

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

THAÍS GASPERIN

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE TRELIÇAS PLANAS E BARRAS DE AÇO EM
SUBSTITUIÇÃO AS VERGAS DE ALVENARIAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2014

THAÍS GASPERIN

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE TRELIÇAS PLANAS E BARRAS DE AÇO EM
SUBSTITUIÇÃO AS VERGAS DE ALVENARIAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco.

Orientador Prof. Dr. José Ilo Pereira Filho
Co-orientador Prof. Dr. Rogério Carrazedo.

PATO BRANCO

2014



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE TRELIÇAS PLANAS E BARRAS DE AÇO EM SUBSTITUIÇÃO AS VERGAS DE ALVENARIAS

THAIS GASPERIN

Aos 25 dias do mês de julho do ano de 2014, às 10h30min, na Sala de Treinamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após argüição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná– UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº 20-TCC/2014.

Orientador: Prof. Dr. JOSÉ ILO PEREIRA FILHO (DACOC / UTFPR-PB)

Co-orientador: Prof. Dr. ROGÉRIO CARRAZEDO (DACOC / UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof. Msc. NORMELIO VITOR FRACARO (DACOC / UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof^a. Dr^a. HELOIZA A. PIASSA BENETTI (DACOC / UTFPR-PB)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por estar sempre presente, iluminando meu caminho e me protegendo.

A minha mãe Mara, por ter depositado sua confiança em mim, ter acompanhado todo o meu desenvolvimento acadêmico e me ajudado nos momentos difíceis, por ser a maior inspiradora para que eu siga meus sonhos.

Ao meu pai Dorvalino, pela confiança que sempre depositou em mim, pelo amor e pela dedicação.

Ao meu irmão Cesar, pelo carinho e pela amizade em todas as horas.

Ao Marcelo, por sua companhia, cuidado e compreensão quando precisei ficar ausente, durante todos esses anos.

A toda minha família, por ser meu porto seguro, me motivar e sempre compreender as minhas ausências.

Ao meu orientador José Ilo Pereira Filho, por me incentivar e motivar, e por sua dedicação ao me orientar no período de elaboração deste trabalho.

Ao meu co-orientador Rogério Carrazedo, por toda a ajuda e dedicação ao me orientar no desenvolvimento deste trabalho.

A todos os meus colegas de classe, pelo companheirismo.

Aos colegas de curso pela ajuda no canteiro-de-obras, durante a elaboração deste trabalho, mostrando sempre a pro-atividade e a postura acadêmica de excelência.

As minhas amigas e colegas Jéssica e Thayna, pelos momentos de descontração, pelas risadas, pelo ombro amigo.

A empresa ArcelorMittal, pela confiança e pelo incentivo a essa pesquisa.

A todos as pessoas que contribuíram para minha formação.

RESUMO

GASPERIN, Thaís. **Análise do desempenho de treliças planas e barras de aço em substituição às vergas de alvenarias**. 2014. 71p. Trabalho de Conclusão de Curso - Bacharelado em Engenharia Civil – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2013

No sistema convencional de alvenaria de vedação são utilizadas vergas e contravergas, sendo estas vigotes concreto armado, para reforçar os vãos de aberturas de portas e janelas. Nestas aberturas ocorre uma maior concentração de tensões, principalmente na parte central do vão. Um sistema adotado é a substituição dessas vergas por duas barras de aço, na junta horizontal de assentamento. Outro sistema, recentemente empregado, é a o uso das treliças planas de aço. Embora estas soluções não sejam normatizadas como a primeira, são cada vez mais utilizadas nas obras pela facilidade de aplicação com consequente economia de tempo. Desta forma, foram realizados ensaios experimentais em três tipos de protótipos que simulam a abertura da alvenaria: o primeiro construído sem nenhum reforço, o segundo utilizando barras de aço e o terceiro utilizando treliças planas de aço na junta horizontal de assentamento, buscando analisar o desempenho e o comportamento destas possíveis soluções.

Palavras-chave: Alvenaria. Aberturas. Verga. Reforço de abertura.

ABSTRACT

GASPERIN, Thais. **Performance analysis of plane trusses and steel bars to replace the masonry lintels.** 2014. 71p. Essay Course Conclusion - Bachelors in Civil Engineering - Federal Technological University of Paraná. Pato Branco, 2013.

Lintels and up lintels are used in conventional masonry fencing system, and these beams reinforced concrete to thicken the openings of doorways and windows. In these openings occurs the biggest stress concentration, especially in the central part of the gap. In replacement of those, a system of two horizontal steel bars is used to settle the joints. Another system recently appointed is the use of flat steel trusses. Although these solutions are not standardized as the first, are increasingly used in construction for ease of application with consequent savings of time. So, experimental tests were performed on three different prototypes that simulate the opening of the brickwork: the first built without reinforcement, the second using steel bars and the third using flat steel trusses in horizontal joint settlement, aiming at analyzing the performance and the doings of these potential solutions.

Keywords: Masonry. Openings. Lintel. Strengthening opening.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bloco cerâmico de vedação com furos na horizontal e na vertical.....	18
Figura 2 - Compressão em bloco, prisma e argamassa	22
Figura 3 - Distribuição de tensões no plano horizontal e vertical	24
Figura 4 - Distribuição de tensão de cisalhamento.....	24
Figura 5 - Fissura vertical	25
Figura 6 - Fissura vertical devido à carga uniformemente distribuída	25
Figura 7 - Fissuração vertical no alinhamento dos blocos.....	26
Figura 8 - Fissuração horizontal devido ao esmagamento da argamassa	26
Figura 9 - Fissuração horizontal devido ao esmagamento do bloco	27
Figura 10 - Fissuração nos cantos de aberturas	27
Figura 11 - Verga e contraverga de concreto	28
Figura 12 – Dispersão de cargas verticais sobre a viga.....	29
Figura 13 - Distribuição de carga	29
Figura 14 – Reforço de alvenaria com treliças planas.....	30
Figura 15 – Reforço de alvenaria com treliças planas.....	31
Figura 16 – Fluxograma do trabalho	32
Figura 17 – Preparação dos blocos cerâmicos	36
Figura 18 – Ensaio de compressão do bloco cerâmico na EMIC	36
Figura 19 – Corpos-de-prova prismáticos de argamassa.....	37
Figura 20 – Ensaio de compressão da argamassa.	38
Figura 21 – Ensaio de determinação de resistência do prisma	38
Figura 22 – Ensaio de compressão da argamassa.	39
Figura 23 – Modelo e dimensões do protótipo adotado	40
Figura 24 – Corte AA'	40
Figura 25 – Sequencia de construção do protótipo.	41
Figura 26 – Ensaio dos protótipos no pórtico de reação	41
Figura 27 – Heterogeneidade nos blocos cerâmicos	43
Figura 28 – Sequência de ruptura do protótipo sem reforço 1	47
Figura 29 – Sequência de ruptura do protótipo sem reforço 2	48
Figura 30 – Sequência de ruptura do protótipo sem reforço 3	48
Figura 31 – Sequência de ruptura do protótipo com reforço de barras de aço 1.....	50
Figura 32 – Sequência de ruptura do protótipo com reforço de barras de aço 2.....	51
Figura 33 – Sequência de ruptura do protótipo com reforço de barras de aço 3.....	52
Figura 34 – Sequência de ruptura do protótipo com reforço de treliça Murfor 1.....	54
Figura 35 – Sequência de ruptura do protótipo com reforço de treliça Murfor 2.....	54
Figura 36 – Sequência de ruptura do protótipo com reforço de treliça Murfor 3.....	55

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Carga em função do tempo dos protótipos sem reforço	49
Gráfico 2 – Carga em função do tempo dos protótipos com barras de aço.....	53
Gráfico 3 – Carga em função do tempo dos protótipos com treliças	56
Gráfico 4 – Resistência à compressão dos blocos cerâmicos.....	67
Gráfico 5 – Resistência à compressão da argamassa	69
Gráfico 6 – Resistência à compressão dos prismas.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultado do ensaio de compressão dos blocos.	42
Tabela 2 - Resultado do ensaio de compressão da argamassa.....	43
Tabela 3 – Resultado do ensaio de compressão dos prismas.	45
Tabela 4 – Resultado do ensaio dos protótipos sem reforço.....	49
Tabela 5 – Resultado do ensaio dos protótipos com reforço de barras de aço.....	53
Tabela 6 – Resultado do ensaio dos protótipos com reforços de treliças	55
Tabela 7 – Resultado geral dos ensaios com os protótipos.	57
Tabela 8 - Resultado do ensaio de resistência à compressão dos blocos.	67
Tabela 9 - Resultado do ensaio de resistência à compressão da argamassa.....	69
Tabela 10 - Resultado do ensaio de resistência à compressão dos prismas.	71
Tabela 11 – Análise granulométrica da areia natural	73

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVOS.....	11
1.1.1 Objetivo Geral.....	11
1.1.2 Objetivos Específicos	12
1.2 JUSTIFICATIVA.....	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 BREVE HISTÓRICO DA ALVENARIA.....	14
2.2 CONCEITUAÇÃO	15
2.3 MATERIAIS	15
2.3.1 Bloco Cerâmico	16
2.3.2 Argamassa.....	19
2.3.2.1 Juntas de Assentamento	20
2.4 ORIGEM DOS ESFORÇOS SOBRE A ALVENARIA	21
2.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA ALVENARIA	21
2.6 ESFORÇOS ATUANTES EM VÃOS DA ALVENARIA	23
2.7 FISSURAÇÃO NAS ALVENARIAS.....	25
2.8 VERGAS E CONTRAVERGAS	28
3 MÉTODOS E MATERIAIS	32
3.1 MATERIAIS	33
3.1.1 Aglomerantes.....	33
3.1.2 Agregado miúdo	33
3.1.1 Bloco cerâmico	33
3.1.2 Aço	34
3.2 EQUIPAMENTOS.....	34
3.3 PROCEDIMENTOS DE ENSAIO.....	34
3.3.1 Ensaios de Caracterização dos Blocos Cerâmicos	35
3.3.2 Ensaios de Caracterização da Argamassa	37
3.3.3 Ensaio de Caracterização Prévia da Alvenaria.....	38
3.3.4 Ensaio da alvenaria com abertura	39
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS CERÂMICOS	42
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA	43
4.3 PREVISÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DA ALVENARIA.....	44
4.4 CARACTERIZAÇÃO DA ALVENARIA - PRISMAS	45
4.5 ENSAIO À COMPRESSÃO DOS PROTÓTIPOS	46
4.5.1 Protótipo sem reforço	46
4.5.2 Protótipo com reforço de barras de aço.....	50
4.5.3 Protótipo com reforço de treliças planas Murfor	53
4.5.4 Comparação entre os resultados obtidos para cada modelo.....	56
5 CONCLUSÃO	58
6 CONTINUIDADE DO TRABALHO OU TRABALHOS FUTUROS	61
REFERÊNCIAS	62
APÊNDICE A – ENSAIO À COMPRESSÃO DOS BLOCOS CERÂMICOS	66
APÊNDICE B – ENSAIO À COMPRESSÃO DA ARGAMASSA	68
APÊNDICE C – ENSAIO À COMPRESSÃO DOS PRISMAS	70
APÊNDICE D – GRANULOMETRIA DA AREIA NATURAL	72

1 INTRODUÇÃO

O ser humano, em qualquer parte do mundo, desde tempos imemoriais, procura um lugar para abrigar-se das intempéries, vivendo inicialmente em cavernas e por consequência do processo evolutivo, passa a construir a sua morada.

Observa-se que cada povo desenvolveu uma forma diferenciada de construir, geralmente utilizando as matérias primas mais acessíveis e abundantes, de acordo com a localização geográfica.

Segundo Moliterno (1995, p.1) “das maciças construções em pedra, passaram-se às alvenarias de tijolos, das estruturas de aço às estruturas de concreto”. A Associação Brasileira da Construção Industrializada (ABCI, 1990) define alvenaria como a união de blocos ou tijolos por argamassa, formando um conjunto coeso e rígido. Esta alvenaria pode ser estrutural ou de vedação, sendo que a primeira é aquela que também é responsável pela absorção dos esforços estruturais, enquanto a segunda tem a função exclusiva de fechamento ou divisória (MOLITERNO, 1995).

Como no sistema construtivo convencional a alvenaria tem normalmente apenas a função de vedação, são necessários reforços em determinados locais, tais como os vãos de portas e janelas, onde são utilizadas vergas e contravergas, que de acordo com a ABCI (1990, s/p) “são reforços horizontais colocados na parte superior das aberturas, para resistir aos esforços de tração na flexão, redistribuindo para as paredes as cargas verticais”, já as contravergas “são colocadas na parte inferior das aberturas e tem a função de distribuir os esforços concentrados”, visando eliminar patologias estruturais.

Atualmente estas vergas e contravergas são confeccionadas em concreto armado, e sua elaboração é uma etapa distinta da construção da alvenaria, uma vez que é necessária a montagem de formas, armaduras e concretagem das peças, especialmente para este fim.

Uma solução, já em uso, para eliminar esta etapa, é a substituição das vergas e contravergas de concreto armado, por treliças planas ou por barras de aço, aplicadas diretamente nas juntas horizontais de argamassa de assentamento dos blocos cerâmicos onde há maior concentração de tensões.

Dessa forma, visando o esclarecimento técnico acerca das soluções já empregadas em obras comuns, este trabalho tem como objetivo verificar se essa solução é viável através da apreciação dos resultados de ensaios laboratoriais.

O trabalho é composto pelo seguintes etapas:

- i. Histórico, contextualização e propriedades mecânicas da alvenaria;
- ii. Materiais empregados na alvenaria;
- iii. Patologias decorrentes dos esforços atuantes;
- iv. Função das vergas e contravergas e análise das cargas atuantes sobre essas.
- v. Descrição do método de trabalho, ensaios, equipamentos e materiais que foram utilizados;
- vi. Explanação sobre o experimento, e sobre o resultado dos ensaios experimentais em alvenaria de vedação, utilizando-se de dois modelos de reforço no local de concentração de tensões nas aberturas: utilização de treliças planas de aço na junta horizontal de assentamento, utilização de barras de aço na junta horizontal de assentamento, além da comparação com um modelo sem nenhum reforço.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar por meio de ensaios comparativos se a utilização de treliças planas e barras de aço nas juntas horizontais de assentamento dos blocos cerâmicos é eficaz.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Construção dos protótipos de alvenaria com treliça plana e barra de aço nos locais de concentração de tensões, e protótipos sem nenhum reforço.
- Ensaiar os protótipos com a finalidade de verificar sua resistência.
- Analisar o comportamento e desempenho de cada sistema construtivo.

1.2 JUSTIFICATIVA

A crescente industrialização da construção civil, voltada para a construção racionalizada, tende a aprimorar o sistema construtivo convencional, que segundo Manzione (2004), é formado por pilares, vigas, lajes e alvenarias de vedação. Porém, não se pode esquecer que as empresas que dominam métodos construtivos industrializados, têm seu foco voltado para a construção de grandes edifícios ou estão localizadas em grandes centros urbanos. Dessa forma, esses sistemas industrializados são inacessíveis ou inviáveis para a maioria da população, que geralmente é consumidora de obras de pequeno porte, onde a utilização da alvenaria em blocos cerâmicos ainda é a mais usual.

A pesquisa geralmente se concentra no emprego de soluções para as grandes obras, não se atentando que a construção de alvenaria convencional ainda não foi amplamente substituída por novas tecnologias, como *wood frame* e *steel frame*, por exemplo, e o processo construtivo de alvenaria de vedação não é o principal alvo dos estudos, assim, o processo não se aprimora.

O modelo construtivo de alvenaria convencional faz uso de vergas e contravergas, as quais tem a função de evitar a fissuração da alvenaria, absorvendo e redistribuindo os esforços concentrados nas extremidades das aberturas. Estas são necessárias para a fortificação dos vãos abertos na alvenaria para a colocação de portas e janelas, visando eliminar possível patologia estrutural, sendo este o modelo padrão empregado atualmente no Brasil (MAMEDA, 2001).

Buscando a racionalização do processo construtivo, vislumbra-se a possibilidade de eliminar esta etapa, substituindo as vergas e contravergas, pela

utilização de treliças planas ou barras de aço, aplicadas nas juntas horizontais de argamassa de assentamento dos blocos cerâmicos, que poderiam ser tão eficientes e resistentes quanto a utilização das tradicionais vergas de concreto.

A utilização de treliças de aço em substituição as vergas e contravergas, teria a mesma eficácia, eliminando-se uma etapa da construção, com consequente diminuição de tempo, mão de obra e custo, além de aprimorar um método construtivo amplamente utilizado.

Esta pesquisa busca analisar a resistência e o desempenho do uso das treliças planas e barras de aço, com a aplicação de ensaios experimentais em paredes de alvenaria convencional, com dois tipos de reforço: reforço das fiadas de alvenaria convencional com treliças planas e com barras de aço. Estes ensaios foram realizados utilizando o pórtico de reação do laboratório de estruturas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná de Pato Branco.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 BREVE HISTÓRICO DA ALVENARIA

As construções em alvenaria datam de 10.000 AC, onde persas e assírios já faziam uso de tijolos secos ao sol. Nos anos 3000 AC os tijolos passaram a ser queimados em fornos e serviram como matéria prima de construções históricas, uma delas o Farol de Alexandria, com 165m de altura, o qual foi destruído por um terremoto em 1300DC (CAMACHO, 2006).

Entre os séculos XII e XVII castelos e grandes catedrais foram também construídos em alvenaria. O edifício Manadock, em Chicago, foi considerado um símbolo da alvenaria estrutural, mesmo com paredes de 1,80m de espessura (RICHTER, 2007).

