura da parede resistente ocorre por tração diagonal;

- a pré-compressão aumenta a resistência ao cisalhamento da alvenaria até um certo limite, o qual depende da resistência à compressão da alvenaria.

2.4 Módulo de elasticidade da alvenaria estrutural

O módulo de deformação (elasticidade) da alvenaria, necessário para alimentar a análise numérica, depende das características tanto do bloco como da argamassa.

A relação “tensão x deformação” da alvenaria é de vital importância no cálculo dos elementos que utilizam este “material”, tendo influência significativa na configuração deformada da estrutura.

Conforme Joaquim (1999), apesar de sua importância, este tema ainda gera dúvidas e grande controvérsia entre diversos autores, que acabam por apresentar diferentes valores e relações para a determinação do módulo de deformação. Usualmente este módulo é calculado por expressões do tipo $E_{alv} = x \cdot f_p$, onde “x” é baseado em resultados obtidos em grandes conjuntos de testes e f_p a resistência do prisma.

2.4.1 Módulo de elasticidade da argamassa

A argamassa, conforme já foi mencionado, como componente da alvenaria, tem como uma das suas principais funções distribuir as tensões ao longo da seção da parede, absorver e acomodar as deformações.

Em relação à distribuição das tensões o comportamento da curva “tensão x deformação” da argamassa, torna-se importante fator para estimar o desempenho da alvenaria, (Mohamad, 1998).

A norma NBR 8522 (ABNT, 1994), determina o módulo de deformação da argamassa através do diagrama “tensão x deformação”, admitido como trecho linear, referente a 40% da carga de ruptura.

Mendes (1998) moldou, para cada série de prismas, três a cinco corpos de prova de argamassa em moldes cilíndricos de 5cm x 10cm e os ensaiou à compressão uniaxial nas mesmas idades dos prismas. Alguns corpos de prova tiveram as deformações monitoradas para obtenção dos módulos de elasticidade, mostrados na Tabela 1.

TABELA 1 – Resistência média à compressão das argamassas

Tipo de argamassa	Resistência à compressão (MPa)	Coef. de variação (%)	Módulo de elasticidade (GPa)	Coef. de variação (%)	Coef. de Poisson	Coef. de variação (%)
1:1:6	6,64	7,91	10,13	8,00	0,12	11,00
1:0,25:3	20,18	6,71	20,70	5,50	0,22	13,60

Garcia (2000) obteve o módulo de elasticidade da argamassa ensaiando dois corpos-de-prova instrumentados e posteriormente traçando os diagramas “tensão x deformação”. Admitiu-se como linear o trecho da curva “tensão x deformação” referente a 40% da carga de ruptura e traçou-se uma linha de

tendência linear, obtendo a sua inclinação, O valor médio encontrado foi de 10.900MPa, (Figura 5).

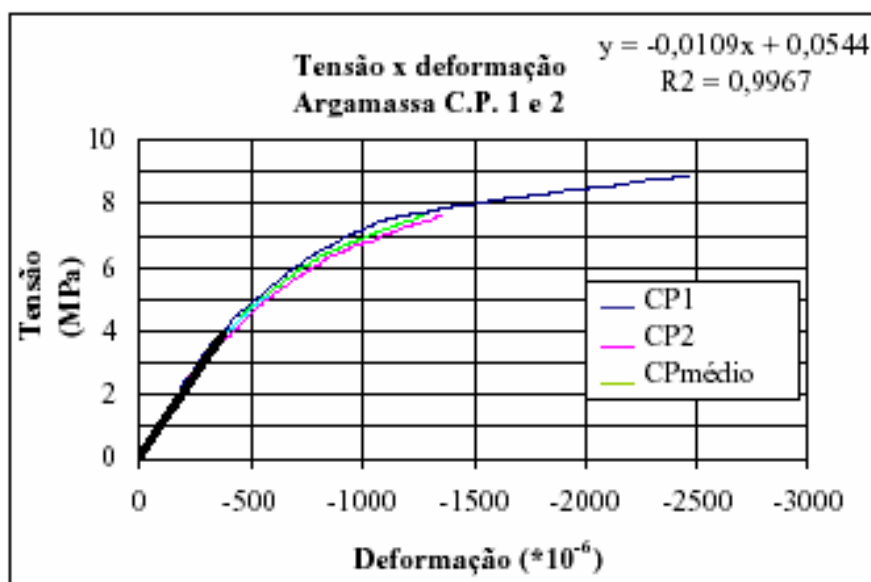


Figura 5 - Curva “tensão x deformação” correspondente a 40% da carga de ruptura.

Parzekian (2002) mediu o módulo de deformação da argamassa de acordo com o método proposto pelo CPqDCC-EPUSP/GEPE-TPC (1994). Nesse ensaio os corpos-de-prova eram cúbicos de 10cm de lado. Inicialmente foram aplicados três ciclos consecutivos de carga correspondente a 30% da resistência média à compressão. Em seguida foram aplicados carregamentos relativos a 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 e 80% da resistência à compressão, com intervalo de espera de um minuto entre eles. Foram utilizados dois LVDTs para leitura dos deslocamentos. O ensaio foi realizado aos quatorze dias, em três CPs.

O módulo de deformação foi calculado de duas formas: secante entre os pontos referentes a 5% e 33% da tensão de ruptura e tangente a 33%, como mostra a (Tabela 2). Os valores do módulo de deformação secante 5-33% e tangente a 33% resultaram em valores próximos quando foi aplicado o plano de carregamento descrito anteriormente e em valores distintos quando o

carregamento foi aplicado diretamente. O módulo de deformação obtido no segundo procedimento foi em média 55% e 39% menor que o obtido no primeiro procedimento para os casos secante e tangente, respectivamente.

TABELA 2 – Resultados do módulo de deformação da argamassa

CP	$\sigma_{\text{máx}}$ (MPa)	5% $\sigma_{\text{máx}}$ (MPa)	33% $\sigma_{\text{máx}}$ (GPa)	$\epsilon_{5\%}$ ($\times 10^3$)	$\epsilon_{33\%}$ ($\times 10^3$)	Esec _{5-33%} (GPa)	Etan _{33%} (GPa)
Com plano de carregamento							
1	8,15	0,41	2,69	0,29	1,11	2,80	3,07
2	9,15	0,46	3,02	0,55	1,80	2,05	2,11
3	9,69	0,49	3,20	0,58	1,69	2,44	2,59
média						2,43	2,59
Sem plano de carregamento							
1	9,23	0,46	3,05	1,13	3,08	1,32	1,75
2	8,18	0,41	2,70	0,91	2,99	1,10	1,46
3	9,32	0,47	3,08	1,28	4,24	0,88	1,53
média						1,10	1,58

2.4.2 Módulo de elasticidade do bloco

Garcia (2000) ensaiou onze exemplares de meios blocos vazios e três blocos cerâmicos grauteados para a obtenção dos respectivos módulos de elasticidade. A instrumentação dos blocos para a medição das deformações foi feita como mostra a Figura 6. O bloco foi colocado entre duas placas metálicas de espessura de aproximadamente 1,5cm e o carregamento foi aplicado sobre a placa superior a uma velocidade de 0,07mm/s. Posteriormente colocaram-se dois transdutores de deslocamento, posicionados em lados opostos um em relação ao outro, de forma a medir o deslocamento relativo entre as placas metálicas.

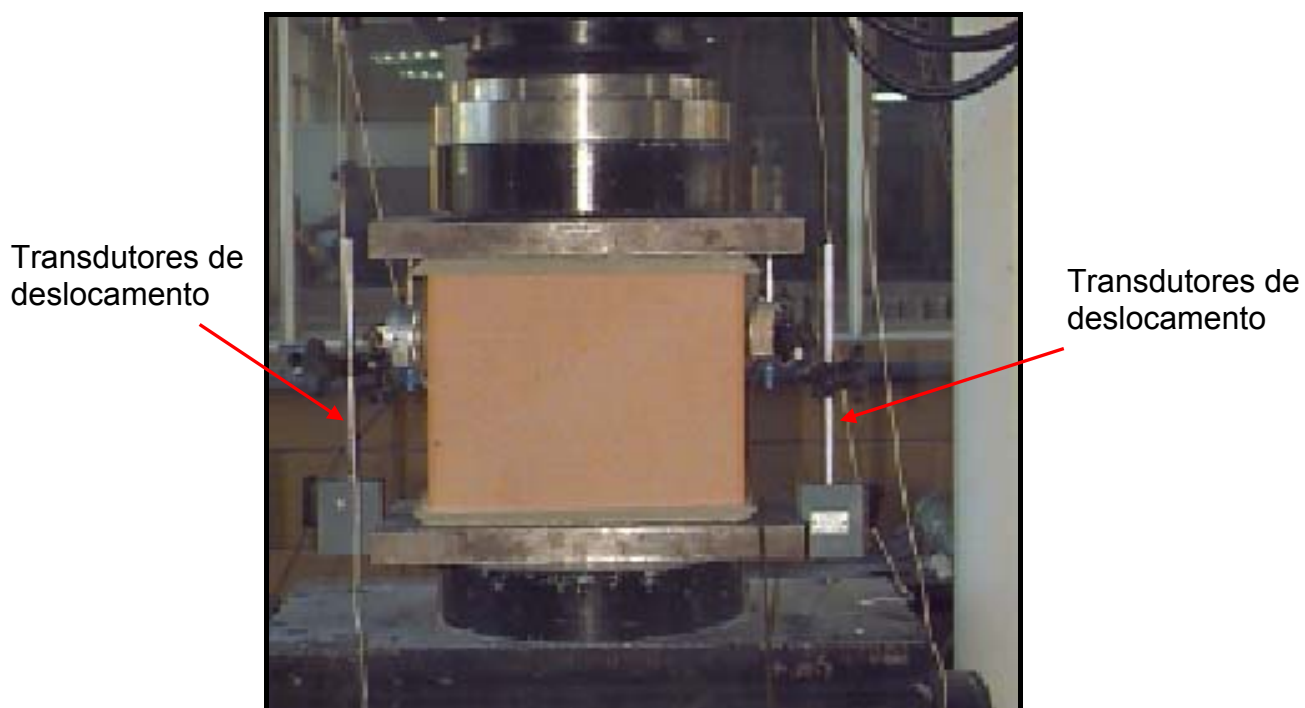


Figura 6 – Esquema de ensaio para a obtenção do módulo de elasticidade.

Após a realização dos ensaios, foram “plotados” os gráficos “tensão x deformação”. Nos gráficos referentes aos meios blocos, verificou-se uma certa acomodação do material no início do carregamento. A obtenção do módulo de elasticidade foi realizada se admitindo apenas o trecho linear do gráfico, o qual compreendia valores em torno de 30 a 80 % da carga de ruptura. Traçou-se uma linha de tendência linear, obtendo-se a inclinação dessa reta (Figura 7).

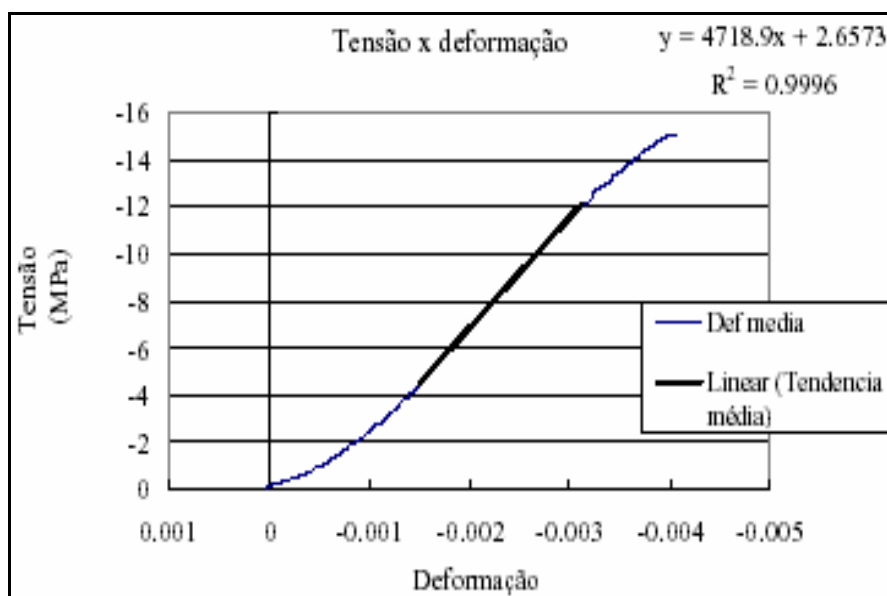


Figura 7 – Curva “tensão x deformação” de meio bloco.

O módulo de elasticidade médio dos meios blocos vazios, em relação à área líquida, foi de 8.172MPa e dos blocos grauteados 8.493MPa.

Parzekian (2002) ensaiou três blocos, utilizando dois LVDTs, um em cada lado do bloco, para leitura dos deslocamentos. Os módulos de deformação estão apresentados na Tabela 3.

TABELA 3 – Módulo de deformação do bloco cerâmico

CP	$\sigma_{\text{máx}}$ (MPa)	5% $\sigma_{\text{máx}}$ (MPa)	33% $\sigma_{\text{máx}}$ (MPa)	$\epsilon_{5\%}$ ($\times 10^3$)	$\epsilon_{33\%}$ ($\times 10^3$)	$E_{\text{sec } 5-33\%}$ (GPa)	$E_{\text{tan } 33\%}$ (GPa)
1	13,73	0,69	4,53	0,84	2,53	2,28	3,03
2	13,29	0,66	4,39	0,27	1,57	2,86	3,41
3	13,59	0,68	4,48	0,73	2,28	2,47	3,30
média						2,53	3,25

2.5 Método dos elementos finitos

Utilizando o programa SAP 2000, baseado no método dos elementos finitos, La Rovere & Rodrigues (1997) realizaram um trabalho no qual foi analisado o comportamento mecânico de prismas de alvenaria de blocos vazados de concreto, preenchidos ou não com graute, submetidos à compressão. Neste trabalho, os materiais envolvidos (concreto, argamassa e graute) foram considerados de comportamento elástico-linear. Foi analisado, inicialmente, o efeito da altura do prisma na resistência à compressão, em prismas grauteados e não-grauteados, concluindo-se que prismas de dois blocos de altura não são representativos de um ensaio uniaxial, devendo-se utilizar prismas de no mínimo três blocos de altura para a obtenção das propriedades da alvenaria à compressão. Em seguida foram variadas as propriedades mecânicas da argamassa, em prismas não-grauteados, o que não afetou significativamente o comportamento dos prismas.

Garcia (2000) modelou quatro paredes cerâmicas submetidas à compressão axial, com restrições nodais de deslocamento em X e em Y na base. Os dois primeiros modelos equivalem a paredes sem graute e, as duas últimas paredes foram modeladas com seis furos grauteados.

Os modelos 1 e 3 foram feitos discretizando-se a estrutura como ela realmente se encontra: composta por blocos (grauteados ou não) e argamassa. Já nos modelos 2 e 4, adotou-se o módulo de elasticidade longitudinal da alvenaria e imaginou-se a estrutura composta por apenas um tipo de material.

Como a discretização das paredes foi feita imaginando-se os blocos como maciços, admitiu-se a área bruta da seção transversal do painel igual à área líquida da seção transversal das paredes ensaiadas. Por isso, nos modelos referentes às paredes sem graute, a espessura adotada foi de 7cm (50% da área bruta) e nas paredes grauteadas esse valor foi de 9,8cm (70% da área bruta).

Em todos os modelos foram usados elementos de chapa 2D, *PLANE42*, que pode ser utilizado como elemento plano para a discretização da estrutura. Não foi levado em consideração o peso próprio da parede, pois se verificou que esse acréscimo de carga seria insignificante.

Constatou-se que a modelagem com a utilização da alvenaria como material único tornou a estrutura mais rígida do que ela se encontrava na realidade, enquanto que os modelos realizados com a discretização dos blocos e juntas de argamassa geraram uma estrutura menos rígida do que a real.

Além disso, devido à colocação de restrições na base das paredes modeladas, tensões de compressão em “X” apareceram até uma certa altura, influenciando o comportamento da estrutura. Isso explicaria o fato da fissuração, nos ensaios, não ocorrer nessa região.

Nos modelos 1 e 3, verificou-se a concentração de tensões nos blocos nas regiões abaixo das juntas verticais. Esse fato explica a formação de fissuras nessa região durante a aplicação do carregamento em alguns ensaios.

Roman & Carvalho (2001) utilizaram o programa SAP 90, adotando-se elementos sólidos (paralelepípedos). A parede foi dividida em duas, a partir de seu plano médio. Os blocos inteiros foram divididos em três elementos sólidos com comprimentos correspondentes ao meio bloco, à junta de argamassa vertical e ao meio bloco, assim como a camada de argamassa sob ele (Figura 8). A Figura 9 apresenta a numeração dos nós dos elementos sólidos.

O conjunto foi considerado em camadas horizontais, conforme a descrição abaixo:

- C 01 argamassa horizontal entre a viga de concreto e a primeira fiada de blocos;
- C 02 blocos inteiros intercalados por camada vertical de argamassa;
- C 03 argamassa horizontal entre as camadas de blocos;

C 04 blocos inteiros intercalados por camada vertical de argamassa;
Esta camada inicia e termina com meio bloco.

Repetiram-se sucessivamente as camadas 1, 2, 3 e 4, até a última camada de blocos.

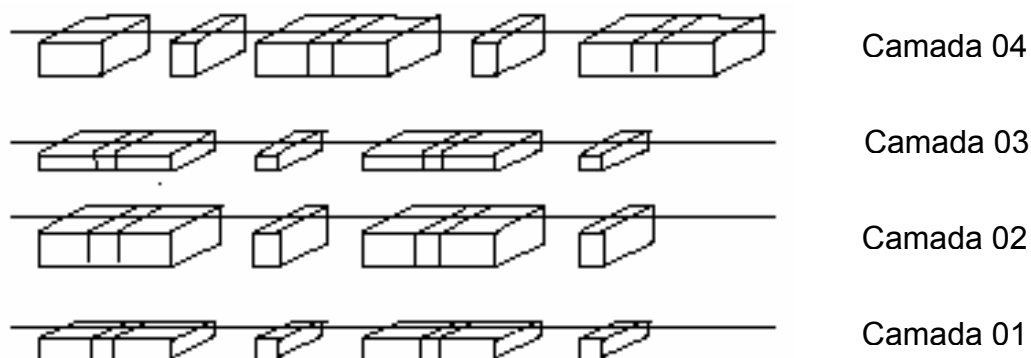


Figura 8 - Elementos sólidos em cada camada.

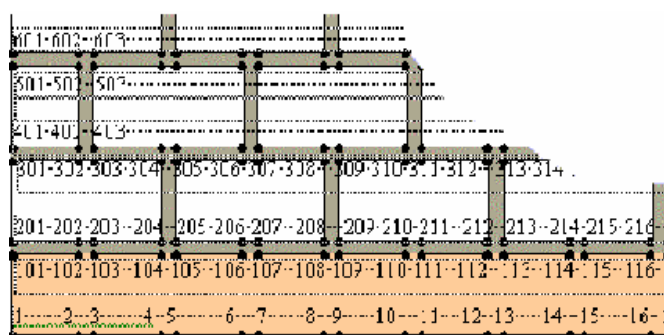


Figura 9 - Esquema de numeração dos nós.

