



ESTUDO SOBRE A INFLUÊNCIA DA DISPOSIÇÃO DO GRAUTE EM PAINÉIS DE ALVENARIA ESTRUTURAL ATRAVÉS DE MODELAGEM COMPUTACIONAL

Klaus André de Sousa Medeiros

Matheus Carlyelton Dantas Araújo

Lucas Araújo

klaus.medeiros@ufersa.edu.br

carlyelton@hotmail.com

araujoluca_eng@hotmail.com

Eng. Civil, Professor Assistente do Centro Multidisciplinar de Angicos (CMA/UFERSA).

Aluno de graduação do curso Engenharia Civil da UFERSA - Angicos.

Aluno de graduação do curso Engenharia Civil da UFERSA - Angicos.

Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Rua Gamaliel Martins Bezerra, s/n, Alto da Alegria, 59515-000, Angicos/RN - Brasil

Resumo. A alvenaria estrutural dispõe de um grande potencial econômico, propiciado pela utilização de métodos de racionalização, reduções de consumo e desperdícios, além da agilidade e rapidez que a mão de obra consegue ganhar conforme há a elevação dos pavimentos. Porém, para que as vantagens obtidas por esse método construtivo sejam realmente alcançadas, é necessário que haja conhecimento e garantia do bom comportamento dos componentes da alvenaria. Diante dessa afirmativa, e ainda, associada a precariedade de estudos com relação ao graute e sua interação com a estrutura, pôde-se observar a oportunidade de realizar a presente pesquisa, que tem como principal objetivo a verificação da influência da disposição do graute nos painéis de alvenaria. Para conduzir o trabalho foi utilizado o pacote de programas computacionais SAP2000, sendo realizadas modelagens computacionais em elementos finitos unidimensionais a partir de um painel base, no qual eram dispostos pontos de graute em diferentes posições. Após concluída a análise (linear-elástica) das modelagens, obteve-se como resultado dados que indicam a existência de uma região limitada para influência dos pontos grauteados, chegando, por exemplo, a aproximadamente 0,75 m de distância para ambos os lados do ponto grauteado no painel com altura de 2,80 m, e para os demais painéis, nos quais a altura do pé direito variou, foram constatados comportamentos semelhantes, induzindo à uma inclinação de atuação do ponto de graute em relação ao eixo horizontal de aproximadamente 15°. Também se chegou à conclusão que mesmo com menos pontos de graute, desde que bem distribuídos, supre-se a necessidade de reforço estrutural na parede.

Palavras-chave: Alvenaria estrutural, Graute, Distribuição de tensões, Elementos finitos.

CILAMCE 2017

INTRODUÇÃO

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo que data desde os primórdios da humanidade, o qual passou por várias mudanças ao longo dos anos, podendo ser definido como um método construtivo em que as paredes, além de possuírem função de vedação, têm a função de resistir aos carregamentos advindos dos pavimentos superiores (Kalil, 2007).

As grandes vantagens que esse sistema construtivo apresenta em relação ao sistema de concreto armado faz com que algumas empresas continuem investindo e buscando soluções para os problemas existentes quanto ao método, como a incerteza sobre a interação entre os materiais e também as restrições nas variações arquitetônicas (Fortes, 2012).

Cada elemento constituinte de uma edificação em alvenaria estrutural desempenha uma função essencial para que a estrutura se mantenha resistente. Um exemplo é o graute que, de acordo com Logullo (2006), possui a função de absorver uma parcela dos esforços verticais, bem como incorporar a armadura à estrutura.

Visto a importância que o graute tem nesse tipo de sistema construtivo associado a carência de estudos sobre como o mesmo deve ser utilizado, observou-se a oportunidade de realizar o presente trabalho, que visa analisar e esclarecer como a estrutura se comporta quanto a mudança da disposição do graute em painéis de alvenaria estrutural.

1 FUNCIONAMENTO DA ALVENARIA ESTRUTURAL

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo em que as paredes, além de possuírem função de vedação, têm a função de resistir aos carregamentos advindos dos pavimentos superiores. Essa alvenaria utiliza-se basicamente de blocos industrializados, com dimensões e peso que facilitam seu manuseio, ligados por argamassa para que a estrutura se torne monolítica, podendo também haver o preenchimento de vazios dos blocos com graute para que se aumente a resistência localizada no ponto desejado e adição de armaduras de aço para que se combata as tensões de tração que apenas a alvenaria por si só não seria capaz de resistir (Kalil, 2007).

Esse sistema construtivo possui características que são de grande interesse para o ramo da construção civil, como a possibilidade de aliar os conceitos de racionalização, produtividade, qualidade e economia. Isso se dá pela presença de técnicas de execução simplificadas, que aumentam a rapidez construtiva a medida em que ocorre a elevação dos pavimentos, além de haver a integralização entre os projetos estruturais, hidráulicos e elétricos, que faz com que a parte hidráulica e elétrica da construção seja executada ao mesmo tempo em que ocorre a elevação das alvenarias.

Sobre os componentes da alvenaria estrutural tem-se que, segundo Logullo (2006), o bloco é o elemento da alvenaria estrutural que desempenha a principal função resistente. Desse modo, conhecer sua resistência e também seu comportamento diante de esforços é de suma importância para que se possa estimar e fazer aproximações da resistência global das paredes. Os blocos de concreto e os blocos cerâmicos, são os dois tipos de blocos que mais se destacam nesse método construtivo.

Outro elemento presente neste método construtivo é a argamassa de assentamento, a qual é composta por cimento, agregado miúdo, água e cal, podendo variar as proporções de cada componente conforme seja necessário para sua resistência e fluidez desejadas. De acordo com

a NBR 15961-1: 2011 item 6.1.2, sua resistência a compressão não deve ultrapassar 70% da resistência característica do bloco utilizado, pois caso isso ocorra irá aumentar consideravelmente o potencial de fissuração da estrutura.

É incontestável a importância da junta de argamassa para o funcionamento estrutural das paredes, já que a mesma é responsável pela junção dos blocos, absorvendo as deformações dos mesmos causadas por pequenas deficiências na fabricação, movimentações da estrutura e também por deformações causadas por variações de temperatura (Logullo, 2006).

As armaduras em alvenaria estrutural possuem como principais funções auxiliar no travamento das alvenarias, aumentar a resistência a compressão da estrutura, e também, resistir a esforços de tração que venham a existir. Embora apresentem funções muito parecidas com as desempenhadas pelas armaduras utilizadas em concreto armado, há uma pequena diferença quanto a relação do método de utilização, já que na alvenaria estrutural as armaduras são envolvidas por graute, buscando garantir o atrito desejável entre esses dois elementos para que a estrutura se torne monolítica (Ramalho; Corrêa, 2003).