Buscando aprimorar a construção em alvenaria, em 1880 foram realizadas as primeiras pesquisas experimentais de tijolos nos Estados Unidos (CAMACHO, 2006).

O que perpetua este sistema construtivo no Brasil até hoje é o fato de que as matérias primas são encontradas em abundância na natureza.

De acordo com Borges:

Existem, permanentemente, tentativas para modernizar e simplificar os métodos mais antiquados de construção. Por essa razão, constantemente surgem novidades no ramo. Infelizmente, a maioria delas apresenta apenas o característico 'novo' e, pela ausência de outras vantagens, não chega a merecer aprovação, caindo no esquecimento. Reconhecemos que um dos detalhes que tem permanecido mais fiel, aos processos antigos, é a alvenaria de tijolos de barro. Somente o tamanho do tijolo tem se apresentado cada vez menor, com conseqüente diminuição da espessura das paredes. São as vantagens apresentadas pelo tijolo comum, que tem feito resistir processo tão antigo, contra outros mais modernos (BORGES, 2009, p.81).

Observa-se no Brasil, como destacado por Camacho (2006), que a alvenaria foi abandonada como estrutura no início do século XX, devido o surgimento do aço e do concreto armado, os quais oferecem maiores vantagens econômicas e técnicas, e o seu emprego foi retomado quando os estudos sobre a alvenaria estrutural foram iniciados no fim da década de 60 em São Paulo.

Entretanto, o que se observa é que devido às exigências impostas no planejamento e execução da alvenaria estrutural, que tornam o processo mais oneroso, a falta de mão-de-obra especializada, e pela inflexibilidade da estrutura, a preferência pela alvenaria de vedação ainda perpetua.

2.2 CONCEITUAÇÃO

Yazigi (2000, p.417) define a alvenaria como “o conjunto de paredes, muros e obras similares, composto de pedras naturais e/ou blocos ou tijolos artificiais, ligados ou não por argamassa”.

A alvenaria pode ser dividida em de vedação, autoportante e estrutural. No primeiro caso, de acordo com Almeida (2012, p.18), elas “são designadas a compartimentar espaços, devem suportar tão somente o peso próprio e cargas de uso”, assim, têm como função vedar os espaços, não tendo nenhuma função estrutural.

A alvenaria autoportante, “é o sistema em que a alvenaria tem função estrutural, dispensando a construção de vigas e pilares” (UFRGS, 2013, s/p), porém o bloco utilizado não é estrutural, sendo empregado, por exemplo, o tijolo maciço.

Já a alvenaria estrutural, de acordo com Leggerini (2010, p.1) “tem a finalidade de resistir ao carregamento da edificação, tendo as paredes função resistente”, Borges (2009, p.124) afirma que “o conceito básico é que os esforços gerados sejam absorvidos pela própria alvenaria”.

2.3 MATERIAIS

A alvenaria pode ser constituída por vários materiais naturais ou artificiais, como destacado pela própria definição. A alvenaria estrutural é composta por blocos estruturais que resistem a solicitações externas, enquanto a alvenaria de vedação é formada por blocos sem função estrutural, resistindo apenas ao peso próprio. A

junção desses blocos é feita com a argamassa de assentamento, formando a alvenaria.

2.3.1 Bloco Cerâmico

Existe uma variedade de materiais disponíveis para a fabricação de blocos. No mercado brasileiro são produzidos, essencialmente, quatro tipos de blocos: o cerâmico, o de concreto, o de concreto celular e o de sílico-calcário (SAYEGH, 2002).

Os blocos cerâmicos, conforme descrito por Yasigi (2000, p.429) “são fabricados basicamente com argila, moldados por extrusão e queimados a uma temperatura (em torno de 800°C), que permite ao produto final atender as condições determinadas em normas técnicas”. A argila é matéria prima facilmente encontrada. Costa (2011, s/p) afirma que “os blocos cerâmicos são vistos como matéria-prima natural abundante no país, com capacidade de reduzir custos de obras quando utilizados em projetos racionalizados”. Ou seja, o bloco cerâmico da alvenaria tradicional é abundante, o que o torna mais barato que os demais, resultando em um elemento de vedação econômico.

Dentre as principais características dessa peça cerâmica pode-se destacar a grande durabilidade advinda da alta temperatura de fusão ao qual é submetida, é um isolante térmico, garantindo o conforto térmico nos ambientes internos da edificação, é um material duro e por essa razão, frágil. Conforme citado por Yazigi (2000, p.429) os blocos de vedação comuns “são blocos de uso corrente, de classe 10, que apresentam resistência à compressão, na área bruta, de 1Mpa”. Enquanto que NBR 15270-1 (ABNT, 2005), mais recente, afirma que os blocos cerâmicos de vedação usados com os furos na horizontal, devem apresentar resistência à compressão maior ou igual a 1,5MPa, enquanto que para blocos cerâmicos usados com furos na vertical a resistência deve ser maior ou igual a 3MPa.

O tijolo também é um material cerâmico, e o que difere do bloco é a forma de produção, onde o segundo passa por uma linha de fabricação bem definida, com preparação adequada da matéria prima que acaba por atribuir qualidade superior ao material utilizado (BAUER, 2010).

Mesmo com essa diferenciação quanto ao rigor da confecção, existe uma variedade de blocos cerâmicos no mercado apresentando variação na quantidade e tipo de furos, nas espessuras das paredes, nas dimensões e textura das faces dos blocos (BAUER, 2010).

A inconstância nessas características exige maior cautela na seleção do produto, mesmo para a alvenaria de vedação, garantindo que as normas técnicas sejam de fato respeitadas.

Em um estudo realizado pelo Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial - Inmetro (2001), ensaios revelam que existe uma predisposição de que os blocos cerâmicos comercializados não atendam aos requisitos vigentes nas Normas Brasileiras (NBRs) e na Portaria do Inmetro, visto que, das doze marcas analisadas, apenas uma passou em todas as exigências impostas.

É comum na compra do bloco de vedação considerar-se apenas o preço, ignorando as patologias decorrentes de um exemplar inadequado. Com um mercado menos exigente, o consumidor que procura maior qualidade, tem dificuldade em encontrar blocos cerâmicos em conformidade (SAYEGH, 2002).

Com a finalidade de padronizar os modelos de blocos cerâmicos, garantindo a sua qualidade, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) elaborou três NBRs indispensáveis para a caracterização dos blocos cerâmicos estruturais e de vedação.

A NBR 15270-1 (ABNT, 2005) estabelece os parâmetros para as dimensões, características física e mecânica dos blocos cerâmicos de vedação. Define que “os blocos cerâmicos para vedação constituem as alvenarias externas ou internas, que não tem a função de resistir a outras cargas verticais, além do peso da alvenaria do qual faz parte”. A mesma norma destaca que o bloco cerâmico para vedação é fabricado para ser usado com os furos na horizontal ou com furos na vertical, conforme ilustrado na Figura 1.

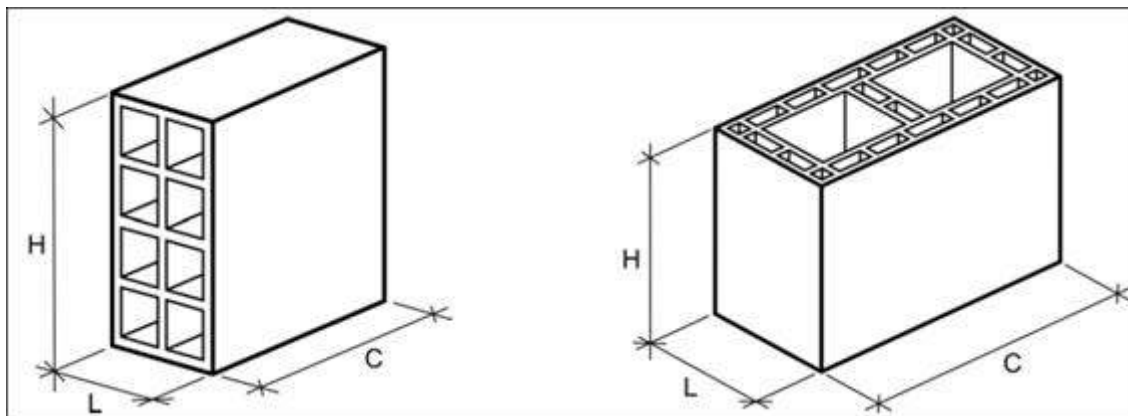


Figura 1 - Bloco cerâmico de vedação com furos na horizontal e na vertical
Fonte: NBR15270-1 (2005, p.2).

A NBR 15270-1 (ABNT, 2005) ressalta as características geométricas em que os blocos devem se enquadrar, sendo elas as medidas das faces, a espessura dos septos e paredes externas dos blocos, o desvio em relação ao esquadro, a planeza das faces e a área bruta. A verificação desses requisitos garante que, a partir de uma amostra de blocos cerâmicos, as características geométricas serão ideais para o assentamento da alvenaria, assegurando que não ocorrerão problemas de fissuração, como os citados por Thomaz (1989, p.58) “em função de sua heterogeneidade (forma, composição, etc.) (...) são introduzidas solicitações locais de flexão nos tijolos, podendo surgir fissuras verticais na alvenaria”.

Também é verificada, na NBR 15270-1 (ABNT, 2005), a característica mecânica: resistência à compressão individual. E as características físicas, que são a massa seca e o índice de absorção d'água. Esse índice de absorção d'água é muito importante para garantir a eficácia na ligação componente/argamassa, devendo ser suficiente para proporcionar aderência da argamassa e estanqueidade da junta de assentamento, bem como não prejudicar a hidratação do aglomerante da argamassa (THOMAZ, 1989).

O método dos ensaios para definir as características citadas é descrito na NBR 15270-3 (ABNT, 2005), e os blocos que atingem as tolerâncias previstas na NBR 15270-1 (ABNT, 2005) recebem certificação do Inmetro.

2.3.2 Argamassa

A NBR 13281 (ABNT, 2005, p.2) assegura que a argamassa é uma “mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada)”.

O agregado miúdo é aquele capaz de passar na peneira com abertura de malha de 4,75 mm (NBR 7211, 2009), sendo a areia o mais comumente utilizado. Essas devem ser lavadas e bem granuladas, optando pelas areias médias com módulo de finura entre 2 e 3 mm (THOMAZ, 2009).

Os aglomerantes inorgânicos são o cimento e a cal hidratada. O cimento tem função relevante na resistência mecânica da parede, na aderência e na estanqueidade à água nas juntas de assentamento, enquanto a cal oferece um módulo de deformação menor às paredes devido a sua característica de reter a água, proporcionando maior potencial a parede de conformar as movimentações decorrentes de deformações (THOMAZ, 2009).

A argamassa de assentamento deve ter características que garantam o seu desempenho na alvenaria de vedação. Deve apresentar plasticidade e consistência de modo a suportar o peso dos tijolos e mantê-los no alinhamento por ocasião do assentamento. Além disso, devem ser impermeáveis quando aplicadas em paredes não revestidas e/ou em contato com a umidade (NBR 8545, 1984).

Segundo Giorgetti (2007) as propriedades essenciais ao bom desempenho das argamassas são:

- Trabalhabilidade: consistência, plasticidade e coesão ideais para o processo de execução da alvenaria;
- Elevada retenção de água: para que a sucção do bloco não prejudique as funções da argamassa;
- Aderência: o suficiente para que a junta resista aos esforços cisalhantes e de tração, garantindo também uma alvenaria estanque;
- Resistência mecânica: resistir aos esforços durante a construção e não comprometer a alvenaria durante a utilização.

- Capacidade de absorver deformações: acomodar as deformações de retração na secagem e de origem térmica, e também aquelas devido aos pequenos movimentos da estrutura sem apresentar fissuração.

Thomaz (1989, p.140), indica a utilização de argamassas mistas, ressaltando que “a maioria das especificações técnicas recomendam argamassas proporcionadas com um volume de aglomerante (cimento e cal misturados) pra três volumes de areia, relação esta que parece ser ideal para que os grãos de areia sejam totalmente recobertos pela pasta de aglomerante”. Destaca ainda a argamassa recomendada pela norma americana ASTM C-91, para alvenaria de vedação: argamassa 0: 1:1,25 a 2,5: 5,0 a 10,5 (cimento, cal hidratada, areia).

Para avaliar as argamassas de assentamento, os ensaios exigidos pela NBR 13281 (ABNT, 2005), são: coeficiente de capilaridade, retenção de água, densidade de massa aparente nos estados fresco e endurecido, resistência à compressão, resistência à tração na flexão e resistência de aderência à tração.

2.3.2.1 Juntas de Assentamento

As juntas de assentamento da alvenaria tem função de unir as peças, com a finalidade de compor um elemento monolítico, que se comporta como um conjunto rígido, contribuindo também para que a alvenaria resista aos esforços laterais. Auxilia na distribuição uniforme das cargas atuantes na parede por toda sua área e absorve as deformações naturais de origem térmica ou higroscópica (retração por secagem), selando as juntas e garantindo a estanqueidade da parede à penetração de umidade (CARASEK, 2005).

A NBR 8545 (ABNT, 1984) estabelece que as juntas de assentamento devem ter no máximo 10mm.

2.4 ORIGEM DOS ESFORÇOS SOBRE A ALVENARIA

Mesmo não possuindo propriedade para suportar esforços, a alvenaria de vedação acaba sofrendo algumas solicitações inevitáveis ao comportamento das estruturas. Essas solicitações são, em maioria, advindas da acomodação natural do solo e das peças de concreto, das deformações na estrutura e de cargas aplicadas pelos ventos.

Além destas, a alvenaria é submetida às tensões internas causadas pela variação de temperatura em sua própria composição. Também deve suportar seu peso próprio, que apesar de não parecer algo desafiador, exige resistência nas paredes muito altas, ou quando houver uma abertura abaixo de uma grande faixa de alvenaria.

Não existem normas que regulamentem a construção de alvenarias não estruturais, sem limitação, por exemplo, da altura máxima da alvenaria sem a sobreposição de vigas, ou do comprimento máximo desta, sem o enrijecimento com pilares. Dessa forma, a estabilidade das paredes de alvenaria de vedação não é tratada com atenção ou prioridade no momento de projeto, existindo apenas orientação acerca das dimensões máximas das paredes, sem comprometer a segurança.

2.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA ALVENARIA

As propriedades mecânicas da alvenaria variam de acordo com a característica dos seus componentes, como a junta de argamassa, a aderência entre bloco e argamassa, a geometria da parede e o seu vínculo com os pilares e vigas. (SILVA, 2003). Dessa forma, a alvenaria, formada por blocos cerâmicos e argamassa, trabalha como um conjunto, de forma homogênea.

A alvenaria possui um comportamento satisfatório frente as solicitações de compressão, que dependem, basicamente da “resistência à compressão dos tijolos, a resistência à compressão das argamassas, a espessura da junta de assentamento, e da qualidade da mão-de-obra” (KALIL, 2007, p.25).

Os esforços de tração, flexão e cisalhamento exigem que a aderência entre a argamassa e as unidades seja suficiente para suportar a solicitação imposta. Em locais aonde a parede de vedação não tem propriedades de resistência mecânica suficiente para suportar e distribuir os esforços, é preciso fazer uso de outros componentes com resistência a tração, como telas e barras de aço. (SILVA, 2003). Ou seja, nos vãos de portas e janelas, onde a concentração de tensões é elevada, são feitos reforços na alvenaria para evitar patologias estruturais.

A resistência aos esforços de tração na direção vertical depende da aderência da argamassa com os blocos cerâmicos, enquanto que na direção horizontal a solicitação de tração é proveniente dos esforços de flexão, adquirindo ainda resistência ao cisalhamento nos transpasses entre os blocos (KALIL,2007).

Os ensaios de prismas são uma forma de verificar a resistência da alvenaria estrutural, por representar uma forma mais aproximada da alvenaria, do que ensaiar apenas o bloco cerâmico (GROHMANN, 2006). Além de ser um ensaio técnico mais econômico.

A NBR 15961-2 (ABNT, 2011, p.3), define os prismas como o “corpo de prova obtido pela superposição de blocos unidos por junta de argamassa”. Complementar é a definição de Kalil (2007), que afirma que os prismas são corpos-de-prova que consideram a relação entre o bloco e a argamassa para os ensaios de resistência a compressão da alvenaria.

Em observações técnicas de ensaios com prismas, Kalil (2007, p.11) afirma que “a resistência à compressão dos prismas (f_m) é menor do que a resistência à compressão das unidades (blocos) (f_b) e é maior do que a resistência à compressão da argamassa (f_a)”, conforme a Figura 2:

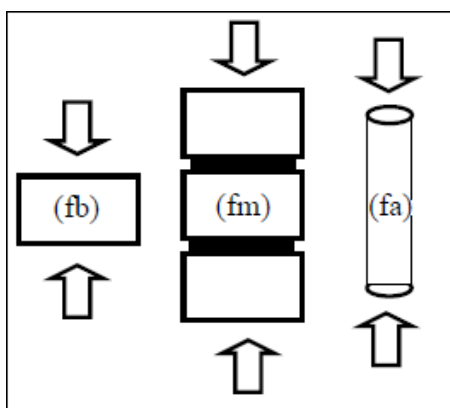


Figura 2 - Compressão em bloco, prisma e argamassa
Fonte: Kalil (2007, p.11).

As normas para ensaio de prismas são direcionadas a blocos de concreto e a alvenaria estrutural, e não existe atualmente uma norma de prismas para alvenaria de vedação com blocos cerâmicos. Entretanto, é possível adotar a NBR 8215 (ABNT, 1983) - prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural, para ensaios de prismas de blocos cerâmicos.

