

INFLUÊNCIA DA RESISTÊNCIA DA ARGAMASSA EM PRISMAS VAZADOS DE CONCRETO A COMPRESSÃO AXIAL: ANÁLISE NÚMERICA

INFLUENCE OF MORTAR RESISTANCE IN LEAKED PRISMS FROM CONCRETE TO AXIAL COMPRESSION: NUMBER ANALYSIS

Ítalo Ernando da Costa Moraes¹

¹Faculdade de Integração do Sertão – FIS, Serra Talhada-PE, Brasil.

Resumo

O presente trabalho tem por objetivo analisar o comportamento mecânico das argamassas de assentamento com finalidade estrutural, através da variação das suas resistências a compressão e módulos de elasticidade, sobre estado de tensão axial. Com isso, avaliar numericamente o comportamento de prismas de blocos maciços de concreto juntamente com a argamassa de assentamento, sendo considerado o comportamento de não linearidade dos materiais analisados quando estão submetidos a compressão simples. A modelagem dos prismas foi feita utilizando a computacional de elementos finitos ABAQUS, cujos os resultados foram comparados com resultados experimentais, como também outros valores numéricos encontrados na literatura. Com a conclusão das análises, foi possível perceber que o modelo numérico teve comportamento muito aproximados quando comparado ao modelo experimental. Portanto, foi possível concluir que o modelo numérico estudado foi capaz de reproduzir fielmente as propriedades mecânicas e eventuais comportamentos descritos em outras literaturas, validando as informações geradas pela ferramenta computacional.

Palavras-chave: Argamassa de assentamento. Bloco de concreto. Método dos elementos finitos. Módulo de elasticidade.

Abstract

The present work aims to analyse the mechanical behavior of the laying mortars for structural purpose, through the variation of their compressive strengths and elasticity modules, on the state of axial tension. With this, numerically evaluate the behavior of solid concrete block prisms together with the laying mortar, considering the non-linearity behavior of the analyzed materials when they are subjected to simple compression. The modeling of the prisms was made using ABAQUS computational tool, whose results were compared with experimental results, as well as other numerical values found in the literature. With the conclusion of the analyzes, it was possible to notice that the numerical model had very approximate results when compared to the experimental model. Therefore, it was possible to conclude that the numerical model studied was able to faithfully reproduce the mechanical properties and eventual behaviors described in other literature, validating the information generated by the computational tool.

Key words: Laying mortar. Concrete block. Finite element method. Finite element method. Modulus of elasticity.

Introdução

A construção com alvenaria é um dos sistemas construtivos mais antigos, que era utilizado nas primeiras edificações realizadas pelo homem. Com o passar do tempo, essas edificações sofreram mudanças na sua forma de concepção, partindo das construções mais antigas onde eram utilizados pedras e tijolos assentados com barro, e posteriormente, passando a ser utilizada a argamassa e mais adiante à utilização de aço e concreto. Por ser uma metodologia de construção relativamente nova no nordeste, a alvenaria estrutural é um sistema cujo seus elementos desempenham a função de vedação e estrutural, o que tem uma maior racionalização para esse tipo de processo construtivo, sendo assim, uma alternativa às metodologias tradicionais, podendo ser mais econômica e com uma facilidade de aplicação dos materiais, também sendo possível reduzir os prazos de execução quando se comparada a outras metodologias existentes. De maneira geral, a alvenaria estrutural vem a cada dia se destacando mais na construção civil do Brasil, se tornando uma maneira de construir mais viável de empreendimento estrutural, embora atuando de maneira subsidiada e de certa forma precária por conta do domínio e da usabilidade que o concreto armado já possui.

Até o ano de 2011, o cálculo dessas estruturas era feito pelo método das tensões admissíveis, considerado por muitos profissionais de engenharia um método muito ultrapassado e antiquado, quando comparado a sua metodologia, que era regulamentado pela NBR 10837:1989 – Cálculo da alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto, que foi substituída pela NBR 15961:2011 – Alvenaria estrutural – blocos de concreto, dividida em duas partes. A primeira, mais voltada para o projeto de alvenaria estrutural com blocos de concreto e a segunda, dedicada a execução e controle. O projeto pode ser executado utilizando o método dos estados limites, que é uma abordagem mais realística e a favor da segurança.