A partir de simulações numéricas (Figura 10), e mesmo sem as necessárias simulações experimentais, projetistas estruturais provocam o efeito arco nos projetos de alvenaria estrutural, com o intuito de aliviar as vigas de concreto, obtendo assim menores seções. No entanto, há pouca literatura sobre o assunto para fundamentar os modelos propostos. Tais distribuições de tensões são feitas a partir de simulações numéricas, não existindo no Brasil ou no exterior, ensaios experimentais que as comprovem, (Roman & Carvalho, 2001).

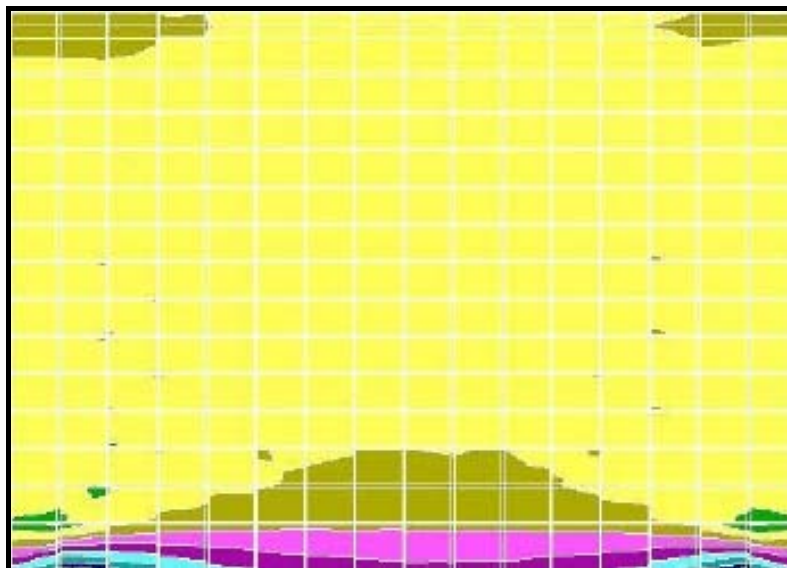


Figura 10 - Análise numérica obtida a partir do SAP 90 - viga pouco rígida.

Lee *et al* (1994) realizaram a análise numérica por elementos tridimensionais de painéis de alvenaria sujeitos a carregamentos laterais e compararam com o trabalho experimental. Os componentes utilizados foram: tijolos e juntas de argamassa horizontais e verticais, assumindo características de comportamento elásto-plástico com propriedades ortotrópicas dos componentes.

Para a técnica de homogeneização e análise numérica de modelos Lee *et al* (1994) formaram as seguintes conclusões:

- os valores numéricos da tensão de ruptura foram semelhantes aos valores dos ensaios experimentais;
- quanto maior a precisão dos dados utilizados nos modelos, mais semelhantes serão os resultados com os experimentais.

3

Programa Experimental

3.1 Considerações iniciais

Neste capítulo serão apresentados os componentes (bloco cerâmico e argamassas mistas e industrializadas) e elementos (paredes) adotados no decorrer da pesquisa experimental. Os ensaios de caracterização dos componentes e o ensaio de compressão diagonal das paredes foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

3.2 Componentes e elementos

Neste trabalho, foi adotado um código para cada tipo de argamassa industrializada (ver TABELA 5), sendo empregado um único tipo de bloco.

Os componentes utilizados para a pesquisa saíram todos do mesmo lote, tanto para os blocos utilizados, quanto para as argamassas industrializadas, sendo que para os traços de argamassa mista, foram utilizados: areia média, cal e cimento tipo CPII – Z.

Antes de confeccionar os corpos de prova para efetuar o ensaio de compressão diagonal nas paredes cerâmicas, foi realizada a caracterização dos componentes da alvenaria.

3.2.1 Blocos

Sabe-se que para uma alvenaria obter uma boa resistência ao cisalhamento, ela necessita de blocos com resistência à compressão adequada ao nível de carregamento solicitado, dimensões, índices de absorção e sucção que atendam às normas. A sucção, determinada pelo ensaio do índice de absorção inicial, se aplica apenas para os blocos cerâmicos, e não tem, até o momento, normalização brasileira.

Os ensaios realizados nos blocos, e respectivas normas, foram:

- formas e dimensões: NBR 8042 – 1992;
- determinação da área líquida: NBR 8043 – 1983;
- determinação da massa e da absorção de água: NBR 8947 – 1985;
- verificação da resistência à compressão: NBR 6461 – 1983;
- *Standard test methods for sampling and testing brick and structural clay tile: ASTM C67 – 1978.*
- *Standard test method for splitting tensile strength of masonry units: ASTM C1006 – 1984.*

Os blocos e meios-blocos utilizados para confecção das paredes (Figura 11) possuíam dimensões padronizadas de 140x190x290 e 140x190x140 (largura, altura, comprimento, em milímetros). Foram utilizados 13 corpos de prova para cada tipo de ensaio, com exceção do ensaio de índice de absorção

inicial, o qual a norma americana exige apenas 5 corpos de prova. Os resultados médios obtidos estão apresentados na Tabela 4.

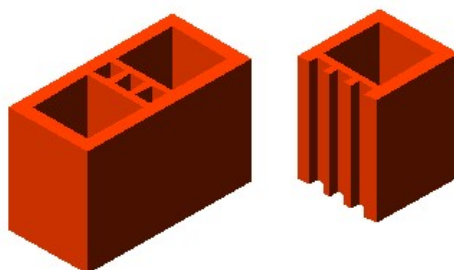


Figura 11 – Bloco e meio bloco utilizados nos ensaios.

TABELA 4 – Valores médios obtidos para cada ensaio de bloco

Dimensões (mm)	Absorção (%)	IRA (g/193,55 cm ² /min)	f_{cb} (MPa)	f_{tb} (MPa)	Área Líquida (mm ²)	Relação Área Liq./Área Bruta
140x190x289	9,60	14,50	15,90	0,503	19725,0	0,49

Observação:

- f_{cb} : resistência à compressão axial do bloco.
- f_{tb} : resistência à tração do bloco.

3.2.2 Argamassas

Foram utilizadas argamassas mistas de cal hidratada, areia e Cimento Portland com adição de Pozzolana (CP II - Z-32) e argamassas industrializadas com resistências características à compressão declaradas de: 4,0MPa, 5,0MPa e 8,0MPa.

Foi adotada areia média, previamente seca em estufa, para confecção das argamassas mistas. Os traços em volume adotados foram: 1:1:6 e 1:0,5:4,5 (cimento, cal e areia); a água utilizada no traço era o suficiente para

dar boa trabalhabilidade à argamassa. No decorrer da confecção das paredes foram moldados 6 corpos de prova, por tipo de argamassa, para verificação posterior da resistência à compressão axial, conforme a norma NBR 7215 (ABNT, 1991). Os resultados médios obtidos aos 28 dias estão indicados na Tabela 5.

TABELA 5 – Valores médios de resistência à compressão das argamassas

Argamassas (Em Volume)	Resistência à Compressão Axial Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de Variação (%)
1:0,5:4,5	10,90	0,70	6,20
A8*	8,70	0,30	3,60
1:1:6	6,20	0,10	5,60
A4*	5,30	0,40	7,50
B5*	4,30	0,20	4,70

* Argamassas industrializadas

A Figura 12 ilustra graficamente, para melhor visualização, as resistências das argamassas utilizadas na confecção das paredes ensaiadas à compressão diagonal.

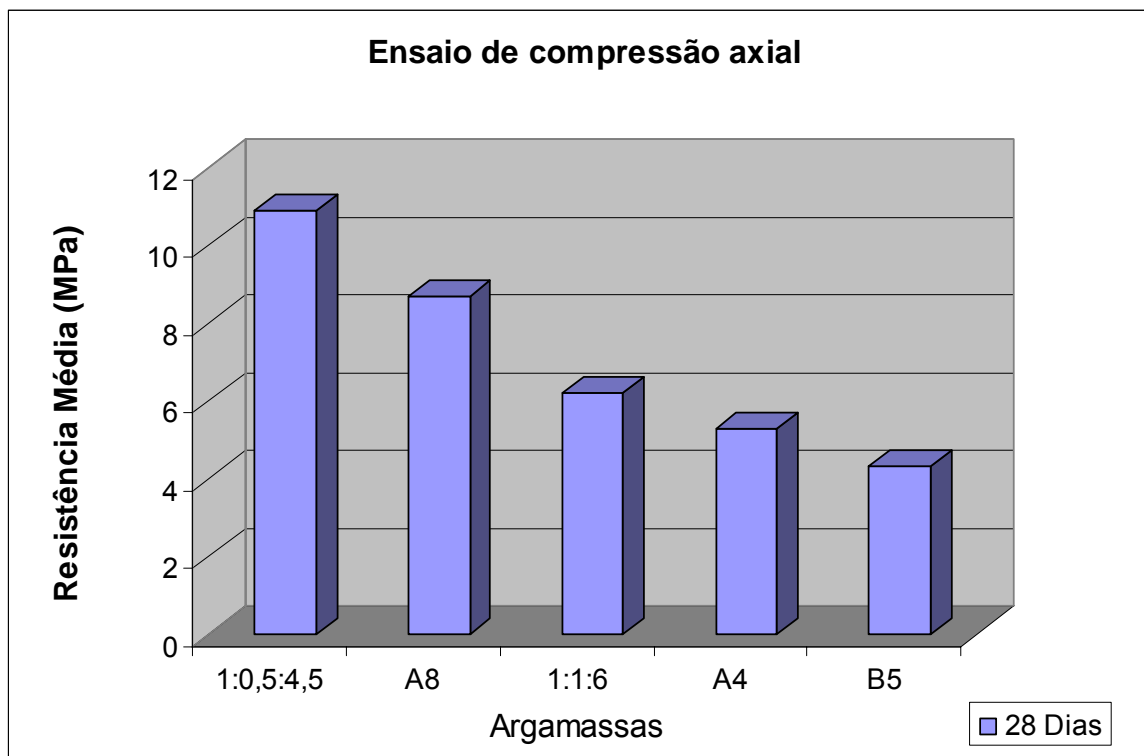


Figura 12 – Resultados médios da resistência à compressão das argamassas.

3.2.3 Paredes

Foram moldadas 3 paredes de 1200x1200mm, para cada tipo de argamassa, com as juntas verticais preenchidas e 3 paredes, de igual tamanho, para cada tipo de argamassa, sem as juntas verticais preenchidas, para ensaio de compressão diagonal.

Os blocos cerâmicos foram imersos em água por $\pm 20s$, um pouco antes da moldagem das paredes. O assentamento da argamassa nos blocos foi feito com uma canaleta (Figura 13) para garantir uma espessura uniforme de junta de 10mm, com preenchimento de toda a área útil do bloco (Figura 14). As paredes foram curadas ao ar ambiente do laboratório.

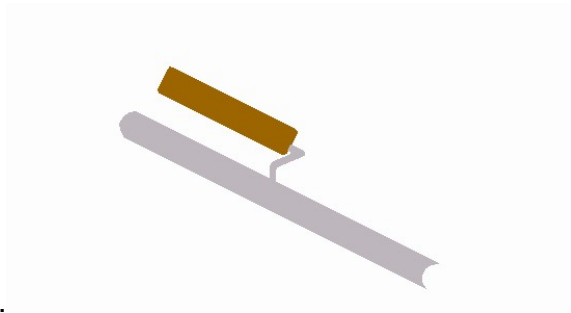


Figura 13 – Canaleta para colocação da argamassa.

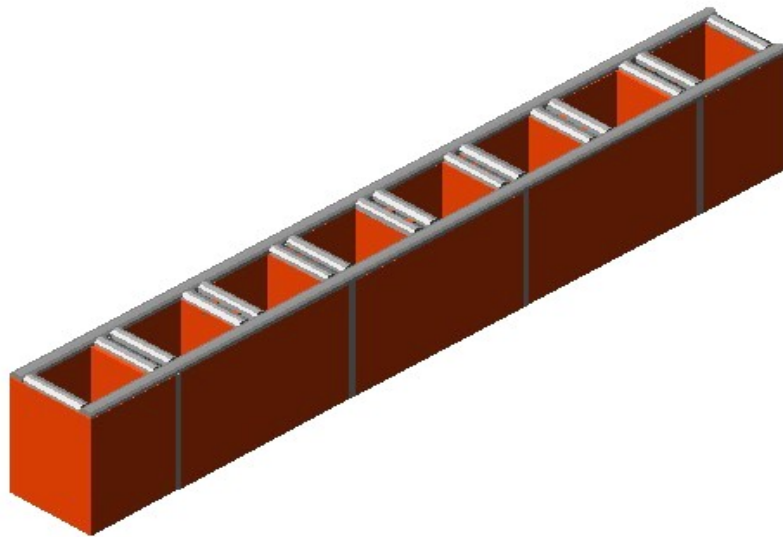


Figura 14 – Disposição da argamassa nos septos dos blocos.

3.3 Ensaio de compressão diagonal – Resultados

Foram ensaiadas 3 paredes para cada situação estudada (Figura 15).

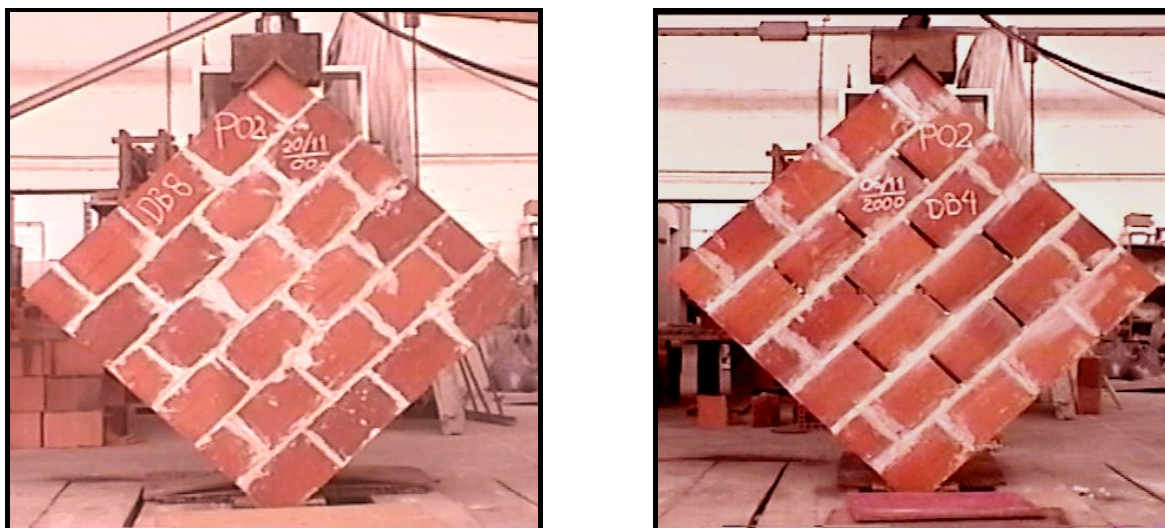


Figura 15 – Ensaio de compressão diagonal das paredes.

Na primeira série de ensaios à compressão diagonal, os blocos de extremidade das paredes romperam por esmagamento; devido a este fato as paredes tiveram seus blocos de extremidade grauteados, para evitar tal esmagamento durante os ensaios subseqüentes e, desta forma, não comprometer os resultados. Assim as paredes foram ensaiadas aos 30 dias de idade e não aos 28 dias como recomenda a norma NBR 14321 (ABNT,1999). Para melhor distribuição da carga foram colocadas na parte inferior e superior das paredes, chapas de madeira aglomerada. As paredes foram ensaiadas em um pórtico de auto-reação, com aplicação de carga através de macacos hidráulicos de 20 toneladas de capacidade. O esquema de ensaio é apresentado na Figura 16.

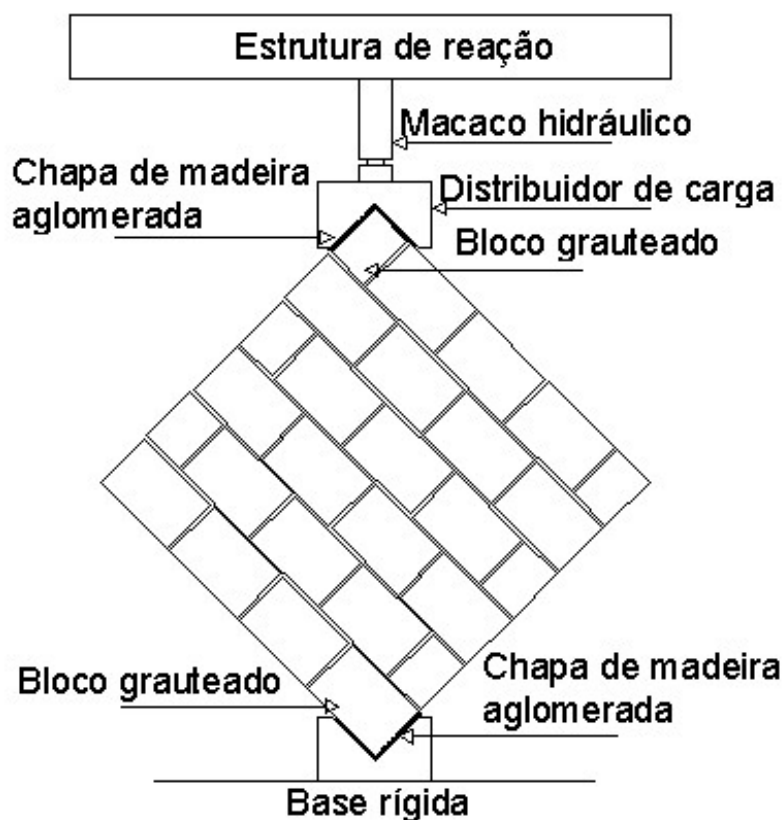


Figura 16 – Esquema de ensaio de compressão diagonal.

Para efeito de cálculo da máxima tensão de cisalhamento a área considerada foi à área líquida, correspondente à face vazada da parede (0,49x1200mmx140mm), onde 0,49 é a relação da área líquida do bloco para a área bruta do mesmo. É interessante lembrar que o ensaio de compressão diagonal provoca uma ruptura por tração na diagonal comprimida, mas tem seu resultado expresso em tensão de cisalhamento.

As juntas verticais das extremidades das paredes, consideradas “sem junta vertical preenchida”, recebiam um rejunte de argamassa forte, com traço em volume 1:3 (cimento e areia), para que estes blocos não se deslocassem no momento do ensaio (Figura 17).