Quando um edifício está em fase de projeto, o engenheiro projetista necessita avaliar a construção com relação a dois pilares bastante importantes: o econômico e o estrutural. O grauteamento é um exemplo típico dessa avaliação, pois quando o projeto se encontra na etapa de dimensionamento de paredes, é feita a verificação da confiabilidade e equilíbrio dos elementos estruturais, assim como o cálculo da quantidade de armadura que será necessário para o determinado painel de alvenaria. Porém, Rabelo (2004, p.11) faz a seguinte afirmativa: “Nos casos em que as tensões de cálculo atuantes superam as tensões de cálculo resistentes dos blocos, mas não suficientemente altas para a indicação de armaduras, utiliza-se o critério de grauteamento dos blocos, com o intuito de aumentar a resistência da alvenaria”. Dessa forma evitando custos desnecessários, e ainda, garantindo a rigidez necessária para a segurança da estrutura.

Na literatura pouco se tem sobre a disposição dos pontos de graute, sabe-se apenas que depois de definido a quantidade de pontos de grauteamento que serão necessários para resistir ao excesso de tensões no painel, esses pontos de rigidez são apenas distribuídos de forma simétrica ao longo da parede.

Sobre a definição e a funcionalidade do graute, temos que, segundo Ramalho e Corrêa (2003), esse elemento estrutural pode ser caracterizado como um concreto com agregados de pequena proporção e relativamente fluido, que tem a finalidade de aumentar a capacidade resistente da estrutura por meio do aumento da área transversal dos painéis, funcionando assim como pontos de rigidez, os quais atraem os esforços causando uma redistribuição destes e também possui a função de acomodar e solidarizar a ligação entre eventuais armaduras e os blocos. Porém, para que essas funções sejam exercidas da melhor forma possível é necessário que o graute preencha completamente a área vazada dos blocos e envolva a superfície da armadura, e sobretudo que seja garantido a melhor aderência entre a superfície graute-armadura e graute-bloco.

Devido a aderência entre o graute e a superfície dos vazios dos blocos não serem perfeitas, a NBR 15961-1: 2011 enfatiza a necessidade de que a resistência característica do graute deve ser maior ou igual a pelo menos duas vezes a resistência característica do bloco. Em termos de resistência a compressão do graute, tem-se que, segundo a mesma norma, ao se trabalhar com

alvenaria armada o valor mínimo característico da resistência a compressão do graute deve ser de 15 Mpa.

Amorim (2010, p. 32) afirma que “[...] existem algumas particularidades durante as operações de grauteamento dos elementos definidos em projetos, como pilaretes, cintas, vergas e contra-vergas que não podem ser ignoradas.”, essas peculiaridades são alguns cuidados que se devem ter durante as etapas do processo de grauteamento para que o graute possa ter a melhor eficiência possível.

Ainda são estipuladas algumas premissas importantes para a análise da estrutura, a norma da ABNT NBR 15812-1:2010 estabelece que essa análise deve ser realizada considerando o equilíbrio tanto individual dos elementos quanto na estrutura como um todo.

Deve-se também atentar que a trajetória realizada pelas ações, tanto verticais quanto horizontais, devem estar bem descritas desde o ponto de sua atuação até o ponto final de sua estrutura. A mesma norma ainda aborda uma hipótese bastante importante, a de que a dispersão de qualquer carga, seja ela concentrada ou distribuída, aplicada a algum elemento se dará conforme uma inclinação de 45° em relação ao plano horizontal, como é ilustrado pela Figura 1. Essa premissa é de grande relevância para a definição das características dos elementos que irão resistir a essas cargas verticais.

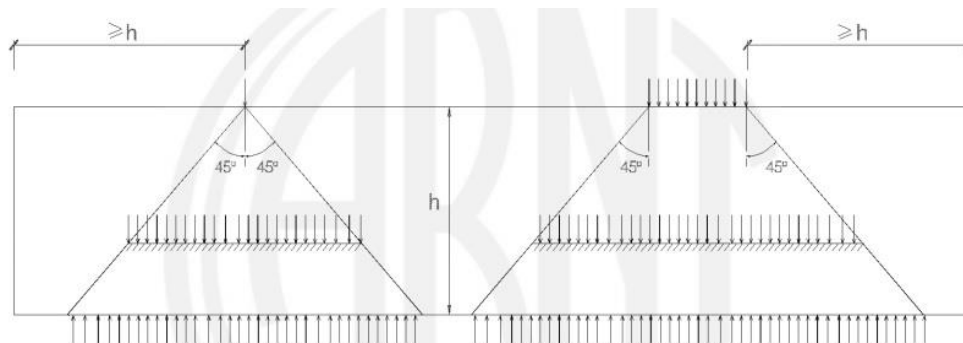


Figura 1. Dispersão das ações verticais nos elementos estruturais. [Fonte: NBR 15812-1, 2010]

2 MODELAGEM NUMÉRICA COMPUTACIONAL

A modelagem computacional tem como objetivo entender os processos que compõem determinados fenômenos através do auxílio de modelos matemáticos e códigos computacionais, os quais têm a função de simplificar a complexidade de tais fenômenos.

Conforme o que se deseja analisar, tem-se basicamente três principais formas de modelar numericamente: a micromodelagem detalhada, micromodelagem simplificada e a macromodelagem. As quais necessitam de conjuntos de características específicas dos materiais para cada uma das distintas formas de modelagem (Medeiros, 2015).

De acordo com Nascimento Neto (2003), a micromodelagem detalhada tem boa aplicação no estudo da interação entre os blocos e a argamassa, sendo eficaz na verificação das tensões e deformações dos materiais. Essa forma de modelagem se dá a partir da discretização isolada dos componentes da alvenaria, sendo as unidades e juntas de argamassa discretizadas por

elementos finitos contínuos e já a interface unidade/argamassa utilizando elementos finitos descontínuos, como é observado na Figura 2(b).

Entende-se como micromodelagem simplificada aquela em que são utilizados elementos contínuos para as unidades e para a interface elementos descontínuos, como mostrado na Figura 2(c). De acordo com Medeiros (2015), os dois tipos de micromodelagem se aplicam em casos onde se quer fazer a análise pontual, ou seja, necessitando de um maior detalhamento do comportamento da estrutura estudada.

Já na macromodelagem, faz-se uma análise conjunta da estrutura, desprezando as características apenas individuais dos elementos e considerando-a assim como um compósito, como ilustrado na Figura 2(d). Dessa forma é de extrema importância que se conheça as características elásticas da estrutura como um todo.

