

SIMULAÇÃO NUMÉRICA PARA DETERMINAÇÃO DA TENSÃO E DA DEFORMAÇÃO EM PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO

Flávia de Mattos Tomeu
José Eduardo Quaresma

Resumo: Esse trabalho visa simular numericamente por meio do método dos elementos finitos, com auxílio do *software SOLIDWORKS*, para análise do comportamento mecânico de painéis pré-moldados confeccionados com argamassa não armada e contendo apenas vermiculita, para minimização de seu peso. Através de pesquisas bibliográficas e simulações numéricas, foram desenvolvidos dois modelos de painéis: um painel maciço e outro com vazios tubulares, ambos com as medidas de 1,00 m de comprimento e 1,00 m de largura. Os resultados desse trabalho, apresentam a viabilidade técnica para utilização de painéis vazados leves, isto é, quando moldados em concreto e com a adição de vermiculita.

Palavras-chave: *Concreto Pré-fabricado, Elementos Finitos, Simulações, SOLIDWORKS*

NUMERICAL SIMULATION FOR DETERMINATION OF TENSION AND DEFORMATION IN PRE-MOLDED CONCRETE PANELS

Abstract: This work aims to simulate numerically using the finite element method, using the software *SOLIDWORDS*, to analyze the mechanical behavior of precast panels made with non-reinforced mortar and containing vermiculite only, to minimize their weight. Through bibliographic research and numerical simulations, two panel models were developed: a solid panel and one with tubular voids, both with dimensions of 1.00 m in length and 1.00 m in width. The results of this work present the technical feasibility for use of lightweight castings, that is, when cast in concrete and with the addition of vermiculite.

Keywords: *Precast concrete, Finite Element, Simulation, SOLIDWORKS*

¹ Graduanda em Engenharia Civil, UNIARA - UNIVERSIDADE DE ARARAQUARA, Araraquara - SP, e-mail: flavia.mattos95@gmail.com

² Mestre em Engenharia Civil, UNIARA - UNIVERSIDADE DE ARARAQUARA, Araraquara - SP, e-mail: quaresma@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A tendência de novas técnicas construtivas, com soluções originais, vem ganhando espaço na área da construção civil. As conseqüências dessas tendências são: a redução dos custos e o aumento da rapidez na execução de obras.

Entre as diversas soluções construtivas, vem se destacando o concreto pré-moldado. Além de reduzir o tempo de execução da obra, destaca-se também a racionalização da mesma, pois a estrutura no seu processo de industrialização, minimiza o desperdício de materiais e mão de obra, e confecciona peças estruturais com melhor controle de qualidade.

Atualmente, várias construtoras e incorporadoras vem aplicando técnicas com ênfase em elementos pré-moldados na construção de moradias de interesse social, na tentativa de otimizar processos construtivos de baixo custo e rapidez no canteiro de obras, tornando assim a viabilidade de grandes unidades habitacionais.

Para agilizar os serviços na confecção de soluções para vedação, seja de prédios, de residências, de galpões e outras construções, tem-se notado uma grande dificuldade na aplicação de painéis pré-fabricados em concreto armado, pois o concreto armado possui um elevado peso específico da ordem de 25 kN/m³ (ABNT NBR 6118/2014), que resulta em peças que necessitam de equipamentos especiais para seu transporte, mobilização e montagem.

Na tentativa de se reduzir essas dificuldades, muitos estudos têm sido realizados para minimizar esses problemas, como por exemplo o trabalho de Araújo e Cândido (2015), com técnicas para redução do peso. Muitas delas tem reduzido o peso aumentando o número de vazios na geometria dos painéis estruturais, substituindo esses vazios por agregados leves na confecção do concreto. Outras soluções bastante empregadas, são o uso de argila expandida, microesferas de EPS e até mesmo placas de EPS (Poliestireno Expandido – *Electric Power Steering*).

Com o avanço da informática, é possível realizar esses estudos também através de diversos *softwares*, que permitem obter resultados com uma tolerância aceitável.

Esse trabalho visa simular numericamente por meio dos métodos dos elementos finitos, com auxílio do *software SOLIDWORKS*, o comportamento mecânico de painéis pré-moldados confeccionados com argamassa não armada e contendo como agregado a vermiculita para minimização de seu peso.

Através de pesquisas bibliográficas e simulações numéricas, foram desenvolvidos dois modelos de painéis: um painel maciço e outro com vazios tubulares e com argamassa com vermiculita, ambos com as medidas de 1,00 m de comprimento e 1,00 m de largura.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo El Debs (2000), “[...] concreto pré-moldado corresponde ao emprego de elementos pré-moldados de concreto, ou seja, ao emprego de elementos de concreto moldados fora de sua posição definitiva de utilização na construção”. A pré moldagem pode ser utilizada nas estruturas de edifícios industriais, comerciais e habitacionais, bem como em equipamentos urbanos, e até mesmo em fechamentos.

A industrialização da construção civil por meio de pré-fabricação e pré-moldagem, ainda que relacionados entre si, possuem conceitos distintos. A pré-moldagem aplicada à produção em grande escala, resulta em pré-fabricação que, por sua vez, é uma forma de buscar a industrialização da construção. Esses elementos fabricados por produção em massa são montados na obra, mediante equipamentos e dispositivos de elevação (El DEBS, 2000).

Em meio a este processo de modernização, a preocupação com medidas de racionalização de vedações verticais tem progredido, devido á necessidade de alternativas competitivas e eficientes no mercado nacional (SILVA; SILVA, 2004).

Segundo Silva e Silva (2004), para a introdução de tecnologias pré-fabricadas no mercado, existem algumas limitações que deverão ser superadas antes da introdução de quaisquer tecnologias racionalizadas para vedações.

O uso de painéis pré-fabricados, quando comparado a alvenaria tradicional, apresenta algumas vantagens, tais como: maior organização e limpeza do canteiro, melhor qualidade no produto final, rapidez e facilidade na execução das vedações, maior precisão geométrica e menor desperdício de materiais (SILVA; SILVA, 2004).