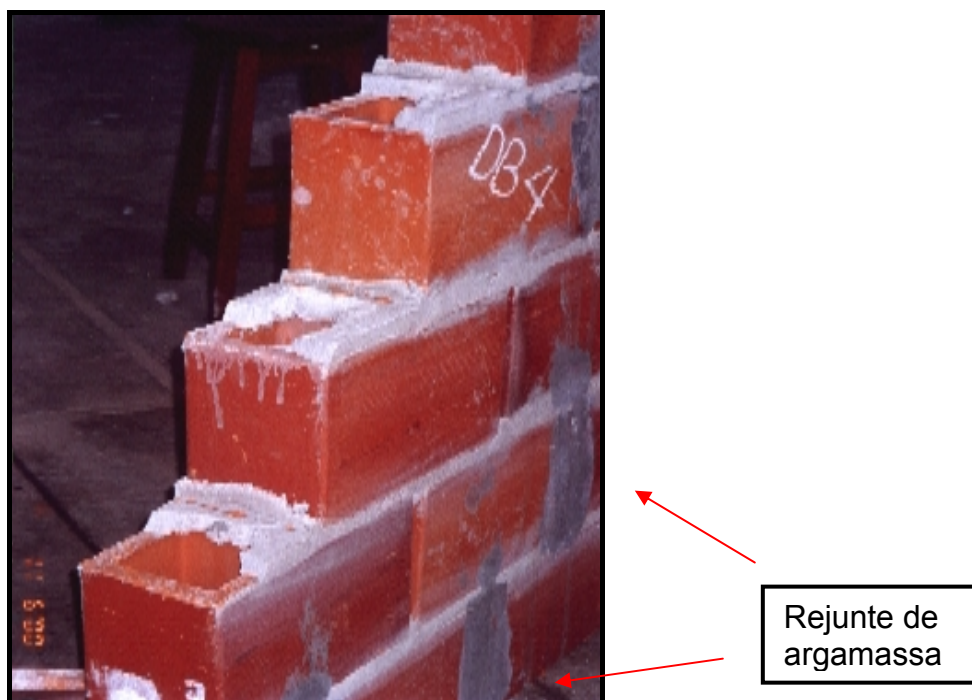


Figura 17 – Rejunte de argamassa nas juntas de extremidade das paredes.

A Tabela 6 mostra os valores obtidos para as tensões de cisalhamento nas paredes, com e sem as juntas verticais preenchidas, para os cinco tipos de argamassas estudadas. No subitem 3.4.1 é feita uma análise estatística dos resultados obtidos no ensaio de compressão diagonal.

TABELA 6 – Valores das tensões de cisalhamento nas paredes

Junta Vertical	Tensão de Cisalhamento (MPa)				
	Argamassas				
	(1:0,5:4,5) fa=10,9MPa	(A8) fa=8,7MPa	(1:1:6) fa=6,2MPa	(A4) fa=5,3MPa	(B5) fa=4,3MPa
Preenchida	1,20	0,80	0,95	0,58	0,16
	1,03	0,78	0,96	0,59	0,26
	1,21	0,53	0,82	0,59	0,31
Média	1,14	0,70	0,91	0,59	0,24
Desvio Padrão (MPa)	0,10	0,15	0,08	0,01	0,08
Coeficiente de Variação (%)	8,82	21,39	8,58	0,98	31,39
Não preenchida	0,36	0,26	0,35	0,16	0,09
	0,36	0,33	0,36	0,23	0,12
	0,26	0,27	0,32	0,22	0,09
Média	0,32	0,29	0,34	0,20	0,10
Desvio Padrão (MPa)	0,06	0,04	0,02	0,04	0,02
Coeficiente de Variação (%)	17,67	13,21	6,06	18,62	17,32

As paredes, tanto com junta vertical preenchida como sem junta vertical preenchida, romperam por tração perpendicular à diagonal comprimida (Figura 18).

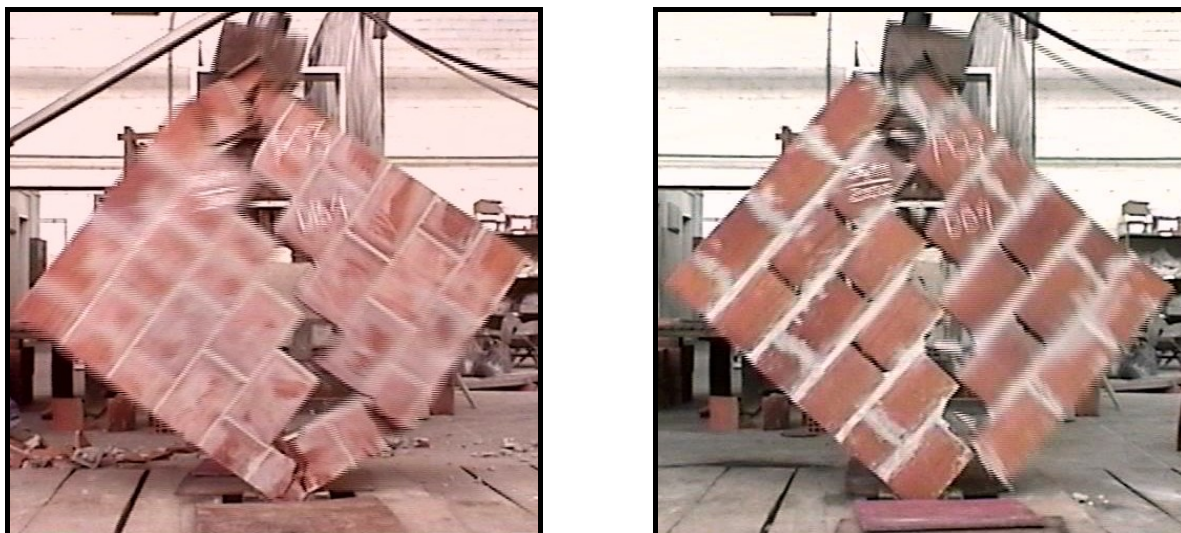


Figura 18 – Modos de ruptura das paredes.

3.4 Análise e discussão dos resultados

Nos ensaios de parede com junta vertical preenchida foram obtidos valores bem superiores aos de parede sem a junta vertical preenchida, conforme se pode visualizar com maior clareza no gráfico da Figura 19.

As paredes com a argamassa “B5”, com resistência característica à compressão de 5MPa, especificada pelo fabricante, atingiram baixa tensão de cisalhamento na ruptura, comparado com as executadas com argamassa “A4”, com resistência característica à compressão de 4MPa, especificada pelo fabricante. Um dos motivos para esta baixa resistência, talvez seja a falta de areia natural, já que aquela argamassa tem em sua composição, além de cimento portland e aditivos químicos especiais, uma areia artificial de rocha calcária, perdendo, assim, um pouco de sua rugosidade quando endurecida, conseqüentemente diminuindo sua aderência ao bloco. Também se observa fato semelhante para as paredes com a argamassa “A8”, com resistência característica à compressão de 8MPa, especificada pelo fabricante, e a argamassa mista 1:1:6, com resistência à compressão média de 6,20MPa.

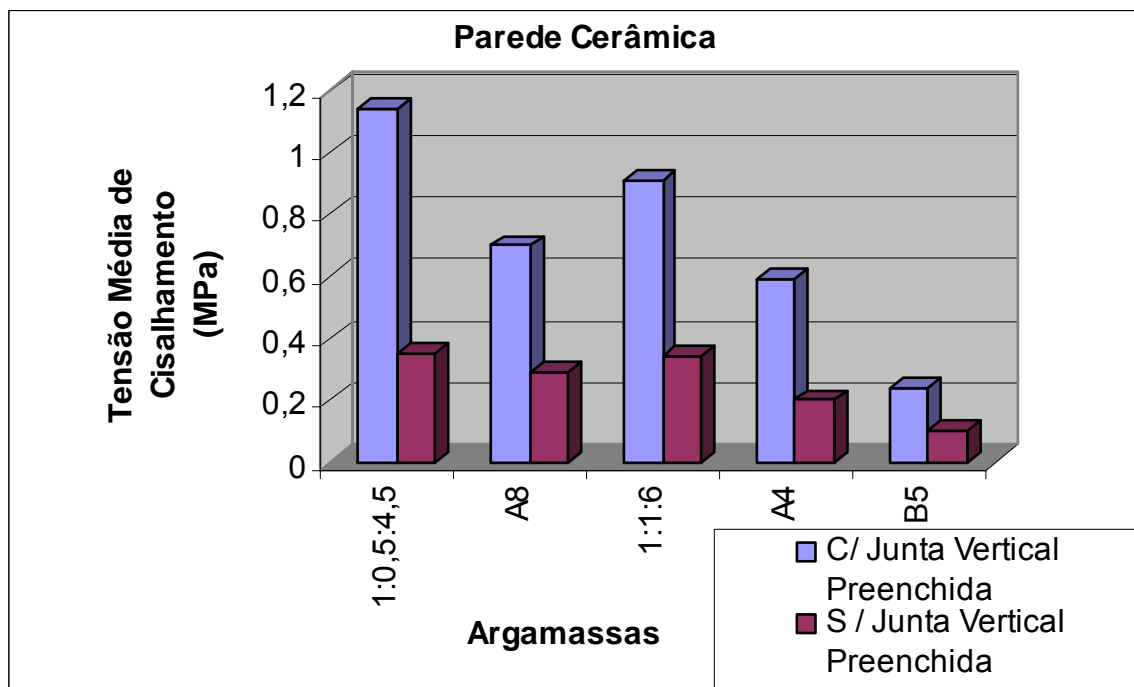


Figura 19 – Resultados médios obtidos aos 30 dias de idade.

Porém a constatação mais importante foi o fato do não preenchimento da junta vertical fazer com que as tensões de cisalhamento das paredes, em tal situação, fossem reduzidas de 58% a 72% em relação às paredes com junta preenchida, diferenças estas bem significativas, já que o consumo de argamassa aumenta muito pouco quando se preenche as juntas verticais.

3.4.1 Análise estatística

Uma alternativa de se analisar os resultados experimentais obtidos é fazer uma análise de variância, método estatístico que através de testes de igualdade de médias verifica se determinados fatores analisados produzem mudanças sistemáticas em alguma variável de interesse.

A seguir é apresentada a Tabela 7 com o resumo dos dados avaliados por uma série de análises de variância, confrontando tipos de argamassa e tipos de junta.

TABELA 7 – Resultados da análise de variância nas paredes

Fatores Analisados						F	Ftab	Conclusão
Tipos de Junta	Tipos de Argamassa							
Preenchida	1:0,5:4,5	A8	1:1:6	A4	B5	38,76	3,36	Há relação
Não Preenchida						21,95	3,36	Há relação
Preenchida e Não Preenchida						82,45	3,68	Há relação

Observação:

F = Valor encontrado para teste de Fisher.

Ftab = Valor limite acima do qual deve estar “F” para admitirem-se relações entre as médias.

Pela tabela da distribuição “F”, com nível de significância de $\alpha = 5\%$, pode-se concluir que:

- para as paredes com junta vertical preenchida, há relação entre a tensão de cisalhamento da parede e o tipo de argamassa, ou seja, a resistência à compressão da argamassa interferiu na tensão de cisalhamento;

- para paredes sem junta vertical preenchida, há relação entre a tensão de cisalhamento da parede e o tipo de argamassa, ou seja, a resistência à compressão da argamassa interferiu na tensão de cisalhamento;

- há relação entre a tensão de cisalhamento da parede e o tipo de junta de argamassa, ou seja, o preenchimento da junta vertical de argamassa interferiu na tensão de cisalhamento das paredes com e sem juntas verticais preenchidas.

4

Análise Numérica

4.1 Introdução

Adotou-se para a análise numérica dos ensaios experimentais o software ANSYS 5.4. Esta ferramenta trabalha com base nas características mecânicas dos componentes, no caso, bloco e argamassa. A análise numérica é feita através do Método dos Elementos Finitos (MEF). Faz-se necessário, portanto, que sejam estudados modelos com vários tamanhos de elementos, para que se conduza a análises numéricas confiáveis, ou seja, resultados que converjam para uma solução única com o aumento do refino da malha, e com tempo de simulação satisfatório, tornando viável sua realização, e, portanto, justificando a utilização do método. A importância do aprimoramento dessa análise é grande, embora devemos considerar que os métodos computacionais, como é o caso do MEF utilizado neste trabalho, utilizam soluções aproximadas, e assim, apresentam resultados normalmente próximos da realidade, porém diferentes dos resultados experimentais.

Neste trabalho, realizaram-se análises elásticas lineares para modelar um comportamento frágil-dúctil, pois segundo Sinha *et al* (1979), o comportamento da alvenaria estrutural, até 90% de sua carga de ruptura, pode

ser considerado linear. A importância desta análise reside no fato de que com ela é possível obter-se as regiões com maiores chances de ocorrer falha (no bloco ou na argamassa), além das relações de tensões entre as diversas regiões dos conjuntos de paredes analisadas. Outra importância é que assim se consegue um modelo com o qual se possa comparar de forma mais precisa o desempenho dos diversos ensaios, ou até mesmo entender o mecanismo do processo de ruptura dos casos analisados.

4.2 Modelagem numérica

4.2.1 Modelos geométricos

Para construção dos modelos geométricos utilizados na análise numérica procurou-se reproduzir, o mais fiel possível, os componentes utilizados neste trabalho, porém levando em consideração algumas limitações impostas pelo método quanto à distribuição da malha de elementos finitos e quanto ao tamanho destes componentes. A Figura 20 mostra os modelos geométricos do bloco e meio bloco utilizados para modelagem das paredes.



Figura 20 – Dimensões do bloco e meio bloco utilizados na análise numérica, em (cm).

Em todas as análises numéricas se denomina “x”, o eixo horizontal ao longo do comprimento da parede, “y” o eixo vertical ao longo da altura da parede, e “Z” o eixo horizontal ao longo da espessura da parede (Figura 21).

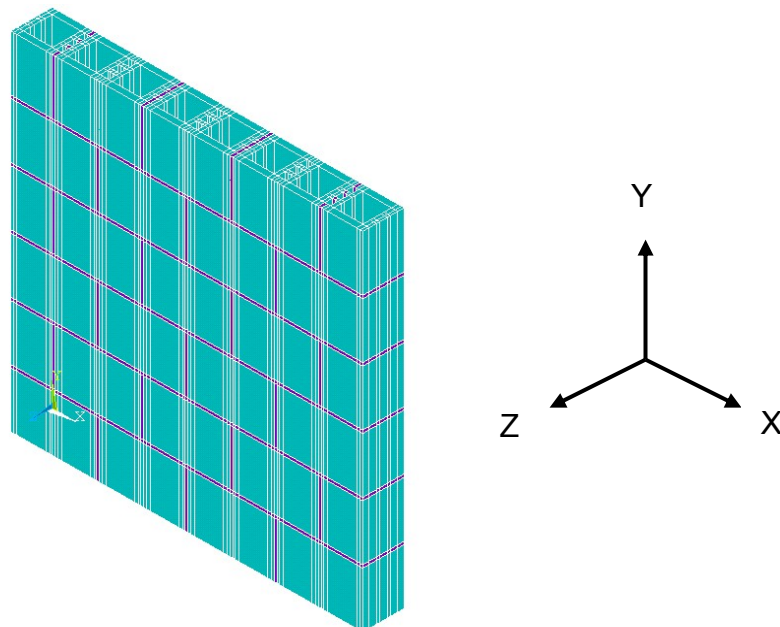


Figura 21 – Sistema de eixos coordenados.

Foram construídos dois modelos de paredes, um modelo com junta vertical preenchida e outro sem junta vertical preenchida, variando as características mecânicas das argamassas e carregamentos (Figura 22).

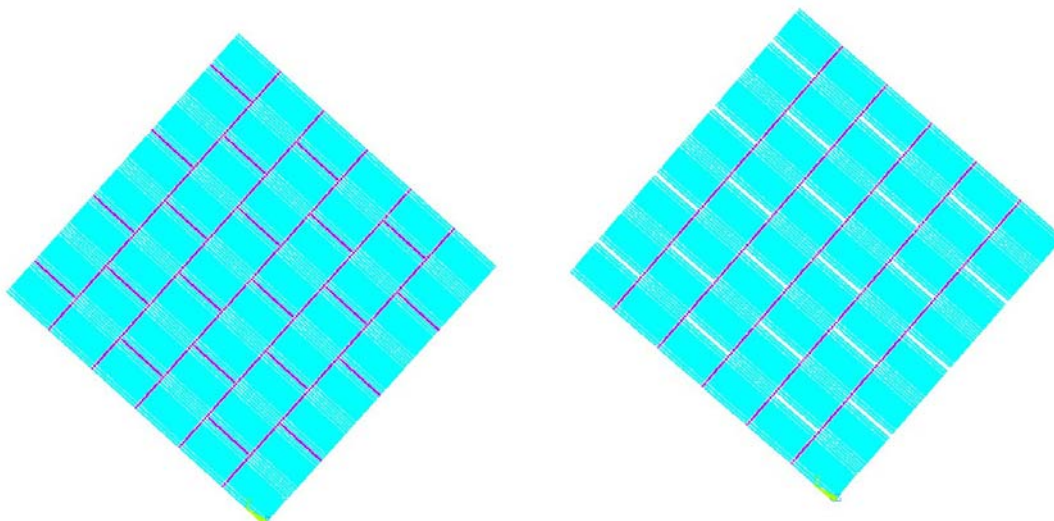


Figura 22 – Modelos das paredes com e sem juntas verticais preenchidas.

4.2.2 Propriedades mecânicas dos componentes

As propriedades foram obtidas das seguintes fontes:

- para os blocos cerâmicos empregou-se o módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson obtidos por Garcia (2000), onde se utilizou bloco cerâmico de resistência à compressão axial na área líquida de 12,56MPa;

- para determinação do módulo de elasticidade da argamassa considerou-se a expressão, “ $E_a = 1000 \cdot f_a$ ”, proposta por Hilsdorf *apud* Neto (2000), onde:

E_a = Módulo de elasticidade da argamassa;

f_a = Resistência à compressão da argamassa.

- para o coeficiente de Poisson da argamassa empregou-se o valor obtido por Garcia (2000).

A Tabela 8 apresenta os valores definidos para as propriedades mecânicas dos componentes, utilizados nos modelos geométricos.

TABELA 8 - Propriedades mecânicas dos componentes

Componente	Módulo de elasticidade (MPa)	Coefficiente de Poisson
Bloco	8.172 (*)	0,25
Argamassa 1:0,5:4,5	10.900	0,20
Argamassa A8	8.700	0,20
Argamassa 1:1:6	6.200	0,20
Argamassa A4	5.300	0,20
Argamassa B5	4.300	0,20

* Referente à área líquida do bloco.

4.2.3 Discretização da malha de elementos finitos

Na discretização da malha de elementos utilizaram-se, tanto nos blocos, quanto nas argamassas, o elemento do ANSYS, denominado *SOLID45*, que é um elemento empregado para modelagem tridimensional de estruturas sólidas. O elemento é definido por oito nós, com três graus de liberdade em cada nó e interpolações lineares para as translações nodais nas direções “x”, “y” e “z”, como pode ser visualizado na Figura 23. A perda de precisão com a utilização deste tipo de elemento em relação ao com funções de interpolação quadrática é compensada com o refinamento da malha e verificação da convergência da solução para diversas análises com malhas cada vez mais refinadas.

