



A: XXXIX-0000

AVALIAÇÃO DO COMPRIMENTO DE CONTATO EM PÓRTICOS DE CONCRETO ARMADO PREENCHIDOS COM ALVENARIA

ASSESSMENT OF CONTACT LENGTH IN REINFORCED CONCRETE FRAMES INFILLED WITH MASONRY

Pedro G. do Nascimento (A) (1); Alessandro O. Rigão (2); João Kaminski Jr. (3); Gerson M. S. Alva (4); Marco A. S. Pinheiro (5)

(1) Graduando de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil.
(2); (3); (5) Dr. Prof., Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Santa Maria, RS, Brasil.
(4) Dr. Prof., Universidade Federal de Uberlândia, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Uberlândia, MG, Brasil.
Endereço para correspondência: pedroguilhermenasci@gmail.com; (A) Apresentador

Área temática: Análise Estrutural: Métodos Computacionais.

Resumo

Há o conhecimento de que as alvenarias contribuem na redistribuição dos esforços e alteração da rigidez em estruturas aperticadas. Contudo, seu efeito normalmente é negligenciado, devido à complexidade dos fatores envolvidos para a sua adequada consideração. O comprimento de contato pórtico-alvenaria é uma das variáveis envolvidas. Há um consenso que um valor aproximado para o comprimento de contato seja equivalente a um terço das dimensões da parede. Alguns estudos adotam 0,40 dessas dimensões. Expressões clássicas costumam apresentar valores bastante elevados para este parâmetro. Buscando trazer subsídios a esta discussão, modelaram-se pórticos em concreto armado preenchidos com alvenarias em blocos cerâmicos e de concreto. O comprimento de contato vertical e horizontal obtido por simulação numérica via Método dos Elementos Finitos (MEF) foi comparado com os valores estimados pela literatura e expressões clássicas. Observou-se relativa variabilidade do comprimento de contato obtido pelos modelos planos via MEF. O valor médio do comprimento de contato vertical foi próximo a 0,40 da altura das paredes. O valor médio do comprimento de contato horizontal foi próximo a 0,33 do comprimento das paredes. As expressões clássicas apresentaram valores bastante elevados, em alguns casos da ordem de duas vezes superior aos resultados encontrados nos modelos planos via MEF.

Palavras-chave: Pórticos preenchidos. Estruturas de Concreto. Simulação numérica.

Abstract

It is Known that the masonry contributes to the stresses redistribution and stiffness change in framed structures. However, its effect normally is disregarded, due to complexity of factors involved for its proper consideration. The frame-masonry contact length is one of variable involved. There is a consensus that an approximate value for the contact length is equivalent to one-third of size walls. Others researches adopt 0.40 of these dimensions. Classic expressions generally present high values for these parameters. Seeking to bring contribution for this discussion, reinforced concrete frames infilled with clay and concrete block masonry were modeled. The vertical and horizontal contact length obtained from numerical simulation by Finite Element Method (FEM) was compared to estimated values from literature and classic expressions. It was observed relative variability in the contact obtained from plane models by FEM. The average value of vertical contact length was near to 0.40 of wall height. The average value of horizontal contact length was near to 0.33 of wall length. The classic expressions exhibit very high values, in some cases they were about twice greater than results found in the plane models by FEM.

Keywords: Infilled frames. Concrete structure. Numerical simulation.



1. INTRODUÇÃO

Nas construções baseadas em sistemas aperticados, as alvenarias possuem normalmente a função apenas de vedação. Contudo, é consenso que os elementos não estruturais, incluindo as alvenarias, alteram a resistência e a rigidez lateral da edificação. Há uma grande quantidade de trabalhos que ratificam essa característica (Murty e Jain 2000; Shing e Mehrabi 2002; Ghosh e Amde 2002; Amato *et al.* 2008; Li *et al.* 2011; Uva *et al.* 2012; Zhai *et al.* 2017).

Parte dos projetistas possui resistência quanto à inclusão das alvenarias no modelo estrutural em estruturas aperticadas, entre outros fatores, devido às dificuldades e incertezas para essa consideração, como a presença de aberturas nas paredes. O efeito da alvenaria no modelo estrutural depende do conhecimento adequado das propriedades geométricas e mecânicas da alvenaria e estrutura, além da interação entre esses elementos. Algumas dessas propriedades são de difícil conhecimento prévio, além de apresentar relativa variabilidade na literatura. Dentre as diversas variáveis que alteram o comportamento de pórticos preenchidos está o comprimento de contato pórtico-alvenaria.