2.6 ESFORÇOS ATUANTES EM VÃOS DA ALVENARIA

As paredes em alvenaria, de vedação ou estrutural, normalmente apresentam comportamento satisfatório às solicitações de compressão axial, enquanto para esforços de tração e cisalhamento o desempenho tende a ser baixo. Por essa razão, devem-se evitar as cargas excêntricas, distribuir as cargas concentradas, e em aberturas devem ser instaladas vergas e contravergas para absorver as concentrações de tensão (THOMAZ, 1989).

Em sua dissertação, Mamede (2001) utilizou um programa computacional para representar o comportamento da alvenaria nas regiões com aberturas. A análise foi feita para alvenaria estrutural em blocos de concreto, entretanto, pode-se considerar que, apesar da intensidade do carregamento ser inferior, o material e a função da alvenaria ser distinto, a distribuição das tensões é semelhante para uma alvenaria de vedação em blocos cerâmicos.

Na Figura 3 Mamede (2001, p.104) diz que “nos cantos superiores das aberturas, há uma concentração de tensões de compressão”, visível na região dos vértices superiores da abertura, com coloração azul escura. Enquanto que no centro superior e inferior da abertura existe uma concentração do esforço de tração destacado pela cor vermelha, “conclui-se que é necessária a presença da verga e contraverga para evitar o surgimento de fissuras sobre/sob as aberturas de janelas, pois a alvenaria não suportaria as tensões de tração atuantes.”.

Além disso, Mamede:

Para absorver as tensões concentradas dos cantos, as vergas devem estender-se além do vão da abertura... Os cantos inferiores das aberturas não apresentam concentração de tensões, não necessitando a priori, que as contravergas se alonguem além do vão da abertura. No entanto, para esta

modelagem não foi considerada a retração da parede; portanto, recomenda-se também estender a contraverga. (MAMADE, 2001, p.104).

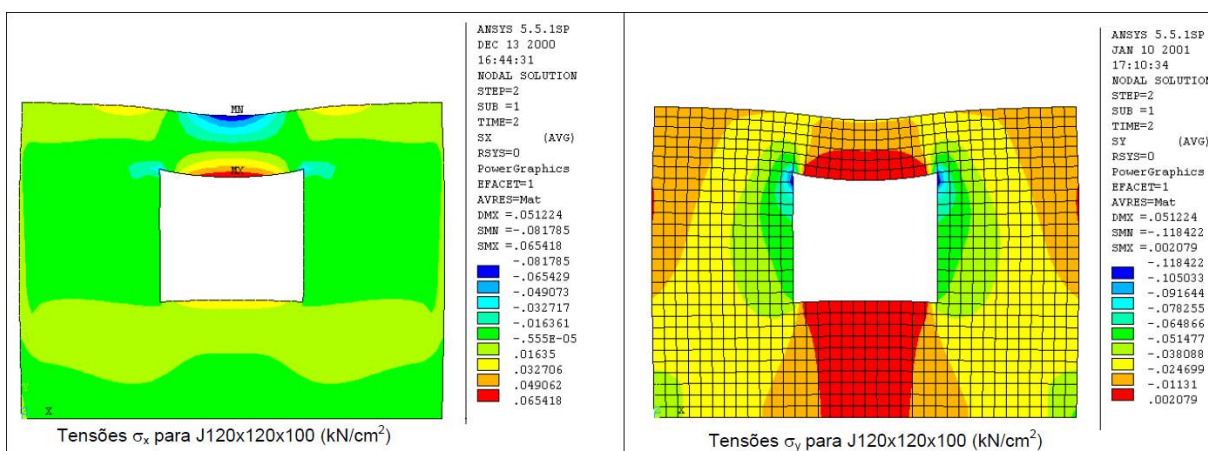


Figura 3 - Distribuição de tensões no plano horizontal e vertical
Fonte: Mamede (2001, p.103).

De forma análoga, observa-se na Figura 4, que a atuação da tensão de cisalhamento também age com intensidade nos cantos superiores da abertura, atingido valores superiores do que os aceitos pela ABNT, conforme explanada por Mamede (2001).

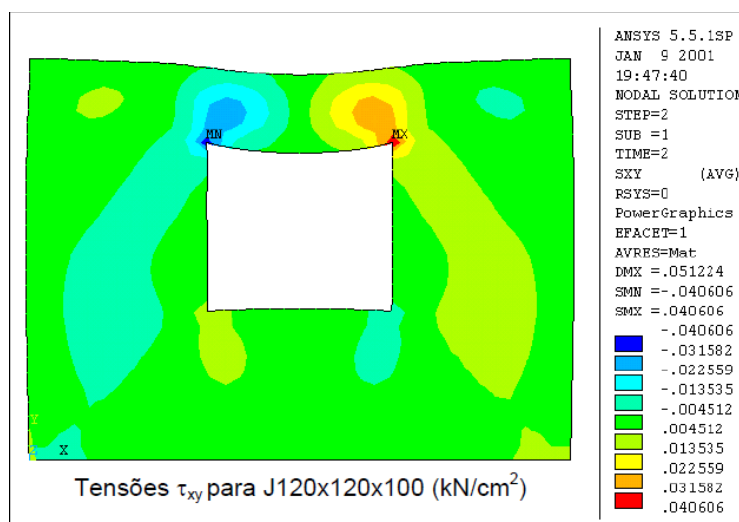


Figura 4 - Distribuição de tensão de cisalhamento
Fonte: Mamede (2001, p.105).

2.7 FISSURAÇÃO NAS ALVENARIAS

Nas alvenarias compostas por blocos vazados, existem solicitações locais de flexão devido a diferença de comportamento entre os blocos e a heterogeneidade de suas características, podendo ocasionar fissuras verticais na alvenaria. Isso também ocorre quando a argamassa de assentamento apresentam deformações transversais maiores que as deformações do bloco, introduzindo tensões de tração nas duas direções do plano horizontal, provocando a fissuração vertical (THOMAZ, 1989). O fenômeno pode ser visualizado na Figura 5:

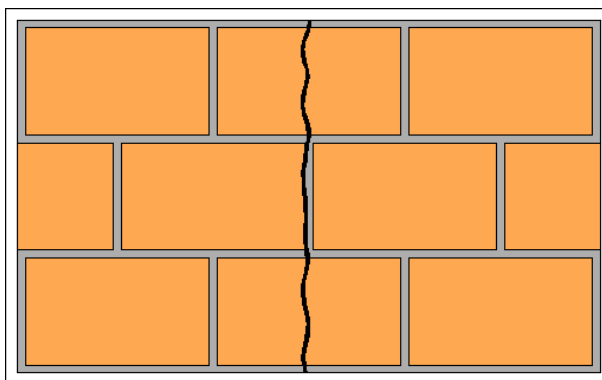


Figura 5 - Fissura vertical
Fonte: Modificado de ABCI (1990, p.98).

Segundo Usuda (2004), essa fissuração devido a deformação transversal da argamassa ocorre por flexão local, apresentando em paredes com trechos contínuos, fissuras verticais, conforme ilustrado na Figura 6:

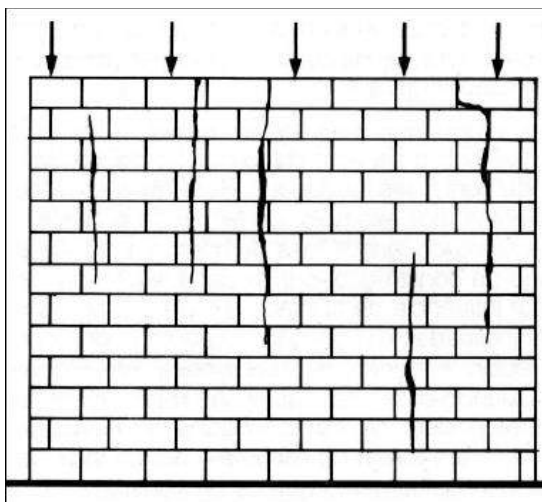


Figura 6 - Fissura vertical devido à carga uniformemente distribuída
Fonte: ABCI (1990, P.99).

Outro tipo de ruptura é aquela provocada quando a resistência a tração do bloco é superior a resistência a tração da argamassa, ou a tensão de aderência argamassa/bloco, conforme ilustrado na Figura 7:

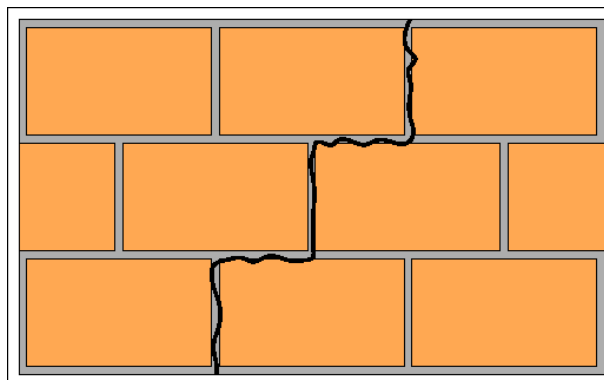


Figura 7 - Fissuração vertical no alinhamento dos blocos
Fonte: Modificado de ABCI (1990, p.98).

As fissurações horizontais ocorrem quando os componentes da alvenaria ou a própria argamassa de assentamento sofrem tensões de compressão, ou solicitações de flexocompressão da parede.

Segundo Usuda:

As fissuras horizontais nas alvenarias, causadas por sobrecargas verticais atuando axialmente no plano da parede, não são frequentes; poderão ocorrer, entretanto, pelo esmagamento da argamassa das juntas de assentamento. Tais fissuras, contudo, não são muito raras em paredes submetidas à flexocompressão (USUDA, 2004, p.59).

Dessa forma, pode ocorrer o esmagamento da argamassa (Figura 8), ou do bloco cerâmico (Figura 9).

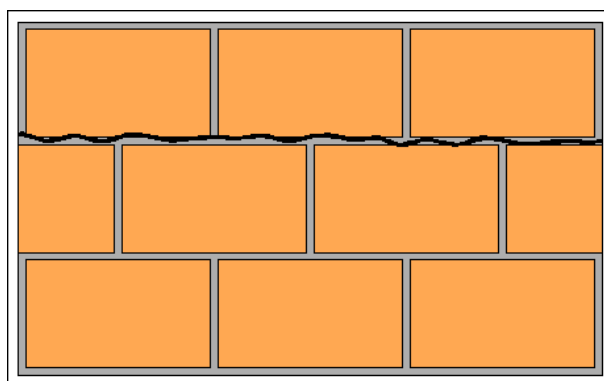


Figura 8 - Fissuração horizontal devido ao esmagamento da argamassa
Fonte: Giorgetti (2007, p.15).

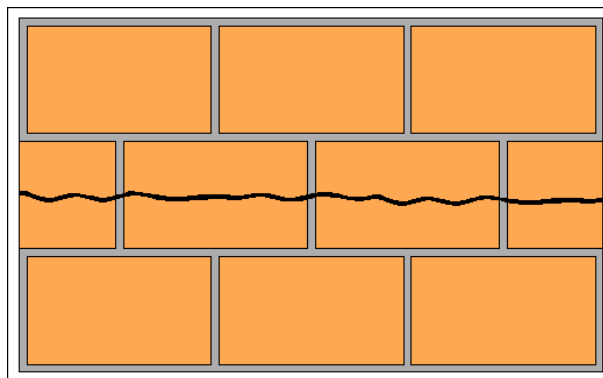


Figura 9 - Fissuração horizontal devido ao esmagamento do bloco
Fonte: Giorgetti (2007, p.15).

Como destacado por Thomaz (1989, p.64), na extensão com presença de vãos, onde a concentração de tensões é maior, as trincas se desenvolvem nos vértices da abertura e sob o peitoril. Essas fissuras podem se manifestar de diversas maneiras, pois dependem de fatores como: “dimensões do painel de alvenaria, dimensões da abertura, posição que a abertura ocupa no painel, anisotropia dos materiais que constituem a alvenaria, dimensões e rigidez de vergas e contravergas, etc.”.

Para as alvenarias de vedação, essas fissuras causadas nos vértices das aberturas, são decorrentes de deformações das lajes, viga superior ou viga baldrame, podendo, conforme Thomaz (1989, p.76), “ganhar configurações diversas em função da extensão da parede, da intensidade da movimentação, do tamanho e da posição dessas aberturas”. Contudo, no geral, a configuração das fissuras é semelhante a ilustrada na Figura 10:

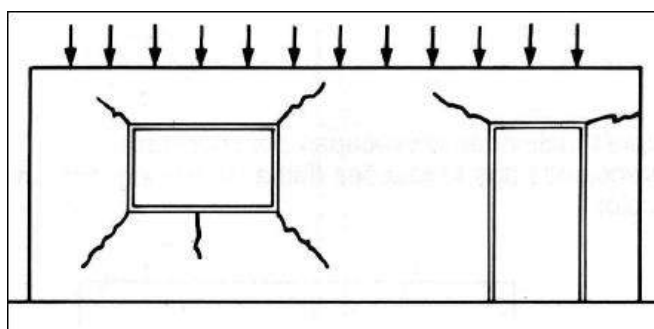


Figura 10 - Fissuração nos cantos de aberturas
Fonte: ABCI (1990, p.104).

2.8 VERGAS E CONTRAVERGAS

Segundo a NBR 8545 (ABNT, 1984, p.9), as vergas de concreto são elementos estruturais, que devem ser moldados ou colocados sobre o vão de aberturas da alvenaria, enquanto em janelas ou caixilhos devem também ser moldadas ou instaladas contravergas. A norma também fixa que essas vergas e contravergas devem ter altura mínima de 10 cm e o seu comprimento deve exceder no mínimo 20 cm do vão. Para vãos muito próximos, a norma recomenda que sejam utilizados apenas um elemento estrutural para ambos os vãos, conforme ilustrado na Figura 11. Para vãos que ultrapassam 2,40m as verga e contraverga devem ser calculadas como uma viga.

Quando as extremidades do vão estão próximas aos pilares, é comum adotar vergas e contravergas contínuas até o pilar, pela facilidade na execução e garantia de que o reforço estrutural será eficaz.

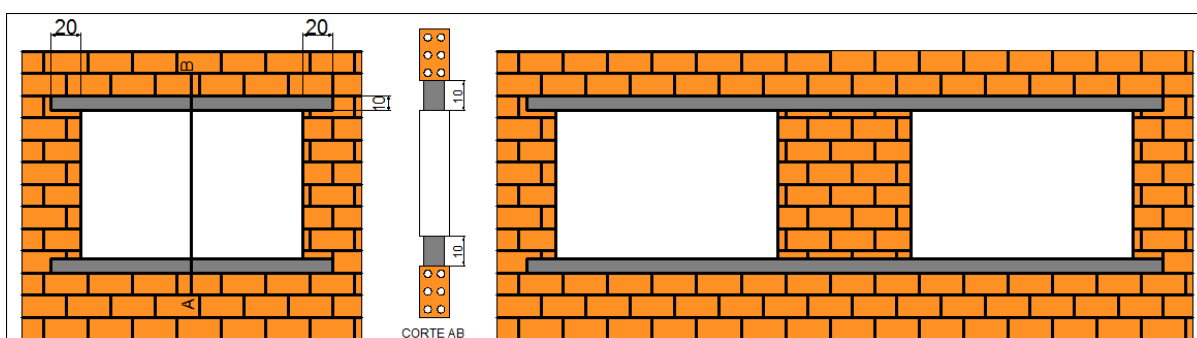


Figura 11 - Verga e contraverga de concreto
Fonte: Autora (2014).

A NBR 15812-1 (ABNT, 2010), que fala sobre blocos cerâmicos para alvenaria estrutural, afirma que a distribuição da carga se dá conforme o princípio geral de dispersão das ações na alvenaria, em um ângulo de 45° (Figura 12).

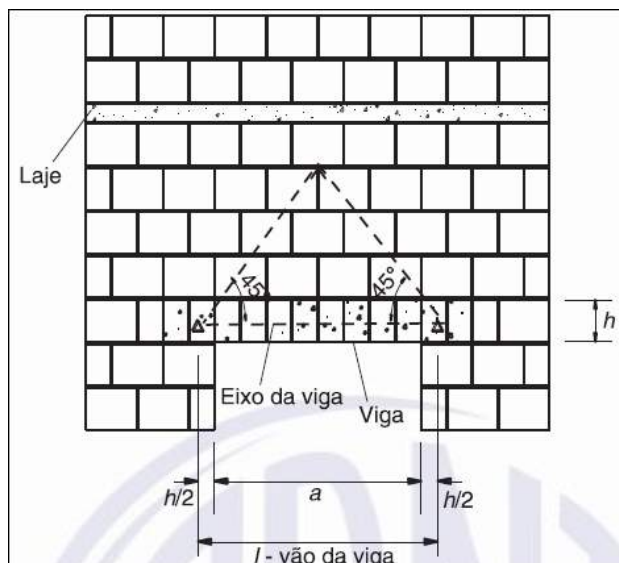


Figura 12 – Dispersão de cargas verticais sobre a viga
Fonte: NBR 15812-1 (ABNT, 2010, p.18).

Sobre isso, Rezende (2012, s/p) diz que “adota-se como carregamento o peso da parede contida no triângulo isósceles formado sobre o vão da abertura”, como mostrado na Figura 13.