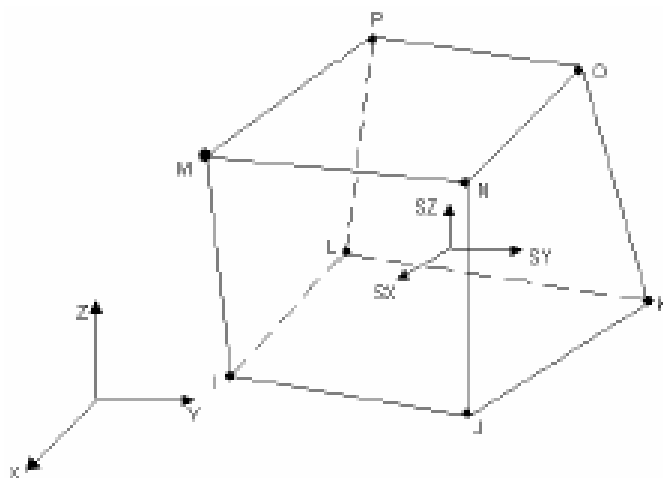


Figura 23 - Elemento SOLID45.

Após diversas análises, verificou-se que uma dimensão global máxima dos elementos definida em 5cm seria suficiente para garantir convergência nas análises, além do que garantia um esforço computacional viável para a realização das análises com um tempo de memória computacional menor. Nas Figuras 24 e 25 pode ser visualizada a malha de elementos finitos aplicada nos dois modelos geométricos utilizados e o detalhe das dimensões máximas dos elementos utilizadas no modelo, respectivamente.

Os modelos geométricos foram construídos, também visando um esforço computacional viável para a realização das análises, considerando “aderência perfeita” entre o bloco e argamassa, ou seja, todos os modelos apresentavam a mesma aderência.

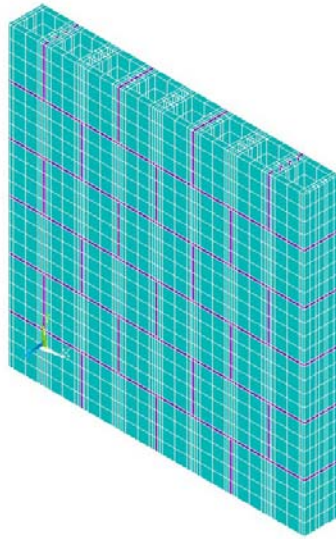


Figura 24 – Malha de elementos finitos aplicada nos modelos.

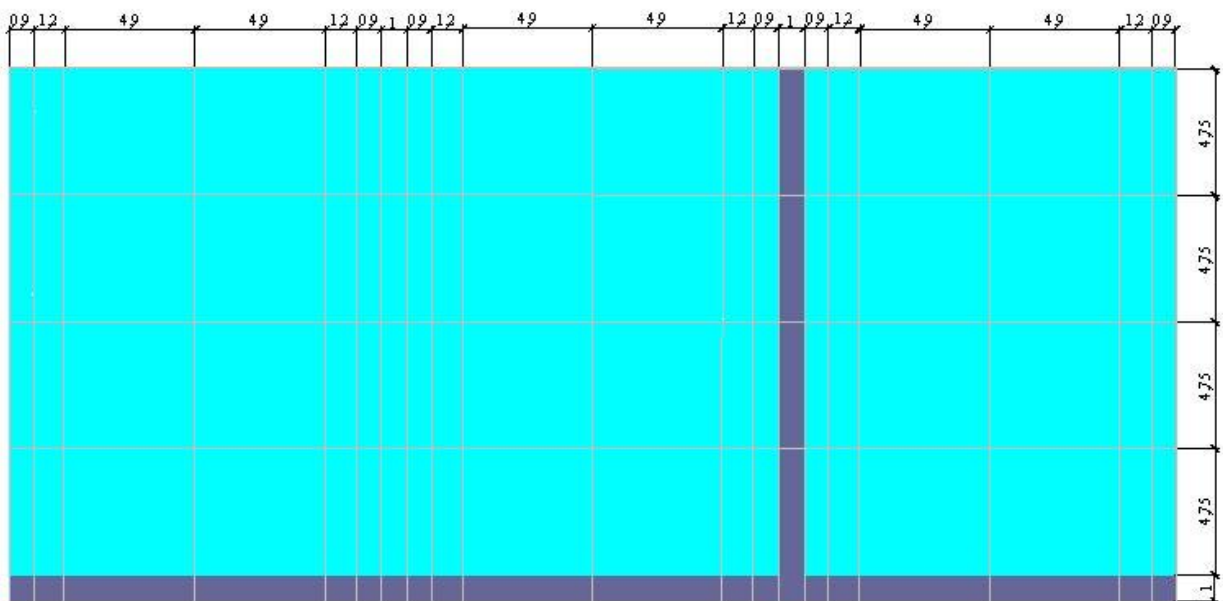


Figura 25 - Detalhe das dimensões máximas dos elementos nos modelos, em (cm).

4.2.4 Carregamento

Os valores das cargas utilizadas na análise numérica são referentes à carga média, ou seja, a média das três cargas de ruptura obtidas em cada série de ensaio na fase experimental. Essa carga “F” foi decomposta em duas

cargas, “ F_x ” e “ F_y ”, nas direções “ x ” e “ y ”, respectivamente, como mostra a Figura 26.

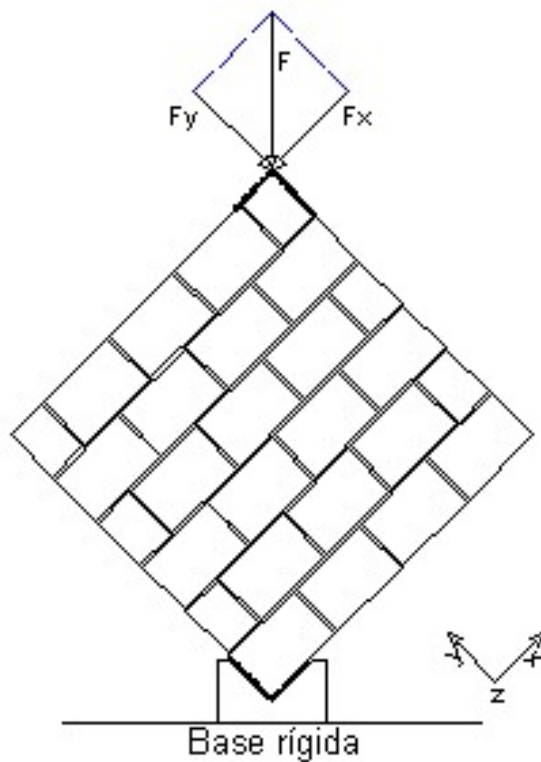


Figura 26 – Detalhe da decomposição das forças no modelo.

Com os valores de “ F_x ” e “ F_y ”, e das áreas “ A_x ” e “ A_y ” (Figura 27), calculou-se as tensões “ σ_x ” e “ σ_y ” a serem aplicadas nos modelos geométricos, como mostram as Tabelas 9 e 10.

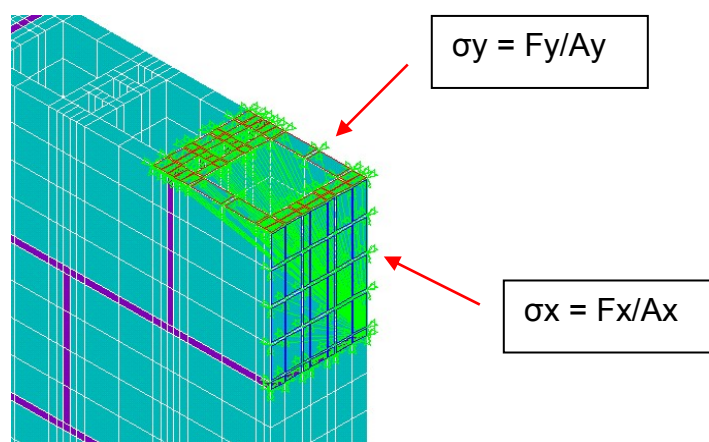


Figura 27 – Detalhe de aplicação das tensões no modelo.

TABELA 9 – Tensões médias aplicadas nos modelos geométricos com junta vertical preenchida

Argamassas	F médio (Kgf)	Fx=Fy (Kgf)	Ax (cm ²)	Ay (cm ²)	σx (MPa)	σy (MPa)
1:0,5:4,5	18.694,0	13.216,7	266,0	239,4	4,969	5,521
A8	11.433,3	8.083,3	266,0	239,4	3,039	3,376
1:1:6	14.875,1	10.516,7	266,0	239,4	3,954	4,393
A4	6.783,3	4.795,8	266,0	239,4	1,794	1,993
B5	3.984,0	2.816,7	266,0	239,4	1,059	1,176

Onde:

F = carga média suportada pelas paredes no ensaio experimental;

Fx = é a componente da força na direção “x”, expressa como $F_x = F \cdot \cos 45^\circ$;

Fy = é a componente da força na direção “y”, expressa como $F_y = F \cdot \cos 45^\circ$;

Ax = é a área de contato com o distribuidor de carga na direção “x” (considerando o graute);

Ay = é a área de contato com o distribuidor de carga na direção “y” (considerando o graute);

σx = é a pressão aplicada na direção “x”, expressa como $\sigma_x = F_x/A_x$;

σ_y = é a pressão aplicada na direção “y”, expressa como $\sigma_y = F_y/A_y$.

TABELA 10 – Tensões médias aplicadas nos modelos geométricos sem junta vertical preenchida

Argamassas	F médio (Kgf)	F _x =F _y (Kgf)	A _x (cm ²)	A _y (cm ²)	σ_x (MPa)	σ_y (MPa)
1:0,5:4,5	5.304,0	3.750,0	266,0	239,4	1,410	1,566
A8	4.668,0	3.300,0	266,0	239,4	1,241	1,378
1:1:6	5.587,0	3.950,0	266,0	239,4	1,485	1,650
A4	2.333,4	1.649,7	266,0	239,4	0,620	0,689
B5	1.614,8	1.141,7	266,0	239,4	0,429	0,477

4.2.5 Restrições

Para simular o efeito do atrito entre o distribuidor de carga e a parede, no ensaio experimental, foi utilizado o comando do *ANSYS* denominado “*coupling*”, com o qual foram acoplados todos os nós das áreas “A_x” e “A_y”, impedindo os deslocamentos destes no plano de aplicação das pressões. Esta aproximação possibilita e assegura a aplicação uniforme das pressões sobre a estrutura analisada, entretanto não modela completamente a questão do atrito real existente entre o distribuidor de carga e a parede.

Nas faces (áreas) inferiores da parede, para simular o atrito entre o distribuidor de carga e a parede, foram aplicadas, igualmente, restrições em todos os nós da área de contato com o distribuidor de carga. As restrições aplicadas não permitem deslocamento nas direções “x”, “y” e “z”. A Figura 28 apresenta, em perspectiva, os nós acoplados no plano de aplicação das pressões (identificado pela cor verde) e as restrições aplicadas em todos os nós da área de contato com o distribuidor de carga (identificado pela cor azul).

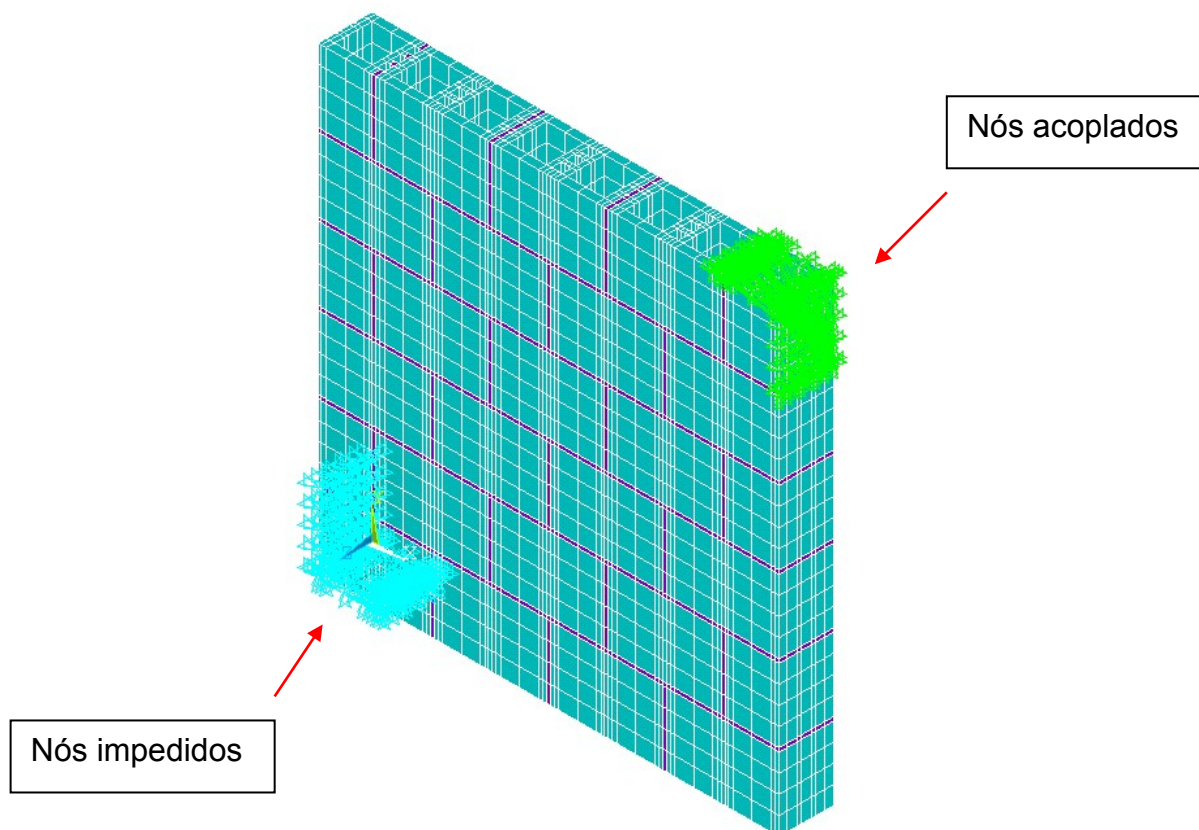


Figura 28 – Detalhe de aplicação das restrições no modelo.

4.3 Resultados

Os resultados analisados são as tensões normais máximas de compressão e de tração, nas direções “x”, “y” e “z”, e as tensões de von Mises, variando o módulo de elasticidade da argamassa e o preenchimento da junta vertical, nas paredes submetidas à compressão diagonal, conforme definido anteriormente.

Salienta-se que as tensões de von Mises são mais utilizadas em materiais dúcteis e isotrópicos e são sempre positivas, para se ter um parâmetro único que possa ser utilizado para as comparações entre os ensaios numéricos. Estas tensões podem ser utilizadas sem perda de generalidade das conclusões. Para materiais frágeis a escolha seguinte mais adequada e simples seria utilizar o critério de Mohr-Coulomb, pois permite limitar a

resistência do material sob pressões hidrostáticas de tração (o que acontece na prática para grande maioria dos materiais e que não pode ser modelado somente com o critério de von Mises). Entretanto a falta de dados experimentais a respeito dos parâmetros necessários para construir um critério deste tipo (coesão e ângulo de atrito interno) tornaria o uso deste critério mais suscetível a erros de interpretação.

Sabe-se que a tensão de von Mises é a soma das tensões principais (tensões de compressão máximas e mínimas) e tensões cisalhantes que atuam no material e que a tensão limite de escoamento sob cisalhamento pelo critério de von Mises é dada por: $k = \frac{\sigma_0}{\sqrt{3}}$, onde σ_0 é a tensão limite de ruptura à compressão ou tração uniaxial de um material. Segundo Chen & Han (1988), o critério de falha de von Mises pode ser colocado da seguinte forma:

$$1/6[(S_x - S_y)^2 + (S_y - S_z)^2 + (S_z - S_x)^2] + \tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2 - \sigma_0^2 / 3 = 0$$

onde $S_x, S_y, S_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ representam o estado de tensões de um ponto. Colocado de outra forma, este critério pode ser escrito como:

$$\sigma_{Mises} = \sqrt{\frac{1}{2}[(S_x - S_y)^2 + (S_y - S_z)^2 + (S_z - S_x)^2] + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}$$

O que significa que pontos que possuam um estado de tensões que violem a desigualdade $\sigma_{Mises} < \sigma_0$, terão falhado por este critério. Neste critério admite-se que o material tenha o mesmo comportamento quer à tração quer à compressão.

As tensões de von Mises estabelecem um grau de sollicitação em uma região da estrutura, enquanto a análise numérica, feita por computador, determina as zonas de sollicitação, segundo uma escala de cores correspondentes a cada faixa de tensão.

Na avaliação das tensões normais e tensões de von Mises são consideradas, apenas, as duas fiadas centrais dos modelos, nos blocos da fiada ou nas juntas de argamassa, a fim de minimizar os efeitos da concentração de tensões nas extremidades (influência dos distribuidores de carga), onde são aplicadas as cargas e as restrições aos deslocamentos. A Figura 29 mostra o exemplo de um modelo com junta vertical preenchida.

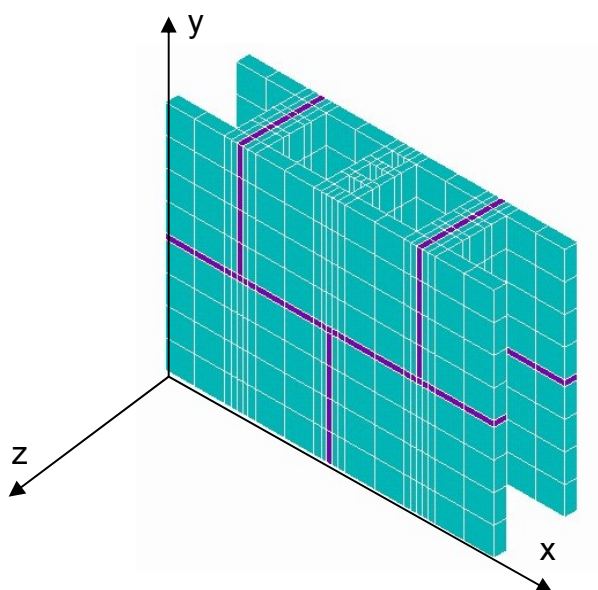


Figura 29 – Região central do modelo utilizado para análise das tensões.

A Tabela 11 apresenta os valores das tensões normais máximas de compressão e de tração, nas direções “x”, “y” e “z”, nos blocos somente que compõem as paredes simuladas, para as diferentes combinações de tipos de argamassa e preenchimento ou não da junta vertical com argamassa.