Em pórticos preenchidos sob efeito de ações horizontais ocorre o afastamento de parte do painel de preenchimento na interface pórtico-alvenaria. A separação ocorre nas regiões com incidência de tensões de tração (ao longo das diagonais tracionadas). Assim, a alvenaria permanece em contato com o pórtico ao longo de um comprimento de contato α (Fig. 1).

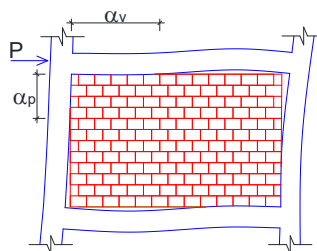


Figura 1. Comprimento de contato pórtico-alvenaria.

Há um consenso que um valor aproximado para o comprimento de contato seja da ordem de 0,33 das dimensões da parede. Saneinejad e Hobbs (1995) consideram uma relação de 0,40 tanto para o comprimento de contato horizontal quanto vertical.

As principais pesquisas e estudos clássicos utilizam o parâmetro adimensional λ proposto por Smith (1966). O comprimento de contato vertical e horizontal, utilizando esta metodologia, é obtido pelo produto entre o parâmetro λ , a altura e a largura da parede, respectivamente.

O comprimento de contato contido nas expressões de Hendry (1981) é baseado nos trabalhos de Stafford Smith e Carter (1969). Conforme expressões de Hendry (1981), o comprimento de contato vertical é definido por $\alpha_p = \pi/2\lambda_p \leq h$ (onde h representa a altura da parede). Já comprimento de contato horizontal é escrito como $\alpha_v = \pi/\lambda_v \leq \ell$ (onde ℓ representa o comprimento da parede). Os parâmetros adimensionais λ_p e λ_v contidos nas expressões de Hendry (1981) são representados por:

$$\lambda_p = \sqrt[4]{\frac{E_a \cdot t \cdot \text{sen}(2\theta)}{4 \cdot E_p \cdot I_p \cdot h}} \quad 1$$

$$\lambda_v = \sqrt[4]{\frac{E_a \cdot t \cdot \text{sen}(2\theta)}{4 \cdot E_v \cdot I_v \cdot \ell}} \quad 2$$



E_a , E_p e E_v são o módulo de elasticidade da alvenaria, do pilar e da viga, t a espessura da parede. O momento de inércia do pilar e da viga são dados por I_p e I_v , enquanto h e ℓ definem a altura e comprimento da parede, já θ é o ângulo da diagonal equivalente em relação à horizontal.

O comprimento de contato a partir dos estudos de Stafford Smith e Carter (1969) costuma fornecer valores elevados, conforme destaca Montandon (2018). O autor nos seus estudos obteve comprimentos de contatos elevados, mediante uso destas equações, comparados a dados fornecidos por análise numérica.

A abordagem numérica de pórticos preenchidos com elementos planos ou volumétricos, quando bem executada, normalmente traz boa previsão do comportamento estrutural. Este tipo de análise pode ser realizada mediante micromodelagem ou mesomodelagem.

A micromodelagem, conforme menciona Sattar (2014), considera o efeito das juntas de argamassa como um elemento discreto. Micromodelos podem ser considerados como a modelagem mais aproximada da parede de alvenaria. Normalmente necessita maior esforço computacional, comparada à mesomodelagem.

A mesomodelagem, aplicada às alvenarias, considera a argamassa, bloco, interface bloco-argamassa como um único elemento homogêneo contínuo.

1.1. Objetivo

Pretende-se avaliar o comprimento de contato de pórticos em concreto armado preenchidos com alvenarias em blocos cerâmicos e de concreto a partir de análise via Método dos Elementos Finitos (MEF), considerado como modelo de referência, expressões clássicas baseadas nos trabalhos de Stafford Smith e Carter (1969), além de valores estimados pelo meio técnico ou literatura.