É sabido que, como em outros métodos construtivos, as construções com a alvenaria estrutural também possuem patologias relacionadas à sua execução e manutenção decorrentes da sua utilização em seu tempo de vida útil. Hendry [2001] salienta a importância da argamassa de assentamento no desempenho em conjunto com a alvenaria estrutural, sendo uma dos fatores mais negligenciados, a relação dos blocos de alvenaria estrutural com a argamassa inserida entre as justas dos blocos, podendo desenvolver problemas decorrentes de negligência de suas propriedades mecânicas na estrutura, causando trincas ao longo da estrutura, podendo comprometer o funcionamento global e/ou causar desconforto para o usuário que irá utilizar. Portanto, uma análise do comportamento dessa estrutura é de suma importância.

ALVENARIA ESTRUTURAL

A alvenaria estrutural é um sistema de construção com um custo bem inferior ao sistema mais tradicional de construção: o concreto armado. Esse sistema tem menor custo devido a retirada de vigas e pilares, que acrescenta o custo da execução. Porém, é necessário que se faça uma análise de aspectos técnicos e econômicos para a escolha da opção mais adequada com a necessidade e tendo em vista os custos da construção e os recursos disponíveis para a realização de tal empreendimento.

A alvenaria estrutural tem algumas desvantagens que devem ser levadas em consideração, uma delas é a altura dos pavimentos. Kalil (2011) destaca que a edificação mais adequada para a alvenaria estrutural tem que ser de até 20 pavimentos, salvo casos específicos de alvenaria estrutural não armada, onde essa restrição cai para 8 pavimentos. A altura de uma edificação é uma limitação que rege o sistema construtivo de alvenaria estrutural, visto que, ainda que os blocos atendam às necessidades de compressão, para edifícios com mais de 20 pavimentos, a estrutura começa a sofrer com as ações do vento gerando esforços de tração, podendo ser executada, mas devido a essas tensões a estrutura irá precisar da utilização de mais armadura e graute, podendo comprometer o orçamento.

O graute é uma pasta de argamassa fluida com baixa viscosidade, podendo ser utilizado para o preenchimento aonde não se tem espaço e por ter essa baixa viscosidade pode atingir locais aonde o concreto convencional não atinge. Ele é aplicado na alvenaria estrutural com a

função de interligar a armadura com a alvenaria, dando a esse sistema uma característica monolítica (característica que o elemento tem de fazer parte da mesma estrutura, independente de quantos materiais existam). Sampaio (2010) constatou que o graute aumenta a resistência a esforços de flexão, compressão e cisalhamento.

PATOLOGIAS NO SISTEMA ESTRUTURAL

De maneira geral, quando falhas acometem sistemas construtivos, prejudicando o seu desempenho, diz-se que estes apresentam patologias. Segundo Falcão Bauer (2000), os distúrbios construtivos mais comuns encontrados em alvenaria estrutural são eflorescência, infiltrações de água e fissuras/trincas. Mamede (2016) também salienta que as trincas/fissuras com a principal patologia desse sistema construtivo, podendo ter sido causados por erros de projeto, má execução, problemas dos materiais, ou causado por mais de um fator, reforçando a necessidade do cuidado desde a concepção do projeto, até o acompanhamento de todas as etapas da obra.

Materiais e Métodos

O trabalho foi desenvolvido tendo como modelo principal prismas constituídos de blocos vazados de concreto com argamassa de assentamento entre os blocos. Os elementos foram modelados inicialmente no AutoCad® e posteriormente lançados no software onde foram colocados os valores referentes às propriedades mecânicas dos elementos estudado. Com isso, foi feita a análise numérica do modelo proposto e colhido os resultados. Os valores referentes ao módulo de elasticidade foram obtidos e coeficiente de Poisson foram obtidos na norma ABNT NBR 6118:2014, respectivamente no item 8.2.8 e 8.2.9. Foram utilizadas cargas axiais experimentais na análise.