TABELA 11 – Tensões normais de compressão e tração no bloco, em MPa

DIREÇÃO	Argamassas				
	(1:0,5:4,5)	(A8)	(1:1:6)	(A4)	(B5)
	fa=10,90 MPa	fa=8,70 MPa	fa=6,20 MPa	fa=5,30 MPa	fa=4,30 MPa
Junta vertical preenchida					
Na direção x	-6,092	-3,733	-4,951	-2,290	-1,373
	0,687	0,403	0,528	0,285	0,207
Na direção y	-1,259	-0,756	-0,955	-0,429	-0,246
	1,860	1,115	1,393	0,622	0,373
Na direção z	-0,546	-0,329	-0,411	-0,201	-0,139
	0,933	0,599	0,841	0,398	0,247
Junta vertical não preenchida					
Na direção x	-3,361	-3,111	-3,988	-1,712	-1,239
	0,863	0,791	0,975	0,406	0,277
Na direção y	-2,071	-1,758	-1,963	-0,787	-0,512
	1,788	1,623	2,018	0,856	0,603
Na direção z	-1,046	-0,980	-1,297	-0,570	-0,424
	0,916	0,827	1,022	0,433	0,305

Observação:

- os valores negativos são referentes às tensões normais de compressão e os valores positivos às tensões normais de tração.

A Tabela 12 apresenta os valores das tensões máximas de von Mises nos blocos somente que compõem as paredes simuladas, para as diferentes combinações de tipos de argamassa e preenchimento ou não da junta vertical com argamassa.

TABELA 12 – Tensões de von Mises no bloco, em MPa

DIREÇÃO	Argamassas				
	(1:0,5:4,5) fa=10,90 MPa	(A8) fa=8,70 MPa	(1:1:6) fa=6,20 MPa	(A4) fa=5,30 MPa	(B5) fa=4,30 MPa
Junta vertical preenchida					
De von Mises	8,234	5,120	6,815	3,136	1,867
Junta vertical não preenchida					
De von Mises	3,887	3,541	4,413	1,907	1,387

A Tabela 13 apresenta os valores das tensões normais máximas de compressão e de tração, nas direções “x”, “y” e “z”, nas argamassas somente que compõem as paredes simuladas, para as diferentes combinações de tipos de argamassa e preenchimento ou não da junta vertical com argamassa.

TABELA 13 – Tensões normais de compressão e tração na argamassa, em MPa

DIREÇÃO	Argamassas				
	(1:0,5:4,5) fa=10,90 MPa	(A8) fa=8,70 MPa	(1:1:6) fa=6,20 MPa	(A4) fa=5,30 MPa	(B5) fa=4,30 MPa
Junta vertical preenchida					
Na direção x	-5,606	-3,047	-3,646	-1,655	-0,970
	0,614	0,292	0,415	0,199	0,124
Na direção y	-1,224	-0,695	-0,801	-0,343	-0,183
	1,670	0,954	1,147	0,500	0,275
Na direção z	-0,608	-0,301	-0,331	-0,145	-0,081
	0,857	0,447	0,480	0,203	0,110
Junta vertical não preenchida					
Na direção x	-7,756	-6,281	-6,665	-2,638	-1,705
	0,918	0,645	0,519	0,174	0,094
Na direção y	-4,444	-3,771	-4,222	-1,701	-1,118
	1,851	1,600	1,832	0,745	0,496
Na direção z	-1,734	-1,499	-1,720	-0,700	-0,466
	0,957	0,743	0,744	0,287	0,179

Observação:

- os valores negativos são referentes às tensões normais de compressão e os valores positivos às tensões normais de tração.

A Tabela 14 apresenta os valores das tensões máximas de von Mises nas argamassas somente que compõem as paredes simuladas, para as diferentes combinações de tipos de argamassa e preenchimento ou não da junta vertical com argamassa.

TABELA 14 – Tensões de von Mises na argamassa, em MPa

DIREÇÃO	Argamassas				
	(1:0,5:4,5) fa=10,90 MPa	(A8) fa=8,70 MPa	(1:1:6) fa=6,20 MPa	(A4) fa=5,30 MPa	(B5) fa=4,30 MPa
Junta vertical preenchida					
De von Mises	7,870	4,334	4,978	2,192	1,254
Junta vertical não preenchida					
De von Mises	7,925	6,335	6,547	2,555	1,618

4.4 Interpretação dos resultados e correlações com os ensaios

Observa-se na Tabela 11 que as tensões normais de tração na direção “x” dos blocos das paredes com junta vertical preenchida, confeccionadas com as argamassas mais fortes, 1:0,5:4,5, 1:1:6 e A8 foram, respectivamente: 0,687, 0,528 e 0,403MPa, valores aproximadamente da ordem de grandeza da resistência à tração dos blocos utilizados: 0,503MPa, e considerando, ser esta, segundo Sahlin *apud* Cavalheiro (1994), em torno de 1/30 da resistência à compressão axial do bloco, ou seja, para o bloco utilizado neste trabalho: $15,90/30=0,53$ MPa, valor próximo do obtido no ensaio de tração. Os resultados obtidos na análise numérica podem justificar o porquê da ruptura de alguns blocos, citados posteriormente nas conclusões da análise experimental.

Na Tabela 12 pode-se observar que as tensões de von Mises das paredes com junta vertical preenchida são bem superiores às tensões de von Mises das paredes sem junta vertical preenchida. Uma razão para esta maior

concentração de tensões pode ser atribuída à maior monoliticidade destas paredes, assumindo os blocos, nesta situação, uma maior participação na resistência ao cisalhamento da alvenaria. Talvez isto justifique a menor resistência ao cisalhamento das paredes sem junta vertical preenchida, pela responsabilidade desta ser atribuída praticamente a argamassa.

Colabora ainda para esta interpretação o fato das tensões de von Mises das argamassas das paredes sem junta vertical preenchida serem superiores às tensões de von Mises das paredes com junta vertical preenchida, conforme mostra a Tabela 14.

5

Conclusões

Neste capítulo serão apresentadas as principais conclusões do trabalho.

5.1 Programa experimental

De acordo com a bibliografia estudada e com os resultados experimentais pode-se concluir que a argamassa exerce grande influência na resistência à compressão diagonal das paredes, aumentando significativamente a resistência ao cisalhamento das mesmas.

Da mesma forma, o preenchimento das juntas verticais com argamassa aumentou em torno de três vezes a resistência ao cisalhamento da maioria das paredes ensaiadas, em relação às paredes com juntas verticais não preenchidas.

Verificou-se que o não grauteamento do meio bloco superior e do bloco inteiro inferior compromete o ensaio de compressão diagonal devido à ruptura por esmagamento desses blocos.

Observou-se, também, que em algumas paredes com argamassas de resistência à compressão mais elevada, 1:0,5:4,5, 1:1:6 e A8, as rupturas das mesmas ocorreram, igualmente, em alguns blocos, e não somente nas juntas de argamassa da diagonal comprimida, como pode ser percebido na Figura 30.

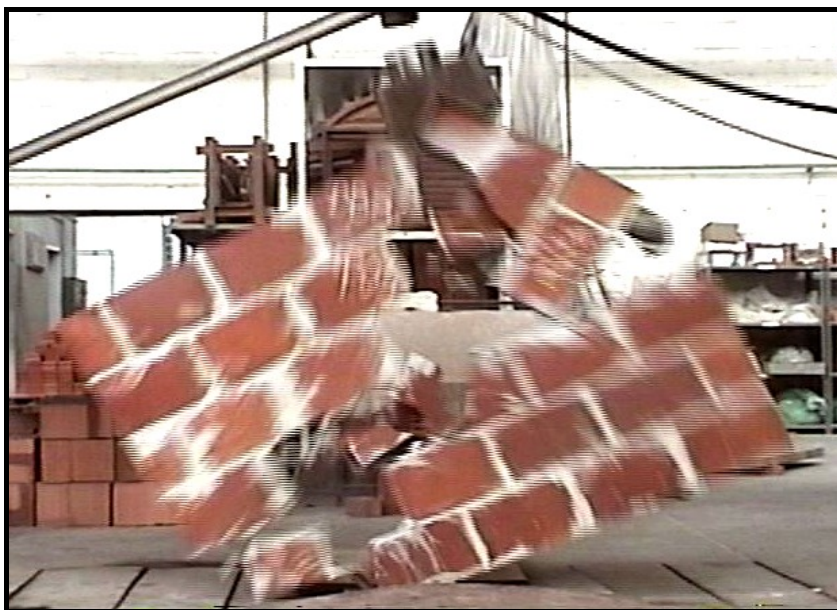


Figura 30 – Detalhe da ruptura dos blocos.

5.2 Análise numérica

Observa-se uma concentração de tensões de von Mises, ao longo da diagonal comprimida das paredes, principalmente nas regiões de extremidade junto ao meio bloco superior e ao bloco inferior (ver Figuras C1, C4, C7 e C10 do anexo C). Esse fato pode explicar a formação de fissuras nessa região durante a aplicação do carregamento e a ruptura desses blocos, por esmagamento, na primeira série dos ensaios experimentais, quando eles não possuíam grauteamento.

Verificou-se a ruptura de alguns blocos, numa linha aproximadamente perpendicular ao eixo dos “x”, nos ensaios experimentais com paredes com junta vertical preenchida e confeccionada com argamassas mais fortes,

conforme comentado nas conclusões da análise experimental, justificando, assim, os resultados obtidos na análise numérica, onde, para as tensões normais de tração na direção “x”, nos blocos destas paredes, os valores são aproximadamente iguais à tensão de ruptura à tração do bloco utilizado.

Pelo exposto conclui-se que o modelo numérico pode, de certa forma, explicar alguns dos modos de falha observados nos ensaios experimentais. Ele pode ser utilizado, como boa ferramenta de análise, na avaliação da resistência ao cisalhamento da alvenaria, para comparações entre alternativas de combinações de tipos de blocos, traços de argamassas ou sistemas de grauteamento. Uma análise mais detalhada não linear poderá melhor identificar quais os processos envolvidos nos tipo de falha, podendo-se propor alternativas no sentido de melhorar a resistência das paredes à compressão diagonal.

5.3 Conclusões gerais

Pelos resultados apresentados conclui-se que é importante o preenchimento das juntas verticais de argamassa para o acréscimo de resistência à compressão diagonal das paredes e, conseqüentemente, sua resistência aos esforços horizontais, tendo em vista que o consumo a mais de argamassa não é significativo.

A influência da resistência à compressão axial das argamassas é significativa para o aumento de resistência à compressão diagonal das paredes.

Apesar do modelo numérico considerar que os materiais (bloco e argamassa) têm “aderência perfeita”, este mesmo mostrou-se bastante válido para as argamassas mais fortes, citadas anteriormente, as quais, como se comprovou experimentalmente, têm grande aderência aos blocos.

Guardadas as limitações impostas pela análise numérica linear, o trabalho permite identificar, através das tensões “plotadas” pelo programa ANSYS, as regiões que apresentam maiores concentrações destas tensões, identificando, assim, as zonas com maiores possibilidades de ocorrência de ruptura dos componentes em estudo.

5.4 Sugestões para trabalhos futuros

Uma primeira sugestão é um estudo de paredes submetidas à compressão diagonal, analisadas com um modelo não-linear do comportamento dos componentes bloco e argamassa, juntamente com um algoritmo de controle de deslocamento, uma vez que não se conhece perfeitamente, ainda, o comportamento dos blocos e argamassas. O controle de deslocamento, associado a um modelo não linear dos componentes, permite obter as curvas “tensão-deformação”, capturando inclusive o comportamento pós-pico destes materiais. Mesmo para baixos valores de carregamento, situação de cargas de serviço bem abaixo da carga de ruptura, esta análise é importante, visto que permite avaliar e concluir a respeito das regiões de formação de fissuras, assim como medidas de deformações/deslocamentos mais precisas.

Sugere-se, também, modelar as paredes utilizando elementos de contato entre as superfícies do bloco e argamassa, considerando o atrito que há entre esses componentes, analisando os modelos pelo critério de Mohr-Coulomb, que é mais adequado para materiais frágeis como alvenaria.

Outra sugestão é repetir os ensaios utilizando-se blocos de concreto, para verificar se resultados similares serão encontrados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. W. HENDRY; B.P. SINHA and S.R DAVIS: Load bearing brickwork design. **Ellis Horwood Limited- Second Edition. 1987.**

ACCETTI, K. M. **Contribuições ao projeto estrutural de edifícios em alvenaria.** São Carlos, 1998. 247 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

ALY, V.L.; SABBATINI, F.H. **Determinação de correlações de resistência mecânica de paredes de alvenaria estrutural de blocos de concreto.** 5th International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries. Florianópolis, 1994.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test method for diagonal tension (shear) in masonry assemblages:** ASTM. Philadelphia, 1981 ASTM E 519-81.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test methods for sampling and testing brick and structural clay tile:** ASTM. Philadelphia, 1978 ASTM C 67-78.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test method for splitting tensile strength of masonry units:** ASTM. Philadelphia, 1984 ASTM C 1006-1984.

ANSYS: **Engineering Analysis System**, release 5.4 - Workbook, Third Edition, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. **Manual Técnico de Alvenaria**, Projeto/PW. São Paulo. 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados: Determinação da composição granulométrica**; NBR 7217. Rio de Janeiro. 1987.

____. **Agregados: Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapman**; NBR 9776. Rio de Janeiro. 1987.

____. **Bloco cerâmico portante para alvenaria: Determinação da área líquida**; Método de ensaio: NBR 8043. Rio de Janeiro. 1983.

____. **Agregado em estado solto: Determinação da massa unitária**; NBR 7251. Rio de Janeiro. 1982.

____. **Telha cerâmica para alvenaria – Determinação da massa e da absorção de água**; Método de ensaio: NBR 8947. Rio de Janeiro. 1985.

____. **Bloco cerâmico para alvenaria: Verificação da resistência à compressão**; NBR 6461. Rio de Janeiro. 1983.

____. **Bloco cerâmico para alvenaria: Formas e dimensões**; NBR 8042. Rio de Janeiro. 1992.

____. **Câmaras úmidas para cura de corpos de prova de cimento e concreto**; NBR 9479. 1986.

____. **Cimento Portland: Determinação da resistência à compressão**; NBR 7215. Rio de Janeiro. 1991.

____. **Cimento Portland Pozolânico**; NBR 5736. Rio de Janeiro. 1991.

____. **Cimento Portland Comum**; NBR 5732. Rio de Janeiro. 1991.

____. **Concreto: Determinação do módulo de deformação estática e diagrama tensão x deformação**; NBR 8522. Rio de Janeiro. 1994.

_____.**Paredes de alvenaria estrutural: Ensaio à compressão simples**; NBR 8949. Rio de Janeiro, 1985.

_____.**Paredes de alvenaria estrutural: Determinação da resistência ao cisalhamento**; NBR 14321. Rio de Janeiro, 1999.

ASTROZA, I. M. **Estudio experimental de la resistencia al corte de la albañileria de unidades cerâmicas**. Publ. SES 17/86. Chile, 1986.

BARBOSA, P. C. **Estudo da interação de paredes de alvenaria estrutural com vigas de concreto armado**. São Carlos, 2000. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000.

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

CAPOZUCCA, R. **Masonry panels with different mortar joints under compression**. 13th International Brick and Block Masonry Conference Amsterdam, 2004.

CANDIA, M. C. **Resistência de aderência ao cisalhamento da alvenaria estrutural não armada de blocos cerâmicos**. São Paulo: USP, 1994. 168 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1994.

CARASEK, H. **Estudo experimental em alvenaria estrutural: Resistência à compressão e resistência de aderência**. Porto Alegre, 1990. 94 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1990.

CAVALHEIRO, O. P. **Curso básico de alvenaria estrutural**. Notas de aula. UFSM, 1996.

CAVALHEIRO, O. P. ; POZZOBON, M. ; SABÓIA, G.; SANTOS, R. R. **Comportamento de Paredes de blocos estruturais cerâmicos e de concreto**

quanto à resistência ao cisalhamento. **XV Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia**, Rio Grande, RS, Brasil. 2000.

CHEN, W. F. ; HAN, D. J. Plasticity for Structural Engineers. **Springer Verlag**. New York, 1988.

CPqDCC-EPUSP/GEPE-TPC. **Desenvolvimento de um método construtivo de alvenaria de vedação de blocos de concreto celular autoclavados** - Relatório final. Proposição do método construtivo POLI-SICAL. São Paulo, EPUSP, 1994.(Projeto EPUSP-SICAL-01 – Rt 20.081).

COLLANTES, M. **Resistência de aderência ao cisalhamento da alvenaria estrutural não armada de blocos cerâmicos**. São Paulo: USP, 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1994.

CORRÊA, M.R.S. ; RAMALHO, M.A. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. Pini Ltda. 1ª ed. São Paulo. 2003.

DAVISON, C. H. Industrialized construction: a commentary. **In: INDUSTRIALIZATION in concrete building construction**. Detroit, 1975. ACI.p.1-6. (ACI publication, SP-48)

EXPLORE THE TAJ MAHAL, Disponível em: <http://www.taj-mahal.net/> Acesso em: 13 abril 2002.

FATTAL,S. G.; CATTANEO,L. E. Evaluation of structural properties of masonry in existing buildings. Washington,1977. **National Bureau of Standards**. Building Science, Séries-62.

FILOMENO, O. L. **Caracterização das argamassas de assentamento empregadas na região de Florianópolis e estudo comparativo entre argamassas de assentamento de cimento e cal e cimento e saibro**.

Florianópolis: UFSC, 1992. 78 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, 1992.

FONSECA, J. S. ; MARTINS, G.A. **Curso de estatística**. Atlas S.A. 5ª ed .São Paulo. 1994

FRANCO, L.S. **O Desempenho do Elemento Parede de Alvenaria Empregado na Alvenaria Estrutural Não Armada, Quando Submetido a esforços de Compressão**. São Paulo, 1987. 136p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1987.

FRANCO, L. S. **Parâmetros utilizados nos projetos de alvenaria estrutural**. TT/PCC/03. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. São Paulo, SP, 1993.

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

GOMES, N. dos S. **A Resistência Das Paredes De Alvenaria**. São Paulo: USP, 1983. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1983.

HILSDORF, H. K. Na investigation into the failure mechanism of brick masonry loaded in axial compression. **In Designing, Engineering and Constructing with masonry Products, Gulf Publishing CO**, Houston, Estados Unidos, 1969.

JOAQUIM, M. M. **Flexão e flexo-compressão em elementos de alvenaria estrutural**. São Carlos, 1999. 133p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999.

KAMINSKI, J. Jr; LOVATO, R. S.; THOMAS, F. Análise das características mecânicas da alvenaria estrutural utilizando software de elementos finitos. **XV Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia**, Rio Grande, RS, Brasil. 2000.

KHALAF, F. M. & NAYSMITH M. W. Shear Strength of Masonry Bed Joints. **TMS Journal**. London, December. 1997.

LA ROVERE, H. L. ; RODRIGUES, R. M. Análise do comportamento mecânico de prismas de alvenaria de blocos de concreto pelo MEF. **XXVIII Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural**, São Carlos, SP, Brasil. v. 1, p. 179 – 188. 1997.

LEE, J. S.; PANDE, G. N.; MIDDLETON, J.; KRALJ, B. Numerical modeling of brick masonry panels subject to lateral loadings . **In Proc. 11th Inst. Brick/block Masonry conf.**, Calgary, Canadá,1994.