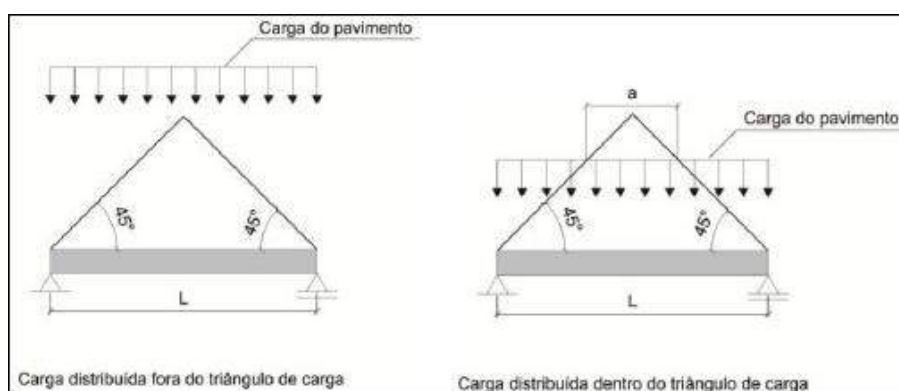


Figura 13 - Distribuição de carga
Fonte: Rezende (2013,s/p).

Tradicionalmente, nas alvenarias de vedação, as vergas e contravergas são feitas em concreto armado, respeitando as dimensões citadas em norma. Porém, nos canteiros de obra esporadicamente emprega-se soluções que tornam o processo construtivo mais simples, como a substituição delas por treliças planas armadas ou por barras de aço.

A treliça plana armada Murfor é um produto lançado pela ArcelorMittal, com o objetivo de ser aplicada para reforços de alvenarias estruturais e de vedação. Em seu catálogo, a empresa ArcelorMittal (2009, p.4) cita que suas treliças planas “formadas por dois fios longitudinais de aço separados entre si, por um fio em forma

de sinusóide, eletrosoldados em todos os seus pontos de encontro”, tem a capacidade de prevenir fissuras causadas pela concentração de tensões nas extremidades de portas e janelas.

Em um artigo sobre reforços de alvenaria, Nogueira (2008, p.1) assevera que “as alvenarias apresentam desempenho satisfatório quando submetidas a compressão e uma baixa resistência à tração”, sendo que a tecnologia proposta visa o emprego da treliça plana entre os blocos, aplicando o produto para combater as tensões cisalhantes e de tração, combatendo as fissuras e possibilitando maior produtividade e racionalização do processo construtivo da alvenaria, por poder substituir as vergas e contravergas.

O fio de aço sinusóide da treliça (Figura 14) tem como função garantir que os fios longitudinais de aço permaneçam sempre com o mesmo espaçamento, evitando também que a argamassa de assentamento se espalhe, ultrapassando os limites da largura do bloco após receber a pressão do bloco sobreposto no assentamento da alvenaria.

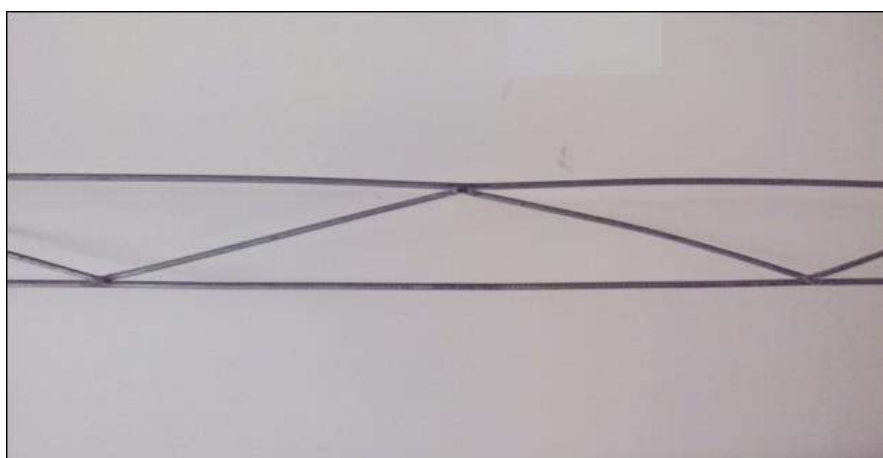


Figura 14 – Reforço de alvenaria com treliças planas
Fonte: Autora (2014).

Assim sendo, essas treliças planas são instaladas nas juntas horizontais de assentamento, no local onde a alvenaria é solicitada, reforçando a parede e impedindo o surgimento de fissuras, conforme ilustrado na Figura 15. A fabricante ArcelorMittal não impõe limite para a dimensão da abertura, apenas orienta que o reforço deve ultrapassar 50 cm para cada lado do vão, ou ser ancorada no pilar quando este estiver muito próximo.

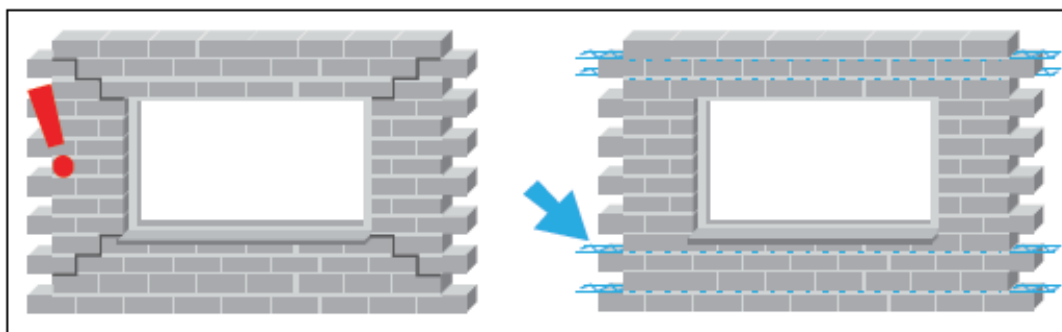


Figura 15 – Reforço de alvenaria com treliças planas
Fonte: ArcelorMittal (2009, p.4).

A segunda substituição da verga de concreto é pela utilização de reforço com barras de aço na junta de assentamento. Essa solução também demonstra ser uma solução rápida, e é possível observar sua ocorrência em obras da construção civil. No entanto, o desempenho satisfatório desse sistema construtivo não é comprovado nem normatizado, dessa forma, sua utilização segue conceitos mais empíricos. Zulian (2002, p. 10), por exemplo, indica que esse reforço pode ser feito para vãos que não ultrapassem 1,0m.

Outra desvantagem da adoção dessa solução em comparação com a treliça plana, é que o vergalhão de aço não recebe nenhum tratamento para evitar a oxidação, já que ele é fabricado especificamente para as estruturas de concreto armado, onde é possível respeitar os cobrimentos previstos. Uma opção é fazer o tratamento das barras com resina epóxi, antes de sua aplicação, pratica que não é percebida

3 MÉTODOS E MATERIAIS

O presente trabalho tem como meta averiguar o comportamento de alvenaria de vedação quando empregados reforços, especificamente nos pontos de concentração de tensão localizados nas extremidades das aberturas, substituindo as vergas e contravergas, prescritas em normas, por barras de aço ou treliças planas nas juntas horizontais de assentamento.

Assim, busca-se apoiar experimentalmente as soluções empiricamente empregadas, sem a comprovação técnica de seus benefícios ou limitações às obras de engenharia civil. Portanto, através de uma análise bibliográfica e experimental, o trabalho busca delinear a efetividade desses processos construtivos.

Para resolução dos objetivos propostos uma sequencia de ações são propostas e apresentadas na Figura 16 abaixo.

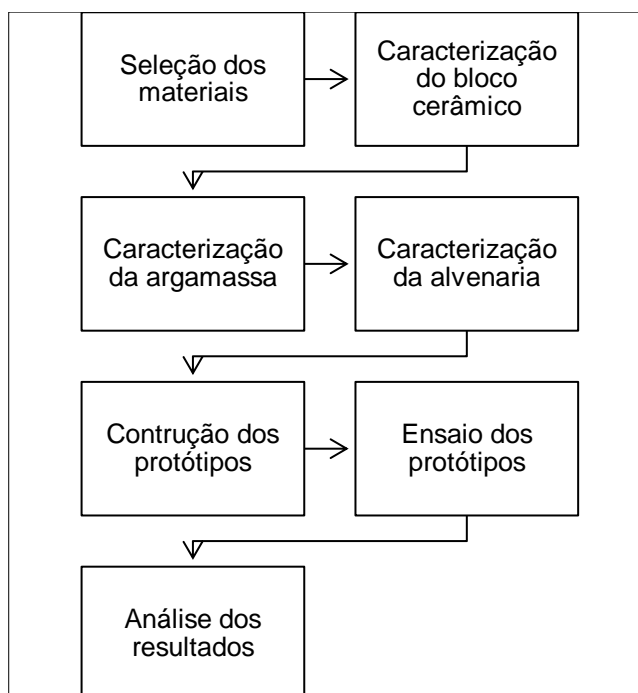


Figura 16 – Fluxograma do trabalho

Fonte: Autora (2014).

3.1 MATERIAIS

Os materiais empregados nos ensaios foram disponibilizados pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, ou comprados diretamente de outros fornecedores.

3.1.1 Aglomerantes

O cimento empregado foi o CII Z 32, Cimento Portland Composto com pozolana. Esse cimento foi selecionado por ser comumente empregado nas obras da região, e com fácil disponibilidade nos fornecedores de cimento.

Foi utilizada a cal hidratada CH-III.

3.1.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado foi a areia natural, fornecida pelo laboratório de materiais de construção da UTFPR.

3.1.1 Bloco cerâmico

Os blocos cerâmicos utilizados têm dimensões de 9x14x24cm,

3.1.2 Aço

Foram utilizados barras de aço com superfície nervurada de 6,3mm. Além de treliças planas Murfor, formadas por dois fios de aço longitudinais (Φ 4,0mm) e paralelos, separados entre si por um fio (Φ 3,75mm) em forma de sinusóide. As treliças foram fornecidas e patrocinadas pela ArcelorMittal.

3.2 EQUIPAMENTOS

Para realização dos ensaios foram necessários alguns equipamentos, todos disponibilizados pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, conforme segue:

- Máquina universal de ensaios para ensaio de resistência à compressão - EMIC;
- Pórtico de reação do laboratório de estruturas.
- Balanças com capacidade mínima de 200g e resolução de 0,01g.
- Moldes prismáticos metálicos 4 cm x 4 cm x 16 cm;
- Recipiente para imersão e saturação do bloco cerâmico;
- Colher de pedreiro, espátulas, régua metálica, prumo de centro e trena.

3.3 PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

Os primeiros ensaios tiveram como função caracterizar as propriedades mecânicas dos materiais empregados nos protótipos de alvenaria propostos, ou seja, do bloco cerâmico e da argamassa. Esses materiais foram ensaiados separadamente à compressão, e posteriormente, os prismas de alvenaria (formados pela união de dois blocos cerâmicos com argamassa) também foram solicitados à compressão. Esses ensaios permitiram conhecer a resistência dos materiais utilizados e a sua interferência no conjunto, e adiantar o possível comportamento da estrutura de alvenaria.

Após os testes, foram realizados os ensaios com os protótipos de alvenaria, simulando uma abertura de uma janela ou porta, com os reforços de barras de aço e treliças planas de aço.

3.3.1 Ensaios de Caracterização dos Blocos Cerâmicos

Para caracterização dos blocos cerâmicos foi realizado o ensaio de resistência à compressão, seguindo os passos do Anexo C da NBR 15270-3 (ABNT, 2005).

Uma amostra com 13 blocos foi coletada para o ensaio. Foram verificadas as dimensões de cada bloco, e posteriormente todos foram capeados com pasta de cimento, garantindo que a face onde a carga de compressão seria aplicada ficasse lisa e homogênea distribuindo uniformemente a carga. Esses blocos foram submersos em água, assegurando o estado de saturação para o ensaio de compressão, que foi realizado utilizando a máquina universal EMIC. Na Figura 17 é possível ver a sequência de preparação dos blocos, e na Figura 18 o ensaio de compressão.



Figura 17 – Preparação dos blocos cerâmicos
Fonte: Autora (2014).



Figura 18 – Ensaio de compressão do bloco cerâmico na EMIC
Fonte: Autora (2014)

3.3.2 Ensaios de Caracterização da Argamassa

O traço adotado seguiu as recomendações sugeridas pela bibliografia, levando em consideração também a granulometria da areia. A dosagem foi feita em volume pelo traço 1:2:6 (cimento:cal:areia), com relação água cimento (a/c) igual a 2,0, suficiente para proporcionar a trabalhabilidade adequada a argamassa de assentamento.

Para caracterização da resistência à compressão da argamassa foi realizado o ensaio seguindo a NBR 13279 (ABNT,2005): Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.

Foram moldados três corpos-de-prova prismáticos, mostrados na Figura 19, preparados com duas camadas de argamassa compactadas.



Figura 19 – Corpos-de-prova prismáticos de argamassa.
Fonte: Autora (2014).

O ensaio a compressão foi feito com a máquina universal EMIC, utilizando, conforme a NBR 13279 (2005, p.3) “as metades dos três corpos-de-prova”. A carga de (500 ± 50) N/s foi aplicada até romper o corpo-de-prova. Aos 28 dias, os corpos-de-prova foram ensaiados à compressão, conforme mostrado na Figura 20.



Figura 20 – Ensaio de compressão da argamassa.
Fonte: Autora (2014).

3.3.3 Ensaio de Caracterização Prévia da Alvenaria

O ensaio para caracterização prévia da alvenaria foi realizado com o prisma, que de acordo com a NBR 15961-2 (ABNT, 2011), é formado por dois blocos cerâmicos principais, sobrepostos e unidos por argamassa, ensaiados a compressão axial, conforme a Figura 21.

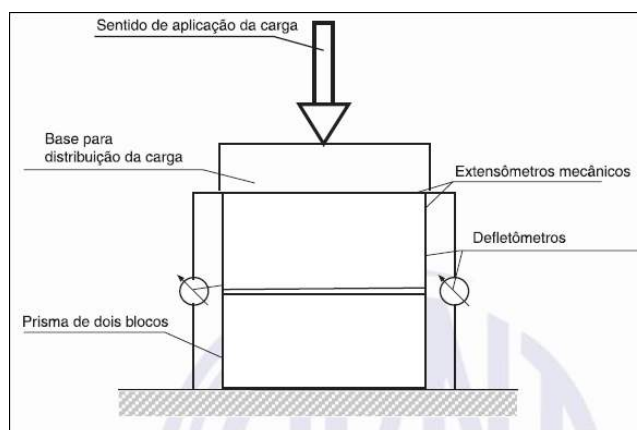


Figura 21 – Ensaio de determinação de resistência do prisma
Fonte: NBR 15961-2 (ABNT, 2011, p. 22).

Da mesma forma que no ensaio de blocos, as faces do prisma em contato com a prensa, receberam capeamento para regularização da superfície, foram rompidos após 28 dias (para cura da argamassa), e 24 horas antes do ensaio foram submersos em água para atingir o ponto de saturação. O ensaio a compressão também foi feito na máquina universal EMIC, e é mostrado na Figura 22.



Figura 22 – Ensaio de compressão da argamassa.
Fonte: Autora (2014).

3.3.4 Ensaio da alvenaria com abertura

O modelo do protótipo para ensaio dos reforços na alvenaria está exposto na Figura 23. As dimensões foram baseadas no artigo de REZENDE, 2012, que fez ensaios semelhantes para alvenaria estrutural, além de levar em consideração as dimensões e a capacidade do pórtico de reação, bem como a possibilidade de deslocamento dos protótipos.

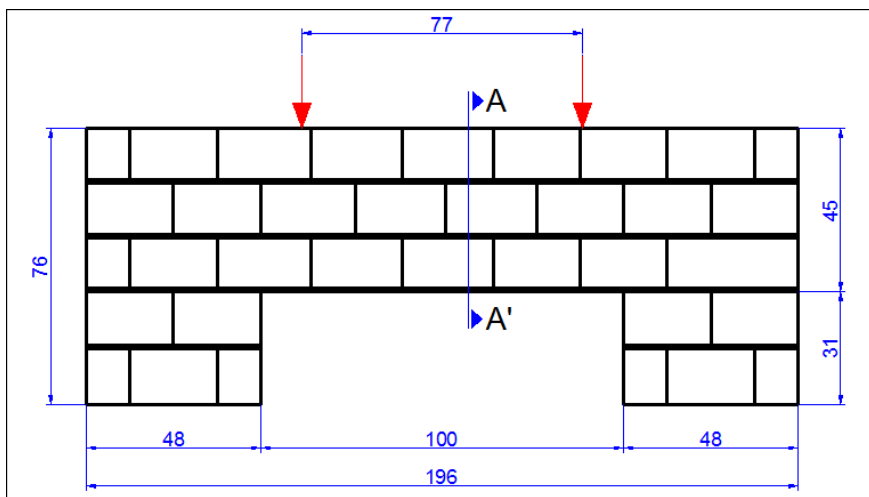


Figura 23 – Modelo e dimensões do protótipo adotado
Fonte: Autora (2014).

Foram construídos três tipos de protótipos, o primeiro sem nenhum reforço para abertura (SR), o segundo com 2 barras de aço de 6,3mm dispostas no comprimento de todo o protótipo (BA), e o terceiro com uma treliça plana de aço (TP). Os reforços foram aplicados na junta de assentamento acima da primeira fiada de blocos sobre o vão da abertura, como ilustrado na Figura 24 do corte AA'.