De acordo com Melo (2007), a modulação da largura dos painéis alveolares é de 1,20 m e o comprimento pode ser ajustado conforme o projeto, apresentando no mínimo de 1,00 m e o máximo 17,50 m.

Segundo Araújo e Cândido (2015), uma das maiores dificuldades na utilização de painéis de concreto armado pré-fabricados é o elevado peso específico do concreto que resulta em peças que necessitam de equipamentos especiais para sua montagem.

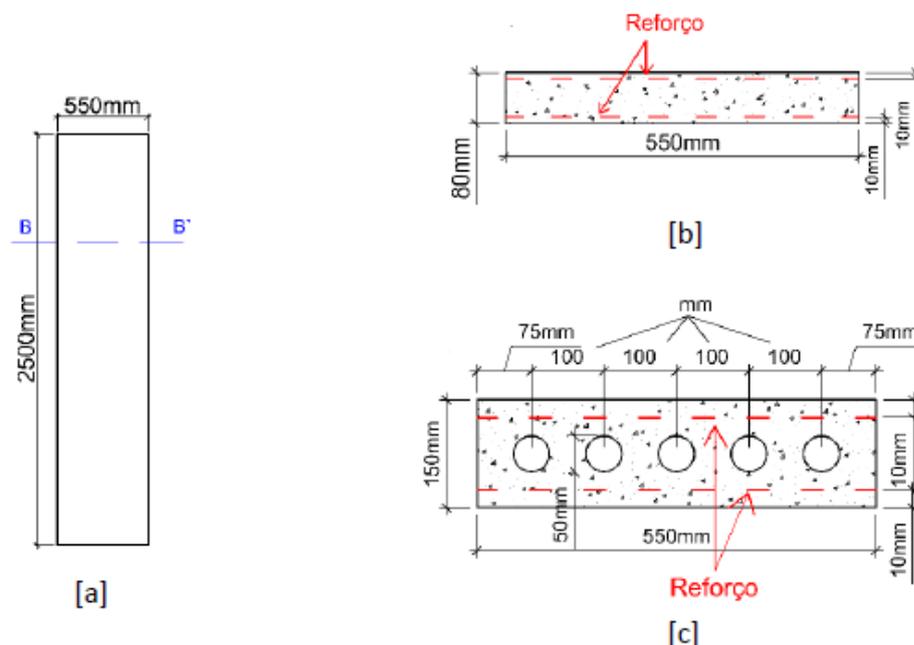
O painel alveolar apresenta uma massa de concreto eficiente, que confere segurança a edificação e também oferece um bom isolamento termo acústico, por apresentar em seu interior células de ar (MELO, 2007).

A norma ABNT NBR 6118/2014 diz que se a massa específica real não for conhecida, para efeito de cálculo, deve-se utilizar para o concreto simples o valor 2.400 kg/m^3 e para o concreto armado 2.500 kg/m^3 .

Na tentativa de evitar patologias, muitos materiais não metálicos têm sido utilizados para fabricação de telas para reforço, tais como polipropileno, aramida, fibra de carbono, fibra de PVA e fibra de vidro, dentre outros (ARAÚJO; CÂNDIDO, 2015).

Araújo e Cândido (2015) citam que a vermiculita expandida tem sido empregada como agregado em argamassas e concretos. Mas que por outro lado, essas argamassas contendo a vermiculita apresentam baixa resistência mecânica. A figura 1, segundo autores, mostra as formas e as dimensões dos painéis maciços e alveolares em escala real executados pelos mesmos.

Figura 1 - Painéis maciços e alveolares em escala real: [a] planta; [b] corte BB' no painel maciço; [c] corte BB' no painel alveolar



Fonte: Araújo e Cândido (2015)

O uso da vermiculita expandida como material de enchimento em estruturas pré-moldadas de concreto, é vantajoso, pois reduz o peso próprio das peças pré-moldadas, facilitando sua montagem (ARAÚJO; CÂNDIDO, 2015). Os mesmos autores, destacam as etapas da concretagem dos painéis: Eles foram concretados em fôrma metálica e os alvéolos foram garantidos por cinco tubos metálicos de 50 mm de diâmetro e espaçados de 100 mm. Os painéis não foram reforçados com tela de aço eletrossoldada. A figura 2 demonstra o passo a passo da execução.

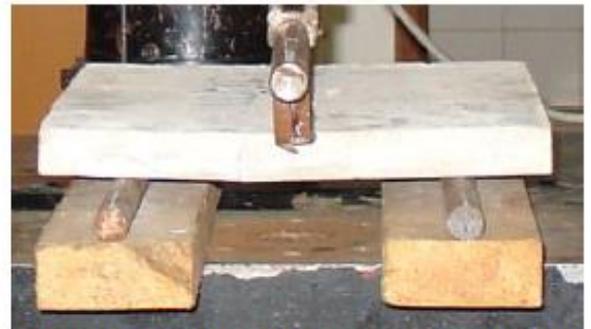
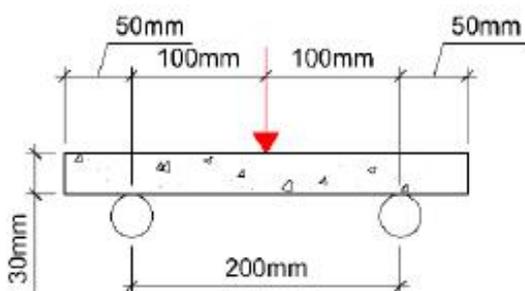
Figura 2 - [a] 1º concretagem; [b] colocação da 1ª tela; [c] colocação dos tubos; [d] painel concluído após colocação da 2ª tela



Fonte: Araújo e Cândido (2015)

Conforme figura 3, Araújo e Cândido (2015) mostram o ensaio de flexão, realizado em painéis maciços. O ensaio foi feito com aplicação de uma força concentrada no meio do vão do painel.

Figura 3 - Esquema de carregamento em três pontos nos painéis maciços.



