

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

JEAN CARLO KLUG COGO

**COMPORTAMENTO TENSÃO-DEFORMAÇÃO DE CORPOS DE PROVA DE
ARGAMASSA COMPRIMIDOS AXIALMENTE**

**Alegrete
2016**

JEAN CARLO KLUG COGO

**COMPORTAMENTO TENSÃO-DEFORMAÇÃO DE CORPOS DE PROVA DE
ARGAMASSA COMPRIMIDOS AXIALMENTE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Alisson Milani

Coorientador: André Lübeck

**Alegrete
2016**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

K43c Klug Cogo, Jean Carlo
COMPORTAMENTO TENSÃO-DEFORMAÇÃO DE CORPOS DE PROVA DE
ARGAMASSA COMPRIMIDOS AXIALMENTE / Jean Carlo Klug Cogo.
63 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA CIVIL, 2016.

"Orientação: Alisson Simonetti Milani".

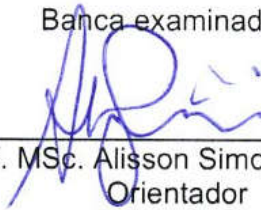
1. Argamassa. 2. Comportamento tensão-deformação. 3.
Coeficiente de Poisson. 4. Compressão axial. I. Título.

**TÍTULO DO TRABALHO: COMPORTAMENTO TENSÃO-DEFORMAÇÃO DE
CORPOS-DE-PROVA DE ARGAMASSA COMPRIMIDOS AXIALMENTE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 28, novembro e 2016.

Banca examinadora:

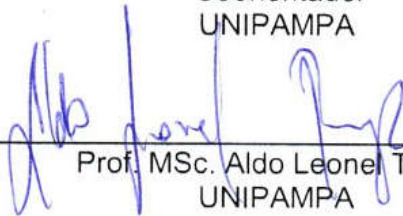


Prof. MSc. Alisson Simonetti Milani
Orientador
UNIPAMPA

ANDRE
LUBECK:96288302015

Assinado de forma digital por ANDRE LUBECK:96288302015
DN: c=BR, o=ICP-Brasil, ou=Secretaria da Receita Federal do Brasil -
RFB, ou=CORREIOS, ou=ARCORREIOS, ou=RFB e-CPF A3, cn=ANDRE
LUBECK:96288302015
Dados: 2016.11.30 17:18:49 -02'00'

Prof. MSc. André Lübeck
Coorientador
UNIPAMPA



Prof. MSc. Aldo Leone Temp
UNIPAMPA



Eng. MSc. Marcelo de Jesus Dias de Oliveira
UNIPAMPA

Dedicatória

Aos meus pais por acreditarem na conquista do meu sonho e pela contribuição para minha formação.

Aos amigos que me entenderam e sempre estiveram ao meu lado nesta longa jornada.

Aos professores que são os principais responsáveis pelo meu crescimento tanto pessoal como profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus por ter nos guiado até aqui.

Aos nossos familiares e amigos pelo carinho, compreensão e auxílio para que fosse possível chegar esse momento marcante das nossas vidas.

Aos meus pais Claudoci Cogo e Ivete Cogo que foram os alicerces do meu aprendizado.

Aos meus irmãos Franciéle Cogo e Antônio Cogo pelas constantes palavras de moral e motivação e ao meu cunhado Manoel Figueiredo pelos grandes ensinamentos.

Muito obrigado também a minha namorada, Katielle Pilecco, que compartilhou comigo este momento e que foi paciente em minhas ausências.

Aos professores MSc. André Lübeck e MSc. Alisson Milani, pela orientação incansável deste trabalho, e aos demais professores pelo conhecimento proporcionado.

Ao Marcelo Dias e a Raquel Machado pelos auxílios e por compartilhar seus conhecimentos de laboratório.

À Universidade Federal do Pampa onde foi possível crescer, aprender e fazer grandes amigos.

À todos aqueles que, direta ou indiretamente, colaboraram para que este trabalho tenha conseguido atingir aos objetivos propostos.

“As dificuldades são o aço estrutural que entra na construção do caráter”.

Carlos Drummond de Andrade

RESUMO

O trabalho buscou estudar o comportamento tensão-deformação de corpos de prova de argamassa comprimidos axialmente, foram realizados ensaios de compressão em corpos de prova cilíndricos e prismáticos. Justifica-se a utilização de cilíndricos para que fosse possível instrumentá-los para realizar a leitura das deformações com *strain gauges* quando submetidos a compressão, e os prismáticos para estudo da tração na flexão. Também foram analisados os dados de módulo de elasticidade, influência da resistência à compressão da argamassa sobre o comportamento tensão-deformação, coeficiente de Poisson e variação volumétrica específica. Para que fosse possível simular o confinamento da argamassa foram realizadas duas alturas de corpo de prova, e também foi utilizado dois traços de argamassa, um de baixa resistência e outro de alta resistência para que também fossem estudadas a variação no comportamento tensão-deformação quando modificado o traço. Em contrapartida, também foi realizado os mesmos ensaios instrumentados com um novo procedimento, buscando identificar possíveis variações nos resultados analisados para os dois casos, concluindo assim que o segundo procedimento oferecia resultados mais reais e confiáveis para o trabalho proposto.

Palavras-chave: Argamassa, Comportamento tensão-deformação, Coeficiente de Poisson, Compressão axial.

ABSTRACT

The work studied the behavior stress-strain bodies of the test piece of mortar compressed axially, compression tests were performed on cylindrical bodies of the test piece and prismatic, justified the use of cylindrical to make it possible instrument them to perform reading of deformations with strain gauges when subjected to compression, and prismatic to study traction on bending were also analyzed modulus data, the influence of the mortar compressive strength of the stress-strain behavior, Poisson's ratio and specific volume variation. To make it possible to simulate the mortar confinement were two times body-specimens, and was also used two lines of mortar, a low resistance and other high strength which are also studied the variation in behavior stress-strain when modified trait. On the other hand, it was also carried out the same instrumented tests with a new procedure in order to identify possible variations in the results analyzed for the two cases, thus concluding that the second procedure offered more real and reliable results for the proposed work.

Keywords: Mortar, Behavior stress-strain, Poisson's ratio, Axial compression.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Curva tensão-deformação estimada da argamassa confinada	19
Figura 2 - Resistência característica à compressão para alvenaria de tijolos em função do tipo de argamassa e do tipo e resistência do bloco.....	24
Figura 3 - Variação da resistência do prisma em função da resistência do bloco e da argamassa.....	30
Figura 4 - Junta de argamassa comprimida triaxialmente (a) e bloco comprimido e tracionado biaxialmente (b)	32
Figura 5 - Comportamento tensão-deformação da argamassa confinada. Argamassas de traços (a) 1:0,5:4,5 e (b) 1:1:6	34
Figura 6 - Variação volumétrica em função do grau de confinamento (k) para amostras de argamassa comprimidas triaxialmente	37
Figura 7 - Variação dimensional de um corpo comprimido axialmente	38
Figura 8 - Definição dos diferentes tipos de avaliação do módulo de elasticidade....	39
Figura 9 – Frasco de Le Chatelier	42
Figura 10 – Frasco de Chapman.....	42
Figura 11 – Recipiente utilizado para determinação da massa unitária	44
Figura 12 – <i>Strain Gauges</i>	45
Figura 13 – Corpo de prova cilíndrico	47
Figura 14 – Molde prismático	47
Figura 15 – Padrão inicial de carregamento aplicado às amostras	48
Figura 16 – Fissura atravessando <i>strain gauge</i>	49
Figura 17 - Diferença das deformações laterais em função do confinamento provocado pelos pratos da prensa	51
Figura 18 - Comportamento tensão-deformação para os corpos de prova cilíndricos com relação d/h igual a 0,5.	52
Figura 19 - Comportamento tensão-deformação para os corpos de prova cilíndricos com relação d/h igual a 1,0.	53
Figura 20 - Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de carregamento para o Traço ii.	54
Figura 21 - Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de carregamento para o Traço iii.....	55
Figura 22 - Deformação lateral em função da deformação vertical para as amostras de Traço ii.....	56

Figura 23 - Deformação lateral em função da deformação vertical para as amostras de Traço iii.....	57
Figura 24 - Comportamento tensão-deformação para os corpos de prova cilíndricos com relação d/h igual a 0,5 e 1,0.	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resistência média à compressão em função da resistência do bloco e do tipo de argamassa, ACI 530-01 (2002)	22
Tabela 2 - Traços em volume para as classes de argamassas e propriedades esperadas para cada classe.....	22
Tabela 3 - Fator de correção da resistência do prisma em função da esbeltez, ASTM C 1314 (2014)	23
Tabela 4 - Fator de redução da resistência da alvenaria em função do controle de qualidade da argamassa	25
Tabela 5 - Proporções propostas para argamassas de assentamento em função do seu desempenho.....	26
Tabela 6 - Comparativos entre os traços em volume e as resistências médias à compressão propostos nas normas ASTM C270-07 (2007) e a BS 5628 (2005)	26
Tabela 7 - Resistências à compressão para argamassas indicadas por Parsekian e Soares (2010) em função da resistência do bloco	29
Tabela 8 - Coeficiente angular da reta de envoltória da argamassa confinada para diferentes pesquisadores	33
Tabela 9 – Massa específica do cimento	43
Tabela 10 – Massa específica da cal	43
Tabela 11 - Massa específica da areia.....	43
Tabela 12 – Massa unitária do cimento.....	44
Tabela 13 – Massa unitária da areia	44
Tabela 14 – Massa unitária da cal.....	44
Tabela 15 – Amostras a serem ensaiadas	46
Tabela 16 - Propriedades mecânicas medidas para as amostras com d/h 0,5 e 1,0.	50
Tabela 17 - Resistência de tração na flexão e resistência a compressão dos corpos de prova prismáticos.	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACI - *American Concrete Institute*

ASTM - *American Society for Testing and Materials*

BS - *British Standards*

EN - *European Standard*

NBR – Norma Brasileira

NM – Norma Mercosul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivos	15
1.1.1 Objetivo principal	15
1.1.2 Objetivos específicos.....	15
1.2 Justificativa.....	15
1.3 Estrutura do trabalho	17
2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 Alvenaria Estrutural	18
2.2 Características da Argamassa	18
2.3 Principais normas de dimensionamento de alvenaria estrutural	19
2.3.1 Norma Americana, ACI 530-05 (2005)	21
2.3.2 Norma Britânica, BS 5628-1 (2005)	23
2.3.3 Eurocode 6, EN 1996-1-1 (2002)	26
2.3.4 Normas Brasileiras, NBR 15961 (2011) e NBR 15812 (2010).....	28
2.4 O confinamento na resistência da argamassa	31
2.4.1 O confinamento da argamassa	32
2.4.2 O Confinamento e a resistência à compressão	33
2.4.3 O Confinamento e o comportamento tensão-deformação	34
2.4.4 O Confinamento e o módulo de elasticidade	35
2.4.5 O Confinamento e o Coeficiente de Poisson	35
2.4.6 O Confinamento e a variação volumétrica	36
2.5 Definições das grandezas mecânicas	37
2.5.1 Deformação específica	37
2.5.2 Módulo de Elasticidade.....	38
2.5.3 Coeficiente de Poisson	39
2.5.4 Variação volumétrica específica	39
3 METODOLOGIA	41
3.1 Caracterização dos materiais empregados.....	41
3.2 Determinação da massa específica e massa unitária	41
3.3 Execução dos ensaios de caracterização mecânica.....	45
3.3.1 Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.....	46
4 RESULTADOS	48
5 CONCLUSÃO	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

1 INTRODUÇÃO

A alvenaria tem sido utilizada pelo ser humano em habitações, monumentos e templos religiosos desde a Antiguidade, alguns exemplos como o farol de Alexandria, a pirâmide de Quéops, ambas construídas na Idade Antiga, mostram uma arquitetura exuberante com utilização de arcos e abóbadas. No entanto, é a simplicidade de execução que permitiu a alvenaria avançar os séculos como um dos materiais de construção mais utilizados. Nas últimas décadas, a alvenaria deixou de ter o status de material empírico e passou a ser tratado como um material estrutural objeto de pesquisas e normatizações. Não só o Brasil, mas Estados Unidos, Reino Unido e Comunidade Europeia possuem normas para dimensionamento da alvenaria estrutural.

No Brasil a alvenaria estrutural de blocos teve seu crescimento de forma lenta, com os primeiros edifícios sendo executados por volta de 1966, na cidade de São Paulo, alguns construídos com quatro pavimentos em blocos vazados de concreto, outros com tijolos maciços, (JUSTE, 2001).

Porém, com o avanço da alvenaria estrutural, algumas análises tornam-se imprescindíveis para o sistema construtivo, conforme estudos realizados por Mohamad (2007) e Lübeck (2016), a combinação das propriedades entre argamassa e bloco, pode resultar em situações onde paredes de alvenaria comprimidas apresentem um comportamento com severa degradação das juntas de argamassa, acontecendo o esmagamento ou poro-colapso das juntas para cargas muito inferiores à carga considerada de ruptura. Mohamad (2007) também observou que a argamassa comanda a forma de ruptura da alvenaria, o seu estudo avaliou o modo de ruptura e comportamento tensão-deformação de prismas de blocos de concreto executados com dois diferentes tipos de argamassa. Apesar de a tensão resistente última nos dois tipos de prisma ter sido próxima, pouco mais de 14 MPa, o comportamento tensão-deformação dos dois tipos de prisma foi completamente diferente. Para o primeiro tipo, onde a resistência da argamassa e do bloco eram próximas, o comportamento tensão-deformação do prisma foi linear até aproximadamente 60% da carga última de ruptura, a partir desse ponto, surgiram fissuras verticais nos blocos e houve um súbito incremento das deformações laterais. Já para os prismas com argamassa fraca, de resistência muito inferior a do bloco, o comportamento foi não linear desde um nível de tensão de 30% da resistência à compressão. As deformações específicas medidas

na ruptura para os dois casos também foi muito diferente, da ordem de 0,7% para os prismas executados com argamassa de maior resistência e 0,2% para os de argamassa de menor resistência, evidenciando a influência da argamassa sobre o modo de ruptura da alvenaria.

Ainda nesse mesmo contexto, estudos de Jonaitis e Zavalis (2013) indicaram que a ruptura das pequenas paredes não grauteadas se inicia pela falha das juntas de assentamento. Em função da pequena área de contato promovida pelas paredes delgadas do bloco com a argamassa, as tensões desenvolvidas foram elevadas, o que levou a ruptura a se iniciar pelo esmagamento da junta. Schankoski, Prudêncio Jr. e Pilar (2015) também constataram que a ruptura da alvenaria se inicia pelo esmagamento das juntas de argamassa quando a resistência da argamassa é muito inferior a dos blocos, combinando blocos de concreto de elevada resistência e argamassa de baixa resistência, constataram que o esmagamento das juntas iniciava com tensões inferiores a 70% da tensão máxima medida.