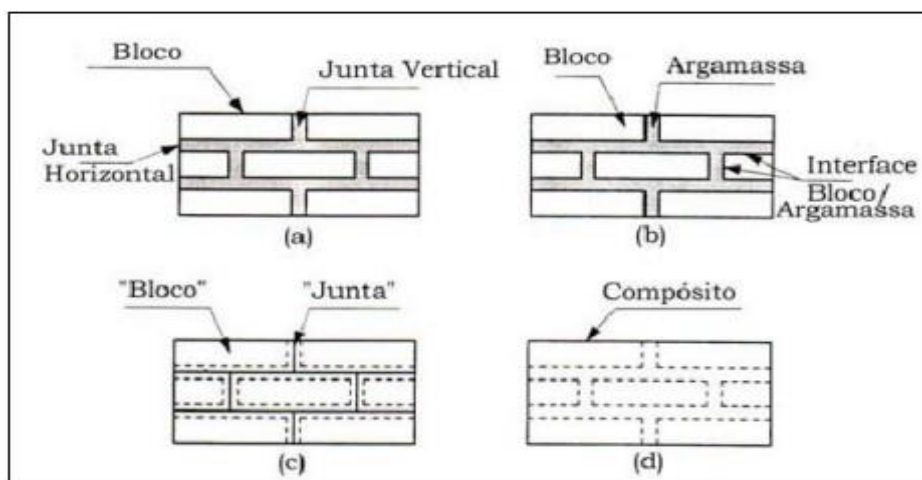


Figura 2. Modelagens típicas para alvenaria estrutural: (a) Trecho de uma estrutura em alvenaria, (b) Micromodelagem detalhada, (c) Micromodelagem simplificada, (d) Macromodelagem.

[Fonte: Nascimento Neto, 2003]

Baseado nas explicações ditas anteriormente, na análise de painéis de alvenaria deve-se utilizar a macromodelagem, já que nesse tipo de análise se considera as características dos elementos em conjunto e não dos elementos isolados. Dessa forma, dentro desse contexto de análise ainda se têm vários tipos de modelagens utilizadas para a simplificação de fenômenos ocorridos nas estruturas de paredes, tanto em concreto armado como em alvenaria estrutural. Podem ser citados os modelos de bielas e tirantes, barras equivalentes, analogias de treliça e a utilização de elementos finitos lineares ou planos (Medeiros, 2015).

Segundo Medeiros (2015), para se obter uma simulação computacional mais eficiente e com resultados mais aproximados do real, deve-se realizar comparações entre os resultados obtidos em ensaios experimentais e os dados alcançados na modelagem, bem como, fazer uma especificação concisa das propriedades dos materiais e da interação entre os mesmos.

Liu et. al. (2010) menciona e caracteriza três tipos de métodos existentes para se modelar paredes estruturais empregando processos discretos, são eles:

- Modelos de barras equivalentes, Figura 3(a) e (b);
- Modelos de múltiplas barras verticais (MVLE), Figura 3(c);

- Modelos com elementos finitos planos, Figura 3(d).

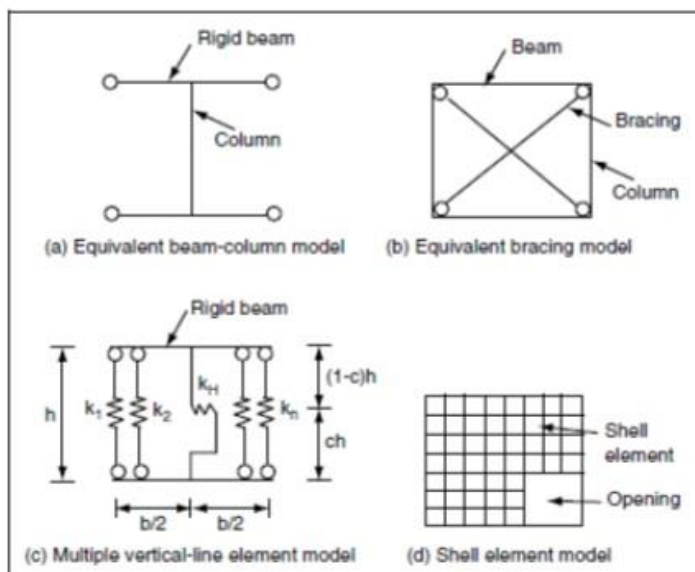


Figura 3. Métodos gerais de modelagem de paredes de alvenaria. [Fonte: Liu et. al., 2010]

O modelo de barras equivalentes utiliza-se de elementos lineares, sejam eles interligados ou não, formando assim pórticos planos que representam as paredes de alvenaria estrutural. No modelo Equivalent beam-column é usado como representação da parede apenas uma viga rígida superior e uma inferior (barras horizontais), as quais estão em balanço e engastadas nas extremidades de uma coluna (barra vertical), sendo as características mecânicas horizontais e verticais da alvenaria, representadas, respectivamente, pelas vigas e pela coluna. O modelo Equivalent bracing pouco se distingue do modelo anterior, a diferença está no uso de duas barras diagonais ao invés de apenas uma coluna, com o intuito de melhor representar a ortotropia da estrutura.

Já o modelo Multiple vertical-line element apresenta o uso de múltiplas barras verticais, nas quais estão acopladas molas horizontais paralelas com o intuito de melhor representar a deformabilidade e o modulo de deformação da parede. Apresenta como principal problema a dificuldade em se definir a rigidez dessas molas, causando uma inconsistência no comportamento das paredes sujeitas ao cisalhamento (Medeiros, 2015).

Segundo Medeiros (2015) o Shell element model, consiste em representar a parede em elementos finitos planos, possibilitando assim uma melhor caracterização dos comportamentos apresentados pela alvenaria. Mas, para que isso ocorra, se faz necessário um maior número e um maior detalhamento de incógnitas do modelo e dos vários parâmetros de modelagem computacional, tornando assim a modelagem mais prolongada.

3 MODELOS NUMÉRICOS ADOTADOS NAS ANÁLISES

Para alcançar os objetivos do presente trabalho foram estudadas pesquisas já existentes na área, com o intuito de obter o entendimento necessário sobre o tema proposto, realizando uma análise do que já se é estabelecido pela bibliografia.

Após a análise bibliográfica, foram avaliadas as propriedades dos materiais utilizados: Peso Específico da Alvenaria (γ_{alv}), Módulo de Elasticidade (E) e o Coeficiente de Poisson. Chegou-se à conclusão que seriam utilizadas as propriedades para a alvenaria baseadas na NBR 15961:2011, como é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades adotadas para modelagem da alvenaria

Propriedades	Alvenaria Grauteada	Alvenaria não-Grauteada
γ_{alv} (KN/m ³)	22	14
E (MPa)	16,32	9,6
ν	0,2	0,2

Fonte: NBR 15961, adaptada pelo autor.

