

ANÁLISE DE FISSURAS EM PAREDES DE ALVENARIA SUBMETIDAS À SOBRECARGA

Emily R. dos Santos* e **Geraldo J. B. dos Santos**

Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, BA, Brasil

Palavras-chave: Alvenaria estrutural, Fissuras, Elementos Finitos.

Resumo. A quantidade crescente de edificações executadas utilizando como técnica construtiva a Alvenaria Estrutural evidencia a relevância de estudos e pesquisas constantes nessa área. Os elementos que compõem as paredes de alvenaria possuem baixa resistência a tração, justificando a fissuração como uma das principais manifestações patológicas encontradas nesse tipo de estrutura. O presente trabalho desenvolveu um modelo computacional (micromodelagem), utilizando o Método dos Elementos Finitos, para avaliar e mapear o surgimento de fissuras em paredes de alvenaria estrutural. A validação do modelo foi feita para prismas de alvenaria modelados de forma tridimensional. Após a validação, aplicou-se o modelo da micromodelagem para análise de uma parede de alvenaria submetida a diferentes mecanismos causadores de fissuras: sobrecarga e recalque da fundação. Através dos resultados obtidos neste trabalho, foi possível avaliar que a micromodelagem pode representar, com certo grau de acurácia, o comportamento real da estrutural, sendo possível retratar de forma precisa a área de fissuração do painel. Também foi possível verificar que a sobrecarga na alvenaria provoca concentração de tensões, com predominância de tensões de tração no bloco, que ultrapassam sua capacidade resistente, justificando assim o padrão de fissuração obtido.

Endereços de e-mail: milyrocha1@hotmail.com*, belmonte@uefs.br.

ANALYSIS OF CRACKS IN MASONRY WALLS SUBJECTED TO OVERLOAD

Keywords: Structural masonry, Cracks, Finite Element.

Abstract. The increasing number of buildings built using Structural Masonry as a construction technique highlights the relevance of constant studies and research in this area. The elements that make up masonry walls have low tensile strength, justifying cracking as one of the main pathological manifestations found in this type of structure. The present work developed a computational model (micromodeling), using the Finite Element Method, to evaluate and map the appearance of cracks in structural masonry walls. Model validation was carried out for masonry prisms modeled in three dimensions. After validation, the micromodeling model was applied to analyze a masonry wall subjected to different mechanisms that cause cracks: overload and settlement of the foundation. Through the results obtained in this work, it was possible to evaluate that micromodeling can represent, with a certain degree of precision, the real behavior of the structure, making it possible to accurately portray the cracking area of the panel. It was also possible to verify that the overload in the masonry causes stress concentration, with a predominance of tensile stress in the block, which exceeded its resistant capacity, thus justifying the cracking pattern obtained.

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é um setor que possui um importante papel para o desenvolvimento das cidades, influenciando diretamente na economia e infraestrutura do país. Segundo Paschoalin [19] a construção civil é a atividade que mais utiliza recursos naturais, sendo responsável pelo consumo de cerca de 50% de toda a matéria prima extraída mundialmente. Esse alto consumo de materiais possibilita geração de uma grande quantidade de resíduos, causando impactos no meio ambiente.

Nesse contexto, novas tecnologias executivas começaram a ser estudadas, onde busca-se a racionalização dos processos, redução das perdas, aumento da produtividade e redução do custo da execução [12]. Frente a isso, a alvenaria estrutural ressurgiu como um sistema construtivo potencial para o mercado, possibilitando um maior nível de industrialização da construção.

As estruturas de alvenaria compõem uma grande parte do patrimônio arquitetônico histórico do mundo, incluindo estruturas monumentais como as pirâmides egípcias, torres, castelos, igrejas, além de casarões, sobrados, entre outros [20]. Apesar de ser um sistema construtivo tradicional, até o início do século XX, a aplicação ocorria de forma empírica, não havendo normas técnicas que direcionassem os projetos e as execuções [8]. A partir do século XX, diversos estudos voltados aos materiais e tecnologias executivas da alvenaria começaram a ser desenvolvidos, fomentando a produção de diretrizes técnicas voltadas aos materiais, projetos e execução de obras [10].

Desde então, a alvenaria estrutural vem se tornando um sistema construtivo competitivo, apresentando como principais características a simplificação do processo executivo, redução de resíduos em obra, custo competitivo e uma maior racionalização dos processos, em comparação com os sistemas executivos convencionais [17]. A crescente utilização desse método executivo, justifica a necessidade de estudos voltados a descrição do comportamento desse material [7].

As unidades que compõem a alvenaria estrutural, como o bloco, são caracterizadas como materiais com comportamento frágil, apresentando baixa resistência a tração e uma ruptura brusca. Essas características justificam a fissuração como uma das principais manifestações patológicas encontradas nesse sistema construtivo [1].

As manifestações patológicas de fissuras, predominantemente nas fachadas dos edifícios de alvenaria, provocam custos e prejuízos para as construtoras, na tentativa de recuperação e solução do problema, além de insegurança aos usuários. Segundo Silva [21], avaliar as causas das manifestações patológicas e suas consequências possibilita a redução da ocorrência de falhas. Dessa forma, o estudo da alvenaria estrutural, avaliando as manifestações características das fissuras, possibilitará um melhor conhecimento do mecanismo causador da fissura e das possibilidades de prevenção ou correção das mesmas.

