

ANÁLISE EXPERIMENTAL DE PAREDES DE ALVENARIA REFORÇADAS COM ARMADURA DE JUNTA

EQUIPE

Edna Alves Oliveira – Doutora em Engenharia de Estruturas. Professora do Curso de Mestrado em Construção Civil da FEA / FUMEC – ednao@fumec.br

Roberto Márcio da Silva – Professor Doutor Associado do Departamento de Estruturas da UFMG
roberto@dees.ufmg.br

Paulo Barbosa Lourenço – Diretor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho / Portugal
pbl@civil.uminho.pt.

RESUMO

O presente trabalho apresenta o estudo experimental realizado em mini paredes de alvenaria sem e com armadura imersa na argamassa de assentamento dos blocos. O objetivo geral deste estudo foi investigar o comportamento e o desempenho de paredes de alvenaria, sem função estrutural, reforçadas com armadura de junta e submetidas à flexão no seu plano. Desta forma, foram testadas pequenas paredes de alvenaria (aqui denominadas mini paredes) executadas com blocos cerâmicos furados sem função estrutural e com armadura de junta. Para avaliar experimentalmente o comportamento das mini paredes, foram executadas três séries de mini paredes, sendo duas séries reforçadas com armadura de junta e uma série sem reforço (para referência). Em cada modelo mediu-se o deslocamento no meio do vão e a respectiva carga aplicada, o processo de evolução das fissuras e a largura das fissuras. Através dos resultados, observou-se que os modelos reforçados com armadura de junta apresentaram aumento da carga de início de fissuração, melhor comportamento em serviço, maior capacidade resistente e maior flecha na ruptura.

Palavras-chave: Alvenaria de vedação, reforço, armadura de junta, estudo experimental, flexão no plano.

INTRODUÇÃO

As conjunturas sócio-econômicas de países em desenvolvimento fizeram com que as obras fossem conduzidas com velocidades cada vez maiores, com poucos rigores nos controles dos materiais e dos serviços. O que ocasionou, nos últimos dez anos, mudanças na maneira de construir: o concreto evoluiu, as estruturas e tipologias são mais arrojadas e as alvenarias mais precisas; o processo construtivo também não é o mesmo, nem o cálculo, nem as técnicas gerenciais (TÉCHNE, 2005).

De modo geral, segundo Mendes (2002), as alterações mais importantes foram representadas pelo aumento significativo dos vãos de vigas e lajes, pelo aumento das aberturas nas alvenarias, pela substituição das alvenarias maciças por outros materiais, inclusive materiais leves, pela colocação de alvenarias diretamente sobre lajes sem estarem suportadas diretamente por vigas. As estruturas de concreto tornaram-se mais flexíveis, o que exige uma análise cuidadosa das suas deformações e respectivas conseqüências (HELENE, 2000)

Contudo, ao lado desta evolução das técnicas de projeto e de execução de obras, surgiram problemas de falhas nas construções. As alvenarias ficaram mais rígidas com o advento de blocos vazados mais resistentes e de dimensões maiores, o que reduziu a capacidade das paredes não estruturais de absorver deformações (TÉCHNE, 2005).

Diante destes aspectos, torna-se necessário racionalizar, melhorar as técnicas e práticas precedentes e, além disso, analisar os modelos que definem reforços nas construções de alvenaria. Assim, as paredes de alvenaria sem função estrutural e o fenômeno de fissuração associado à deformação dos elementos estruturais são o âmbito deste artigo. Trata-se do produto da Tese de doutorado dos autores, cujo objetivo era investigar o comportamento e o desempenho de paredes de alvenaria não estruturais reforçadas e submetidas à flexão no seu plano.

Quanto ao tipo de reforço analisado, estudou-se a inserção de armadura para alvenaria nas juntas de assentamento dos blocos. Trata-se da armadura em treliça plana em que as barras transversais complementares se encontram no mesmo plano das barras longitudinais, mais utilizadas, face à necessidade de imergir as armaduras na argamassa e às limitações da espessura da junta em paredes de alvenaria.