Para auxiliar na modelagem numérica foi utilizado o pacote de programas computacionais SAP 2000 para a realização da simulação numérica. Segundo a Multiplus – Softwares Técnicos (2005), o SAP2000 é um programa estrutural, para uso geral na área de estruturas. Seu ambiente de modelagem gráfica é baseado em objetos 3D e contém uma grande variedade de opções de análise e de projeto completamente integrados e uma boa interface. É possível que se estude desde um pequeno e simples pórtico 2D ou até análises dinâmicas não-lineares em 3D.

Foi tomado como base o método de modelagem desenvolvido por Medeiros (2015). No modelo proposto o painel de alvenaria é representado utilizando-se um pórtico equivalente, com o intuito de reproduzir a rigidez da estrutura, o qual o autor comprovou sua eficiência diante de uma comparação com resultados de um modelo de referência, que faz uso de elementos finitos de casca para representar os painéis.

A malha utilizada para este trabalho foi estudada e definida por Medeiros (2015), onde a mesma foi comprovada ser eficiente de maneira satisfatória. O pórtico consiste na disposição de barras verticais espaçadas, sendo posicionadas no eixo vertical dos furos dos blocos com espaçamentos de 15 cm entre si, possuindo área transversal de (14 x 15) cm², além da disposição de barra horizontais posicionadas no eixo horizontal dos blocos e espaçadas em 20 cm entre si, com área transversal medindo (14 x 20) cm², isso na representação de blocos não grauteados. Para a representação dos blocos grauteados, fez-se um ajuste na seção transversal de modo a suprir a diferença entre as áreas transversais correspondentes.

Inicialmente, foi estipulado um painel base, representado na Figura 4, constituído de 14 fiadas (2,80 m de altura), contendo a cinta de respaldo, e com comprimento de 5,84 m, a qual está submetida a um carregamento vertical 295,8 KN/m como representação de um edifício com 16 pavimentos, em alvenaria estrutural utilizando-se blocos de concreto.

Posteriormente, para poder caracterizar melhor a influência que o graute possui na parede, foram realizadas a discretização de 6 painéis, os quais possuem as mesmas dimensões e estão submetidos ao mesmo carregamento, porém, houve a variação de posição e também de quantidades de pontos de graute utilizados.

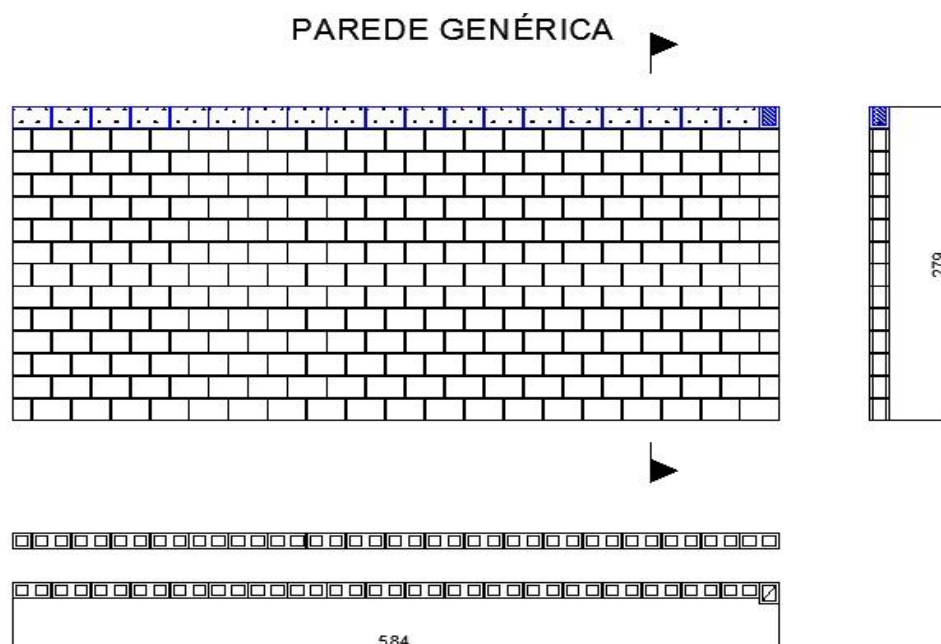


Figura 4. Parede Genérica utilizada como base para modelagem (Parede Base)

A Figura 5 apresenta o Modelo 1, no qual têm-se a parede genérica discretizada em elementos finitos de barras horizontais e verticais, como a modelagem proposta determina, possuindo 14 e 39 elementos respectivamente. No topo da parede, observa-se carregamentos pontuais em seus vínculos, equivalente ao valor de 295,8 KN/m como carregamento distribuído no painel, e na base vê-se os vínculos que restringem o movimento da estrutura.

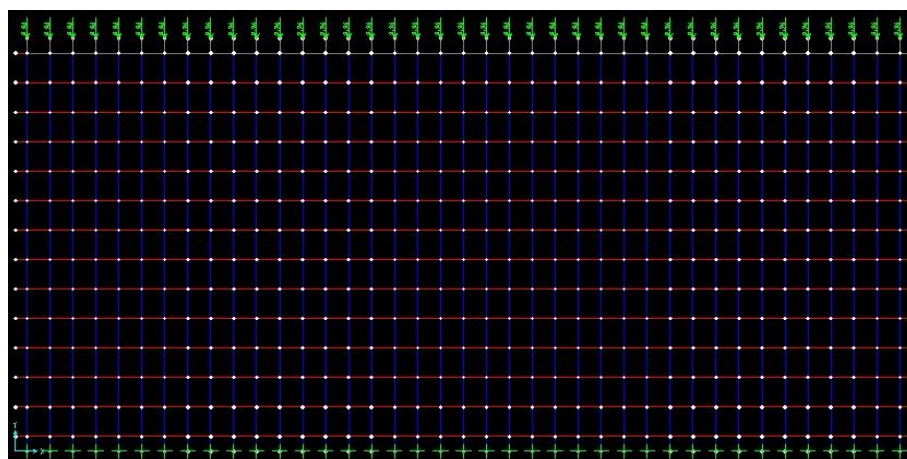


Figura 5. Discretização da Parede Base em elementos finitos de barras verticais e horizontais (Modelo 1)

Foi decidido, primeiramente, verificar a influência da utilização de apenas um ponto de graute no painel, para isso um único ponto de graute foi disposto em 3 diferentes posições. A Figura 6 representa o Modelo 2: discretização do Painel Base com um ponto de graute posicionado na metade da parede, localizando-se a uma distância de 2,925 m do início do painel.