Fonte: Araújo e Cândido (2015)

Na figura 4, Araújo e Cândido (2015), destacam o resultado do ensaio de flexão e citam a caracterização por uma ruptura brusca.

Figura 4 - Modo de ruína do painel alveolar [a] e do painel maciço [b]



Fonte: Araújo e Cândido (2015)

Segundo AZEVEDO (2013), o Método dos Elementos Finitos (MEF) tem como objetivo a determinação do estado de tensão e de deformação de um sólido de geometria arbitrária sujeito a ações exteriores. Este tipo de cálculo tem a designação genérica de análise de estruturas e surge, por exemplo, no estudo de edifícios, pontes, barragens, etc. Quando existe a necessidade de projetar uma estrutura, é habitual proceder-se a uma sucessão de análises e modificações das suas características, com o objetivo de se alcançar uma solução satisfatória, quer em termos económicos, quer na verificação dos pré-requisitos funcionais e regulamentares.

Os projetos de engenharia envolvem problemas de diversas áreas de conhecimento, com variados graus de dificuldade. Existem diversas ferramentas básicas usadas para a solução desses problemas, como fórmulas, normas e tabelas, entretanto tais meios são ou muito limitados, abordando modelos simplificados, ou então muito específicos, aplicáveis para apenas uma situação em particular. O Método de Elementos Finitos (MEF) é uma alternativa aos modelos analíticos clássicos, que pode ser aplicada para qualquer situação, independente de sua complexidade, fornecendo resultados dentro de tolerâncias aceitáveis em engenharia (PACHECO).

3. METODOLOGIA

Para realização deste trabalho, foi utilizado o *software SOLIDWORKS*, bem como todo seu embasamento técnico científico por meio de uma ampla revisão bibliográfica. O *SOLIDWORKS*, é um *software* de parametrização de peças em geral e possui em seu banco de dados diversos materiais para simulação numérica. Seu núcleo central de pré e pós processamento, foi desenvolvido inicialmente pela *SOLIDWORKS® CORPORATION*, que hoje pertence à *DASSAULT SYSTEMES S.A*, e que funciona no sistema operacional *WINDOWS®*.

Este programa tem sido cada vez mais procurado por engenheiros, arquitetos, mecânicos, e outros profissionais que buscam facilidade e rapidez na execução de novos projetos.

Com o *SOLIDWORKS* é possível visualizar o objeto em 3D, tanto por dentro quanto por fora, identificando de forma minuciosa toda a sua constituição, o que favorece a correção de possíveis falhas de simulação.

Este *software* é usado para simulação numérica, fundamentada no Método dos Elementos Finitos, o que permite uma simulação mais realista, pelo simples fato de possuir um sistema para refinar a malha (com precisão) e assim obter resultados de simulação numérica mais precisos, quando comparados com o modelo físico (peça pré-moldada).

3. DESENVOLVIMENTO

Para o desenvolvimento desse trabalho, foram criados dois modelos distintos de painéis: um painel maciço e um painel alveolar (contendo vazios tubulares). Para o painel maciço foi considerado somente o uso do concreto, pois o mesmo possui uma massa específica elevada. Já para o painel alveolar, para redução de peso da peça, foi utilizado também o concreto, porém com a adição de vermiculita.

Neste contexto, foi utilizado o *software SOLIDWORKS* para simulação numérica das tensões, deformações e deslocamentos, este, possibilita alterar e criar características das propriedades físicas, geométricas e de seus elementos. Assim, foram utilizadas as seguintes propriedades apresentadas na tabela 1, para as simulações do painel maciço, e na tabela 2, para as simulações do painel alveolar.

Tabela 1: Propriedades utilizadas para concepção do painel maciço

Propriedades:	Valor:	Unidade:
Módulo de Elasticidade (E)	2.504	N/mm ²
Módulo de Cisalhamento	150	N/mm ²
Massa Específica	2.400	Kg/m ³
Modulo de Tensão	20	N/mm ²
Condutividade Térmica	0,22	W/ (m x K)
Caloria Específica	180	J/ (Kg x K)

Fonte: Própria

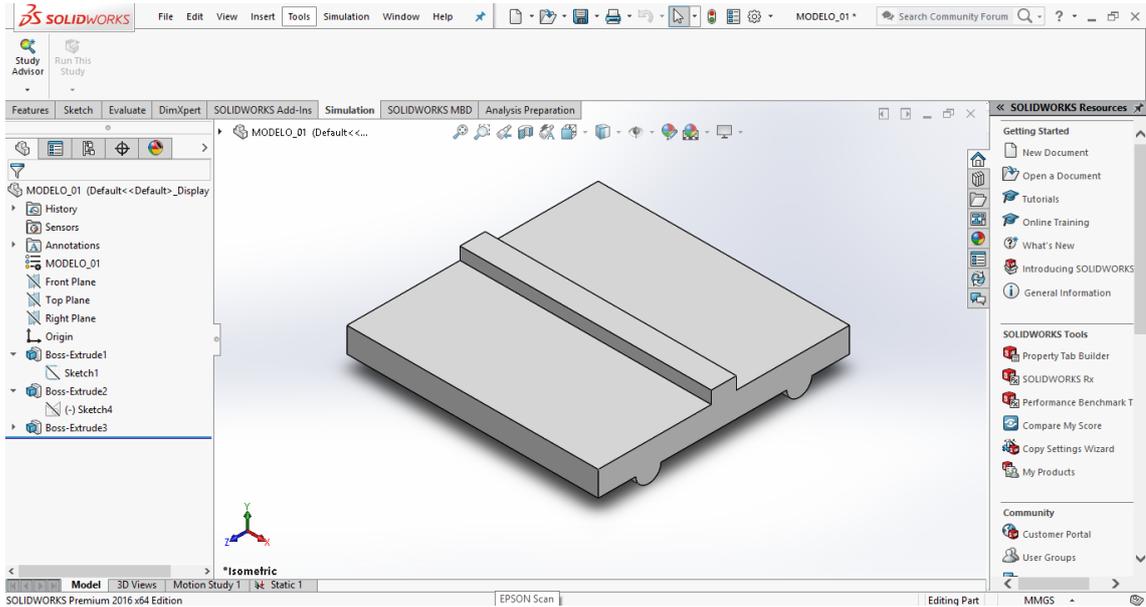
Tabela 2: Propriedades utilizadas para concepção do painel alveolar com vermiculita