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

MENDES, R.J.K. **Resistência à compressão de alvenarias de blocos cerâmicos estruturais**. Florianópolis, 1998. 185p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.

MULLER, M. S. K. **Estudo das correlações entre resistências à compressão de paredes e prismas de alvenaria estrutural cerâmica não armada submetidos à esforços de compressão axial**. São Paulo: USP, 1982. 246 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1982.

MOHAMAD, G. **Comportamento mecânico na ruptura de prismas de bloco de concreto**. Florianópolis: UFSC, 1998. 178 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.

NETO, J.A.N. **Investigação das solicitações de cisalhamento em edifícios de alvenaria estrutural submetido a ações horizontais.** São Carlos, 1999. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999.

PANARESE, W. C.; RANDALL, F. A. **Concrete masonry handbook for architects, enngineers, builders.** 5ª ed. USA, 1991.

PARZEKIAN, A.G. **Tecnologia de produção alvenaria estrutural protendida.** São Paulo, 2002. 263p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002.

PEDROSO, M. G. **Estudo de resistência de aderência ao cisalhamento na alvenaria estrutural.** Santa Maria: UFSM, 2001. 105 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, 2001.

POPOV, E.P. **Introdução à mecânica dos sólidos.** Edgard Blucher Ltda. 3ª ed. São Paulo. 1996.

PRADO, S. H. **Resistencia a compressão de tijolos e blocos cerâmicos de diferentes formas e dimensões.** Florianópolis: UFSC, 1998. 178 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.

PRISMA SOLUÇÕES COSNTRUTIVAS COM BLOCOS DE CONCRETO. Disponível em: <http://www.revistaprisma.com.br/n5/arquitetura2.htm> Acesso em: 17 janeiro 2004.

PRISMA SOLUÇÕES COSNTRUTIVAS COM BLOCOS DE CONCRETO. Disponível em: <http://www.revistaprisma.com.br/n1/parksul.htm> Acesso em: 17 janeiro 2004.

PROJETO FAPERGS. **Resistencia ao cisalhamento da alvenaria estrutural.** Bolsa de iniciação científica. Processo: 99/50512.5, 1999.

REVISTA: *techne*. São Paulo: Pini Ltda, p. 43, jun. 2003.

ROMAN, H.R. ; MENDES, R. J. K. Compressive strenght of clay block prisms. **Fifth International Mansory Conference, Proceedings**, London, British. v. 8, p. 28 – 30. 1998.

ROMAN, H.R. ; CARVALHO, J. D. N. Alvenaria estrutural: o conceito do efeito arco. **II Encontro tecnológico da engenharia civil e arquitetura**, ENTAC, Maringá, PR. 2001

SABBATINI, F.H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcária**. São Paulo, 1984. 298p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1984.

SABBATINI, F. H. **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria estrutural**. Boletim Técnico 02/86. EPUSP. São Paulo, 1986.

SABBATINI, F.H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia**. São Paulo, 1989. 321p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1989.

SABHA, A. Eccentrically loaded historic mansory. **Fifth International Mansory Conference, Proceedings**, London, British. v. 8, p. 178 – 181. 1998.

SAHLIN, S. Structural Masonry. **Englewood Cliffs, Prentice Hall**, New Jersey, 1971.

SILVA, I.M. **Análise de edifícios de alvenaria estrutural sujeitos à ação do vento**. São Carlos, 1996. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1996.

SILVANA TOURS, Disponível em: <http://silvanatours.com.pe> Acesso em: 13 abril 2002.

SINHA, B. P.; HENDRY, A. W. An introduction to load bearing brickwork design. **5th INTERNATIONAL BRICK/BLOCK Masonry conference**. 1979.

SOLÓRZANO, M. G. P. **Características e desempenho de juntas de argamassa na alvenaria estrutural de blocos de concreto**. São Paulo: USP, 1994. 203 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1994.

SKYSCRAPERS, Disponível em: <http://www.skyscrapers.com> Acesso em: 13 abril 2002.

SKYSCRAPERS, Disponível em: <http://www.skyscrapers.com> Acesso em: 17 agosto 2003.

TAUIL, Carlos Alberto; RACCA, Cid Luiz. **Alvenaria Armada**, São Paulo: Projeto, 1981.

ANEXO A – TABELAS REFERENTES AOS ENSAIOS EXPERIMENTAIS

TABELA A1 - Ensaio dimensional dos blocos cerâmicos

VERIFICAÇÃO DIMENSIONAL INDIVIDUAL			
Amostra	Dimensões (mm)		
n°	L	H	C
01	140	191	289
02	141	190	289
03	141	189	289
04	141	190	289
05	140	190	289
06	140	191	289
07	140	190	290
08	141	190	289
09	141	190	289
10	140	189	289
11	140	190	289
12	140	189	289
13	141	190	290
Média	140	190	289
VERIFICAÇÃO DIMENSIONAL NBR 7171			
Largura		3385	141
Altura		4570	190
Comprimento		6940	289

TABELA A2 – Ensaio de planicidade e desvio de esquadro dos blocos cerâmicos

BLOCO 140x190x290		Planicidade	BLOCO 140x190x290		Desvio de Esquadro
Amostra		Medições	Amostra		Medições
nº		(mm)	nº		(mm)
01		0,10	01		1,60
02		0,00	02		1,90
03		0,00	03		1,70
04		0,50	04		1,60
05		0,00	05		1,80
06		0,10	06		1,90
07		0,00	07		1,90
08		0,00	08		2,00
09		0,00	09		2,00
10		0,00	10		2,00
11		0,00	11		2,30
12		0,10	12		1,30
13		0,00	13		1,60
Média		0,06	Média		1,82

TABELA A3 - Ensaio dimensional das paredes internas dos blocos cerâmicos

BLOCO 140x190x290	
Amostra	Dimensões
nº	(mm)
01	213
02	210
03	212
04	216
05	214
06	212
07	213
08	207
09	206
10	214
11	210
12	212
13	216
Média	212

TABELA A4 – Ensaio de índice de absorção inicial (IRA) dos blocos cerâmicos

BLOCO 140x190x290								
Amostra n°	Dimensões (mm)		Área Bruta (cm ²)	Área Líquida (cm ²)	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	ΔP (g)	IRA g/193,55 cm ² .min
	L	C						
01	140	191	267,40	212,40			0,0	0,0
02	141	190	267,90	213,00			0,0	0,0
03	141	189	266,50	212,80			0,0	0,0
04	141	190	267,90	211,00			0,0	0,0
05	140	190	266,00	214,70			0,0	0,0
06	140	191	267,40	213,40	7110	7125	15	13,50
07	140	190	266,00	212,20	7115	7130	15	13,70
08	141	190	267,90	211,70	7105	7120	15	13,70
09	141	190	267,90	212,60	7120	7135	15	13,70
10	140	189	264,60	214,70			0,0	0,0
11	140	190	266,00	215,30	7120	7140	20	18,00
12	140	189	264,60	213,70			0,0	0,0
13	141	190	267,90	213,90			0,0	0,0
Média	140	190	266,80	213,20	7114	7130	16,00	14,50

TABELA A5 - Ensaio de resistência à compressão axial dos blocos cerâmicos

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL 140x190x290					
Amostra n°	Dimensões (mm)		Área Bruta (mm ²)	Carga (N)	σ MPa
	L	C			
01	141	288	40608,00	554265	13,60
02	141	288	40608,00	701415	17,30
03	140	287	40180,00	706320	17,60
04	141	288	40608,00	549360	13,50
05	141	288	40608,00	725940	17,90
06	140	287	40180,00	696510	17,30
07	141	288	40608,00	740655	18,20
08	140	289	40460,00	618030	15,30
09	141	288	40608,00	696510	17,20
10	141	289	40749,00	529740	13,00
11	140	287	40180,00	676890	16,80
12	139	287	39893,00	539550	13,50
13	140	288	40320,00	622935	15,40

Média (MPa)	15,90
Desvio padrão (MPa)	1,90
Coef. de variação (%)	12,00

TABELA A6 – Resistência característica à compressão axial dos blocos cerâmicos

f_{bk} 140x190x290			
Ordem	σ		
n ^o	MPa		
1	13,50		
2	14,10		
3	14,10		
4	14,20	f _{bk1} =	13,20 MPa
5	15,90		
6	16,10	f _{bk2} =	13,50 MPa
7	17,50		
8	17,80	f _{bk3} =	13,20 MPa
9	17,90		
10	18,00		
11	18,30	f _{bk4} =	Maior valor entre f _{bk1} e f _{bk3} = 13,20 MPa
12	18,60		
13	19,00	f _{bk,est} =	Menor valor entre f _{bk2} e f _{bk4} = 13,20 MPa

TABELA A7 - Ensaio de tração dos blocos cerâmicos

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO 140x190x290					
Amostra	Dimensões (mm)		Área Bruta (mm ²)	Carga 2x(N)	σ MPa
	L	H			
1	140	190	83524,00	43000	0,515
2	140	190	83524,00	42000	0,503
3	140	190	83524,00	41800	0,500
4	140	190	83524,00	41200	0,493
5	140	190	83524,00	42000	0,503
Média (MPa)					0,503
Desvio padrão (MPa)					0,01
Coeficiente de variação (%)					1,5

TABELA A8 - Ensaio de absorção e área líquida dos blocos cerâmicos

BLOCO 140x190x290										
Amostra nº	Dimensões (mm)			Área Bruta (mm ²)	P. Seco (g)	P. Saturado (g)	P. Imerso (g)	Absorção (%)	Área Líquida (mm ²)	Relação Al/Ab
	L	H	C							
01	140	191	289	40460	7100	7780	4045	9.60	19555	0,48
02	141	190	289	40750	7100	7780	4030	9.60	19737	0,48
03	141	189	289	40750	7085	7760	4025	9.50	19762	0,48
04	141	190	289	40750	7105	7780	4050	9.50	19632	0,48
05	140	190	289	40460	7110	7800	4055	9.70	19711	0,49
06	140	191	289	40460	7100	7790	4025	9.70	19712	0,49
07	140	190	290	40600	7100	7800	4055	9.90	19711	0,49
08	141	190	289	40750	7095	7780	4015	9.70	19826	0,49
09	141	190	289	40750	7110	7775	4025	9.40	19737	0,48
10	140	189	289	40460	7095	7775	4045	9.60	19735	0,49
11	140	190	289	40460	7115	7790	4040	9.50	19737	0,49
12	140	189	289	40460	7100	7790	4050	9.70	19788	0,49
13	141	190	290	40890	7110	7805	4045	9.80	19789	0,48
Média	140	190	289	40620	7102	7785	4045	9.60	19725	0,49

TABELA A9 - Ensaio de resistência à compressão axial das argamassas
1:0,5:4,5

ARGAMASSA MISTA 1 : 0,5 : 4,5							
ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL - 28 DIAS							
CP	Diâmetro	Área	Carga	Tensão	Média	d.p.	c.v.
nº	mm	mm ²	N	MPa	MPa	MPa	%
01	49.9	1955	21200	10,8			
02	49.9	1955	19500	10,0			
03	49.8	1947	20300	10,4			
04	50.0	1963	19800	10,1			
05	49.9	1955	21000	10,7			
06	49.8	1947	19400	10,0			
07	50.0	1963	23000	11,7			
08	49.8	1947	21900	11,2			
09	49.9	1955	22000	11,3			
10	50.0	1963	23500	12,0			
11	50.0	1963	22400	11,4			
12	49.8	1947	21000	10,8	10,9	0,7	6,2

TABELA A10 - Ensaio de resistência à compressão axial das argamassas A8

ARGAMASSA TIPO A8							
ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL - 28 DIAS							
CP	Diâmetro	Área	Carga	Tensão	Média	d.p.	c.v.
nº	mm	mm ²	N	MPa	MPa	MPa	%
01	49,9	1955	16400	8,4			
02	49,9	1955	16800	8,6			
03	49,9	1955	17100	8,7			
04	50,0	1963	17600	9,0			
05	50,0	1963	18600	9,5			
06	49,9	1955	16200	8,3			
07	50,1	1970	16800	8,5			
08	50,0	1963	17200	8,8			
09	49,9	1955	16800	8,6			
10	49,9	1955	16900	8,6			
11	50,0	1963	17400	8,9			
12	49,9	1955	16700	8,5	8,7	0,3	3,6

TABELA A11 - Ensaio de resistência à compressão axial das argamassas 1:1:6

ARGAMASSA MISTA 1 : 1 : 6							
ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL - 28 DIAS							
CP	Diâmetro	Área	Carga	Tensão	Média	d.p.	c.v.
nº	mm	mm ²	N	MPa	MPa	MPa	%
01	50,0	1963	12900	6,6			
02	49,9	1955	11600	5,9			
03	50,0	1963	12500	6,4			
04	49,8	1947	11400	5,9			
05	50,0	1963	13100	6,7			
06	50,0	1963	12600	6,4			
07	50,0	1963	12800	6,5			
08	49,9	1955	11700	6,0			
09	49,9	1955	11400	5,8			
10	49,8	1947	11400	5,9			
11	50,0	1963	11600	5,9			
12	49,9	1955	12900	6,6	6,2	0,3	5,5

TABELA A12 - Ensaio de resistência à compressão axial das argamassas A4

ARGAMASSA TIPO A4							
ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL - 28 DIAS							
CP	Diâmetro	Área	Carga	Tensão	Média	d.p.	c.v.
nº	mm	mm ²	N	MPa	MPa	MPa	%
01	50,2	1978	12100	6,1			
02	50,0	1963	10200	5,2			
03	50,0	1963	10900	5,6			
04	49,9	1955	11000	5,6			
05	50,0	1963	10400	5,3			
06	50,1	1970	11100	5,6			
07	49,9	1955	9200	4,7			
08	50,0	1963	9400	4,8			
09	50,0	1963	10350	5,3			
10	49,9	1955	10350	5,3			
11	50,1	1970	11100	5,6			
12	50,0	1963	9800	5,0	5,3	0,4	7,5

TABELA A13 - Ensaio de resistência à compressão axial das argamassas B5

ARGAMASSA B5							
ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL - 28 DIAS							
CP	Diâmetro	Área	Carga	Tensão	Média	d.p.	c.v.
nº	mm	mm ²	N	MPa	MPa	MPa	%
01	49,8	1947	8000	4,1			
02	49,8	1947	8000	4,1			
03	50,0	1963	8800	4,5			
04	50,0	1963	8500	4,3			
05	49,9	1955	8500	4,3			
06	50,0	1963	9300	4,7			
07	49,9	1955	8400	4,3			
08	49,8	1947	8300	4,3			
09	49,8	1947	8000	4,1			
10	49,9	1955	9000	4,6			
11	49,8	1947	8200	4,2			
12	49,8	1947	8800	4,5	4,3	0,2	4,7

TABELA A14 - Ensaio de compressão diagonal em paredes de blocos cerâmicos

PAREDE (1200mmx1200mm) ARGAMASSA 1:0,5:4,5 - CISALHAMENTO					
JUNTA VERTICAL PREENCHIDA					
Amostra	Largura	Comprimento	Área	Carga	Tensão
nº	mm	mm	mm ²	N	MPa
1	140	1190	81634	138000	1,195
2	140	1190	81634	118500	1,026
3	140	1190	81634	140000	1,212
TOTAL:				3,434	
MÉDIA:				1,145	

TABELA A15 - Ensaio de compressão diagonal em paredes de blocos cerâmicos

PAREDE (1200mmx1200mm) ARGAMASSA 1:0,5:4,5 - CISALHAMENTO					
JUNTA VERTICAL NÃO PREENCHIDA					
Amostra	Largura	Comprimento	Área	Carga	Tensão
nº	mm	mm	mm ²	N	MPa
1	140	1190	81634	41500	0,359
2	140	1190	81634	41000	0,355
3	140	1190	81634	30000	0,260
TOTAL:				0,974	
MÉDIA:				0,325	

TABELA A16 - Ensaio de compressão diagonal em paredes de blocos cerâmicos

PAREDE (1200mmx1200mm) ARGAMASSA A8 - CISALHAMENTO					
JUNTA VERTICAL PREENCHIDA					
Amostra	Largura	Comprimento	Área	Carga	Tensão
nº	mm	mm	mm ²	N	MPa
1	140	1190	81634	92000	0,797
2	140	1190	81634	89500	0,775
3	140	1190	81634	61000	0,528
TOTAL:				2,100	
MÉDIA:				0,700	

TABELA A17 - Ensaio de compressão diagonal em paredes de blocos cerâmicos

PAREDE (120cmx120cm) ARGAMASSA A8 - CISALHAMENTO					
JUNTA VERTICAL NÃO PREENCHIDA					
Amostra	Largura	Comprimento	Área	Carga	Tensão
nº	mm	mm	mm ²	N	MPa
1	140	1190	81634	29500	0,255
2	140	1190	81634	38500	0,333
3	140	1190	81634	31000	0,268
TOTAL:				0,857	
MÉDIA:				0,286	

TABELA A18 - Ensaio de compressão diagonal em paredes de blocos cerâmicos

PAREDE (1200mmx1200mm) ARGAMASSA 1:1:6 - CISALHAMENTO					
JUNTA VERTICAL PREENCHIDA					
Amostra	Largura	Comprimento	Área	Carga	Tensão
nº	mm	mm	mm ²	N	MPa
1	140	1190	81634	109500	0,948
2	140	1190	81634	111000	0,961
3	140	1190	81634	95000	0,823
TOTAL:					2,732
MÉDIA:					0,911

TABELA A19 - Ensaio de compressão diagonal em paredes de blocos cerâmicos

PAREDE (1200mmx1200mm) ARGAMASSA 1:1:6 - CISALHAMENTO					
JUNTA VERTICAL NÃO PREENCHIDA					
Amostra	Largura	Comprimento	Área	Carga	Tensão
nº	mm	mm	mm ²	N	MPa
1	140	1190	81634	40000	0,346
2	140	1190	81634	41000	0,355
3	140	1190	81634	37500	0,325
TOTAL:					1,026
MÉDIA:					0,342

TABELA A20 - Ensaio de compressão diagonal em paredes de blocos cerâmicos

PAREDE (1200mmx1200mm) ARGAMASSA A4 - CISALHAMENTO					
JUNTA VERTICAL PREENCHIDA					
Amostra	Largura	Comprimento	Área	Carga	Tensão
n°	mm	mm	mm ²	N	MPa
1	140	1190	81634	67000	0,580
2	140	1190	81634	68500	0,593
3	140	1190	81634	68000	0,589
TOTAL:				1,762	
MÉDIA:				0,587	

TABELA A21 - Ensaio de compressão diagonal em paredes de blocos cerâmicos

PAREDE (1200mmx1200mm) ARGAMASSA A4 - CISALHAMENTO					
JUNTA VERTICAL NÃO PREENCHIDA					
Amostra	Largura	Comprimento	Área	Carga	Tensão
n°	mm	mm	mm ²	N	MPa
1	140	1190	81634	18000	0,156
2	140	1190	81634	26500	0,230
3	140	1190	81634	25500	0,221
TOTAL:				0,606	
MÉDIA:				0,202	

