

ANÁLISE NUMÉRICA DA INTERAÇÃO ALVENARIA-ESTRUTURA

Roger Otávio Pires Montes¹
Abimael Rêgo Pereira dos Santos²
Kennedy Marques Cavalcante²

RESUMO

Este trabalho busca analisar a interação das alvenarias de vedação com estruturas de concreto armado, quando as alvenarias de vedação são utilizadas como sistema de fôrmas para as estruturas de concreto armado. Foi utilizado o *software* Diana que utiliza o método dos elementos finitos (MEF), permitindo avaliar numericamente a interação destes dois elementos, verificando os esforços nessa interface de transição. Foi avaliado a ligação da alvenaria com a estrutura de maneira direta e indireta, onde a ligação direta é quando a alvenaria serve como fôrma para a estrutura, sem o uso de alguma técnica de encunhamento, e a ligação indireta seria quando existe o encunhamento entre a alvenaria e a estrutura. Através das especificações físicas dos materiais utilizados para a elaboração das modelagens computacionais foi obtido os dados necessários para análise do sistema. Dentro dos resultados obtidos, foi possível perceber um aumento de tensões no painel de alvenaria, tanto para as tensões horizontais, como para as tensões verticais e cisalhantes, quando esta recebe ações provenientes dos descolamentos da viga à medida que ocorre uma ligação direta com a estrutura. Ainda, foi realizado modelagens avaliando a interface alvenaria-estrutura quando se executa o encunhamento, e as simulações para este caso, mostraram uma redução considerável das tensões dos painéis, apresentando a importância que tem o encunhamento. Verificou-se que esse modelo construtivo não é viável.

Palavras-chave: Interação. Alvenaria-Estrutura. Encunhamento. Elementos Finitos. Diana.

NUMERICAL ANALYSIS OF THE MASONRY-STRUCTURE INTERACTION

ABSTRACT

This work seeks to analyze the interaction of sealing masonry with reinforced concrete structures, when sealing masonry is used as a formwork system for reinforced concrete structures. Diana software was used, which uses the finite element method (FEM), allowing to numerically evaluate the interaction of these two elements, verifying the efforts in this transition interface. The connection of the masonry with the structure was evaluated in a direct and indirect way, where the direct connection is when the masonry serves as a form for the structure, without the use of any wedging technique, and the indirect connection would be when there is a wedge between the masonry and structure. Through the physical specifications of the materials used for the elaboration of the computational modeling, the necessary data for system analysis was obtained. Within the results obtained, it was possible to perceive an increase in stresses in the masonry panel, both for horizontal stresses, as well as for vertical and shear stresses, when it receives actions from the beam detachments as a direct connection with the structure occurs. Still, modeling was carried out evaluating the masonry-structure interface when wedging is performed, and the simulations for this case showed a considerable reduction in the stresses of the panels, showing the importance of wedging. It was found that this constructive model is not viable.

Keywords: Interaction. Mansory-Structure. Finite elements. Diana.

Recebido em 28 de abril de 2020. Aprovado em 10 de maio de 2020.

¹ Engenheiro Civil, Mestrado em Estruturas pela UFG – Professor do Instituto Federal de Goiás – Campus Uruaçu. E-mail: rogerotaviopm@gmail.com

² Graduado em Engenharia Civil – Instituto Federal de Goiás. E-mail: abmael1992@gmail.com; kennedylampard@hotmail.com.

INTRODUÇÃO

A alvenaria é um dos sistemas construtivos mais antigos utilizados pelo homem, e continua sendo largamente empregado nas construções atuais. A alvenaria é um conjunto de tijolos, blocos ou peças sobrepostas coladas ou não por uma argamassa, formando um elemento vertical. É um componente de suma importância, visto que, serve para vedar a habitação do ambiente externo, separar ambientes internos, proteção contra sol, chuva, ventos, proteção térmica e acústica, entre outras aplicações.

Com a evolução humana, as maneiras de se construir foram mudando de acordo com as necessidades encontradas, assim como, pelos materiais disponíveis em abundância na natureza. A alvenaria passou por muitas evoluções, anteriormente, usava-se pedras, madeira, argila, palha e fibras vegetais, tendo-se um sistema que mantivesse a proteção mínima necessária para sobrevivência, até chegar aos materiais e métodos que se utiliza hoje.

Atualmente, a execução de alvenarias para vedação e elementos estruturais para suportar todos os esforços da edificação, formam o sistema construtivo mais utilizado nas construções atuais. Onde segundo Carvalho (2014), os “elementos estruturais são peças, geralmente com uma ou duas dimensões preponderantes sobre as demais (vigas, lajes, pilares, etc), que compõe uma estrutura”.

Vincenzo (2006) diz que a alvenaria de vedação determina grande parte do desempenho do edifício como um todo, por serem elementos mais frágeis e suscetíveis à fissuração, é comum o surgimento de fissuras, causando desconforto estético ou perda de desempenho. Sampaio (2010) salienta que a fissuração é a manifestação patológica mais comum encontrado nas alvenarias, e podem ser causadas por diversos fatores.

Em boa parte das construções, faz-se o uso de técnicas construtivas equivocadas, ou por falta de conhecimento, este quando não se aplica o conhecimento teórico de forma correta, ou utilizam técnicas empíricas sendo um dos fatores determinantes para o surgimento de manifestações patológicas.

Um outro fator que afeta o desempenho das alvenarias, é a interação alvenaria-estrutura, onde para se economizar com fôrmas, muitos construtores utilizam a própria alvenaria como fôrma para vigas e pilares. E como a estrutura se deforma, e a alvenaria está interligada na estrutura formando um conjunto monolítico, não há espaço para a deformação do elemento estrutural, logo ocorre que a alvenaria recebe carga da qual não é capaz de resistir, gerando assim, fissuras em sua extensão (SOPELSA, 2012).

Alvenarias de vedação

De acordo com Pinheiro (2009), o uso da alvenaria se iniciou em tempos antigos, desde o início das atividades humanas, quando os métodos usados para a construção de alvenaria eram de forma empírica e intuitiva.

Azeredo (1997) define a alvenaria sendo toda obra constituída de pedras naturais, tijolos ou blocos de concreto, ligados ou não por meio de argamassas, geralmente devendo oferecer condições de resistência e durabilidade e impermeabilidade para a edificação.

Conforme Moliterno (2011) as abordagens do estudo das alvenarias podem ser tratadas sob aspectos estruturais, e não só como elementos de vedação ou fecho, como muitos pensam, os elementos que constituem as alvenarias são capazes de resistirem a esforços de tração e cisalhamento, embora muito pequeno. Franco (1998) define a alvenaria de vedação como a alvenaria que não é dimensionada para resistir a ações além do peso próprio e cargas de utilização, tem a função de dividir os ambientes externos e internos de uma edificação, além de garantir os requisitos de desempenho como: segurança estrutural, isolamento térmico, isolamento acústico, estanqueidade, segurança ao fogo, estabilidade e durabilidade.

A NBR 15270-1:2017, trata da normatização e das exigências requeridas aos blocos cerâmicos para alvenaria de vedação e alvenaria estrutural, refere-se à processos de fabricação, dimensões, tipos de tijolos, e algumas definições sobre o sistema de vedação com tijolos cerâmicos, entre outras especificações. Ela ainda traz que a característica mecânica dos blocos de vedação é a resistência à compressão.

Estruturas de concreto armado

“Elementos estruturais são peças, geralmente com uma ou duas dimensões preponderantes sobre as demais (vigas, lajes, pilares, etc), que compõe uma estrutura” (CARVALHO, 2014). O autor ainda discretiza a estrutura como: laje de concreto armado suporta seu peso e cargas atuando sobre a mesma, onde as vigas recebem os esforços da laje e transmitem, junto ao seu peso próprio ou qualquer outra carga atuando sobre a viga, para os pilares, que por fim recebem todas as cargas e transmite para as fundações.

Segundo a NBR 6118:2014:

“As estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o prazo correspondente a sua vida útil.”

E a referida norma estabelece que “as estruturas de concreto devem atender aos requisitos mínimos de qualidade (...)”, e que “o objetivo da análise estrutural é determinar os efeitos das ações em uma estrutura, com a finalidade de efetuar verificações de estados limites últimos e de serviço”.

A NBR 6118:2014, traz que “estados limites de serviço são aqueles relacionados ao conforto do usuário e à durabilidade, aparência e boa utilização das estruturas (...)”, e “deslocamentos-limites são valores práticos utilizados para verificação em serviço do estado-limite de deformações excessivas da estrutura”. A norma traz os limites de deslocamentos máximos da estrutura de 1/250 para combinações quase permanentes; 1/350 devido cargas acidentais, sendo 1 o vão teórico do elemento.

Interação alvenaria-estrutura

Muci, Netto e Silva (2014) afirmam que a correta ligação entre a estrutura de concreto e a alvenaria de vedação é muito importante no que diz respeito a prevenção de fissuras, pois essa interface é um ponto suscetível ao aparecimento desta manifestação patológica devido à combinação de diversos materiais, e a ocorrência da deformação das estruturas de concreto.

A NBR 8545:1984, define que a união entre alvenaria e os componentes da estrutura (pilares, vigas, etc.) obtida mediante o emprego de materiais e disposições construtivas, é chamada de ligação.