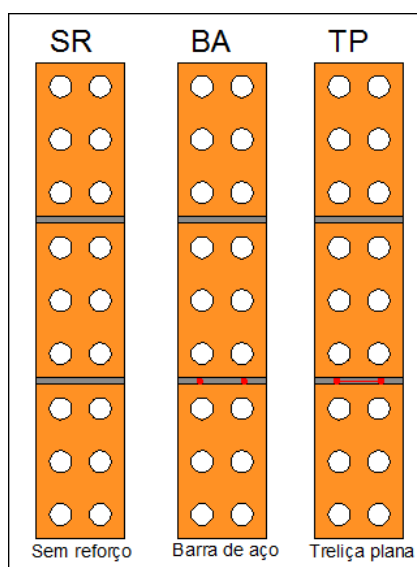


Figura 24 – Corte AA'
Fonte: Autora (2014).

As paredes foram construídas sobre perfis U de aço, permitindo o seu transporte até o pórtico de reação. A sequência construtiva dos protótipos pode ser compreendida pela Figura 25.



Figura 25 – Sequencia de construção do protótipo.
Fonte: Autora (2014).

Para cada um dos modelos propostos, foram construídos três protótipos, e após o transcorrer de 28 dias da construção, os protótipos foram ensaiados no pórtico de reação, com a aplicação das duas cargas concentradas, conforme mostrado na Figura 26. A velocidade de aplicação de carga do pórtico foi controlada manualmente, e o *software CatmanEasy/Ap (version 3.0)* registrou as medições da carga em função do tempo.

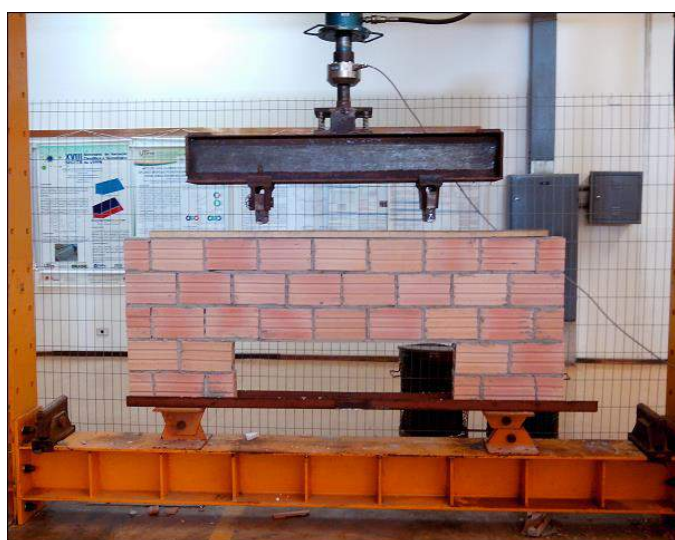


Figura 26 – Ensaio dos protótipos no pórtico de reação
Fonte: Autora (2014).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS CERÂMICOS

Como descrito anteriormente, os 13 blocos cerâmicos foram ensaiados à compressão, os resultados individuais de resistência estão expostos no Apêndice A. Na Tabela 1 são mostrados os resultados tratados estatisticamente.

Tabela 1 – Resultado do ensaio de compressão dos blocos.

Média (fb) (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de Variação %	Mínimo (MPa)	Mediana (MPa)	Máximo (MPa)
0,416	0,198	47,57	0,110	0,350	0,810

Fonte: Autora (2014).

Pelos valores obtidos é possível observar a heterogeneidade entre as resistências dos blocos cerâmicos. A diferença entre os valores da média e da mediana demonstra a distribuição assimétrica dos resultados. E enquanto que o coeficiente de variação revela o percentual do desvio padrão em relação à média de 47,57%, expressando a grande dispersão entre os resultados obtidos individualmente.

Essa dispersão possivelmente está relacionada com a composição dos blocos cerâmicos, que mostraram, em análise visual, a presença possivelmente de matéria orgânica ou de outro material não cerâmico, contribuindo para a baixa de resistência do bloco, tornando-o desuniforme em sua composição. Além disso, os blocos também apresentaram diferentes colorações, o que comprova a variação da queima durante o tratamento térmico. As considerações descritas são facilmente perceptíveis na Figura 27.



Figura 27 – Heterogeneidade nos blocos cerâmicos
Fonte: Autora (2014).

A NBR 15270-1 (ABNT, 2005) afirma que os blocos cerâmicos de vedação usados com os furos na horizontal, devem apresentar resistência à compressão (f_b) maior ou igual a 1,5 MPa. Com isso, nem mesmo o bloco cerâmico que suportou a maior carga, de 0,81 MPa, atinge o mínimo de resistência exigido.

Pelos fatores destacados, o ensaio de resistência à compressão para prévia caracterização do bloco cerâmico adianta o possível comportamento do protótipo de alvenaria, que terá baixa resistência mecânica.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA

Após os 28 dias de cura da argamassa foi realizado o ensaio de compressão, os resultados individuais de resistência estão expostos no Apêndice B. Os resultados estatísticos estão relacionados na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultado do ensaio de compressão da argamassa.

Média (fa) (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de Variação %	Desvio Absoluto Máximo (MPa)	Mínimo (MPa)	Mediana (MPa)	Máximo (MPa)
2,100	0,082	3,892	0,120	1,98	2,065	2,20

Fonte: Autora (2014).

O desvio absoluto máximo foi calculado conforme o item 6.3 da NBR 13279 (ABNT, 2005, p.4) que explica que ele deve ser obtido pela “diferença entre a

resistência média e a resistência individual que mais se afaste desta média para mais ou para menos”. Como esse valor é inferior a 0,5MPa o ensaio e todos os valores obtidos são considerados válidos.

Observa-se pelo coeficiente de variação que a porcentagem de dispersão entre os dados é muito baixa, além disso, a média e a mediana alcançaram valores muito próximos demonstrando simetria entre os resultados. A constância desses valores permite afirmar que a argamassa constitui um material homogêneo.

Comparando o valor de resistência média de 2,10MPa da argamassa, com a resistência média de 0,416MPa do bloco cerâmico, é possível prever que os protótipos de alvenaria serão heterogêneos, devido a diferença de resistência e comportamento entre os materiais que os compõe.

4.3PREVISÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DA ALVENARIA

A partir dos resultados obtidos, é possível estimar a resistência à compressão da alvenaria, utilizando a fórmula de Haller (KALIL, 2007):

$$R_{parede} = \left[(1 + 0,15R_{bloco})^{\frac{1}{2}} - 1 \right] * (8 + 0,048 * R_{argamassa})$$

Em que:

R_{parede} : Resistência da parede, em Kgf/cm²

R_{bloco} : Resistência do bloco cerâmico, em kgf/cm²

$R_{argamassa}$: Resistência da argamassa, em Kgf/cm²

Sendo a resistência média à compressão do bloco cerâmico de 0,416MPa, e a resistência média a compressão da argamassa de 2,10MPa, aplicando a fórmula acima, com as conversões de unidade, obtém-se uma resistência estimada da alvenaria de 0,247MPa.

4.4 CARACTERIZAÇÃO DA ALVENARIA - PRISMAS

Foram construídos 5 prismas de alvenaria, constituídos por dois blocos cerâmicos unidos por argamassa. Os resultados da resistência de cada prisma estão expostos no Apêndice A. Na Tabela 3 são mostrados os resultados tratados estatisticamente.

Tabela 3 – Resultado do ensaio de compressão dos prismas.

Média (fm) (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de Variação %	Mínimo (MPa)	Mediana (MPa)	Máximo (MPa)
0,716	0,468	65,37	0,38	0,540	1,64

Fonte: Autora (2014).

Semelhante ao ensaio de compressão dos blocos cerâmicos, o prisma de alvenaria apresentou um desvio padrão elevado, demonstrando a heterogeneidade do conjunto. A média e a mediana apresentaram uma grande diferença, mostrando a defasagem entre os resultados. O coeficiente de variação de 65,37% confirma a inconstância nos resultados.

Esse resultado era previsto, levando em consideração o comportamento do bloco cerâmico. O pequeno aumento na resistência dos prismas em relação aos blocos, contradiz a afirmação de Kalil (2007), citada na bibliografia. Uma vez que no caso a resistência da argamassa é maior que a resistência do prisma, que por sua vez é maior que a resistência do bloco cerâmico (possivelmente pelos blocos utilizados no ensaio de Kalil ter maior resistência). Ou seja, poderia supor que a junta de assentamento, no caso do prisma de alvenaria ensaiado, aumentou a resistência do conjunto.

O valor encontrado na resistência dos prismas de alvenaria, que tem por finalidade prever a resistência à compressão da alvenaria, foi 34,5% mais alto do que a estimativa realizada pela fórmula de Haller.

Contudo, é previsto um comportamento frágil dos protótipos, semelhante ao comportamento dos blocos e prismas. O que no conjunto, serão mais suscetíveis a sofrerem ruptura do que a argamassa de assentamento. Além disso, espera-se que

os protótipos tenham resistência maior do que o bloco cerâmico isolado, e talvez menor do que a argamassa de assentamento.

4.5 ENSAIO À COMPRESSÃO DOS PROTÓTIPOS

Os protótipos foram ensaiados após os 28 dias de sua construção. Inicialmente foram testados os modelos construídos sem nenhum reforço, possibilitando comparar e compreender a influência que as barras e treliças de aço agregam ao sistema. Em seguida foram ensaiados os protótipos com reforço de barras de aço de 6,3mm, e finalmente os protótipos com reforço de treliças planas Murfor. O resultado dos ensaios e a discussão sobre os resultados são apresentados a seguir nessa mesma ordem.

4.5.1 Protótipo sem reforço

Os protótipos sem reforço apresentaram comportamentos semelhantes nos três testes realizados. Em todos os ensaios o surgimento das fissuras principais ocorreu no centro do protótipo, sobre a abertura, de baixo para cima, no local caracterizado pela concentração de tensões de tração. Imediatamente após a abertura da trinca no centro das peças, ocorreu a ruptura do bloco cerâmico no canto da abertura e em seguida o esmagamento dos blocos cerâmicos nos apoios do protótipo, iniciando a ruptura próxima ao canto superior da abertura em todos os casos. É possível visualizar essas rupturas nas Figuras 28, 29 e 30, as sequências de imagens foram retiradas dos vídeos gravados durante o ensaio.

Também nota-se a predominância da fissuração vertical devido à baixa resistência do bloco cerâmico. A ruptura foi caracterizada pelo rompimento em linha vertical do bloco (Figura 5) e no alinhamento da junta vertical de assentamento (Figura 7). Esse rompimento na junta vertical não ocorreu na argamassa, e sim pelo descolamento entre os dois materiais. Esse comportamento pode ser justificado pela

influência da maior resistência da argamassa em relação ao bloco, e também pela provável baixa aderência entre os dois materiais.

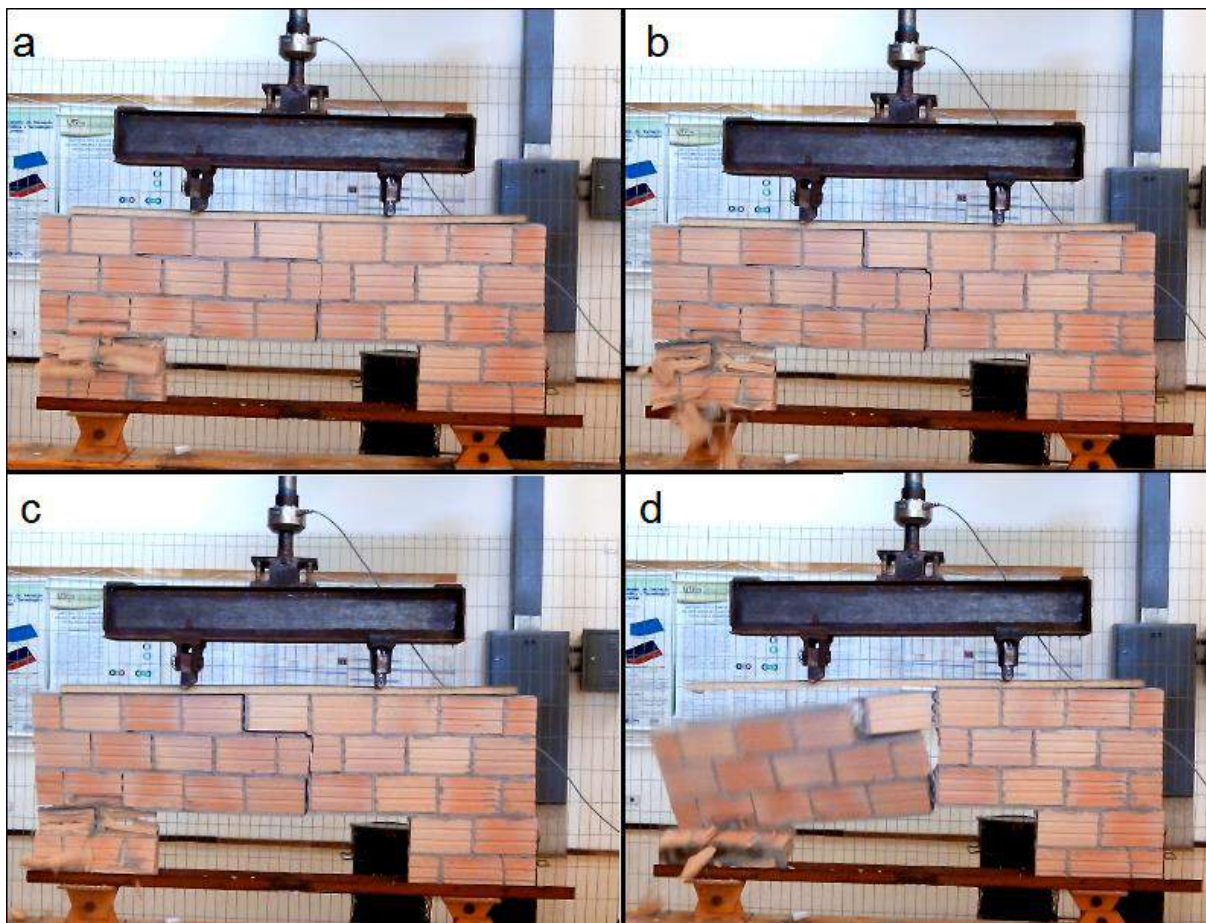


Figura 28 – Sequência de ruptura do protótipo sem reforço 1
Fonte: Autora (2014).

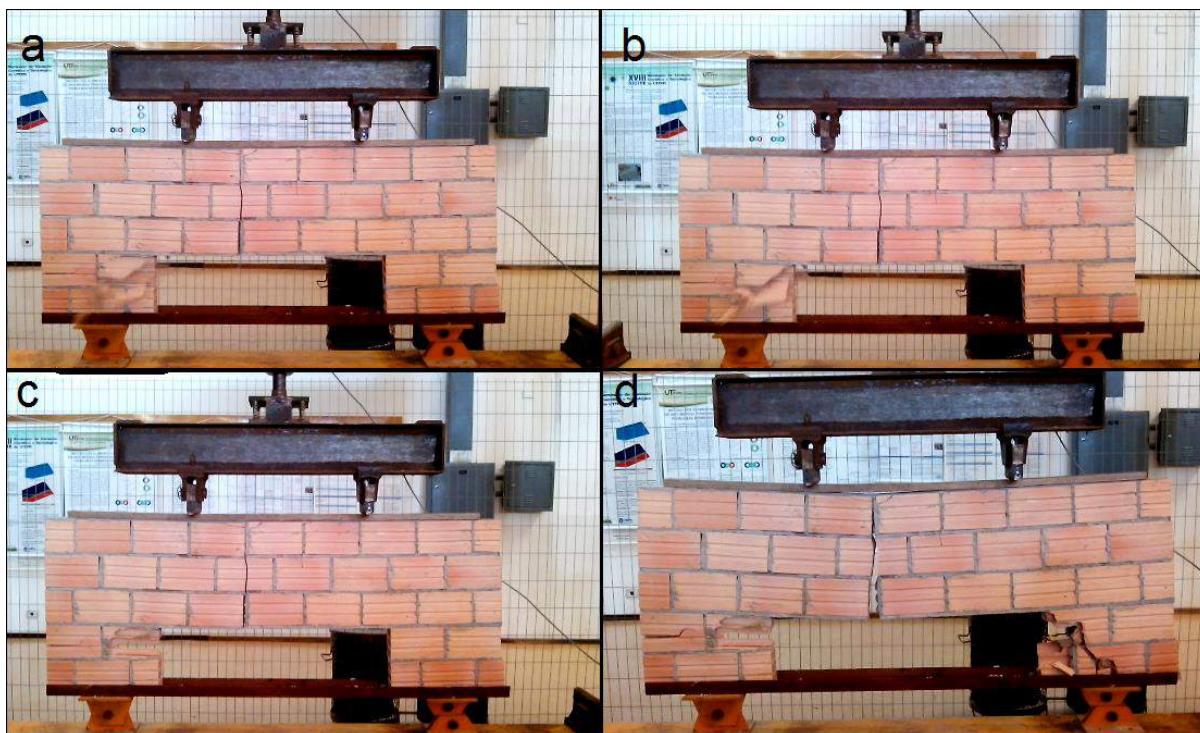


Figura 29 – Sequência de ruptura do protótipo sem reforço 2
Fonte: Autora (2014).