MATERIAIS E MÉTODOS

No estudo, foram consideradas as propriedades de blocos cerâmicos com seis furos sem função estrutural, comumente utilizados em paredes de vedação no Brasil, cujas dimensões são 29 cm x 19 cm x 14 cm (comprimento x altura x espessura) – Figura 1(a).

Quanto ao tipo de armadura, utilizou-se a armadura de junta do tipo Murfor (Figura 1(b)), em aço A500 galvanizado, com 2 barras de \varnothing 4.0 mm e afastamento de 50 mm (RND-Z. 4/50 – sendo que RND indica “Round”, Z galvanizado, 4 o diâmetro das barras (em mm) e 50 o afastamento entre as barras (em mm)).

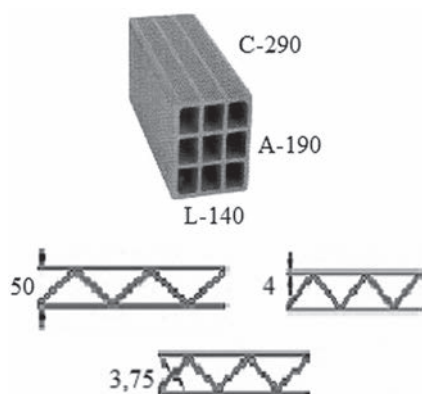


Figura 1 – Detalhes do bloco e da armadura de junta (dimensões em mm): (a) bloco cerâmico furado de vedação; (b) armadura em treliça de aço galvanizado (armadura Murfor / RND-Z. 4/50).

Para avaliar o comportamento de mini paredes reforçadas com armadura de junta, consideraram-se três grupos principais de modelos (todos compostos por três mini paredes): o primeiro, designado por Série 1, sem armadura (Figura 2(a)); o segundo, designado por Série 2, com armadura a cada duas juntas horizontais de assentamento dos blocos, (Figura 2(b)) e o terceiro (Série 3) com armadura em todas as juntas horizontais (Figura 2(c)).

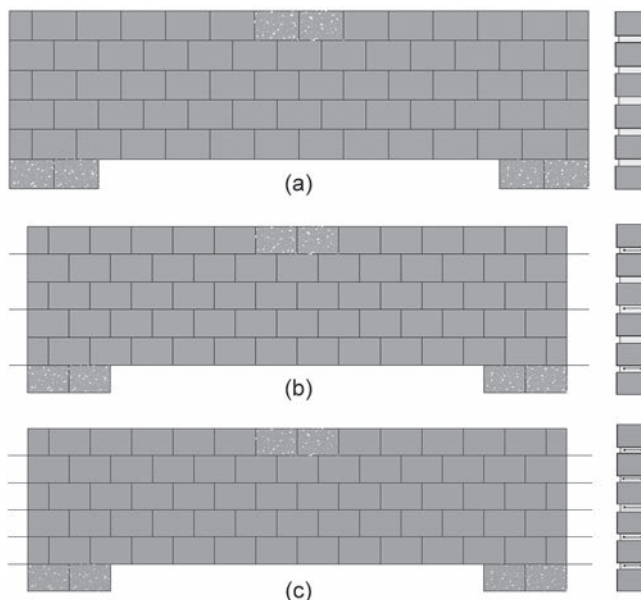


Figura 2 – Modelos das mini paredes ensaiadas: (a) Série 1 – sem armadura, (b) Série 2 – armadura imersa na argamassa a cada duas juntas horizontais, (c) Série 3 – armadura em todas as juntas horizontais.

SISTEMA DE ENSAIO

O objetivo geral destes testes experimentais em mini paredes era simular o comportamento das paredes de alvenaria de vedação quando submetidas ao esforço de flexão no seu plano resultante da deformação dos elementos estruturais. Mais precisamente, o fenômeno apresentado na Figura 3, no qual o componente de apoio deforma-se menos que o componente superior.

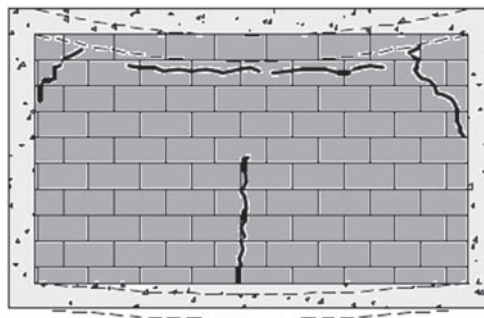


Figura 3 – Flecha da viga inferior menor que a da viga superior (adaptada de PEFFERMANN, 1968).