2 FISSURAS NA ALVENARIA ESTRUTURAL

As antigas edificações em alvenaria, possuíam como característica predominante a construção de paredes espessas, utilizando tijolos maciços ou pedras, ligados por uma argamassa com baixo módulo de deformação [5]. Essas características de construção, acarretavam painéis com grande área e inércia da seção transversal, assegurando que deformações e deslocamentos dos materiais oriundos de sobrecargas, variação térmica, carga hidráulica e empuxo de terra ou até mesmo pequenos recalques da fundação, gerassem tensões de tração, compressão e cisalhamento inferiores a capacidade resistente da parede [9].

A alvenaria estrutural desenvolvida atualmente, busca economicidade e produtividade da construção, possibilitando então o desenvolvimento de edificações mais leves, com paredes mais finas, tornando o edifício mais suscetível a movimentações de origem térmica e por umidade. Ao projetar a edificação, caso atuem sobrecargas não previstas, surgirão na alvenaria

tensões de tração, compressão e cisalhamento, que ao ultrapassarem a resistência do material provocarão fissuras [9].

2.1 Excessivo carregamento de compressão

Paredes de alvenaria submetidas a excessivos carregamentos verticais de compressão apresentam um mecanismo de ruptura com a propagação predominante de fissuras verticais. De acordo com Duarte [9], as fissuras verticais ocorrem pela ação de esforços transversais de tração que atuam nos blocos devido ao atrito da face dos blocos com as juntas de argamassa. A argamassa comprimida, geralmente, se deforma mais do que o bloco, expandindo lateralmente e tracionando as unidades.

Segundo Magalhães [16], em paredes de alvenaria descontínuas, com a presença de aberturas, o desenvolvimento de fissuras se inicia nos vértices da abertura, estendendo-se também ao longo do peitoril. O padrão de fissuração é influenciado por fatores como o tamanho específico da abertura, sua localização no painel, as dimensões e a rigidez das vergas e contravergas, bem como pelas propriedades elásticas dos materiais constituintes. A Figura 1 ilustra o padrão de fissuração teórico em uma parede sem e com abertura submetida a sobrecarga.

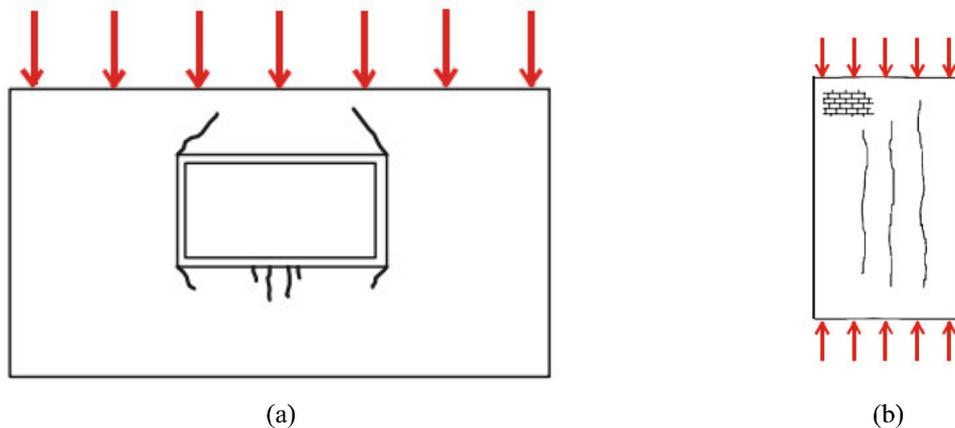


Figura 1: (a) parede com abertura e (b) parede sem abertura [9, 16].

2.2 Modelagem numérica de painéis de alvenaria

De acordo com Lourenço [14] a alvenaria pode ser representada numericamente de três modos distintos: micromodelagem detalhada, micromodelagem simplificada e macromodelagem.

A micromodelagem-detalhada pode ser compreendida como a análise do painel de alvenaria através da representação dos elementos de forma distinta. Nesse aspecto, as unidades (bloco) e as juntas (argamassa) são representadas com suas respectivas propriedades elásticas ou inelásticas (plasticidade, dano, fratura, creep etc), sendo a interface entre os materiais, representado por um plano potencial de fissuração e deslizamento, descrito por uma relação de equilíbrio e constitutiva que represente o fenômeno a ser modelado [6]. A micromodelagem simplificada realiza a representação do painel de alvenaria, considerando as unidades (blocos) como elementos contínuos com as suas propriedades elásticas ou inelásticas, unidas por elementos de contato não lineares [8]. Na macromodelagem, o painel é representado de forma homogeneizada sem realizar distinção entre as unidades e as juntas, por sua vez, a alvenaria é

avaliada como um único compósito, com as mesmas propriedades ao longo de todo o painel.