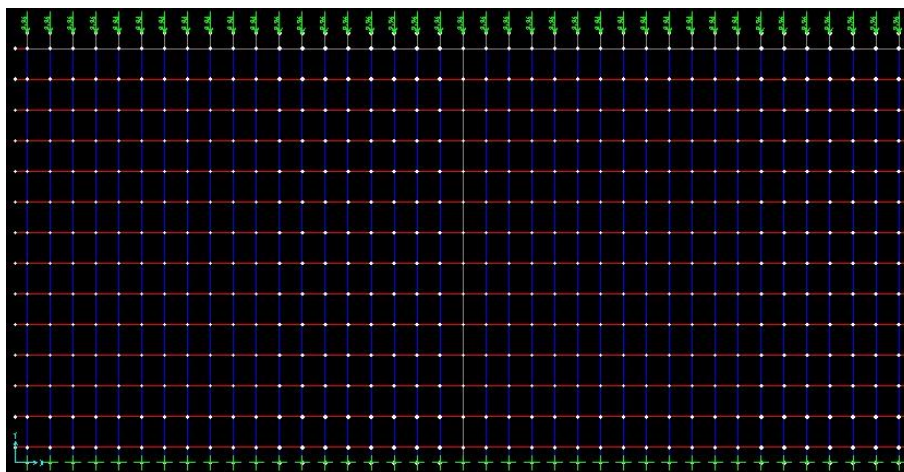


Figura 6. Discretização do Painel Base com ponto de graute localizado na cota 2,925 m (Modelo 2)

Logo após foram realizadas a discretização de mais dois painéis, Modelos 3 e 4, nos quais em uma das paredes o ponto de graute foi disposto na posição de 1,125 m e na outra parede foi disposto com a cota de 4,725 m, respectivamente.

Feita a modelagem das quatro primeiras variações da parede base, realizou-se uma análise da influência que cada ponto de graute tem sobre o painel. Assim, tomou-se como base esses dados para a modelagem de mais três situações.

As três paredes discretizadas restantes foram elaboradas com o intuito de observar a influência que múltiplos pontos de graute teriam sobre o painel. Fez-se o cálculo de quantos pontos de graute seriam necessários para que a resistência do bloco necessária para a construção desse painel decrescesse em 1 MPa, chegando, então, a um valor de quatro pontos de grauteamento. Dessa forma, realizou-se a discretização de duas paredes com quatro pontos de graute cada: na primeira (Modelo 5) dois pontos de graute foram dispostos nas extremidades da parede e os outros dois simetricamente posicionados, como mostra a Figura 7, já no segundo painel (Modelo 6) os quatro pontos de graute foram posicionados de forma que eles possuísem espaçamentos simétricos entre si e entre as extremidades da parede, possuindo assim um espaçamento de 7 furos entre os pontos de graute, como apresentado na Figura 8.

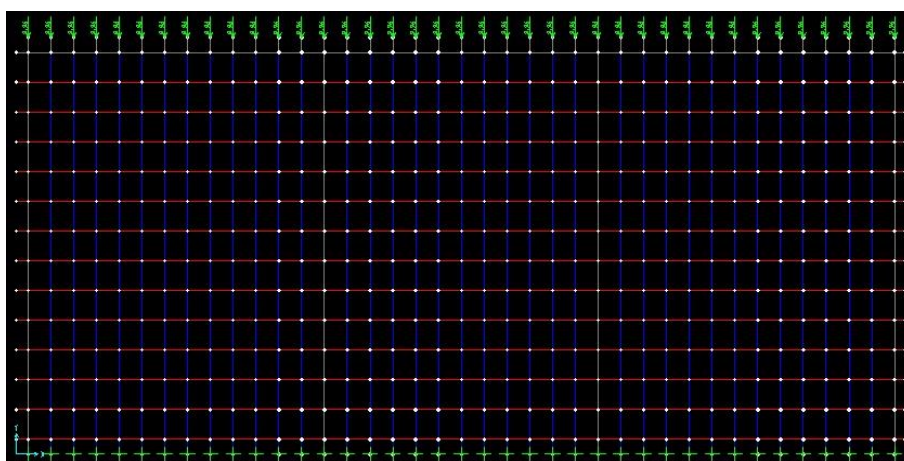


Figura 7. Discretização do Painel Base com 4 pontos de graute, sendo dois nas arestas da parede (Mod. 5)

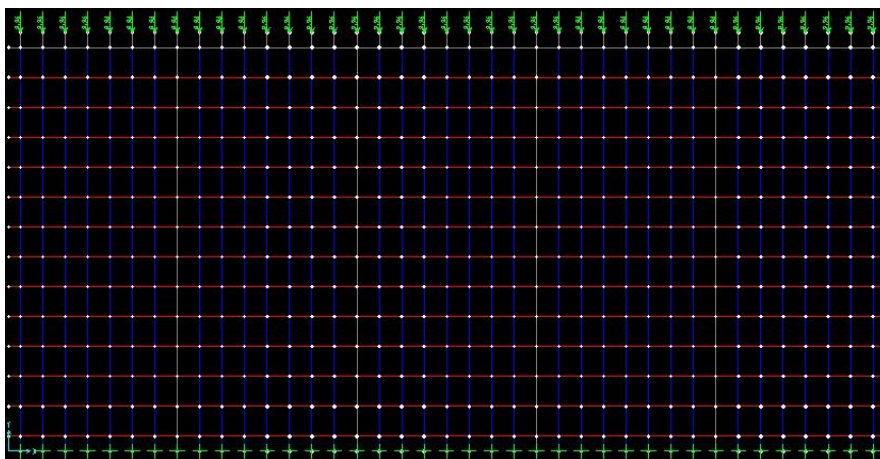


Figura 8. Discretização do Painel Base com 4 pontos de graute simetricamente espaçados (Modelo 6)

Na última discretização, Modelo 7, foram dispostos três pontos de graute ao longo do painel, de tal forma que tentasse suprir a necessidade da disposição de quatro pontos de graute. Para isso os pontos de graute foram posicionados nas cotas, 1,125 m, 2,925 m e por fim na cota 4,725, como pode ser observado na Figura 9.

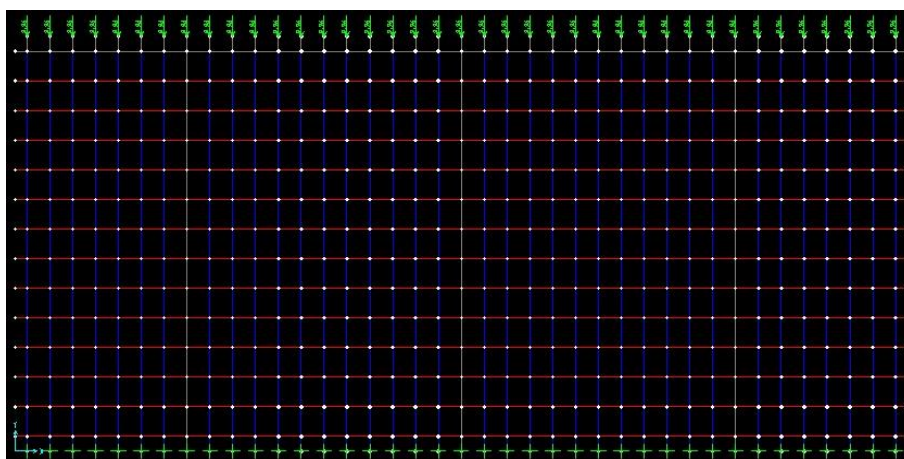


Figura 9. Discretização do Painel Base com 3 pontos de graute (Modelo 7)

Depois de realizadas todas as modelagens propostas, foi feita uma análise dos resultados obtidos, analisando as tensões atuantes na parede e consequentemente as resistências necessárias para os blocos de acordo com as prescrições da NBR15961-1, e posteriormente, gerado respectivos gráficos que permitem uma melhor interpretação dos mesmos.