Neste caso, a parede se comporta como uma viga solicitada à flexão, resultando fissuras semelhantes àquelas apresentadas para o caso de flexão de vigas de concreto armado (HELENE, 2000).

Assim, inicialmente, optou-se pelo ensaio em quatro pontos para a avaliação da tensão de ruptura à flexão pois, nele uma maior extensão das mini-paredes ensaiadas estariam sujeitas ao momento fletor máximo, diferente do que ocorre no ensaio em três pontos, conforme ilustra a Figura 4.

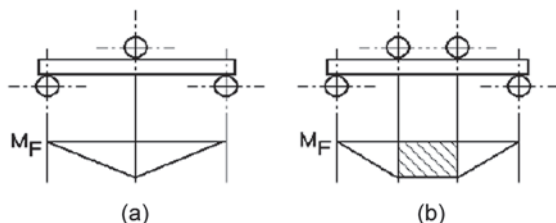
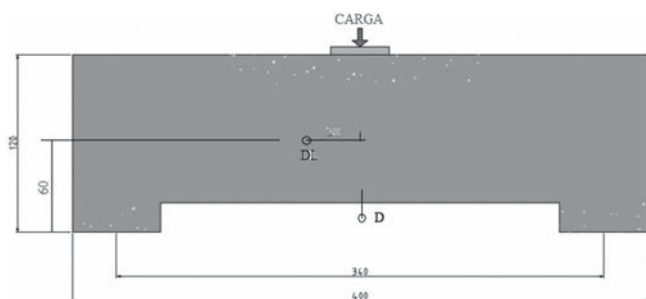


Figura 4 – Esquema simplificado dos ensaios à flexão e suas respectivas distribuições de momentos fletores: (a) ensaio à flexão em três pontos, (b) ensaio à flexão em quatro pontos.

Entretanto, após a realização dos primeiros ensaios, verificou-se a necessidade em alterar o sistema de ensaio considerando que os resultados obtidos não atendiam aos objetivos da pesquisa. Assim, na realização do programa experimental efetuaram-se ensaios à flexão em três pontos. A Figura 5 ilustra o sistema de ensaio adotado neste programa experimental.



LEGENDA: D – relógio comparador para medir a flecha; DL – relógio comparador para medir o deslocamento lateral.

Figura 5: Dimensões e esquema de ensaio (medidas em centímetros).

MÉTODO DE ENSAIO E DETALHES CONSTRUTIVOS

Para alcançar os objetivos do ensaio, um aspecto fundamental tratou-se da preocupação de, na concepção dos modelos e dispositivos de ensaio, reproduzir o comportamento das paredes quando submetidas ao esforço de flexão no seu plano.

Desta forma, definiram-se modelos de mini paredes bi-apoiadas nos próprios blocos que seriam utilizados na execução das amostras. Para evitar a movimentação das mini paredes, optou-se pela execução de todas as fiadas e, posteriormente, pela retirada dos blocos centrais, assim, nesta região, foram

utilizadas placas de isopor entre os blocos e a argamassa de assentamento (Figura 6).

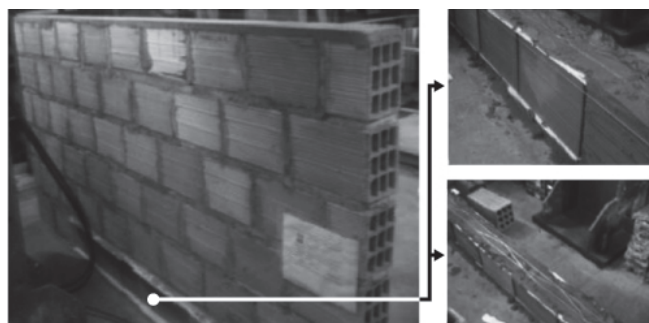


Figura 6: Detalhe do assentamento dos blocos centrais sobre placas de isopor para posterior remoção.