Segundo Sperotto (2009), o encunhamento é de suma importância nos sistemas construtivos atuais, uma vez que o mesmo constitui a zona de transição de esforços entre as alvenarias de vedação e a estrutura. E ainda diz que através desta zona que toda deformação do elemento estrutural transmitirá ou não esforço para as alvenarias.

Muci, Netto e Silva (2014) relatam que a alvenaria possui rigidez, e qualquer deformação potencial da estrutura encontra a alvenaria como entrave, que reage a essa deformação, ocasionando o surgimento de tensões, as quais geram fissuras. E afirma que, com o aperfeiçoamento dos métodos de cálculos de estruturas de concreto, possibilita a o emprego de elementos mais esbeltos, sendo mais econômicas, porém mais deformáveis. E essa deformação gera fissuras na alvenaria, devido a incapacidade da alvenaria se deformar.

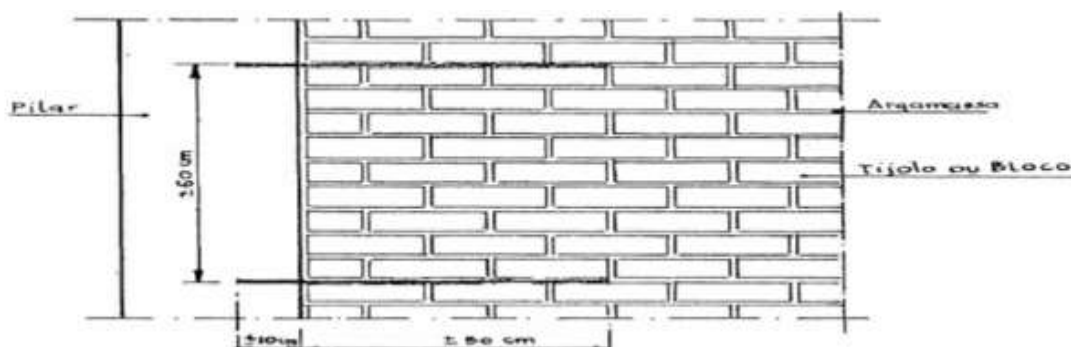
Medeiros e Franco (1999) dizem que a inadequação da sequência e velocidade de execução, adoção de menor prazo de escoramento fixo e reescoramento, antecipação da execução da alvenaria, adoção de menores prazos para fixação superior das paredes, fixação superior rígida contribuindo para a introdução de tensões iniciais decorrentes dos primeiros carregamentos, ligação ineficiente lateral com os pilares, emprego de argamassa com rigidez alta, são aspectos que contribuem para a ocorrência sistêmica de fissuras em alvenarias.

Medeiros e Franco (1999) relatam que o surgimento de fissuras em alvenarias de vedação pode ser evitado através da adoção de reforços metálicos para suportar as tensões nas interfaces alvenaria-estrutura. E para esses reforços são empregados os ferros-cabelos e telas metálicas eletrosoldadas de arame de pequeno diâmetro.

Santos (2012) comenta que o encunhamento é uma etapa importante para o funcionamento da vedação, uma vez que é utilizado técnicas para absorver os esforços e movimentações da estrutura sem causar danos a alvenaria de vedação.

A NBR 8545:1984 traz que as ligações das alvenarias com pilares de concreto armado, pode ser efetuada com o emprego de barras de aço de diâmetro de 5 a 10 mm, distanciadas de cerca de 60 cm e com comprimento na ordem de 60 cm, engastadas no pilar e na alvenaria, conforme é ilustrado na Figura 1.

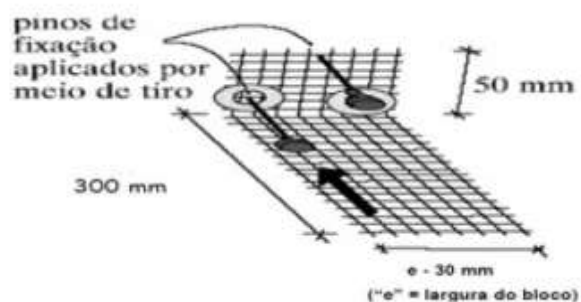
Figura 1 - Ligação da alvenaria com o pilar, através do ferro-cabelo.



Fonte: NBR:8545 (1984).

De acordo com Muci, Netto e Silva (2014), o travamento da alvenaria no pilar deverá ser feito utilizando-se ferro-cabelo, montado com barras de aço de $\varnothing = 5$ mm dobradas em forma de “U”, ou com telas de aço galvanizado de $\varnothing = 1,5$ mm, onde devem ser posicionados de duas em duas fiadas a partir da segunda fiada. O ferro-cabelo deve ser chumbado na face do pilar em dois furos, e a tela eletrosoldada pode ser colocada através de pinos de fixação aplicadas por meio de tiro. A Figura 2, ilustra a tela de aço galvanizado.

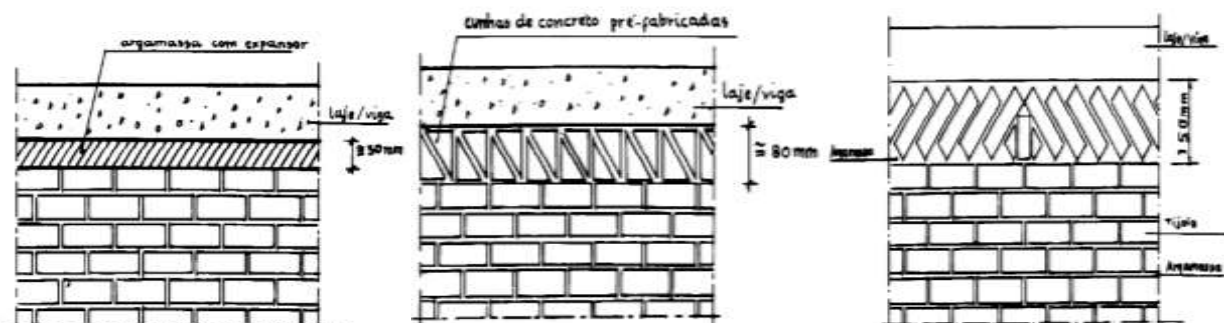
Figura 2 - Tela metálica colocada por meio de fixação a pólvora.



Fonte: Muci, Netto e Silva (2014).

A NBR 8545:1984 exige a realização do encunhamento na interface alvenaria-pilar/laje, onde não se deve elevar a alvenaria até o encontro com o elemento estrutural, sendo necessário deixar um espaço para a realização do encunhamento, onde na Figura 3 é possível ver como a norma trata deste encunhamento.

Figura 3 - Tipos de encunhamento indicados pela NBR:8545



Fonte: NBR:8545 (1984).

A NBR 8545:1984 indica que, para obras com estrutura de concreto armado a alvenaria deve ser interrompida abaixo das vigas ou lajes. Este espaço deve ser preenchido após 7 dias, de modo a garantir o perfeito travamento entre a alvenaria e a estrutura. Para obras com mais de um pavimento o travamento da alvenaria, respeitando o prazo de 7 dias, só deve ser executado depois que as alvenarias do pavimento imediatamente acima, tenham sido levantadas até igual altura.

Lordsleem Júnior (2000) recomenda que ao se iniciar a produção da alvenaria, sejam respeitados os prazos mínimos de produção da estrutura, de maneira que se permita que ocorra uma parcela significativa das deformações da estrutura de concreto armado, minimizando o seu efeito na alvenaria de vedação.

Utilização da alvenaria como fôrma para elementos estruturais (vigas e pilares)

Thomaz (2001) expõe que quando as alvenarias estão interligadas a vigas, lajes ou pilares, o qual não é executado algum dispositivo de ligação da alvenaria na estrutura, o que não é correto, mas é comum ver em obras, acaba ocorrendo a transmissão de tensões oriundas de deformações impostas pelos elementos estruturais ligados as alvenarias, nas quais as alvenarias de vedação não se destinam a suportar carregamentos.

De acordo com Sperotto (2009), o principal fator de se utilizar a própria alvenaria como fôrma para vigas, às vezes até para pilares, é a redução do consumo de madeira para a montagem de fôrmas e escoramento de vigas, a eliminação da necessidade de alguma equipe de pedreiro ou servente responsável pela ligação superior da alvenaria a estrutura.

Segundo a NBR 8545:1984, “para obras que não exijam estrutura de concreto armado, a alvenaria não deve servir de apoio direto para as lajes. Deve-se prever uma cinta de amarração em concreto armado sob a laje e sobre todas as paredes que dela recebem cargas.” A norma ainda cita o processo de encunhamento, e não indica nenhum procedimento sobre a execução das alvenarias sem o mesmo, onde deixa a entender que este método construtivo das alvenarias sendo fôrma para vigas, é inviável e sem os critérios estabelecidos por norma. Sperotto (2009) comenta que este sistema é muito utilizado em obras que possuem a mão-de-obra própria e já familiarizada com o processo, e principalmente obras sem acompanhamento técnico.

Thomaz (2009) apresenta que a falta de encunhamento, faz com que a alvenaria se solidarize com a estrutura de concreto armado, tornando todo o sistema monolítico, passando a interagir conjuntamente. Essa monolitização da alvenaria com a estrutura, faz com que a alvenaria

absorva mais esforços, sofra com as deformações da estrutura de concreto armado, ocasionando o surgimento de manifestações patológicas.