TABELA A22 - Ensaio de compressão diagonal em paredes de blocos cerâmicos

PAREDE (1200mmx1200mm) ARGAMASSA B5 - CISALHAMENTO					
JUNTA VERTICAL PREENCHIDA					
Amostra	Largura	Comprimento	Área	Carga	Tensão
nº	mm	mm	mm ²	N	MPa
1	140	1190	81634	19000	0,165
2	140	1190	81634	30000	0,260
3	140	1190	81634	35500	0,307
TOTAL:					0,732
MÉDIA:					0,244

TABELA A23 - Ensaio de compressão diagonal em paredes de blocos cerâmicos

PAREDE (1200mmx1200mm) ARGAMASSA B5 - CISALHAMENTO					
JUNTA VERTICAL NÃO PREENCHIDA					
Amostra	Largura	Comprimento	Área	Carga	Tensão
nº	mm	mm	mm ²	N	MPa
1	140	1190	81634	10250	0,089
2	140	1190	81634	13500	0,117
3	140	1190	81634	10500	0,091
TOTAL:					0,297
MÉDIA:					0,099

ANEXO B – TABELAS REFERENTES À ANÁLISE DE VARIÂNCIA

PAREDES COM JUNTA VERTICAL PREENCHIDA

TABELA B1 - Tensões de cisalhamento das paredes, em MPa

1:0,5:4,5		A8		1:1:6		A4		B5	
1,20	MÉDIA 1,15	0,80	MÉDIA 0,70	0,95	MÉDIA 0,91	0,58	MÉDIA 0,59	0,16	MÉDIA 0,24
1,03		0,78		0,96		0,59		0,26	
1,21		0,53		0,82		0,59		0,31	

TABELA B2 - Diferença das tensões com o ponto de corte, em MPa

1:0,5:4,5		A8		1:1:6		A4		B5		
0,70	SOMAT. 1,94	0,30	SOMAT. 0,61	0,45	SOMAT. 1,23	0,08	SOMAT. 0,26	-0,34	SOMAT. -0,77	SOMAT. 3,27
0,53		0,28		0,46		0,09		-0,24		
0,71		0,03		0,32		0,09		-0,19		

TABELA B3 - Diferença das tensões com o ponto de corte ao quadrado

1:0,5:4,5		A8		1:1:6		A4		B5		
0,4900	SOMAT ² . 3,7636	0,0900	SOMAT ² . 0,3721	0,2025	SOMAT ² . 1,5129	0,0064	SOMAT ² . 0,0676	0,1156	SOMAT ² . 0,5929	SOMAT. 10,6929
0,2809		0,0784		0,2116		0,0081		0,0576		
0,5041		0,0009		0,1024		0,0081		0,0361		
1,2750		0,1693		0,5165		0,0226		0,2093		

TABELA B4 – Valores obtidos com as tabelas anteriores

C =	0,7129	CONSTANTE
Qt =	1,4798	VARIAÇÃO TOTAL
Qe =	1,3902	VARIAÇÃO ENTRE TRATAMENTOS
Qr =	0,0897	VARIAÇÃO RESIDUAL

TABELA B5 – Análise de variância

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrados Médios	Teste F
Entre tratamentos	Qe = 1,3902	4	Se ² = 0,3475	Fcal = 38,759
Residual	Qr = Qt-Qe = 0,0897	10	Sr ² = 0,0090	
TOTAL	Qt = 1,479	14		

PAREDES SEM JUNTA VERTICAL PREENCHIDA

TABELA B6 - Tensões de cisalhamento das paredes, em MPa

1:0,5:4,5		A8		1:1:6		A4		B5	
0,36	MÉDIA 0,33	0,26	MÉDIA 0,29	0,35	MÉDIA 0,34	0,16	MÉDIA 0,20	0,09	MÉDIA 0,10
0,36		0,33		0,36		0,23			
0,26		0,27		0,32		0,22			

TABELA B7 - Diferença das tensões com o ponto de corte, em MPa

1:0,5:4,5		A8		1:1:6		A4		B5		
-0,14	SOMAT. -0,52	-0,24	SOMAT. -0,64	-0,15	SOMAT. -0,47	-0,34	SOMAT. -0,89	-0,41	SOMAT. -1,20	SOMAT. -3,72
-0,14		-0,17		-0,14		-0,27				
-0,24		-0,23		-0,18		-0,28				

TABELA B8 - Diferença das tensões com o ponto de corte ao quadrado

1:0,5:4,5		A8		1:1:6		A4		B5		
0,0196	SOMAT. ² 0,2704	0,0576	SOMAT. ² 0,4096	0,0225	SOMAT. ² 0,2209	0,1156	SOMAT. ² 0,7921	0,1681	SOMAT. ² 1,4400	SOMAT. 13,8384
0,0196		0,0289		0,0196		0,0729				
0,0576		0,0529		0,0324		0,0784				
0,0968		0,1394		0,0745		0,2669				

TABELA B9 – Valores obtidos com as tabelas anteriores

C =	0,9226	CONSTANTE
Qt =	0,1356	VARIAÇÃO TOTAL
Qe =	0,1218	VARIAÇÃO ENTRE TRATAMENTOS
Qr =	0,0139	VARIAÇÃO RESIDUAL

TABELA B10 – Análise de variância

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	G.L.	Quadrados Médios	Teste F
Entre tratamentos	Qe = 0,1218	4	Se ² = 0,0304	Fcal = 21,954
Residual	Qr = Qt-Qe =0,0139	10	Sr ² = 0,0014	
TOTAL	Qt =0,1356	14		

PAREDES COM JUNTA VERTICAL PREENCHIDA E SEM JUNTA VERTICAL
PREENCHIDA

TABELA B11 - Tensões de cisalhamento das paredes, em MPa

Tipo de Junta	1:0,5:4,5		A8		1:1:6		A4		B5	
Preenchida	1,20	MÉDIA 1,15	0,80	MÉDIA 0,70	0,95	MÉDIA 0,91	0,58	MÉDIA 0,59	0,16	MÉDIA 0,24
	1,03		0,78		0,96		0,59		0,26	
	1,21		0,53		0,82		0,59		0,31	
Não Preenchida	0,36	MÉDIA 0,33	0,26	MÉDIA 0,29	0,35	MÉDIA 0,34	0,16	MÉDIA 0,20	0,09	MÉDIA 0,10
	0,36		0,33		0,36		0,23		0,12	
	0,26		0,27		0,32		0,22		0,09	

TABELA B12 - Diferença das tensões com o ponto de corte, em MPa

Tipo de Junta	1:0,5:4,5		A8		1:1:6		A4		B5		
Preenchida	0,70	SOMAT. 1,94	0,30	SOMAT. 0,61	0,45	SOMAT. 1,23	0,08	SOMAT. 0,26	-0,34	SOMAT. -0,77	SOMAT. 3,27
	0,53		0,28		0,46		0,09		-0,24		
	0,71		0,03		0,32		0,09		-0,19		
Não Preenchida	-0,14	SOMAT. -0,52	-0,24	SOMAT. -0,64	-0,15	SOMAT. -0,47	-0,34	SOMAT. -0,89	-0,41	SOMAT. -1,20	SOMAT. -3,72
	-0,14		-0,17		-0,14		-0,27		-0,38		
	-0,24		-0,23		-0,18		-0,28		-0,41		
Somatório		1,42		-0,03		0,76		-0,63		-1,97	-0,45

TABELA B13 - Diferença das tensões com o ponto de corte ao quadrado

Tipo de Junta	1:0,5:4,5		A8		1:1:6		A4		B5		
Preenchida	0,490	SOMAT ² . 3,7636	0,090	SOMAT ² . 0,3721	0,202	SOMAT ² . 1,5129	0,006	SOMAT ² . 0,0676	0,116	SOMAT ² . 0,5929	SOMAT ² . 10,6929
	0,281		0,078		0,212		0,008		0,058		
	0,504		0,001		0,102		0,008		0,036		
Não Preenchida	0,019	SOMAT ² . 0,2704	0,058	SOMAT ² . 0,4096	0,022	SOMAT ² . 0,2209	0,117	SOMAT ² . 0,7921	0,168	SOMAT ² . 1,4400	SOMAT ² . 13,8384
	0,019		0,029		0,019		0,073		0,144		
	0,058		0,053		0,032		0,078		0,168		
Somatório	1,372		0,309		0,591		0,289		0,689		

TABELA B14 – Valores obtidos com as tabelas anteriores

C =	0,0067	CONSTANTE
Qt =	3,2442	VARIAÇÃO TOTAL
Qec =	1,1387	VARIAÇÃO ENTRE COLUNAS
Qel =	1,6287	VARIAÇÃO ENTRE LINHAS
Qr =	0,1035	VARIAÇÃO RESIDUAL

TABELA B15 – Análise de variância

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrados Médios	Teste F
Entre linhas	1,6287	4	0,4072	58,991
Entre colunas	1,1387	2	0,5694	82,488
Residual	0,1035	15	0,0069	
TOTAL	2,8709	29	0,9835	

ANEXO C – FIGURAS E GRÁFICOS REFERENTES ÀS ANÁLISES NUMÉRICAS (Tensões em kgf/cm^2 , nas figuras).

JUNTA VERTICAL PREENCHIDA

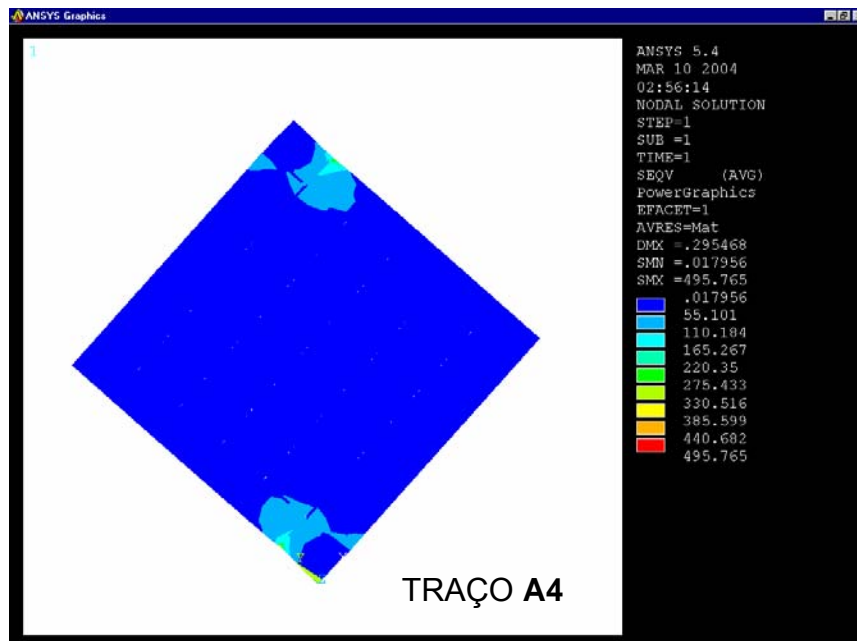


Figura C1 – Tensões de von Mises – parede.

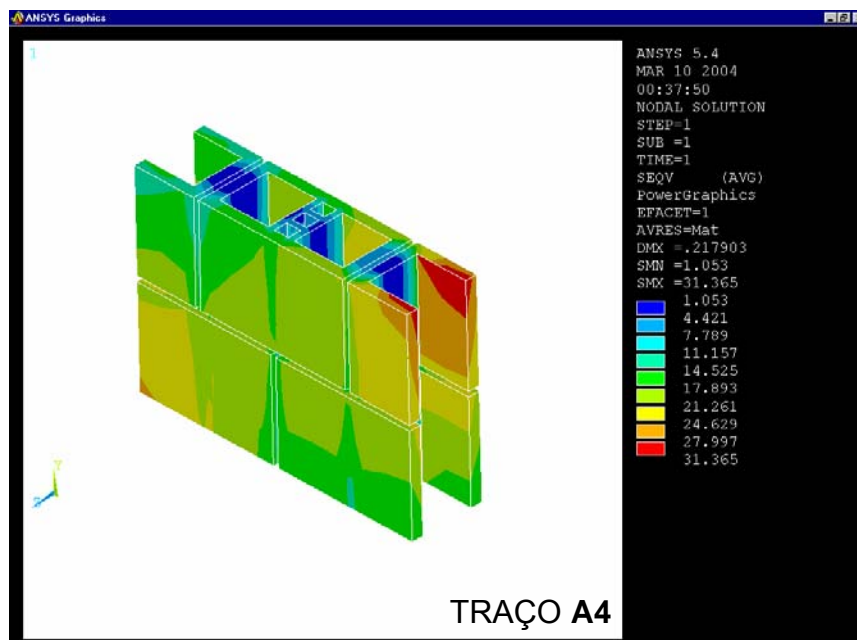


Figura C2 – Tensões de von Mises – blocos.

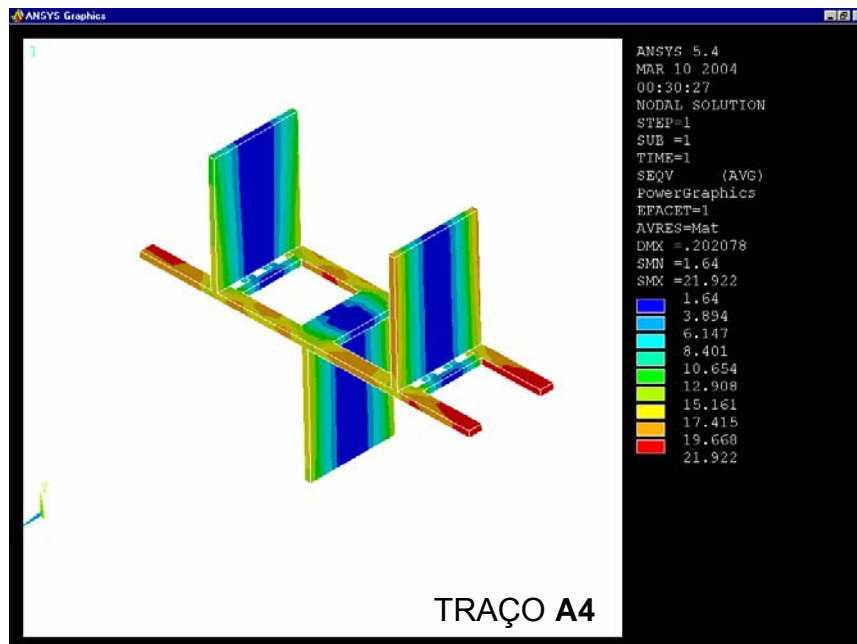


Figura C3 – Tensões de von Mises – argamassa.

JUNTA VERTICAL NÃO PREENCHIDA

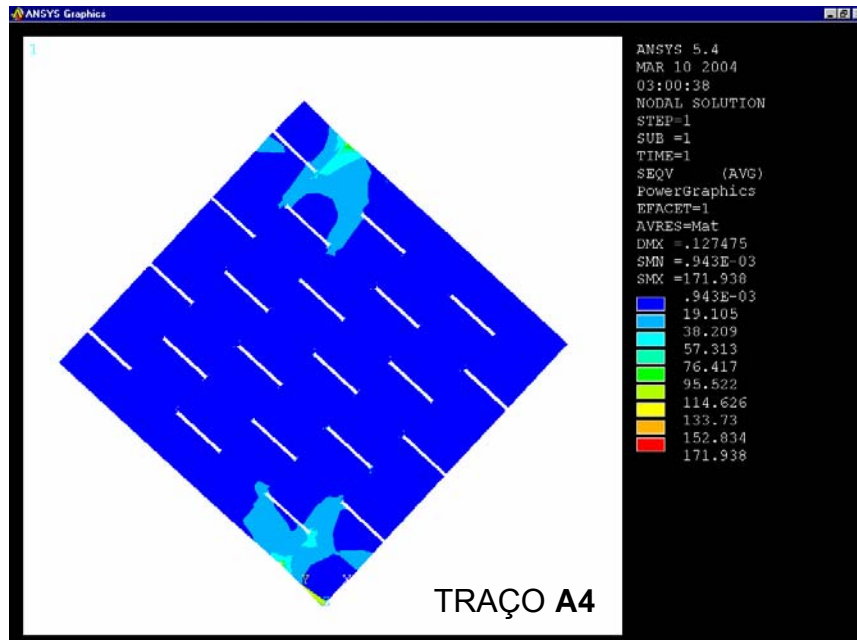


Figura C4 – Tensões de von Mises – parede.

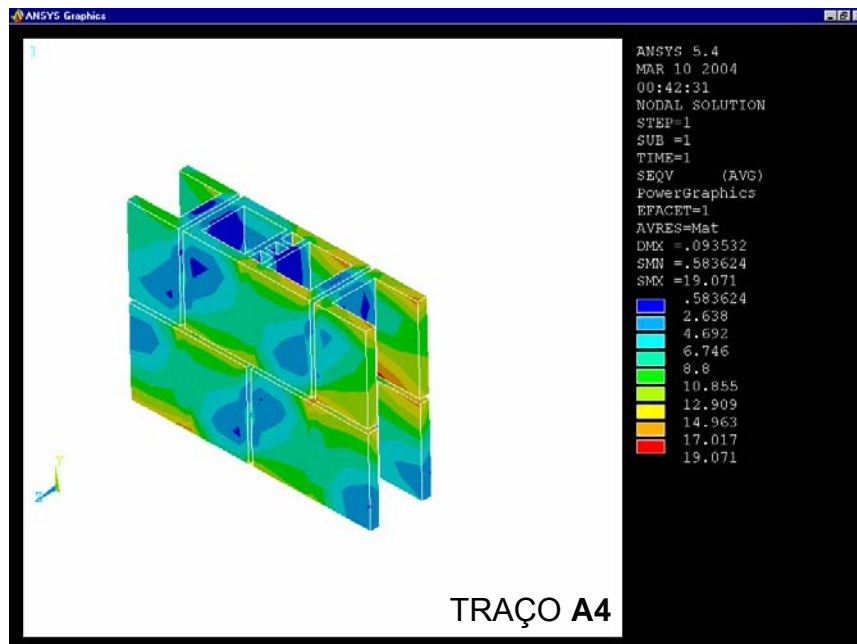


Figura C5 – Tensões de von Mises – bloco.