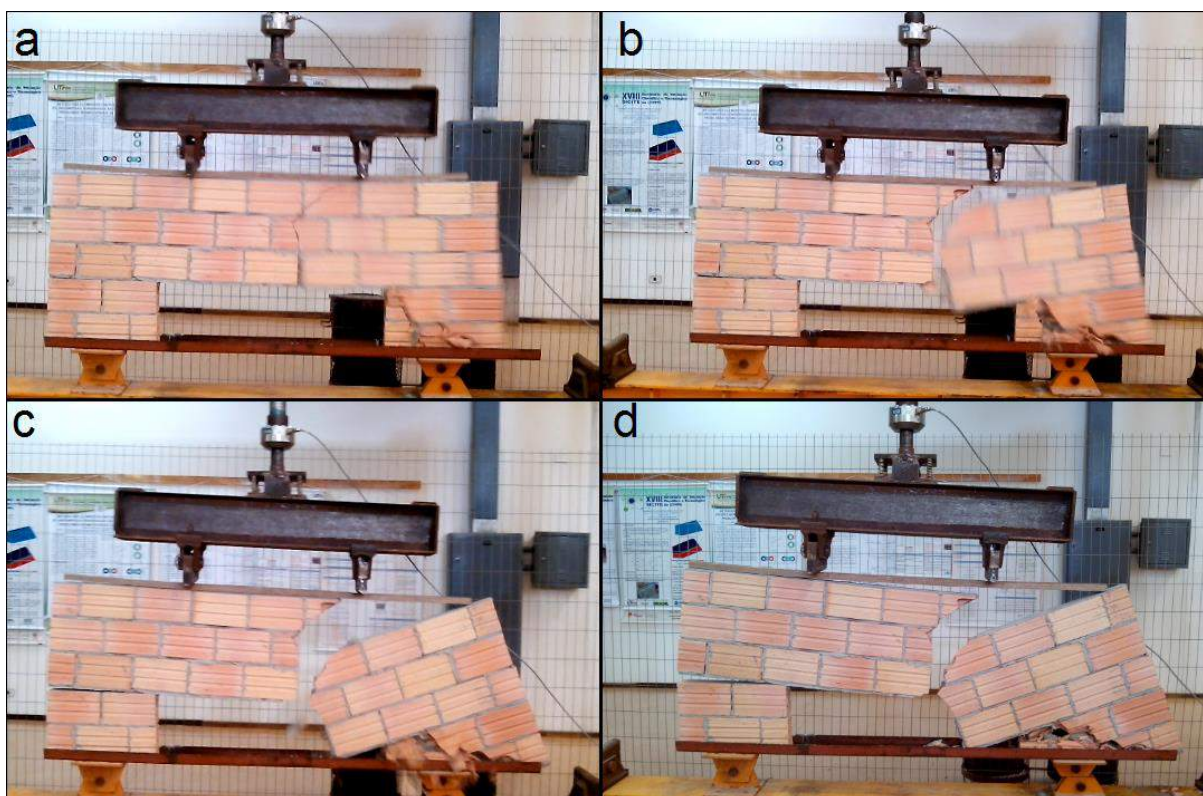


Figura 30 – Sequência de ruptura do protótipo sem reforço 3
Fonte: Autora (2014).

Na tabela 4 estão expostos os resultados dos ensaios, tratados estatisticamente. Os resultados detalhados de cada ensaio não foram inseridos

nesse trabalho devido ao grande volume de dados registrados pelo software do pórtico de reação.

Tabela 4 – Resultado do ensaio dos protótipos sem reforço.

Média (fm) (KN)	Desvio Padrão (KN)	Coefficiente de Variação %	Mínimo (KN)	Mediana (KN)	Máximo (KN)
35,387	95,690	27,04	26,621	30,841	48,698

Fonte: Autora (2014).

É possível perceber um alto coeficiente de variação, que apesar de ser menor que os valores obtidos nos ensaios dos blocos cerâmicos e prismas de alvenaria, ainda é um coeficiente alto para parâmetros estatísticos.

Essa variação se justifica pela própria heterogeneidade dos protótipos de alvenaria, com materiais que apresentam resistências e comportamentos diferentes. Outro fator de influência foi a aplicação manual da carga, levando a inconstância da velocidade do carregamento em cada um dos testes.

No Gráfico 1 é possível visualizar a variação da aplicação de carga em função do tempo, além das diferenças entre a carga de ruptura de cada protótipo.

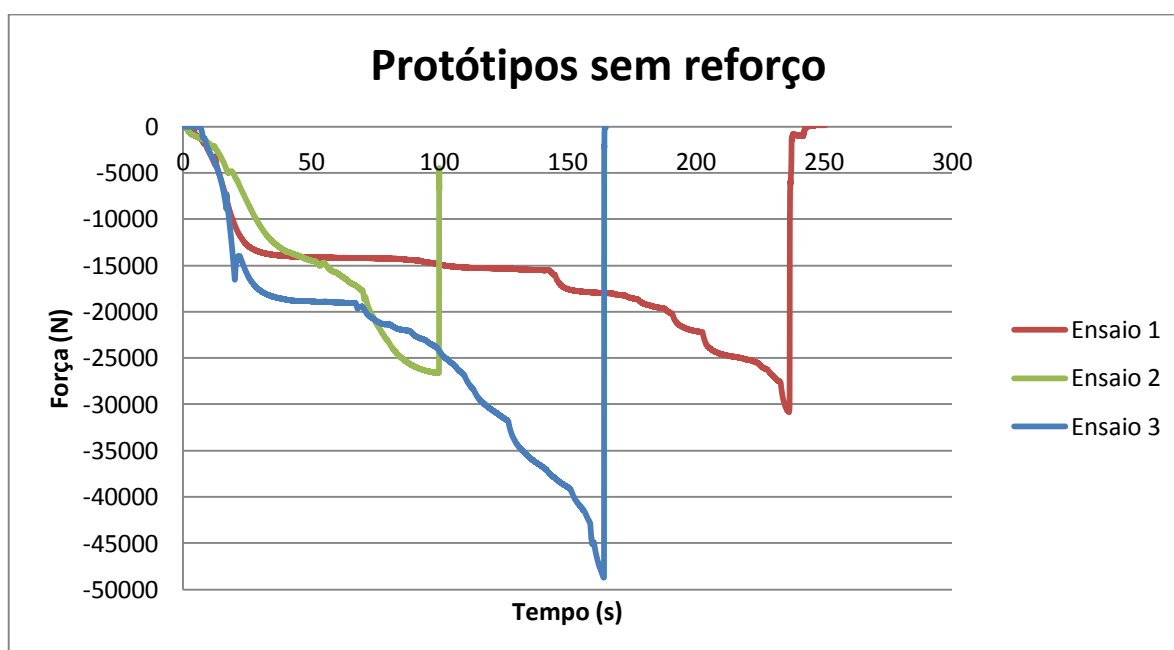


Gráfico 1 – Carga em função do tempo dos protótipos sem reforço

Fonte: Autora (2014).

4.5.2 Protótipo com reforço de barras de aço

No modelo de protótipo com reforço de barras de aço na junta de assentamento, houve maior variação no comportamento das três amostras, enquanto que as cargas de ruptura ficaram mais próximas.

A ruptura do primeiro protótipo ocorreu pelo esmagamento dos blocos cerâmicos (Figura 9) na região de aplicação da carga (Figura 31). Possivelmente, o conjunto suportaria uma carga maior, se os blocos isolados tivessem maior resistência.



Figura 31 – Sequência de ruptura do protótipo com reforço de barras de aço 1
Fonte: Autora (2014).

O segundo protótipo teve a ruptura localizada no canto superior da abertura, aonde também existem concentrações significativas de tensões de compressão, ocorrendo o esmagamento do bloco cerâmico na região, como mostrado na Figura 32.

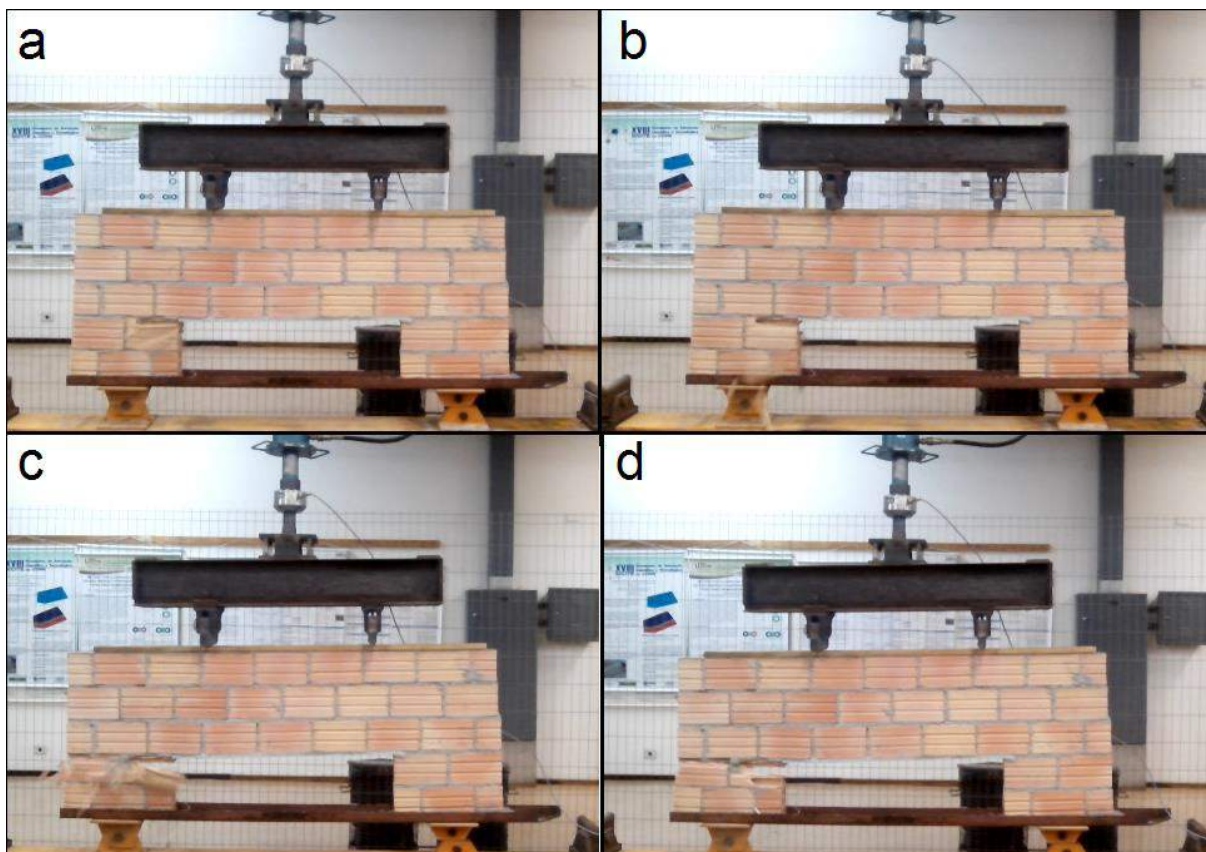


Figura 32 – Sequência de ruptura do protótipo com reforço de barras de aço 2
Fonte: Autora (2014).

O terceiro protótipo rompeu pela inicial fissuração horizontal dos blocos cerâmicos no apoio, na lateral da abertura, levando posteriormente ao esmagamento dos blocos na região (Figura 33).

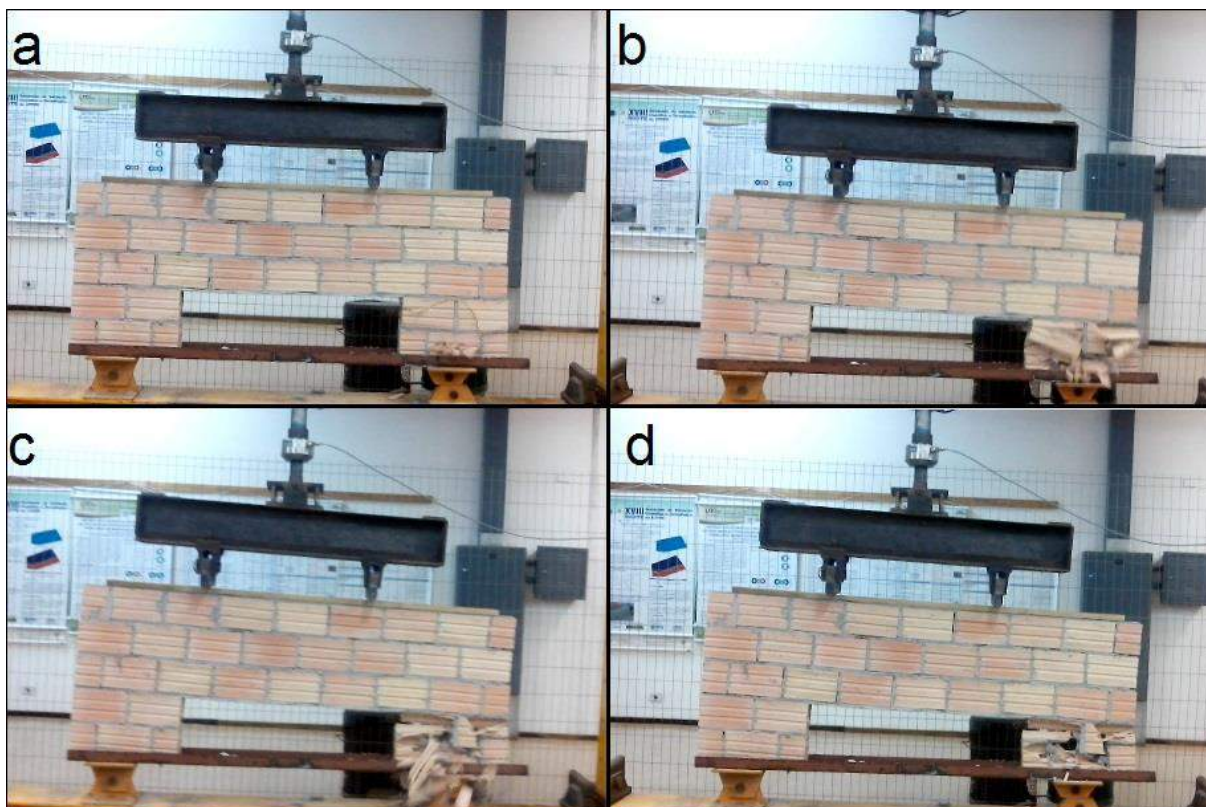


Figura 33 – Sequência de ruptura do protótipo com reforço de barras de aço 3
Fonte: Autora (2014).

Nota-se que o reforço com as barras de aço evitou a ruptura no centro do vão, que ocorreu em todos os protótipos do ensaio sem reforço, além de conter a deformação no local.

Embora o comportamento visual da ruptura tenha variado, principalmente quanto ao local, a provável causa da ruptura nos três casos foi a baixa resistência dos blocos cerâmicos, ou seja, o conjunto suportou o esforço até a ocorrência de esmagamentos pontuais nos blocos cerâmicos. Além disso, observa-se que as barras de aço não foram suficientes para evitar a ruptura no canto das aberturas.

Esse comportamento também pode ser justificado pelo formato adotado para o protótipo. Sabe-se que as cargas aplicadas distribuem-se no corpo da peça e ao chegarem aos apoios, que são rígidos, tem a contribuição da força de reação. Esse adicional de esforço no apoio contribui para que a ruptura sempre aconteça nesse local.

Os resultados estatísticos obtidos foram satisfatórios, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultado do ensaio dos protótipos com reforço de barras de aço.

Média (fm) (KN)	Desvio Padrão (KN)	Coefficiente de Variação %	Mínimo (KN)	Mediana (KN)	Máximo (KN)
36,824	2,405	6,53	35,081	35,166	40,225

Fonte: Autora (2014).

O coeficiente de variação de 6,53% mostra que as cargas de ruptura individuais foram semelhantes à carga de ruptura média do protótipo com reforço de barras de aço.

No Gráfico 2 é possível visualizar a aplicação da carga em função do tempo. Esse gráfico evidencia a variação pouco significativa para a carga de ruptura de cada protótipo.

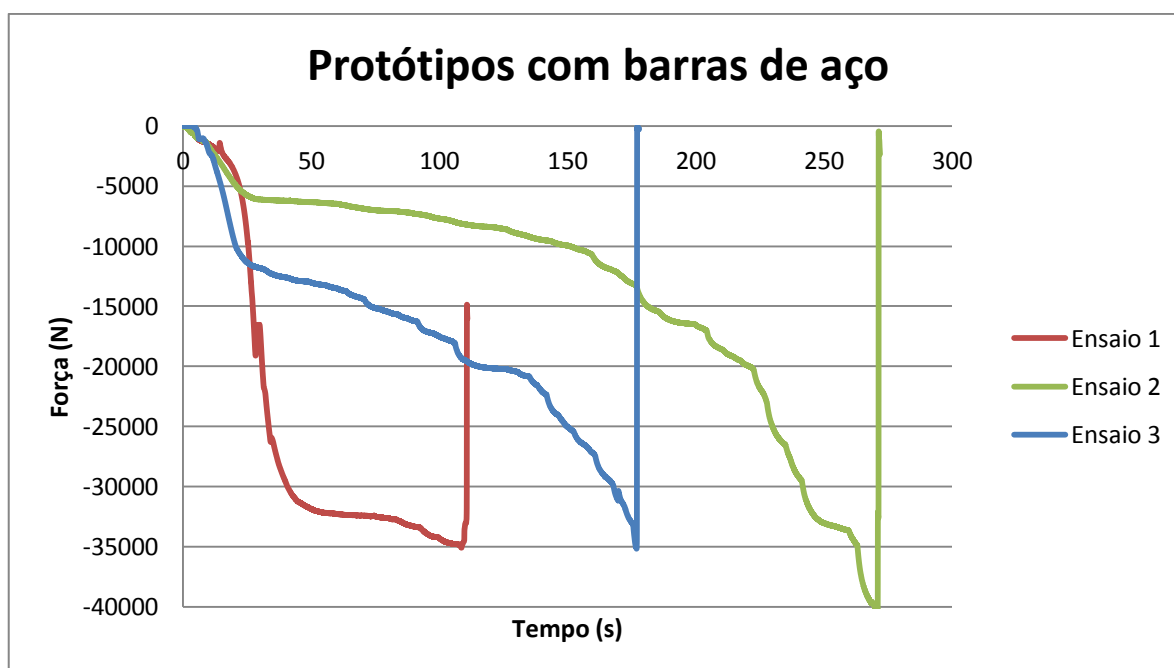


Gráfico 2 – Carga em função do tempo dos protótipos com barras de aço

Fonte: Autora (2014).