Propriedades:	Valor:	Unidade:
Módulo de Elasticidade (E)	2.504	N/mm ²
Módulo de Cisalhamento	150	N/mm ²
Massa Específica	800	Kg/m ³
Módulo de Tensão	20	N/mm ²
Condutividade Térmica	0,22	W/ (m x K)
Caloria Específica	180	J/ (Kg x K)

Fonte: Própria

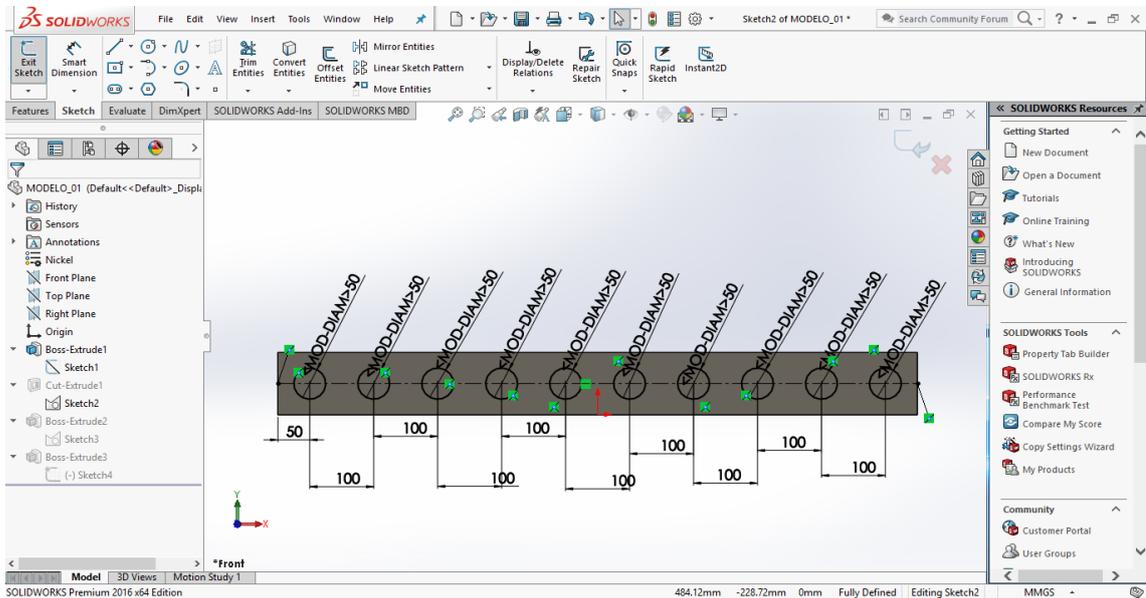
Para ambos os painéis, foram consideradas as medidas de 1,00 m de comprimento e 1,00 m de largura. A figura 1, mostra a concepção do modelo estrutural do painel maciço e a figura 2, mostra a concepção do modelo estrutural do painel alveolar. O painel alveolar possui uma característica geométrica diferente, ou seja, o painel possui vazios tubulares. Os vazios tubulares em questão, estão representados no desenho técnico com diâmetros de 50 mm e a distância entre eles é de 100 mm (entre os furos) e nas extremidades, representados com 50 mm de espaçamento.

