



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**DESEMPENHO MECÂNICO DE PAINÉIS DE ALVENARIA DE VEDAÇÃO
DE BLOCO CERÂMICO COM FUROS NA VERTICAL.**

MARCOS PAULO DE PAIVA LEITE

JOÃO PESSOA – PB

2015.

MARCOS PAULO DE PAIVA LEITE

**DESEMPENHO MECÂNICO DE PAINÉIS DE ALVENARIA DE
VEDAÇÃO DE BLOCO CERÂMICO COM FUROS NA VERTICAL.**

Monografia apresentada à Universidade Federal da Paraíba como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Givanildo Alves de Azeredo

JOÃO PESSOA-PB

2015.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre me preencher de vida e ânimo nos momentos mais difíceis desta caminhada.

Especialmente aos meus pais, Paulo Leite Ferreira e Maria do Socorro Paiva Leite, pela imensurável confiança depositada em mim, pelo apoio e amor incondicional e sempre presente. Por isso, sempre terei orgulho, honra e respeito de ser seu filho. Minha eterna gratidão.

Às minhas irmãs, sobrinhas e demais familiares, pela companhia inicial desta jornada, pela amizade, carinho, atenção, pelo laço de amor, sangue e consideração em que fomos unidos.

A meu professor orientador Givanildo Alves de Azeredo por todos os encaminhamentos, direcionamentos, comprometimento, paciência e dedicação, além da sua amizade.

A todos os professores do curso, que possibilitaram com que eu chegasse até esse momento e que tantos ensinamentos me passaram.

A todos os meus amigos, pela constante confiança e pelo apoio.

A todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização desta importante etapa da minha vida.

RESUMO

Neste trabalho foi realizada uma análise experimental da resistência à compressão de paredes de alvenaria de vedação em blocos cerâmicos, com furos na vertical, assentados sobre uma base rígida de madeira, para atestar seu uso como alvenaria estrutural ou portante. Foram ensaiadas três paredes com 1,0 m de largura por 1,0 m de altura cada. Medidas experimentais de carga-deslocamento foram realizadas durante os ensaios de compressão axial. Os resultados mostraram o comportamento diferenciado entre as paredes, variando conforme a qualidade em que foram executadas e também a forma como procederam os ensaios. As paredes onde a velocidade de aplicação da carga foi reduzida e manteve-se uniforme durante o ensaio apresentaram comportamento mais homogêneo e atingiram maiores valores de carga. Os resultados obtidos no ensaio de compressão axial foram comparados com os valores encontrados em uma análise de tensão crítica de ruptura de uma parede submetida a solicitações que são aplicadas em uma alvenaria com função de vedação e outra com a função estrutural, para então concluir se esse tipo de estrutura pode atuar como alvenaria estrutural. Também foram analisados os deslocamentos vertical e lateral em relação à carga aplicada.

Palavras-chave: Alvenaria de Vedação. Alvenaria Estrutural. Resistência à compressão Axial.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Parthenon, Grécia.....	9
Figura 2: Muralha da China, China.	9
Figura 3: Blocos cerâmicos de vedação com furos na horizontal	13
Figura 4: Bloco cerâmico de vedação com furos na vertical.....	14
Figura 5: Posicionamento dos defletômetros no painel de alvenaria.	21
Figura 6: Croqui de residência modelo utilizada no calculo. Fonte: Brasil 2014.	22
Figura 7: Viga bi apoiada 1 considerada no calculo. Fonte: Brasil 2014.....	23
Figura 8: Carregamento do telhado considerado nos cálculos. Fonte: Brasil 2014.	23
Figura 9: Croqui de residência modelo com térreo e 1º pavimento utilizada no calculo. Fonte: Brasil 2014.....	25
Figura 10: Viga bi apoiada 2 considerada no calculo. Fonte: Brasil 2014.....	25
Figura 11: Viga bi apoiada 3 considerada no calculo. Fonte: Brasil 2014.....	26
Figura 12: Corpo de prova 01 pronto para o ensaio.	28
Figura 13: Primeira fissura observada no corpo de prova 01.	28
Figura 14: Gráfico Carga x Encurtamento dos D1, D2, D3 - Corpo de prova 01.....	29
Figura 15: Gráfico Carga x Deslocamento lateral do D4 - Corpo de prova 01.....	29
Figura 16: Corpo de prova 02 pronto para o ensaio.	31
Figura 17: "Coração negro" – patologia que evidencia a má qualidade do bloco.....	32
Figura 18: Primeiras fissuras observadas no corpo de prova 02.	33
Figura 19: Gráfico Carga x Encurtamento dos D1, D2, D3 - Corpo de prova 02.	33
Figura 20: Gráfico Carga x Deslocamento lateral do D4 - Corpo de prova 02.....	34
Figura 21: Corpo de prova 03 pronto para o ensaio.	35
Figura 22: Primeiras fissuras no corpo de prova 03.	36
Figura 23: Gráfico Carga x Encurtamento dos D1, D2, D3 - Corpo de prova 03.....	37
Figura 24: Gráfico Carga x Deslocamento lateral D4 - Corpo de prova 03.....	37
Figura 25: Gráfico Carga x Encurtamento D1 nos três corpos de prova.....	39
Figura 26: Gráfico Carga x Encurtamento D2 nos três corpos de prova.....	39
Figura 27: Gráfico Carga x Encurtamento D3 nos três corpos de prova.....	40
Figura 28: Gráfico Carga x Deslocamento lateral D4 nos três corpos de prova.	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resistência à compressão de blocos cerâmicos - f_b	14
Tabela 2: Resultados de carga e deslocamentos vertical e lateral - Corpo de prova 01.....	27
Tabela 3: Resultados de carga e deslocamentos vertical e lateral - Corpo de prova 02.....	30
Tabela 4: Resultados de carga e deslocamentos vertical e lateral - Corpo de prova 03.....	35
Tabela 5: Tabela de dimensionamento de laje treliçada unidirecional.....	45

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
1.1. OBJETIVOS	8
1.2. JUSTIFICATIVA	8
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1. BREVE HISTORICO	9
2.2. ALVENARIA	10
2.2.1. Alvenaria de Vedação	10
2.2.2. Alvenaria Estrutural	18
3. MATERIAIS E MÉTODOS	20
4. RESULTADOS	22
4.1. TENSÃO CRÍTICA DE RUPTURA DAS ALVENARIAS – EXEMPLO DE CALCULO PARA COMPARAÇÃO COM OS VALORES OBTIDOS	22
a) Alvenaria com a função de vedação	22
b) Alvenaria com a função estrutural ou portante	24
4.2. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	26
4.2.1. Corpo de prova 01 (CP01)	26
4.2.2. Corpo de prova 02 (CP02)	30
4.2.3. Corpo de prova 03 (CP03)	34
4.3. MÉDIA DA TENSÃO CRÍTICA DE RUPTURA	38
5. CONCLUSÃO	41
5.1. QUANTO AOS REULTADOS OBTIDOS	41
5.2. COMPARAÇÃO COM ESTUDOS ANÁLOGOS	42
REFERÊNCIAS	43
ANEXOS	45

1. INTRODUÇÃO

A alvenaria tem suas origens na Pré-História sendo assim um dos mais antigos sistemas de construção da humanidade. As primeiras alvenarias, em pedra ou em tijolo cerâmico seco ao sol, apresentavam grandes espessuras em suas obras mais imponentes, face ao desconhecimento das características resistentes dos materiais e de procedimentos racionais de cálculo. Valeu por muitos séculos a prática adquirida pelos construtores.

As construções em alvenaria de pedra ou tijolo cerâmico queimado, assentados com barro, betume e mais tarde com argamassas de cal, pozolana e finalmente cimento Portland, predominaram até o início de nosso século.

Com o mercado mais competitivo a necessidade de otimização dos processos e redução dos custos levou os construtores a buscar soluções alternativas atraentes nos diversos segmentos da construção civil.

Em função do atraso da indústria da construção civil em relação a outros setores, existia a necessidade de desenvolver formas de melhorar a qualidade dos produtos e dos processos (SANTOS, 2003). Se fez necessário buscar a utilização de processos construtivos racionalizados que viabilizassem a melhoria da qualidade e o aumento da produtividade com o objetivo de reduzir custos. A utilização da alvenaria na construção civil apresenta-se como uma técnica eficiente e econômica bastante aplicada em construções de conjuntos habitacionais e edifícios, além de ser empregada em obras de arte e estruturas sob cargas de compressão em forma de arcos.

Entre os processos construtivos racionalizados, a alvenaria estrutural vem ganhando um grande impulso no Brasil ao longo das últimas décadas (RAMALHO: CORREA, 2003). Inicialmente o sistema destacou-se devido à notável redução dos custos da construção e à grande agilidade e racionalidade do sistema, sendo solução para o grande déficit habitacional do país. Com o passar do tempo, vem se desenvolvendo e atingindo o mercado de obras de médio e alto padrão, dominando empreendimentos horizontais e verticais em todo o país.

A alvenaria de vedação é uma alvenaria que não é dimensionada para resistir a ações além de seu próprio peso. A vedação vertical é responsável pelo fechamento da edificação e também pela compartimentação dos ambientes internos. A maioria das edificações executadas pelo processo construtivo convencional (estrutura reticulada de concreto armado moldada no local) utiliza para o fechamento dos vãos paredes de alvenaria.

Este tipo de construção vem sendo utilizado como alvenaria estrutural em um processo construtivo em que as paredes além de servir como elemento de vedação contra as intempéries (chuva, vento, calor e ruídos) e suportar seu próprio peso, servem também para suportar cargas verticais devidas às cargas de lajes de piso e às cargas de paredes, agindo como elemento que passa todas essas cargas para a fundação.

A alvenaria estrutural cerâmica é uma tecnologia construtiva tradicional, utilizada há milhares de anos. Nos últimos 30 anos, a alvenaria estrutural apresentou grandes e visíveis avanços, tornando-se um processo construtivo racionalizado com normas técnicas consistentes e razoavelmente amplas.

Nos últimos anos, a alvenaria estrutural tem se valorizado de forma significativa. Economia, segurança, qualidade e rapidez de execução, permitem à alvenaria estrutural adequar-se tanto a obras populares como de padrões mais elevados. O desenvolvimento de pesquisas, formação de profissionais habilitados nas universidades e de fabricantes de blocos com modernas tecnologias de produção, são suportes importantes para assegurar a permanência e o desenvolvimento deste importante sistema construtivo no Brasil.

Apesar do uso crescente da alvenaria de vedação como alvenaria estrutural, existe ainda a necessidade de novas pesquisas para um conhecimento mais completo do seu comportamento estrutural.

Neste trabalho, foram realizados ensaios de compressão axial em paredes modelo com dimensões pré-estabelecidas de forma a padronizar o ensaio. Como resultados, temos não apenas a carga última da alvenaria como também as cargas associadas às primeiras fissuras.

1.1. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral analisar o comportamento de painéis de alvenaria de vedação, construídos com blocos com furos na posição vertical, submetidos a cargas axiais de compressão.

Os objetivos específicos consistem em:

- Determinar a capacidade de carga da alvenaria (estado limite);
- Verificar se a alvenaria de vedação pode ser utilizada como alvenaria estrutural.

1.2. JUSTIFICATIVA

Esta pesquisa se justifica em buscar novas formas de aplicação da alvenaria de blocos

cerâmicos de vedação, verificando a sua possível utilização como alvenaria portante, além de estudar a segurança de edificações que fazem uso desse método construtivo, como alvenaria estrutural.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. BREVE HISTORICO

A alvenaria, em suas diversas formas, difundiu-se pelo mundo todo desde os tempos ancestrais até os dias de hoje, sendo a principal técnica construtiva empregada até o início do século XX (ROMAN, s.d.).

Segundo FIGUEIRÓ (2009), a alvenaria é um sistema construtivo cuja utilização remota no início da atividade humana (aproximadamente 4000 a. C.) na construção para vários fins. Nas construções antigas foram empregados blocos de diferentes materiais constituintes como argila, pedra e outros. Grandes Obras como o Parthenon na Grécia, onde sua construção data entre 480 a.C. e 323 a.C. e a Muralha da China, erguida entre 1368 e 1644, exemplificam o uso milenar desta técnica (YOSHITO, 2005).



Figura 1: Parthenon, Grécia.

Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Acropolis_of_Athens#mediaviewer/File:The_Parthenon_in_Athens.jpg. Acesso: fevereiro 2015-02-03

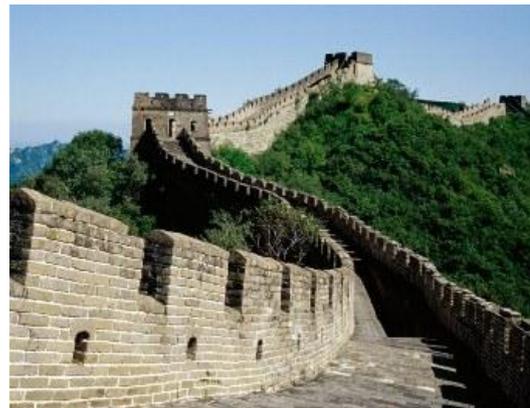


Figura 2: Muralha da China, China.

Fonte: <http://www.brasilecola.com/china/muralha-china.htm>

Segundo ROMAN, até o início do século XX as estruturas de alvenaria eram dimensionadas empiricamente, sendo a concepção estrutural intuitiva e baseada na transferência de conhecimento entre as gerações.

A partir do século XX surgiu a necessidade de buscar novas técnicas alternativas de construção, foi então que a alvenaria passou a ser estudada com mais afinco. Várias pesquisas foram desenvolvidas em muitos países, permitindo que fossem criadas normas, e adotados critérios de cálculo baseados em métodos racionalizados.

Segundo PRUDENCIO *et al.* (2002), apesar dos avanços na área, como o advento dos blocos de concreto por volta de 1850 na Inglaterra, somente 100 anos depois surge a alvenaria estrutural tal qual conhecemos hoje, concebida através de cálculos de engenharia.

No Brasil colonial as alvenarias de pedra foram muito utilizadas nas cidades do litoral devido às grandes quantidades desse material na região, enquanto que as primeiras olarias e construções de tijolos surgiram durante o ciclo do café (TRAMONTIN, 2005). A partir da década de 60 surgiram as primeiras edificações em alvenaria estrutural em alguns edifícios de São Paulo (ROMAN, s.d.).

A evolução da alvenaria se deu de forma bastante acentuada nas últimas décadas, com o homem cada vez mais buscando superar os limites da natureza e também os seus próprios limites.

Atualmente, a alvenaria é composta de materiais de alta tecnologia que oferecem mais resistência, mais leveza, custo mais baixo e que perduram à ação do tempo. A invenção de materiais como os blocos de concreto, cerâmico, sílico-calcário, concreto celular, entre outros, representou uma revolução na história da alvenaria (TRAMONTIN, 2005).

2.2. ALVENARIA

Segundo MARINOSKI (2011), alvenaria é a “arte ou ofício de pedreiro ou alvanel”, ou “tipo de construção constituído de pedras naturais, irregulares, justapostas e superpostas”.

Modernamente é denominado sistema construtivo formado de um conjunto coeso e rígido de tijolos ou blocos (elementos de alvenaria), unidos entre si, com ou sem argamassa de ligação, em fiadas horizontais que se sobrepõem uma sobre as outras.

Pode ser empregada na confecção de diversos elementos construtivos (paredes, abóbadas, sapatas, muros, etc...).

2.2.1. Alvenaria de Vedação

Alvenarias de vedação são aquelas destinadas a compartimentar espaços, preenchendo os vãos de estruturas de concreto armado, aço ou outras estruturas. Assim sendo, devem suportar tão somente o peso próprio e cargas de utilização, como armários, rede de dormir e outros. Devem

apresentar adequada resistência às cargas laterais estáticas e dinâmicas, advindas, por exemplo, da atuação do vento, impactos acidentais e outras (THOMAZ *et. al.*, 2009).

Para Sabatini (1984), a alvenaria caracteriza-se por ser um subsistema da construção produzido no canteiro, resultante da união de seus componentes (tijolos ou blocos) através de juntas de argamassa, formando um conjunto rígido e coeso (SABBATINI, 1984).

As paredes de alvenaria constituem um dos subsistemas mais importantes presentes nos edifícios, particularmente as paredes exteriores que, separando o ambiente interior do exterior, são decisivas para o desempenho dos edifícios. Apesar desta inegável importância, as paredes exteriores, de um modo geral, são objeto de poucos cuidados (PEREIRA, 2005).

São chamados componentes da alvenaria os tijolos ou blocos utilizados em sua execução. Os componentes da alvenaria são elementos de tamanho e peso manuseáveis, e geometria regular.

As juntas de argamassa são constituídas pela argamassa de assentamento aplicada em estado plástico que, após o endurecimento e cura, apresenta forma definida e função de solidarização dos componentes (SABBATINI, 1984).

Para cumprir esta função deverá atuar sempre como freio, barreira e filtro seletivo, controlando uma série de ações e movimentos complexos quase sempre muito heterogêneos (NASCIMENTO, 2004).

Ainda segundo Nascimento (2004), as principais propriedades das alvenarias são:

- Resistência à umidade e aos movimentos térmicos;
- Resistência à pressão do vento;
- Isolamento térmico e acústico;
- Resistência às infiltrações de água pluvial;
- Controle da migração de vapor de água e regulagem da condensação;
- Base ou substrato para revestimentos em geral;
- Segurança para usuários e ocupantes;
- Adequar e dividir ambientes.

A principal função da alvenaria de vedação é adequar e estabelecer a separação entre ambientes, especialmente a alvenaria externa, que tem a responsabilidade de separar o ambiente externo do interno, devendo atuar como freio, barreira e filtro seletivo, controlando uma série de ações e movimentos complexos (MARINOSKI, 2011).

Conforme LIMA (2006), as alvenarias podem ter tamanhos variados, a partir da quantidade de furos ou mesmo suas espessuras, 4, 6, 8 e 10 furos, ou espessuras de 8 cm, 10 cm,

15 cm e até 20 cm, entre outras. Elas podem ser revestidas com algum tipo de proteção ou mesmo ficarem aparentes.

Nos últimos anos, com a necessidade do setor da construção civil investir no desenvolvimento tecnológico visando enfrentar a concorrência, surgiu um novo conceito dentro da alvenaria de vedação: a alvenaria racionalizada, que busca a otimização da produção de edifícios construídos pelo método tradicional.

A definição de alvenaria de vedação racionalizada, segundo BARROS (1998) é: “elemento usualmente empregado como vedo de elevado grau de organização e otimização das atividades envolvidas na sua produção”. Ainda segundo BARROS (1998), ela se caracteriza pelos seguintes objetivos:

- Eliminar a postura predominante de adoção de soluções construtivas criadas no canteiro de obras no momento da realização dos serviços de alvenaria;
- Criar um projeto de produção de alvenaria que exija um planejamento prévio de todas as atividades e permita soluções mais racionais da produção;
- Introduzir o uso de equipamentos e ferramentas novas que permitam aumento de produtividade e qualidade;
- Treinamento e motivação da mão de obra para a adoção de novas posturas de trabalho;
- Implementar procedimentos de controle do processo de produção e aceitação do produto.

Para atingir o efeito desejado, as medidas de racionalização devem ser adotadas inicialmente na etapa de projetos. O projeto funcionando como idealizador do empreendimento, apresenta as condições ideais para a implementação da estratégia construtiva, pois tem o potencial de agregar todos os condicionantes do processo produtivo (ROMAN, s.d.).

A organização do processo produtivo racionalizado implica, entre outras coisas, na eliminação de interferências, na simplificação das sequencias executivas, no atendimento ao planejamento e na utilização de equipamentos e componentes que venham a simplificar o trabalho (ROMAN, s.d.).

Segundo Marinoski (2011), a execução da alvenaria é compreendida em 4 etapas:

- Preparação da superfície: compreende a limpeza da base (laje ou viga de concreto armado) e lavagem, escovação e chapisco do concreto que ficará em contato com a alvenaria.
- Marcação da alvenaria: na linguagem pratica corresponde a execução da “primeira fiada”. É nesta etapa que são delimitados os ambientes do projeto e feitas as correções na estrutura que servirá de base para a alvenaria.

- Elevação: ocorre após a locação da primeira fiada, seguindo o assentamento dos blocos observando ângulos, prumo e cotas, além de fazer as devidas amarrações.
- Execução do respaldo ou encunhamento: tem por objetivo prender a alvenaria à estrutura de maneira que não venha a ter seu desempenho prejudicado quando solicitada.

2.2.1.1. Materiais

Os principais materiais utilizados na execução da alvenaria são os blocos (principalmente cerâmicos ou de concreto) e a argamassa de assentamento. Outros materiais como telas metálicas para amarração de paredes, pinos para fixação das telas a estrutura e elementos pré-moldados de micro concreto armado (vergas e contra vergas) também são utilizados neste sistema construtivo (SANTOS, 2014).

2.2.1.1.1. Blocos Cerâmicos

Segundo a NBR 15270-1/2005 blocos são componentes de alvenaria que possuem furos prismáticos e/ou cilíndricos perpendiculares às faces que o contém.

Os blocos cerâmicos para vedação constituem as alvenarias externas ou internas que não têm a função de resistir a outras cargas verticais, além do peso da alvenaria da qual faz parte. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

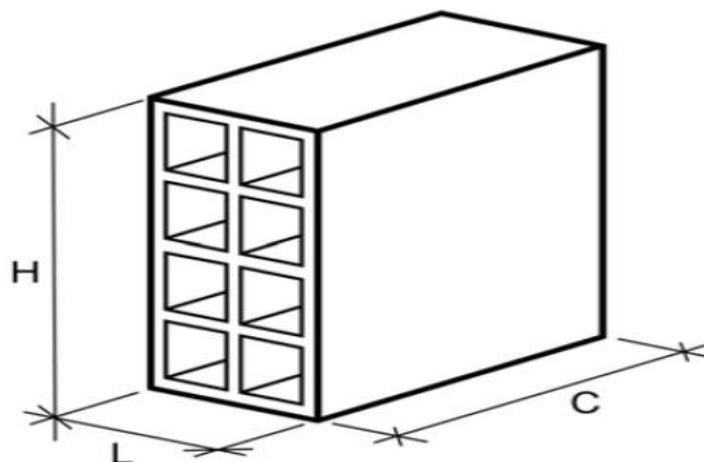


Figura 3: Blocos cerâmicos de vedação com furos na horizontal

Fonte: ABNT NBR 15270-1, 2005.

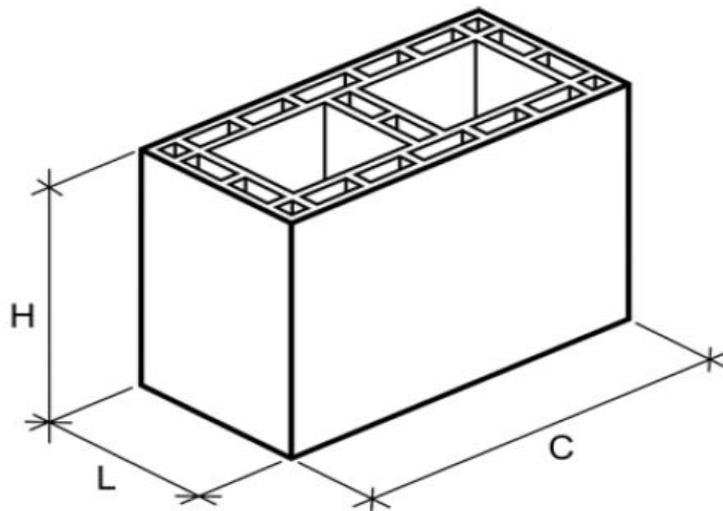


Figura 4: Bloco cerâmico de vedação com furos na vertical.

Fonte: ABNT NBR 15270-1, 2005.

As dimensões de fabricação dos blocos de vedação (L, C, H – figuras 3 e 4), que identificam o tipo de bloco, devem ser correspondentes a múltiplos e submúltiplos do módulo dimensional $M = 10 \text{ cm}$ menos 1 cm , sendo as principais $(9 \times 19 \times 19) \text{ cm}$, $(9 \times 19 \times 39) \text{ cm}$ e $(9 \times 19 \times 9) \text{ cm}$.

As características geométricas do bloco cerâmico de vedação a serem observadas são: medidas das faces – dimensões efetivas (tolerância de $\pm 5 \text{ mm}$), espessura dos septos (mínimo 6 mm) e paredes externas dos blocos (mínimo 7 mm), desvio em relação ao esquadro (máximo 3 mm), planeza das faces ou flecha (máximo 3 mm) e área bruta; as características físicas são a massa seca e índice de absorção d'água (entre 8% e 25%); a característica mecânica dos blocos de vedação é a resistência à compressão individual, calculada na área bruta e mostrada na tabela 1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

Tabela 1: Resistência à compressão de blocos cerâmicos - f_b

Posição dos furos	f_b MPa
Para blocos usados com furos na horizontal	$\geq 1,5$
Para blocos usados com furos na vertical	$\geq 3,0$
NOTA Ver anexo C da ABNT NBR 15270-3:2005.	