4.5.3 Protótipo com reforço de treliças planas Murfor

Os protótipos com reforço de treliças planas de aço romperam de forma semelhante aos anteriores. O primeiro e o segundo protótipo sofreram a ruptura pelo

esmagamento do bloco cerâmico, próximo a região de aplicação da carga. Enquanto que o terceiro protótipo teve sua ruptura localizada no apoio, na lateral da abertura. Todas as rupturas caracterizadas pelo esmagamento do bloco cerâmico. A sequência de ruptura pode ser visualizada nas Figuras 34,35 e 36.



Figura 34 – Sequência de ruptura do protótipo com reforço de treliça Murfor 1
Fonte: Autora (2014).



Figura 35 – Sequência de ruptura do protótipo com reforço de treliça Murfor 2
Fonte: Autora (2014).

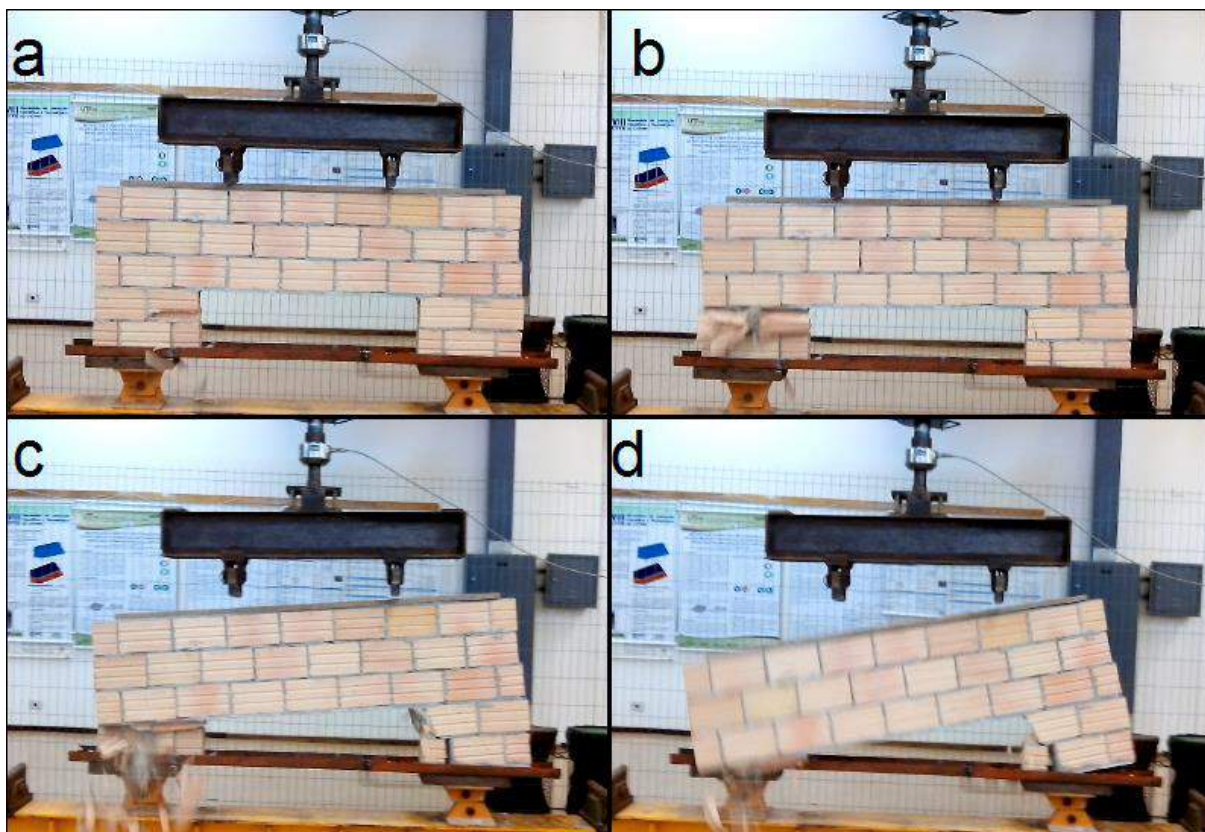


Figura 36 – Sequência de ruptura do protótipo com reforço de treliça Murfor 3
Fonte: Autora (2014).

Os resultados estatísticos da força aplicada sobre os protótipos são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultado do ensaio dos protótipos com reforços de treliças planas.

Média (fm) (KN)	Desvio Padrão (KN)	Coefficiente de Variação %	Mínimo (KN)	Mediana (KN)	Máximo (KN)
34,109	25,229	7,40	30,541	35,865	35,920

Fonte: Autora (2014).

Nota-se que, da mesma forma que os protótipos com barras de aço, o coeficiente de variação ficou baixo, além de haver pouca diferença entre a mediana e a média. Os resultados demonstram que a média das cargas aplicadas para ruptura dos protótipos possui um desvio padrão baixo, e apesar das variáveis envolvidas nos resultados, como a heterogeneidade entre os materiais e a inconstância na velocidade de aplicação da carga, o valor encontrado é aceito.

Apesar de não terem sido utilizados extensômetros para registrar a deformação dos protótipos, foi possível verificar que a deformação no centro do vão foi inferior para os modelos com treliça plana, do que para os modelos com barras de aço.

No Gráfico 3 são apresentadas as cargas aplicadas em função do tempo para os três protótipos ensaiados. É possível visualizar que não houve grande variação entre as cargas de ruptura, embora essas tenham sido alcançadas em tempos diferentes, devido a velocidade de aplicação da carga.

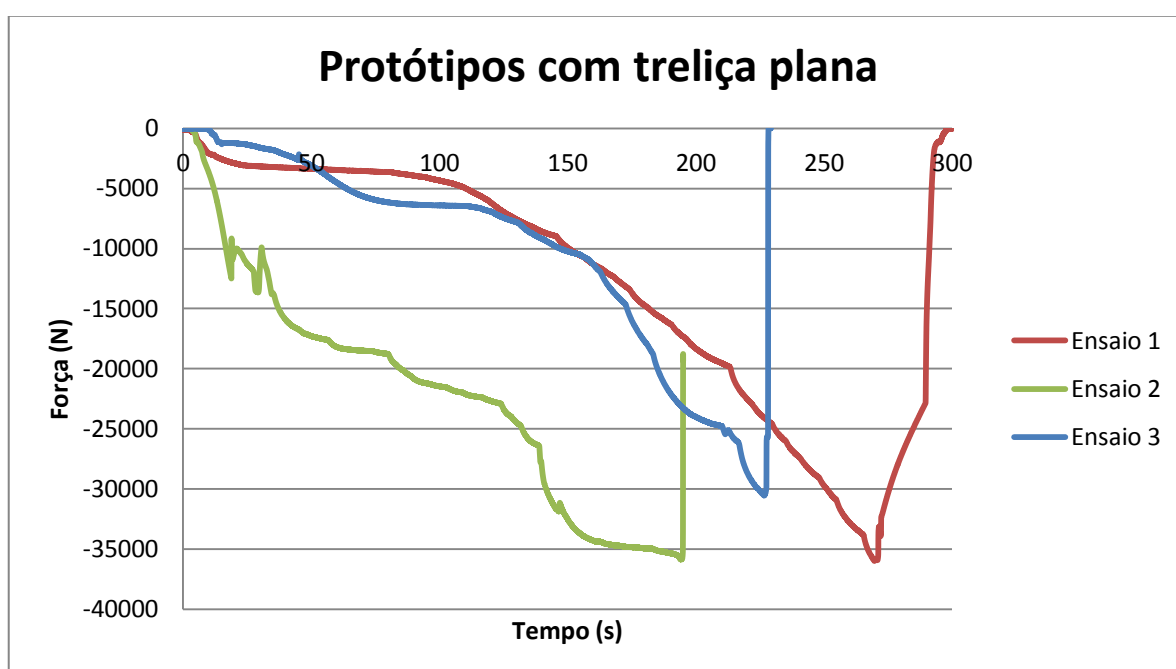


Gráfico 3 – Carga em função do tempo dos protótipos com treliças

Fonte: Autora (2014).

4.5.4 Comparação entre os resultados obtidos para cada modelo

Ao analisar isoladamente os resultados das cargas médias de ruptura dos protótipos (Tabela 7), nota-se que a utilização ou não do reforço na região das aberturas não alterou significativamente a resistência desses, visto que a ruptura sempre ocorreu pelo esmagamento dos blocos. Além disso, o primeiro resultado apresenta um coeficiente de variação muito alto, não garantindo a confiabilidade no valor encontrado.

Dessa forma, a análise apenas da resistência entre os modelos não é suficiente para definir a eficiência do conjunto. Pelas variáveis envolvidas, não é coerente observar os resultados da Tabela 7 e afirmar que uma alvenaria sem reforço é mais resistente que uma alvenaria com reforço de treliças planas, por exemplo. Tão pouco se pode afirmar qual dos dois modelos de reforço é mais indicado, uma vez que os dados obtidos são provenientes de protótipos que não suportariam cargas significativamente mais elevadas do que as encontradas, devido à fragilidade e baixa resistência dos materiais que os compõe, independente do reforço empregado.

Tabela 7 – Resultado geral dos ensaios com os protótipos.

Protótipos	Cargas médias de ruptura (KN)	Coefficiente de Variação (%)
Sem reforço	35,387	27,04
Reforço de barras de aço	36,824	6,53
Reforço de treliças planas	34,109	7,40

Fonte: Autora (2014).

Entretanto, é possível observar o modo que a ruptura ocorreu e o comportamento de cada modelo.

Os modos de ruptura que mais se destacam são o do protótipo sem nenhum reforço e os dos protótipos com reforço na junta de assentamento. Nota-se que todas as peças sem reforço tiveram a ruptura demarcada no centro do vão, com o colapso da estrutura, enquanto que nos protótipos com reforço as predominâncias das rupturas foram nos locais mais sensíveis da peça (no apoio, no canto da abertura ou num bloco isolado). Esse resultado evidencia a necessidade da utilização das vergas ou de reforços na abertura.

Entre os protótipos com reforço de barras de aço e treliça plana a variação no comportamento é menos perceptível, mas ela também ocorreu. Foi possível visualizar durante a execução dos ensaios que os protótipos com barras de aço apresentaram maior deformação no centro do vão do que os protótipos com treliças planas.

5 CONCLUSÃO

Com o objetivo de testar o comportamento e a eficiência da substituição das vergas de concreto armado por reforços com treliças planas e barras de aço, construíram-se protótipos de alvenaria, simulando a abertura de uma porta ou janela, um deles sem reforço, um modelo usando treliça plana de aço e outro usando barras de aço, com posterior verificação do comportamento mecânico destes modelos. Para isso, foram realizados ensaios de resistência também com os materiais constituintes do protótipo, o bloco cerâmico e a argamassa. Trabalhou-se com a possibilidade dos modelos de reforços serem aceitos, com suas limitações.

Como visto, blocos cerâmicos de qualidade e em conformidade com as exigências da norma dificilmente são encontrados, e não foi diferente na presente pesquisa, pois o bloco disponível e utilizado apresentou resistências muito mais baixas do que exigido. Isso demonstrou que os protótipos não alcançariam altas propriedades mecânicas para a finalidade do ensaio.

Outro fator observado foi a defasagem entre a resistência mecânica da argamassa e do bloco cerâmico. O ideal seria que os materiais apresentassem resistências semelhantes, tornando o conjunto mais homogêneo, o que resultaria no surgimento das fissuras e trincas nos locais em que a peça estava sofrendo maior solicitação e não nos locais onde o material era mais fraco, como ocorreu com alguns dos protótipos testados.

Por outro lado, sabe-se que nas obras não é comum o rigor na dosagem da argamassa de assentamento, e que essa tende a ter um maior consumo de aglomerantes com inevitável aumento de sua resistência, e, dessa forma, o comportamento do protótipo foi semelhante a de uma alvenaria: heterogêneo.

Os protótipos foram ensaiados, conhecendo-se as propriedades dos materiais, e a influência dessas diferentes propriedades foi constatada nos ensaios. Mas mesmo assim também foi possível avaliar a influência das substituições empregadas no reforço da abertura.

Diante do exposto, constatou-se que analisar isoladamente o resultado das cargas aplicadas não seria suficiente para definir a eficiência do sistema, primeiramente devido a semelhança entre as médias de forças aplicadas em cada modelo, o que ocorreu devido a baixa resistência dos materiais que constituíam o

protótipo. Logo, o reforço na abertura não aumentaria significativamente a resistência do protótipo (35,387KN; 36,824KN; 34,109KN), apenas alteraria o modo de ruptura próximo a abertura, cumprindo o papel ao qual foi encarregado.

Ao analisar o comportamento de cada modelo, ficou evidente a necessidade de empregar a verga ou o reforço na abertura, pois todos os protótipos sem reforço apresentaram a fissuração inicial e a ruptura no centro do vão, onde estão concentradas as tensões de tração.

Tanto o reforço com barras de aço, quanto o reforço com treliças planas foi suficiente para absorver a maior tensão no centro da abertura, e direcionar a ruptura para outros pontos dos protótipos. No caso das barras de aço, quando a ruptura não ocorreu pelo esmagamento pontual do bloco cerâmico, ela ocorreu no canto da abertura, onde estão concentrados os esforços de compressão. Já os protótipos com treliças planas apresentaram a ruptura na lateral da abertura, o que pode ter ocorrido pela concentração de tensões, ou por ser o apoio do protótipo.

Apesar das rupturas terem ocorrido em locais parecidos para os protótipos com reforço de barras de aço e com treliças planas, a principal diferença entre o comportamento dos dois modelos foi a deformação no centro do vão, visualmente mais acentuada para os modelos com barras de aço do que para os modelos com treliças planas. Este comportamento sugere que a configuração das treliças é mais eficaz para distribuir os esforços no local, causando menor deformação na abertura.

Além disso, notou-se na construção das peças de alvenaria, que a utilização das treliças planas é mais fácil e rápida. Para as barras de aço foi necessária a utilização do arame recozido para fazer a ligação entre os dois vergalhões, de forma a garantir que nenhum dos dois deslizesse para fora da argamassa ou simplesmente mudassem de posição quando recebesse a pressão dos blocos da fiada superior. Já a treliça plana, por sua própria configuração de ser formada por duas barras longitudinais e fios sinusoidais soldados entre elas, não necessita da amarração com o arame recozido, tornando o processo construtivo mais ágil.

A treliça plana é feita para o emprego em reforços de alvenaria, recebendo tratamento em fábrica para ficar exposta ao tempo e ser utilizada com a argamassa, sem a necessidade de cobertura, como é o caso da barra de aço, que sofre oxidação, não apenas pelo contato com o ar, mas também pela ação corrosiva da cal.

Pelo comportamento apresentado, nota-se que o canto da abertura ainda é um local suscetível a fissuração. Talvez pelas limitações das propriedades do aço, que atua resistindo aos esforços de tração e não aos de compressão que são predominantes nesse local. E essa pode ser a justificativa mais plausível para o emprego de peças de concreto armado (vergas) como reforços nas aberturas. Outro fator pode ter sido o emprego do reforço em apenas uma junta de assentamento, mais afastada da abertura, não sendo suficiente para resistir aos esforços.

Para o esclarecimento dos resultados encontrados o ideal seria realizar novamente os ensaios utilizando blocos cerâmicos com maior qualidade e normatizados, para garantir a padronização e resistência mínima destes. A partir disto, realizar a dosagem da argamassa até alcançar uma resistência semelhante ao do bloco, para trabalhar com o prisma mais homogêneo possível.

Analisar o comportamento e o desempenho dos protótipos possibilitou compreender a necessidade do reforço nas aberturas de portas e janelas das alvenarias, que indicou ser indispensável para a preservação dos vãos da alvenaria. A substituição das vergas convencionais pelo reforço com treliças planas e barras de aço se mostrou eficiente para conter os esforços de tração no centro da abertura, porém deixou dúvidas quanto a conservação dos cantos da abertura, onde ocorre o maior esforço de compressão.

6 CONTINUIDADE DO TRABALHO OU TRABALHOS FUTUROS

Pelo exposto, nota-se a importância de redimensionar o protótipo utilizado. O ideal é a construção de um protótipo com a abertura completa, simulando a verga e a contraverga. Esse novo modelo deve ter fiadas abaixo da abertura suficientes para garantir a distribuição de cargas e evitar que a ruptura ocorra no apoio devido à contribuição da força de reação. Esse novo modelo também possibilitaria observar o comportamento de todo o vão da abertura.

Como observado nos resultados, a deformação no meio do vão é um aspecto importante para compreender o comportamento de cada reforço durante a aplicação de carga. Essa deformação, que se mostrou visualmente menos acentuada para os protótipos com reforço de treliças planas é um indicador de que a configuração dessas treliças é a mais adequada para redistribuir os esforços. Com isso, o ideal é realizar as medidas de deformação no vão durante a aplicação de cargas, possibilitando observar as diferenças entre as deformações para cada modelo que poderiam afetar o elemento construtivo da abertura.

