

APLICAÇÃO DE GEOMETRIA BOOLEANA, GERAÇÃO E REFINAMENTO DE MALHA PARA MODELAGEM FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL EM UM APARTAMENTO DE CARÁTER UNIFAMILIAR

João Victor da Cunha Oliveira ¹; Endyara de Moraes Cabral ²;
Frankslale Fabian Diniz de Andrade Meira ³

¹ Instituto Federal da Paraíba (IFPB), joaovictorwo@gmail.com;

² Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), endyara.engpetro@gmail.com;

³ Instituto Federal da Paraíba (IFPB), frankslale.meira@ifpb.edu.br

Resumo: A Fluidodinâmica Computacional – citada comumente por CFD (Computational Fluid Dynamics) – é um ramo da Mecânica dos Fluidos que se baseia na análise, através de simulações computacionais, de sistemas consistentes em escoamento de fluido, transferência de calor e demais fenômenos associados. Aplicada em diversas áreas de desenvolvimento tecnológico, possui a eficácia necessária para a averiguação de diversos fenômenos, dentre eles, o proposto pelo projeto: Simulação de um Escoamento de Gás em um Imóvel Residencial. Com o objetivo de estudar e avaliar as ações decorrentes do escoamento de gás metano, sugere-se que, a partir do emprego em uma habitação de uso residencial como modelo de partida, sejam caracterizados, pelo software de uso voltado à mecânica dos fluidos, ANSYS 2017, todos os fenômenos acontecidos dentro do imóvel, sua intensidade, velocidade de propagação do fluido, além da notação e justificativa de fatores externos que contribuem negativamente, ou não, para o teste elegido. Desta forma, a alternativa escolhida para ser utilizada no auxílio da construção do modelo geométrico no software será o método booleano, onde que, as etapas ditadas pelo rito estabelecido no ANSYS 17.0, versão estudantil, serão cumpridas de acordo com as coordenadas preestabelecidas.

Palavras-chave: Fenômeno dos Transportes; Método Booleano; Escoamento de Gás; Ansys 2017; Projeto Arquitetônico.

INTRODUÇÃO

A técnica da dinâmica dos fluidos computacionais é utilizada numa vasta gama de aplicações industriais e científicas como: aerodinâmica veicular e aeroespacial, hidrodinâmica de navios, turbinas, bombas hidráulicas, trocadores de calor, processos químicos, meteorologia, biomedicina, dentre outras (VERSTEEG & MALALASEKERA, 1995).

Os casos de CFD tem um papel importante no desenvolvimento de tecnologias, tais como: avaliação de bocais de carga, análise de transferência de calor e massa em seções de vazios, estudo fluidodinâmico de painéis coletoras, separadores ciclônicos e a influência do vortex core no escoamento, resfriamento (quench) do efluente do tambor de coqueamento, e a entrada de carga e chicanas em fracionadoras de unidades de coqueamento retardado.

E nos projetos de edificações na esfera da construção civil, existe grande cautela e cuidado quanto ao projeto de Instalação Predial de Gás, por questões de segurança. Para isso, é seguindo corretamente as normas na construção de prédios no que se refere à prevenção, caso contrário, mau dimensionamento e erros de execução podem acarretar tragédias

irreparáveis com perdas humanas e materiais.

Revisão de Literatura

Para Soares (2013), segundo o livro *Computational Methods for Fluid Dynamics* (Ferziger et al., 2002), existem critérios para a geração de uma geometria que obedeça uma solução numérica com base na técnica de fluidodinâmica computacional, e que essa solução numérica pode ser desenvolvida em 7 etapas norteadoras, que para este estudo de geração de geometria e malha, aplicou-se apenas as 4 primeiras etapas:

a) Modelo matemático

De início, para a criação de um método numérico, faz-se necessária a aplicação de equações matemáticas, que determinem a forma como será desenvolvida a simulação e da mesma forma as condições de contorno do sistema.

Porém, deve-se observar qual o melhor método para solucionar cada caso de uso das equações governantes, pois é quase que impraticável o uso da mesma equação, por exemplo a equação da lei de conservação, para todos os casos de simulação computacional (SOARES, 2013).

b) Discretização do modelo

Posteriormente, é de grande necessidade também escolher um método de discretização adequado às equações definidas no modelo matemático da solução numérica, podendo ser citada a adequação de equações vetoriais para as variáveis de uma equação diferencial (SOARES, 2013).