Figura 1: Concepção do modelo estrutural do painel maciço



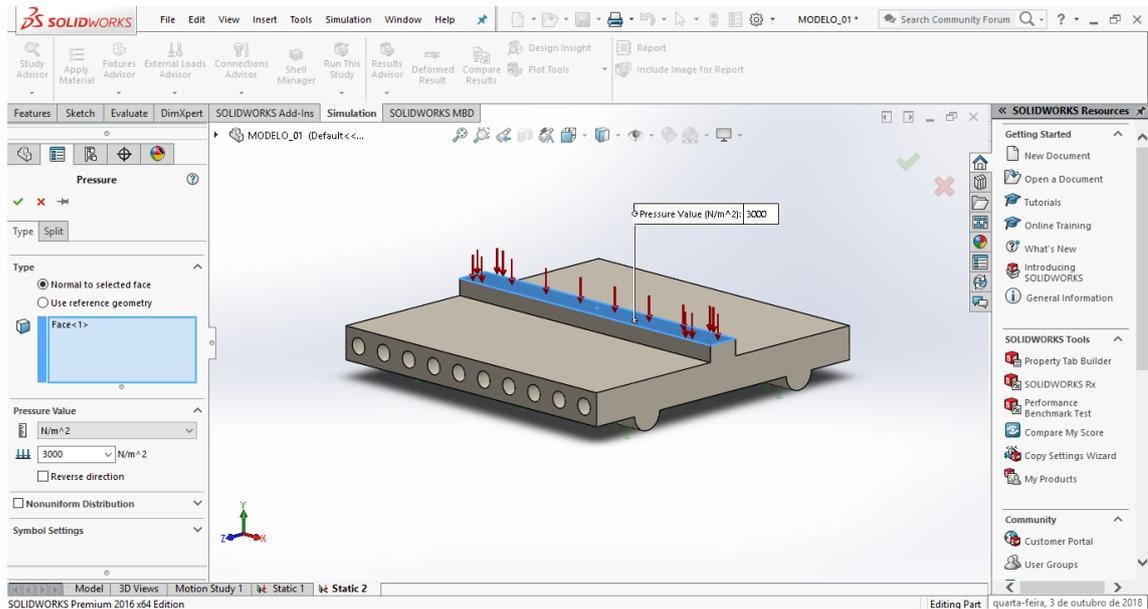
Fonte: Própria

Figura 2: Concepção do modelo estrutural do painel alveolar



Fonte: Própria

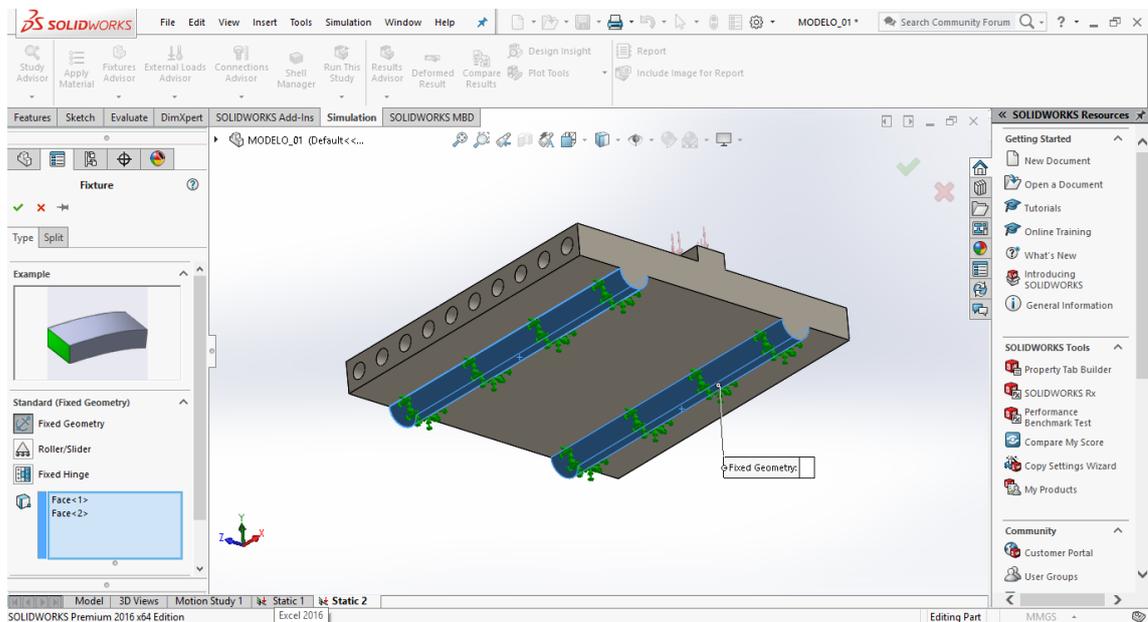
Para a realização das simulações numéricas desejadas, é necessário que se aplique um carregamento por meio da parametrização do modelo. Assim, para os dois painéis projetados, atribuiu-se um carregamento de 3.000 N/m^2 , como apresentado na figura 3.

Figura 3: Atribuição das cargas (3.000 N/m²)

Fonte: Própria

A figura 4, mostra os apoios, no qual foram projetados para fixação (condição de contorno) do painel, para determinação dos resultados de simulação numérica.

Figura 4: Esquema de apoio para fixação

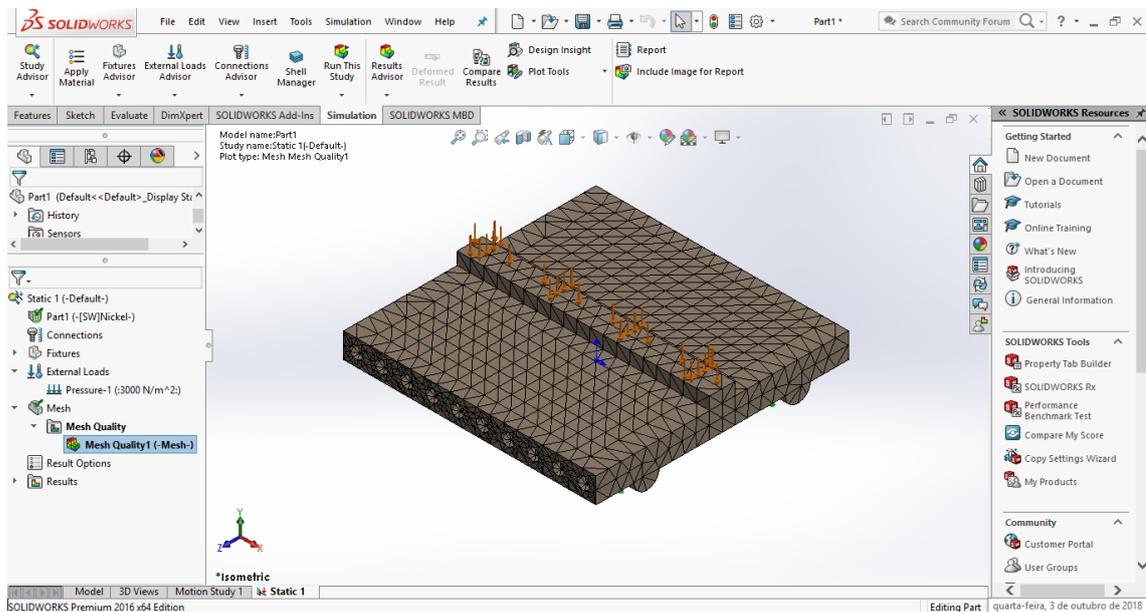


Fonte: Própria

Para chegar em resultados com a precisão desejada, o programa subdivide o modelo em partes pequenas de formas simples (elementos triangulares) que são conectadas em pontos comuns (nós), assim obtém-se a malha pelo método *DELAUNAY*.

O tamanho da malha gerada depende da geometria e dimensões do modelo, tamanho de elemento, tolerância de malha, controle de malha e especificações de contato. A distribuição da malha dos elementos nos painéis, pode ser visualizada na figura 5.