BLOCO DE CONCRETO

Para as construções em alvenaria estrutural, as paredes formadas com blocos de concreto desempenham, além de uma função estrutural, a função de vedação, eliminando assim a necessidade de pilares e vigas. Com isso, há uma redução no número de armaduras e conseqüentemente das fôrmas. Com base na ABNT NBR 6136 (1994) e Ramalho e Corrêa (2003) o bloco vazados de concreto podem ser caracterizados como um elemento de alvenaria que possui em sua área líquida (dimensão do bloco sem a área dos vazios) uma proporção igual ou inferior a 75% da área bruta (dimensão do bloco sem a retirada dos vazios).

Para a modelagem dos prismas, os blocos vazados de concreto têm dimensões de 140 x 190 x 390 mm, com uma área líquida de 30.663 mm², correspondendo a 56% da área bruta. Os blocos possuem dimensão de seus septos transversais de 28 mm, com ressalvas para o septo central que possui 30 mm. Essas dimensões do bloco, são as mais usuais em projetos de alvenaria estrutural. Para as considerações de propriedades mecânicas para a modelagem, todos os parâmetros utilizados estão apresentados da Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades Mecânicas Blocos Vazados

Propriedades Mecânicas Blocos vazados de Concreto			
Resistência (Mpa)	Módulo de Elasticidade (Mpa)	Coef. Poisson	Densidade
10	17708,75	0,20	2500

Fonte: próprio Autor (2020)

ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO

A ABNT NBR 8798 (1985) define a argamassa de assentamento como um componente da alvenaria estrutural com a finalidade de regularização da geometria dos blocos; ela também promove a ligação entre eles e uma das suas principais funções é realizar a distribuição uniforme dos esforços. Como a principal solicitação da alvenaria estrutural é a compressão, a argamassa

de assentamento tem que distribuir de maneira adequada as cargas atuantes por toda a área resistente dos blocos, criando assim uma perfeita interação entre os elementos descritos, tornando a alvenaria estrutural uma construção com características monolíticas.

Oliveira (2004) ressaltou que a resistência da argamassa de assentamento não tem influência significativa na resistência da parede, desde que ela não seja inferior a 40% da resistência a compressão do bloco, podendo essa argamassa ter a resistência entre 70 e 100% da resistência do bloco. Lordsleem (2000) destacou que as juntas horizontais presentes nas construções em alvenaria estrutural podem ter variância entre 8 e 18mm, sendo 10mm uma espessura ideal. Também salientou a que quando a resistência está abaixo desse intervalo, a argamassa perde sua capacidade de absorver deformação, e quando está acima, ela perde a resistência mecânica do conjunto. Nas construções em alvenaria estrutural, o tipo da argamassa interfere diretamente na produção e no rendimento, podendo ela exercer ou não a finalidade para a qual foi projetada. Com isso, é necessário ter cuidado com esses aspectos construtivos que compõe esse tipo de alternativa.

Para a modelagem foi utilizado uma argamassa de assentamento de 10 mm e variando as suas propriedades mecânicas como descritos na tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades mecânicas Argamassa

Propriedades Mecânicas das Argamassas			
Resistência (Mpa)	Coef. Poisson	Módulo de Elasticidade (Mpa)	Densidade
2	0,20	7919,60	2100
4	0,20	11200,00	2100
8	0,20	15839,19	2100

Fonte: próprio autor (2020)

PRISMAS

Em definição, os prismas são elementos constituídos de 3 (três) blocos ligados por juntas de argamassa assentadas em seus septos transversais e paredes longitudinais. Essas juntas têm dimensões de 10 ± 3 mm como é indicado na ABNT NBR 8215 (1983). Com isso, a altura do total desses prismas é de 590 mm.

Para a modelagem, foram interligados os blocos de concreto e aplicados no software condições que possibilitasse que o modelo trabalhasse de maneira a representar fielmente o que acontece quando a alvenaria é levantada.

MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS (MEF)

O método dos elementos finitos é uma metodologia numérica aproximada que consiste em dividir a totalidade do domínio do problema analisado em dimensões finitas (*mesh*), em que, quanto menor a divisão (refinamento), o resultado da análise fica próximo do real. Os problemas são apresentados em valores nodais que são solucionados através de interpolação válidos para dimensão da região ou elemento.