2. METODOLOGIA

Os modelos via MEF foram simulados a partir de uma análise elástico-linear, considerando um panorama equivalente ao Estado Limite Último (ELU). Para este objetivo, adotaram-se os parâmetros da NBR 6118:2014 e NBR 16868:2020 para efeito da fissuração dos materiais de forma simplificada, bem como para obtenção das forças horizontais aplicadas no topo dos pórticos. O programa ANSYS v.14 foi o utilizado para análise dos modelos planos (MEF) onde simulou-se os pórticos mediante mesomodelagem.

Para a modelagem da alvenaria e estrutura empregou-se o elemento PLANE 182 da biblioteca do Ansys. Já a consideração do problema de contato foi realizada através do par de elementos CONTA172 e TARGE169, onde o primeiro representa o contato e o deslizamento e o segundo, uma superfície “alvo”.

2.1. Descrição dos pórticos e condições de contorno

Utilizaram-se 72 pórticos preenchidos oriundos de Rigão (2022). Variou-se o vão livre entre eixos de pilares (300 cm, 450 cm e 600 cm), largura dos pilares (40 cm, 60 cm, 80 cm e 100 cm), bem como uso de alvenaria em bloco cerâmico e concreto de diferentes resistências (4 MPa, 8 MPa e 12 MPa). A geometria dos pórticos utilizados, cujas dimensões estão em centímetros, é apresentada na Fig. 2.

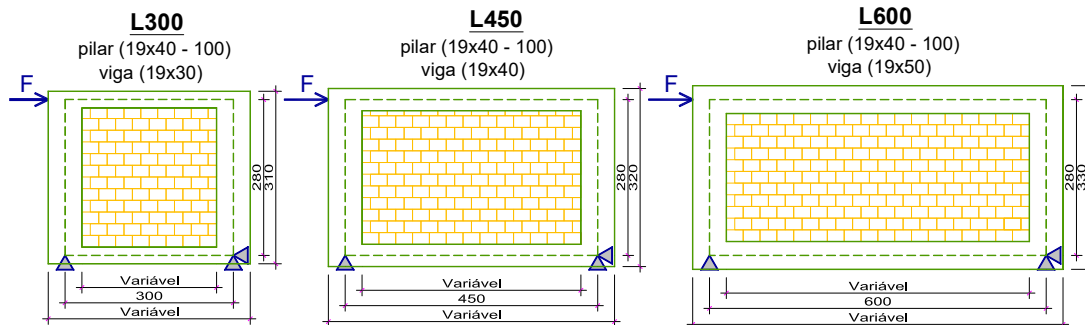


Figura 2. Geometria e condições de contorno dos pórticos preenchidos.

O pé direito estrutural de todos os pórticos é de 280 cm. A espessura dos elementos (vigas, pilares e alvenaria) é de 19 cm. Nos pórticos L300, L450 e L600, a altura das vigas são respectivamente 30 cm, 40 cm e 50 cm.

Com a finalidade de considerar a não linearidade física dos materiais de forma simplificada (NBR 6118:2014 e NBR 16868:2020), a rigidez secante das vigas e pilares foi adotada como 40% e 80%, respectivamente, em relação à rigidez elástica-linear da seção bruta. A rigidez das alvenarias foi minorada em 50% da rigidez elástica-linear.

Considerou-se, para o concreto da estrutura, uma resistência característica à compressão f_{ck} de 25 MPa e uso de agregado granítico (parâmetro $\alpha_E = 1,00$).

A Tabela 1 resume as propriedades mecânicas dos materiais, cujos cálculos foram realizados conforme NBR 6118:2014 e NBR 16886:2020.

Tabela 1. Propriedades mecânicas dos materiais.

Material	Resistência (MPa)	Resistência argamassa (MPa)	Módulo de elasticidade no ELU (MPa)	Coefficiente de Poisson
Concreto vigas	25	-	11200	0,20
Concreto pilares	25	-	22400	0,20
Bloco cerâmico 4 MPa	4,0	4,0	600	0,15
Bloco cerâmico 8 MPa	8,0	6,0	1200	0,15
Bloco cerâmico 12 MPa	12,0	8,0	1620	0,15
Bloco de concreto 4 MPa	4,0	4,0	1280	0,20
Bloco de concreto 8 MPa	8,0	6,0	2400	0,20
Bloco de concreto 12 MPa	12,0	8,0	3360	0,20

Para a consideração do problema de contato no ANSYS considerou-se o coeficiente de atrito $\mu = 0,50$. O fator de rigidez normal de contato (FKN) foi adotado o maior valor possível, visando a menor penetração entre elementos, enquanto que o fator de tolerância à penetração (FTOLN), o valor padrão de 0,10.