As normas brasileiras que tratam do dimensionamento de alvenaria estrutural, ABNT NBR 15812-1 (2010) e ABNT NBR 15961-1 (2011), não apresentam limites claros para resistência mínima da argamassa de maneira a evitar o colapso por esmagamento das juntas, citam apenas que a resistência deve ser maior que 1,5 MPa e menor que 70% da resistência do bloco na área líquida. Da mesma forma, não definem valores limites para as deformações específicas na ruptura. Ao contrário do observado nas normas que regem o dimensionamento do concreto armado e do aço, materiais com maior tempo de estudo e normalização no país, o que acaba por demonstrar ainda um certo grau de empirismo no projeto de estruturas de alvenaria estrutural, justificando a proposta de pesquisa do estudo em questão.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo principal

Caracterizar o comportamento da argamassa comprimida axialmente em função da sua resistência mecânica e grau de confinamento, de maneira a caracterizar a ocorrência de falha por poro-colapso.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar a influência da resistência à compressão da argamassa sobre o comportamento tensão-deformação, coeficiente de Poisson e variação volumétrica específica.
- Avaliar a influência do grau de confinamento da amostra sobre as mesmas propriedades citadas.
- Identificar padrões de comportamento das propriedades mecânicas das argamassas que tendem a apresentar o poro-colapso.

1.2 Justificativa

De Marco (2016) avaliou a resistência à compressão, a forma de ruptura e o fator de eficiência de prismas. Para a confecção dos prismas, foram utilizados blocos cerâmicos e argamassas industrializadas, não preenchidos e preenchidos com graute ou argamassa. Foram avaliadas quatro diferentes geometrias de prismas: de dois e três blocos não-contrafiados (*stackbond*), de três fiadas com dois blocos inteiros nas fiadas extremas e dois meio-blocos na fiada central, e prismas de três fiadas, com um bloco e meio em cada uma.

Foram testados cinco diferentes tipos de blocos cerâmicos, sendo três de paredes vazadas e dois de paredes maciças. Todos os tipos de blocos foram combinados com todas as geometrias de prismas, as resistências nominais dos blocos eram de 6, 7 e 15 Mpa, e as argamassas industrializadas utilizadas possuíam resistência à compressão nominal de 4 e 12 Mpa. A argamassa e o graute de menor resistência foram combinados com os de paredes vazadas, enquanto os blocos de paredes maciças foram combinados com a argamassa e graute mais resistentes.

De Marco (2016) encontrou uma relação média de resistência da argamassa e do bloco, f_a/f_b , de 0,22, com relações entre resistência da argamassa e do bloco tão baixas, combinadas com espessuras de parede dos blocos vazados da ordem de 8 milímetros, existia a tendência de acontecer o esmagamento da argamassa nas juntas desses prismas.

Continuando os estudos de De Marco (2016), Lübeck (2016) avaliou as filmagens realizadas pelo primeiro, extraíndo imagens quadro a quadro, que o processo de ruptura nos blocos de parede vazada se dava por esmagamento da argamassa, enquanto que nos de parede maciça houve o surgimento de fissuras verticais, caracterizando a ruptura por tração no bloco.

Mohamad (2007) simulou numericamente o comportamento da interação das juntas verticais e horizontais de prismas de blocos de concreto comprimidos, e indicaram o desenvolvimento de tensões de tração imediatamente acima do encontro entre as juntas vertical e horizontal, provocando o descolamento entre o bloco e a junta vertical. A partir desse descolamento, houve a concentração de tensões na junta horizontal, provocando o esmagamento da mesma e o colapso do prisma.

Mohamad (2007) e Schankoski, Prudêncio Jr. e Pilar (2015) também concluíram que o esmagamento das juntas de argamassa influenciou fortemente o comportamento da alvenaria sem, contudo, resultar em diminuição da carga última de ensaio, o que pode resultar em um grau de segurança incerto.

Sendo assim, justifica-se a necessidade do estudo do comportamento tensão-deformação de argamassas de elevada e baixa resistência, podendo assim caracterizar o comportamento para situações onde ocorre o esmagamento da argamassa.

1.3 Estrutura do trabalho

No capítulo I, Introdução, é apresentada uma abordagem geral sobre o tema, como definição do problema de pesquisa, os objetivos e a justificativa da pesquisa.

No capítulo II, Conceitos Gerais e a Revisão de Literatura, foram estudadas as referências teóricas relacionadas a argamassa de assentamento, comportamento tensão-deformação e resistência mecânica de corpos de prova.

No capítulo III, Metodologia, discorre sobre os procedimentos e métodos escolhidos para a realização dos ensaios propostos.

No Capítulo IV, Resultados, consta todos os dados obtidos, a análise e as discussões sobre os resultados.

No Capítulo V, Conclusão, é realizado o fechamento dos capítulos e a conclusão do trabalho desenvolvido.

2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Alvenaria Estrutural

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo onde a parede tem a função de vedação e ao mesmo tempo atua como elemento resistente da estrutura. As paredes de alvenaria são compostas pela união de diferentes materiais. Esta composição de materiais e os diferentes tipos de esforços a que a alvenaria está sujeita, impõem certas dificuldades em se analisar a mesma.

2.2 Características da Argamassa

De acordo com Kazmierczak (1989), a argamassa pode ser definida com um material complexo, constituído essencialmente de materiais inertes de baixa granulometria e de uma pasta com propriedades aglomerantes.

Pode-se dizer assim que a argamassa é um material composto, plástico e constituído de agregado miúdo inerte e de uma pasta aglomerante, tendo como função aderir os materiais porosos e endurecer após certo tempo.

Plummer apud Torrescana (1999), diz que a argamassa é empregada para unir componentes estruturais entre si, e portanto age como adesivo e selante, sendo por isso sua função primária desenvolver uma completa, resistente e durável aderência entre as unidades de alvenaria.

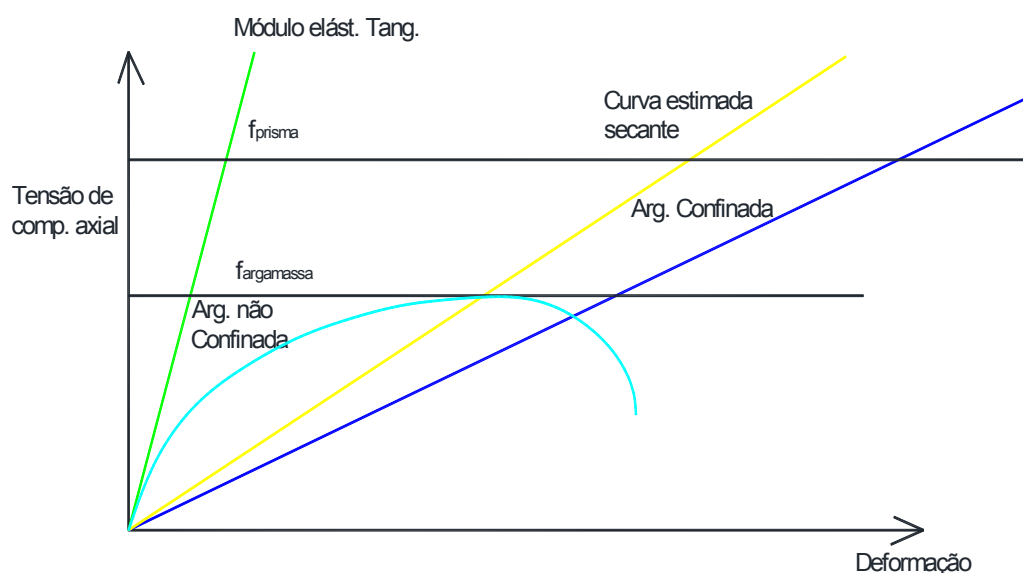
Segundo Franco (1988), a junta de argamassa tem como função unir os blocos ou tijolos da alvenaria de forma que o todo constitua um elemento monolítico, que seja estanque à penetração de água, que distribua por toda a área dos tijolos ou blocos as tensões atuantes na parede e que seja capaz de absorver deformações como as de origem térmica ou as de retração por secagem.

Segundo Mohamad (1998), a argamassa é o elo da alvenaria e tem como funções principais unir as unidades, distribuir as tensões ao longo de toda a seção do bloco 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.

Cheema e Klingner (1986) determinaram um modelo de comportamento da argamassa confinada triaxialmente, onde as limitantes foram resistência do prisma e uma curva estimada secante, como pode ser visto na Figura 1. Esta pseudo-curva tensão-deformação entre o módulo elástico tangente e urna curva estimada secante, serve como uma primeira aproximação do comportamento triaxial da argamassa confinada.

Figura 1 – Curva tensão-deformação estimada da argamassa confinada



Fonte: Adaptado de Cheema e Klingner (1986)

2.3 Principais normas de dimensionamento de alvenaria estrutural

Neste tópico será apresentado como ocorre o dimensionamento da alvenaria estrutural para previsão da resistência à compressão da alvenaria nas normas brasileiras, americana, britânica e europeia.

A alvenaria é um conjunto formado por blocos unidos por juntas de argamassas, e seu comportamento resulta da interação entre as unidades e a argamassa. A previsão de como se dará esse comportamento vai variar conforme as propriedades desses materiais, sendo que a característica individual de cada material irá interferir no comportamento do conjunto. Por exemplo um mesmo tipo de bloco, será obtido um comportamento diferente para a alvenaria ao variar-se a argamassa de assentamento.

Ao analisar as três normas internacionais estudadas, pode-se perceber que as mesmas procuram padronizar os tipos de argamassa, de maneira a obter algum sucesso na previsão de comportamento da alvenaria, porém a resistência da alvenaria varia de norma para norma.

Lübeck (2016) constatou que a argamassa recebe muita atenção nas três normas internacionais. De maneira geral, estas estabelecem que uma argamassa deve ter bom desempenho tanto no estado fresco quanto endurecido. No estado fresco, ela deve ser trabalhável e possuir boa retenção de água. No estado endurecido, deve ter boa aderência, durabilidade, elasticidade e resistência à compressão. Dentre estas características necessárias no estado endurecido, afirmam que a mais importante é a aderência, sendo esta mais relevante ao bom desempenho da alvenaria do que a resistência à compressão da argamassa propriamente dita.

Uma argamassa só é capaz de atingir um desempenho satisfatório no estado endurecido, se seu comportamento no estado fresco também for satisfatório. A trabalhabilidade e capacidade de retenção de água são propriedades fundamentais. A trabalhabilidade reflete características como a coesão para manter a forma e espessura do cordão aplicado sobre o bloco e a plasticidade para ser facilmente aplicada e manuseada. Já a retenção de umidade é uma característica crucial para que não haja o enfraquecimento da ligação entre a argamassa e os blocos pela rápida perda de água. Os blocos tendem a retirar água da argamassa, e essa migração de umidade pode, se em excesso, prejudicar a ligação bloco-argamassa, (MOHAMAD, 2013; PARSEKIAN, HAMID E DRYSDALE, 2012; CARASEK, 2010, PARSEKIAN E SOARES, 2010).

A contribuição da resistência à compressão da argamassa na resistência da alvenaria não é direta, pois o fenômeno de confinamento da argamassa nas juntas altera suas propriedades. A argamassa das juntas é impedida de se expandir em função da aderência existente entre ela e os blocos vizinhos. Assim, ao comprimir-se axialmente uma parede de alvenaria, as juntas de argamassa ficam sujeitas a um estado de confinamento, que alteram completamente o seu comportamento quando comparado ao observado nos ensaios uniaxiais de corpos de prova, (PARSEKIAN E SOARES, 2010; CARASEK, 2010; RAMALHO E CORRÊA, 2003). O confinamento da argamassa nas juntas da alvenaria é amplamente aceito e confirmado por diferentes pesquisadores como: Khoo (1972), Atkinson et al. (1985), McNary e Abrams (1985), Cheema e Klingner (1986), Mohamad (1998), Hayen et al. (2001), Mohamad (2007).

O fenômeno de confinamento acaba elevando a resistência da argamassa, o que resulta em uma análise contrária à resistência das argamassas nas normas, pois os textos tendem a recomendar resistências baixas para que as juntas funcionem como válvula de escape ao acúmulo de tensões e a argamassa acaba garantindo a ductilidade do comportamento da alvenaria.

Todas as normas apresentadas determinam que a resistência da argamassa deve ser menor que a do bloco, pois irá garantir a ductilidade do conjunto e irá fissurar e funcionar como elemento frágil do sistema. No entanto, também é constatado por Lübeck (2016) que é custoso definir de maneira absoluta qual a menor resistência de argamassa que pode ser usada. As três normas estrangeiras estudadas optam por apresentar uma compatibilização indireta entre a resistência do bloco e da argamassa. Essa compatibilização visa evitar que um projetista opte por um bloco de elevada resistência aplicado sobre uma argamassa de traço extremamente pobre. Ao ensaiar à compressão prismas formados por este conjunto, a argamassa pode esmagar com valores baixos de carregamento sem, contudo, que a carga medida diminua. Assim, a carga máxima medida será a de ruptura do bloco e não da alvenaria como um elemento monolítico.

2.3.1 Norma Americana, ACI 530-05 (2005)

A norma americana permite que a resistência à compressão seja determinada pela ruptura de prismas de dois blocos ou estimada em função do tipo de argamassa e bloco utilizados, desde que a espessura das juntas de argamassa não supere 15,9mm. Os valores propostos na norma são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Resistência média à compressão em função da resistência do bloco e do tipo de argamassa, ACI 530-01 (2002).

	Resistência à compressão do bloco na área líquida (MPa)		Resistência da alvenaria na área líquida (MPa)
	Argamassa tipos M ou S	Argamassa tipo N	
Tijolo cerâmico maciço	11,72	14,48	6,90
	23,10	28,61	10,34
	34,13	42,75	13,79
	45,51	56,88	17,24
	56,88	71,02	20,69
	68,26	-	24,13
	91,01	-	27,58
Bloco de concreto	8,62	8,96	6,90
	13,10	14,82	10,34
	19,31	21,03	13,79
	25,86	27,92	17,24
	33,10	36,20	20,69

Fonte: ACI 530-01 (2002)

Os traços de argamassa são padronizados e sugere-se a escolha em função da agressividade do meio. A Tabela 2 apresenta as proporções de cimento, cal e areia, medidos em volume, para os traços M, S, N, O, propostos na norma. Para cada um dos traços é especificada uma resistência à compressão média esperada, índice de retenção de água e teor de ar incorporado.

A preocupação em delimitar o índice de retenção de água e teor de ar incorporado para cada um dos traços de argamassa está em garantir um adequado comportamento no estado fresco do material.

Tabela 2 - Traços em volume para as classes de argamassas e propriedades esperadas para cada classe.