Sopelsa (2012) conclui que este sistema construtivo não consta em nenhuma norma brasileira, e que não há estudos sobre este sistema, mas que há uma grande ocorrência de obras que utilizam o mesmo. Uma das principais desconformidades está relacionada com a utilização de bloco de vedação, com função somente de vedação, e quando se apoia as vigas diretamente na alvenaria, estas sofrerão ações além do seu próprio peso, suportando carregamentos advindos do momento da concretagem e até da deformação do elemento estrutural. Neste caso, a alvenaria de vedação assume função estrutural. Outra grande desconformidade é a ausência do encunhamento, que tem uma grande importância na ligação alvenaria-estrutura. E como tem poucos estudos na área, não se sabe ao certo o comportamento que estas edificações podem assumir, e as consequências que podem gerar.

METODOLOGIA

O estudo apresentou como principal método de pesquisa, a revisão bibliográfica, a pesquisa documental e suas especificações dos sistemas construtivos, tendo assim caráter de pesquisa documental. A revisão proporcionou compreender o sistema global de construção e as possíveis causas das manifestações patológicas, relacionadas a interação alvenaria-estrutura. Em seguida, este trabalho foi conduzido através de simulação teórica por modelagem computacional, operado através do Método dos Elementos Finitos (MEF), realizado no software iDiana Release 9.4.4, versão educacional. Os materiais de pesquisa deste trabalho são os blocos cerâmicos de vedação e o concreto armado, onde estabeleceu-se parâmetros das suas propriedades físicas para entrada destes dados no software.

As modelagens foram realizadas considerando o painel de alvenaria como um todo, e não distinguindo bloco por bloco, e a argamassa de ligação. Por isso, optou-se em utilizar o módulo de elasticidade dos experimentos realizados em pequenas paredes, ou “paredinhas”, denominação que varia de autor para autor.

Os resultados dos processamentos das modelagens em MEF foram esquematizados em figuras e quadros, que apresentam o fluxo de tensões e as deformações, onde foram avaliados:

- deformações no plano x-y (ϵ_{xy});
- tensões no plano horizontal (σ_x);
- tensões no plano vertical (σ_y);
- tensões de cisalhamento (τ_{xy}).

Propriedades dos materiais

Tabela 1 - Propriedades mecânicas dos materiais utilizados na pesquisa

Material	Módulo de elasticidade (GPa)	Coefficiente de Poisson	Peso Específico (kN/m³)
Blocos cerâmicos	2,730	0,2	12
Concreto	24,150	0,2	25
Argamassa de encunhamento rígida	22,28	0,2	24
Argamassa de encunhamento flexível	5,56	0,2	24

Fonte: Autores (2019).

Para os blocos cerâmicos, não foram encontradas normas brasileiras ou referências bibliográficas que apresentem os valores para o módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson. Por essa razão, será utilizado parâmetros vindos de literaturas voltadas a blocos cerâmicos estruturais, onde pode-se encontrar uma certa variedade de pesquisas, em que os seus resultados obtidos são variados entre as bibliografias, isso se dá, devido as peculiaridades do material, processos de fabricação e/ou métodos empregados para preparação do elemento. Por essa razão, e por se tratar de pesquisas voltadas a blocos cerâmicos estruturais e não blocos cerâmicos de vedação, optou-se por utilizar um valor mais conservador, a fim, de se ter valores mais próximo da realidade para os blocos cerâmicos de vedação. Utilizou o trabalho de Santos (2008), o qual trouxe valores bem concisos para blocos vazados.

Foi analisado se a espessura dos blocos tem alguma influência na interação alvenaria-estrutura, e para isso definiu-se trabalhar com três larguras definidas pela ABNT NBR 15270-1:2017, onde foi utilizado a largura de 9,0, 11,5 e 14,0 cm. Para peso específico dos blocos cerâmicos, foi utilizado o estabelecido pela ABNT NBR 6120:2019, de 12 kN/m³.

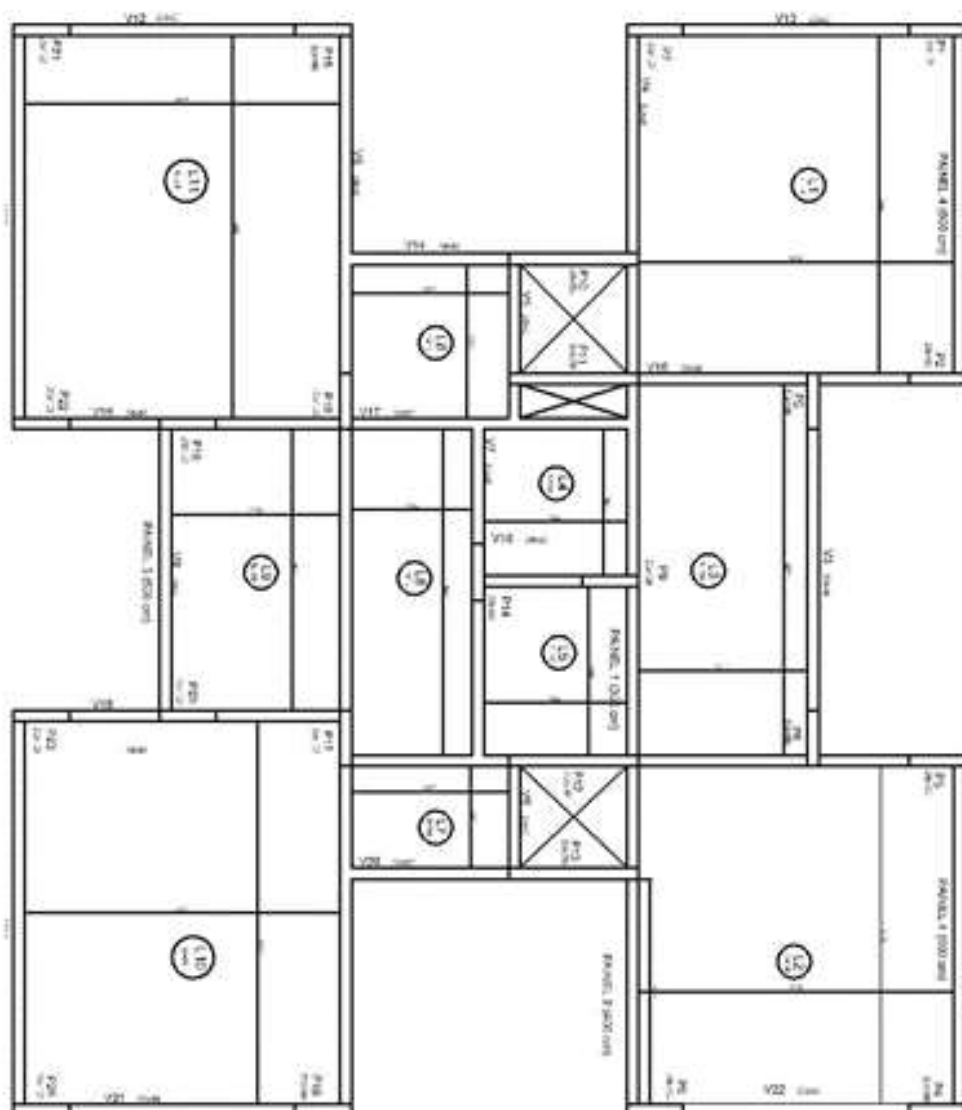
Seguindo os critérios da NBR 6118:2014, foi adotado no trabalho um módulo de elasticidade para o concreto armado de 24,150 GPa. Para o peso específico do concreto armado, foi utilizado o valor da NBR 6120:2019 de 25kN/m³.

Para a simulação do encunhamento, foi utilizado duas argamassas para o encunhamento, sendo uma rígida (maior módulo de elasticidade) e uma flexível (menor módulo de elasticidade). Para isso, utilizou-se o trabalho de Henz (2009), que fez uma análise experimental de algumas argamassas utilizadas em encunhamento, onde pegou-se os resultados de duas argamassas ensaiadas pela autora, onde foi adotado para a argamassa rígida, um módulo de elasticidade de 22,28 GPa, e para a argamassa mais flexível um módulo de elasticidade de 5,56 GPa, e um peso específico de 24 kN/m³.

Definição dos painéis

Para este trabalho foi avaliado os painéis ligados a estrutura de forma monolítica, definido como modelo 1, e os painéis quando se executa o encunhamento, definido como modelo 2. Foi definida uma planta de fôrmas de um prédio de 04 pavimentos para aplicar os carregamentos sobre as vigas e pilares do painel isolado, simulando um caso mais próximo da realidade. A Figura 4 traz a planta de fôrmas do prédio analisado.

Figura 4 - Planta de fôrmas adotada



Fonte: Os Autores (2019).

Na planta de fôrmas, escolheu-se trabalhar com os pórticos com comprimentos equivalentes a 3, 4, 5 e 6 metros, os quais estão indicados na planta de fôrmas, servindo para efeito de comparação com pórticos de comprimentos equivalentes a estes. As reações das lajes sobre as vigas são descritas na Tabela 2.

Tabela 2 - Reações das lajes sobre as vigas

Painel	Reação sobre o painel (kN/m)
1	8,19
2	16,71
3	6,92
4	9,66

Fonte: Os Autores (2019).