3 METODOLOGIA

3.1 Construção e validação do modelo

Inicialmente foi realizada uma coleta de resultados experimentais de ensaios realizados em primas de alvenaria estrutural. Os resultados experimentais coletados foram utilizados para construção e validação do modelo. Nesse trabalho utilizou-se os resultados experimentais da pesquisa de Juste [13]. Os prismas ensaiados por Juste [13] seguiram a configuração ilustrada na Figura 2. A Tabela 1 apresenta as propriedades elásticas do bloco e da argamassa.

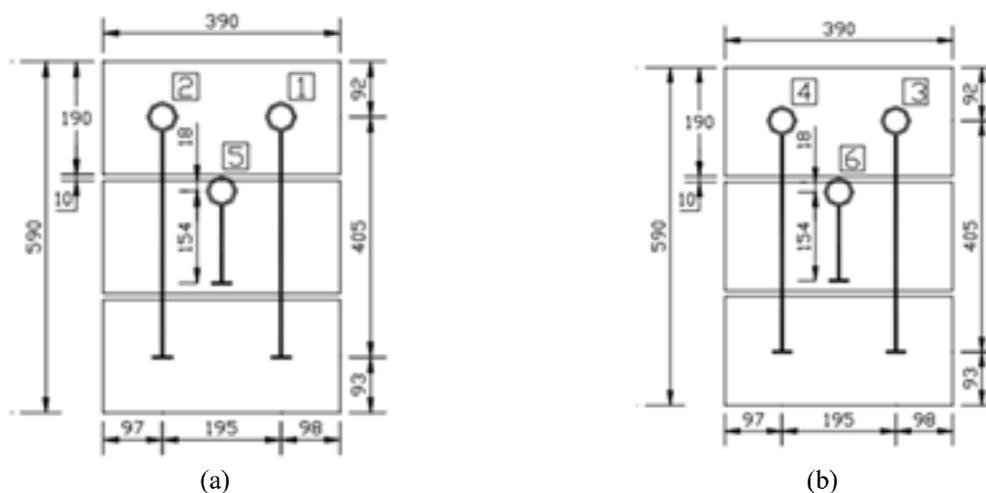


Figura 2: Modelo Prisma: (a) vista frontal e (b) vista oposta [13]

Tabela 1: Propriedades Elásticas – Prisma [13]

Item	Módulo de Elasticidade (MPa)	Poisson
Argamassa	7598	0,2
Bloco	6228	0,1

Por ausência de ensaios experimentais para determinação da tração direta do bloco, a resistência a tração do bloco (f_t) foi calculada utilizando a correlação com a resistência a compressão (f_c), de acordo com a Equação (2) descrita no trabalho de Mohamad [18].

$$f_t = 0.1137 \cdot (f_c)^{0,789} \quad (1)$$

Utilizando a resistência a tração e o módulo de elasticidade do material (E), calculou-se a deformação limite (ε_t) associada ao início do desenvolvimento da fissura:

$$\varepsilon_t = \frac{f_t}{E} \quad (2)$$

Na ausência de ensaios de tração a flexão para a argamassa, a resistência a tração da

argamassa foi considerada como o menor valor de resistência à tração na flexão de acordo com o item 4 da NBR 13281 [4]. A resistência a compressão do bloco e argamassa foram determinados no trabalho de Juste [13]. A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 2: Resistência a tração e compressão (Adaptado de [13])

Elemento	f_t (MPa)	f_c (MPa)	ε_t (mm/mm)
Bloco	0,38	4,70	$6,42 \times 10^{-5}$
Argamassa	1,00	3,31	$1,32 \times 10^{-4}$

A Figura 3 apresenta o modelo de ruptura do prisma ensaiado por Juste [13].



Figura 3: Modelo de ruptura do Prisma [13]

Utilizando resultados experimentais foi realizada a modelagem do prisma por meio do método dos elementos finitos, através da técnica de micromodelagem detalhada. A modelagem foi realizada utilizando o Software Ansys. Nessa etapa, a argamassa e o bloco foram modelados individualmente, sendo atribuídas as propriedades elásticas de cada material separadamente. Para simplificação dos modelos, o bloco foi modelado como sendo um bloco de concreto maciço, sem descrição dos furos. A Figura 4 descreve o Micromodelo.

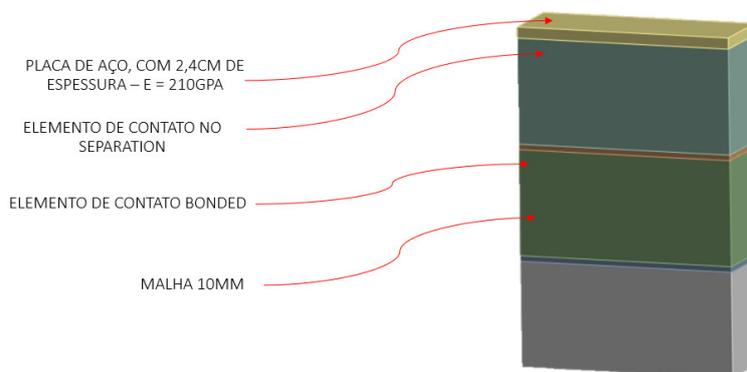


Figura 4: Micromodelagem - Prisma

Para modelagem tridimensional do painel de alvenaria o modelo foi construído considerando o estado triaxial de tensões e utilizando o elemento SOLID 65. Esse elemento possui 8 nós, tendo três graus de liberdade por nó, sendo translações para os eixos x, y, z. O elemento possibilita o tratamento de propriedades lineares e não lineares para os materiais isotrópicos,

com capacidade de indicar fissuração (nas três direções ortogonais), esmagamento e deformação plástica.