Classe da Argamassa	Materiais em volume			Resistência à compressão média aos 28 dias (MPa)	Retenção de água mínima (%)	Teor máximo de ar incorporado (%)
	Cimento	Cal	Areia			
M	1	0,25		17,2		12
S	1	0,25 a 0,5		12,4		12
N	1	0,5 a 1,25	2,5 a 3 vezes a soma dos aglomerantes	5,2	75	14
O	1	1,25 a 2,25		2,4		14

Fonte: ASTM C270-07 (2007, pg. 3)

A segunda possibilidade de determinação da resistência à compressão da alvenaria, segundo a norma americana ACI 530-01 (2002), dá-se pela ruptura de prismas de dois blocos de altura. Estes devem ser armazenados e curados segundo as recomendações ASTM C 1314 (2014). A resistência medida é corrigida por um fator em função da relação altura/espessura (h/t) do prisma, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Fator de correção da resistência do prisma em função da esbeltez, ASTM C 1314 (2014).

Relação h/t	1,3	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
Fator de correção	0,75	0,86	1,0	1,04	1,07	1,15	1,22

Fonte: ASTM C1314 (2014, pg. 6)

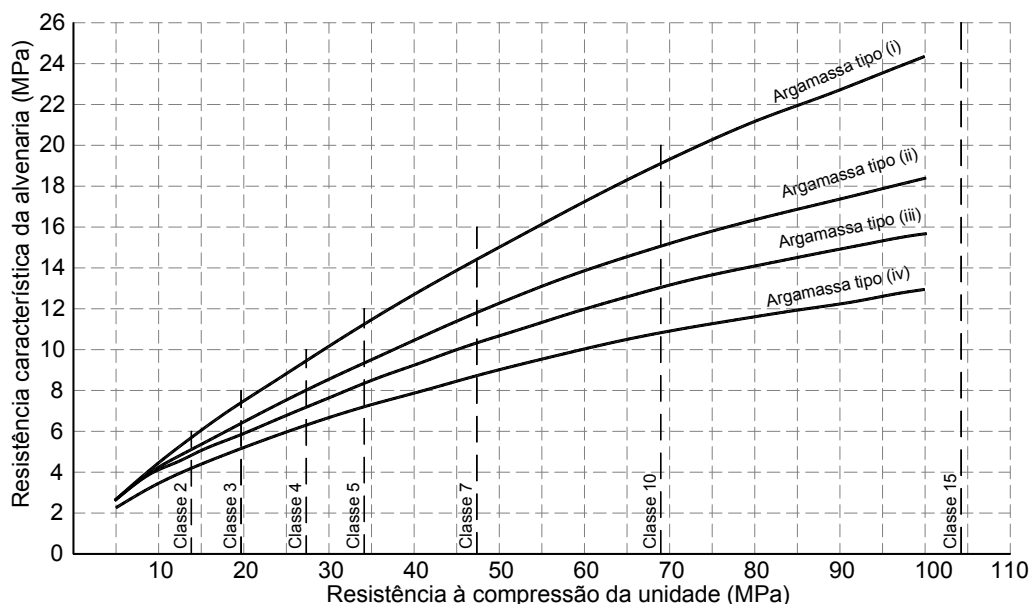
2.3.2 Norma Britânica, BS 5628-1 (2005)

Nesta, a previsão da resistência da alvenaria pode ser realizada de duas maneiras. Utilizando ábacos ou tabelas que são função do tipo de bloco e argamassa utilizados, ou pela ruptura de paredes em escala real. Não há a previsão de emprego de prismas nesta norma.

A preferência deve ser dada à ruptura de paredes, mas quando isso não for possível, ábacos, como o da Figura 2, podem ser utilizados. Na norma existem outros ábacos como este, em função do tipo de bloco considerado.

O uso de tabelas ou ábacos que relacionam as propriedades da argamassa e do bloco indicam a preocupação em compatibilizar o comportamento dos dois materiais.

Figura 2 - Resistência característica à compressão para alvenaria de tijolos em função do tipo de argamassa e do tipo e resistência do bloco.



Fonte: BS 5628-1 (2005, pg. 12)

Quando for possível obter a resistência da alvenaria pela ruptura de paredes deve-se respeitar as dimensões mínimas definidas pela norma. O comprimento deve ficar entre 1,2 e 1,8 metros, a altura entre 2,4 a 2,7 metros e área da seção transversal paralela à base deve ser no mínimo de 0,125 m². Pelas dimensões do corpo de prova percebe-se como é custoso o ensaio desse tipo de elemento.

A resistência característica da alvenaria (f_k) será calculada, nesse caso, a partir da resistência média obtida no ensaio, corrigida por dois fatores em função do controle de qualidade do bloco (φ_u) e da argamassa (φ_m), conforme a Equação 1.

$$f_k = \frac{F_m}{A} \frac{\varphi_u \varphi_m}{1,2} \quad \dots(1)$$

Onde: F_m é a força resistente média medida para as paredes testadas.

A é a área da seção transversal da parede.

φ_u é o fator de correção em função do controle de qualidade dos blocos.

φ_m é o fator de correção em função do controle de qualidade da argamassa.

O fator de correção em função do controle de qualidade da argamassa é obtido na Tabela 4, sendo função da resistência da argamassa utilizada nas paredes ensaiadas e da resistência especificada para a obra.

A Equação 1 é válida para paredes com esbeltez máxima igual a 20. Caso a esbeltez seja maior do que 20, deve ser usado um fator de correção da resistência em função da deflexão medida no centro da parede.

Tabela 4 - Fator de redução da resistência da alvenaria em função do controle de qualidade da argamassa.

α = resistência da argamassa usada na parede / resistência da argamassa especificada para a obra.	Fator de redução (ϕ_m)
1,0 a 1,5	1,0
2,0	0,93
2,5	0,88
3,0	0,84
3,5	0,81
4,0	0,78

Fonte: BS 5628-1 (2005, pg. 56)

Em total concordância com o exposto na norma americana, o texto da norma britânica ressalta a importância das propriedades no estado fresco da argamassa como mais relevantes para a resistência à compressão da alvenaria do que a resistência à compressão da argamassa.

A norma estabelece que a escolha da argamassa de assentamento está ligada a diferentes fatores como: trabalhabilidade, aderência, durabilidade, deformabilidade no estado endurecido, resistência mecânica e compatibilidade com o bloco usado. A Tabela 5 apresenta as classes de argamassa propostas na norma. Nesta tabela, são apresentados as proporções dos traços para argamassa, a resistência à compressão esperada e um indicativo de quanto o aumento da resistência influi na diminuição da deformabilidade.

Tabela 5 - Proporções propostas para argamassas de assentamento em função do seu desempenho.

		Classe da argamassa	Proporção em volume Cimento:cal:areia	Resist. média à compressão aos 28 dias (MPa)	
				Em laboratório	Em obra
Resistência crescente ↑	Capacidade crescente de acomodar deformações e movimentos ↓	(i)	1:0 a 0,25:3	16,0	11,0
		(ii)	1:0,5:4 a 4,5	6,5	4,5
		(iii)	1:1:5 a 6	3,6	2,5
		(iv)	1:2:8 a 9	1,5	1,0

Fonte: BS 5628-1 (2005, pg. 7)

Tomando os limites superiores para as quantidades de cal em cada uma das classes de argamassa propostas na norma ASTM C270-07 (2007), chega-se a traços muito semelhantes aos apresentados na norma britânica. No entanto, as resistências à compressão propostas pelas duas normas variam significativamente. A norma britânica é mais conservadora em termos de valores propostos. A Tabela 6 apresenta o comparativo entre as resistências médias previstas nos dois textos.

Tabela 6 - Comparativos entre os traços em volume e as resistências médias à compressão propostos nas normas ASTM C270-07 (2007) e a BS 5628 (2005).

Classes de argamassa		Cimento:Cal:Areia			Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)
ASTM C270- 07 (2007)	M	1	0,25	3,12 a 3,75	17,2
	S	1	0,5	3,75 a 4,5	12,4
	N	1	1,25	5,62 a 6,75	5,2
	O	1	2,25	8,12 a 9,75	2,4
BS 5628 (2005)	(i)	1	0 a 0,25	3	16,0
	(ii)	1	0,5	4 a 4,5	6,5
	(iii)	1	1	5 a 6	3,6
	(iv)	1	2	8 a 9	1,5

Fonte: Lübeck (2016, pg. 19)

2.3.3 Eurocode 6, EN 1996-1-1 (2002)

A norma europeia, EN 1996-1-1 (2002), da mesma forma que os textos anteriores, discute as características básicas para os elementos que compõem a alvenaria. Os blocos são classificados na norma em função do material, do teor de vazios (relação área líquida/área bruta), espessura das paredes e controle de

qualidade na fabricação. Já as argamassas são definidas em função da agressividade do meio.

A classificação dos blocos em função do controle de qualidade na fabricação dá-se pela separação em duas categorias. Blocos da categoria I apresentam não mais do que 5% das amostras ensaiadas com resistência menor que a nominal. Já blocos da categoria II superam este limite. Com relação ao tipo de material, teor de vazios e espessura das paredes, a norma classifica os blocos em quatro grupos. Esses grupos vão impactar no coeficiente de minoração da resistência da alvenaria para o cálculo estrutural.

Já para a argamassa, o Eurocode 6 sugere que a seleção resulte da análise das condições de exposição desta e das características do bloco utilizado, principalmente com relação à capacidade de retenção de umidade e plasticidade.

Com relação à previsão da resistência da alvenaria, esta norma difere das anteriores por determinar que a resistência seja medida sobre o ensaio de paredes ou a partir das resistências à compressão individuais da argamassa e do bloco.

Quando não há possibilidade de realizar ensaios, a norma permite que a resistência da alvenaria seja prevista a partir das propriedades dos componentes. A Equação 2 é uma das propostas na norma.

$$f_k = K \cdot f_b^{0,7} \cdot f_m^{0,3} \quad \dots(2)$$

Onde: f_k é a resistência característica da alvenaria à compressão axial.

K é uma constante definida em função do tipo de bloco e argamassa, variando de 0,35 a 0,55 para argamassas de uso comum.

f_b é a resistência média normalizada do bloco à compressão simples, limitada a 75 MPa para argamassas convencionais.

f_m é a resistência média normalizada da argamassa à compressão simples, limitada a 20 MPa ou $2f_b$.

O coeficiente K da Equação 2 é o responsável por realizar a compatibilização do comportamento da argamassa e do bloco.

2.3.4 Normas Brasileiras, NBR 15961 (2011) e NBR 15812 (2010)

As normas brasileiras são duas, como já destacado, separadas em função do material dos blocos, NBR 15961 (2011) para blocos de concreto e NBR 15812 (2010) para blocos cerâmicos. São textos muito semelhantes; ambas são separadas em duas partes, uma para projeto e outra para execução e controle.

Na parte referente às prescrições de projeto, a filosofia adotada também é a do método dos estados limites, sendo que os coeficientes de minoração da resistência e majoração das ações são propostos na norma.

A previsão da resistência da alvenaria comprimida deve ser realizada pela ruptura de paredes em escala real, pequenas paredes ou prismas. Não há um meio de estimar a resistência por ábacos, tabelas ou equações como nas normas estrangeiras.

A resistência característica da alvenaria (f_k) será a medida nas paredes, ou igual a 85% da medida nas pequenas paredes (f_{ppk}), ou 70% da medida nos prismas (f_{pk}).

Para determinação por meio de prismas, devem ser ensaiados, pelo menos, 12 corpos de prova com dois blocos de altura. Já as pequenas paredes devem ter dois blocos de comprimento e altura maior que cinco vezes a largura do bloco, mas não menos do que 70 cm. Devem ser rompidos pelo menos 6 exemplares para determinação da resistência.

A dificuldade imposta aos projetistas é que se conhece de antemão apenas a resistência à compressão dos blocos comercializados na região. A resistência do prisma dependerá da argamassa utilizada e só será conhecida depois que os blocos forem adquiridos para a obra. Assim, fica a dúvida de qual valor de resistência de bloco indicar ao proprietário da obra para que a resistência dos prismas seja atingida. Acaba-se por trabalhar com valores médios do fator de eficiência prisma-bloco, que é a razão entre a resistência à compressão do prisma e a do bloco que o compõe ($\eta = f_{pk}/f_{bk}$).

As exigências feitas para a argamassa são sucintas nas normas brasileiras. Estabelece-se apenas que a argamassa deve ter resistência à compressão maior que 1,5 MPa e menor que 70% da resistência característica à compressão do bloco, medida na área líquida.

De maneira direta, a resistência do bloco é sem dúvida o fator de maior contribuição para a resistência da alvenaria. A argamassa tem participação mais marcante com relação a suas propriedades no estado fresco e a resistência de aderência no estado endurecido, (PARSEKIAN, HAMID E DRYSDALE, 2012; CARASEK, 2010, PARSEKIAN E SOARES, 2010).

Contudo, mesmo que de maneira indireta, as normas internacionais e alguns autores demonstram a preocupação em compatibilizar as resistências do bloco e argamassa. Parsekian e Soares (2010) sugerem que a resistência do traço de argamassa seja tomada como sendo aproximadamente 70% da resistência à compressão do bloco na área bruta. A Tabela 7 apresenta as resistências à compressão da argamassa recomendadas pelos autores para blocos cerâmicos com relação área líquida/área bruta de 0,44. Na tabela, os valores entre parênteses ao lado das resistências da argamassa, representam a relação entre estas e as resistências dos blocos na área líquida.

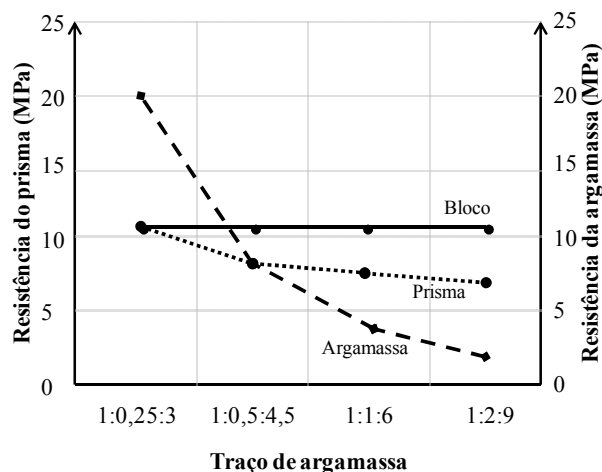
Tabela 7 - Resistências à compressão para argamassas indicadas por Parsekian e Soares (2010) em função da resistência do bloco.

Bloco - f_{bk} (MPa)		Argamassa - f_a (MPa)		
Área bruta	Área líquida	Mínimo	Máximo	Recomendado
3,0	6,9	2,1 (0,3)	4,8 (0,7)	4,0 (0,58)
6,0	13,8	4,2 (0,3)	9,7 (0,7)	5,0 (0,36)
8,0	18,4	5,6 (0,3)	12,9 (0,7)	6,0 (0,33)
10,0	23,0	7,0 (0,3)	16,1 (0,7)	7,0 a 8,0 (0,30 a 0,35)

Fonte: Parsekian e Soares (2010, pg. 45)

Mohamad (1998) estudou a influência da argamassa sobre a resistência à compressão e modo de ruptura de prismas de blocos de concreto não grauteados. A Figura 3 demonstra a resistência dos prismas em função da resistência do bloco e da argamassa.