Definição da malha e condições de contorno

Para as modelagens foi utilizado o elemento Q20SF, da biblioteca de elementos finitos do próprio software. O software por ser uma versão educacional, permitia aplicar somente um tipo de elemento na modelagem, sendo assim impossível de aplicar um elemento de barra para as vigas e pilares, utilizando então o elemento de casca Q20SF para todos os componentes do painel (viga, pilares, alvenaria). As condições de apoio utilizadas no trabalho, estão apresentados na Tabela 3.

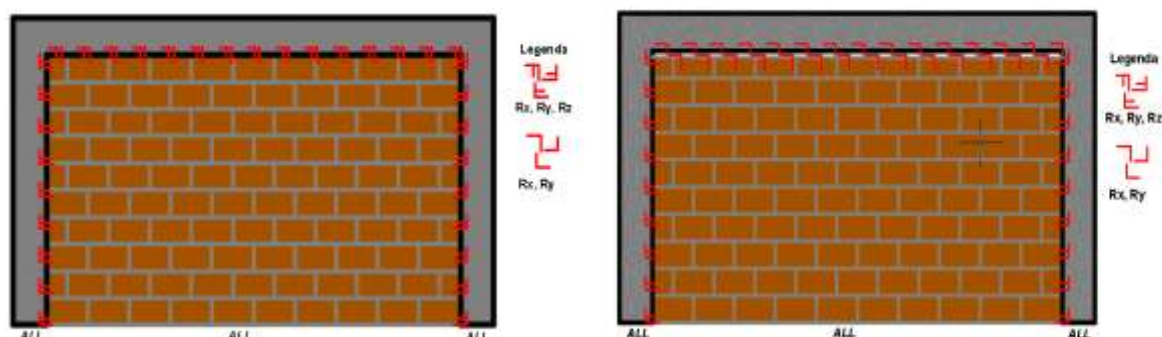
Tabela 3 - Condições de apoio

Condições de apoio	Restrição aplicada
RX	Rotação em x
RY	Rotação em y
RZ	Rotação em z
ALL	Rotação e translação em x, y, z

Fonte: Os Autores (2019).

Para considerar uma ligação rígida entre alvenaria e a estrutura, foi restringido a rotação em X, em Y e em Z, simulando um engaste entre alvenaria-pilar e alvenaria-viga. Para as modelagens que simularam o encunhamento, considerou uma ligação rígida entre alvenaria-pilar, e na ligação alvenaria-argamassa de encunhamento e viga-argamassa de encunhamento, foi restringido a rotação em X e em Y (argamassa apoiada). A Figura 5, a esquerda indica como foi feita a modelagem com a ligação rígida, e a direita simulando o encunhamento.

Figura 5 - Restrições aplicadas no software



Fonte: Os Autores (2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

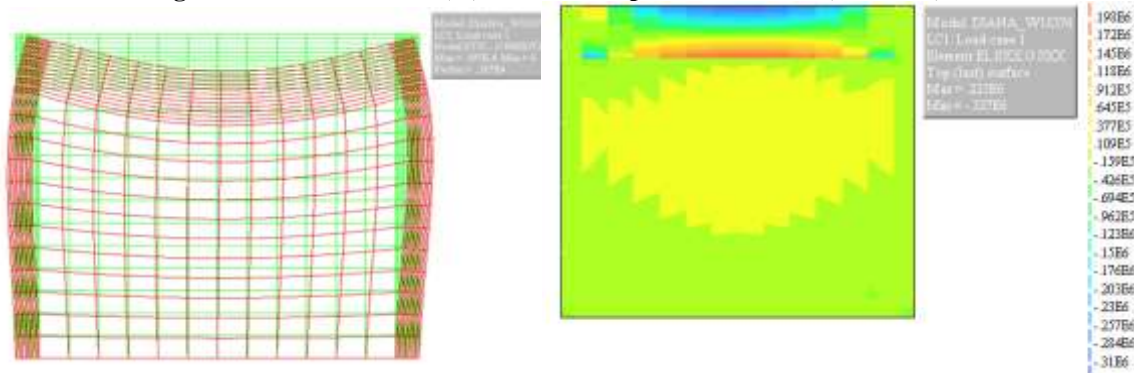
Análise da espessura dos blocos cerâmicos

Para uma análise inicial e para efeitos de comparações dos resultados, foram modelados os painéis 1, 2, 3 e 4, variando a espessura dos blocos cerâmicos, conforme definido, em 9.0, 11.5 e 14.0 cm, a fim de avaliar a influência da espessura dos blocos nas tensões ao longo do painel. Para esta análise inicial, foi considerado o modelo 1 na ligação da alvenaria com a estrutura, e os elementos estruturais com as dimensões indicadas na planta de fôrmas.

Foi elencado os resultados do painel com três metros de comprimento e com blocos de 9.0 cm, para a ilustração de como se deu os resultados, cujas figuras 6 e 7 apresentam os resultados.

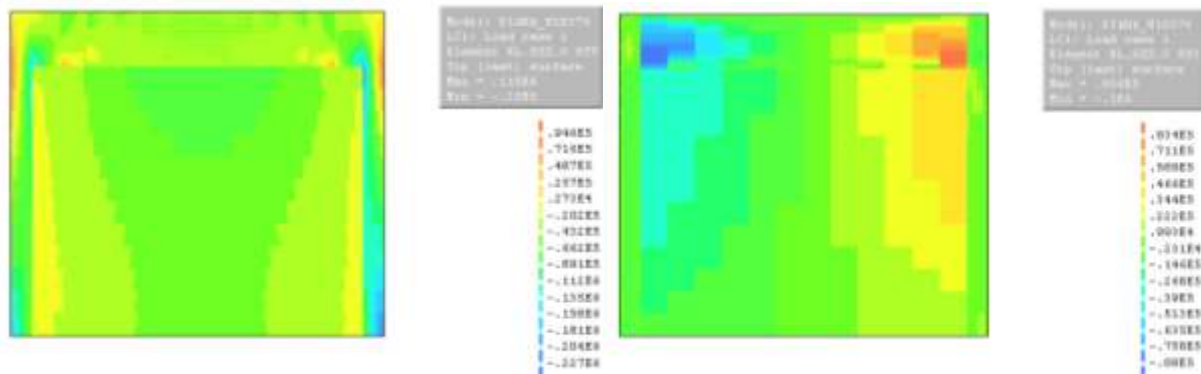
As demais modelagens seguem os mesmos padrões, onde os resultados de todos estão dispostos nos quadros a seguir.

Figura 6 - Deslocamento (m) e tensões no plano horizontal (σ_x - N/m²)



Fonte: Os Autores (2019).

Figura 7 - Tensões no plano vertical (σ_y - N/m²) e tensões de cisalhamento (τ_{xy} - N/m²)



Fonte: Os Autores (2019).

No Quadro 1, é apresentado os valores das tensões médias dentro da alvenaria, obtidos nas simulações referentes aos painéis de 3,0, 4,0, 5,0 e 6,0 metros, onde os valores negativos indicam esforços de compressão e valores positivos de tração.

Quadro 1 - Valores dos deslocamentos e tensões médias – CASO 1

Espessura do Blocos (cm)	Deslocamentos (cm)	Tensões médias (MPa)		
		σ_x (MPa)	σ_y (MPa)	τ_{xy} (MPa)
Painel de 3,0 metros				
9,0	0,006	-0,0159	-0,0662	-0,00993
11,5	0,005	-0,01	-0,0483	-0,0089
14,0	0,004	-0,0093	-0,0542	-0,00817
Painel de 4,0 metros				
9,0	0,0145	-0,0249	-0,183	-0,0248
11,5	0,0121	-0,00904	-0,131	-0,0217
14,0	0,0104	-0,0060	-0,134	-0,0195
Painel de 5,0 metros				
9,0	0,00936	-0,00697	-0,11	-0,025

11,5	0,00774	-0,00526	-0,102	-0,0138
14,0	0,00667	-0,00389	-0,104	-0,0127
Painel de 6,0 metros				
9,0	0,0129	-0,0127	-0,167	-0,0207
11,5	0,0105	-0,0104	-0,124	-0,0185
14,0	0,00889	-0,0096	-0,125	-0,0169

Fonte: Os Autores (2019).

No Quadro 2 apresentam as variações percentuais dos deslocamentos e tensões médias.

Quadro 2 - Variações das tensões médias e deslocamentos em (%) – CASO 1

Bloco de referência (cm)	Variação dos deslocamentos (%)	Tensões médias (%)		
		σ_x (%)	σ_y (%)	τ_{xy} (%)
Painel de 3,0 metros				
9,0 para 11,5	-16,66	-37,11	-27,11	-10,37
9,0 para 14,0	-33,33	-41,50	-18,13	-17,72
11,5 para 14,0	-20,00	-7,00	+12,22	-8,20
Painel de 4,0 metros				
9,0 para 11,5	-16,55	-63,69	-28,41	-12,50
9,0 para 14,0	-28,28	-75,90	-26,78	-21,37
11,5 para 14,0	-14,05	-33,63	+2,24	-10,14
Painel de 5,0 metros				
9,0 para 11,5	-17,31	-24,53	-7,27	-44,80
9,0 para 14,0	-28,74	-44,18	-5,45	-96,85
11,5 para 14,0	-13,82	-26,05	+1,96	-8,66
Painel de 6,0 metros				
9,0 para 11,5	-18,60	-18,11	-25,75	-10,63
9,0 para 14,0	-31,09	-32,29	-25,15	-18,33
11,5 para 14,0	-15,33	-7,66	+0,81	-8,65

Fonte: Os Autores (2019).