A malha foi discretizada adotando elementos quadrilaterais com 10 mm de lado. No processo de refinamento, dimensões dos elementos inferiores a 10 mm adotadas para os elementos não apresentavam variações consideráveis nos resultados de tensão e deformação analisados, garantindo que os resultados são independentes da malha.

Para descrição do comportamento de falha do bloco, argamassa e concreto, utilizando o SOLID 65, utilizou-se nove constantes relativas aos materiais (Tabela 3), baseado no critério de falha do modelo de William-Warke como citado por [11].

Tabela 3: Constantes do critério de falha do concreto – SOLID 65 [11]

Constante	Símbolo	Significado
1	β_t	Coefficiente de transferência de cisalhamento para fissura aberta
2	β_c	Coefficiente de transferência de cisalhamento para fissura fechada
3	f_t	Tensão de fissuração por tração uniaxial
4	f_c	Resistência última a compressão uniaxial
5	f_{cb}	Resistência última a compressão biaxial
6	σ_h^a	Estado de estresse hidrostático
7	f_1	Tensão de esmagamento biaxial (positiva) para estado tensão hidrostática ambiente
8	f_2	Tensão de esmagamento uniaxial (positiva) para estado tensão hidrostática ambiente
9	T_C	Multiplicador de rigidez para condição de tração quebrada (padrão 0,6)

Para construção da superfície de falha, utilizando o software ANSYS, basta definir apenas as quatro constantes iniciais ($\beta_t, \beta_c, f_t, f_c$), sendo as demais constantes calculadas pelas correlações:

$$f_{cb} = 1,2 \cdot f_c \quad (3)$$

$$f_1 = 1,45 \cdot f_c \quad (4)$$

$$f_2 = 1,725 \cdot f_c \quad (5)$$

$$\sigma_h^a \leq 3 \cdot \sqrt{f_c} \quad (6)$$

Os coeficientes de transferência de cisalhamento para fissura aberta e fissura fechada (β_t, β_c) variam de 0 a 1, onde 0 indica completa perda de transferência de cisalhamento, e 1 representa a não ocorrência de perda. A escolha desses coeficientes foi baseada nos valores estabelecidos para o concreto conforme pesquisa conduzida por Silva [21], sendo adotado $\beta_t = 0,30$ e $\beta_c = 0,80$ para o bloco, argamassa e graute.

3.2 Aplicação do modelo em uma parede submetida a sobrecarga

Após a validação dos modelos construídos, procedeu-se à avaliação da propagação de

fissuras em uma parede de alvenaria estrutural, tanto com abertura quanto sem abertura, submetida a carregamentos excessivos de compressão. A análise foi realizada utilizando a Micromodelagem Detalhada e adotando as mesmas propriedades elásticas dos materiais empregados no Prisma. Os painéis de alvenaria modelados seguiram o detalhamento indicado na Figura 5, com as medidas expressas em metros.

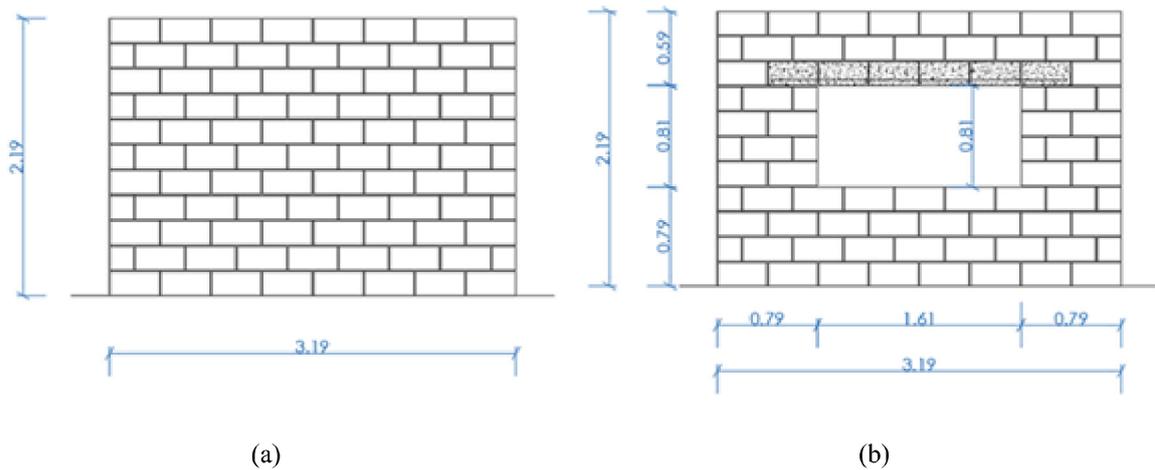


Figura 5: Parede submetida à sobrecarga: (a) parede sem abertura e (b) parede com abertura

Nesta fase, primeiramente, calculou-se a resistência à compressão da parede de alvenaria sem abertura, seguindo as formulações estabelecidas pela ABNT NBR 16868-1 [3]. A eficiência entre o bloco e a argamassa foi determinada de acordo com o anexo F e a tabela 2 da NBR 16868-1 [3], respectivamente. A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 4: Resistência a compressão teórica da parede

Elemento	f_d (MPa)	N_{rd} (MPa)
Prisma	1,30	184,00

As fissuras na parede foram mapeadas e avaliadas para ação de uma sobrecarga distribuída. Para analisar as fissuras resultantes de sobrecarga, a parede de alvenaria foi modelada sobre um apoio indeformável. A parede foi submetida a carregamentos que excediam a resistência teórica à compressão, e a formação das fissuras foi avaliada à medida que o carregamento era incrementado.