4 RESULTADOS E DISCURSÕES

Neste tópico são apresentados os resultados obtidos juntamente com as interpretações necessárias para uma melhor apreciação do leitor.

De início foi feita uma análise tomando como base o Modelo 1, o qual não apresenta nenhum ponto de graute, fazendo um comparativo com os modelos 2, 3 e 4, os quais possuem um ponto de graute cada, posicionados em furos distintos para cada modelo.

Na Figura 10 observa-se as curvas de tensão, em MPa, dos Modelos 1 e 2. Os números apresentados no eixo vertical representam as tensões atuantes nos blocos da primeira fiada, enquanto os valores do eixo horizontal representam as cotas (em metros) do painel.

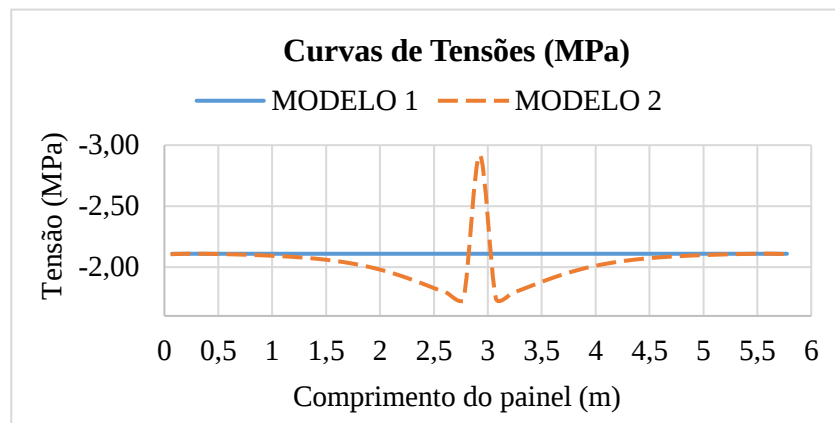


Figura 10. Curvas de Tensões dos Modelos 1 e 2

Percebe-se que no Modelo 1 as tensões são uniformes em todo o painel, como já se era esperado devido à ausência de grauteamento no modelo, apresentando uma tensão de compressão de 2,11 MPa em toda base da parede. Já a curva de tensão do Modelo 2 possui um grande acréscimo de tensões na metade do comprimento do painel, justamente onde o ponto de graute foi posicionado, pois como é um ponto de maior rigidez tende a atrair uma maior quantidade de esforços e, consequentemente, tensões, chegando a um valor de 2,92 MPa, o que contabiliza um acréscimo na tensão local de, aproximadamente, 38,4% ou, em valor absoluto, 0,81 MPa, além de um decréscimo relativamente alto das tensões nas vizinhanças imediatas ao furo grauteado. Percebe-se também que a partir de uma distância, aproximadamente, de 1,25 m do furo grauteado a curva das tensões do Modelo 2 passa a se igualar a curva de tensão do Modelo 1.

A Figura 11 apresenta as curvas das tensões dos Modelos 1, 3 e 4, e teve como base o modelo de gráfico apresentado na Figura 10.

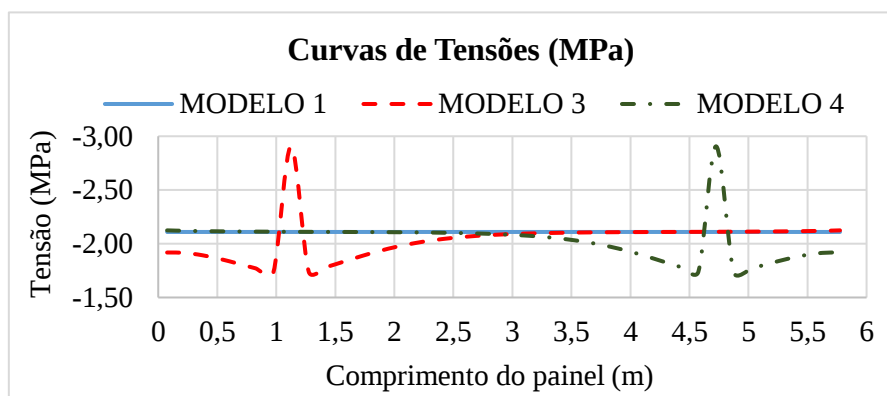


Figura 11. Curvas de tensão dos Modelos 1, 3 e 4

Neste gráfico percebe-se muitas similaridades com o gráfico apresentado anteriormente, como os altos picos de tensão nos pontos de graute postos nos Modelos 3 e 4 que também

ocorrem na curva de tensões do Modelo 2. Outra similaridade é a sobreposição das curvas de tensão dos modelos 3 e 4 à curva de tensões do Modelo 1 depois que se atinge uma certa distância dos pontos de graute assim como ocorre também no Modelo 2. Dessa forma entende-se que a influência de um ponto de graute pode ser aferida apenas a uma certa distância.

Seguindo as prescrições da NBR15961-1, foram encontrados valores para as resistências dos blocos (f_{bk}) necessárias para suportar as tensões as quais estavam submetidos, em cada caso citado acima.

Como no Modelo 1 as tensões eram dispersas uniformemente em todo o painel, após os cálculos propostos, obteve-se um valor de f_{bk} mínimo de 12,86 MPa para toda a parede, e esse valor foi tomado como base para a comparação com os demais modelos.

A Figura 12 apresenta as curvas de resistências dos blocos em função das cotas do painel para os Modelos 1 e 2. No qual observa-se o valor de f_{bk} igual a 12,86 MPa constante para toda a parede no Modelo 1, enquanto que o Modelo 2 apresenta um grande pico de f_{bk} para a posição do furo grauteado, mas o qual é compensado devido à resistência aumentada do graute. Observa-se também que a influência realmente expressiva do ponto de graute, a qual a resistência do bloco é diminuída em pelo menos 1 Mpa se comparada a do painel não grauteado, se limita a apenas, aproximadamente, 0,75 m de distância do mesmo.