Avaliando os dois quadros, pode-se perceber que o aumento da espessura da alvenaria, ocorre redução dos deslocamentos. Isso ocorre devido a ligação entre a alvenaria e a estrutura ser rígida, a viga ao deformar encontra a alvenaria como obstáculo, e ao aumentar a espessura da alvenaria, aumenta a sua resistência, com isso a alvenaria limita o deslocamento da estrutura, e quanto mais resistente, mais limitará o deslocamento.

Quanto mais espessa é a parede, menor serão as tensões horizontais, pois tem-se mais área para distribuição das tensões e mais resistência com o aumento dessa área, mas, não existe uma proporcionalidade entre aumento de espessura e redução destas tensões horizontais, pois ao aumentar a espessura de 11,5 cm para 14,0 cm, a redução já foi muito inferior se comparada a redução da espessura de 9,0 cm para 11,5 cm.

Percebe-se, então, que aumentando a espessura dos blocos de vedação, tem-se uma redução das tensões verticais, devido ao incremento de área para a distribuição das tensões, porém,

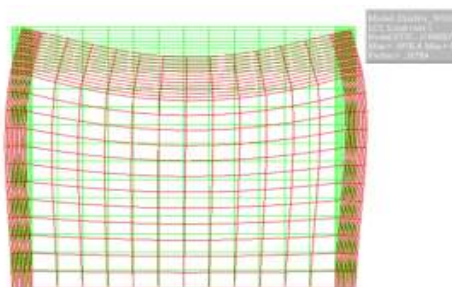
ao ponto em que se aumenta muito a espessura da parede, o seu peso próprio começa influenciar de maneira mais significativa nas tensões verticais, ocorrendo um aumento das tensões.

Nota-se que ao incrementar blocos mais espessos nas alvenarias, ocorre uma redução nas tensões cisalhantes, devido ao acréscimo de área para a distribuição das tensões cisalhantes. Para efeitos de comparação com os próximos subtópicos, este subtópico será chamado de caso 1.

Análise da interação alvenaria-estrutura

Analisando os resultados das simulações, verifica-se que a deformação da estrutura de concreto armado interfere nas tensões na alvenaria. Nota-se que quando a estrutura se deforma, acarreta um aumento excessivo das tensões σ_y no meio do painel.

Figura 8 - Deformação da estrutura, painel com 3,0 metros e blocos de 9,0 cm

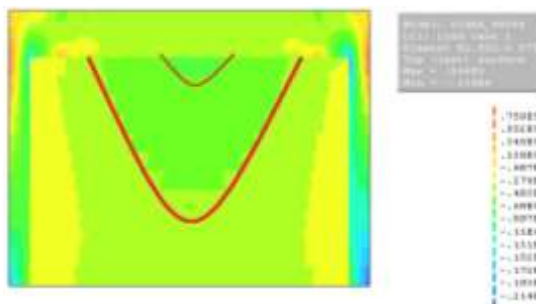


Fonte: Os Autores (2019).

Na Figura 8, as linhas em verde representam o estado indeformado da estrutura e da alvenaria, e as linhas vermelhas representam a deformação do sistema. É possível notar que o maior deslocamento ocorre no meio do vão da viga, e como a alvenaria está simulada sem o encunhamento, recebe todo o efeito da deformação agindo com uma força oposta ao deslocamento, tentando resistir a esta ação. Esta dinâmica entre os elementos, forma efeitos negativos para a alvenaria, devido a sua baixa resistência.

Como a alvenaria está recebendo as ações deste comportamento, e a deformação ocorre de forma mais acentuada no meio do vão da viga, surgem bulbos de tensões verticais no meio do vão da alvenaria, onde é possível notar que as maiores tensões do plano do painel da alvenaria estão concentradas nesta região, quanto mais próximo da viga simulada maiores são estes valores, como é possível observar na Figura 9.

Figura 9 - Tensões verticais (N/m²) do painel com 3,0 metros e blocos de 9,0 cm



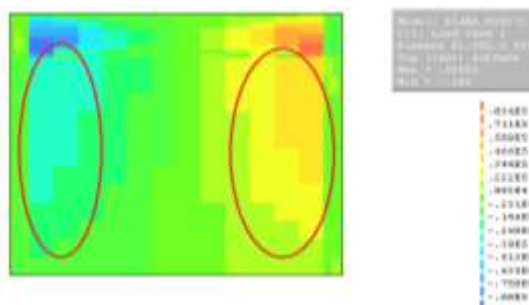
Fonte: Os Autores (2019).

Destacado na Figura 9, os bulbos gerados das tensões verticais são superiores as tensões médias do painel. Enquanto as tensões médias verticais deste painel ficaram com valores em torno de -0,0662 MPa, valor obtido do caso 1, as tensões verticais mais próximas a viga chegam a 0,116 MPa, e as tensões verticais mais distante chegam a 0,897 MPa. Comparando o valor da linha de

tensão mais próxima da viga, com o valor das tensões médias, representa um aumento de 75,23%, já na região de menor bulbo representa um aumento de 35,50%.

As tensões cisalhantes são expressivas na ligação da alvenaria com o pilar, que é induzida pelas ações verticais, este efeito gera tendência de descolamento na ligação da alvenaria com o pilar, sendo um ponto de possíveis manifestações patológicas. A Figura 10 ilustra esses bulbos ocasionados nessa região.

Figura 10 - Tensões cisalhantes (N/m²) no painel com 3,0 metros e blocos de 9,0 cm



Fonte: Os Autores (2019).

Enquanto as tensões médias cisalhantes têm valores de 0,0093 MPa, valor retirado do caso 1, os bulbos de tensões cisalhantes críticos circulados oriundos da interação da alvenaria com a estrutura, ficam em torno de 0,0344 MPa, um aumento de 269,89%.

Diante dessas constatações, e dos dados obtidos, realizou modelagens simulando três situações, para verificar as vantagens da realização do encunhamento:

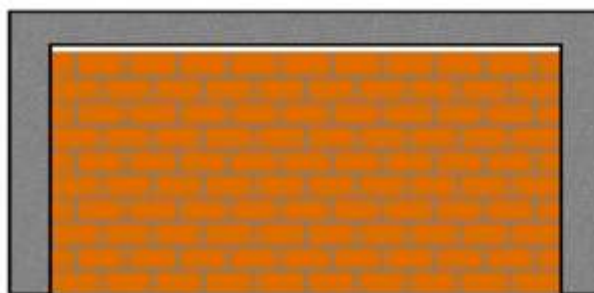
- alvenaria antes da execução do encunhamento;
- alvenaria com a execução de um encunhamento rígido;
- alvenaria com a execução de um encunhamento flexível;

Foi modelado somente o painel com 3,0 metros com blocos de 9,0 cm, pois, quanto menor a espessura dos blocos, maior serão essas tensões, e optou-se por modelar somente o painel de 3,0 metros devido à similaridade dos resultados para os painéis com 4,0, 5,0 e 6,0 metros.

Caso A, alvenaria antes da execução do encunhamento

Na Figura 11 é apresentado o modelo de painel para a análise sem o encunhamento. Esta simulação tem a propósito de analisar o comportamento da alvenaria quando se tem o espaço vazio deixado para posterior execução do encunhamento.

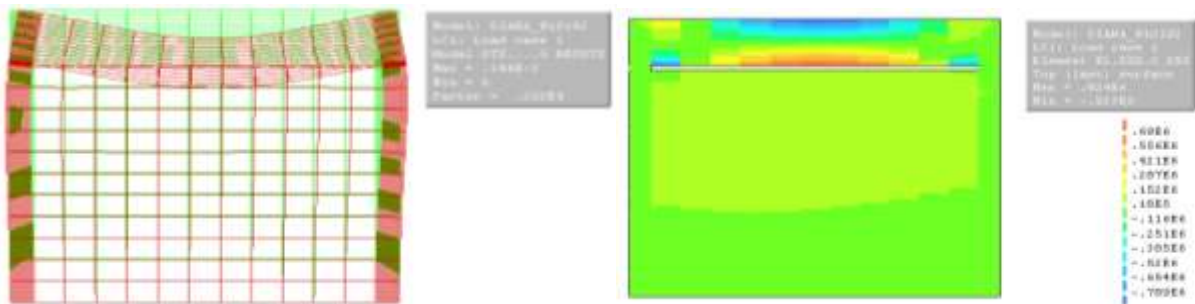
Figura 11 - Ilustração do modelo sem a execução do encunhamento



Fonte: Os Autores (2019).

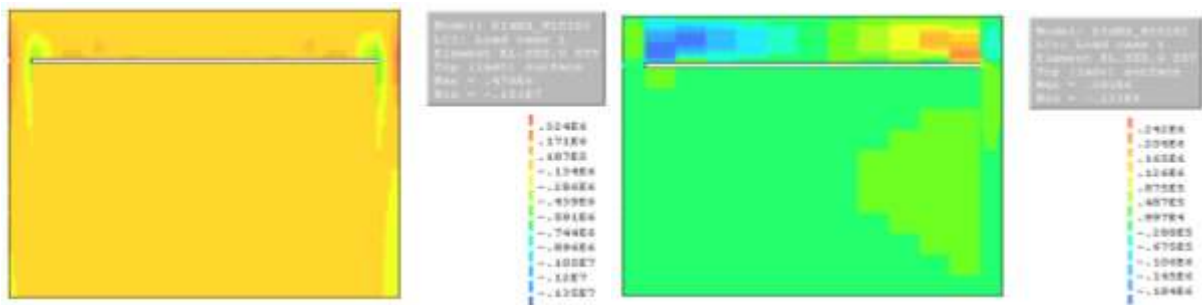
As Figuras 12 e 13, apresentam os resultados, referentes as tensões horizontais, verticais e cisalhantes médias, assim como, o comportamento dos bulbos no plano do painel.