Soares (2013) ainda elenca as consideradas mais importantes para utilização em aproximações matemáticas, podendo ser: diferenças finitas (FD – finite difference), volumes finitos (FV – finite volume) e elementos finitos (FE – finite element). Todas elas detêm uma resultante quase igual na medida que a malha gerada na geometria é refinada, mas o uso de cada uma irá depender do formato estudado e das condições de contorno para cada caso.

c) Sistemas de coordenadas de base vetorial

A exemplificar, as equações de conservação podem ser expressas de várias maneiras, porém, o que irá diferir cada forma será o sistema de coordenadas de base vetorial evidenciado, e Soares (2013) descreve que as formas da equação de conservação podem ser descritas de acordo com o sistema de coordenadas cartesiano, cilíndrico, esférico, curvilíneo, ortogonal e não ortogonal, podendo elas serem, ainda, fixas ou móveis. O que irá definir o modelo a ser usado será o tipo de escoamento estudado, influenciando diretamente o tipo de

malha para se trabalhar e o modelo de discretização definido (SOARES, 2013).

d) Malha numérica

Mediante a definição de uma malha numérica é que as posições das variáveis serão calculadas, representando dessa forma o modelo geométrico onde o problema é solucionado (SOARES, 2013). São divididas em estruturada, bloco estruturada e não estruturada:

Malha estruturada

A malha estrutura pode ser definida como um conjunto de linhas de mesma propriedade e membros de mesma família, paralelas umas a outras, se cruzam apenas uma vez com uma linha com membros de uma família diferente, podendo ser melhor explicado pelo plano cartesiano, onde que cada ponto do plano possui uma coordenada única para cada um dos eixos de referência (chamando também de nó), o que permite a enumeração sucessiva dos pontos da malha, e a posição do ponto da malha dentro do domínio é unicamente identificada por dois ou três índices (bidimensionais ou tridimensionais) (SOARES, 2013). A Figura 01 exemplifica um modelo de malha:

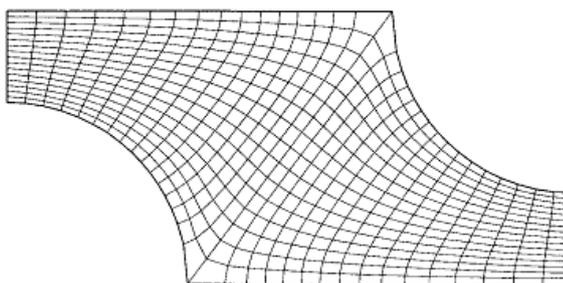


Figura 01 – Exemplo de malha estruturada (O-grid), bidimensional de linhas não ortogonais.

Fonte: Ferziger *et al.* (2002) *apud* Soares (2013).

Malha de bloco estruturada

Para este tipo de malha, podem haver subdivisões de domínio: existindo uma malha mais grosseira, os elementos que compõem a blocagem são geralmente grandes, e nos intervalos mais refinados, a estrutura dos elementos da malha tornam-se mais definidos, necessitando então de um tratamento mais cuidadoso no tocante a cada tipo de interface dos blocos (SOARES, 2013). Soares (2013) ainda afirma que pode existir outro tipo de malha, que possuem blocos sobrepostos, chamadas de malha composta, o que proporciona que as condições de fronteira sejam obtidas pela interpolação da solução de outro bloco, tendo a desvantagem de que a condição de conservação não é facilmente atingida nas fronteiras do bloco, mas que existe a vantagem que em domínios complexos o tratamento é facilitado, podendo ser usado em corpos que estejam em movimento. As Figuras 02, 03 e 04 explicitam

os exemplos de cada modelo de malha que varia mediante cada caso de aplicação da técnica de fluidodinâmica para geometrias bidimensionais:

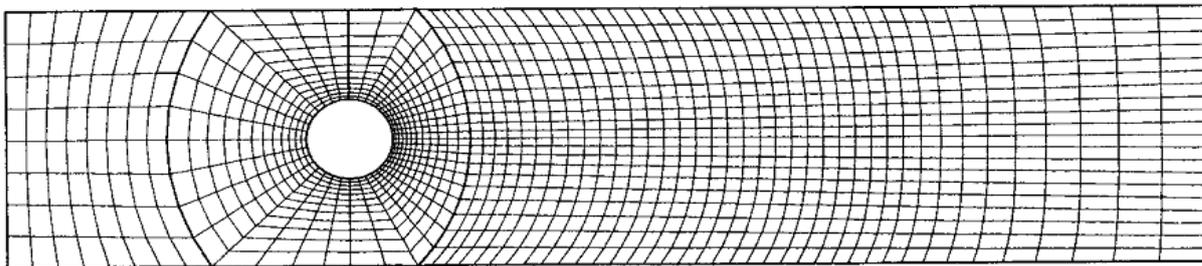


Figura 02 – Exemplo de malha de bloco estruturada, bidimensional, com coincidência nas interfaces.

Fonte: Ferziger *et al.* (2002) *apud* Soares (2013).

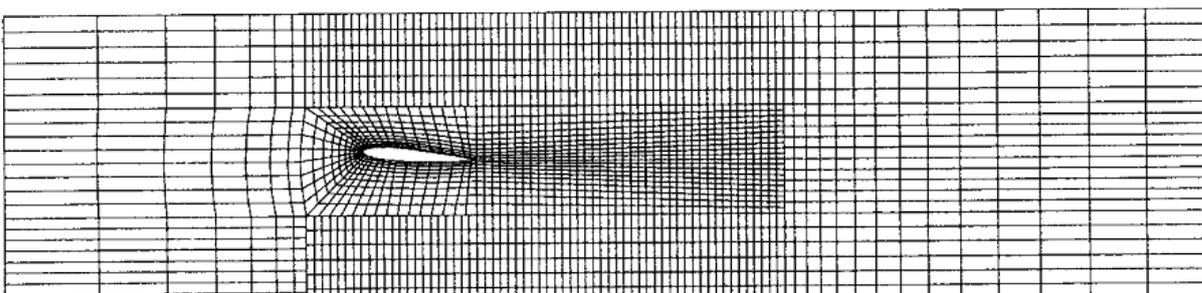


Figura 03 – Exemplo de malha de bloco estruturada, bidimensional, sem coincidência nas interfaces.

Fonte: Ferziger *et al.* (2002) *apud* Soares (2013).

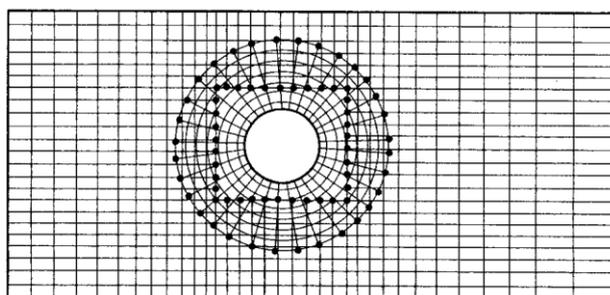


Figura 04 – Exemplo de malha de bloco estruturada, composta, bidimensional.

Fonte: Ferziger *et al.* (2002) *apud* Soares (2013).

Malha não estruturada

Quando a modelagem envolve geometrias de grande complexidade, a melhor maneira para se abarcar de maneira igualitária e completa todo o domínio da geometria é com a geração de uma malha não estruturada (SOARES, 2013). De maneira inicial, esse tipo de malha pode ser usado para qualquer modelo de discretização, e Soares (2013) explica que essa estrutura é melhor desenvolvida e mais aproximável de elementos finitos (FE) e volumes finitos (FV), e os elementos da malha podem variar naturalmente de tamanho, não havendo exceções no tocante ao número de nós envolvidos ou elementos vizinhos.

Para citar na prática, quando usa-se modelos bidimensionais, as malhas são constituídas de elementos triangulares e quadriláteros, e quando tridimensionais, são envolvidas geometrias como tetragonais, prismas e hexágonos. Todavia, sua irregularidade da constituição da malha oferece algumas desvantagens, como por exemplo, as conexões e localizações dos nós com elementos vizinhos precisam ser identificados, e ainda:

A matriz de equações algébricas deixa de ser regular e diagonalmente estruturada. Assim, a solução para o sistema de equações algébricas é, geralmente, mais lenta do que aquelas das malhas estruturadas (SOARES, 2013).