Fonte: ABNT NBR 15270-1/ 2005.

2.2.1.1.2. Argamassa

É o componente utilizado na ligação entre os blocos, evitando pontos de concentração de tensões, sendo composta de cimento, agregado miúdo, água e cal, sendo que algumas argamassas podem apresentar adições para melhorar determinadas propriedades (CAMACHO, 2006).

Ainda segundo Camacho (2006), por ser o agente ligante que integra a alvenaria, a argamassa deve ser forte, durável e capaz de garantir a integridade e estanqueidade da mesma, devendo também possuir certas propriedades elásticas, trabalhabilidade e ser econômica.

Algumas das características mais relevantes da argamassa, segundo Silva (2004), são:

- Resistência Mecânica: não é a principal característica que se busca numa argamassa uma vez que contribui de maneira pouco significativa na resistência total da parede. Estudos desenvolvidos pelo BuildingResearch Establishment apontam que a queda na resistência mecânica da argamassa não reflete, de forma linear, na redução da resistência à compressão da parede;
- Resiliência: é a elasticidade ou capacidade do material de se deformar e retornar à dimensão original quando as solicitações se encerrarem. Caso não possua esta característica, a argamassa pode apresentar fissuras que comprometem a estanqueidade da parede, além de desconforto estético. A resiliência é inversamente proporcional à resistência mecânica.

Segundo Parisi (2007), a argamassa apresenta um conjunto de propriedades específicas relativas ao seu estado fresco e seu estado endurecido para que possam cumprir adequadamente suas funções. As principais propriedades em seu estado fresco são:

- Massa específica e teor de ar: Massa específica é a relação entre a massa e o volume da argamassa podendo ser relativa ou absoluta e teor de ar é a quantidade de ar existente em certo volume de argamassa;
- Trabalhabilidade: É uma propriedade de avaliação qualitativa que avalia a maleabilidade e plasticidade da argamassa. Alguns aspectos influenciam diretamente nesta propriedade, como as relações água/cimento e aglomerante/ areia, a granulometria da areia e a natureza e qualidade do aglomerante;
- Retenção de água: É uma propriedade que representa a capacidade da argamassa de reter a água de amassamento contra a sucção da base ou contra a evaporação, permitindo a adequada hidratação do cimento e conseqüente ganho de resistência;

- Aderência inicial: É uma propriedade que representa a capacidade que a argamassa tem de se ancorar por meio pasta nos poros, reentrâncias e saliências
- Retração na secagem: É uma consequência devido a evaporação da água de amassamento, como também pelas reações de hidratação e carbonatação dos aglomerantes que influencia na deformabilidade da alvenaria.

No estado endurecido as principais propriedades apresentadas pela argamassa, segundo Parisi (2007), são:

- Aderência: É uma propriedade que representa a capacidade que a argamassa tem em resistir às tensões normais e tangenciais que surgem na interface base-argamassa;
- Capacidade de absorver deformações: É uma propriedade que caracteriza pela capacidade que a argamassa tem de suportar tensões sem romper, sem perda de aderência e sem apresentar fissuras prejudiciais;
- Resistência mecânica: É uma propriedade que representa a capacidade que a argamassa tem de resistir ações mecânicas de diferentes naturezas, tais como o impacto, a abrasão superficial e a contração termohigroscópica;
- Permeabilidade: É uma propriedade que representa a capacidade que a argamassa (material poroso) tem em permitir que à água percole por seu interior tanto no estado líquido como no estado gasoso (vapor);
- Durabilidade: É uma propriedade que representa o desempenho da argamassa diante das ações do meio externo ao longo do tempo. Seu bom desempenho é função de um bom funcionamento das outras características já citadas.

Os ensaios recomendados para as argamassas de assentamento, conforme a NBR 13281, são os seguintes: resistência à compressão, densidade de massa aparente nos estados fresco e endurecido, resistência à tração na flexão, coeficiente de capilaridade, retenção de água e resistência de aderência à tração.

2.2.1.2. Patologias

A ocorrência dos problemas patológicos nas edificações ocasiona uma redução de sua vida útil, que está diretamente relacionada com o desempenho dos materiais ou componentes da edificação (TAGUCHI, 2008).

Os seguintes aspectos denotam a importância devido ao estudo das patologias envolvidas nas construções:

- A evolução da tecnologia dos materiais de construção e das técnicas de projeto e execução;
- A conjuntura sócio-econômica de países em desenvolvimento, com obras conduzidas com rapidez, porém com pouco rigor no controle de qualidade;
- Ausência de uma mentalidade voltada à manutenção ou prevenção (custo inicial e custo final);
- Ausência de uma catalogação dos registros decorrentes do não acompanhamento em obra dos projetistas e construtores;
- Normalização insuficiente.

As fissuras ocupam o primeiro lugar na sintomatologia das alvenarias de vedações. A identificação das fissuras e de suas causas é de vital importância para a definição do tratamento adequado para a recuperação da alvenaria. Esse tipo de patologia pode ocorrer nas juntas de assentamento (argamassa de assentamento vertical ou horizontal) ou seccionar os componentes da alvenaria (blocos cerâmicos ou de concreto) (TAGUCHI, 2008).

A fissura, de uma forma geral, é uma patologia importante devido a três aspectos:

- O aviso de um eventual estado perigoso para a estrutura;
- Comprometimento do desempenho da obra em serviço (estanqueidade à água, durabilidade, isolamento acústica, entre outros);
- Constrangimento psicológico que a fissuração do edifício exerce sobre os usuários (THOMAZ, 1989).

2.2.1.3. Resistência

Trabalhos de diversos pesquisadores indicam que na alvenaria deve haver uma compatibilidade nas características mecânicas entre os tipos de bloco e a capacidade resistente da argamassa de assentamento. As formas de ruptura observadas nos ensaios de paredes ocorrem por indução de tensões de tração no bloco ou por esmagamento da junta de assentamento da argamassa (MOHAMAD *et al.*, 2009). Ainda segundo o autor, estudos realizados por SHRIVE mostraram que a ruptura da alvenaria sob compressão é a mesma de qualquer material frágil como o concreto, o vidro e a pedra. Ou seja, as fissuras têm início nos

vazios do material, onde as tensões de tração lateral localizadas são maiores do que as tensões médias obtidas em testes realizados em laboratórios.

Ensaaios experimentais em alvenarias, realizados por VERMELTFOORT e MOHAMAD et al., mostraram que o processo de ruptura da alvenaria acontecia inicialmente pelo esmagamento da junta de argamassa e o posterior esfacelamento da superfície de contato entre o bloco e a argamassa (MOHAMAD *et al.*, 2009).

Segundo Camacho (2006) a resistência à compressão da alvenaria é o resultado da combinação da resistência da argamassa presente nas juntas e dos blocos. Três tipos de ruptura à compressão podem ocorrer na alvenaria:

- Ruptura dos blocos: frequentemente se manifesta pelo surgimento de uma fissura vertical que passa pelos blocos e juntas de argamassa;
- Ruptura da argamassa: quando ocorre o esmagamento das juntas, sendo freqüente a constatação do esfarelamento da argamassa presente na junta;
- Ruptura do conjunto: é a situação desejável, quando a ruptura se dá pelo surgimento de fissura vertical no conjunto, porém precedida de indícios de ruptura conjunta da argamassa.

Assim, a combinação ideal entre blocos e argamassas deve ser a que conduza, nos ensaios laboratoriais, a uma ruptura do conjunto como um todo, ou seja, das juntas e dos blocos concomitantemente.

Ainda segundo Camacho (2006), a resistência à compressão das paredes de alvenaria depende de muitos fatores, entre os quais se destacam:

- Resistência das unidades (blocos);
- Resistência da argamassa;
- Qualidade da mão-de-obra (controle da argamassa utilizada no assentamento, das juntas e do prumo);
- Esbeltez do elemento.

2.2.2. Alvenaria Estrutural

A alvenaria estrutural é um processo construtivo em que as paredes de alvenaria e as lajes enrijecedoras funcionam estruturalmente em substituição aos pilares e vigas utilizados nos

processos construtivos tradicionais, sendo dimensionado segundo métodos de cálculos racionais e de confiabilidade determinável (ROMAN, s.d.).

Alvenaria estrutural é um método construtivo no qual as próprias paredes compostas por blocos e unidas por juntas de argamassa, atuam fazendo parte da estrutura da edificação e tem como objetivo suportar as cargas verticais, e também as cargas laterais (TAULL, 2010).

2.2.2.1. Classificação

Segundo CAMACHO (2006), a alvenaria estrutural pode ser classificada quanto ao processo construtivo empregado, quanto ao tipo de unidades ou ao material utilizado, como segue:

- Alvenaria Estrutural Armada: é o processo construtivo em que, por necessidade estrutural, os elementos resistentes (estruturais) possuem uma armadura passiva de aço. Essas armaduras são dispostas nas cavidades dos blocos que são posteriormente preenchidas com micro-concreto (Graute).
- Alvenaria Estrutural Não Armada: é o processo construtivo em que nos elementos estruturais existem somente armaduras com finalidades construtivas, de modo a prevenir problemas patológicos (fissuras, concentração de tensões, etc.).
- Alvenaria Estrutural Parcialmente Armada: é o processo construtivo em que alguns elementos resistentes são projetados como armados e outros como não armados. De uma forma geral, essa definição é empregada somente no Brasil.
- Alvenaria Estrutural Protendida: é o processo construtivo em que existe uma armadura ativa de aço contida no elemento resistente.
- Alvenaria Estrutural de Tijolos ou de Blocos: função do tipo das unidades.
- Alvenaria Estrutural Cerâmica ou de Concreto: conforme as unidades (tijolos ou blocos) sejam de material cerâmico ou de concreto.

2.2.2.2. Vantagens e desvantagens

Para Araújo e Costa (2010), o conveniente emprego da alvenaria estrutural pode trazer as seguintes vantagens técnicas e econômicas:

- Redução de armaduras
- Redução de formas
- Redução de resíduos

- Redução do tempo de execução
- Redução de custos
- Integração com outros subsistemas
- Flexibilidade no planejamento de execução das obras
- Possibilidade de diferentes níveis de mecanização

Além destas, Camacho (2006) ainda destaca a menor diversidade de materiais empregados, redução da diversidade de mão de obra especializada e uma maior robustez estrutural.

Como principais inconvenientes, Araújo e Costa (2010) destacam:

- Condiciona a Arquitetura
- Inibe a destinação dos edifícios
- Restringe a possibilidade de modificações arquitetônicas
- Vãos livres limitados
- Vãos em balanço
- Esbeltez
- Não permite improvisações

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Após fazer uma revisão bibliográfica acerca do assunto com o objetivo de embasar a pesquisa, foram confeccionadas um total de 3 paredes em escala real com dimensões de 1,0 m de largura com 1,0 m de altura, assentadas sobre uma base de madeira maciça. Na confecção das paredes foram utilizados blocos cerâmicos de 8 furos. A argamassa de assentamento das paredes foi confeccionada na proporção 1:1,5:4 (cimento: cal: areia), com fator água/cimento de 0,65. Passado um tempo foi adicionado 500 mL de água no traço utilizado para execução da parede 1, com o intuito de melhorar a trabalhabilidade da argamassa, e 600 mL no traço de argamassa da parede 2. Na parede 3 não foi necessária adição extra de água.

O processo de levantamento das paredes foi realizado a partir do posicionamento, alinhamento e nivelamento das bases de madeira onde se fez o assentamento da alvenaria, tomando-se o cuidado de manter padronizadas as espessuras horizontais e verticais das juntas, bem como o prumo, nível e alinhamento das paredes. As paredes receberam uma pintura de cal para melhorar a visualização das fissurações durante o ensaio de compressão. Depois de

levantadas, foi realizado o capeamento da parte superior com argamassa de traço 1:3 (cimento: areia).