O deslizamento entre a parede e o pórtico, depende da coesão e tensão de pré-compressão (função do atrito entre os materiais). Um modelo que descreve com boa aproximação este efeito é utilizando o critério de Mohr-Coulomb. O fator COHE utilizado no ANSYS simula o efeito da coesão. Para as alvenarias com argamassa de 4 MPa e 6 MPa considerou-se a resistência à coesão de 150 kN/m², enquanto que para as alvenarias com argamassa de 12 MPa, o fator COHE utilizado foi de 350 kN/m².



A resistência máxima ao cisalhamento no ANSYS é definida pelo parâmetro TAUMAX. Na ausência de valor mais específico, utilizou-se a resistência característica ao cisalhamento nas juntas horizontais da parede f_{vk} descrita na Tabela 4 da NBR 16868:2020.

A tensão normal de pré-compressão σ considera somente o peso próprio da alvenaria. Assim, adotou-se o peso específico das alvenarias como 14 kN/m^3 . A Tabela 2 resume o parâmetro TAUMAX adotado nas simulações.

Tabela 2. Parâmetro TAUMAX usado nas modelagens.

Pórtico	Bloco	Valor adotado
L300	4 MPa	167,5 kN/m ²
	8 MPa	167,5 kN/m ²
	12 MPa	367,5 kN/m ²
L450	4 MPa	166,8 kN/m ²
	8 MPa	166,8 kN/m ²
	12 MPa	366,8 kN/m ²
L600	4 MPa	166,1 kN/m ²
	8 MPa	166,1 kN/m ²
	12 MPa	366,1 kN/m ²

2.2. Obtenção das forças horizontais nos pórticos

Usou-se o critério de deslocamento limite no Estado Limite de Serviço (ELS) de $h/850$ entre pavimentos, cuja força foi majorada considerando um panorama equivalente ao ELU.

No ELS, para combinações frequentes $F_{h(ELS)} = \psi_1 \cdot F_k$, a ação horizontal (vento) é multiplicada pelo fator $\psi_1 = 0,3$. Ao considerar uma situação de ELU, considerando o vento como ação principal, utiliza-se $\gamma_q = 1,4$.

Uma ação horizontal $F_d = \gamma_q \cdot F_k$ compatível ao ELU é equivalente à majoração da força $F_{h(ELS)}$ por $\gamma_q/\psi_1 = 1,4/0,3 = 4,67$. Portanto, a força horizontal de projeto F_d pode ser escrita como $F_d = 4,67 \cdot F_{h(ELS)}$. As forças horizontais de cálculo F_d constam na Tabela 3.

Tabela 3. Força horizontal utilizadas nos pórticos preenchidos.

Pórtico	Pilar (cm)	Força de cálculo F_d (kN)	Pórtico	Pilar (cm)	Força de cálculo F_d (kN)
L300-P40	40	130,76	L450-P80	80	300,65
L300-P60	60	189,13	L450-P100	100	353,52
L300-P80	80	244,43	L600-P40	40	215,99
L300-P100	100	310,93	L600-P60	60	320,97
L450-P40	40	171,11	L600-P80	80	387,33
L450-P60	60	246,39	L600-P100	100	440,94

3. RESULTADOS

Nas simulações, mediante análise via MEF, confirmou-se o descolamento entre a alvenaria e o pórtico de contorno. Nas diagonais comprimidas, observou-se a formação dos



trechos com pressões de contato entre a alvenaria e a estrutura (Fig. 3). A obtenção dos comprimentos de contato vertical α_p e horizontal α_v foi realizada mediante a medição no programa do trecho com presença de tensões de contato.