Figura 5: Definição da malha em elementos triangulares (*DELAUNAY*)



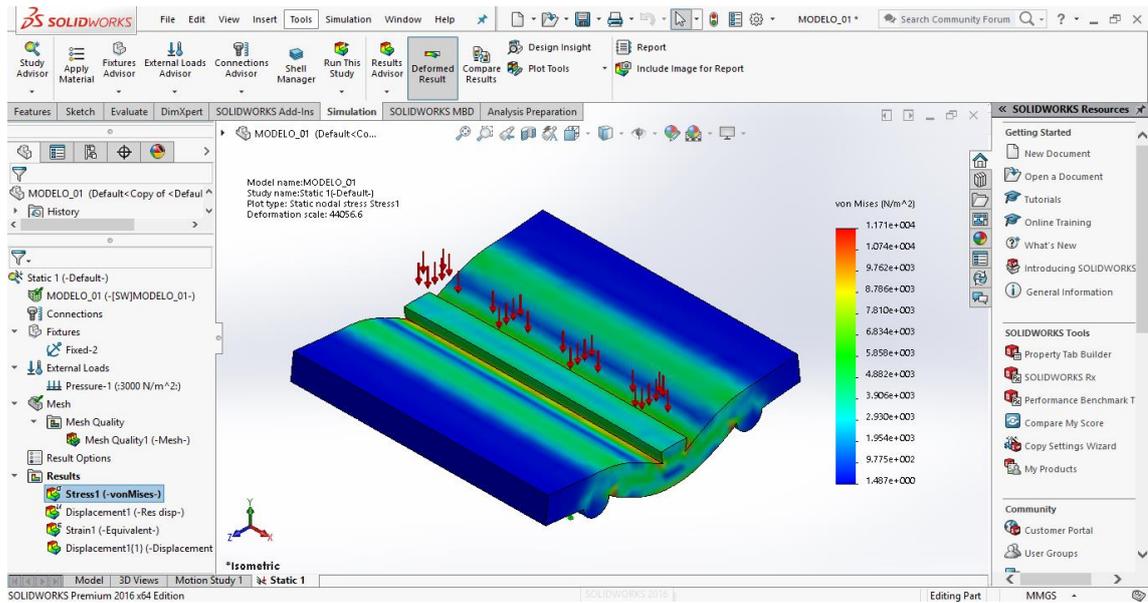
Fonte: Própria

4. RESULTADOS

Na simulação numérica executada para ambos painéis, foi possível determinar os resultados de simulações de tensões, deformações e seus deslocamentos, conforme apresentado nas figuras de 6 a 11.

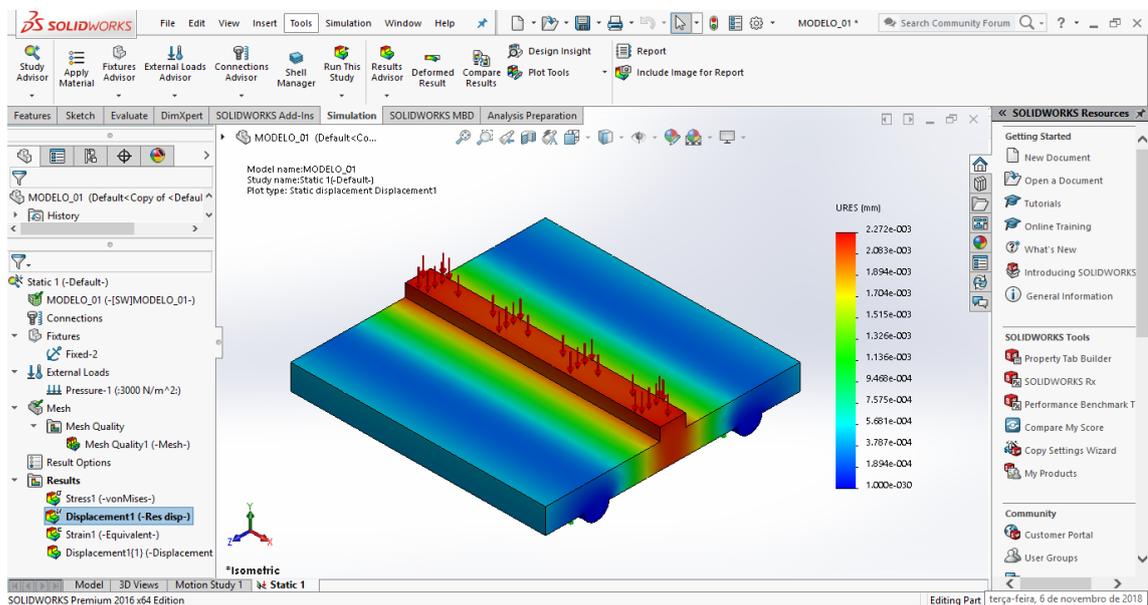
Por meio de uma tabela de isovalores (tabela de valores por gradientes de cores/escala de valores), localizada à direita de cada figura, são indicados os valores máximos e mínimos encontrados nas simulações numéricas, sejam os valores de tensões, deslocamentos ou deformações.