A Figura 05 a seguir demonstra um exemplo de malha não estruturada:

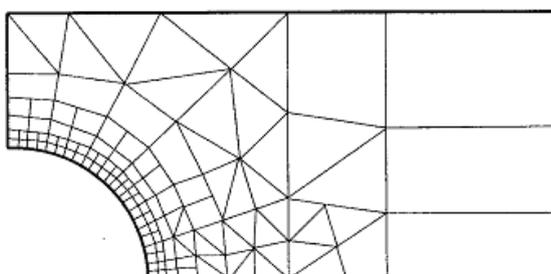


Figura 05 – Exemplo de malha não estruturada. Fonte: Ferziger *et al.* (2002) *apud* Soares (2013).

Construção Civil

No campo da construção civil, com ênfase nos ambientes das edificações, o cuidado com o dimensionamento estético, acústico, térmico e de segurança tornaram-se mais presentes na atualidade, como estudo de clima e temperatura dentro de ambientes, até o presente, estudo, que visa a análise da propagação de gás para previsão de lesões e respaldo quando às possíveis maneiras de evitar danos de grande intensidade aos usuários de ambientes residenciais.

Trindade *et al.* (2010) afirma que entre os programas que estão direcionados à simulação em edificações, destacam-se os de desempenho térmico e energético, bem como os que predizem a ventilação, que estão diretamente associados ao uso de técnica de fluidodinâmica computacional. Trindade *et al.* (2010) descrevem ainda que, para Augenbroe (2001) e Maliska (2001) é defendida uma possível melhoria nas interfaces de trabalho dos softwares de CFD, para que então profissionais da arquitetura sejam incluídos entre os usuários dessa ferramenta de predição, podendo então, incorporar os resultados aos projetos que requeiram previamente análises de simulação.

As simulações em CFD voltadas para o ambiente construído podem ser divididas em estudos externos e internos. Nos estudos de fluxos internos, as maiores aplicações são voltadas para análises de qualidade do ar, ventilação artificial, sistemas de exaustão, riscos de incêndio, bem como previsão da ventilação natural (GASPAR; BARROCA; PITARMA, 2003 *apud* TRINDADE *et al.*, 2010).

Segundo Alves *et al.* (2008) a importância da elaboração do projeto de arquitetura e consideração de todos os critérios que devem ser analisados neste processo, a simulação computacional aparece como uma ferramenta que pode ajudar a definir de maneira mais correta o layout das alvenarias e divisões internas de uma residência, como também o melhor posicionamento da escada de emergência conforme a forma do edifício e bem como ajudar a definir a especificação dos materiais que serão utilizados conforme sua resistência ao fogo e propagação de fumaça.

Assim, mediante o disposto anteriormente, será alimentado o software ANSYS 17.0 com a geometria desenvolvida para tal, para posteriormente ser gerada uma malha geométrica sobre o modelo para que sejam determinados os “setups”, que são as induções das caracterizações do modelo a ser utilizado e logo após, será rodada a análise, para que as mesmas sejam demonstradas através de gráficos expressos em graduações de cores, evidenciando as intensificações da interação gás-sólido.

Para este artigo em questão, foi dada ênfase ao processo de desenvolvimento da geometria e geração da malha, sendo essas as etapas mais importantes do processo de simulação, pois antecedem e determinam as características do setup, e propiciam também, a maior quantidade de erros no momento de simular o modelo, caso desenvolvidas sem o devido cuidado e atenção.

METODOLOGIA

A partir de um modelo de projeto arquitetônico já definido, pôde-se iniciar o desenvolvimento da geometria no ANSYS 17.0. A Figura 06 pode-se ver a distribuição dos móveis por ambientes, uma vez que o gás irá ser introduzido no modelo geométrico pela cozinha, mais especificamente onde se localiza o fogão.