Na parede com abertura, foi incorporado um elemento de verga na parte superior da abertura. Essa verga foi representada por blocos preenchidos com concreto. O dimensionamento da armação para a verga seguiu as diretrizes da ABNT NBR 6118 [2], considerando a armadura mínima de uma viga de concreto, equivalente a 0,15% da área da seção do elemento. O detalhamento da verga pode ser observado na Figura 6.

Para o concreto utilizado na verga, em virtude da falta de ensaios experimentais específicos, foram estabelecidos o coeficiente de Poisson (ν) e o Módulo de Elasticidade (E) conforme as orientações da ABNT NBR 6118 [2]. Essa norma estabelece correlações entre as propriedades elásticas e a resistência característica à compressão do concreto. Nesse estudo, foi considerado um concreto com resistência de 40 MPa, compreendendo o intervalo entre resistência moderada (C20) e alta resistência (C90), de acordo com a Tabela 8.1 da ABNT NBR 6118 [2].

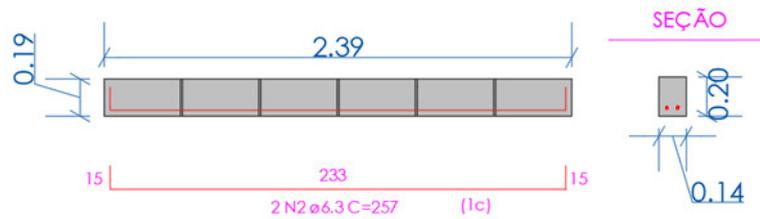


Figura 6: Verga

A tensão de fissuração por tração uniaxial (f_t) do concreto foi calculada seguindo as diretrizes da ABNT NBR 6118 [2]. Dada a falta de ensaios experimentais específicos para a determinação da tração direta, optou-se por utilizar a correlação com a resistência à compressão. Neste estudo, a resistência à tração na flexão foi adotada como a média entre $f_{ct} = 0,9 \cdot f_{ct,sup}$ e $f_{ct} = 0,7 \cdot f_{ct,f}$.

Utilizando a resistência a tração e o módulo de elasticidade do material, calculou-se a deformação limite (ϵ_t) associada ao início do desenvolvimento da fissura. A Tabela 5 apresenta as propriedades consideradas para o concreto.

Tabela 5: Resistência a tração, resistência a compressão e deformação limite - Concreto

Elemento	f_t (MPa)	f_c (MPa)	ϵ_t (mm/mm)
Prisma	2,91	40,00	$9,09 \times 10^{-5}$

4 RESULTADOS

4.1 Micromodelagem do prisma

A tensão foi determinada pela relação entre o carregamento aplicado e a área bruta da seção. A deformação foi calculada pelo quociente entre o deslocamento vertical na posição dos transdutores e a distância entre eles. Os resultados de tensão e deformação obtidos, bem como os resultados experimentais determinados por Juste [13], estão representados no gráfico da Figura 7.

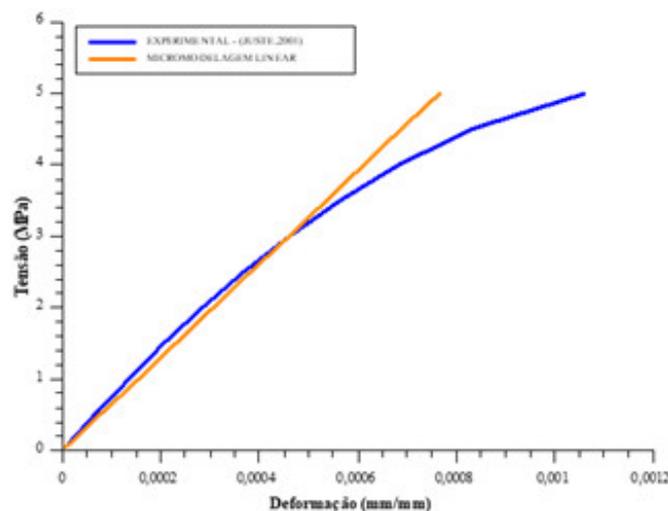


Figura 7: Tensão x Deformação - Micromodelagem

Calculou-se o erro médio de cada modelo utilizando a Eq. (7). Os resultados obtidos estão indicados na Tabela 6.