Figura 6: Resultados de simulação de tensões no painel maciço



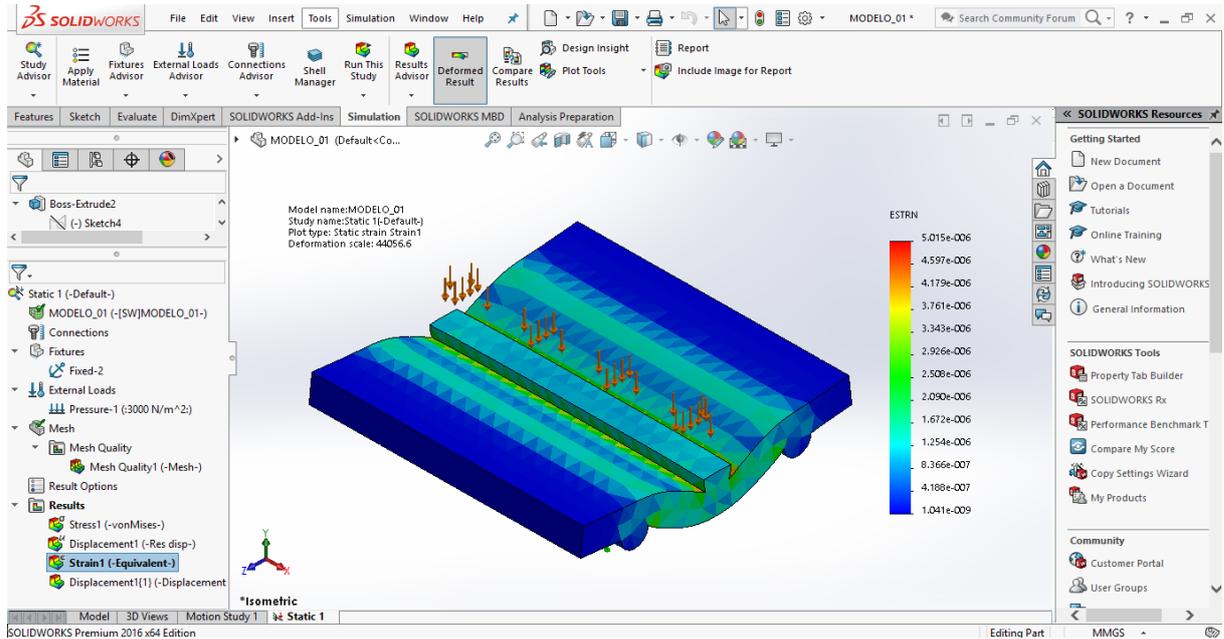
Fonte: Própria

Figura 7: Resultados de simulação de deslocamentos no painel maciço



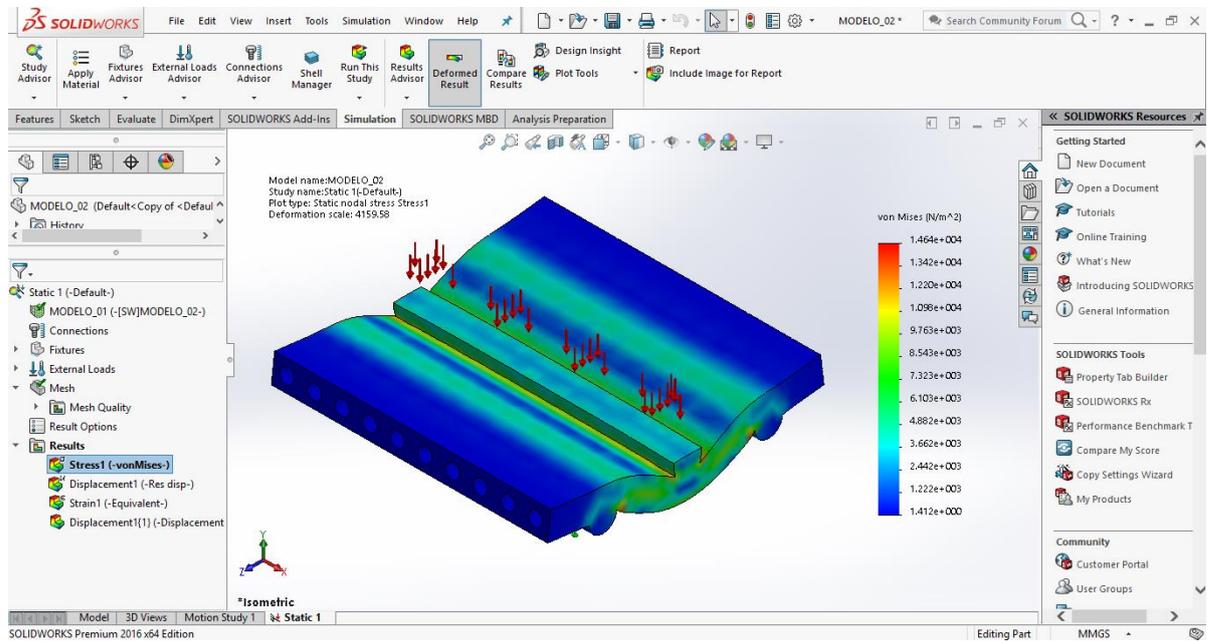
Fonte: Própria

Figura 8: Resultados de Simulação de deformações no painel maciço



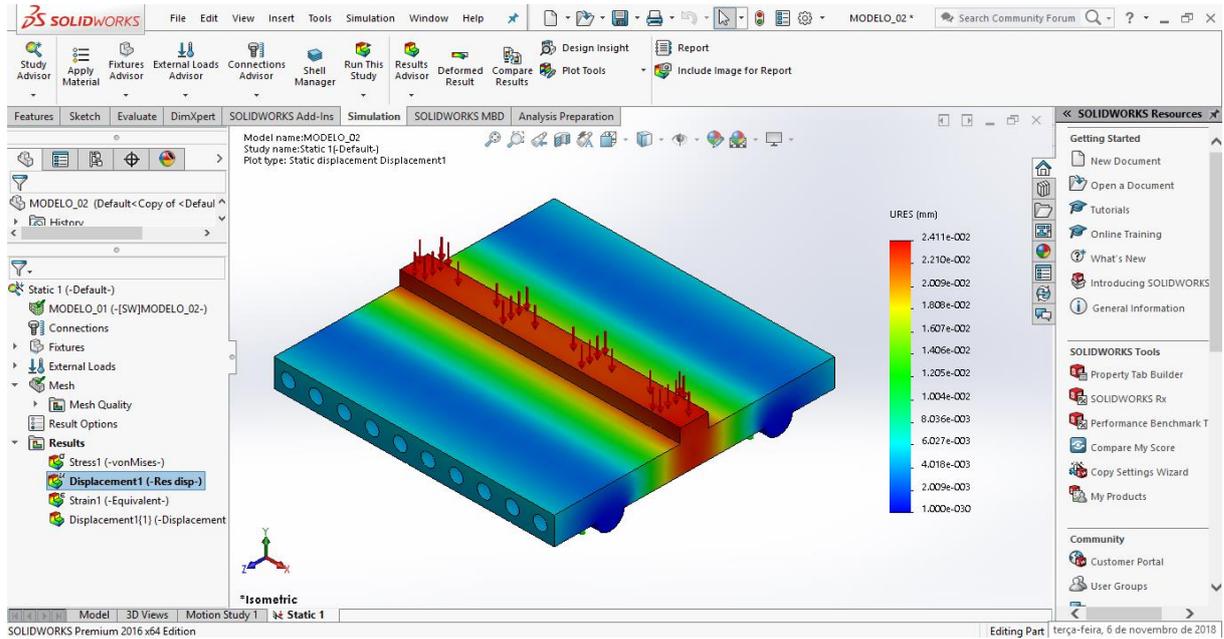
Fonte: Própria

Figura 9: Resultados de simulação de tensões no painel alveolar



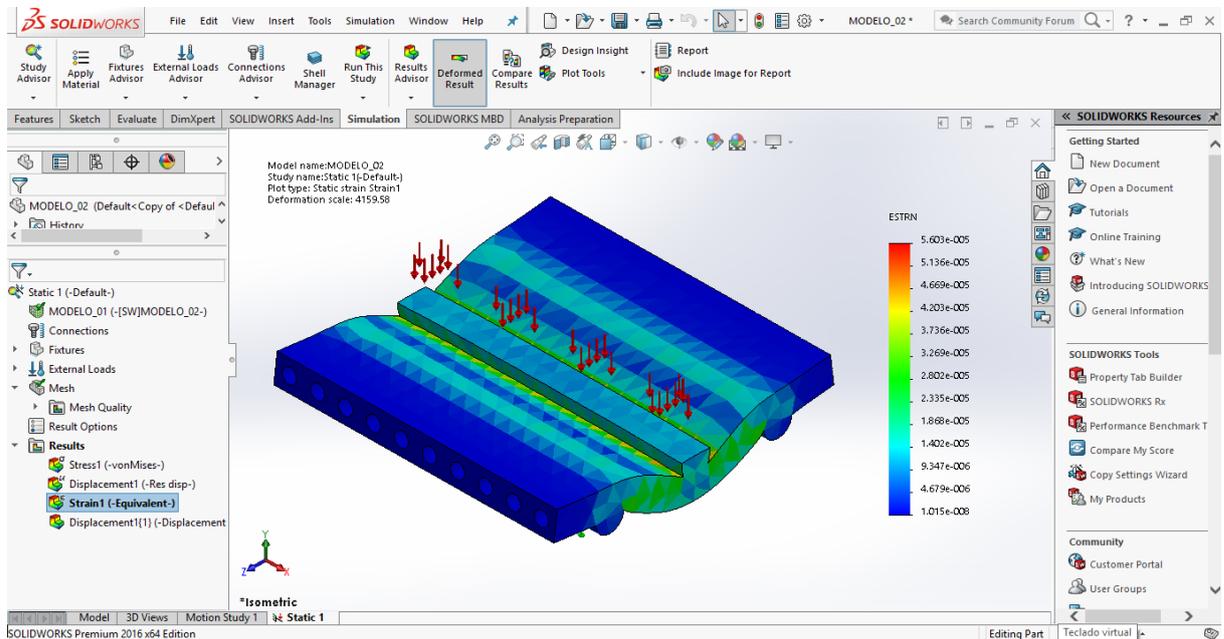
Fonte: Própria

Figura 10: Resultados de simulação de deslocamentos no painel alveolar



Fonte: Própria

Figura 11: Resultados de Simulação de deformações no painel maciço



Fonte: Própria

Foram analisados os valores máximos obtidos em cada simulação numérica, conforme mostrados na tabela 3 e 4, no qual observa-se que as tensões foram maiores no painel maciço, devido a suas características geométricas. Já os deslocamentos e as deformações foram

maiores no painel alveolar, isso ocorre devido ao peso específico do concreto com adição de vermiculita ser menor do que o concreto convencional, como apresentado nas tabelas 1 e 2.

Tabela 3: Resultados obtidos no painel maciço

Simulações no painel maciço:	Resultados:
Tensão	1,171 e+004 N/m ²
Deslocamento	2,272 e-003 N/m ²
Deformação	5,015 e-006 N/m ²

Fonte: Própria

Tabela 4: Resultados obtidos no painel alveolar

Simulações no painel alveolar:	Resultados:
Tensão	1,464 e+004 N/m ²
Deslocamento	2,411 e-002 N/m ²
Deformação	5,603 e-005 N/m ²

Fonte: Própria