Cook (1989) ressaltou que os procedimentos realizados por esses programas não dependem somente de um software com metodologias bem definidas e bons algoritmos numéricos; a modelagem também precisa ser adequada. Sendo assim, as soluções dos métodos não dependem somente da formulação, mas também da escolha da malha e do tipo do elemento utilizado. O ABAQUS é muito utilizado pela área da engenharia, desde o aumento da capacidade de processamento dos computadores, para analisar e prever o comportamento e implantar modelos construtivos de peças sendo submetidas a condições definidas pelo operador do software. Também é possível programar rotinas para a modelagem do comportamento de materiais que não estão dispostos em sua biblioteca.

Resultados E Discussão

De maneira geral, foi possível identificar o efeito arco presente na alvenaria, provocado pela reação do apoio validando a modelagem. Também é importante salientar o comportamento mecânico da argamassa na absorção das tensões, presentes em todos os modelos. Após a modelagem do modelo proposto, foi possível obter os seguintes resultados:

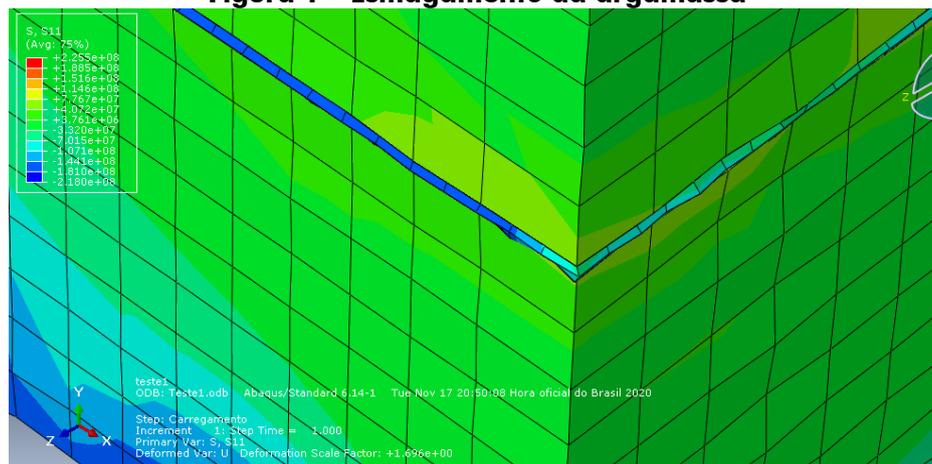
ARGAMASSA 2 MPA

O modo de ruptura de alvenaria em compressão, é comumente produto de fissuração por tração, se propagando através do bloco e da argamassa em direção à carga aplicada. Foi possível constatar tal efeito em todos os modelos com variação da argamassa. Vale também salientar que estas tensões, são originadas de tensões secundárias de tração produzidas pelo confinamento da argamassa em meio as juntas da alvenaria.

Para a argamassa de 2MPa, como apresentado na figura 1 e citado anteriormente, foi possível constatar que o prisma sofreu uma ruptura por esmagamento da argamassa, o que pode ser afirmado pelo fato de, tanto a resistência da argamassa, quanto seu modulo de elasticidades, serem insuficientes para a tensão solicitante e provocarem tensão de tração no modelo proposto.

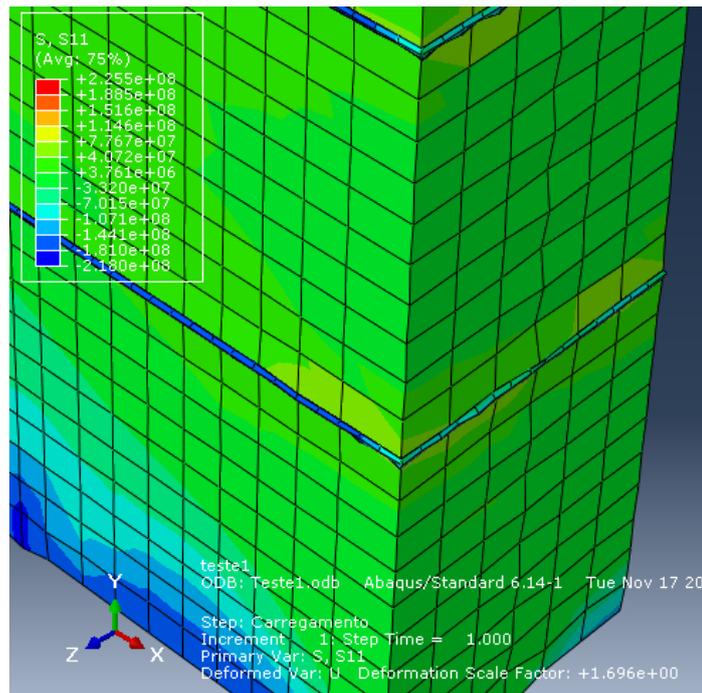
Também foi possível observar alteração na malha lateral do prisma, como mostrado na figura 2, sendo uma causa direta do esmagamento da argamassa e da possível ruptura do prisma.