Figura 3 - Variação da resistência do prisma em função da resistência do bloco e da argamassa.



Fonte: Adaptado de Mohamad (1998)

O autor observou que para um mesmo nível de resistência do bloco, quanto maior a resistência da argamassa, maior a resistência do prisma, mas este aumento não acontece de maneira proporcional, o aumento de resistência do prisma é menor que o aumento da resistência da argamassa. Analisando individualmente cada traço de argamassa, ao aumentar-se a resistência do bloco percebe-se que nos traços de argamassa mais fracos, as variações na resistência do prisma são mais sensíveis à variação da resistência do bloco.

O estudo de Mohamad (1998) indica que existe um ponto ótimo entre a máxima resistência do prisma atingível, para uma resistência de bloco especificada, que é função da resistência da argamassa. O projetista, ao especificar valores de resistência da argamassa mais elevados, estará aumentando a resistência do prisma, mas também diminuindo a sua ductilidade e ao mesmo tempo, aumentando o custo da alvenaria. Por outro lado, ao especificar valores muito baixos de resistência da argamassa, diminuirá a resistência do prisma e poderá dar margem ao escoamento e esmagamento das juntas de argamassa.

Outro ponto omissos nas normas brasileiras é com relação à ductilidade. As normas internacionais apresentam um conjunto de recomendações de maneira a garantir a ductilidade da alvenaria, mas este tipo de recomendação não aparece nas normas brasileiras. Apenas é limitado o valor da resistência máxima da argamassa em função da resistência do bloco.

Parsekian e Soares (2010) fazem recomendações nesse sentido, dizendo que devem-se evitar argamassas fortes, formadas apenas por cimento e areia, pois resultam em juntas muito rígidas, com baixa capacidade de absorver deformações. Qualquer deformação que possa ocorrer, resultará em concentração de tensões nos blocos e aparecimento de fissuras.

Fica clara a carência nas normas brasileiras de limitantes de valores para as propriedades desejáveis da argamassa a ser utilizada na alvenaria estrutural. Principalmente com relação à resistência à compressão. Deve-se adotar a menor resistência possível afim de manter a ductilidade da alvenaria. No entanto, a argamassa é responsável pelo comportamento não linear da alvenaria e pode sofrer esmagamento, induzindo a ruptura da parede por concentração das tensões nos blocos.

2.4 O confinamento na resistência da argamassa

Para descrever o comportamento da alvenaria estrutural é imprescindível estudar o confinamento da argamassa nas juntas, pois seu funcionamento é fundamental para o sistema estrutural. Também é importante lembrar que as normas limitam a espessura das juntas a um tamanho máximo para manter confinada.

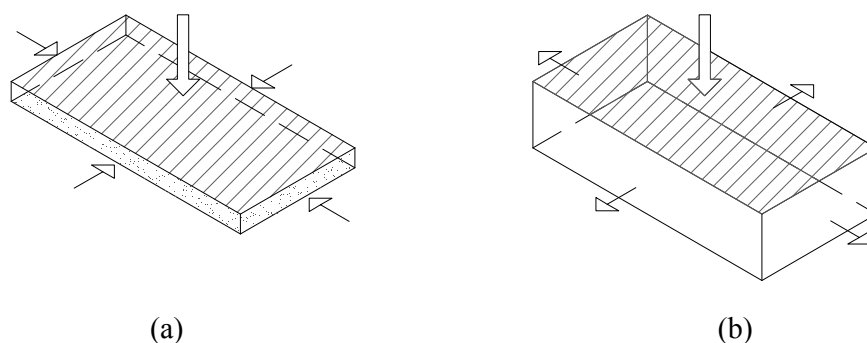
A existência do confinamento da argamassa nas juntas é fundamental para o funcionamento da alvenaria como um sistema estrutural resistente. Como visto, as normas limitam a espessura das juntas a um tamanho máximo de maneira que a argamassa mantenha-se confinada.

Autores como Mohamad et al. (2015), entre outros, confirmam de maneira clara o confinamento da argamassa nas juntas de alvenaria, e tentaram descrever o comportamento no estado confinado, avaliando como se desenvolvia a envoltória de ruptura da argamassa e suas propriedades mecânicas.

2.4.1 O confinamento da argamassa

Quando um prisma de alvenaria é comprimido, a tendência da argamassa será de apresentar uma certa expansão lateral maior que a dos blocos que estão aderidos a ela, essa aderência força com que a deformação real seja um valor entre a tendência de deformação dos dois materiais. Assim, desenvolvem-se tensões laterais e os blocos acabam sujeitos a um estado de compressão e tração biaxial, enquanto a argamassa é comprimida triaxialmente, como mostra a Figura 4.

Figura 4 - Junta de argamassa comprimida triaxialmente (a) e bloco comprimido e tracionado biaxialmente (b).



Fonte: Lübeck (2016, pg. 34)

Assim pode-se afirmar que quanto maior a espessura da junta, ou quanto menor a proporção de rigidez entre o módulo de elasticidade da argamassa e do bloco, ou ainda quanto maior o coeficiente de Poisson dos dois materiais, maiores as tensões horizontais desenvolvidas.

O fenômeno do confinamento é responsável por incrementar a resistência da argamassa, como já citado, mas ao mesmo tempo altera suas outras propriedades. A presença da pressão lateral confinante impede a livre expansão de um corpo de prova comprimido axialmente e, assim, todas as propriedades mecânicas do material se alteram.

Uma alternativa para estudar os efeitos do confinamento é a de ensaiar à compressão axial corpos de prova de baixa relação altura/espessura, da ordem de 1 ou menos. Como os aparatos de aplicação de carga das prensas normalmente atritam

com o espécime ensaiado, há restrição aos deslocamentos laterais, criando um estado confinado nesse corpo de prova.

2.4.2 O Confinamento e a resistência à compressão

Para a resistência à compressão das argamassas em função do confinamento lateral existe um consenso entre autores que esta cresce como uma função linear da pressão de confinamento lateral, conforme a Equação 3.

$$f_m = f_a + k \sigma_3 \quad \dots(3)$$

Onde: f_m^* é a tensão de compressão da argamassa confinada.

f_a é a resistência à compressão uniaxial da argamassa.

σ_3 é a pressão de confinamento lateral.

k é o coeficiente angular da reta.

Diferentes pesquisadores avaliaram a resistência da argamassa confinada, chegando a valores divergentes de coeficiente angular, a Tabela 8 abaixo de Lübeck (2016) resume os traços de argamassa pesquisados, resistência à compressão uniaxial e coeficiente da reta de envoltória.

Tabela 8 - Coeficiente angular da reta de envoltória da argamassa confinada para diferentes pesquisadores.

Pesquisador	Traço de argamassa em volume de cimento, cal e areia	Resistência uniaxial da argamassa, f_a (MPa)	Coeficiente angular da reta de envoltória, k
Khoo (1972)	1 : 0,25 : 3	21,47	3,30
	1 : 1 : 6	6,54	2,17
Atkinson et al. (1985)	1 : 0,25 : 3	32,0	5,10
	1 : 0,5 : 4,5	22,0	3,30
	1 : 1 : 6	15,0	2,30
	1 : 2 : 9	6,5	2,20
Mohamad (1998)	1 : 0,25 : 3	34,9	4,00
	1 : 0,5 : 4,5	21,4	3,60
	1 : 1 : 6	11,8	2,60
	1 : 2 : 9	5,2	2,50

Fonte: Lübeck (2016, pg. 38).

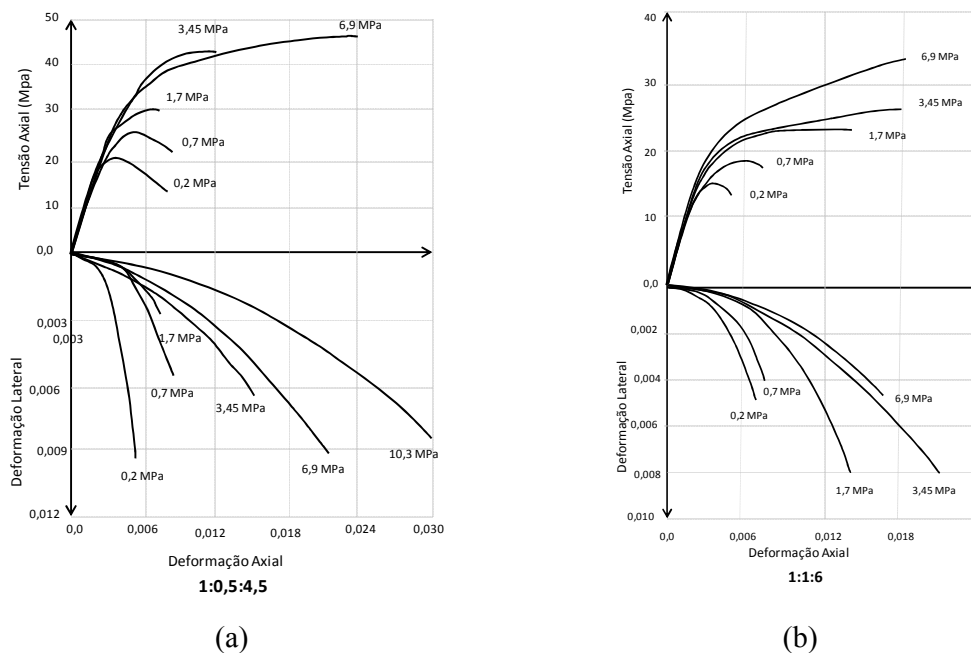
Como pode ser observado, o coeficiente angular da reta de envoltória varia significativamente em função do traço de argamassa.

2.4.3 O Confinamento e o comportamento tensão-deformação

A presença da tensão lateral confinante altera o comportamento da argamassa, acrescentando-lhe ductilidade, as curvas obtidas por Atkinson et al. (1985) para o comportamento tensão-deformação axial e transversal são um exemplo da variação do comportamento da argamassa em função do confinamento lateral. As argamassas testadas tinham traços 1:0,5:4,5 e 1:1:6, medidos em volume. A Figura 5 mostra as curvas obtidas pelos pesquisadores. Os valores junto às curvas indicam a tensão lateral confinante aplicada.

É perceptível que existe uma mudança de comportamento de frágil para dúctil na argamassa de traço forte para níveis elevados de confinamento. Para a argamassa fraca foi observado um comportamento bi-linear para níveis elevados de tensão axial. Para ambas as argamassas o comportamento foi claramente não linear a partir de uma carga axial de 50% da carga última.

Figura 5 - Comportamento tensão-deformação da argamassa confinada. Argamassas de traços (a) 1:0,5:4,5 e (b) 1:1:6.



Fonte: Atkinson et al. (1985, pg. 584)

2.4.4 O Confinamento e o módulo de elasticidade

A influência do confinamento no módulo de elasticidade da argamassa foi estudada por alguns pesquisadores como Atkinson et al. (1985) e Mohamad (1998).

Mohamad (1998), observou que para traços fortes de argamassa, 1:0,25:3 e 1:0,5:4,5, o módulo de elasticidade aumenta com o aumento do confinamento. Já o traço 1:1:6, fraco, teve o módulo de elasticidade diminuído.

Atkinson et al. (1985) observou que para valores baixos de pressão confinante, o módulo de elasticidade apresenta um decréscimo pouco acentuado para pequenas tensões axiais, no entanto, com o aumento da pressão axial, há uma queda brusca no valor de E . Já para valores elevados de confinamento lateral a queda no valor do módulo de elasticidade é constante. Esse comportamento foi mais acentuado para as argamassas mais fracas.

A mudança no comportamento do módulo de elasticidade em função da presença do confinamento é evidente, porém, a dificuldade em realizar a medição de deformação nos ensaios triaxiais causa uma variação considerável nos resultados.

2.4.5 O Confinamento e o Coeficiente de Poisson

Mohamad et al. (2015) afirmam que a argamassa é determinante na forma de ruptura da alvenaria. As argamassas de resistência próxima à resistência do bloco, apresentam um comportamento linear, com Poisson constante até uma tensão próxima a 80% da sua resistência à compressão. A partir desse nível de tensão, forma-se uma malha de fissuras que se traduz em um aumento de volume e, conseqüentemente, em um aumento do coeficiente de Poisson.

Hayen, Van Balen e Van Gemert (2003), Mohamad (1998), Atkinson et al. (1985) e Khoo (1972), buscaram entender como o confinamento alterava o coeficiente de Poisson e também constataram que as argamassas de menor resistência tendem a falhar por poro-colapso ou esmagamento das juntas de argamassa. Este fenômeno é caracterizado pela diminuição de volume do material, onde há fechamento dos vazios e poros internos da estrutura.

Assim, pode-se afirmar que a diminuição do volume provocada pelo poro-colapso resulta em uma diminuição do coeficiente de Poisson. Depois do fechamento dos poros, a degradação do material se dá pela formação de uma extensa rede de

fissuras. Essa fissuração extensiva se traduz em um aumento de volume e, sendo assim, aumento do Poisson. Ou seja, primeiramente haveria uma diminuição do Poisson até um valor crítico e após esse ponto, um crescimento.

2.4.6 O Confinamento e a variação volumétrica

Para falar em variação volumétrica é indispensável conhecer a variação do coeficiente de Poisson, alguns autores avaliaram como se dá a variação volumétrica de materiais próximos a ruptura e observaram mudanças consideráveis no comportamento quando estes submetidos a um grau de confinamento.

A influência na variação volumétrica da argamassa em função da compressão triaxial foi estudada por Hayen, Van Balen e Van Gemert (2003). A relação tensão confinante/compressão axial aplicada foi denominada (k).

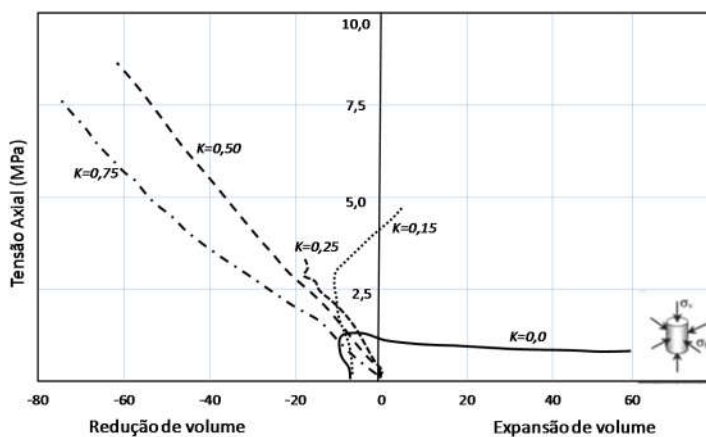
Conforme observado por Lübeck (2016) os pesquisadores concluíram que houve uma mudança de comportamento para um grau de confinamento maior que 25% ($k=0,25$). Para valores menores que 25%, ficou evidenciada a falha por cisalhamento da argamassa em função da variação volumétrica e variação do coeficiente de Poisson observados. Para estes casos, inicialmente, houve diminuição do volume da amostra, para depois haver um aumento de volume próximo à ruptura.