Os blocos de apoio e de aplicação das cargas foram preenchidos com graute a fim de evitar o esmagamento durante a aplicação do carregamento (ver Figura 7).

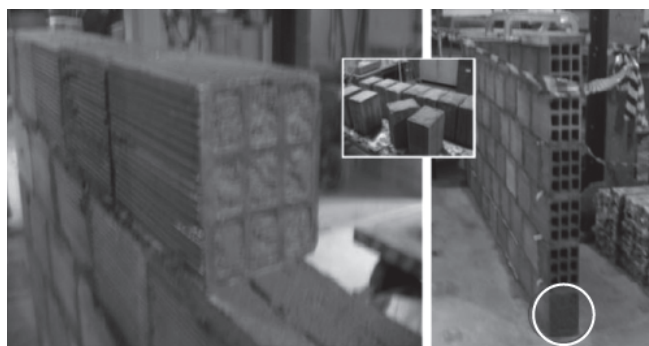


Figura 7: Blocos centrais e de apoio preenchidos com graute.

As mini paredes de todas as séries analisadas foram ensaiadas em uma única etapa. O carregamento foi aplicado de forma gradual, sendo feitas leituras de flecha e deslocamento lateral em cada incremento de carga. Após o aparecimento da primeira fissura na mini parede, foi feito, também, um acompanhamento do processo evolutivo das fissuras e a respectiva carga atuante. O ensaio só terminava quando era atingida a ruptura das mini paredes. Vale ressaltar que, neste estudo, o termo ruptura significa o esgotamento da capacidade resistente da parede, ou seja, a impossibilidade de se aumentar a carga aplicada pelo macaco hidráulico.

Vale considerar que, na ausência de um instrumento comparador, a ocorrência da primeira fissura e o seu processo de evolução ao longo das mini paredes foram verificados por apreciação visual.

RESULTADOS

MODELO SEM ARMADURA (SÉRIE 1)

De uma forma geral, as primeiras fissuras apareceram na região de maior tração. À medida que o carregamento aumentava, as fissuras começaram a surgir, também, nas juntas verticais próximas aos pontos de aplicação da carga (formação do efeito arco). Após o surgimento das primeiras fissuras, verificava-se a ruptura da amostra.

A título de exemplo, apresenta-se na Figura 8 o modo de ruptura da mini parede 1 da Série 1 e na Figura 9 detalhes das fissuras apresentadas na mini parede 2 da mesma série.

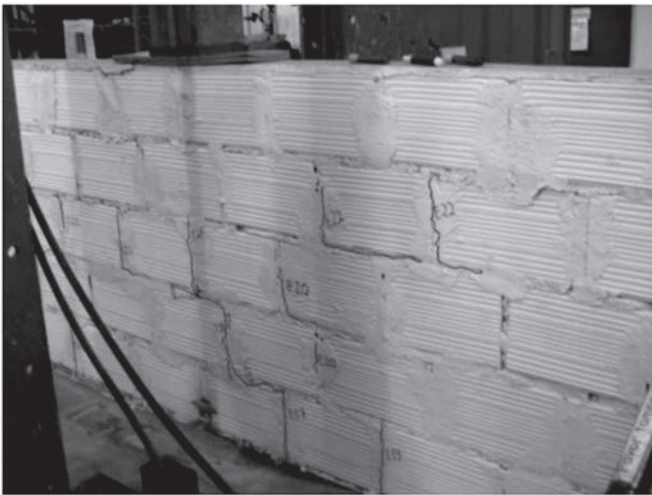


Figura 8 – Modo de ruptura da mini-parede 1 da Série 1.



Figura 9 – Detalhes da lagura das fissuras da mini parede 2 da Série 1.

A seguir, apresenta-se o gráfico de carga x flecha no meio do vão (Gráfico 1) que representa o comportamento das mini paredes no decorrer do ensaio.