No sentido de uniformizar o contato entre a viga metálica rígida, utilizada nos ensaios para melhor distribuir a carga aplicada, e a argamassa de capeamento na parte superior do painel foi colocado cal hidratada. A aplicação de carga se deu por meio de prensa hidráulica, com capacidade de aplicação de carga de 75T instalada em um pórtico metálico. O carregamento das paredes foi medido com o auxílio de uma célula de carga com capacidade de 1 MN provida de um logger para o registro das cargas em KN e deslocamento em mm. Foram instalados 4 defletômetros (2 em cada um dos lados da parede), sendo 2 com precisão de 0,01 mm e os outros 2 com precisão de 0,025 mm. Os mesmos foram alocados no terço central dos painéis de alvenaria para evitar o efeito de borda (Critério de Saint Venant).



Figura 5: Posicionamento dos defletômetros no painel de alvenaria.

Para o ensaio das paredes foram seguidas as recomendações da NBR8949/1985 e realizadas medidas de deslocamentos verticais e horizontais, utilizando medidores de deslocamentos. A idade mínima na qual foram realizados os ensaios foi de 28 dias contados a partir do término do assentamento no dia 23/12/2014. Os principais materiais utilizados na construção dos painéis de alvenaria foram os seguintes:

- Cimento CPIII 40 RS de 50 kg;
- Cal CARBOMIL CHI de 20 kg;
- MEGAÓ CH de 10 kg para pintura;
- Areia media;
- Brita 19 mm (brita 1);
- Água;
- Blocos cerâmico de 8 furos

Os equipamentos usados nos ensaios foram:

- 1 Dispositivo para aplicação de cargas;
- 4 Transdutores de deslocamento;
- Log para registro dos resultados;
- Computador portátil

4. RESULTADOS

4.1. TENSÃO CRÍTICA DE RUPTURA DAS ALVENARIAS – EXEMPLO DE CALCULO PARA COMPARAÇÃO COM OS VALORES OBTIDOS

a) Alvenaria com a função de vedação

Esse cálculo leva em consideração as cargas solicitantes do peso próprio da alvenaria, da cinta de amarração, laje de forro e a cobertura de madeira.

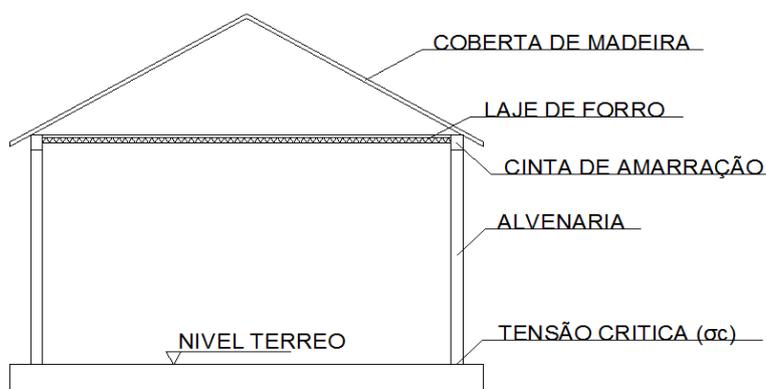


Figura 6: Croqui de residência modelo utilizada no calculo. Fonte: Brasil 2014.

- Carga solicitante do peso próprio da alvenaria.

h (altura da parede) = 2,80 m

q_{al} (carga distribuída) = $\gamma_{al} \times b \times h = 13 \times 0,15 \times 2,80$

b (largura) = 0,15 m

$q_{al} = 5,46 \text{ KN/m}$

$\gamma_{al} = 13 \text{ KN/m}^3$

- Carga solicitante do peso próprio da cinta de amarração.

h (altura da parede) = 0,20 m

$q_{ca} = \gamma_{ca} \times b \times h = 25 \times 0,15 \times 0,20$

b (largura) = 0,15 m

$q_{ca} = 0,75 \text{ KN/m}$

$\gamma_{ca} = 25 \text{ KN/m}^3$

- Carga solicitante da laje de forro (laje treliçada unidirecional LT11 que foi dimensionada pela tabela I que se encontra em anexo).

Carga acidental.....0,5 kN/m²

Revestimento (cerâmica).....1 kN/m²

Peso próprio (treliça + capa).....1,8 kN/m²

$\Sigma 3,84 \text{ KN/m}^2$

Contra piso 0,03 x 18.....0,54 kN/m²

Viga bi apoiada de 1 m de largura e vão de 5 m:

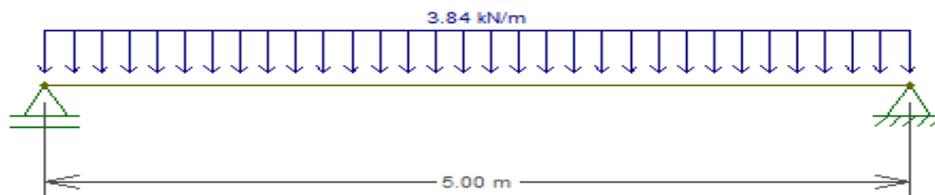


Figura 7: Viga bi apoiada 1 considerada no calculo. Fonte: Brasil 2014.

Reação de apoio: $q_{if} = 9,60 \text{ kN/m}$

- Carga solicitante da cobertura de madeira com telha cerâmica (incluindo tesouras, caibros, ripas e telha cerâmica).

Telhado de 2 quedas e com um vão de 10 m. A carga estimada da cobertura é de 80 kgf/m².

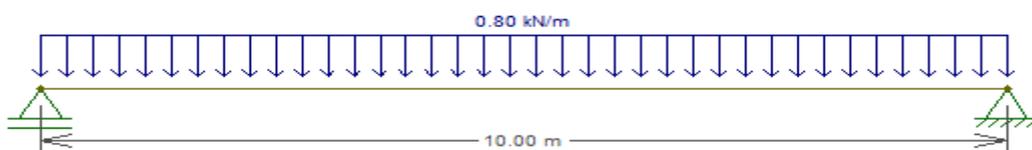


Figura 8: Carregamento do telhado considerado nos cálculos. Fonte: Brasil 2014.

Reação de apoio: $q_{co} = 4 \text{ kN/m}$

- Carga total na alvenaria com função de vedação:

$$q_T = q_{al} + q_{ca} + q_{lf} + q_{co} = 5,46 + 0,75 + 9,6 + 4 \rightarrow q_T = 19,81 \text{ kN/m}$$

- Cálculo da tensão crítica de ruptura (σ_{Crup}):

$$\sigma_{Crup} = q_T \times L / L \times b = 19810 \times 1,4 / 1,4 \times 0,09 \rightarrow \sigma_{Crup} = 0,221 \text{ MPa}$$

Fonte: Brasil 2014.

- b) Alvenaria com a função estrutural ou portante

Esse cálculo leva em consideração as cargas solicitantes do peso próprio da alvenaria, da cinta de amarração, laje de forro, laje do 1º piso e a cobertura de madeira.

- Carga solicitante do peso próprio da alvenaria.

$$h \text{ (altura da parede)} = 2,80 \text{ m}$$

$$q_{al} \text{ (carga distribuída)} = 2 \times \gamma_{al} \times b \times h = 2 \times 13 \times 0,15 \times 2,80$$

$$b \text{ (largura)} = 0,15 \text{ m}$$

$$q_{al} = 10,92 \text{ kN/m}$$

$$\gamma_{al} = 13 \text{ KN/m}^3$$

- Carga solicitante do peso próprio da cinta de amarração.

$$h \text{ (altura da parede)} = 0,20 \text{ m}$$

$$q_{ca} = 2 \times \gamma_{ca} \times b \times h = 2 \times 25 \times 0,15 \times 0,20$$

$$b \text{ (largura)} = 0,15 \text{ m}$$

$$q_{ca} = 1,50 \text{ kN/m}$$

$$\gamma_{ca} = 25 \text{ KN/m}^3$$

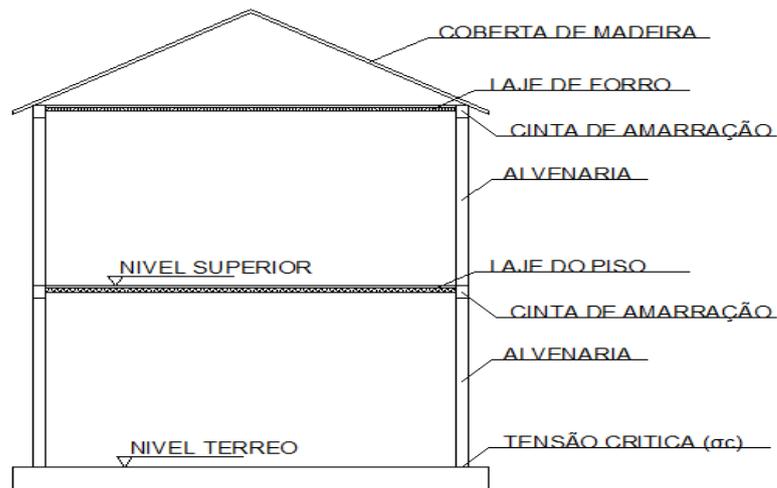


Figura 9: Croqui de residência modelo com térreo e 1º pavimento utilizada no calculo. Fonte: Brasil 2014.

- Carga solicitante da laje de piso (laje treliçada unidirecional LT16 que foi dimensionada pela tabela I que se encontra em anexo).

Carga acidental.....	2 kN/m ²	Revestimento (cerâmica).....	1 kN/m ²
Peso próprio (treliça + capa)	2,62 kN/m ²	Σ	6,16 kN/m ²
Contra piso 0,03 x 18.....	0,54 kN/m ²		

Viga bi apoiada de 1m de largura e vão de 5 m:

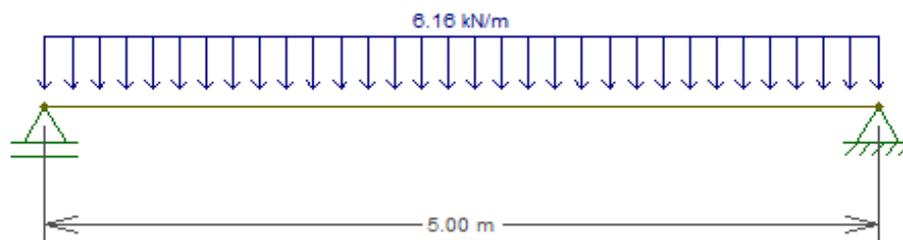


Figura 10: Viga bi apoiada 2 considerada no calculo. Fonte: Brasil 2014.

Reação de apoio: $q_{ip} = 15,40 \text{ kN/m}$

- Carga solicitante da laje de forro (laje treliçada unidirecional LT11 que foi dimensionada pela tabela I que se encontra em anexo).

Carga acidental.....	0,5 kN/m ²	Revestimento (cerâmica).....	1 kN/m ²
Peso próprio (treliça + capa)	1,8 kN/m ²	Σ	3,84 kN/m ²
Contra piso 0,03 x 18.....	0,54 kN/m ²		

Viga bi apoiada de 1m de largura e vão de 5 m:

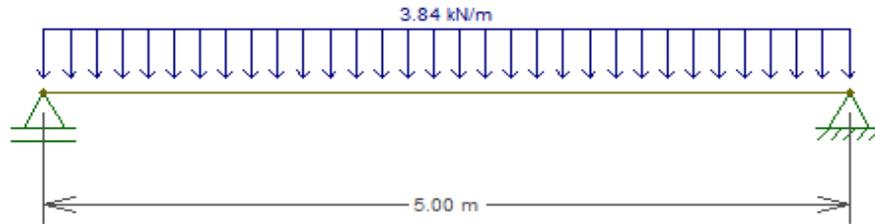


Figura 11: Viga biapoiada 3 considerada no calculo. Fonte: Brasil 2014.

Reação de apoio: $q_{lf} = 9,60 \text{ kN/m}$

- Carga solicitante da cobertura de madeira com telha cerâmica (incluindo tesouras, caibros, ripas e telha cerâmica) - mesmo calculo realizado para a alvenaria de vedação

Reação de apoio: $q_{co} = 4 \text{ kN/m}$

- Carga total na alvenaria com função portante:

$$q_T = q_{al} + q_{ca} + q_{lp} + q_{lf} + q_{co} = 10,92 + 1,50 + 15,4 + 9,6 + 4 \rightarrow q_T = 41,42 \text{ kN/m}$$

- Cálculo da tensão crítica de ruptura (σ_{Crup}):

$$\sigma_{Crup} = q_T \times L / L \times b = 41420 \times 1,4 / 1,4 \times 0,09 \rightarrow \sigma_{Crup} = 0,46 \text{ Mpa}$$

Fonte: Brasil 2014.

4.2. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.2.1. Corpo de prova 01 (CP01)

Ensaio realizado em 26 de janeiro de 2015 no LABEME – UFPB. Na tabela 2 são mostrados os valores da carga e deslocamento vertical e lateral.