O projeto do apartamento criado possui 75 m², e para simulação, o mesmo estará vazio. Como determinado, o pé-direito da residência será 2,80 m, e o tubo de dimensão cilíndrica que irá servir de acesso do gás ao ambiente terá diâmetro de 4 cm, e sua localização será a 50 cm do piso com 90 cm de afastamento da alvenaria onde estão localizadas a janela e a

pia. Ademais, a escada estará de fora do modelo criando no software para execução das análises. Na Figura 07 a seguir demonstra a planta de projeto do apartamento padrão para uso nos estudos fluidodinâmicos, isento da mobília.

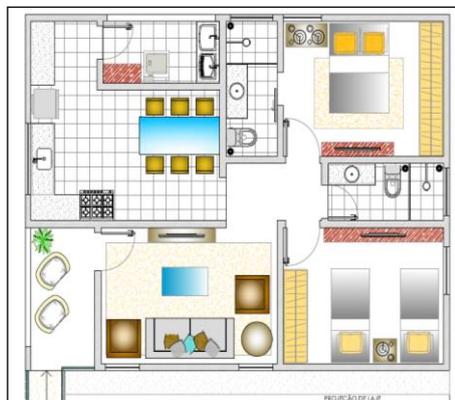


Figura 06 – Planta de layout do apartamento.
Fonte: Autores, 2016.

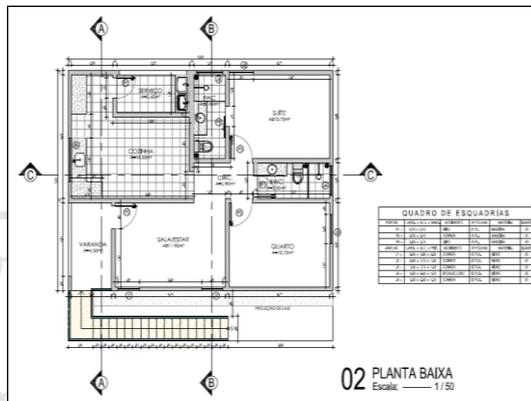


Figura 07 – Planta baixa do apartamento usado na análise.
Fonte: Autores, 2016.

E para criação do modelo, utilizou-se a operação booleana para formação da geometria, que consiste em criar um molde maciço com as dimensões totais da edificação, e para efeito de escoamento do fluido, as alvenarias não estão inclusas no molde, assim então sendo retiradas, pois o fluido escoar em uma geometria que os anteparos não possuem espessura, já que, o que importa é a delimitação do espaço que existirá contato gás-sólido.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Desenvolvimento da Geometria

O referencial para início da execução da planta foi a origem do plano cartesiano, devido à necessidade de exatidão, podendo isso ser observado na Figura 08, e da mesma forma para posterior geração da malha no volume, as configurações demonstradas pelo programa foram alteradas de acordo com a necessidade do estudo para a simulação de dispersão de gás metano (CH_4) no interior do apartamento.

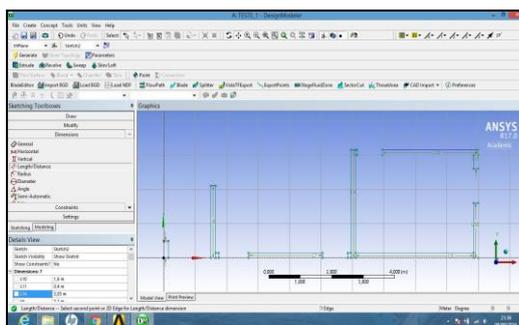


Figura 08 – Interface do ANSYS 17.0 demonstrando as primeiras alvenarias desenhadas.
Fonte: Autores, 2016.

Cada quadrado da malha do programa possui 1 metro de largura por 1 metro de comprimento, sendo subdividido 20 vezes em quadrados menores, cada um de 5 cm por 5 cm, assim melhorando o desenvolvimento do projeto e auxiliando no controle das espessuras das alvenarias e dimensão dos vãos dos ambientes, sendo então concluída a etapa 2D de desenvolvimento da geometria, a expor pela Figura 09.

Mediante a estrutura do programa, é preciso obedecer algumas premissas quanto a execução dos moldes. Primeiramente, foi preciso criar um *sketch* que determinasse a área total da peça, e depois, outros *sketches* responsáveis por cada secção de alvenaria, totalizando até o momento 37 *sketches*.