Figura 1 – Esmagamento da argamassa



Fonte: próprio autor (2020)

Figura 2 – Malha lateral do bloco deformada

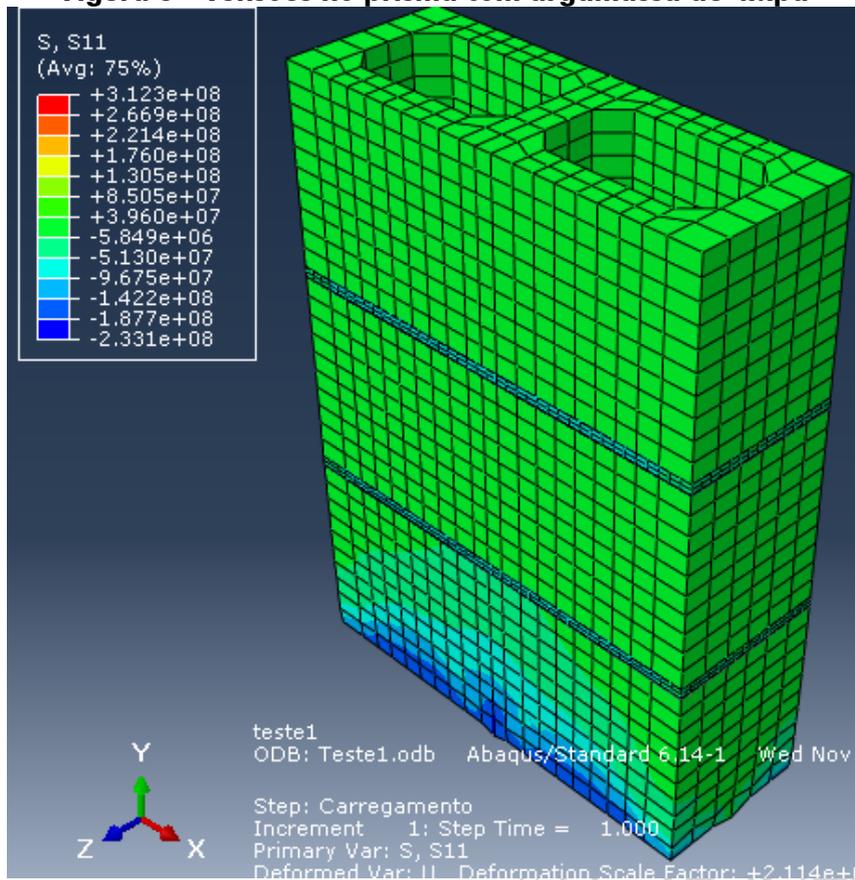


Fonte: próprio autor (2020)

ARGAMASSA 4 MPA

Com o aumento da resistência da argamassa, foi observado um acréscimo na capacidade resistente do prisma. As malhas implantadas no modelo numérico, apresentaram poucas alterações em suas direções, caracterizando que o prisma resistiu bem aos esforços propostos. Também foi possível relatar que, à medida que a argamassa resistiu aos esforços, a tensão de compressão no centro do bloco foi diminuída, conforme Figura 3.