Para graus de confinamento maiores que 25% não foi observada variação volumétrica dos corpos de prova ao longo de todo o carregamento. A diminuição volumétrica foi constatada mesmo na ruptura e os autores concluíram que a falha deve ter havido por poro-colapso da argamassa, sem o desenvolvimento de tensões cisalhantes.

Hayen, Van Balen e Van Gemert (2003) observaram que o aumento do grau de confinamento que resultou no poro-colapso das amostras não comprometeu sua resistência final, mesmo tendo resultado na completa destruição da estrutura interna da argamassa. Sendo assim, os autores entendem que a delimitação de ruptura deva-se dar não para a carga final apresentada pela amostra, mas sim quando se iniciou o poro-colapso. Essa conclusão é muito semelhante às apontadas por Mohamad (2007) e Schankoski, Prudêncio Jr. e Pilar (2015).

A Figura 6 apresenta as curvas de variação volumétrica para argamassas de cal hidráulica submetidas a diferentes níveis de confinamento lateral e compressão axial.

Figura 6 - Variação volumétrica em função do grau de confinamento (k) para amostras de argamassa comprimidas triaxialmente.



Fonte: Hayen, Van Balen e Van Gemert (2003, pg. 5)

2.5 Definições das grandezas mecânicas

2.5.1 Deformação específica

A deformação específica é uma grandeza adimensional e definida como a variação do comprimento de um corpo de prova quando carregado. Quando medida no sentido longitudinal do corpo de prova, é dita deformação específica axial ou longitudinal (ε_L). Quando medida transversalmente é dita deformação específica transversal ou lateral (ε_T). As Equações 4 e 5 e a Figura 7 definem melhor a deformação específica.

$$\varepsilon_L = \frac{\Delta L}{L} \quad \dots(4)$$

$$\varepsilon_T = \frac{\Delta T}{T} \quad \dots(5)$$

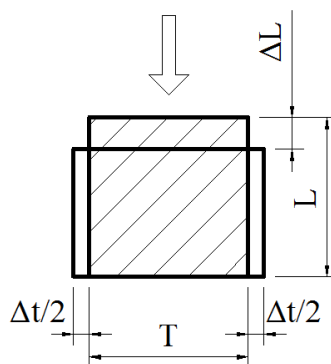
Onde: ε_L é a deformação específica longitudinal.

ε_T é a deformação específica transversal.

L e T são as variações do comprimento do corpo de prova no sentido longitudinal e no sentido transversal, respectivamente.

L e T são as dimensões originais do corpo de prova no sentido longitudinal e transversal, respectivamente.

Figura 7 - Variação dimensional de um corpo comprimido axialmente.

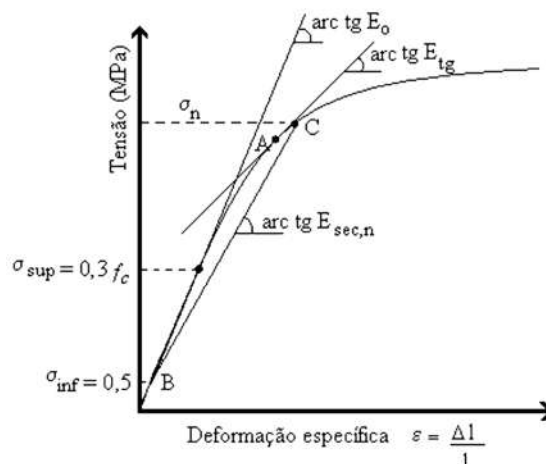


Fonte: Lübeck (2016, pg. 32)

2.5.2 Módulo de Elasticidade

O módulo de elasticidade representa a inclinação da curva tensão-deformação para um material carregado uniaxialmente. Como o comportamento tensão-deformação de um material real dificilmente é uma reta, podem ser definidos diferentes módulos de elasticidade para um mesmo material. A NBR 8522 (2008) define o módulo de elasticidade inicial (E_0) como sendo a inclinação da reta que passa pelo ponto com tensão igual a 0,5 MPa (σ_{inf}) e pelo ponto com uma tensão equivalente a 30% da tensão de ruptura (σ_{sup}). O módulo de elasticidade secante (E_s ou E_{sec}) é a inclinação da corda que passa pelo ponto com tensão de 0,5 MPa e por um outro ponto qualquer com tensão maior que esta (σ_n). E, por fim, o módulo de elasticidade tangente (E_{tg}) é a inclinação de uma reta tangente à curva tensão-deformação em um ponto qualquer da mesma. A Figura 8 apresenta as diferentes possibilidades de apresentação do módulo de elasticidade.

Figura 8 - Definição dos diferentes tipos de avaliação do módulo de elasticidade.



Fonte: ABNT NBR 8522 (2008)

2.5.3 Coeficiente de Poisson

O coeficiente de Poisson (ν) é uma característica do material definida pela proporção entre as deformações específicas lateral e longitudinal de um corpo carregado (Equação 6).

O coeficiente de Poisson é uma grandeza estabelecida para materiais elásticos, mas também usa-se para análises inelásticas adaptando a denominação para coeficiente de Poisson aparente. Aqui será tratado como coeficiente de Poisson, tanto para análises na fase elástica quanto na inelástica.

$$\nu = \frac{\varepsilon_L}{\varepsilon_T} \quad \dots(6)$$

2.5.4 Variação volumétrica específica

A variação volumétrica específica é definida pela soma das deformações específicas axiais. Para um corpo comprimido axialmente como o da Figura 7, a sua variação volumétrica específica será dada pela Equação 7. Nesta equação as deformações específicas devem ser tomadas com seus sinais correspondentes.

$$\varepsilon_v = \frac{V}{V} = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = \varepsilon_L + 2 \varepsilon_T \quad \dots(7)$$

Onde: ε_x , ε_y e ε_z são as deformações específicas nos eixos x, y e z, respectivamente.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados os procedimentos experimentais adotados para os objetivos propostos no trabalho. Inicia-se com caracterização dos materiais empregados, confecção dos corpos de prova e das justificativas para a escolha destes materiais, encerrando-se com a descrição dos ensaios e os procedimentos de execução usados.

3.1 Caracterização dos materiais empregados

As argamassas utilizadas nesta pesquisa são as tipo ii e iii definidas na norma britânica BS 5628 (2005), citada como referência na maior parte das bibliografias nacionais consultadas. Os traços destas argamassas são definidos em volume de cimento, cal e areia em: 1:0,5:4 e 1:1:6. A escolha por dois tipos de argamassa deu-se para que houvesse variação de resistência entre as amostras e, com isso, variação de comportamento nos ensaios.

Os ensaios para caracterização dos materiais foram realizados a uma temperatura média de 18°C, em ambiente fechado do Laboratório de Materiais e Construção Civil da Unipampa, na cidade de Alegrete.

3.2 Determinação da massa específica e massa unitária

O cimento utilizado foi do tipo CPIV, 32 MPa, e a cal hidratada do tipo CH III. Foram avaliadas a massa específica dos dois materiais segundo a ABNT NBR NM 52 e NM 23 e a massa unitária solta segundo a ABNT NBR NM 45, necessária para converter o traço em volume da norma britânica para traço em peso, mais prático para ser usado em laboratório. A massa específica foi determinada com o emprego do frasco de Le Chatelier (Figura 9) para os aglomerantes e frasco de Chapman para areia (Figura 10), e a massa unitária solta pelo lançamento do material em um recipiente de volume conhecido (Figura 11).

Para a determinação da massa específica e massa unitária da areia, a amostra foi peneirada na malha de 2mm, utilizando assim apenas areia fina e média e eliminando partículas maiores que poderiam influenciar os resultados em função da pequena dimensão dos corpos de prova.

Figura 9 – Frasco de Le Chatelier



Fonte: Elaboração própria

Figura 10 – Frasco de Chapman



Fonte: Elaboração própria

As Tabelas 9 e 10 apresentam os resultados das leituras feitas no frasco de Le Chatelier e as massas específicas medidas para as duas amostras de cimento e cal, a Tabela 11 apresenta os resultados obtidos para a areia no frasco de Chapman (os valores encontrados para a massa específica de cada material estão de acordo com os valores fornecidos pelo fabricante).

Tabela 9 – Massa específica do cimento

Cimento	Massa (g)	Volume (cm³)	Massa específica (g/cm³)
Amostra 1 =	59,6	22,35	2,67
Amostra 2 =	58,7	21,8	2,69
		Média	2,68

Fonte: Elaboração própria

Tabela 10 – Massa específica da cal

Cal	Massa (g)	Volume (cm³)	Massa específica (g/cm³)
Amostra 1 =	53,9	23,3	2,31
Amostra 2 =	50	21,5	2,33
		Média	2,32

Fonte: Elaboração própria

Tabela 11 - Massa específica da areia

Areia	Massa (g)	Volume (cm³)	Massa específica (g/cm³)
Amostra 1 =	500	189	2,65
Amostra 2 =	500	188,5	2,65
		Média	2,65

Fonte: Elaboração própria

Para a determinação da massa unitária do agregado em estado solto foi utilizado uma balança com limite de erro de 0,5% das massas a determinar e recipiente de material metálico (Figura 11), com espessura apropriada.

Figura 11 – Recipiente utilizado para determinação da massa unitária



Fonte: Elaboração própria

Os resultados individuais de cada ensaio aparecem nas Tabelas 12, 13 e 14 (os valores encontrados para a massa unitária de cada material estão de acordo com os valores fornecidos pelo fabricante):

Tabela 12 – Massa unitária do cimento

Cimento	Massa (kg)	Volume (l)	Massa unitária (g/cm³)
Amostra 1 =	15,88	10,18	1,56
Amostra 2 =	15,64	10,18	1,54
Amostra 3 =	15,54	10,18	1,53
		Média	1,54

Fonte: Elaboração própria

Tabela 13 – Massa unitária da areia

Areia	Massa (kg)	Volume (l)	Massa unitária (g/cm³)
Amostra 1 =	15,8	10,18	1,55
Amostra 2 =	15,88	10,18	1,56
Amostra 3 =	15,92	10,18	1,56
		Média	1,56

Fonte: Elaboração própria

Tabela 14 – Massa unitária da cal

Cal	Massa (kg)	Volume (l)	Massa unitária (g/cm³)
Amostra 1 =	8,46	10,18	0,83
Amostra 2 =	7,96	10,18	0,78
Amostra 3 =	7,68	10,18	0,75
		Média	0,79

Fonte: Elaboração própria

3.3 Execução dos ensaios de caracterização mecânica

A dificuldade de caracterizar e estudar o esmagamento da argamassa de assentamento da alvenaria é latente. Buscando determinar a influência das propriedades da argamassa e dos padrões de ensaio sobre o comportamento das propriedades mecânicas, dois conjuntos de ensaios em corpos de prova cilíndricos (Figura 13) foram realizados. Assim, foram ensaiadas amostras com diâmetro de 50mm e altura 100mm com diâmetro/altura (d/h) de 0,5 e amostras de diâmetro de 50mm e altura 50mm com diâmetro/altura (d/h) de 1,0 conforme Tabela 15. Para os corpos de prova 50x50mm foram utilizados os mesmos moldes e depois serrados e retificados.

Dois tipos de argamassa foram testados, padrões ii e iii, de acordo com as recomendações da norma britânica BS 5628 (2005), com traços em volume de cimento, cal e areia de 1:0,5:4 e 1:1:6, de maneira que a primeira resultasse em uma argamassa de alta resistência e a segunda em baixa resistência. As deformações axial e lateral foram medidas por dois *Strain Gauges* dispostos como mostrado na Figura 12. A prensa utilizada nos ensaios será a EMIC DL20000 de 200 kN, com velocidade de aplicação do carregamento. Com a medida das deformações serão calculados o módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson e variação volumétrica para cada uma das amostras.

Figura 12 – *Strain Gauges*



Fonte: Elaboração própria



3.3.1 Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão

Conforme a ABNT NBR 13279 (2005), para a moldagem dos corpos de prova foram utilizados moldes prismáticos que consistem de armações abertas com paredes removíveis, formando três compartimentos quando montados com dimensões de 4x4x16cm conforme a Figura 14, mesa de adensamento por queda, nivelador de camadas, régua metálica e máquina para ensaios de resistência com dispositivo de carga de 0,001mm/s.

A execução do ensaio consiste em moldar os corpos de prova prismáticos com argamassa recém-preparada, a argamassa a ser utilizada deve ser preparada conforme ABNT NBR 13276 (2002).

Para determinação da resistência à tração na flexão foram utilizados corpos de prova prismáticos e para a resistência à compressão foram utilizados corpos de prova cilíndricos (Figura 13), para que fosse possível medir a deformação em duas direções com os *Strain Gauges*. O ensaio consiste em posicionar o corpo de prova nos dispositivos de apoio do equipamento de ensaio, de modo que a face rasada não fique em contato com os dispositivos de apoio nem com o dispositivo de carga, aplicando assim uma carga de 50 N/s até a ruptura do corpo de prova, que deve ser realizada aos 28 dias.

Tabela 15 – Amostras a serem ensaiadas

Modelo	Argamassa	Traço	d/h	CP's
 Ø5x5cm	ii	1:0,5:4	1,0	2
	iii	1:1:6		2
 Ø5x10cm	ii	1:0,5:4	0,5	2
	iii	1:1:6		2
Prismáticos 4x4x16cm	ii	1:0,5:4	-	5
	iii	1:1:6	-	5

Fonte: Elaboração própria

Figura 13 – Corpo de prova cilíndrico



Fonte: Elaboração própria

Figura 14 – Molde prismático



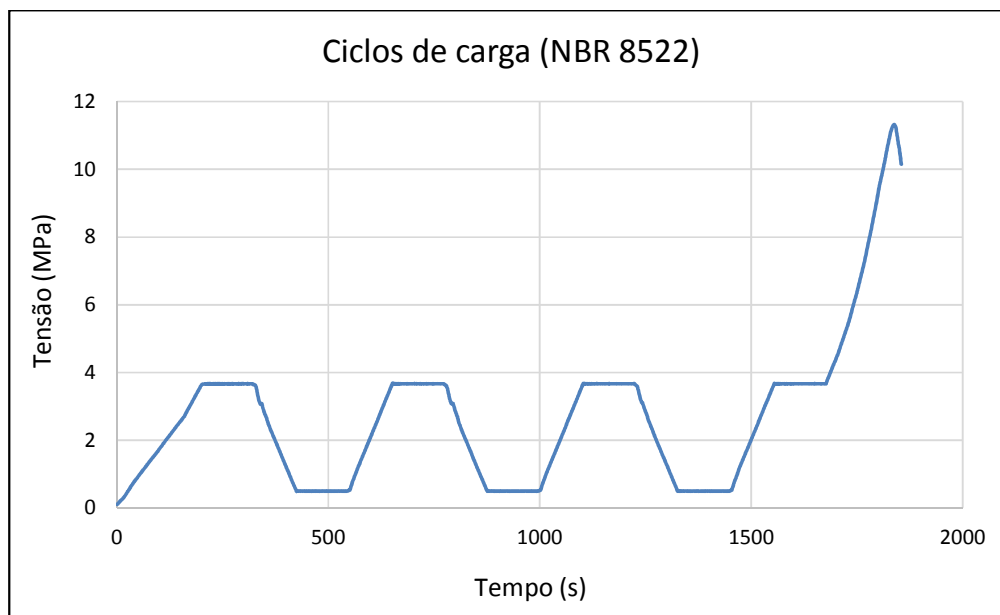
Fonte: Elaboração própria

4 RESULTADOS

Como já descrito anteriormente, devido ao formato das fissuras, foram realizados dois tipos de ensaios, inicialmente buscou-se caracterizar o comportamento de amostras com altura mais próxima à da argamassa nas juntas de alvenaria, 10mm, e posteriormente foram ensaiadas amostras com uma altura maior.