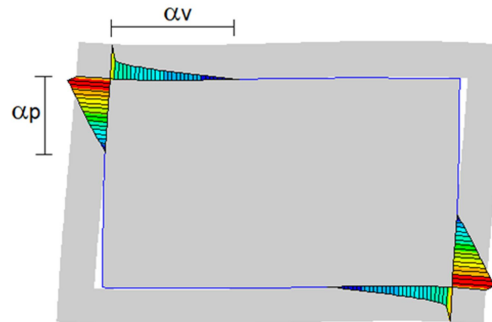


Figura 3. Pressões de contato em um dos pórticos e descolamento entre a alvenaria e estrutura.

De posse desses resultados, calculou-se a razão entre o comprimento de contato vertical e a altura da parede $\alpha_c = \alpha_p/h$ e a razão entre o comprimento de contato horizontal e o comprimento da parede $\alpha_b = \alpha_v/\ell$. A Fig. 4 realiza o comparativo de α_c e α_b para todos os modelos MEF. Em relação à nomenclatura, “CER” representa as alvenarias com blocos cerâmicos e “CONC” são as alvenarias com blocos de concreto. O valor numérico configura a resistência dos blocos.

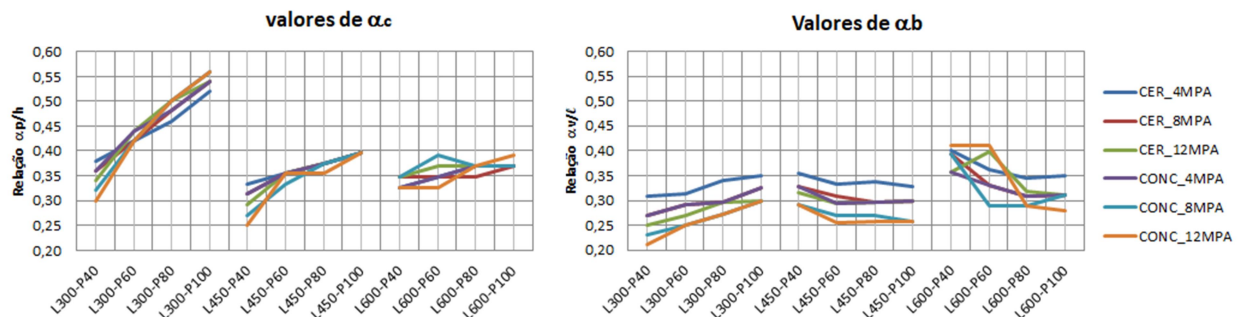


Figura 4. Comparativo de α_c e α_b para os modelos MEF.

Considerando os resultados obtidos, observa-se que o comprimento de contato possui relativa variabilidade. A variação de α_c foi de 0,25 a 0,56, cujo valor médio foi de 0,39 e o C.V. de 17,4%. Já α_b variou de 0,21 a 0,41, cujo valor médio foi de 0,31 e o C.V. de 13,5%.

Para o trecho de contato vertical, verifica-se que o aumento da seção dos pilares, conduziu ao aumento da razão do comprimento de contato vertical α_c , principalmente nos pórticos L300 e L450. Entre esses casos, os pórticos de menores vãos horizontais foram mais sensíveis ao aumento na rigidez dos pilares.

Em todos os casos avaliados, para pórticos de mesmas dimensões, o uso de alvenarias mais rígidas não trouxe alteração significativa na razão de comprimento de contato vertical α_c . Contudo, para o mesmo tipo de análise sobre as vigas, o aumento da rigidez das alvenarias, conduziu ao aumento da razão de comprimento de contato horizontal α_b .

O aumento da seção transversal dos pilares não trouxe alteração relevante na razão de comprimento de contato horizontal α_b para os pórticos L450. Entre os pórticos L300, o aumento da dimensão dos pilares conduziu ao incremento de α_b . Já para os pórticos L600, houve redução de α_b em pilares mais rígidos.



Ao considerar os valores médios fornecidos pelo modelo MEF, a razão no comprimento de contato vertical foi próxima ao limite superior de 0,40 sugerido por Saneinejad e Hobbs (1995). Enquanto o uso da relação 0,33 para o comprimento de contato horizontal foi bem próxima ao valor médio para esta região.

A previsão do comprimento de contato, mediante as expressões clássicas, conduzem a valores bastante elevados. Em diversas situações, utilizou-se o limite superior referente às dimensões da parede. A Fig. 5 apresenta o comparativo de α_c e α_b obtidos mediante expressões de Hendry (1981).