Tabela 2: Resultados de carga e deslocamentos vertical e lateral - Corpo de prova 01.

Carga (kN)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D4 (mm)
0	0	0	0	0
5,3	1,51	0	1,24	0,93
15,3	2,41	0	2,18	1,43
25,4	3,01	0	2,61	1,71
35,3	3,41	0,34	2,99	1,96
45,3	3,66	0,66	3,23	2,07
55,8	3,87	0,84	3,5	2,1
65,3	4	0,98	3,66	2,15
75,7	4,06	1,14	3,86	2,21
85,5	4,18	1,32	3,95	2,24
95,8	4,3	1,54	4,12	2,29
105,4	4,41	1,72	4,3	2,32
115,4	4,47	1,68	4,37	2,4
127	4,55	1,8	4,5	2,43
133,2	4,71	1,92	4,64	2,54
204,6	RUPTURA			

Neste ensaio a carga máxima obtida foi de 204,6 kN. A primeira fissura foi observada quando se atingiu a carga de 93,7 kN, vindo a surgir outras diversas quando o log registrava um valor em torno de 130 kN. Neste momento foram retirados os defletômetros para que uma ruptura brusca da parede não danificasse os equipamentos.

È possível observar na figura 13 que a primeira fissura surgiu na ultima fiada, num bloco de extremidade, e se deu de forma vertical, mesma direção em que os blocos foram assentados (furos na vertical). Outra constatação é quanto à assimetria da patologia, uma vez que a fissura foi verificada em apenas um lado do painel, fato que pode ter relação com o desalinhamento da parede, constatado pouco antes do ensaio. Outra explicação para o fato pode se dar por uma possível má distribuição da carga na parede, pois os defletômetros D1 e D2, posicionados lado a lado, registraram valores bem diferentes de encurtamento, mostrando assim que um dos lados do painel foi mais solicitado que o outro (ver Figura 14). O modo de ruptura do corpo de prova 01 se deu por esmagamento da ultima fiada.



Figura 12: Corpo de prova 01 pronto para o ensaio.



Figura 13: Primeira fissura observada no corpo de prova 01.

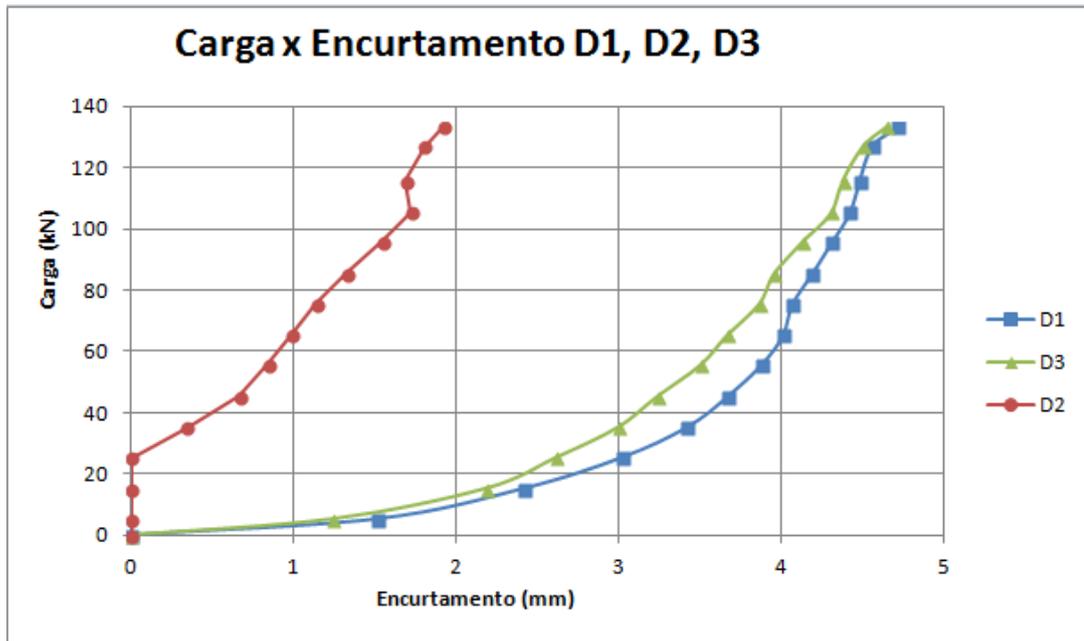


Figura 14: Gráfico Carga x Encurtamento dos D1, D2, D3 - Corpo de prova 01.

Pelo gráfico da figura 14 é possível observar o comportamento heterogêneo da parede conforme descrito anteriormente. Inicialmente o defletômetro D2 não funcionou corretamente, mas logo foi ajustado e foi possível fazer os registros. Os defletômetros D1 e D3, que medem o encurtamento em sentidos opostos, ou seja, um desloca-se de baixo para cima enquanto o outro o faz de cima para baixo, apresentam comportamento análogo, uma vez que foram colocados no mesmo lado do painel, porém em faces opostas.

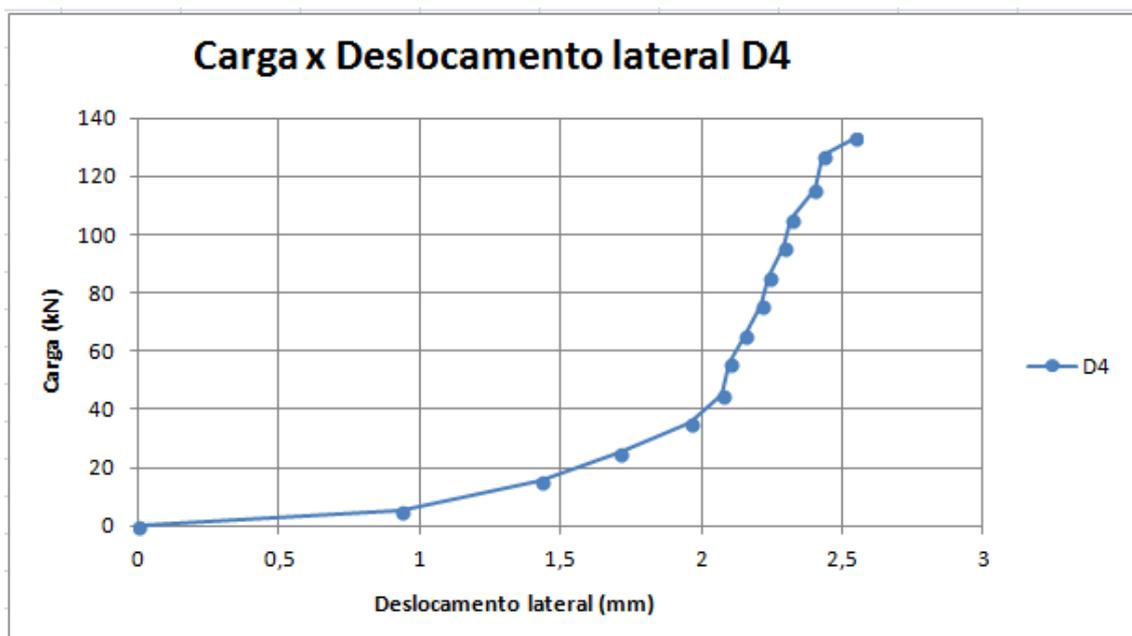


Figura 15: Gráfico Carga x Deslocamento lateral do D4 - Corpo de prova 01.

- Determinação da tensão crítica de ruptura do corpo de prova 01:

$$\sigma_{\text{Crup}} = \frac{F_{\text{rup}}}{A}$$

Onde: F_{rup} : Carga máxima de ruptura do corpo de prova 01 (kN)

A: Área (m²)

$$F_{\text{rup}} = 204,6 \text{ kN e } A = 0,09 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{\text{Crup}} = \frac{204,6}{0,09} \rightarrow \sigma_{\text{Crup}} = 2,27 \text{ MPa}$$

4.2.2. Corpo de prova 02 (CP02)

Ensaio realizado em 28 de janeiro de 2015 no LABEME – UFPB. Na tabela 3 são mostrados os valores da carga e deslocamento vertical e lateral.

Tabela 3: Resultados de carga e deslocamentos vertical e lateral - Corpo de prova 02.

Carga (kN)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D4 (mm)
0	0	0	0	0
4,8	0,4	0,84	0,84	0
11,7	0,67	1,36	1,38	0,15
25,2	0,98	1,74	1,92	0,18
34,6	1,16	1,99	2,27	0,18
47,3	1,35	2,24	2,61	0,18
54,9	1,51	2,43	2,98	0,21
65,4	1,59	2,53	3,16	0,22
72,4	1,68	2,62	3,34	0,23
84,8	1,83	2,83	3,53	0,25
95,3	1,91	2,94	3,63	0,25
103	1,99	3,04	3,72	0,26
114,5	2,17	3,38	3,83	0,26
130,1	2,24	3,34	3,83	0,26
146,1	2,77	3,58	3,72	0,19
190,6	RUPTURA			



Figura 16: Corpo de prova 02 pronto para o ensaio.

Neste ensaio a carga máxima obtida foi de 190,6 kN. A primeira fissura foi observada quando se atingiu a carga de 74,6 kN, vindo a surgir outras diversas quando o log registrava um valor em torno de 140 kN. Neste momento foram retirados os defletômetros para que uma ruptura brusca da parede não danificasse os equipamentos.

A ruptura da parede se deu por esmagamento da penúltima fiada de tijolos, sem que houvesse danos generalizados por todo o painel, o que pode caracterizar defeito dos blocos que se romperam. A má qualidade dos blocos foi um ponto observado durante a construção das paredes, onde alguns apresentaram pequenas trincas e outros defeitos oriundos da queima dos blocos, como a presença do “coração negro” (ver Figura 17).



Figura 17: "Coração negro" – patologia que evidencia a má qualidade do bloco.

Diferentemente do que ocorreu no ensaio do corpo de prova 01, neste a primeira fissura surgiu na 1ª fiada de tijolos, porém também de forma vertical e em um bloco na extremidade do painel (Figura 18). A assimetria no surgimento da fissura também se repetiu no corpo de prova 02, possivelmente pelos mesmos motivos já comentados em relação ao CP01. Neste ensaio os três defletômetros, D1, D2 e D3, que mediram o deslocamento vertical (encurtamento) na parede registraram valores bem distintos, tendo se aproximado mais os resultados obtidos através do D2 e D3 que foram posicionados em faces opostas do painel e também em posições invertidas considerando a extremidade de cada parede.

Essas distorções nos valores registrados pelos defletômetros, bem como a menor carga obtida, podem ser explicados por algumas variáveis que surgiram antes e durante o ensaio, como o desaparecimento de aproximadamente 2cm medido na parede (alto considerando a altura de 1m do painel) e a maior velocidade na aplicação das cargas devido problemas na máquina. A adição extra de 600 ml de água no traço de argamassa utilizado na construção da parede (juntas da alvenaria) também pode ter influenciado na resistência e movimentação do painel. O comportamento do deslocamento lateral também foi diferente do apresentado pelo corpo de prova 01 (Figura 20).



Figura 18: Primeiras fissuras observadas no corpo de prova 02.