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^n \frac{|\bar{x}_i - x_i|}{\bar{x}_i} \tag{7}$$

Tabela 6: Erro Relativo – Micromodelagem – PRISMA

Modelo	Média do Erro Relativo
Micromodelagem Linear	11,69%

A Figura 8 apresenta o diagrama de deformações normais e padrão de fissuração do modelo quando o prisma foi submetido a um carregamento que resulta em uma tensão de 5 MPa em seu topo.

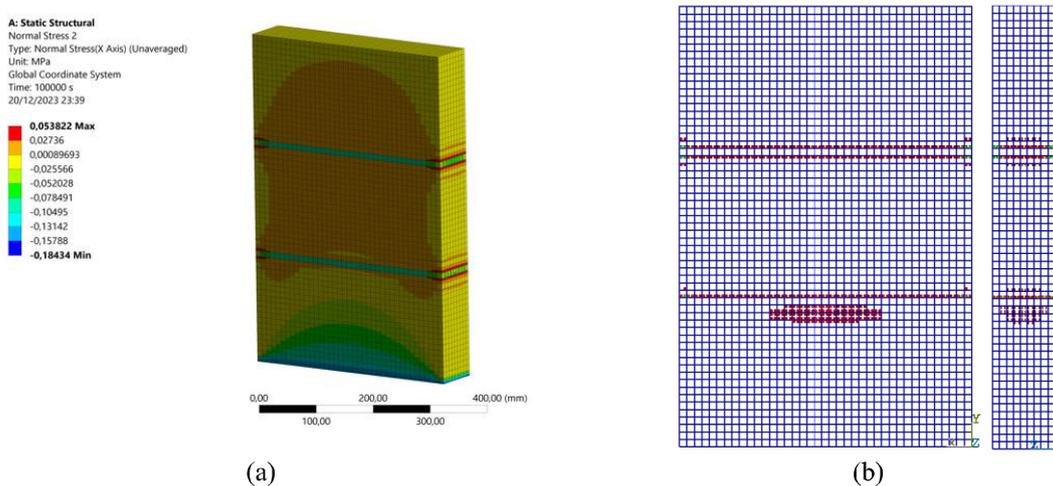


Figura 8: Micromodelagem – (a) deformações normais e (b) padrão de fissuração

Os resultados demonstram que as deformações obtidas ultrapassam a deformação limite associada a resistência à tração do bloco, especialmente na proximidade das juntas. Esse resultado indica a ocorrência de fissuras nessa região. A modelagem conduzida reproduz um padrão de fissuração que se alinha ao modo experimental de fissuração dos prismas, conforme descrito por Juste [13], e apresentado na Figura 3, no qual os prismas manifestaram uma ruptura típica por tração na proximidade das juntas de argamassa, com o desenvolvimento de fissuras horizontais nessa região e fissuras verticais nos blocos.

4.2 Parede submetida a sobrecarga

Ao aplicar o carregamento máximo teórico à parede, constatou-se que, para esse nível de carga, as deformações normais permanecem abaixo da deformação limite associada ao início da fissuração para os materiais. Contudo, ao submeter o painel a carregamentos superiores à carga máxima teórica, notou-se a formação de fissuras verticais na alvenaria quando a tensão de compressão no topo atingiu 2,60 MPa. A Figura 9 ilustra as deformações normais no painel para a carga máxima de convergência do modelo, respectivamente. A carga máxima aplicada no modelo equivale a uma tensão de compressão de 2,7 MPa em seu topo.

Os resultados obtidos indicam que na região da base da parede as deformações normais

superam o limite de deformação associado à fissuração por tração dos blocos. O modelo também demonstra uma deformação superior ao limite para a argamassa na região superior da alvenaria.

A Figura 9 representa o padrão de fissuração resultante da tensão de compressão de 2,7 MPa. Para carregamentos mais elevados, o modelo demonstrou colapso generalizado. Os resultados obtidos revelam fissuras nas juntas da argamassa na região superior, além de fissuras verticais no bloco na base da alvenaria. Essas fissuras estão diretamente ligadas à concentração de tensão nessa área, influenciada pelo grau de restrição do apoio no modelo. A configuração obtida apresenta semelhanças com o modelo teórico proposto por Duarte [9], como ilustrado na Figura 1.