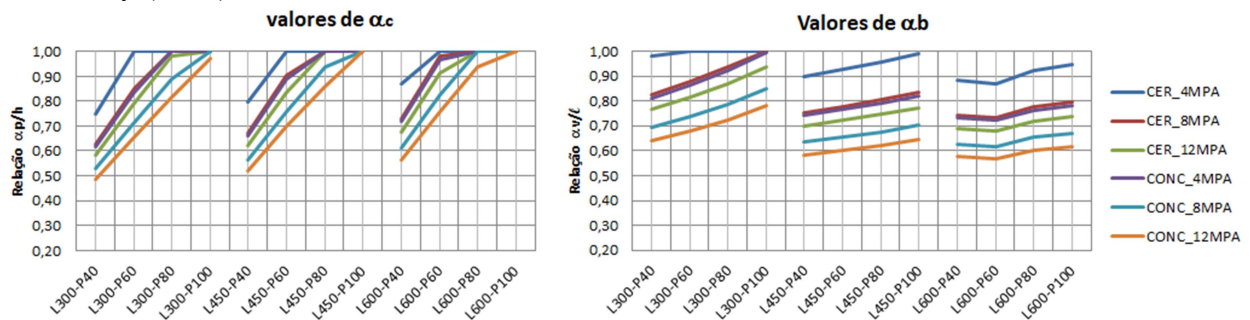


Figura 5. Comparativo de α_c e α_b mediante expressões de Hendry (1981).

Os resultados obtidos a partir das expressões clássicas, semelhante ao modelo MEF, trazem relativa variabilidade ao comprimento de contato. O parâmetro α_c variou de 0,49 a 1,00, cujo valor médio foi de 0,87 e C.V. de 18,5%. Já α_b variou entre 0,57 e 1,00, com valor médio de 0,78 e C.V. de 15,6%.

O aumento da seção transversal dos pilares ocasionou um aumento em α_c e α_b para todos os pórticos, entretanto o incremento de α_b foi mais discreto nos pórticos de maiores vãos.

O aumento da rigidez da alvenaria, para pórticos de mesmos vãos, conduziu um decréscimo em α_c e α_b . Em alvenarias de baixa rigidez e pilares de maior seção transversal, a tendência de α_c resultar no valor-limite ($\alpha_c = 1,00$) foi mais evidente. O aumento do vão livre entre pilares conduziu a uma tendência de acréscimo em α_c e redução de α_b .

A Fig. 6 realiza o comparativo percentual de α_c e α_b entre as expressões de Hendry (1981) e modelo MEF.

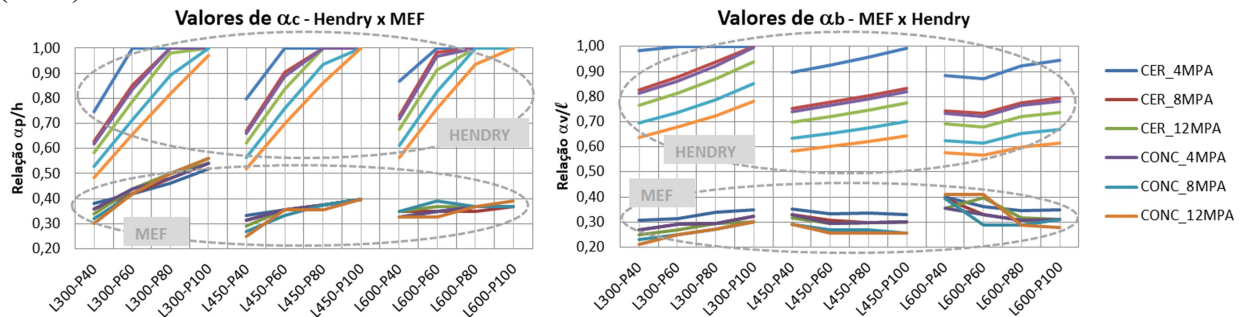


Figura 6. Comparativo de α_c e α_b entre expressões clássicas e modelo MEF.

Ao realizar a estimativa do comprimento de contato, mediante expressões clássicas de Hendry (1981), observam-se valores superestimados da ordem de 40% a 220% (média de 140%), comparado aos dados fornecidos pela análise numérica via MEF.