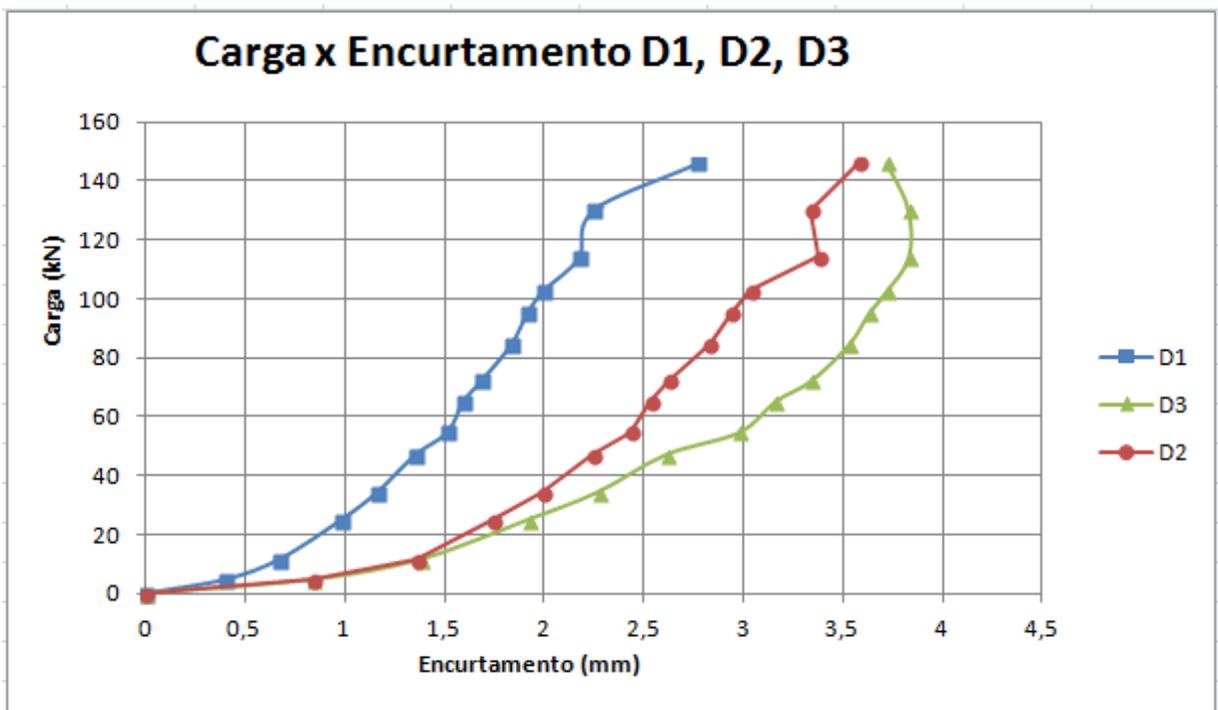


Figura 19: Gráfico Carga x Encurtamento dos D1, D2, D3 - Corpo de prova 02.

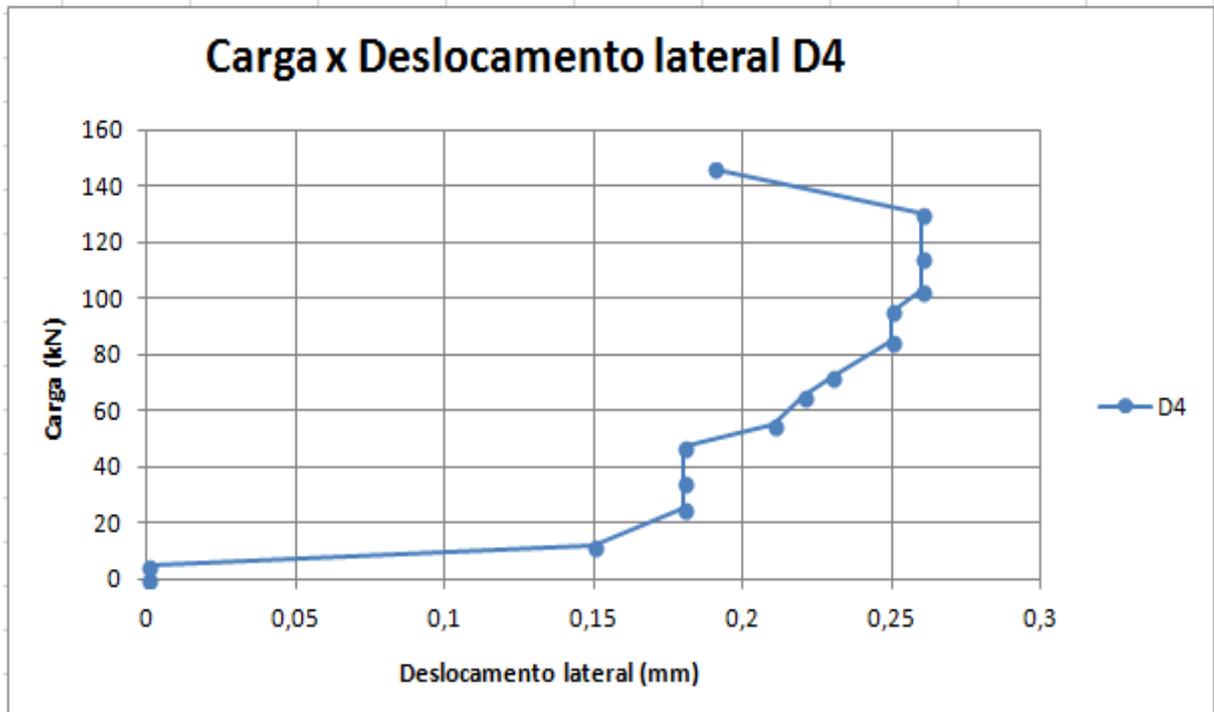


Figura 20: Gráfico Carga x Deslocamento lateral do D4 - Corpo de prova 02.

- Determinação da tensão crítica de ruptura do corpo de prova 02:

$$\sigma_{\text{Crup}} = \frac{F_{\text{rup}}}{A}$$

Onde: F_{rup} : Carga máxima de ruptura do corpo de prova 02 (kN)

A: Área (m²)

$$F_{\text{rup}} = 190,6 \text{ kN e } A = 0,09 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{\text{Crup}} = \frac{190,6}{0,09} \rightarrow \sigma_{\text{Crup}} = 2,12 \text{ MPa}$$

4.2.3. Corpo de prova 03 (CP03)

Ensaio realizado em 29 de janeiro de 2015 no LABEME – UFPB. Na tabela 4 são mostrados os valores da carga e deslocamento vertical e lateral medidos.

Tabela 4: Resultados de carga e deslocamentos vertical e lateral - Corpo de prova 03.

Carga (kN)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D4 (mm)
0	0	0	0	0
4,8	0,4	0	0	0,18
14,4	0,84	0,5	0,24	0,26
24,3	1,02	0,6	0,85	0,36
34,7	1,5	0,65	1,5	0,49
45,5	1,68	0,83	1,85	0,53
54,6	1,78	0,95	1,98	0,6
64,4	1,86	1,04	2,07	0,67
74	1,98	1,12	2,13	0,73
84,4	2,04	1,2	2,14	0,85
94	2,14	1,27	2,16	0,89
104,4	2,16	1,34	2,21	0,94
114,8	2,3	1,42	2,24	1,05
124	2,36	1,5	2,32	1,07
135	2,42	1,58	2,38	1,14
145,3	2,58	1,66	2,46	1,16
154,8	2,62	1,74	2,57	1,22
164,6	2,7	1,82	2,68	1,25
174,4	2,76	1,98	2,79	1,29
241,9	RUPTURA			



Figura 21: Corpo de prova 03 pronto para o ensaio.

Neste ensaio, diferente dos dois primeiros, a velocidade de aplicação das cargas na parede foi reduzida com o objetivo de alcançar uma carga máxima de ruptura maior. O valor máximo atingido foi de 241,9 kN e as primeiras fissuras surgiram quando registrava-se 86,7 kN. Quando o log marcava uma carga em torno de 170 kN começou a aumentar o número de fissuras e alguns “estalos” foram ouvidos. Nesse momento foram retirados os defletômetros para que uma brusca ruptura da parede não os danificasse.

Neste painel a ruptura se deu por esmagamento completo da última fiada e parcial da penúltima. No momento da ruptura também surgiu uma grande fissura na diagonal em uma das extremidades do painel.

A forma como se deu a ruptura da parede, bem como o comportamento apresentado pelos defletômetros mostram uma maior homogeneidade do corpo de prova 03 (CP03) em relação aos dois primeiros. Outro ponto observado neste ensaio foi o surgimento de fissuras em ambas as extremidades da parede, ou seja, as fissuras surgiram de forma simétrica (Figura 22), outro comportamento diferente em relação aos ensaios anteriores. Isso pode ser explicado pelo controle na velocidade de aplicação das cargas como foi falado anteriormente e também pelo melhor acabamento verificado na parede, como por exemplo a uniformidade das juntas de assentamento, a menor quantidade de blocos trincados e também a não adição extra de água no traço da argamassa utilizada no assentamento dos blocos. Nas figuras 23 e 24 que mostram, respectivamente, os deslocamentos vertical e horizontal em função da carga, é possível observar o comportamento homogêneo da parede.



Figura 22: Primeiras fissuras no corpo de prova 03.

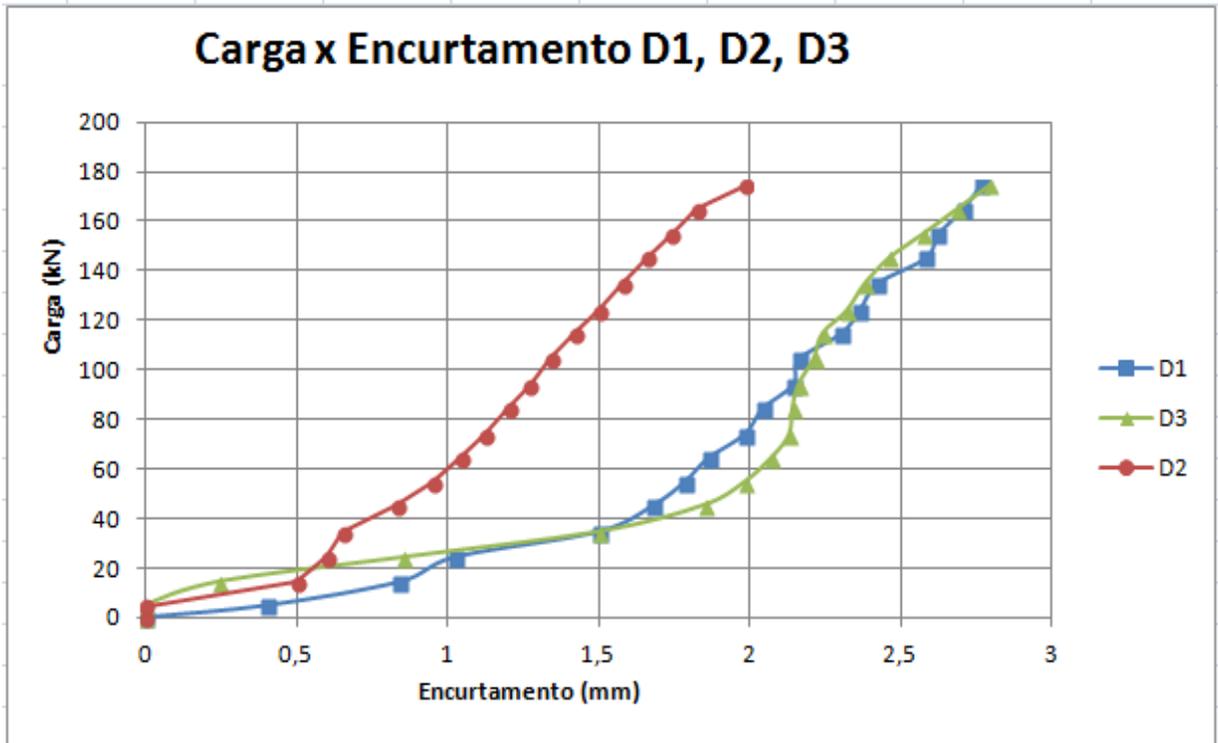


Figura 23: Gráfico Carga x Encurtamento dos D1, D2, D3 - Corpo de prova 03.