Primeiramente foi adotada uma altura para o corpo de prova que superasse em pelo menos vinte vezes a dimensão característica da areia utilizada, a fim de evitar distorção nos resultados em virtude do tamanho do agregado, sendo assim, foram ensaiadas amostras com 50mm de diâmetro e 50mm de altura ($d/h = 1,00$). Foram também utilizados dois tipos de argamassa, padrões ii e iii de acordo com as recomendações da norma britânica BS 5628 (1922), com traços em volume de cimento cal e areia de 1:0,5:4 e 1:1:6, para que fossem ensaiadas argamassas de resistência distintas. A prensa utilizada foi a EMIC DL20000 de 200 kN e os corpos de prova foram submetidos a ciclos de carga (Figura 15) conforme prevê a norma NBR 8522, até uma tensão de 30% da tensão de ruptura, com velocidade constante de 0,45 MPa/s, o objetivo dos ciclos eram de acomodar e homogeneizar as deformações do corpo de prova, as quais foram medidas por dois *strain gauges* cada, colados de maneira diametralmente oposta.

Figura 15 – Padrão inicial de carregamento aplicado às amostras



Fonte: Elaboração própria

Para o corpo de prova de pequenas dimensões, ocorreram fissuras passando pelos *strain gauges*, com isso, a leitura das deformações começava a ter seus resultados distorcidos e pouco confiáveis depois de iniciada a fissuração, e em praticamente todos corpos de prova tiveram o surgimento de fissuras aproximadamente a 30% da resistência a compressão. Na Figura 16 é possível verificar o momento em que a fissura passa pelo *strain gauge*.



Figura 16 – Fissura atravessando *strain gauge*



Fonte: Elaboração própria

Para aprimorar a precisão nos dados das deformações, foi necessário realizar um novo conjunto de ensaios com corpos de prova cilíndricos, com relação diâmetro/altura (d/h) de 0,5, mantendo o diâmetro em 50mm e aumentando a altura para 100mm. Os demais procedimentos não sofreram alteração, a Tabela 16 apresenta a resistência a compressão, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson obtidos nas amostras estudadas. Os dados de módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson foram obtidos na primeira etapa do carregamento, com um nível de tensão de 30% da tensão de ruptura.

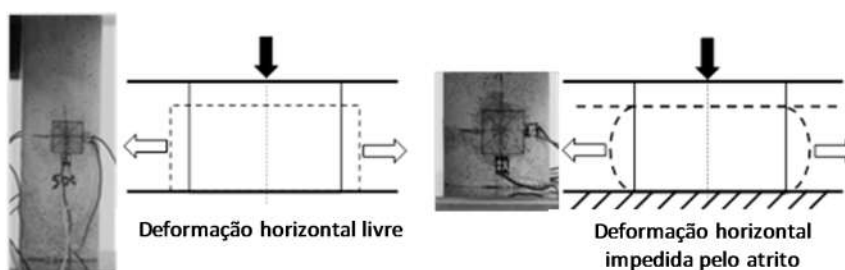
Tabela 16 - Propriedades mecânicas medidas para as amostras com d/h 0,5 e 1,0.

	Argamassa		d/h	Amostra	f_c (MPa)	E_c (GPa)	Poisson
h=100mm 	1:0,5:4	ii	0,5	1	12,9	12,58	0,34
				2	13,05	10,76	0,19
				3	17,15	8,23	0,15
				Média	14,37	10,52	0,23
				Desv. Padrão	2,41	2,18	0,10
				Coef. Var.	16,79%	20,76%	44,19%
	1:1:6	iii	0,5	1	4,52	4,82	0,33
				2	5,65	2,64	0,16
				3	4,71	5,48	0,11
				4	7,18	8,23	0,06
5				7,87	5,44	-	
Média				5,986	5,32	0,17	
h=50mm 	1:0,5:4	ii	1,0	1	10,59	9,04	0,55
				2	9,71	12,97	0,2
				3	11,32	7,26	-
				Média	10,54	9,77	0,375
				Desv. Padrão	0,81	2,92	0,25
				Coef. Var.	7,65%	29,95%	66,00%
	1:1:6	iii	1,0	1	4,36	5,87	0,11
				2	4,28	6,66	0,23
				Média	4,32	6,27	0,17
				Desv. Padrão	0,06	0,56	0,08
Coef. Var.				1,31%	8,92%	49,91%	

Fonte: Elaboração própria

A resistência à compressão média das duas argamassas foi no máximo de 14,37 MPa para o traço 1:0,5:4 e d/h igual a 0,5, e a menor resistência foi de 4,32 MPa para o traço de argamassa 1:1:6 e mesma relação d/h . A análise dos resultados da Tabela 16 aponta também que, ao aumentar a relação d/h de 0,5 para 1,0, o coeficiente de Poisson também aumenta, em média, de 0,13 para 0,17. Segundo Williams e Gamonpilas (2008), para a menor relação d/h , o corpo de prova é mais longo, o que permite uma distribuição mais uniforme das deformações laterais sem que o valor a meia-altura da peça seja muito superior ao da sua vizinhança. Para o corpo de prova de menor altura, com maior relação d/h , a expansão de volume é obtida pela grande diferença na deformação à meia-altura da peça, conforme exemplo da Figura 17.

Figura 17 - Diferença das deformações laterais em função do confinamento provocado pelos pratos da prensa.



Fonte: Lübeck (2016, pg. 129)

Tabela 17 - Resistência de tração na flexão e resistência a compressão dos corpos de prova prismáticos.

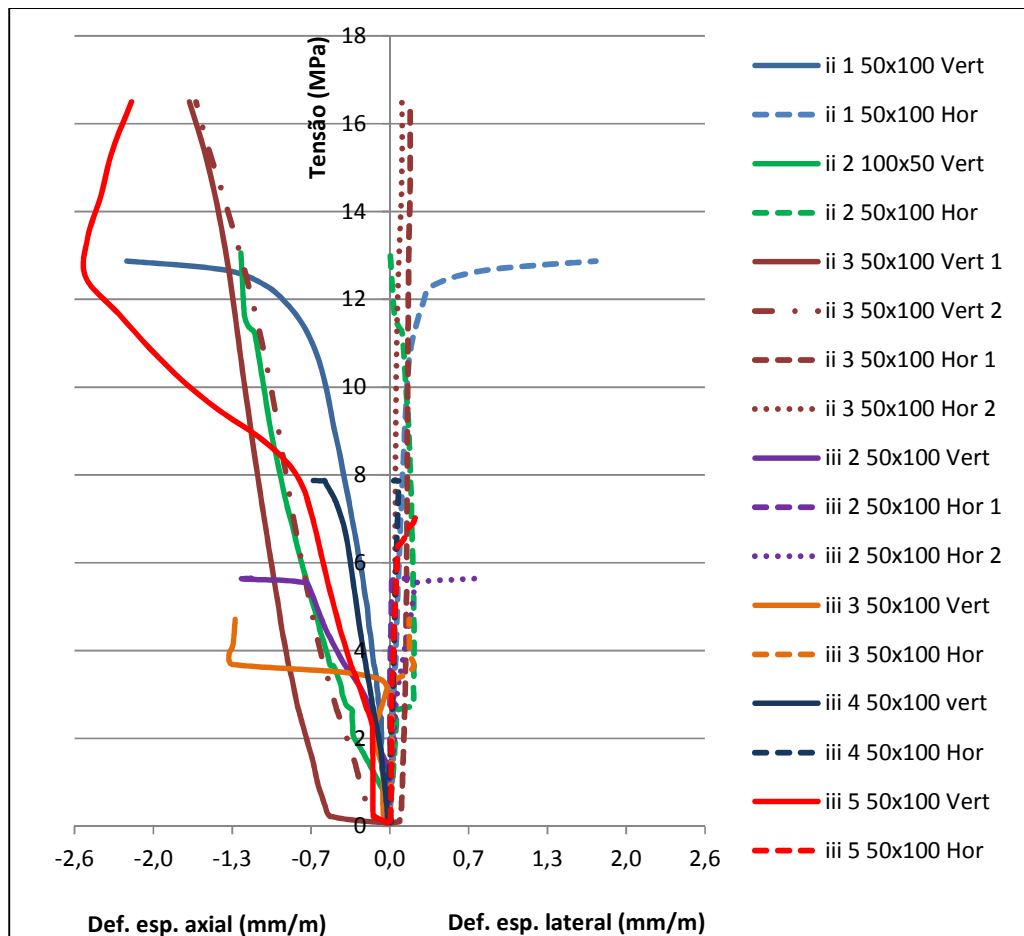
	Argamassa	Amostra	F (N)	$f_{ct,f}$ (MPa)	F (N)	f_c (MPa)		
Prismáticos 4x4x16cm	1:0,5:4	ii	1	1412,7	2,43	23461	14,66	
						22644	14,15	
			2	1398,8	2,40	19459	12,16	
						23233	14,52	
			3	1142,6	1,96	20401	12,75	
						21245	13,28	
			4	1198	2,06	21917	13,70	
				17991	11,24			
			5	1253,4	2,15	16876	10,55	
						19293	12,06	
			Média	1281,10	2,20	20652,00	12,91	
			Desv. Padrão	120,44	0,21	2239,65	1,40	
			Coef. Var.	9,40%	9,40%	10,84%	10,84%	
		1:1:6	iii	1	824,6	1,42	12672	7,92
						12118	7,57	
	2			907,15	1,56	14840	9,28	
						14902	9,31	
3	900,23			1,55	14348	8,97		
					14909	9,32		
4	1080,3			1,86	14307	8,94		
			14327	8,95				
		5	976,4	1,68	14161	8,85		
					14791	9,24		
		Média	937,74	1,61	14137,50	8,84		
		Desv. Padrão	96,13	0,17	968,15	0,61		
		Coef. Var.	10,25%	10,25%	6,85%	6,85%		

Fonte: Elaboração própria

Com os resultados dos ensaios prismáticos pode-se verificar que para o traço de alta resistência obteve-se 2,20 MPa para a resistência a tração na flexão e 12,91 para a resistência a compressão. No traço de baixa resistência obteve-se 1,61 MPa para a resistência a tração a flexão e 8,84 MPa para a resistência a compressão.

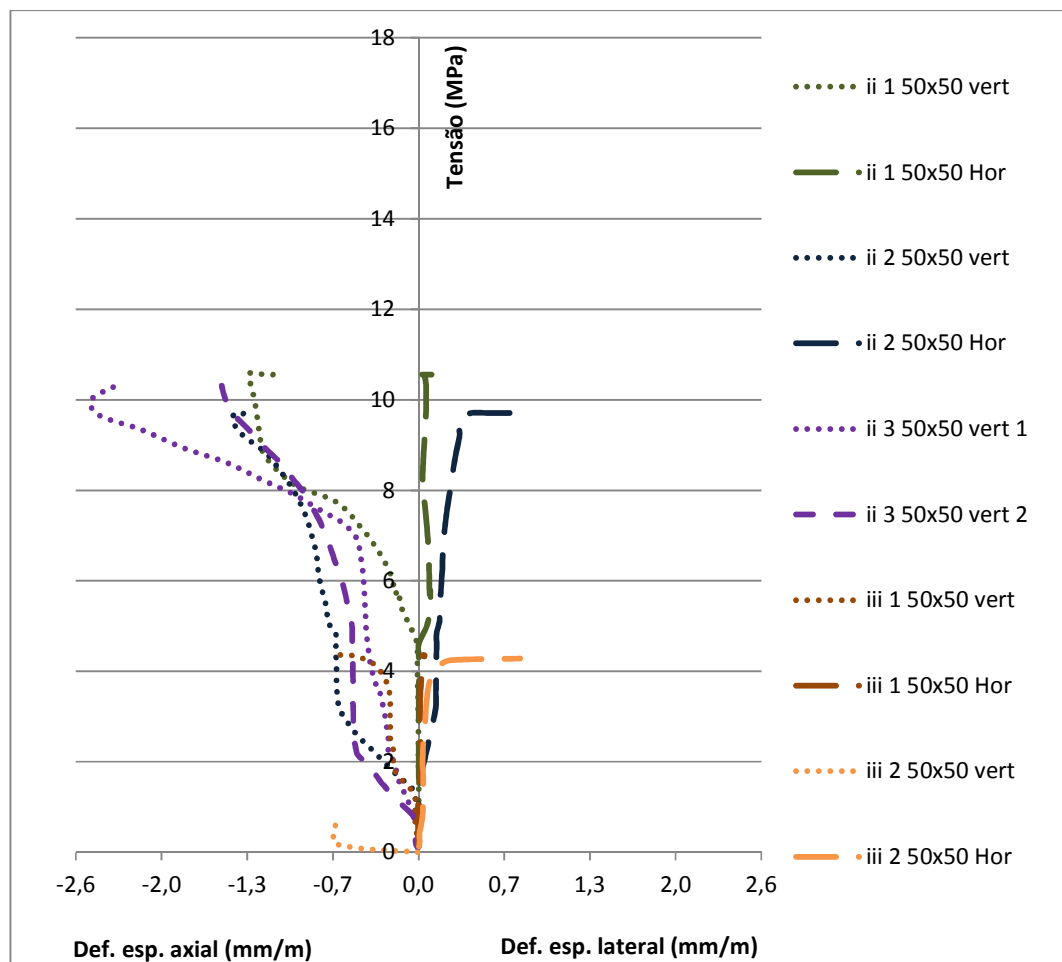
Nas Figuras 18 e 19 estão representados o comportamento tensão-deformação para os corpos de prova estudados, para as duas relações diâmetro/altura e para os dois traços de resistência.

Figura 18 - Comportamento tensão-deformação para os corpos de prova cilíndricos com relação d/h igual a 0,5.



Fonte: Elaboração própria

Figura 19 - Comportamento tensão-deformação para os corpos de prova cilíndricos com relação d/h igual a 1,0.