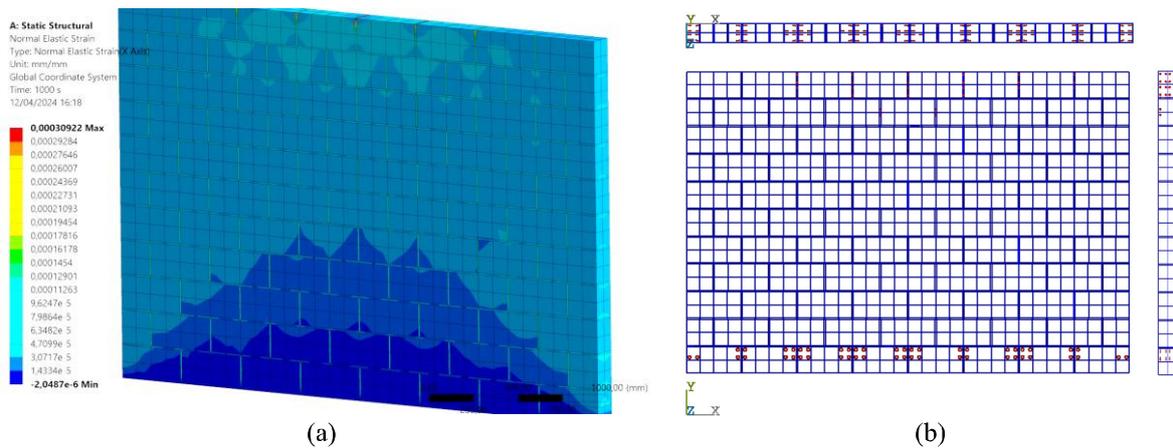


Figura 9: (a) deformações normais e (b) padrão de fissuração

Na parede com abertura, ao examinar a resposta da parede sob carregamentos distribuídos de compressão, observou-se que as fissuras iniciais na alvenaria se manifestaram quando a força aplicada resultou em uma tensão de compressão de 0,3 MPa. Na Figura 10, são representadas as distribuições das deformações normais e padrão de fissuração na alvenaria, obtidas para o carregamento máximo de convergência do modelo, correspondente a uma tensão de compressão de 0,35 MPa. Os resultados obtidos indicam que as deformações normais superam o limite de deformação dos blocos na região superior e inferior da abertura.

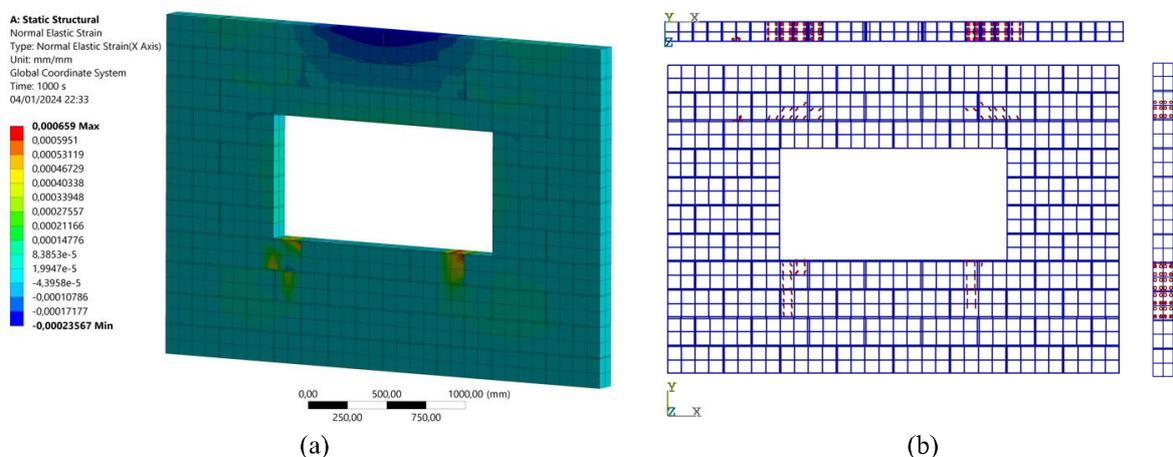


Figura 10: (a) deformações normais e (b) padrão de fissuração

A configuração resultante exibe fissuras inclinadas nos blocos acima da verga e fissuras

verticais nos blocos abaixo da abertura. Este padrão de fissuração se assemelha ao padrão teórico proposto por Duarte [14] e Magalhães [16], como retratado na Figura 1, no qual as fissuras se originam na região da abertura e se estendem ao longo do peitoril. Não são identificadas fissuras na região da verga, dado que esse elemento apresenta maior resistência mecânica em comparação com a alvenaria, visto que a concreto possui uma maior resistência à tração do que o bloco e a argamassa.

5 CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos na etapa de validação deste trabalho foi possível concluir que a modelagem do prisma de alvenaria, utilizando a técnica de micromodelagem detalhada, apresenta resultados próximos ao comportamento real da estrutura, sendo obtida uma variação de 11,69% entre os dados. Foi possível verificar também que o Micromodelo construído retrata um padrão de fissuração semelhante ao modelo experimental, apresentando uma ruptura característica por tração na região próxima as juntas de argamassa, com fissuras horizontais nessa região e fissuras verticais nos blocos.

Ao simular o carregamento distribuído na parede sem abertura, constatou-se que, para níveis de carga inferiores à carga máxima teórica da alvenaria, as deformações normais obtidas não ultrapassavam a deformação limite dos materiais. Entretanto, ao submeter o painel a cargas superiores à máxima teórica, as deformações nos blocos localizados na base da parede ultrapassam a deformação limite do material. O padrão de fissuração obtido está em concordância com os resultados de deformação, indicando fissuras no bloco na primeira fiada de apoio da parede e fissuras verticais na argamassa na área superior. Esse padrão assemelha-se ao padrão de fissuração teórico proposto por Duarte [9].

Avaliando a parede com abertura submetida a sobrecarga distribuída, concluiu-se que as deformações nos blocos tanto na área superior quanto na inferior da abertura ultrapassam a deformação limite do material. O padrão de fissuração obtido está em concordância com o padrão teórico proposto por Magalhães [16].