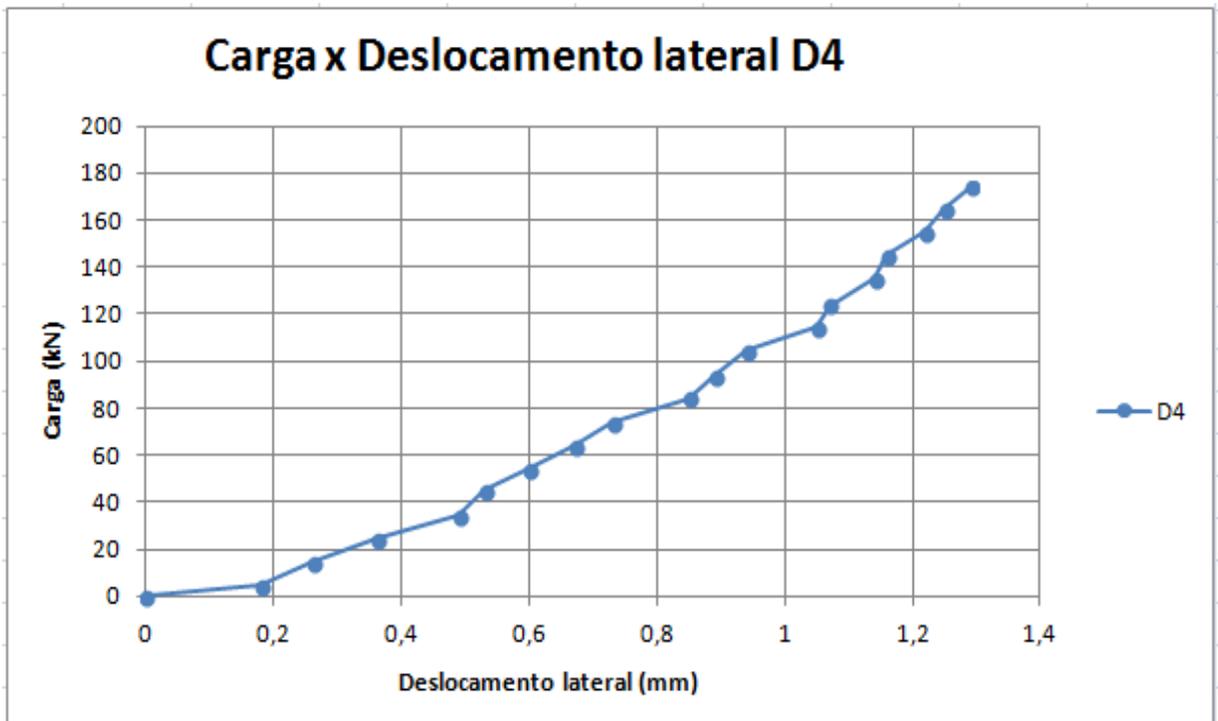


Figura 24: Gráfico Carga x Deslocamento lateral D4 - Corpo de prova 03.

- Determinação da tensão crítica de ruptura do corpo de prova 03:

$$\sigma_{\text{Crup}} = \frac{F_{\text{rup}}}{A}$$

Onde: F_{rup} : Carga máxima de ruptura do corpo de prova 03 (kN)

A: Área (m²)

$F_{\text{rup}} = 241,9$ kN e $A = 0,09$ m²

$$\sigma_{\text{Crup}} = \frac{241,9}{0,09} \rightarrow \sigma_{\text{Crup}} = 2,69 \text{ MPa}$$

4.3. MÉDIA DA TENSÃO CRÍTICA DE RUPTURA

Tensão crítica de ruptura do corpo de prova 01:

$$\sigma_{\text{Crup01}} = 2,27 \text{ MPa}$$

Tensão crítica de ruptura do corpo de prova 02:

$$\sigma_{\text{Crup02}} = 2,12 \text{ MPa}$$

Tensão crítica de ruptura do corpo de prova 03:

$$\sigma_{\text{Crup03}} = 2,69 \text{ MPa}$$

Média da tensão crítica de ruptura dos corpos de prova:

$$\sigma_{\text{med}} = \frac{(\sigma_{\text{Crup01}} + \sigma_{\text{Crup02}} + \sigma_{\text{Crup03}})}{3} = \frac{(2,27 + 2,12 + 2,69)}{3}$$

$$\sigma_{\text{med}} = 2,36 \text{ MPa}$$

Nas figuras 25 a 28 podemos observar os gráficos comparando os deslocamentos medidos por cada defletômetro nos três corpos de prova.

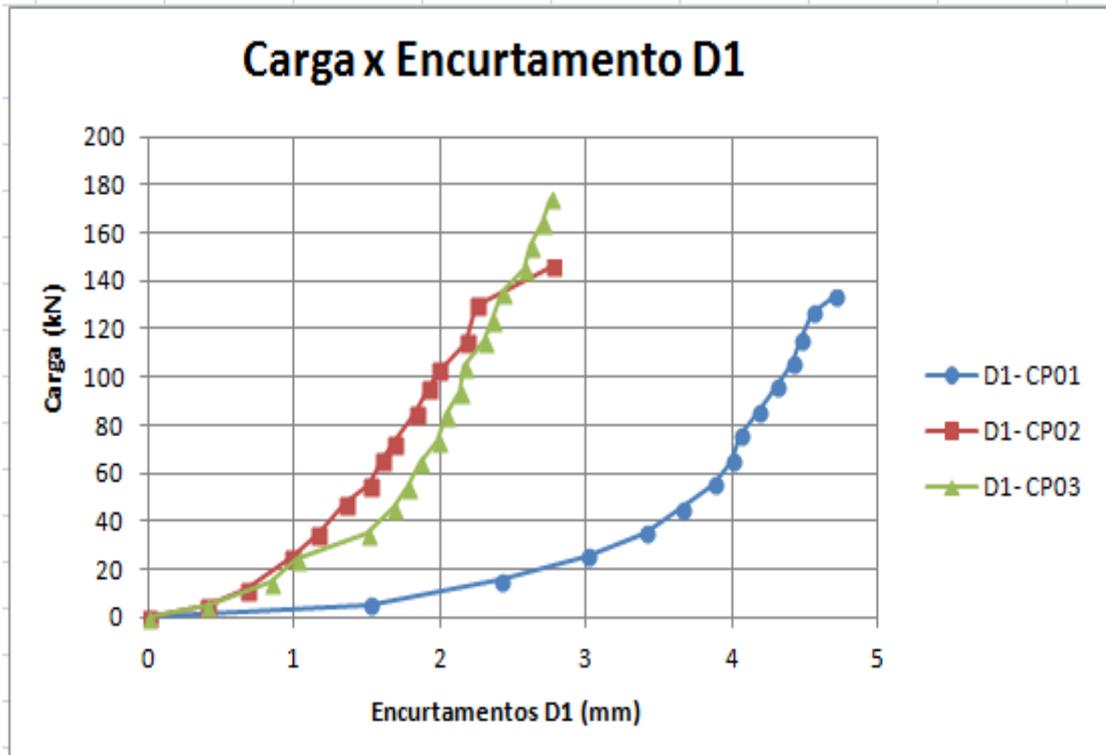


Figura 25: Gráfico Carga x Encurtamento D1 nos três corpos de prova.

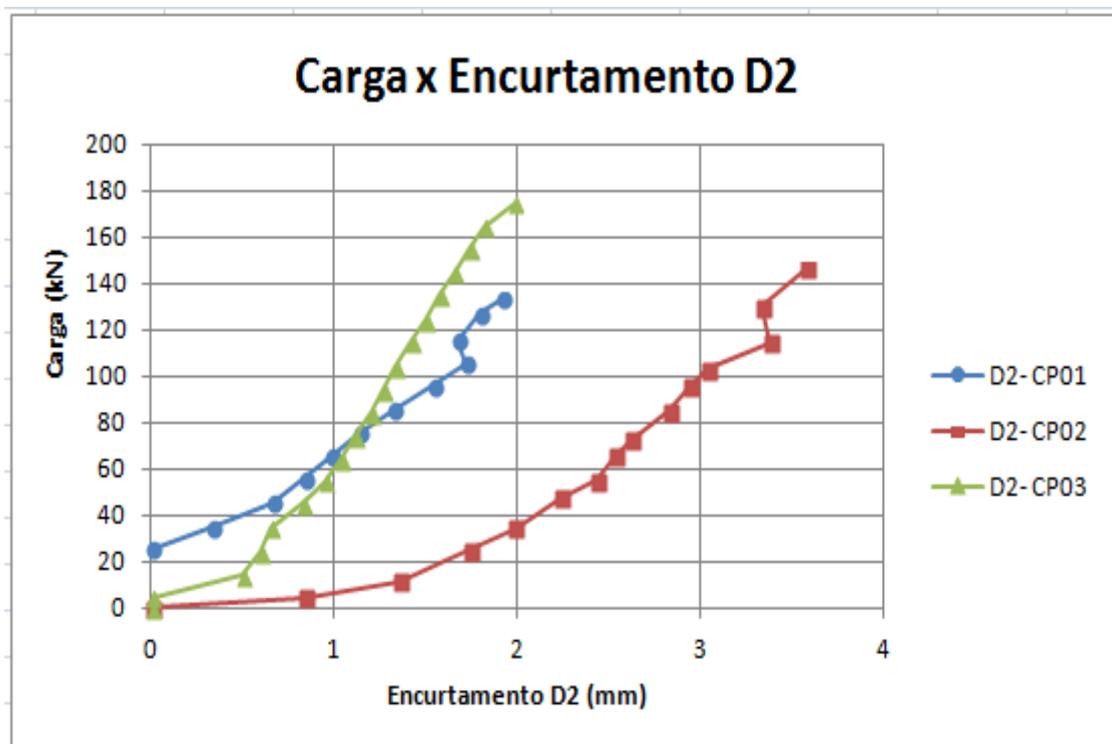


Figura 26: Gráfico Carga x Encurtamento D2 nos três corpos de prova.

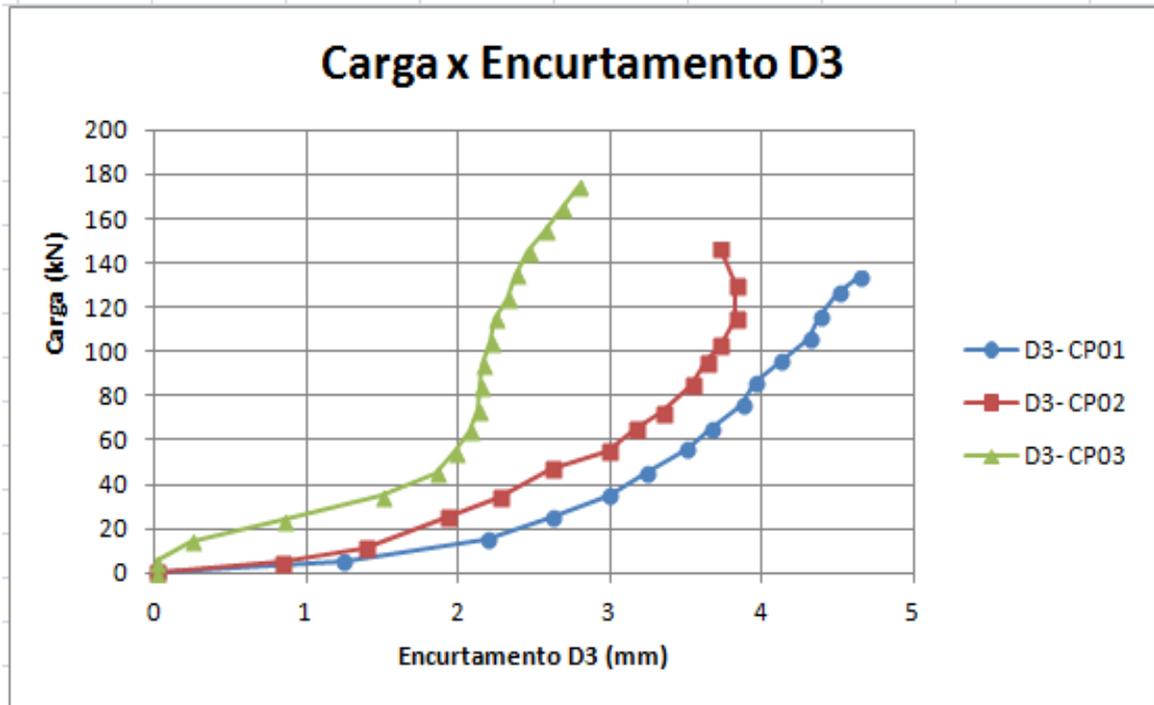


Figura 27: Gráfico Carga x Encurtamento D3 nos três corpos de prova.