Figura 12 - Deslocamento (m) e tensões no plano horizontal (σ_x - N/m²)



Fonte: Os Autores (2019).

Figura 13 - Tensões no plano vertical (σ_y - N/m²) e tensões de cisalhamento (τ_{xy} - N/m²)



Fonte: Os Autores (2019).

O Quadro 3 apresenta os valores do deslocamento e das tensões médias, coletadas das investigações anteriores.

Quadro 3 - Valores das tensões médias no painel de 3,0 m sem execução do encunhamento

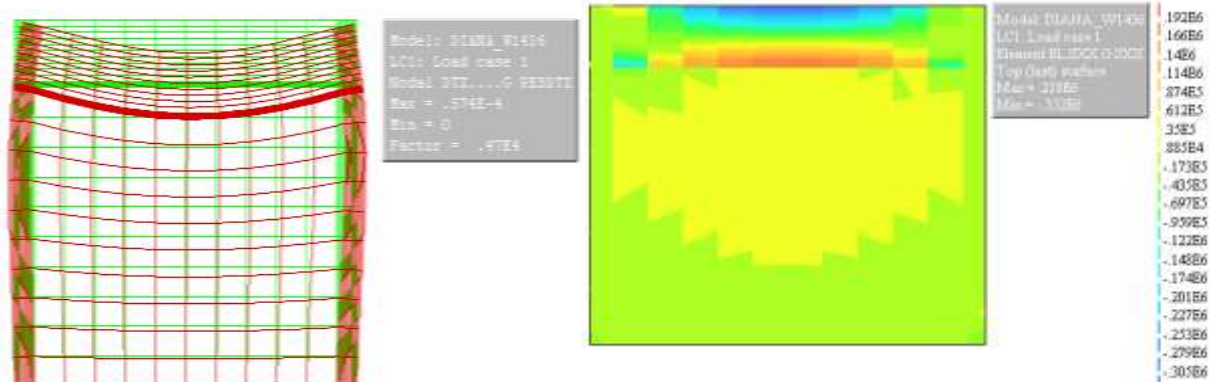
Espessura do Blocos (cm)	Deslocamentos (cm)	Tensões médias		
		σ_x (MPa)	σ_y (MPa)	τ_{xy} (MPa)
9,0	0,0144	0,018	-0,014	-0,0074

Fonte: Os Autores (2019).

Caso B, alvenaria com a execução do encunhamento rígido

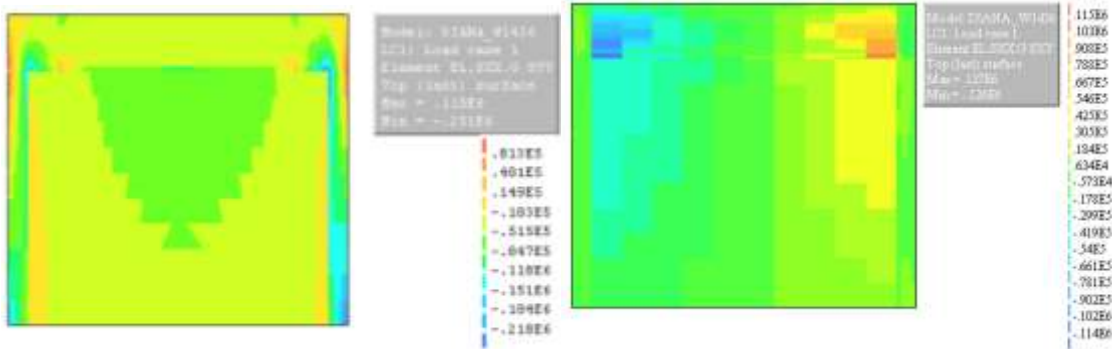
Os resultados que são apresentados pelas Figuras 14 e 15, referentes a argamassa rígida.

Figura 14 - Deslocamento (m) e tensões no plano horizontal (σ_x - N/m²)



Fonte: Os Autores (2019).

Figura 15 - Tensões no plano vertical (σ_y - N/m²) e tensões de cisalhamento (τ_{xy} - N/m²)



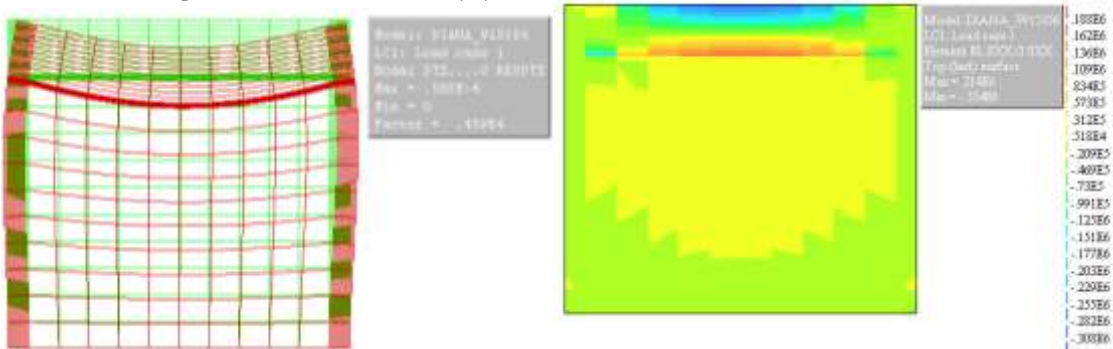
Fonte: Os Autores (2019).

Os resultados serão comentados no subtópico abaixo, para a melhor visualização dos resultados referentes a argamassa rígida e flexível.

Caso C, alvenaria com a execução do encunhamento flexível

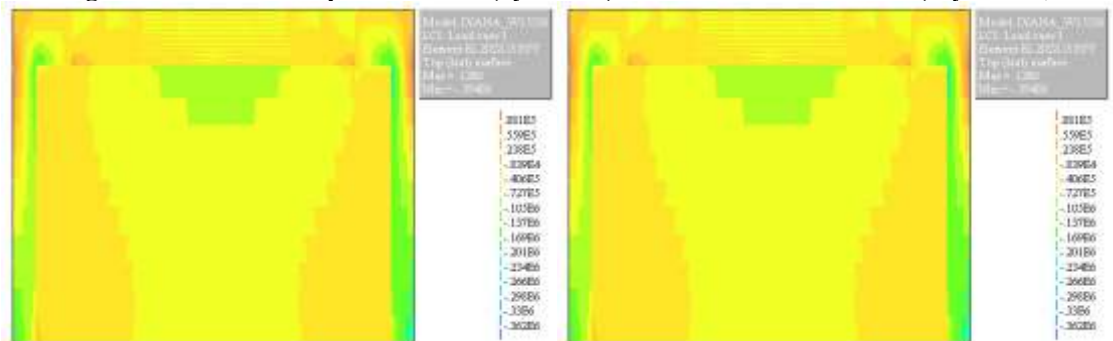
Os resultados apresentados pelas Figuras 16 e 17 são referentes a argamassa flexível.

Figura 16 - Deslocamento (m) e tensões no plano horizontal (σ_x - N/m²)



Fonte: Os Autores (2019).

Figura 17 - Tensões no plano vertical (σ_y - N/m²) e tensões de cisalhamento (τ_{xy} - N/m²)



Fonte: Os Autores (2019).

O Quadro 4 apresenta os resultados obtidos do uso de argamassa flexível e argamassa rígida no encunhamento.

Quadro 4 - Tensões médias e deslocamentos do painel com encunhamento executado

Tipo de argamassa	Deslocamentos (cm)	Tensões médias		
		σ_x (MPa)	σ_y (MPa)	τ_{xy} (MPa)
Rígida	0,0057	0,00885	-0,0515	0,00634
Flexível	0,0059	0,00518	-0,0406	0,00176

Fonte: Os Autores (2019).

O Quadro 5 apresenta as variações percentuais das tensões médias comparadas ao caso 1.

Quadro 5 - Comparativo da variação das tensões médias com o caso 1

Tipo de encunhamento	Tensões médias (%)		
	σ_x (%)	σ_y (%)	τ_{xy} (%)
Sem encunhamento	+13,21	-372,86	-22,05
Argamassa rígida	-44,34	-22,21	-36,15
Argamassa flexível	-67,42	-38,67	-82,27

Fonte: Os Autores (2019).

O comparativo dos deslocamentos não fora analisado devido a diferença dos deslocamentos comparados ao caso 1, gerarem deslocamentos com diferença menor de 5%. O encunhamento não interfere de maneira significativa no deslocamento da estrutura, o que era esperado, devido o encunhamento não fornecer uma resistência para combater deslocamentos, e sim para absorver esses deslocamentos e não os transmitir a alvenaria.