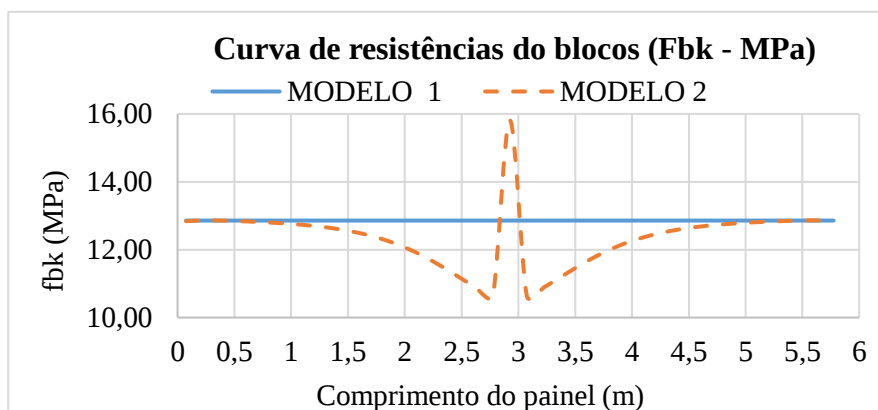


Figura 12. Curvas de resistências dos blocos para os Modelos 1 e 2

Nos Modelos 3 e 4, quando comparados a curva de f_{bk} do Modelo 1, observou-se comportamentos semelhantes ao do gráfico anterior no que se diz respeito a atuação do graute no painel, fato que dá mais confiabilidade a hipótese do limite da área de influência que um ponto de graute exerce em um painel de alvenaria.

As curvas de tensões pertencentes aos Modelos 5 e 6 são mostradas na Figura 13. Observa-se no gráfico uma certa uniformidade quanto os valores das tensões nos pontos grauteados, com exceção dos furos grauteados da extremidade presentes no Modelo 5, que possuem valores relativamente menores que os outros pontos de grauteamento, isso pode ser explicado pela pequena diferença de distância existente entre os grauteamentos do Modelo 5.

Comparando as curvas de tensões dos Modelos 5 e 7, apresentadas na Figura 14, percebe-se que as tensões máximas nos dois modelos não possuem uma grande diferença, tendo uma variação de, aproximadamente, 0,08 MPa. Nota-se também, que a curva de tensões do Modelo 7 exibe uma maior uniformidade de tensões ao longo de todo o painel se comparado ao Modelo 5.

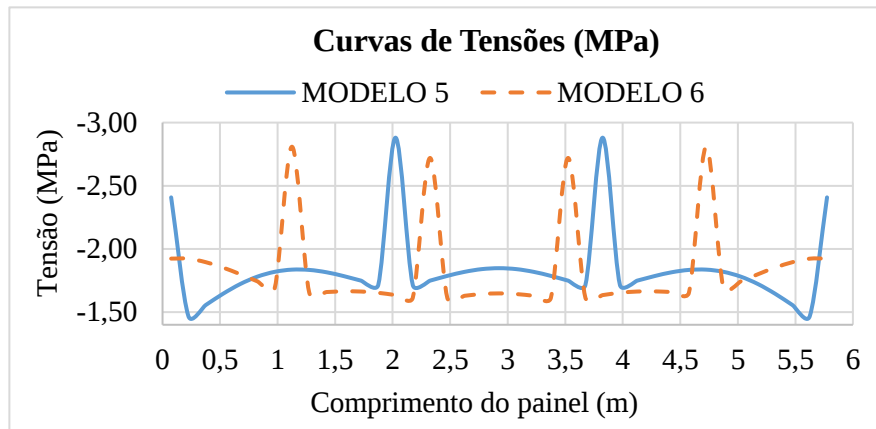


Figura 13. Curvas das tensões atuantes nos Modelos 5 e 6

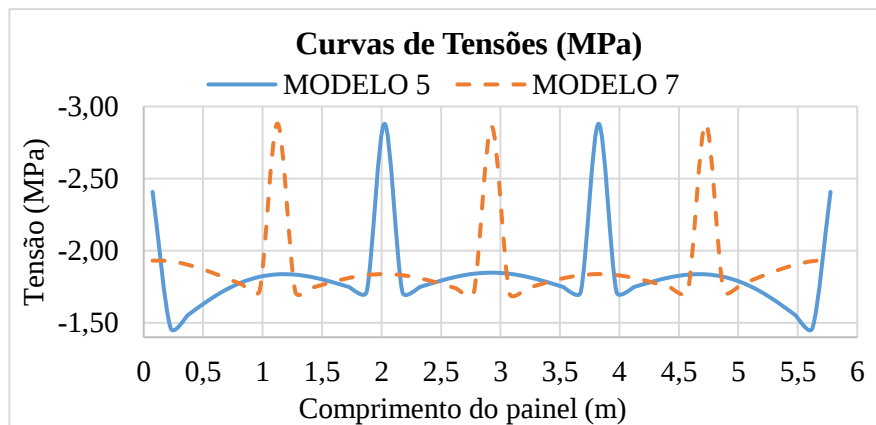


Figura 14. Curvas das tensões atuantes nos Modelos 5 e 7

A Figura 15 apresenta as curvas de f_{bk} dos Modelos 5 e 6, nele observa-se que nos dois modelos o valor de f_{bk} não superou 11,86 MPa, com exceção dos pontos grauteados, o que já se era esperado assim como ocorreu nos painéis com apenas um ponto de graute, dessa forma atingiu-se o objetivo de diminuir o f_{bk} máximo dos painéis em 1 MPa. Embora os dois modelos tenham quatro pontos de graute dispostos ao longo do painel, tem-se uma pequena diferença entre o f_{bk} máximo do Modelo 6 para o Modelo 5, chegando a aproximadamente 0,5 MPa, a qual pode ser explicada devido a uma melhor disposição dos pontos de graute no Modelo 5, que provoca uma melhor distribuição das áreas de influência desses pontos de rigidez.

A comparação das curvas de f_{bk} dos Modelos 5 e 7 é apresentada na Figura 16. Fazendo-se uma análise em relação ao máximo f_{bk} dos dois modelos em comparação ao f_{bk} do Painel base, tem-se que o objetivo dado anteriormente foi alcançado para os mesmos.

Embora exista uma pequena diferença de, aproximadamente, 0,5 MPa entre os f_{bk} máximos do Modelo 7 para o Modelo 5, a distribuição de grautes do Modelo 7 mostra-se extremamente viável para este caso, já que conseguiu alcançar o objetivo tendo uma economia de menos um ponto de graute utilizado no painel.