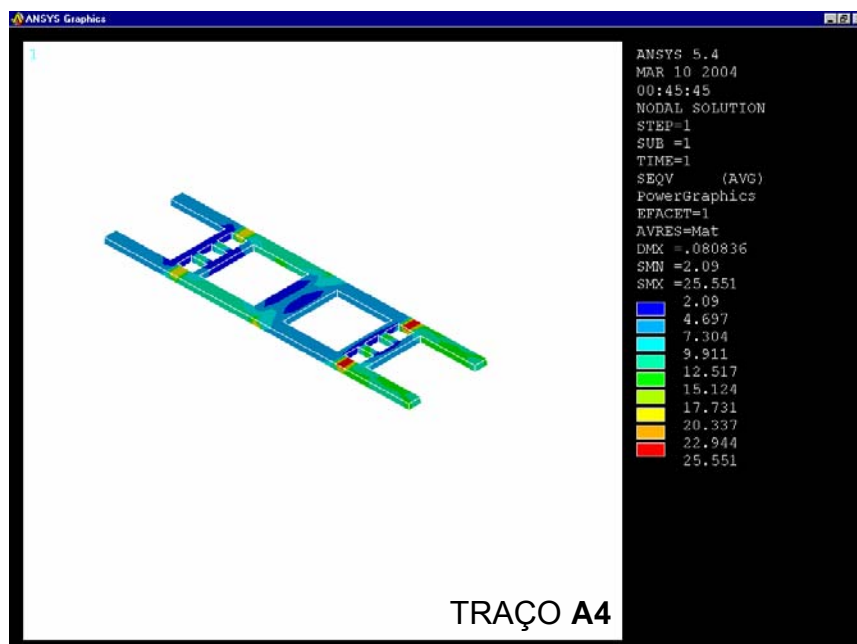


Figura C6 – Tensões de von Mises – argamassa.

JUNTA VERTICAL PREENCHIDA

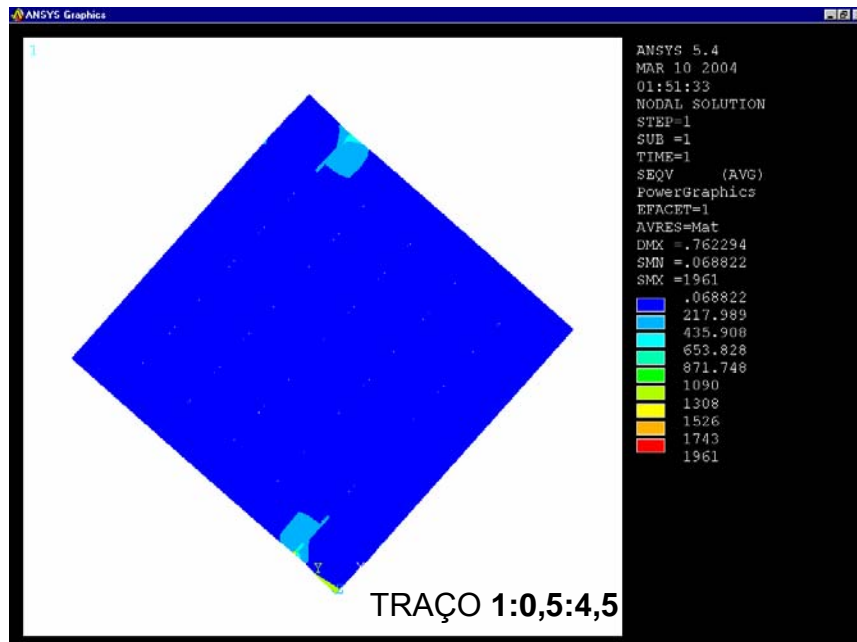


Figura C7 – Tensões de von Mises – parede.

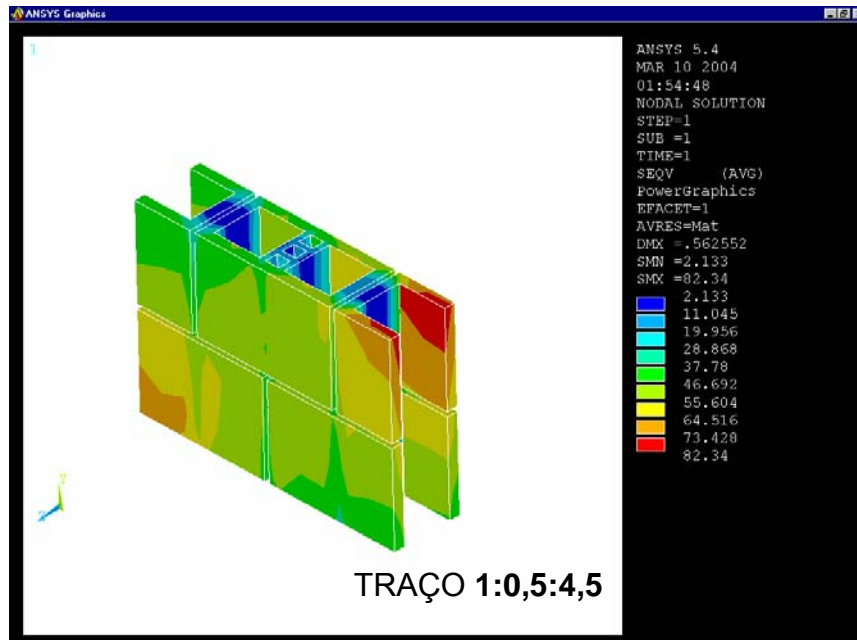


Figura C8 – Tensões de von Mises – bloco.

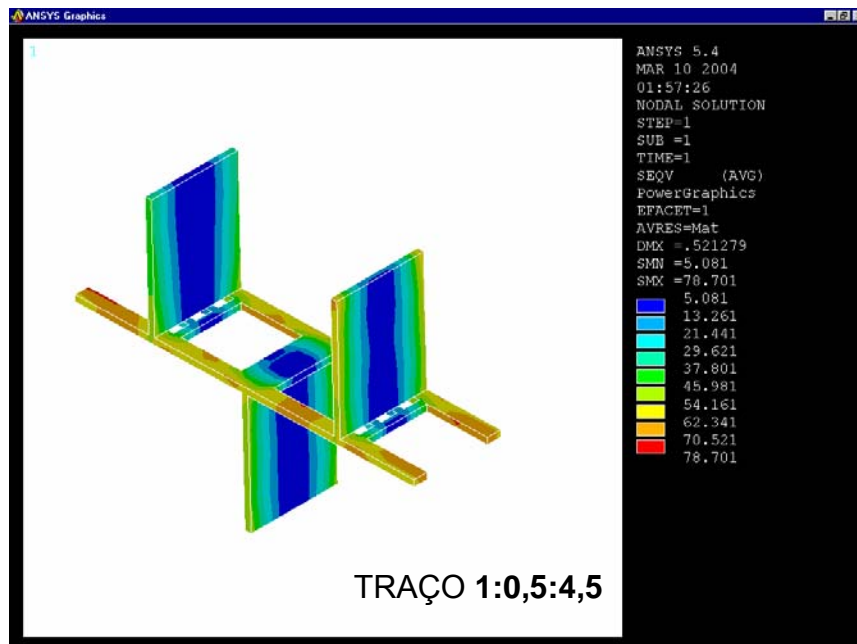


Figura C9 – Tensões de von Mises – argamassa.

JUNTA VERTICAL NÃO PREENCHIDA

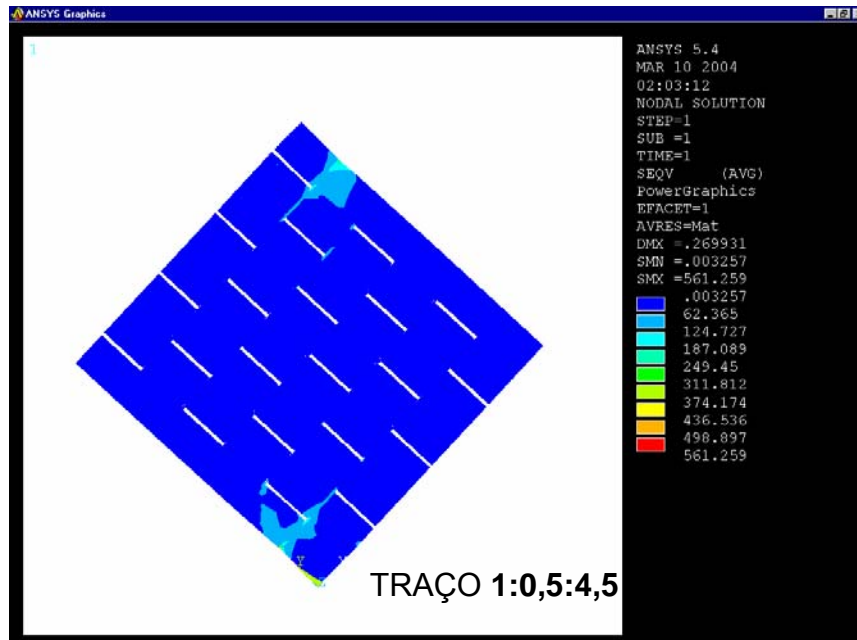


Figura C10 – Tensões de von Mises – parede.

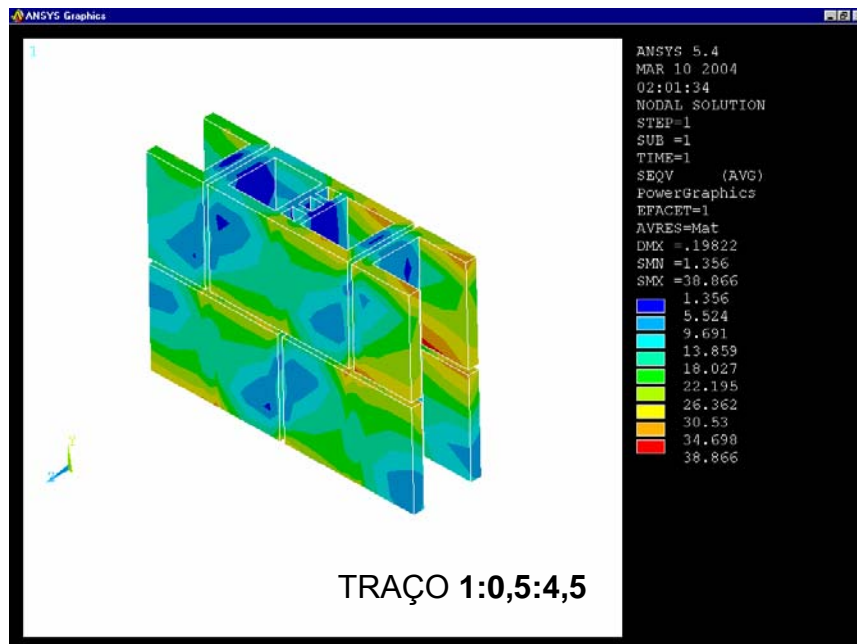


Figura C11 – Tensões de von Mises – bloco.

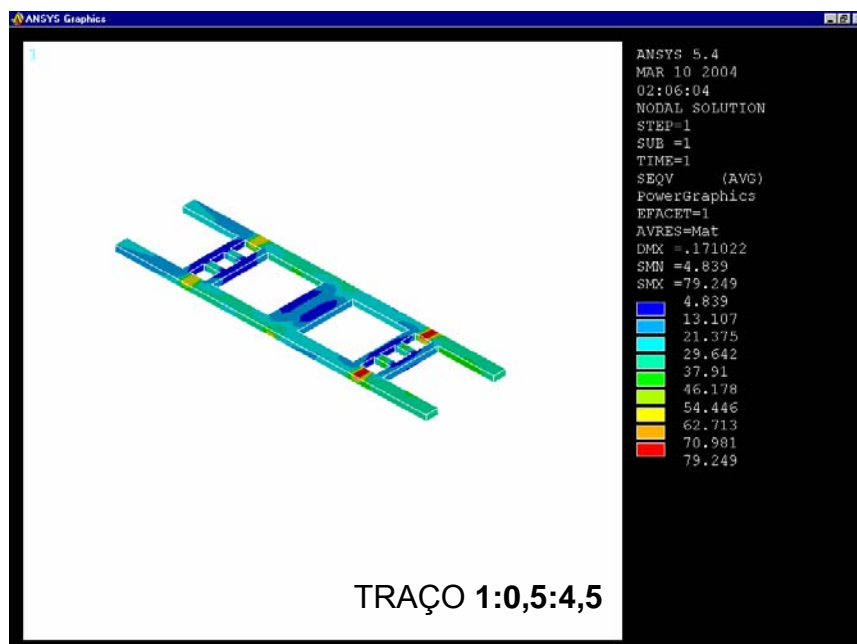


Figura C12 – Tensões de von Mises – argamassa.

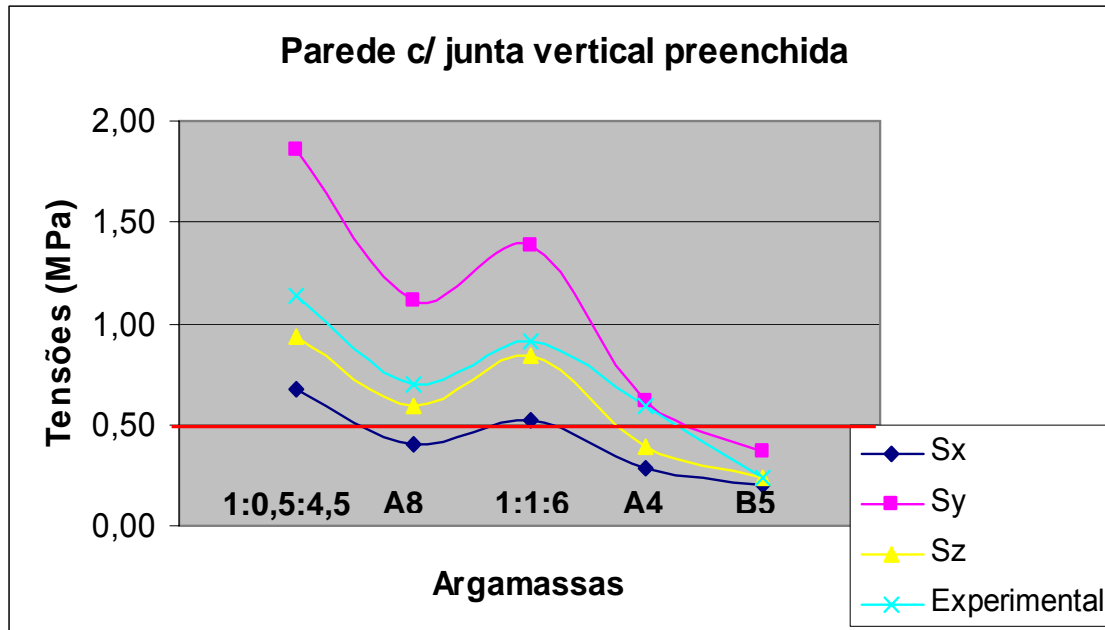


Figura C13 – Tensões normais de tração no bloco versus tensão de cisalhamento experimental, na ruptura.

— Resistência à tração dos blocos $15,90\text{MPa}/30 = 0,53\text{MPa}$

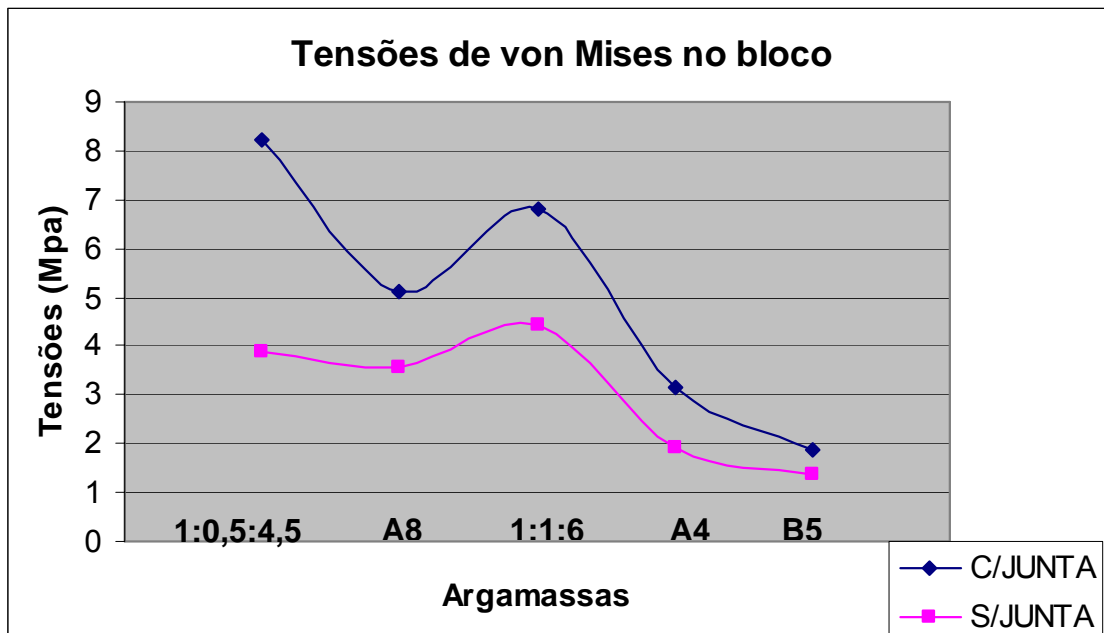


Figura C14 – Tensão de von Mises no bloco das paredes com junta vertical preenchida e sem junta vertical preenchida.

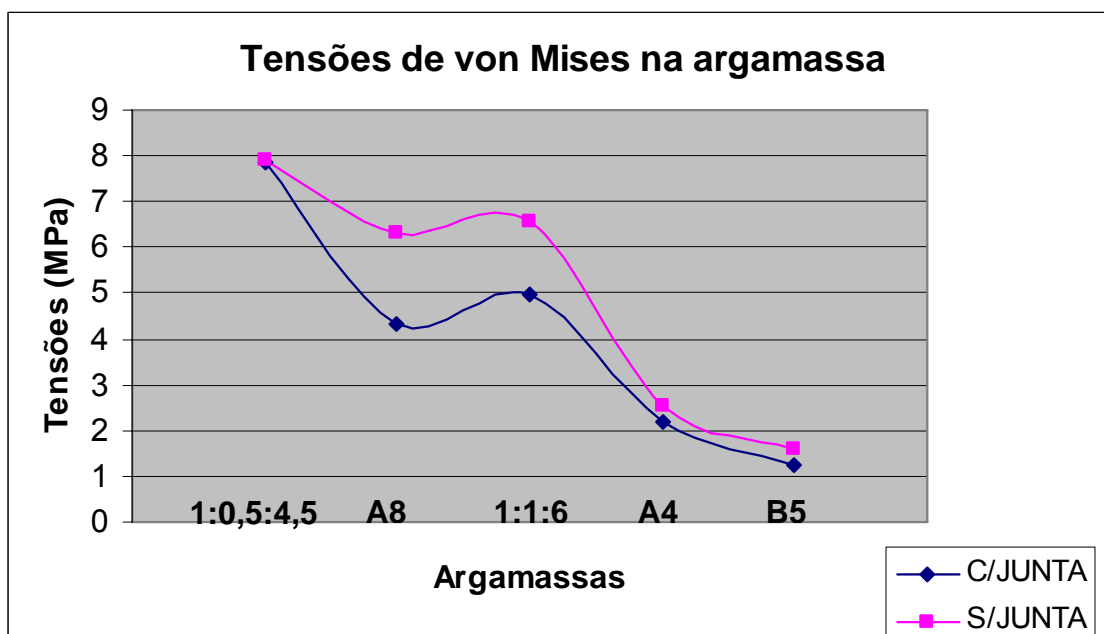


Figura C15 – Tensão de von Mises na argamassa das paredes com junta vertical preenchida e sem junta vertical preenchida.