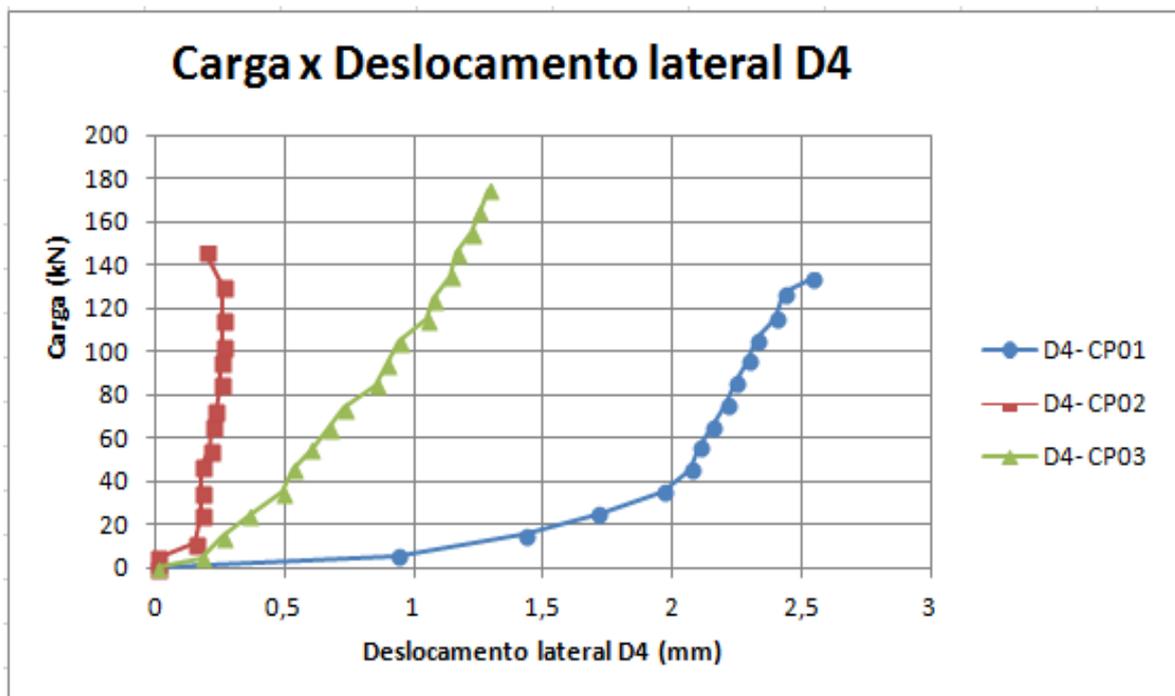


Figura 28: Gráfico Carga x Deslocamento lateral D4 nos três corpos de prova.

5. CONCLUSÃO

5.1. QUANTO AOS RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão, onde também foram medidos os deslocamentos vertical e horizontal, em painéis de alvenaria de blocos cerâmicos com furos na vertical, possibilitaram a observação destes elementos quando submetidos a esforços similares aos carregamentos reais aplicados nas construções.

Os valores obtidos para as tensões críticas de ruptura dos três painéis, bem como a tensão média, foram superiores aos calculados para alvenarias com função de vedação e também com função estrutural de uma casa modelo com pavimento térreo e 1º andar (subitem 4.1). As tensões calculadas para a estrutura modelo foram: $\sigma_{\text{Crup}} = 0,221$ MPa para a alvenaria com função de vedação e $\sigma_{\text{Crup}} = 0,46$ MPa para a alvenaria com função estrutural, enquanto os valores obtidos com os três corpos de prova ensaiados neste trabalho foram: $\sigma_{\text{Crup01}} = 2,27$ MPa, $\sigma_{\text{Crup02}} = 2,12$ MPa, $\sigma_{\text{Crup03}} = 2,69$ MPa e $\sigma_{\text{med}} = 2,36$ MPa. Comparando todos esses resultados concluímos que:

- As alvenarias de blocos cerâmicos de 8 furos, onde os blocos foram assentados com furos na vertical, possuem resistência a compressão muito acima do que se faz necessário para uso com função de vedação e também com função estrutural, para edificações de até 1 pavimento superior mais térreo. A tensão média obtida nos ensaios alcançou um valor superior a 10 vezes a tensão necessária para alvenaria com função de vedação e 5 vezes o valor necessário para alvenaria com função estrutural (tensão calculada para estrutura modelo considerada neste trabalho).
- A alvenaria de blocos cerâmicos pode ser utilizada na função estrutural, como mostram os resultados acima, devendo, no entanto, observar as particularidades de cada edificação.
- Com relação às paredes, observou-se um comportamento carga-deslocamento vertical linear, com rupturas frágeis, sendo o material utilizado na alvenaria (bloco cerâmico) o fator determinante na resistência das paredes e nos modos de ruptura, uma vez que nos três corpos de prova a ruptura se deu por compressão paralela aos furos ou esmagamento dos blocos.

5.2. COMPARAÇÃO COM ESTUDOS ANÁLOGOS

Devido à atual importância que a alvenaria com função estrutural vem ganhando na engenharia nos últimos anos, diversos estudos já foram realizados sobre esse assunto para buscar novas tecnologias construtivas e materiais cada vez mais resistentes.

Recentemente foram realizados ensaios análogos aos apresentados neste trabalho por BRASIL (2014). Estes, que também aconteceram no Laboratório de Ensaios de Materiais de Estruturas (LABEME) da UFPB, tiveram algumas diferenças daqueles aqui publicados. Os painéis de alvenaria foram montados em tamanho real, medindo 140 cm de largura x 180 cm de altura, com uma cinta de concreto construída no topo da parede medindo 140 cm de largura x 20 cm de altura; os blocos cerâmicos, também de 8 furos, foram assentados com os furos na horizontal.

Os valores das tensões de ruptura obtidos por Brasil foram os seguintes: $\sigma_{\text{Crup01}} = 1,83$ MPa, $\sigma_{\text{Crup02}} = 0,89$ MPa, $\sigma_{\text{Crup03}} = 1,16$ MPa e $\sigma_{\text{med}} = 1,29$ MPa. Comparando os valores médios obtidos nos dois trabalhos, concluímos que a parede de alvenaria com furos na vertical obteve uma tensão crítica de ruptura 82,94% superior ao que foi alcançado com a parede de blocos com furos assentados na horizontal.

Outra recente pesquisa sobre o tema aqui discutido foi realizada por Moura (2015), também no LABEME-UFPB. As condições da pesquisa foram as mesmas em relação a geometria dos elementos, aos materiais e equipamentos utilizados e também nas condições do ensaio, variando apenas a forma como os blocos foram assentados, sendo a pesquisa feita por Moura com painéis de alvenaria de blocos cerâmicos com furos na posição horizontal.

Os valores das tensões de ruptura obtidos por Moura foram os seguintes: $\sigma_{\text{Crup01}} = 1,07$ MPa, $\sigma_{\text{Crup02}} = 1,08$ MPa, $\sigma_{\text{Crup03}} = 1,01$ MPa e $\sigma_{\text{med}} = 1,05$ MPa. Comparando os valores médios obtidos neste trabalho com aqueles obtidos por Moura (2015), concluímos que a parede de alvenaria com furos na posição vertical obteve uma tensão crítica de ruptura 124,76% superior ao que foi alcançado com a parede de blocos com furos na posição horizontal.

Por fim, a alvenaria de blocos cerâmicos com furos na posição vertical se mostrou mais resistente que a alvenaria de blocos cerâmicos com furos na posição horizontal, podendo ainda, se necessário, ter sua resistência aumentada com a adição de graute (micro concreto).

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, Josemar; COSTA, Paulo. **Alvenaria Estrutural e suas Anomalias**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.demc.ufmg.br/dalmo/08_Alvenaria%20Estrutural/ALVENARIA%20ESTRUTURAL%20E%20SUAS%20PATOLOGIAS%20rev5.ppt>. Acesso em: 22/01/2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-1: Componentes cerâmicos**. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos**. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8949 – Paredes de alvenaria estrutural – Ensaio à compressão simples**: Rio de Janeiro, 1985.
- BARROS, M.M.S.B. **O processo de produção das alvenarias racionalizadas**. In. Seminário Tecnologia e gestão na produção de edifícios: Vedações verticais. 1. anais. São Paulo. EPUSP. 1998.
- CAMACHO, JEFFERSON SIDNEY. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural**: UNESP/ Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutural (NEPAE), Ilha Solteira-SP, 2006.
- FIGUEIRÓ, W. O. **Racionalização do processo produtivo de edifícios em alvenaria estrutural**. Minas Gerais, 2009. Monografia – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Engenharia de materiais e Construção. Curso de Especialização em Construção Civil.
- LIMA, A. T. M. **Caracterização da tecnologia construtiva para a execução de alvenaria nas edificações da cidade de Fortaleza**. Monografia (graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, 2006.
- MARINOSKI, Deivis. **Alvenarias: conceitos, alvenaria de vedação, processo executivo**. (Slides Aula 2). Florianópolis, 2011. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Aula%20-%20Alvenarias_%20introducao+vedacao.pdf>. Acesso em: 05/02/2015.
- MOHAMAD, G.; NETO, A.B.da S.S.; PELISSER F.; LOURENÇO, P.B.; ROMAN, H.R. **Caracterização mecânica das argamassas de assentamento para alvenaria estrutural – previsão e modo de ruptura** - Revista Matéria, v. 14, n.2, pp. 824 – 844, UFRJ, Rio de Janeiro, 2009.
- NASCIMENTO, O. L. **Alvenarias**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBS, 2004
- PARISI, Cristiane Machado. **Estudo de Danos Causados a Revestimentos de Alvenarias de Blocos Cerâmicos de Vedação Através de Inundações Simuladas em Protótipos**. 2007. 161f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

- PEREIRA, M. F. P. **Anomalias em Paredes de Alvenaria sem função Estrutural**. Braga, 2005. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Minho, Braga, 2005.
- PRUDÊNCIO JÚNIOR, L.R., OLIVEIRA, A.L., BEDIN, C.A. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto**. 1ª ed. 61 p. Grupo de Tecnologia em Materiais e Componentes à Base de Cimento Portland. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- RAMALHO, M.A.; CORREA, M.R.S. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. São Paulo. PINI, 2003.
- ROMAN, Humberto; PARIZOTTO FILHO, Sergio. **Manual de Alvenaria Estrutural com Blocos Cerâmicos**. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABGP8AF/manual-alvenaria-estrutural>>. Acesso em 13/11/ 2014.
- SANTOS, RUAN FARIA CARVALHOSA. **Sistema Monolítico e Alvenaria de Blocos Cerâmicos – Estudo comparativo como elementos de vedações internas para edificações**: UFRJ/ Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2014.
- SILVA, M. M. A. **Diretrizes para o projeto de alvenarias de vedação**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo: 2003.
- SABBATINI, F. H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural silicoícalcária**. 1984. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade Federal de São Paulo, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 1984.
- TAGUCHI, MÁRIO KOJI. **Avaliação e qualificação das patologias das alvenarias de vedação nas edificações**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.
- TAULL, CARLOS ALBERTO. **Alvenaria estrutural**. 1ª Ed. Pini, 2010.
- THOMAZ, Ercio. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: Pini – USP- IPT, 1989.
- THOMAZ, Ercio; MITIDIÉRI FILHO, Cláudio Vicente; CLETO, Fabiana da Rocha; CARDOSO, Francisco Ferreira. **Código de práticas nº1: alvenaria de vedação em blocos cerâmicos**. São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2009.
- TRAMONTIN, André Pentead. **Avaliação experimental dos métodos de prevenção de fissuras na interface da alvenaria de vedação de pilar de concreto**. 2005. 178f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.
- YOSHITO, É. **Sistemas Construtivos em Alvenaria Estrutural de blocos de Concreto**, 2005.

ANEXOS

Tabela 5: Tabela de dimensionamento de laje treliçada unidirecional.

Laje treliçada unidirecional (sobrecarga x vão livre x reação nos apoios) - apoio simples									
Especificação da laje	Bloco cerâmico								
	LT 11 (7 + 4)= β			LT 16 (11 + 5)= β			LT 20 (15 + 5)= β		
β – altura	11,00 cm			16,00 cm			20,00 cm		
Capa	4,00 cm			5,00 cm			5,00 cm		
Consumo	51,00 t/m ²			76,00 t/m ²			87,00 t/m ²		
Peso	180,00 kgf/m ²			262,16 kgf/m ²			308,00 kgf/m ²		
Intereixo	48 cm			48 cm			48 cm		
Sobrecarga (kgf/m ²)	100,00	300,00	500,00	100,00	300,00	500,00	100,00	300,00	500,00
Vãos (m)	Cargas nos apoios (kg/m)								
2,00	280,01	480,01	680,01	362,16	562,16	762,16	408,00	608,00	808,00
2,50	350,01	600,01	850,10	451,70	702,70	952,70	510,00	760,00	1010,00
3,00	420,02	720,02	1020,02	543,24	843,24	1143,24	612,00	912,00	1212,00
3,50	490,02	840,02	1190,02	633,78	983,78	1333,78	714,00	1064,00	1414,00
4,00	560,02	960,02	1360,02	724,32	1124,32	1524,32	816,00	1216,00	1616,00
4,50	630,02	1080,02		814,86	1264,86	1714,86	918,00	1368,00	1818,00
5,00	700,03			905,40	1405,40	1905,40	1020,00	1520,00	2020,00
5,50				995,94	1545,94		1122,00	1672,00	2222,00
6,00				1086,48			1224,00	1824,00	
6,50							1326,00		

Fonte: Livro Concerto Armado Eu Te Amo volume dois página 113.