Figura 3 – Tensões no prisma com argamassa de 4Mpa

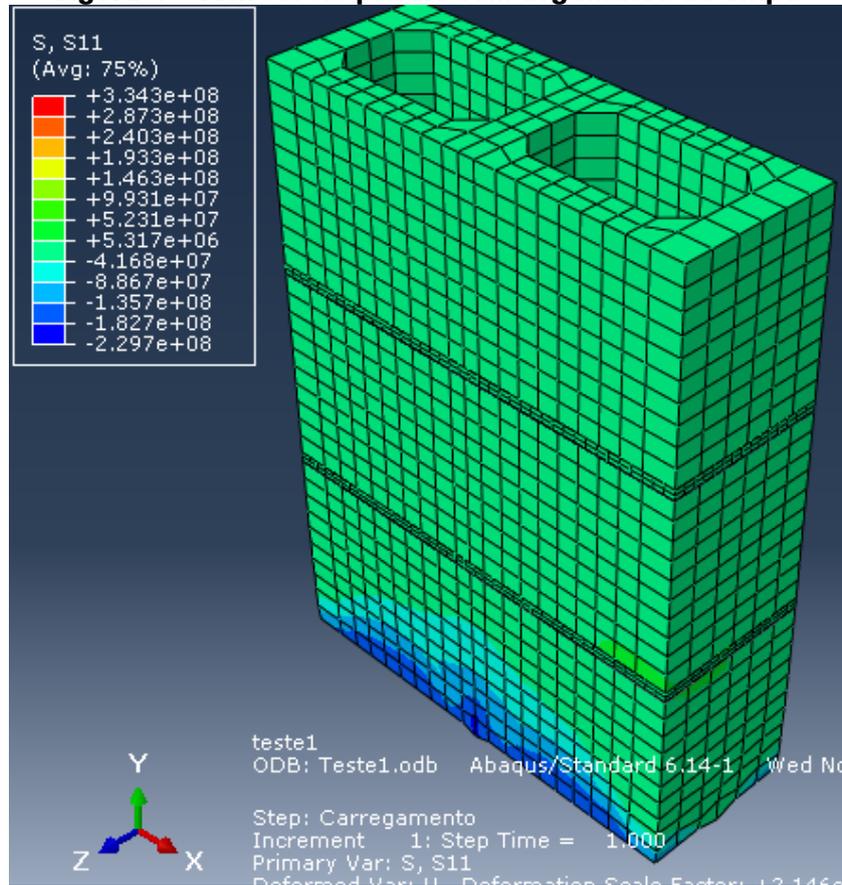


Fonte: próprio autor (2020)

ARGAMASSA 8 MPA

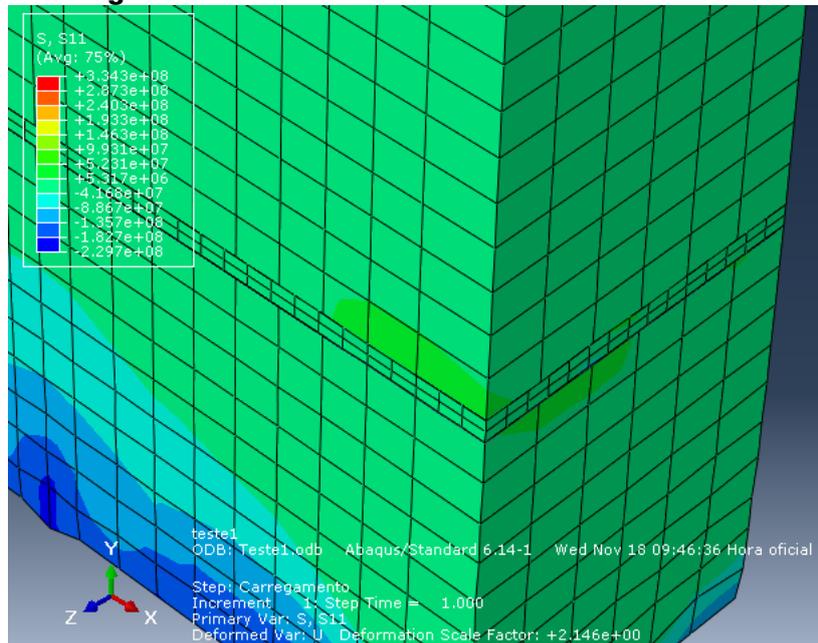
Para a argamassa de 8 MPa, foi possível observar que o elemento resistiu sem maiores deformações às ações submetidas. Porém, foi constatado uma diminuição das tensões nos blocos pelas características resistentes da argamassa serem próximas da capacidade resistente do bloco. Também foi observado tensões que podem ser caracterizadas pela alta resistência da argamassa em relação a do bloco. Tal fato pode resultar em patologias no sistema construtivo, desde fissuras transversais no bloco até trincas separando o bloco da argamassa -Figuras 4 e 5.