Além disso, como observado nos Gráfico 1, 2 e 3, para velocidades menores de aplicação da carga alcançou-se melhores resultados de resistência. Dessa forma, o ideal é o carregamento automático do protótipo, ou seja, com a velocidade de aplicação da carga constante.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Cristian de Carvalho. **Boas práticas utilizadas na execução da alvenaria de vedação em blocos cerâmicos: um estudo de caso em edificações residenciais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá, 2012. Disponível em: < <http://www.peu.uem.br/Discertacoes/>>. Acesso em: 09 jan. 2014.

ARCELORMITTAL. **Soluções para alvenaria**. [S.l.:s.n], 2009. 6p. Disponível em: <https://www.belgo.com.br/produtos/construcao_civil/solucoes_para_alvenaria/solucoes_para_alvenaria.asp>. Acesso em: 15 jan. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. **Manual Técnico de Alvenaria**. São Paulo: ABCI/Projeto, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-1**: componentes cerâmicos: parte 1: blocos cerâmicos para alvenaria de vedação: terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15270-3**: componentes cerâmicos: parte 3: blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação: métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13281**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 8545**: execução de alvenaria sem função estrutural de tijolos e blocos cerâmicos. 1984.

_____. **NBR 15961-1**: Alvenaria Estrutural: blocos de concreto: parte 1: projeto. 2011.

_____. **NBR 15961-2**: Alvenaria Estrutural: blocos de concreto: parte 2: execução e controle de obras. 2011.

_____. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. 2005.

AZEREDO, Hélio Alves de. **O edifício até sua cobertura**. 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 1997.

BAUER, Falcão L. A. **Materiais de construção**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

BORGES, Alberto de Campos. **Prática de pequenas construções**. 6. ed. São Paulo: Blucher, 2009.

CAMACHO, Jefferson Sidnei. Projeto de edifícios de alvenaria estrutural. Ilha Solteira, São Paulo, UNESP, 2006. Disponível em: <<http://www.nepae.feis.unesp.br/Apostilas/Projeto%20de%20edificios%20de%20alvenaria%20estrutural.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2014.

CARASEK, Helena. **Materiais de construção civil: argamassa**. Editor: Geraldo C. Isaia, IBRACON, (2005). Disponível em: <http://aquarius.ime.eb.br/~moniz/matconst2/argamassa_ibracon_cap26_apresentacao.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2014.

COSTA, Samantha. Blocos cerâmicos: saiba para que servem os diversos tipos de blocos usados na alvenaria estrutural. 37. ed. **Revista Equipe de Obra: PINI**. 2011. Disponível em <<http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/37/blocos-ceramicos-220703-1.aspx>> Acesso em: 13 jan. 2014.

GIORGETI, Bruno Raksa *et al.* **Análise do desempenho estrutural de paredes de alvenaria com aberturas sob carregamento vertical**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Curso de Engenharia de Produção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Curitiba, 2007, 90p.

GROHMANN, Leandro Zampieri. **Análise do comportamento de prismas grauteados de alvenaria estrutural cerâmica**. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Programa de pós-graduação de engenharia civil e preservação ambiental, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM-RS, 2006. Disponível em: <http://www.livrosgratis.com.br/livros_de_leandro_zampieri_grohmann_para_download/1>. Acesso em: 27 jan. 2014.

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial. **Programa de análise de produto: Bloco Cerâmico**. [s.l.], 2001. Disponível em <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/tijolo.asp#justificativa>>. Acesso em: 09 jan. 2013.

KALIL, Sílvia Maria Baptista, Legerinni, Maria Regina Costa. **Estruturas Mistas**. Apostila, Pontifca Universidade Católica do Rio Grande do Sul, PUCRS, (2007).

LEGGERINI, Maria Regina, *et al.* **Estruturas Mistas – Concreto Armado x Alvenaria Estrutural**. Pontifca Universidade Católica do Rio Grande do Sul, PUCRS, (2010). Disponível em: <http://www.feng.pucrs.br/professores/mregina/ENGENHARIA_-_Topicos_Especiais_ECivil_II_-_Alvenaria_Estrutural/Topicos_Especiais_ECivil_II_Apostila.pdf> Acesso em: 27 jan. 2014.

MAMEDE, Fabiana Cristina. **Utilização de pré-moldados em edifícios de alvenaria estrutural**. Dissertação (Mestrado em engenharia de estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2001. Disponível em: <web.set.eesc.usp.br/static/data/producao/2001ME_FabianaCristinaMamede.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2014.

MANZIONE, Leonardo. **Projeto e execução de alvenaria estrutural**. 2. ed. São Paulo: O nome da Rosa, 2004.

MELLO, Roberto Lecomte. **Projetar em madeira**: uma nova abordagem. Dissertação apresentada à faculdade de arquitetura e urbanismo da Universidade de Brasília. Brasília, 2007.

MOLITERNO, Antonio. **Caderno de estrutura em alvenaria e concreto simples**. 1. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1995.

NOGUEIRA, Janus Magno B. Garcia, Daniel. **Reforços para alvenaria**. Artigo. [s.n.]. Goiânia, 2008. Disponível em: <<https://www.belgo.com.br/solucoes/artigos/artigos.asp#>>. Acesso em: 25 jan. 2014.

REZENDE, Fabiana Martins de. Et al. **Análise do emprego de armaduras treliçadas planas como alternativa tecnológica para a execução de vergas em alvenaria estrutural**, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212013000100005>>. Acesso em: 28 jan. 2014.

RICHTER, Cristiano. **Qualidade da alvenaria estrutural em habitações de baixa renda**: uma análise da confiabilidade e da conformidade. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2007. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/12146/000622700.pdf?...>>. Acesso em 25 jan. 2014.

SAYEGH, Simone. Blocos em carreira, **TÉCHNE**. São Paulo, v.19, ed.64 jul. 2002. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/64/artigo285227-1.aspx>>. Acesso em: 13 jan. 2014.

SILVA, Margarete Maria de Araújo. **Diretrizes para o projeto de alvenarias de vedação**. Dissertação apresentada a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, 2003. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/.../DissertacaoMargarete.pdf> Acesso em: 25 jan. 2014.

THOMAZ, Ercio. *et al.* **Código de práticas no1: alvenaria de vedação em blocos cerâmicos**. São Paulo: IPT Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.ipt.br/download.php?filename=113-Codigo_de_Praticas_n_01.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2014.

THOMAZ, Ercio. **Trincas em edifícios: causa, prevenção e recuperação**. São Paulo: IPT/EPUSP/PINI, 1989. 194p.
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. **Construção de verga em alvenaria autoportante de tijolos maciços**. Porto Alegre: ESO, 2013. Disponível em <<http://www.ufrgs.br/eso/content/?tag=estrutura>>. Acesso em: 25 jan. 2014.

USUDA, Fábio. **Técnicas construtivas especiais: alvenaria estrutural**. Sorocaba - SP: FACENS, 2004. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/186081469/1-Apostila-Alv-Estrut>>. Acesso em: 25 jan. 2014.

VALLE, Juliana Borges de Senna. **Patologia das Alvenarias: Causa/ Diagnóstico/ Previsibilidade**. Monografia – Escola de Engenharia – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg1/Patologia%20das%20alvenarias.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2014.

YAZIGI, Walid. **A técnica de edificar**. 3. ed. São Paulo: PINI: SindusCon-SP, 2000.

ZULIAN, Carlan Seiler. *et al.* Notas de aula da disciplina: construção civil: assunto: **Alvenaria**. Universidade Estadual de Ponta Grossa, UEPG, 2002. Disponível em: <www.uepg.br/denge/aulas/alvenaria/alvenaria.doc>. Acesso em: 25 jan. 2014.

APÊNDICE A – ENSAIO À COMPRESSÃO DOS BLOCOS CERÂMICOS

Na tabela 8 estão expostos os resultados individuais do ensaio à compressão dos blocos cerâmicos.

Tabela 8 - Resultado do ensaio de resistência à compressão dos blocos.

Bloco	Largura (cm)	Altura (cm)	Comprimento (cm)	Carregamento (N)	Ruptura (Mpa)
1	9,25	14,2	23,2	16192	0,49
2	9,1	14,2	23,5	6942	0,21
3	9,2	14,15	23,6	9729	0,29
4	9,2	14,3	23,2	10558	0,32
5	9,4	14,2	23,6	17361	0,52
6	9,2	14,2	23,7	12156	0,36
7	9,35	14,3	23,4	10498	0,31
8	9,2	14,25	23,3	9230	0,28
9	9,2	14,1	23,4	22675	0,69
10	9,2	14,15	23,3	11467	0,35
11	9,2	14,2	23,1	21885	0,67
12	9,3	14,15	23,4	26740	0,81
13	9,35	14,25	23,3	3496	0,11

Fonte: Autora (2014).

No Gráfico 9 é possível visualizar o gráfico das resistências obtidas para cada bloco ensaiado, destacando a inconstância entre os resultados e o alto desvio padrão

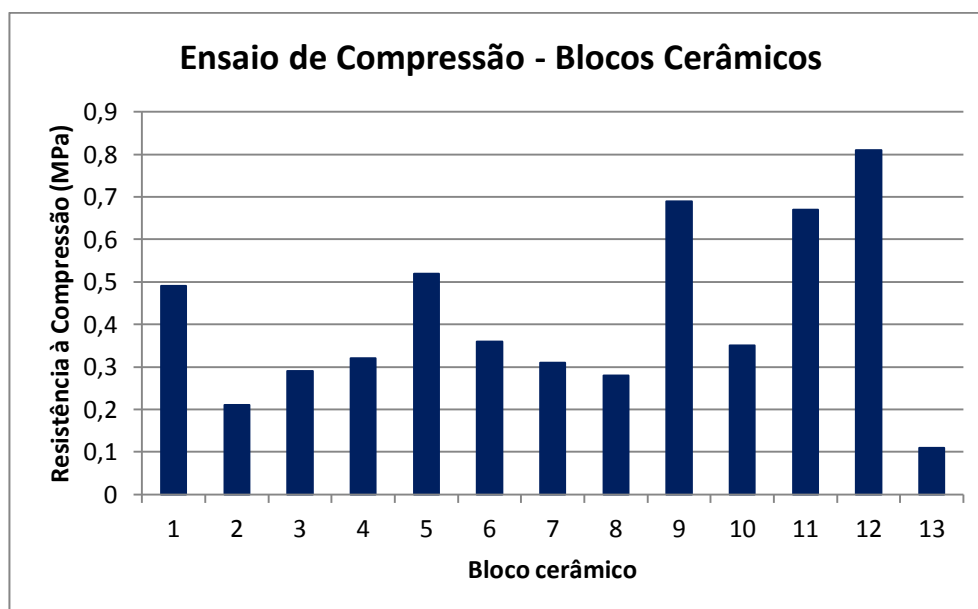


Gráfico 4 – Resistência à compressão dos blocos cerâmicos

Fonte: Autora (2014).

APÊNDICE B – ENSAIO À COMPRESSÃO DA ARGAMASSA

Na Tabela 9 estão expostos os resultados individuais das resistências à compressão da argamassa.

Tabela 9 - Resultado do ensaio de resistência à compressão da argamassa.

Corpo-de-Prova	Força Máxima (N)	Resistência à Compressão (MPa)
1	3166	1,98
2	3526	2,20
3	3266	2,04
4	3336	2,09
5	3396	2,12
6	3466	2,17

Fonte: Autora (2014).

No Gráfico 5 é possível visualizar as variações entre os resultados obtidos.

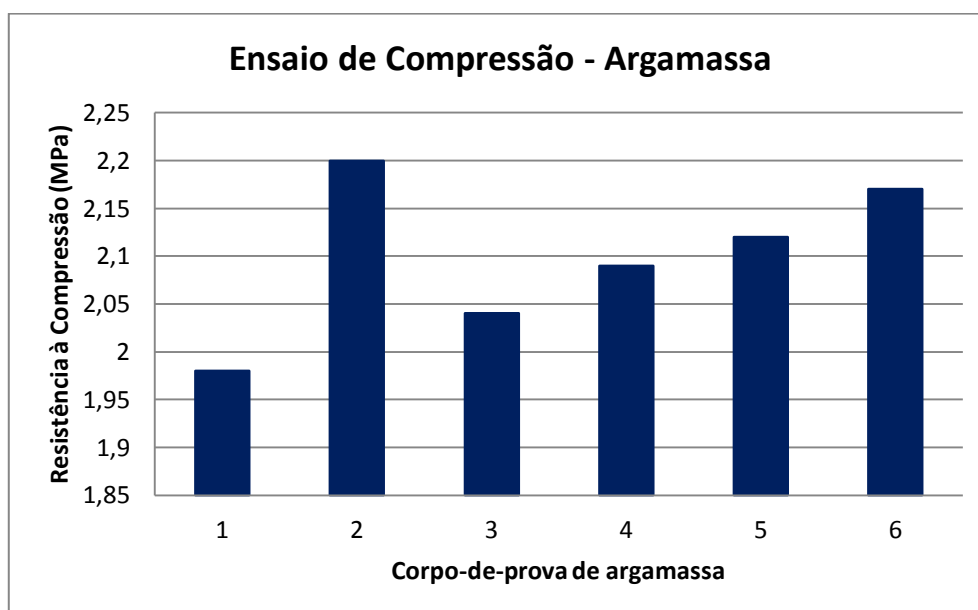


Gráfico 5 – Resistência à compressão da argamassa

Fonte: Autora (2014).

APÊNDICE C – ENSAIO À COMPRESSÃO DOS PRISMAS

Na tabela 10 são apresentados os resultados parciais de resistência à compressão dos prismas de alvenaria

Tabela 10 - Resultado do ensaio de resistência à compressão dos prismas.

Prismas	Carga (N)	Resistência à Compressão (MPa)
1	35320	1,64
2	12846	0,59
3	8241	0,38
4	9120	0,43
5	12007	0,54

Fonte: Autora (2014).

No Gráfico 6 é possível visualizar a variação entre os resultados, principalmente do primeiro valor obtido.

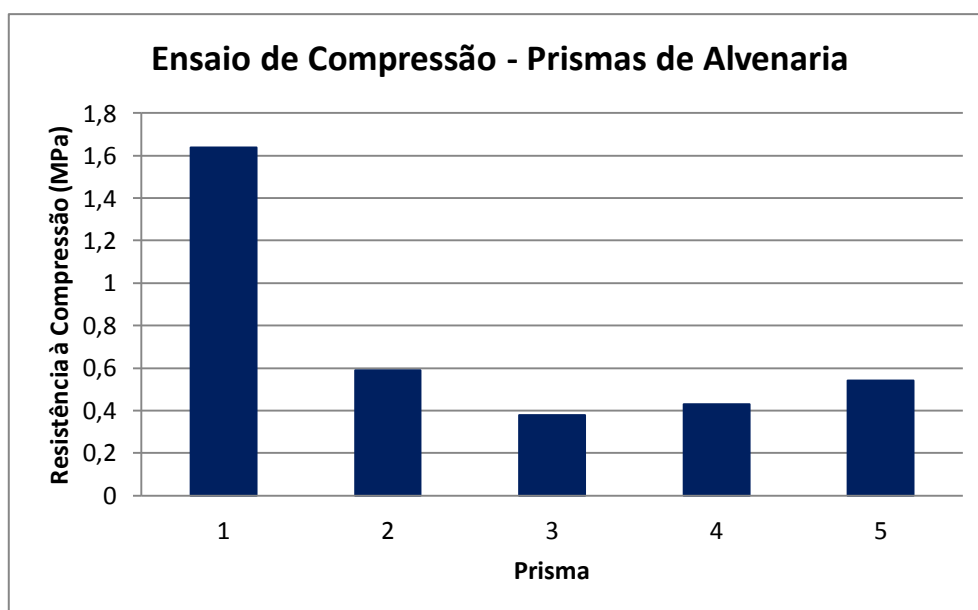


Gráfico 6 – Resistência à compressão dos prismas

Fonte: Autora (2014).

APÊNDICE D – GRANULOMETRIA DA AREIA NATURAL

Na Tabela 11 é possível visualizar as massas retidas nas peneiras de série normal, bem como a análise granulométrica realizada.

Tabela 11 – Análise granulométrica da areia natural.

Peneiras #(mm)	Amostra 1			Amostra 2			Média	
	Massa Retida (g)	%Retida	%Retida Acumulada	Massa Retida (g)	%Retida	%Retida Acumulada	%Retida	%Retida Acumulad
4,8	2,6	0,34	0,34	2,8	0,35	0,35	0,35	0,35
2,4	22,5	2,96	3,30	23,6	2,96	3,31	2,96	3,31
1,2	42,1	5,54	8,84	48,5	6,09	9,40	5,81	9,12
0,6	104,7	13,78	22,62	120,7	15,15	24,55	14,47	23,59
0,3	240,5	31,65	54,28	261,2	32,79	57,34	32,22	55,81
0,15	253,5	33,36	87,64	250,9	31,50	88,84	32,43	88,24
Fundo	93,6	12,32	100,0	88,9	11,16	100,00	11,74	100,0
Total	759,8	100,0	100,0	796,6	100,00	100,00	100,0	100,0

Fonte: Autora (2014).

A dimensão máxima característica é a abertura nominal da malha da peneira em que o agregado apresentou a porcentagem retida acumulada igual ou inferior a 5%. Dessa forma, para areia natural utilizada o diâmetro máximo característico é de 2,4mm.

Já o módulo de finura é obtido pela soma das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras de série normal (75mm; 37,5mm; 19mm; 9,5mm; 4,75mm; 2,46mm; 1,18mm; 600 μ m; 300 μ m e 150 μ m) dividido por 100. Dessa forma, o módulo de finura da areia natural utilizada nesse trabalho é de 1,802.