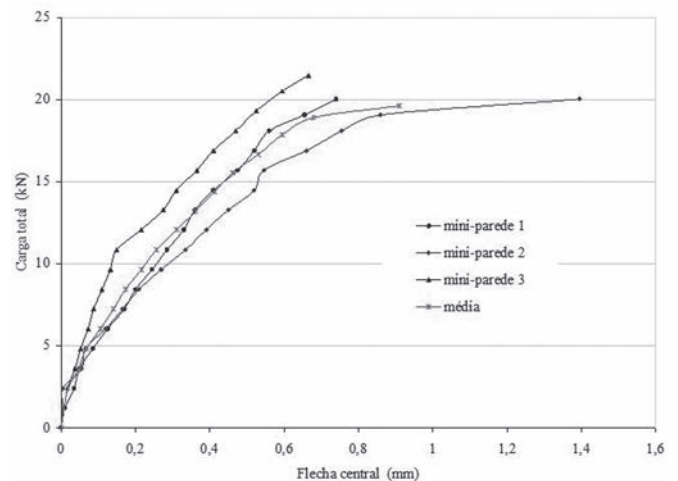


Gráfico 1 – Curva carga total x flecha no meio do vão das mini paredes da Série 1.

Através do gráfico, observa-se comportamento semelhante das mini paredes. Entretanto, verificou-se maior deslocamento no meio do vão da mini-parede 2, o que pode ser justificado pela não ocorrência de deslocamento lateral até uma carga de aproximadamente 16 kN (dados obtidos a partir da instrumentação das mini paredes com relógios comparadores posicionados em cada face, conforme ilustra a Figura 5). A partir desta carga, verificou-se maior perda de rigidez, o que provocou o aumento dos deslocamentos no meio do vão seguida da ruptura da mini parede.

O modo de ruptura das mini paredes deste modelo (Série 1) foi do tipo frágil (ruptura brusca).

MODELO COM ARMADURA A CADA DUAS JUNTAS HORIZONTAIS (SÉRIE 2)

Neste modelo, não foram observadas fissuras na região de maior tração, entretanto, verificou-se a evolução das fissuras na direção dos apoios caracterizando uma tendência à formação do efeito arco. A menor carga registrada para a qual surgiu a primeira fissura foi de 24,6 kN (fissura localizada próxima aos apoios). À medida que o carregamento aumentava, surgiam fissuras próximas aos pontos de aplicação da carga.

Quanto à flecha no meio do vão, o menor deslocamento registrado foi de 0,7 mm, para o qual surgiu a primeira fissura. As fissuras apresentaram larguras menores em comparação com as verificadas nas mini paredes do modelo sem armadura

(Série 1). Além disso, verificaram-se fissuras apenas na argamassa, não houve fissuras nos blocos e ruptura das faces como registradas no modelo sem reforço.

A seguir, apresenta-se o gráfico de *carga x flecha* no meio do vão (Gráfico 2) que representa o comportamento das mini paredes no decorrer do ensaio.

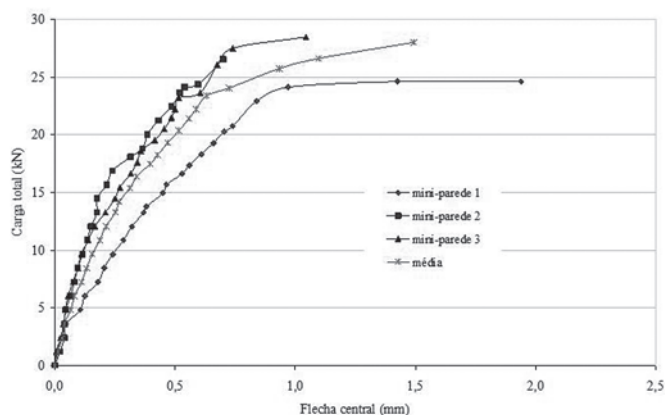


Gráfico 2 – Curva carga total x flecha no meio do vão das mini paredes da Série 2.

Através do gráfico, verifica-se comportamento semelhante das mini paredes ao longo do ensaio, entretanto, observam-se diferenças na carga de ruptura e nos deslocamentos centrais. Tais diferenças podem ser justificadas pelas espessuras não uniformes das juntas horizontais e verticais de cada mini parede.

MODELO COM ARMADURA EM TODAS AS JUNTAS HORIZONTAIS (SÉRIE 3)

Neste modelo, verificou-se uma menor quantidade de fissuras do que nos modelos anteriores e com larguras menores em comparação ao modelo sem reforço.