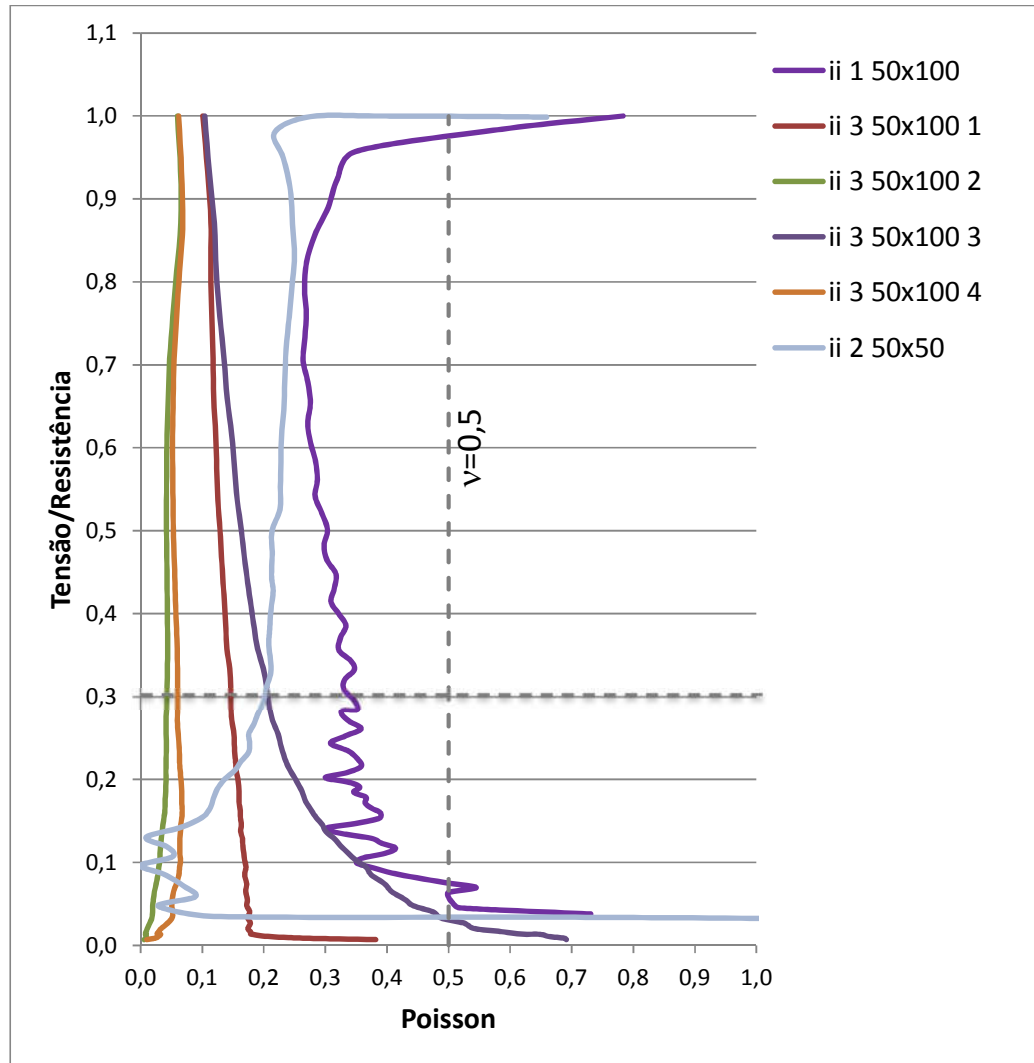
Fonte: Elaboração própria

Da análise das Figuras 18 e 19, é perceptível que o comportamento das amostras para as duas relações de altura foram semelhantes, porém os valores se tornam menos confiáveis próximos a ruptura, pois a propagação de fissuras aumenta consideravelmente, passando por *strain gauges* e distorcendo resultados da deformação.

As Figuras 20 e 21 apresentam a variação do coeficiente de Poisson em função do nível de carregamento, medida para um nível de tensão de 30% da tensão última. O formato das curvas muito se assemelha ao estudo de Cadappa, Sajayan e Setunge (2001), tendo um trecho inicial com variação pouco significativa do coeficiente de Poisson e depois um forte incremento, em função do avanço da fissuração. Pode-se verificar, de forma geral, que o coeficiente de Poisson não apresentou variação ao

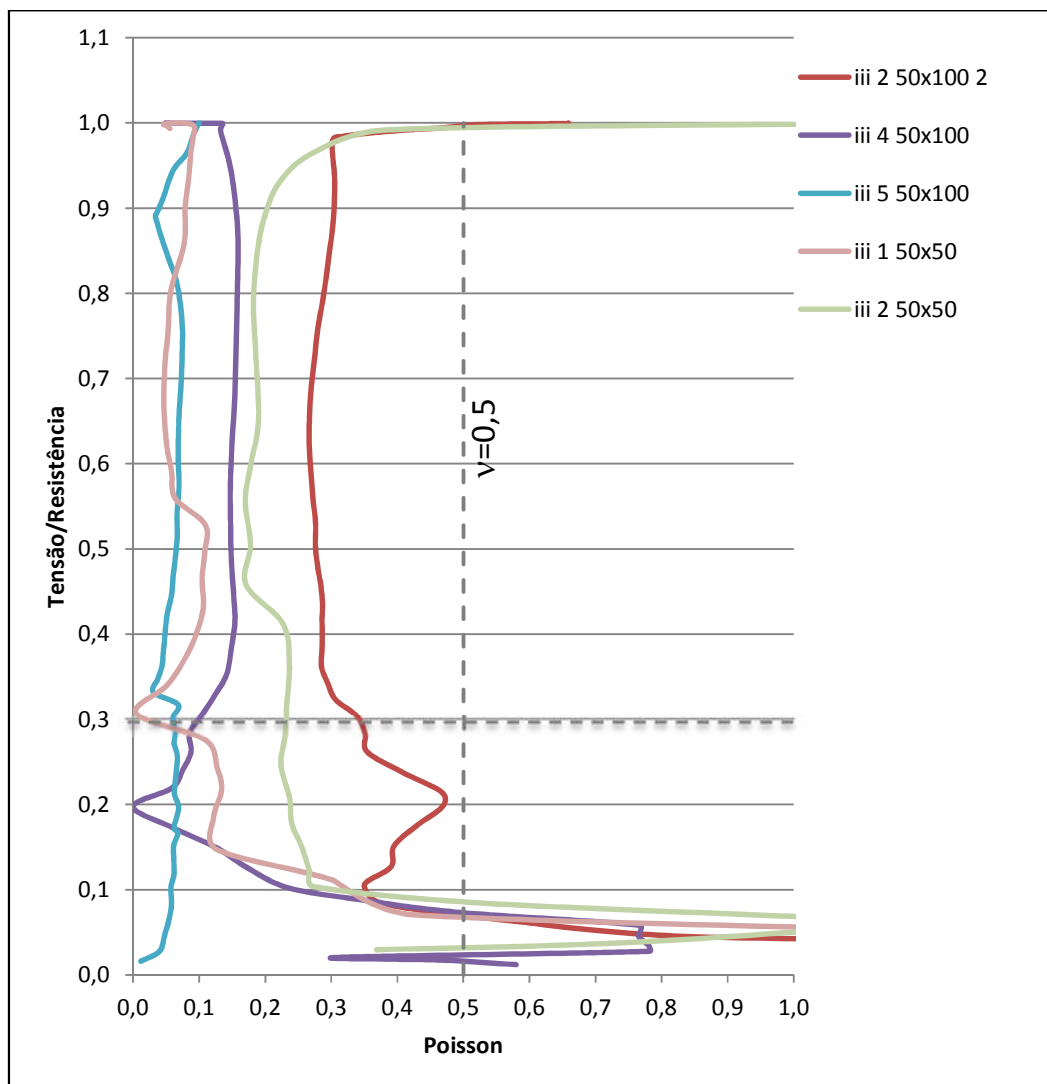
mudar a relação d/h e o traço da argamassa, porém, em geral pode se afirmar que houve uma pequena variação até certo nível de carregamento, causada pela fissuração que ocorre na fase inicial de deformação.

Figura 20 - Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de carregamento para o Traço ii.



Fonte: Elaboração própria

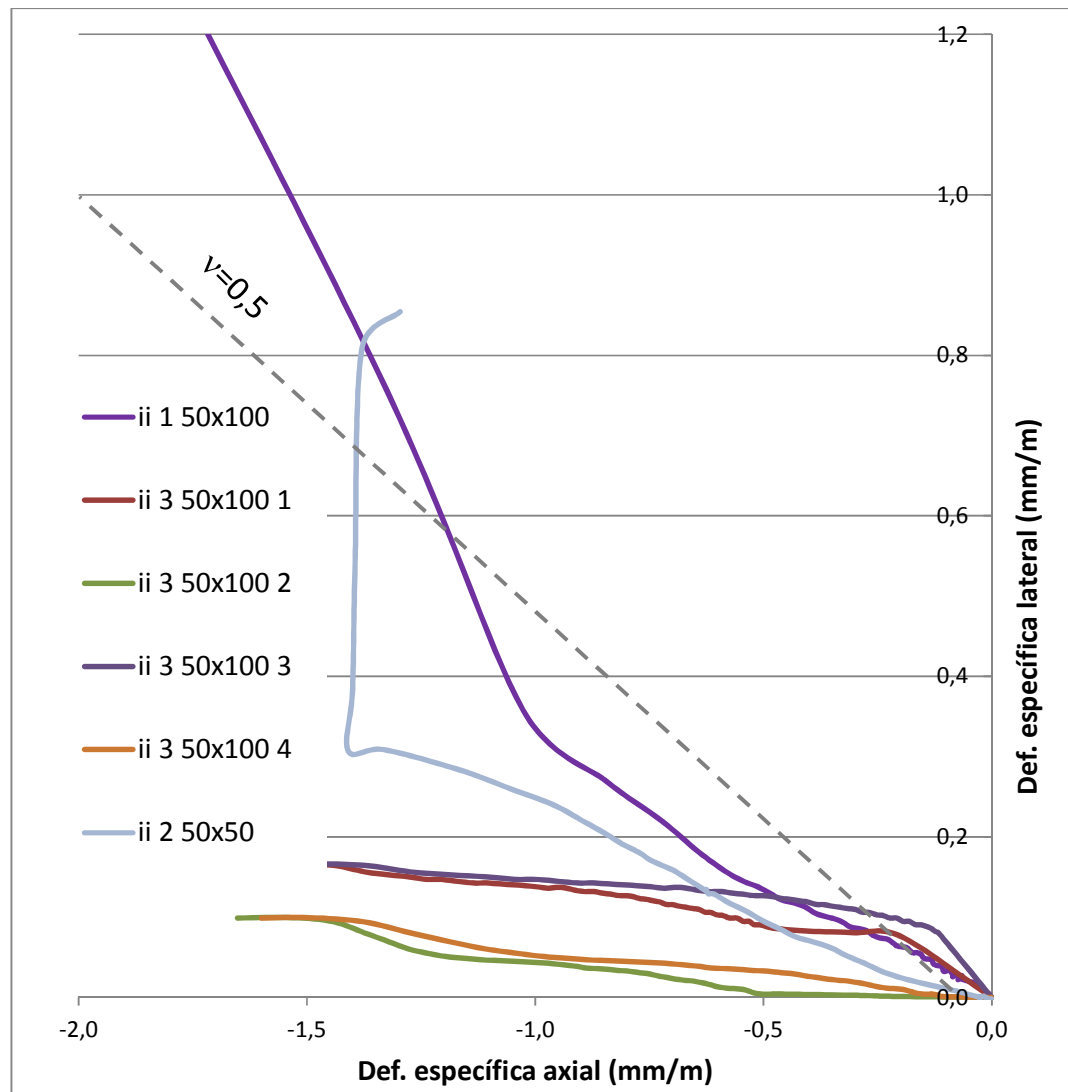
Figura 21 - Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de carregamento para o Traço iii.



Fonte: Elaboração própria

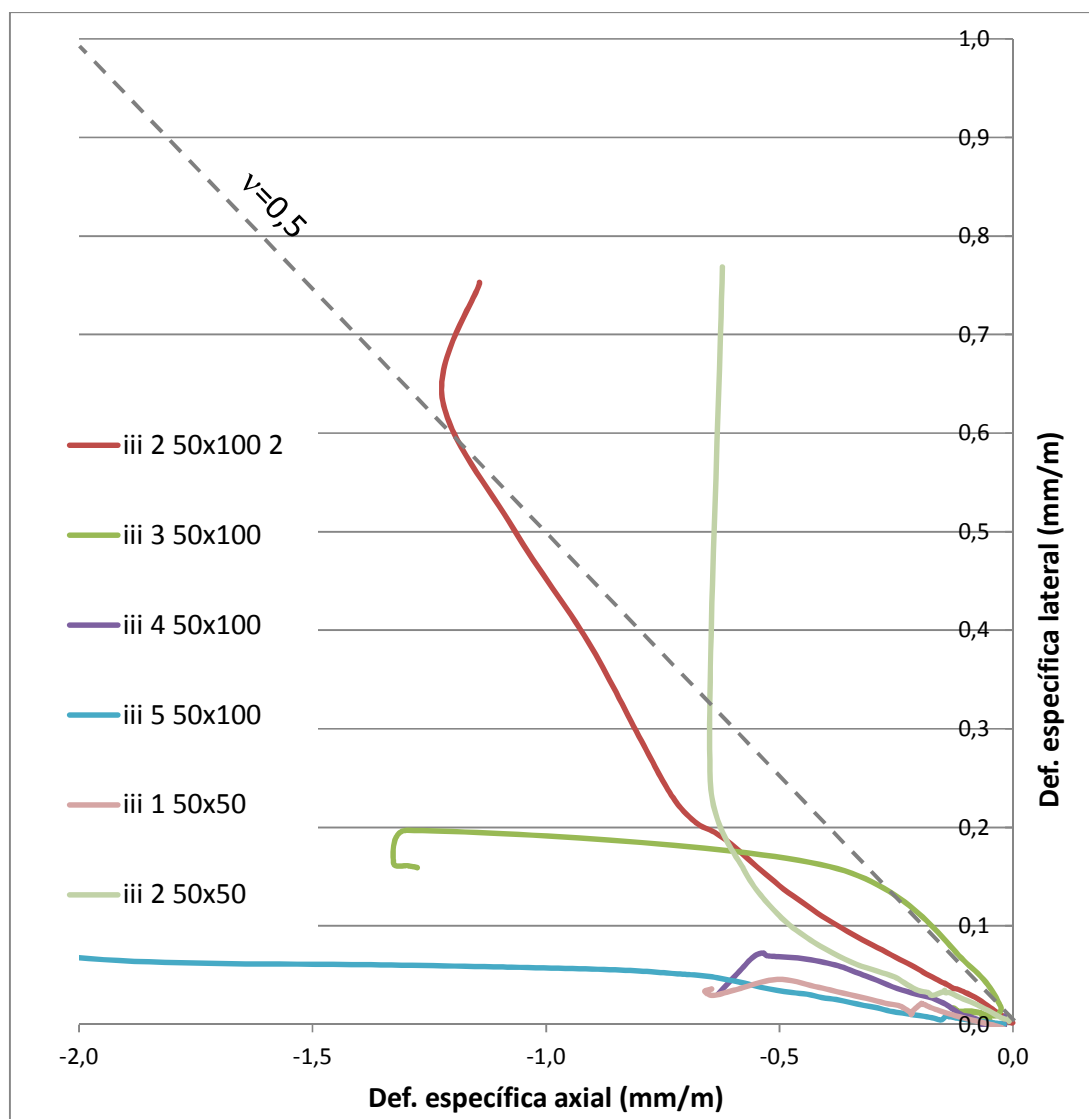
Estudos como os de Hayen, Van Balen e Van Gemert (2003) e Mohamad et al. (2015), já descritos anteriormente, buscaram associar a variação volumétrica com a fissuração e o avanço da degradação do material. A fim de comparar os resultados dos ensaios realizados com estes estudos anteriores, foi proposta a comparação realizada nas Figuras 22 e 23, onde as deformações axial e lateral das amostras são confrontadas com a linha de volume constante, representada pela reta tracejada na Figura, que indica a situação de variação volumétrica nula, onde o coeficiente de Poisson é constante e igual a 0,5.