Figura 4 – Tensões no prisma com argamassa de 8Mpa



Fonte: próprio autor (2020)

Figura 5 – tensões resultantes na lateral do Bloco



Fonte: próprio autor (2020)

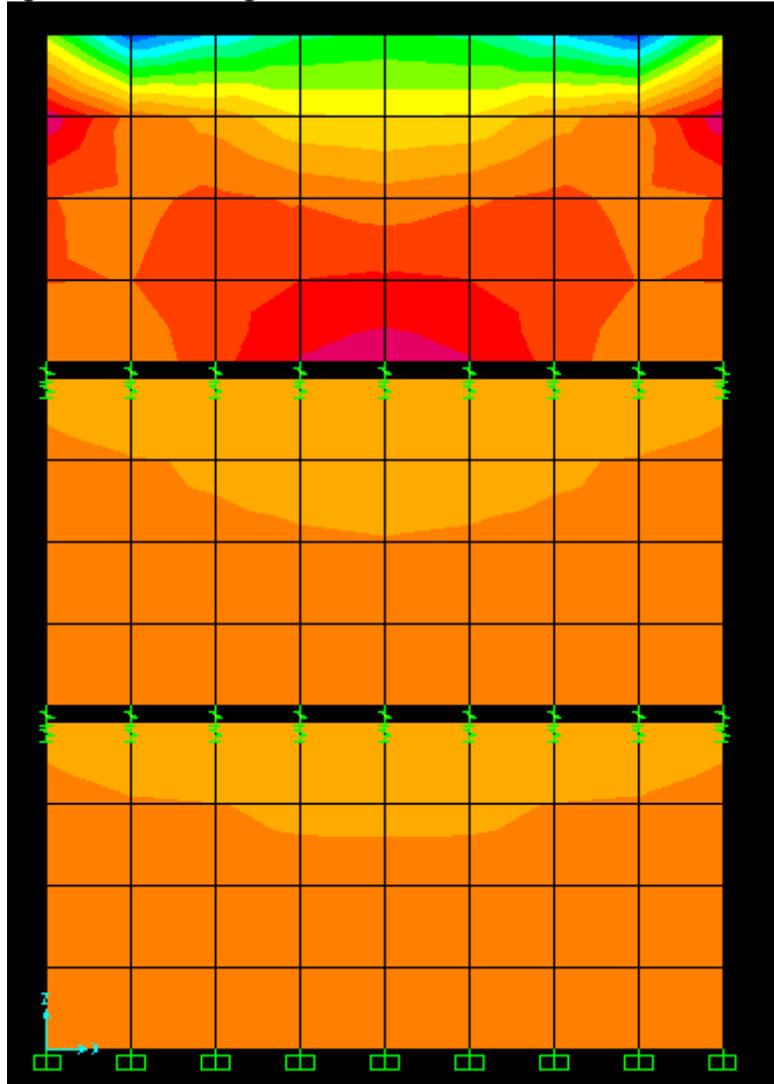
O comportamento das argamassas não foi dentro do esperado, nas proporções como ela foi resistente, e pode indicar uma consideração inadequada quanto ao lançamento dos elementos da argamassa de assentamento. Barbosa (2004) afirma que a resistência da argamassa tem fator predominante na resistência da alvenaria, tendo o seu módulo de elasticidade total ligação com o modo de ruptura da parede, visto que a ruína desse sistema estrutural com essas características se dá pela diferença de deformação dos elementos constituintes. Camacho (2006) afirma que quando a resistência do bloco aumenta, a argamassa exerce uma função muito importante na resistência da alvenaria final. La Rovere (1997) ressalta que quanto menor for o módulo de elasticidade, maiores vão ser as tensões de tração geradas da parede e, por consequência disso, menor será a resistência a compressão do prisma.

Tabela 3 – Resultados obtidos no SAP2000

Resultados do SAP 2000				
Fck (Mpa)	Capacidade Resistente Bloco (N/m ²)	Módulo de Elasticidade (Mpa)	Coefficiente de Mola (N/m)	Força Axial na Argamassa (N/m)
5	31117	12521,98	626099033,70	173,90
6	30854	13717,14	685857128,00	182,55
7	30608	14816,21	740810367,10	192,89
8	30379	15839,19	791959594,90	205,62

Fonte: próprio Autor (2020)

Figura 6 – Modelagem e coleta dos resultados no SAP2000.