Para um mesmo pórtico, α_b mostrou uma tendência de ser mais superestimado em relação à α_c . A utilização de alvenarias mais flexíveis e pilares mais rígidos conduziram a maiores diferenças entre as expressões clássicas e o modelo MEF. Neste caso, sugere-se que essas expressões são pouco adequadas na previsão do comprimento de contato pórtico-alvenaria.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo buscou avaliar o comprimento de contato pórtico-alvenaria via MEF, comparando com expressões teóricas e valores estimativos fixos.

Os modelos utilizados consistiram em pórticos em concreto armado, preenchidos com alvenarias cerâmicas e de concreto. Variou-se o vão entre eixos de pilares, dimensão de pilares e resistência das alvenarias.

Houve relativa variabilidade do comprimento de contato vertical e horizontal obtidos pelos modelos MEF. O aumento na dimensão dos pilares conduziu um ganho no comprimento de contato vertical, enquanto que para o comprimento de contato horizontal mostrou dependência conjunta do vão livre entre apoios e rigidez das alvenarias.

Entre os modelos MEF, o valor médio da razão do comprimento de contato vertical foi próximo a 0,40. Já a média para a razão no comprimento de contato horizontal aproximou-se mais ao valor sugerido de 0,33.

As expressões teóricas resultaram em comprimentos de contato muito elevados, comparados ao modelo plano via MEF, mostrando-se pouco adequadas.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014). Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. NBR 6118. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). Alvenaria estrutural. Parte 1: Projeto. NBR 16868-1. Rio de Janeiro.
- Amato, G.; Cavaleri, L.; Fossetti, M.; Papia, M. (2008). Infilled frames: influence of vertical loads on the equivalent diagonal strut model. Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing.
- Ghosh, A.K.; Amde, A. M. (2002). Finite element analysis of infilled frames. Journal of Structural Engineering, v. 128, n. 7, p. 881-889.
- Hendry, A.W. (1981). Structural brickwork. Halsted Press.
- Li, B.; Hutchinson, G.L.; Duffield, C.F. (2011). The influence of non-structural components on tall building stiffness. The structural design of tall and special buildings, v. 20, n. 7, p. 853-870.



- Montandon, G.A. (2018). Modelos estruturais para a análise de pórticos preenchidos com blocos cerâmicos em edifícios de concreto armado. Dissertação, Universidade Federal de Uberlândia, UFU.
- Murty, C.V.R.; Jain, S.K. (2000). Beneficial influence of masonry infill walls on seismic performance of RC frame buildings. Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand.
- Rigão, A.O. (2022). Modelagem de pórticos em concreto armado preenchidos com alvenaria participante. Tese, Universidade Federal de Santa Maria, UFSM.
- Sattar, S. (2014). Influence of masonry infill walls and other building characteristics on seismic collapse of concrete frame buildings. Ph.D. thesis, University of Colorado.
- Saneinejad, A.; Hobbs, B. (1995). Inelastic design of infilled frames. Journal of Structural Engineering, v. 121, n. 4, p. 634-650.
- Smith, B.S. (1966). Behaviour of square infilled frame. Journal of the Structural Division, v. 92, n. ST1, p. 381-403.
- Shing, P.B.; Mehrabi, A.B. (2002). Behaviour and analysis of masonry-infilled frames. Progress in Structural Engineering and Materials, v. 4, n. 3, p. 320-331.
- Silva, G.H. (2009). Escolha de parâmetros para análise de contato entre corpos elásticos usando elementos finitos e redes neurais. Dissertação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.
- Stafford Smith, B.; Carter, C.A. (1969). A method of analysis for infilled frames. Proceedings of the institution of civil engineers, v. 44, n. 1, p. 31-48.
- Uva, G.; Raffaele, D.; Porco, F.; Fiore, A. (2012). On the role of equivalent strut models in the seismic assessment of infilled RC buildings. Engineering Structures, v. 42, p. 83-94.
- Zhai, C.; Wang, X.; Kong, J., Li, S.; Xie, L. (2017). Numerical Simulation of Masonry-Infilled RC Frames Using XFEM. Journal of Structural Engineering, v. 143, n. 10, p. 04017144.