Figura 22 - Deformação lateral em função da deformação vertical para as amostras de Traço ii.



Fonte: Elaboração própria

Figura 23 - Deformação lateral em função da deformação vertical para as amostras de Traço iii.



Fonte: Elaboração própria

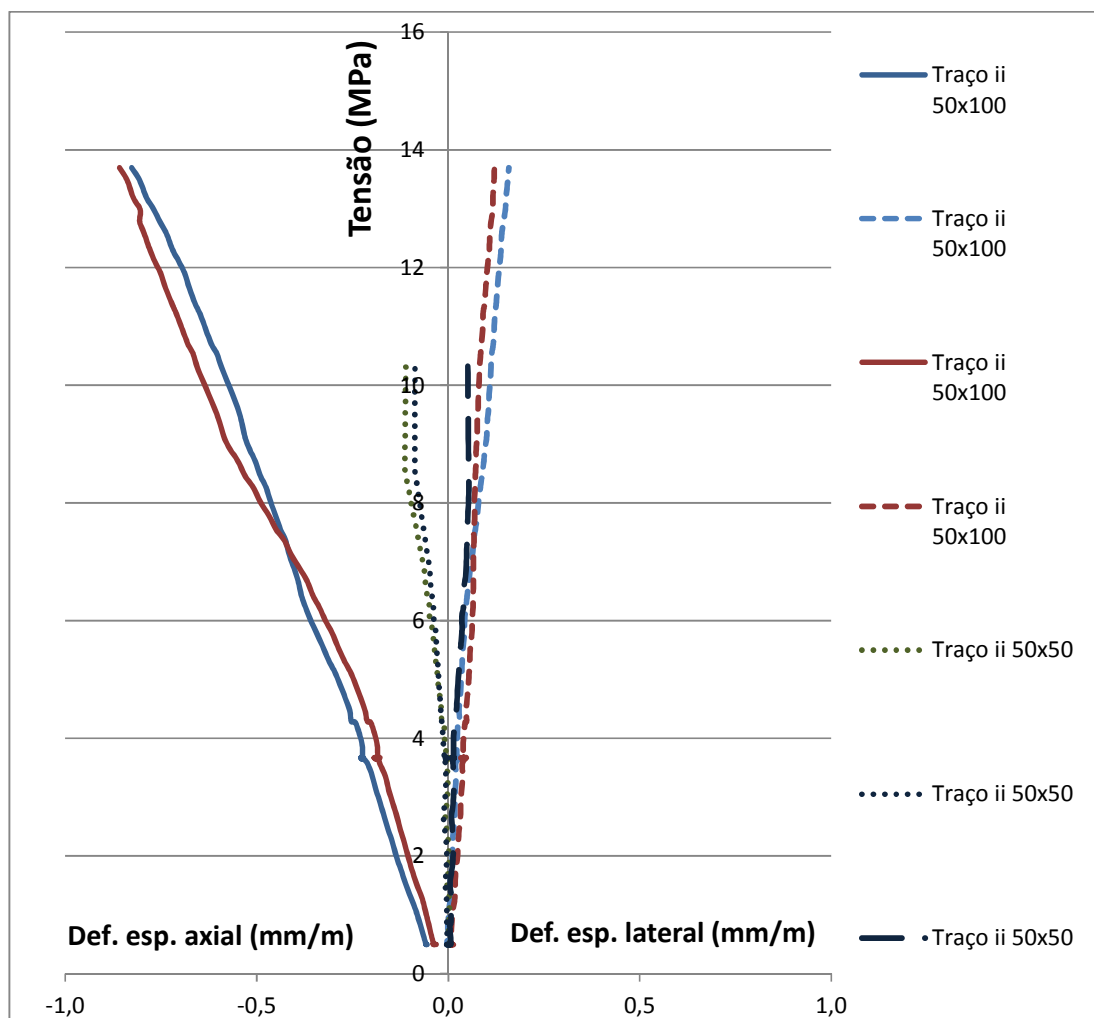
Para os corpos de prova de Traço ii eles apresentaram o mesmo comportamento até uma deformação específica axial de 1,0 mm/m, enquanto o Traço iii apresentou o mesmo comportamento para uma deformação específica axial até 0,5 mm/m, em ambas alturas das amostras o comportamento passou a ser diferente em função da propagação de fissuras e trincas que aumentavam proporcionalmente ao carregamento.

Pode-se afirmar também que para as duas alturas de amostras na fase inicial do carregamento os níveis de deformação foram muito semelhantes, as variações

mais bruscas só ocorreram próxima a deformação axial de 1,0 mm/m quando ocorre o relaxamento dos *strain gauges*, dificultando a medição das deformações.

Foram realizados mais ensaios com dois corpos de prova de Traço ii instrumentados mudando o procedimento de ensaio, dessa vez utilizando resina nos corpos de prova, estabilizador no Spider, e o capeamento foi realizado com argamassa, e como pode ser observado, a Figura 24 comprova as considerações sugeridas pelo Professor Mohamad (2016), a variação nos dados foram bem menores, tornando os dados mais confiáveis, as oscilações seguiram ocorrendo em menor escala porque os poros do corpo de prova e a expansão das fissuras aliadas ao tamanho do *strain gauge* acabam por dificultar as medições das deformações.

Figura 24 - Comportamento tensão-deformação para os corpos de prova cilíndricos com relação d/h igual a 0,5 e 1,0.



Fonte: Elaboração própria

5 CONCLUSÃO

Este estudo buscou identificar o comportamento das amostras quanto ao coeficiente de Poisson, módulo de elasticidade, comportamento tensão-deformação e a influência do confinamento nestes resultados, simulando o confinamento diminuindo a altura do corpo de prova e considerando o atrito existente entre o mesmo e os pratos da prensa e corpo de prova.

Para os ensaios de corpos de prova prismáticos de seção quadrada, observou-se que a relação resistência à tração na flexão/resistência à compressão para o traço ii foi de 0,17 enquanto para o traço iii foi de 0,18, não havendo assim variação significativa quando alterada a resistência do corpo de prova.

Nos experimentos com corpos de prova cilíndricos, visou-se trabalhar com dois tipos de argamassas, uma de alta resistência e outra de baixa resistência, pois a argamassa de baixa resistência tende a acontecer o esmagamento, o que resulta em dados diferentes para o comportamento dos dois traços analisados.

Nos dois tipos de resistência de argamassa utilizados com as duas relações de diâmetro/altura apenas um traço não apresentou variação no coeficiente de Poisson em função do nível de carregamento. Para a argamassa de maior resistência e para as duas alturas de corpo de prova ocorreu uma pequena variação inicial até 30% da tensão última que pode ser desprezada em virtude da acomodação das deformações e para os outros níveis de carregamento a variação do coeficiente de Poisson foi nula, diferentemente do traço de menor resistência que obteve uma variação significativa até um nível de tensão/resistência entre 0,5 e 0,6 para as duas alturas de corpo de prova e um crescimento brusco próximo a ruptura.

Na comparação das deformações específicas axial e lateral, os corpos de prova apresentaram um comportamento semelhante até 1,0 mm/m enquanto na deformação específica axial o comportamento foi o mesmo até uma deformação de 0,5 mm/m, para ambos os traços, em ambas alturas das amostras o comportamento passou a ser diferente em função da propagação de fissuras e trincas que aumentavam proporcionalmente ao carregamento.

O início da plastificação e esmagamento nas deformações específicas axiais ocorreu para níveis mais baixos de tensão que na deformação específica lateral, as deformações axiais indicaram que a plastificação aconteceria para um nível de tensão/resistência de 0,5, enquanto as deformações laterais indicaram o nível de 0,7.

Por fim, é importante salientar que quando alterado o procedimento de ensaio os resultados oscilaram em menor escala, alteraram-se o formato das curvas e os dados tornaram-se mais confiáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118**: Projeto de Estruturas de Concreto: Procedimento. Rio de Janeiro, 2014. 238 p.

____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2002.

____. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

____. **NBR 15812-1**: Alvenaria Estrutural - Blocos Cerâmicos. Parte 1: Projetos. Rio de Janeiro, 2010. 41 p.

____. **NBR 15812-2**: Alvenaria Estrutural - Blocos Cerâmicos. Parte 2: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2010. 28 p.

____. **NBR 15961-1**: Alvenaria Estrutural - Blocos de Concreto. Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro, 2011. 42 p.

____. **NBR 15961-2**: Alvenaria Estrutural - Blocos de Concreto. Parte 2: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2011. 35 p.

____. **NBR NM 23**: Cimento portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

____. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2002.

ACI. American Concrete Institute. **ACI 530-05**: Building Code Requirements for Masonry Structures. Farmington Hills, EUA, 2005. 158 p.

____. **ACI 530-01**: Specification for Masonry Structures. Farmington Hills, EUA, 2002. 24 p.

ASTM. American Society for Testin and Materials. **ASTM C 270-07**: Standard Specification for Mortar for Unit Masonry. West Conshohocken, EUA, 2007. 13 p.

____. **ASTM C 1314**: Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms. West Conshohocken, EUA, 2014. 10 p.

ATKINSON, R. H.; NOLAND, J. L.; ABRAMS, D. P. A deformation failure theory for stack-bond brick masonry prism in compression. In: International Brick Masonry Conference, 7, 1985, Melbourne, **Proceedings**. v. 1, Melbourne: IBMAC, 1985. p. 577-592.

BS. BRITISH STANDARD. **BS 5628-1**: Code of practice for use of masonry - Part 1: Structural use of unreinforced masonry. Londres, 2005. 64 p.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G. C. (Organizador e Editor). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**, Volume 2. Instituto Brasileiro do Concreto - Ibracon, São Paulo. 2010.

CHEEMA, T. S.; KLINGNER, R. E. Compressive strength of concrete masonry prisms. **American Concrete Institute, ACI Journal**. v. 83, n. 1, p. 88-97, jan-fev, 1986.

DE MARCO, C. E. G. **Avaliação Mecânica de Prismas Preenchidos com Argamassa / Graute à Compressão**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

EUROCODE 6. **EN 1996-1-1**: Design of masonry structures - Part 1-1: Common rules for reinforced and unreinforced masonry structures. Bruxelas, 2002. 131 p.

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

JONAITIS, B.; ZAVALIS, R. Experimental Research of Hollow Concrete Block Masonry Stress Deformations. In: **11th International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques**, MBMST. Vilnius, Lituânia, 2013.

HAMID, A. A.; DRYSDALE, R. G. suggested failure criteria for grouted concrete masonry under axial compression. American Concrete Institute – **ACI Journal Proceedings**, v. 76, n. 10, p. 1047-1062, out. 1979.

HAYEN, R.; SCHUEREMANS, L.; VAN BALEN, K.; VAN GEMERT, D. Triaxial testing of historic masonry, test set-up and first results. In: **Structural Studies, repairs and maintenance of historical buildings**, VII, Ed. C.A. Brebbia, Wit Press, Southampton. p. 151-160. 2001.

HAYEN, R.; VAN BALEN, K., VAN GEMERT, D. The mechanical behaviour of mortars in triaxial compression. In: **Proceedings of the 6th International Conference on Materials Science and Restoration**, Karlsruhe, p. 295-302. 2003.

JUSTE, A. E. **Estudo da resistência e da deformabilidade da alvenaria de blocos de concreto submetida a esforços de compressão**. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.

KAZMIERCZAK, C. S. **Desempenho de paredes de materiais cerâmicos a penetração de água da chuva: uma análise de fatores condicionantes**. 1989. 127. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil / UFRGS, Porto Alegre, 1989.

KHOO, C. L. A Failure criterion for brickwork in axial compression. **Tese de doutorado**. University of Edinburgh, Edinburgo, Escócia. 1972.

LÜBECK, A. **Comportamento mecânico e influência da argamassa no modo de ruptura da alvenaria estrutural**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, 2016.

McNARY, W. S.; ABRAMS, D. P. Mechanics of Masonry in Compression. **Journal of Structural Engineering**, v. 111, n. 4, p. 857-870. 1985.

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

MOHAMAD, G. **Mechanism failure of concrete block masonry under compression**. Tese de doutorado. Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2007.

MOHAMAD, G.; LOURENÇO, P. B.; ROMAN, H. R. Mechanics of hollow concrete block masonry prisms under compression: Review and prospects. **Cement & Concrete Composites**, v. 29, n. 2, p. 181-192, 2007.

MOHAMAD, G. (Coordenador). **Alvenaria estrutural**. Ed. Edgard Blucher, São Paulo. 2013.

MOHAMAD, G.; RIZZATTI, E.; ROMAN, H. R. Propriedades da alvenaria estrutural e de seus componentes. In: MOHAMAD, G. (Coordenador). **Alvenaria estrutural**. Ed. Edgard Blucher, São Paulo. 2013.

MOHAMAD, G.; FONSECA, F. S.; ROMAN, H. R.; VERMELTFOORT, A. T.; RIZZATTI, E. Behavior Of Mortar Under Multi-Axial Stress. In.: **Proceedings of 12th North American Masonry Conference**. Denver, Colorado. 2015.

PARSEKIAN, G.; SOARES, M. M. **Alvenaria Estrutural em Blocos Cerâmicos: Projeto, Execução e Controle**. Ed. O Nome da Rosa. São Paulo. 2010.

PARSEKIAN, G. A.; HAMID, A. A.; DRYSDALE, R. G. **Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural**. Ed. Edufscar, São Carlos. 2012.

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

SCHANKOSKI, R. A.; PRUDÊNCIO Jr., L. R.; PILAR, R. Influência do tipo de argamassa e suas propriedades do estado fresco nas propriedades mecânicas de alvenarias estruturais de blocos de concreto para edifícios altos. **Revista Matéria**, v. 20, n. 4, p. 1008-1023, 2015.

TORRESCASANA, C. E. N.. **Aderência: influência das condições de superfície do substrato na interface argamassa – Bloco cerâmico**. Santa Maria, 1999. 117p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Santa Maria, 1999.