Observando os dados obtidos a partir da Figura 12, e comparando com o caso 1, temos que o deslocamento sofrido pela viga não afeta a alvenaria quando é deixado o espaço para o encunhamento, na Figura 12 é possível notar que proveniente do fator de escala do software, indica que o deslocamento da viga está atingindo a alvenaria, isso não ocorre de fato, pois o deslocamento coletado foi de 0,0144 cm, sendo que o espaço deixado para encunhamento é de 5,0 cm, logo não há transmissões da deformação da viga para a alvenaria. O fator de escala foi ampliado com a intenção de demonstrar a deformada da viga, e observando as linhas superiores da alvenaria, percebe-se que o deslocamento que elas sofrem, são devidos ao seu peso próprio.

Comparando as tensões horizontais com o caso 1, as mesmas sofreram um aumento quando se tem o espaço vazio onde será executado o encunhamento posteriormente, e esses esforços que antes eram predominantemente esforços de compressão, agora são esforços de tração, isso se dá pelo fato que antes a viga imprimia um esforço para baixo na alvenaria, fazendo com que toda a alvenaria fosse comprimida, agora, os pilares que puxam a alvenaria para o lado quando se deslocam, é o que origina os esforços de tração. Quando se tem o encunhamento rígido e flexível as tensões diminuíram, o que mostra que o encunhamento cumpre sua função, de absorver tensões advindas da estrutura e não transmitir para a alvenaria. Sendo assim, é de suma importância a execução do encunhamento para que não ocorra transmissão de tensões da estrutura para a alvenaria, evitando assim o surgimento de manifestações patológicas.

Analisando as tensões verticais, ocorreu uma redução drástica quando se tem o espaço vazio, isso é explicado devido a viga não transmitir esforço para a alvenaria, os esforços verticais presentes na alvenaria se dão somente pelo seu peso próprio. Quando se tem o encunhamento, tanto flexível quanto rígido, ocorreu redução das tensões verticais, e a redução quando se modelou com argamassa flexível foi maior comparada com a rígida. Isso ocorre devido o encunhamento flexível, ter característica de absorver melhor as deformações da viga sem transmitir para a

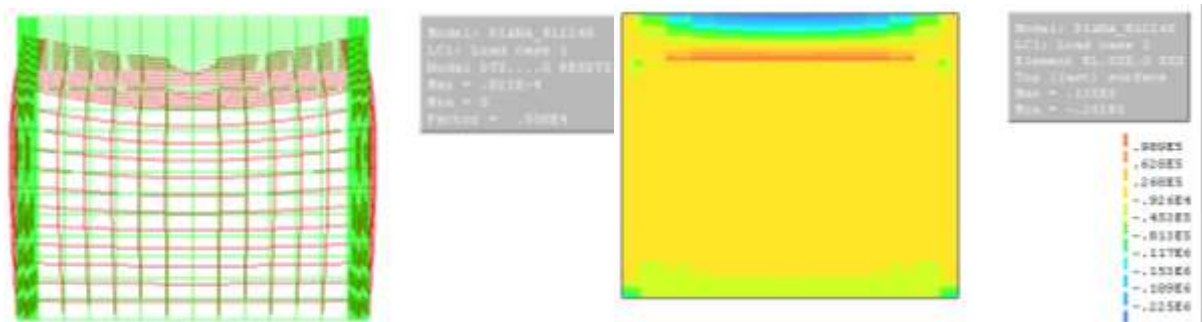
alvenaria, ao contrário da argamassa rígida, onde ocorre uma transferência maior das deformações. Mostrando que a execução do encunhamento é essencial para reduzir as tensões na alvenaria.

As tensões cisalhantes apresentaram uma redução quando se tem o espaço vazio, e o fluxo no painel mudou completamente, antes, havia bulbos de tensões cisalhantes nos cantos superiores, próximos a interface viga-pilar, agora, as tensões cisalhantes estão uniformes ao longo da alvenaria. Quando se tem o encunhamento, também ocorre redução das tensões cisalhantes, mostrando a eficiência do encunhamento.

Análise da utilização das alvenarias de vedação como fôrmas para elementos estruturais

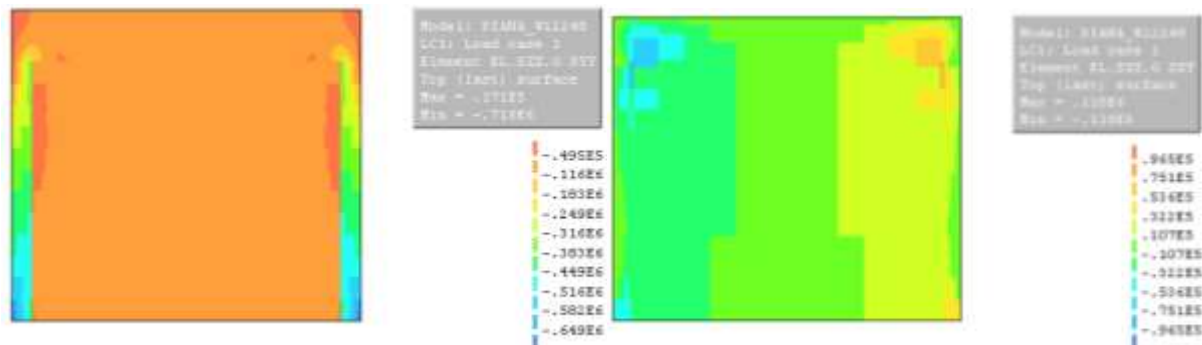
Foram realizadas modelagens simulando que a alvenaria de vedação seria utilizada como fôrmas para elementos estruturais, nesse sistema os elementos estruturais acabam por ter a mesma dimensão (largura) que o bloco da alvenaria de vedação. Com isso, simulou essa situação da mudança da largura das vigas e pilares juntamente com a alvenaria, considerando a ligação do modelo 1. A seguir encontra-se os resultados obtidos das modelagens, onde será ilustrado como exemplo os resultados do painel com três metros de comprimento, e os blocos cerâmicos e a estrutura com 9.0 cm de espessura, os resultados das outras modelagens seguem as mesmas diretrizes, e para simplificação serão somente elencados os resultados nos quadros a seguir. As figuras 18 e 19, ilustram os resultados citados.

Figura 18 - Deslocamento (m) e tensões no plano horizontal (σ_x - N/m²)



Fonte: Os Autores (2019).

Figura 19 - Tensões no plano vertical (σ_y - N/m²) e tensões de cisalhamento (τ_{xy} - N/m²)



Fonte: Os Autores (2019).

O Quadro 6 apresentam os resultados com os deslocamentos e as tensões médias de todas as outras modelagens.

Quadro 6 - Valores dos deslocamentos e tensões médias

Espessura do Blocos (cm)	Deslocamentos (cm)	Tensões médias		
		σ_x (MPa)	σ_y (MPa)	τ_{xy} (MPa)
Painel com 3,0 metros de comprimento				
9,0	0,00821	0,0268	-0,116	-0,0107
11,5	0,00684	0,0213	-0,101	-0,0085
14,0	0,006	0,0177	-0,0913	-0,00765
Painel com 4,0 metros de comprimento				
9,0	0,0172	-0,0526	-0,211	-0,0198
11,5	0,0139	-0,043	-0,176	-0,0159
14,0	0,0118	-0,0368	-0,153	-0,0135
Painel com 5,0 metros de comprimento				
9,0	0,0097	-0,0219	-0,124	-0,00936
11,5	0,00782	-0,0188	-0,108	-0,00778
14,0	0,00669	-0,0168	-0,0979	-0,00677
Painel com 6,0 metros de comprimento				
9,0	0,0122	-0,0241	-0,161	-0,0122
11,5	0,0101	-0,0202	-0,137	-0,01
14,0	0,0087	-0,0177	-0,122	-0,0086

Fonte: Os Autores (2019).

O Quadro 7 apresenta a variação dos deslocamentos e das tensões comparadas ao caso 1.

Quadro 7 - Variação dos deslocamentos e das tensões comparadas ao caso 1

Espessura dos blocos (cm)	Variação dos deslocamentos (%)	Tensões médias (%)		
		σ_x (%)	σ_y (%)	τ_{xy} (%)
Painel de 3,0 metros				
9,0	+36,83	+68,55	+75,23	+7,75
11,0	+36,80	+113,00	+109,11	-4,49
14,0	+49,25	+90,32	+68,45	+6,36
Painel de 4,0 metros				
9,0	+18,62	+111,24	+15,30	-20,16
11,0	+14,88	+375,66	+34,35	-26,73
14,0	+13,46	+513,33	+14,18	-30,77
Painel de 5,0 metros				
9,0	+3,63	+77,91	+12,73	-62,56
11,0	+1,03	+105,32	+5,88	-46,62

14,0	+0,30	+177,63	+5,86	-47,48
Painel de 6,0 metros				
9,0	-5,42	+89,76	-3,59	-41,06
11,0	-3,81	+94,23	+10,48	-45,95
14,0	+2,14	+84,38	-2,4	-49,11

Fonte: Os Autores (2019).

Analisando os deslocamentos e comparando com o caso 1, quando a estrutura possui a mesma largura que o bloco da alvenaria, ocorre diminuição da rigidez da estrutura, pois antes era mais robusta comparada com as dimensões analisadas neste tópico. Com a diminuição da rigidez da estrutura, ela acaba por se deformar mais, onde os deslocamentos acabam por afetar mais ainda a alvenaria. Percebe-se que no painel de 5,0 e 6,0 metros de comprimento, os deslocamentos são quase nulos, e algumas vezes os deslocamentos até diminuem comparadas ao caso 1, isso se dá pelo fato da estrutura estar um pouco mais leve, e devido a ligação rígida entre alvenaria e estrutura, a alvenaria por ter um comprimento maior, acaba por ter mais resistência, conseguindo parar o deslocamento da estrutura. Ou seja, a alvenaria acaba tendo função estrutural, mesmo sendo construída com objetivo de ser alvenaria de vedação.