Analisando os resultados das tabelas 3 e 4, consegue-se então afirmar que o uso da vermiculita em painéis diminui o seu peso, porém também diminui a sua resistência. Podendo assim, quando submetido a uma carga constante, ocorrer deslocamentos e deformações acentuadas.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho, fica evidente, que os resultados de simulação numérica pelo método dos elementos finitos, são mais próximos da realidade e podem contribuir para o desenvolvimento de sistemas construtivos de painéis pré-fabricados leves.

Conclui-se então, que os resultados do trabalho em questão, apresentam a viabilidade técnica para utilização de painéis vazados leves, isto é, quando moldados em concreto e com a adição de vermiculita. Neste contexto, proporciona mais facilidade para montagem e economia de materiais.

6. REFERÊNCIAS

ABNT NBR 6118/2014: **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014

ARAÚJO, Daniel de Lima; CÂNDIDO, Éricka da Silva. **Painel pré-moldado de argamassa armada com vermiculita expandida e reforçado com fibras de vidro**. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Goiânia, v. 10, p.1-18, 09 nov. 2015. 3.

AZEVEDO, Álvaro F. M. **Método dos elementos finitos**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, abril 2013.

EL DEBS, M. K. **Concreto Pré-Moldado: Fundamentos e Aplicações**. São Carlos: EESC, 2000.

MELO, Carlos Eduardo Emrich. **Manual Munte de projetos em pré-fabricados de concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2007. 532 p

PACHECO, Maurício Rangel. **Introdução ao método de elementos finitos com utilização do software *ansys***. Centro Federal de Educação Tecnológica, Rio de Janeiro

SILVA, Maristela Gomes da; SILVA, Vanessa Gomes da. **Painéis de vedação**. Centro Brasileiro da Construção em Aço, Rio de Janeiro, p.1-59, ago. 2004.