Dessa forma, foi possível concluir, que a Micromodelagem Detalhada, aplicada para análise de fissuras em paredes de alvenaria submetidas a sobrecarga apresenta resultados condizentes com a literatura, indicando um padrão de fissuração semelhante a configuração teórica, demonstrando, desta forma, que tal modelo pode ser usado na simulação em painéis de alvenaria estrutural. Principalmente para avaliação das condições de surgimento de fissuras e a proposição da remediação.

Agradecimentos

Agradecimento ao apoio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual de Feira de Santana e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia – FAPESB, pelo fomento científico para o desenvolvimento da pesquisa N° 2093/2022.

REFERÊNCIAS

- [1] M. J. M Andino. *Assessment of the Structural and Thermal Behavior of Concrete Masonry Construction via Experimentally Informed Numerical Models*. Dissertação de Mestrado, Civil Engineering, Clemson University, Clemson – SC, Estados Unidos da América, 2018.
- [2] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ABNT NBR 6118:2023 Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. ABNT/CB-002 Construção Civil, Rio de Janeiro – RJ, 2023.

- [3] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ABNT NBR 16868-1:2020 Alvenaria estrutural – Parte 1: Projeto*. ABNT/CB-002 Construção Civil, Rio de Janeiro – RJ, 2020.
- [4] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ABNT NBR 13281:2005 Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos*. ABNT/ CB-018: Cimento, Concreto e Agregados, Rio de Janeiro – RJ, 2005.
- [5] P. G. Asteris e P. Vagelis, organizadores. *Handbook of Research on Seismic Assessment and Rehabilitation of Historic Structures*: IGI Global, 2015. <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-8286-3>.
- [6] A. S. P. Barreto. *Análise Numérica de Painéis de Alvenaria Estrutural Utilizando Técnica De Homogeneização*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, Brasil, 2002.
- [7] B. S. Brasil, G. A. Sousa e M. G. F. Pereira. Estudo de viabilidade econômica na construção de unidades habitacionais de interesse popular usando alvenaria estrutural como sistema construtivo. *South American Development Society Journal*, 9(26):80, 2023. <https://doi.org/10.24325/issn.2446-5763.v9i26p80-97>.
- [8] A. M. D'altri, V. M. Sarhosis, G. Milani, J. Rots, S. Cattari, S. Lagomarsino, E. Sacco, A. Tralli, G. Castellazzi e S. de Miranda. Modeling Strategies for the Computational Analysis of Unreinforced Masonry Structures: Review and Classification. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 27(4):1153–1185, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11831-019-09351-x>.
- [9] R. B. Duarte. *Fissuras em Alvenarias: Causas principais, medidas preventivas e técnicas de recuperação*, Boletim Técnico 25, Cientec, 1998.
- [10] I. R. Gomes. Simulação numérica do ensaio de compressão de prismas de alvenaria pelo método dos elementos finitos com comportamento de interface. Dissertação de Mestrado, Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, Brasil, 2001.
- [11] N. González, J. Ortega, J. Gallardo e R. Pittí. Recomendaciones Simplistas para el Desarrollo de Modelos Matemáticos de Elementos de Concreto Sometidos a Cargas Cercanas a la Falla. In: III Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Sostenible. 1(1):77–83, 2018.
- [12] O. G. Holanda Jr. *Influência de Recalques em Edifícios de Alvenaria Estrutural*. Tese de Doutorado, Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, Brasil, 2002.
- [13] A. E. Juste. *Estudo da resistência e da deformabilidade de alvenaria de blocos de concreto submetida a esforços de compressão*. Dissertação de Mestrado, Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, Brasil, 2001.
- [14] P. B. Lourenço. *Computational Strategy for Masonry Structures*. 1996.
- [15] P. B. Lourenço, J. G. Rots e J. Blaauwendraad. Two approaches for the analysis of masonry structures: micro and macro-modeling. *Heron*, 40(4):313–340, 1995.
- [16] E. F. Magalhães. *Fissuras em Alvenarias: Configurações Típicas e Levantamento de Incidências no Estado do Rio Grande do Sul*. Dissertação de Mestrado, Curso de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, Brasil, 2004.

- [17] W. A. Medeiros. Alvenaria participante em pórtico de concreto pré-moldado. *Pesquisa em Arquitetura e Construção*, 9(3):234–245, 2018. <https://doi.org/10.20396/parc.v9i3.8650860>.
- [18] G. Mohamad. *Comportamento mecânico na ruptura de prismas de blocos de concreto*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, Brasil, 1998.
- [19] J. A. Paschoalin Filho, S. A. Frasson e D. M. Conti. Economia Circular: estudo de casos múltiplos em usinas de reciclagem no manejo de resíduos da construção civil. *Desenvolvimento Em Questão*, 17(49):136–157, 2019. <https://doi.org/10.21527/2237-6453.2019.49.136-157>.
- [20] G. Rodrigues, R. Garcia, M. Schuab e W. Santos. Análise da produtividade e impactos em relação à utilização de blocos estruturais de concreto em uma obra da região metropolitana de Belo Horizonte. *Revista de Engenharia da Universidade Católica de Petrópolis*, 10(1):12–27, 2016.
- [21] J. R. M. Silva. *Fissuração das alvenarias*. Tese de Doutorado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 1998.