Na mini parede 1 deste modelo, a primeira fissura ocorreu para uma carga de 24,8 kN com uma respectiva flecha no meio do vão de 1,8 mm. Em seguida, após o surgimento desta fissura, verificou-se a perda de capacidade de carga da mini-parede caracterizando a ruptura (ver Figura 10).



Figura 10: Modo de ruptura da mini parede 2 da Série 3.

O Gráfico 3 apresenta a curva *carga x flecha* no meio do vão das mini paredes no decorrer do ensaio.

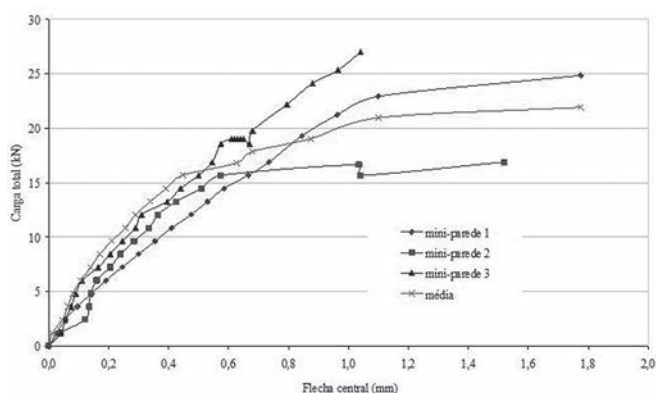


Gráfico 3 – Curva carga total x flecha no meio do vão das mini-paredes da Série 3.

COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS

De acordo com o processo de evolução das fissuras e com o comportamento das mini paredes de cada modelo, verificou-se que os modelos com armadura de junta a cada duas fiadas horizontais (Série 2) apresentaram maior ductilidade e maior capacidade resistente. Verificou-se um aumento da capacidade resistente de aproximadamente 25%, cuja carga média de ruptura passou de 19,6 kN (Série 1) para 26,2 kN (Série 2).

Quanto à flecha no meio do vão, observou-se que nos modelos com armadura de junta, o processo de fissuração iniciou para deslocamentos maiores em comparação ao modelo sem reforço (Série 1). Além disso, com base na progressão de danos observados até a ruptura, verificou-se que nos modelos com armadura de junta não houve fragmentação dos blocos como observado nos modelos sem reforço, entretanto, houve

o rebaixamento dos blocos centrais (nos pontos de aplicação das cargas) e, em algumas mini paredes, esmagamento dos blocos nas proximidades dos apoios em função do efeito arco.

No Gráfico 4, apresentam-se as curvas definidas a partir da média dos resultados obtidos em cada modelo.

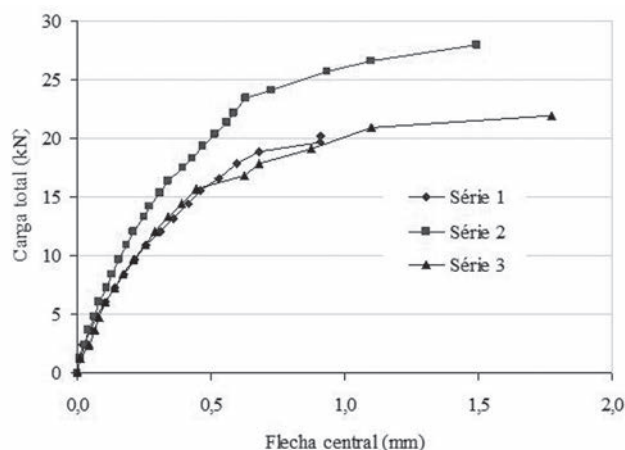


Gráfico 4: Curva carga total x flecha no meio do vão da média dos resultados obtidos em cada modelo.

A observação do gráfico reforça as conclusões acima mencionadas pois, é visível o efeito das armaduras de junta no comportamento dos modelos, traduzidas em termos de acréscimos da capacidade dúctil e da capacidade resistente.

Verifica-se, também, comportamento semelhante dos modelos para carregamentos menores e mudanças a partir do instante que as cargas aumentam – principalmente, na Série 2, na qual as diferenças tornam-se significativas a partir da carga de aproximadamente 10 kN. Pode-se considerar que há uma certa coerência (menor distância entre as curvas) na fase elástica, onde ainda não se tem nenhum fenômeno de instabilidade envolvido.