As tensões horizontais em todos os casos sofrem um aumento no seu valor, mas quase nenhuma alteração na forma que se comporta no painel. O que se tem, é apenas uma variação no bordo inferior do painel, com um aumento pequeno da tensão naquela região, e sendo comprimido inteiramente. Percebe-se que utilizando a estrutura com a mesma dimensão da alvenaria, e comparando com as dimensões originais de projeto, acarreta prejuízos para a alvenaria, sofrendo mais com as tensões advindas da estrutura.

As tensões verticais sofrem mudanças significativas, tanto em valores como na maneira de se comportar. Ocorre um aumento nos valores das tensões se comparado com o caso 1. Já a maneira que se comporta, o fluxo das tensões σ_y , percebe que se torna contínuo na zona de interação viga-alvenaria de vedação, pois, a viga transmite tensões para a alvenaria de vedação, fazendo com que esses dois elementos trabalhem de forma monolítica, comportando como um único fluxo de tensões. Singularidades foram encontradas no painel de 6,0 metros, onde ocorreu das tensões serem menores, porém valores com menos de 5 % de diferença, o que pode ser considerado que as tensões deram os mesmos valores. E isso ocorre por conta do comprimento da alvenaria, por ser comprida, a forma de distribuição das tensões são idênticas ao caso 1, por ter muita área para a distribuição das tensões, ocorrendo pouca variação no comportamento da mesma.

No geral, as tensões cisalhantes médias foram menores, isso devido a ter menos contato entre a alvenaria com a estrutura. Mas analisando os pontos críticos, na interface alvenaria-estrutura, ocorram aumento dos valores das tensões.

CONCLUSÃO

Diante de todos os casos analisados, pode-se concluir que as variações das tensões se reduziram à medida que se aumenta a espessura dos blocos cerâmicos simulados, devido ao incremento de área dos blocos da alvenaria seguindo o princípio das tensões uniaxiais, aumentando a resistência conforme aumenta a área. Um outro fator de grande importância, que dentro dos dados obtidos no plano da alvenaria, os valores mantiveram-se abaixo da resistência mínima por norma, que é de 1,5 MPa, entretanto, devido à escassez de dados referentes ao módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson para blocos cerâmicos de vedação, utilizou-se os valores de blocos cerâmicos vazados para alvenaria estrutural, logo implicando nos resultados finais das

análises. Como os blocos cerâmicos apresentam resistência inferior aos do bloco estrutural, pode-se concluir que os resultados estão a favor da segurança.

Ainda dentro deste contexto, outra condição que poderia trazer dado que influenciasse nas análises, seria o limite de fissuração dos blocos, pois, mesmo o painel de alvenaria mantendo valores a baixo da resistência à compressão dos blocos supracitados pela NBR 15270-1:2017, não se tem dados referentes ao início que a lacuna da fissura começa a parecer, afetando o desempenho final do sistema. E, ainda existem outros fatores determinantes no funcionamento do conjunto, como: deformação excessiva da estrutura, qualidade dos blocos utilizados, excentricidade gerada por falta de prumo.

Foi simulado o encunhamento com argamassa rígida e flexível, para pórticos isolados e pórticos de múltiplos pavimentos. E, com os dados coletados, resultou que para ambos materiais utilizados para o encunhamento os valores das tensões horizontais, das tensões verticais, e das tensões cisalhantes diminuíram, logo, sendo de grande importância para absorção dos descolamentos e das tensões. Ficando evidente que o encunhamento deve ser executado para melhorar a distribuição das tensões entre a estrutura e a alvenaria, e reduzir o aumento indevido de ações nas alvenarias advindas da estrutura de concreto armado, uma vez que a alvenaria de vedação não é capaz de resistir a maiores esforços. Ainda, a argamassa flexível apresentou resultados melhores diante da argamassa rígida, com valores de tensões bem menores.

A simulação da utilização da alvenaria de vedação como fôrmas para a estrutura de concreto armado, onde a estrutura tem a mesma largura que a alvenaria, foi uma condição determinante nos resultados finais de painéis, onde a diminuição da largura da estrutura implica diretamente nas tensões e deslocamentos dos painéis, aumentando estes valores, isso se dá pela redução da rigidez do sistema, por se ter seções menores. Ainda, a aplicação de trabalhar com este sistema construtivo, de manter a seção das vigas e pilares com as mesmas dimensões dos blocos interfere nas condições globais da estrutura, podendo acarretar severas complicações estruturais. Também se tem o problema de, dependendo da largura do bloco cerâmico, e a estrutura com a mesma seção do bloco, acaba não obedecendo as dimensões mínimas estabelecidas pela NBR 6118:2014, o que implica na desobediência da norma vigente.

O estudo mostrou a grande importância da interação alvenaria-estrutura, muitas vezes ignorada em obras, que se não utilizada alguma técnica para a ligação desta interface, ou utilizar alguma técnica de forma incorreta, acaba prejudicando o desempenho da alvenaria de vedação, favorecendo o surgimento de manifestações patológicas.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15961-1: **Alvenaria estrutural – Blocos de concreto** – Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro. 2011, 42 p.

ABNT – ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro.2014, 238 p.

ABNT – ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR10837: **Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto**. Rio de Janeiro. 1989, 20 p.

ABNT – ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR13281: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos**. Rio de Janeiro. 2005, 7 p.

ABNT – ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR15270-1: **Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro. 2017, 29 p.

- ABNT – ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR6120: **Cargas pra o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro. 1980, 6 p.
- ABNT – ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR6136: **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria**. Rio de Janeiro. 2016, 10 p.
- ABNT – ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR8545: **Execução de alvenaria sem função estrutural de tijolos e blocos cerâmicos**. Rio de Janeiro. 1984, 13 p.
- ABNT – ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR8800: **Projeto estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro. 2008, 237 p.
- AZEREDO, H. A. de. **O edifício até sua cobertura**. 2. Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1977. 182 p.
- CARVALHO, R. C. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: Segundo a NBR 6118:2014**. 4. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2014. 415 p.
- FRANCO, L. S. **O Desempenho estrutural e a deformabilidade das vedações verticais**. São Paulo, EPUSP-PCC, 1998.
- FRANCO, L.S.; BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de um método construtivo de alvenaria de vedação de blocos de concreto celular autoclavados**. São Paulo: EPUSP-PCC, 1994. (Relatório CPqDCC, n. 20081 – EP/SICAL-1)
- HELENE, P.R.L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2ª ed. São Paulo: Pini, 1992. 213p.
- HENZ, C. L. **Análise experimental de compatibilidade das argamassas de revestimento e encunhamento**. 2009. 85f. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.
- LORDSLEEM Jr., A. C. **Execução e inspeção de alvenaria racionalizada**. Editora O Nome da Rosa, São Paulo. São Paulo. 2000.
- MEDEIROS, J. S.; FRANCO, L. S. **Prevenção de trincas em alvenarias através do emprego de telas soldadas como armadura de ancoragem**. 1999.78 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, 1999.
- MOLITERNO, A. **Caderno de estruturas em alvenaria e concreto simples**. 5ª reimpressão - 2011. São Paulo: Blucher, 1995. 374p.
- MUCI, D. W. S.; NETTO, J. R. B.; SILVA, R de A. **Sistemas de recuperação de fissuras da interface alvenaria de vedação-estrutura de concreto: comparativo entre os processos executivos e análise de custo**. 2014. 98 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.
- PINHEIRO, G. G. **Estudo do comportamento mecânico de blocos cerâmicos com diferentes larguras**. 2009. 117f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.
- SAMPAIO, M. B. **Fissuras em edifícios residenciais em alvenaria estrutural**. 2010. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.
- SANTOS, A. R. **Estudo da técnica de assentamento da alvenaria de vedação em blocos**. 2012. 41 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Curso Superior de Tecnologia em Materiais para Edificações. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2012.

SANTOS, M. J. F. dos. **Análise da resistência de prismas e pequenas paredes de alvenaria estrutural cerâmica para diferentes tipos de argamassas.** 2008. Dissertação (Mestrado) – Pós Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

SOPELSA, D. R. **Análise de construções com paredes de vedação servindo de apoio direto das vigas.** 2012. Dissertação (Graduação) - Curso de Bacharelado em Engenharia Civil. Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2012.

SOUZA, V.C.M., RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estrutura de concreto.** 1ª ed. 5ª tiragem, São Paulo: Pini, 2009. 257p.

SPEROTTO, J. N. **Edificações multifamiliares sem dispositivo de ligação superior alvenaria-estrutural: análise do sistema construtivo.** 2009. 83 f. Trabalho de diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

THOMAZ, E. **Código de práticas nº 1: Alvenaria de vedação em blocos cerâmicos.** São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2009. 65 p.

THOMAZ, E. **Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção.** São Paulo: Editora PINI, 2001. 454 p.

TNO DIANA BV. **DIANA 9.4.4 User's Manual.** 2013.

VINCENZO, D. S. **Análise de tensões em alvenarias de vedação.** 2006. 110f. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2006.