Fonte: próprio autor (2020)

Para a validação dos resultados, o mesmo modelo foi feito no software SAP2000, programa esse que também utiliza o Método dos Elementos Finitos. Para essa modelagem foram consideradas todas as propriedades mecânicas dos Blocos de concreto e da argamassa de assentamento com uma única diferença no tipo de lançamento da argamassa, onde foi considerado um efeito elástico com o coeficiente de mola. Os valores dos coeficientes de mola, foram obtidos realizando a multiplicação dos módulos de elasticidades pela distâncias entre os blocos. Os resultados e a demonstração realizada no SAP2000, foram dispostos na tabela 3 e figura 6.

Considerações Finais

Com a análise dos resultados é possível chegar as seguintes conclusões:

- Verificou-se que os prismas modelados com argamassa inferior a 40%, não suportaram as tensões solicitantes e por consequência, romperam por esmagamento da argamassa;
- Argamassas com resistência variando entre 40 e 60% da resistência do bloco tiveram bons resultados quando comparados às demais análises feitas com o ABAQUS, posteriormente confirmados com as análises e resultados do Sap 2000.

Embora a modelagem no ABAQUS estivesse correta, foi preciso simular no SAP2000 a argamassa com um comportamento mais elástico e por consequência, mais próximo da realidade; se comportando como uma base elástica quando aplicado a tensão nos prismas, diferente da modelagem no ABAQUS que foi considerada como elemento sólido, o que justifica resultados obtidos.

Referências

ABNT. NBR 8215 - Prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural - Preparo e ensaio à compressão. Rio de Janeiro: [s.n.], 1983. 2 p.

ABNT. NBR 10837: cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1989.

BARBOSA, C. S.; HANAI, J. B. Comportamento de prismas de blocos vazados de concreto sob compressão axial e análise das propriedades mecânicas de seus materiais constituintes. *Cadernos de Engenharia de Estruturas*, São Carlos, v. 11, n. 50, p. 75-90, 2009.

BAUER, L.A. Falcão. *Materiais de construção*. 5ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000. v.1 p429-439.

CAMACHO, P. D. J. S. Projeto de edifícios de alvenaria estrutural. Ilha Solteira: NEPAE - Núcleo de ensino e pesquisa da alvenaria estrutural, 2006. Acesso em: 10 de novembro de 2020.

COOK, R.D., MALKUS, D.S., PLESHA, M.E., *Concepts and applications of finite element analysis*, Ed. John Wiley & Sons, Inc., third edition, 1989.

HENDRY, A.W., "Masonry walls: materials and construction", *Construction and Building materials*, v.15, pp. 323-330, 2001.

KALIL, Silvia Maria Baptista. *Alvenaria Estrutural*. São Paulo: Pontifícia Universidade Católica, 2011.

LA ROVERE, Henriette L.; RODRIGUES, R. de M. Análise do comportamento mecânico de prismas de alvenaria de blocos de concreto pelo MEF. *JORNADAS SULAMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL*, v. 28, n. 1997, p. 179-88, 1997.

LORDSLEEM, A. C. *Execução e inspeção de alvenaria racionalizada*. São Paulo, 2000.

MAMEDE, Fabiana. Projeto em alvenaria estrutural. Especialização em engenharia as estruturas. São Paulo: Universidade de Lins. Notas de aula, abril 2016.

MATA, Rodrigo Carvalho da et al. Influência do padrão de argamassamento na resistência à compressão de prismas e mini-paredes de alvenaria estrutural de blocos de concreto. 2006.

OLIVEIRA, R. A. Notas de Aulas da Disciplina de Alvenaria Estrutural–Mestrado de Estruturas. UFPE–Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

RAMALHO, Márcio A.; CORRÊA, Marcio RS. Projeto de edifícios de alvenaria estrutural. 2003.

SAMPAIO, Marliane BRITO. Fissuras em edifícios residenciais em alvenaria estrutural. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2010.

Recebido em: 20/08/2021

Aprovado em: 15/09/2021