Quanto ao comportamento das mini-paredes da Série 3 ser semelhante ao modelo sem reforço até uma carga de aproximadamente 15 kN, pode ser justificado em função erros de execução. Tais erros foram: excentricidade do carregamento, ausência de argamassa nas juntas de assentamento de algumas mini paredes da Série 3 o que provocou a não aderência entre bloco e armadura.

Entretanto, a partir da carga de aproximadamente 16 kN é visível uma considerável perda de rigidez na Série 1, porém, devida à resistência mobilizada pela armadura de junta, após o início da fissuração, as mini paredes da Série 3 ainda suportaram significativos acréscimos de carga e deslocamento. Ao contrário, a reduzida flecha e rigidez das mini paredes da Série 1 (sem armadura) comprovam uma ruptura frágil e brusca, não existindo grandes deformações capazes de anteciper a ruptura.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, apresentou-se um sistema construtivo onde se pretende compatibilizar dois subsistemas da construção, estrutura e alvenaria, em virtude das várias interferências observadas nas últimas décadas. Interferências que causam patologias, principalmente, fissuras na alvenaria de vedação que, com evolução tecnológica, novas tipologias construtivas, aumento dos vãos entre pilares e do número de pisos, assim como, rapidez de execução dos edifícios, estas fissuras se tornaram uma das principais anomalias nas alvenarias não estruturais. Assim, apresentou-se uma técnica de reforço para as alvenarias sem função estrutural a fim de minimizar o processo de fissuração associado à deformação excessiva dos elementos suporte.

A partir dos resultados obtidos, verificou-se que em ambos os modelos (sem e com armadura), as primeiras fissuras no meio do vão surgiram para o mesmo nível de carga e flecha central. Da mesma forma, a partir deste instante, verificaram-se mudanças consideráveis no comportamento da alvenaria – que se caracterizam pelo maior intervalo (maior distância) entre as curvas *carga x flecha* no meio do vão (maior perda de rigidez nos modelos sem armadura e menor capacidade da alvenaria de se deformar, característica dos materiais “quasi” frágeis).

No entanto, as melhorias no comportamento da alvenaria não estrutural submetida à flexão no plano com esta técnica de reforço está associada a alguns fatores, tais como: a espessura das juntas de assentamento, a qualidade da argamassa considerando que esta é responsável pela boa aderência entre o conjunto (bloco/ armadura/ argamassa), a taxa de armadura e a resistência à compressão da alvenaria.

Em face ao exposto, verificou-se que é inegável a influência e contribuição da armadura na melhora da capacidade da alvenaria de se deformar e no controle da fissuração. Além disto, observou-se que os modelos reforçados com armadura de junta apresentaram aumento da carga de início de fissuração, melhor comportamento em serviço, maior capacidade resistente, maior flecha na ruptura e menor largura das fissuras quando submetidos aos mesmos carregamentos de um modelo sem reforço.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HELENE, P. "Quality in design and execution of masonry and structural walls in buildings". São Paulo / Brazil, EPUSP. (Technical Bulletin of the Polytechnic School of USP. Department of Civil Engineering, BT/ PCC/252), 2000.

LOURENÇO, P. B. "Concept and design for masonry wall". In: Seminar on Masonry Walls, P. B. Lourenço & H. Sousa (Eds). p.77-110. Porto, 2002.

Manual técnico de utilização da armadura Murfor para alvenaria. Belgo Bekaert Arames, Belo Horizonte / M.G, 2005.

OLIVEIRA, E. A. "Estudo numérico e experimental de paredes de alvenaria não estruturais reforçadas com armadura de junta submetidas à flexão no seu plano". Tese de Doutorado – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

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

MENDES, S. H., Alvenarias não estruturais: Patologias e estratégias de reabilitação, p.187-206. Universidade do Porto, Portugal, 2002.

THÉCHNE. "Deformações estruturais: revestimentos e alvenaria estouram e mostram a incompatibilidade dos sistemas", p. 46-51. Edição 97 / ano 13 abril de 2005.