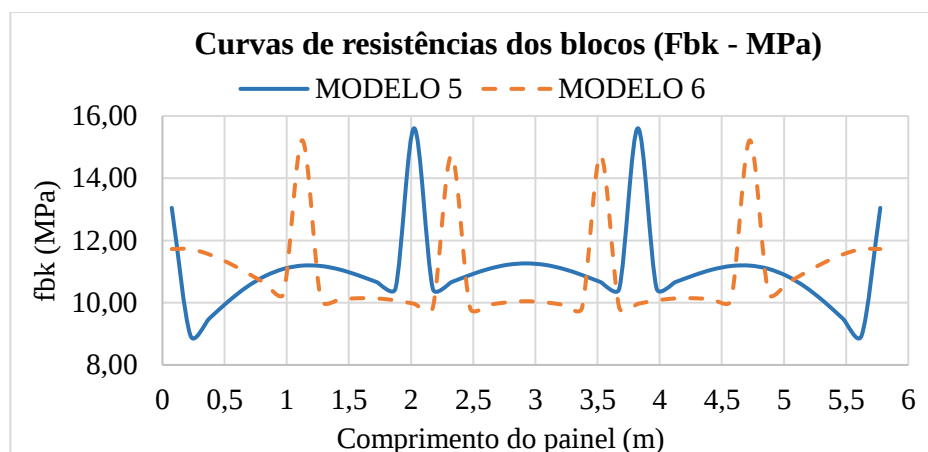


Figura 15. Curvas de resistências dos blocos para os Modelos 5 e 6

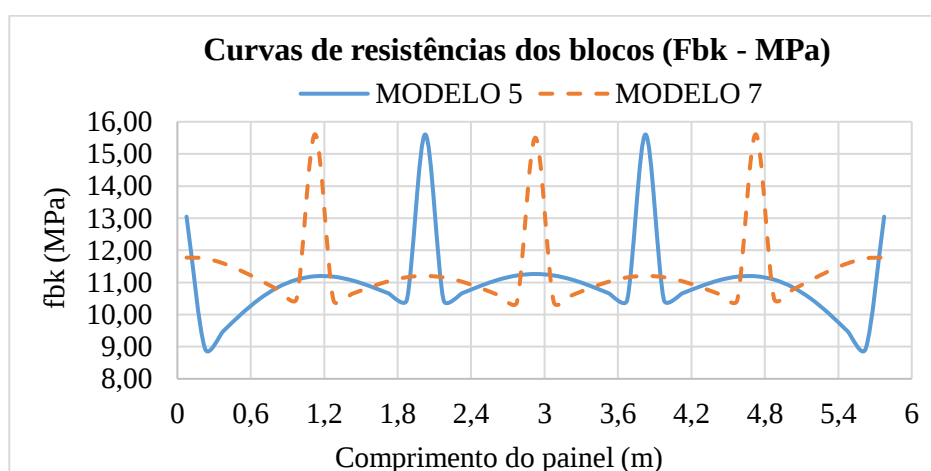


Figura 16. Curvas das resistências dos blocos para os Modelos 5 e 7

5 CONCLUSÕES

Os pontos de graute são distribuídos nos painéis com o intuito de aumentar a resistência das paredes e, conseqüentemente, poder manter ou até reduzir a resistência característica dos blocos, e assim, obter uma redução orçamentária na obra sem que se interfira na capacidade portante da estrutura. Percebe-se, então, que esclarecida a influência dos pontos de graute dentro dos painéis de alvenaria, pode-se gerar mais um acréscimo de economia, já que uma melhor disposição das zonas de grauteamento irá gerar uma redução dos pontos grauteados.

Assim, o estudo ora apresentado consistiu em uma análise computacional da influência de pontos de graute em um painel genérico adotado com altura de 2,80 m. De acordo com os dados obtidos chega-se às conclusões:

- A influência dos pontos de graute dentro dos painéis de alvenaria é limitada;

- O intervalo de influência efetiva de um ponto de graute é de apenas 0,75 m de distância deste, para cada um dos lados;
- O intervalo de influência efetivo do ponto de graute é dado por, aproximadamente, 27% da altura do painel, para cada um dos lados do grauteamento;
- Em termos de inclinação, a distribuição de influência em relação ao eixo horizontal é de aproximadamente 15°;
- O Modelo com três pontos de graute distribuídos no painel desempenhou com eficiência a mesma função que os Modelos com quatros pontos de graute, acarretando, assim, em uma possível economia de materiais.

Para um melhor domínio do comportamento de paredes em alvenaria estrutural com grauteamento, se faz necessárias, ainda, pesquisas futuras sobre a influência de pontos de graute em painéis de projetos reais, incluindo aberturas de portas e janelas, variando também as condições de amarração com paredes ortogonais, além de alterar a altura do pé-direito dos pavimentos para que se verifique se a inclinação da influência do ponto de graute continua a mesma. Esses estudos darão maior confiabilidade aos resultados encontrados neste trabalho.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2010. *Alvenaria Estrutural – Blocos Cerâmicos. Parte 1: Projeto: NBR 15812-1*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011. *Alvenaria Estrutural – Blocos de Concreto: NBR 15961-1*. Rio de Janeiro.

Amorim, L. F., 2010. *Estudo do Processo de Planejamento da Execução no Sistema de Alvenaria Estrutural em Obras de Múltiplos Pavimentos*. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Fortes, E. S., 2012. *Influência do Capeamento e Caracterização da Resistência a Compressão de Alvenaria Estrutural de Blocos de Concreto*. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil, Engenharia Civil, Ufscar, São Carlos.

Kalil, S. M. B, Leggerini, M. R., 2007. *Alvenaria Estrutural*. Notas de Aula, PUCRS, Porto Alegre, Brasil.

Liu Y. P., Chan S. L., Zhou Z. H., 2010. *Second-order analysis and design of wall-framed structures allowing for imperfections*. Advances in Structural Engineering 13(3): 513–524, Hong Kong.

Logullo, B. G., 2006. *Influência do Graute e da Taxa de Armadura no Comportamento da Alvenaria de Blocos de Concreto*. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

Medeiros, K. A. S., 2015. *Modelagem Computacional para Avaliação da Interação Entre Painéis de Alvenaria E Estrutura de Suporte em Concreto Armado*. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

Nascimento Neto, J. A., 2003. *Estudo de Painéis com Abertura Constituídos por Alvenaria Estrutural de Blocos*. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlo.

Rabelo, A. C. N., 2004. *Dimensionamento de Alvenaria Estrutural Segundo Recomendações do Eurocode 6*. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Ramalho, M. A., Corrêa, M. R. S., 2003. *Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural*. São Paulo: Pini.

SAP2000®, 2005. *CSI Analysis Reference Manual*. Berkeley, CA - USA: Computers and Structures, Inc.