Por conseguinte, todos os *sketches* criados foram submetidos ao *extrude*, que significa extrusar, ou dar forma 3D à cada secção de geometria 2D.

De início, o primeiro *sketch* a ser submetido ao *extrude* foi o que correspondia à área total, passando a originar um cubo de dimensões 7,5 m de largura por 10,0 m de comprimento e 2,8 m de altura, salientando que a operação realizada foi a *Add Material*, uma vez que a geometria está sendo criada.

Seguindo o rito, todos os outros 36 *sketches* foram também submetidos ao *extrude*, porém, a operação foi *Cut Material*, e uma vez que a volumetria já estava criada, o objetivo foi retirar o volume correspondente a projeção vertical de cada *sketch* (operação booleana).

Então, todas as alvenarias resultaram em vazios no interior da peça, da base até a superfície, assim disponibilizado e moldando os ambientes de maneira a propiciar, posteriormente, o escoamento do gás em consonância com o que foi definido em projeto nas etapas anteriores, e a Figura 10 demonstra o resultado parcial da modelagem.

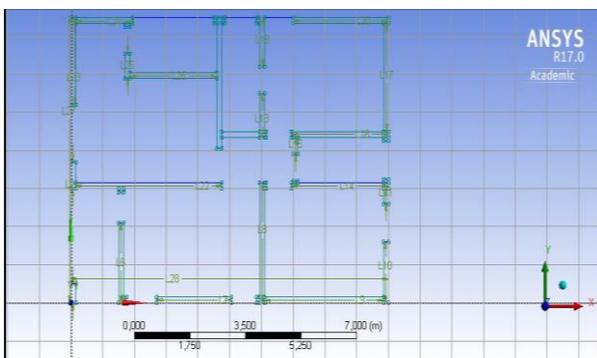


Figura 09 – Dimensionamento em 2D finalizado no software.

Fonte: Autores, 2016.

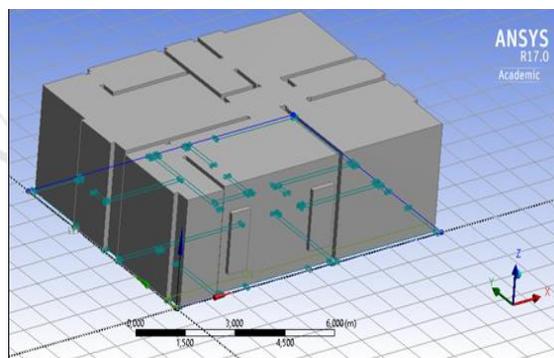


Figura 10 – Dimensionamento em 3D finalizado no software.

Fonte: Autores, 2016.

Criação da Malha

Posterior à criação da geometria, a geração da malha requer que as faces ou superfícies de contorno sejam nomeadas de acordo com cada especificidade. Cabral (2017) enfatiza que nesta etapa podem constituir-se os seguintes tipos de fronteiras:

Inlet – Fronteira do tipo entrada do fluido, que para este estudo de caso denominou-se *entradadogas* (Figura 11).

Wall – Fronteira do tipo contato do fluido com a superfície, que para este caso denominou-se *parede* (Figura 12).

Outlet – Fronteira do tipo saída do fluido, que para este trabalho denominou-se *janela_abertura* (Figura 13).

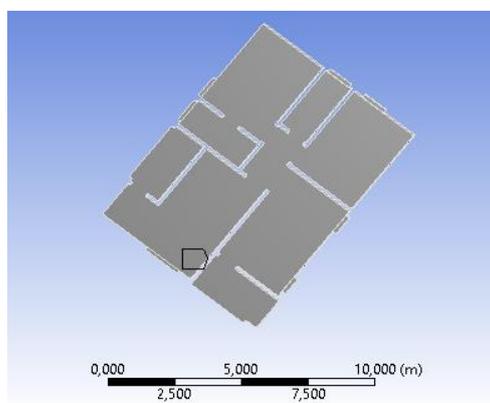


Figura 11 – Geometria com a indicação da fronteira *Inlet*.

Fonte: Autores, 2016.

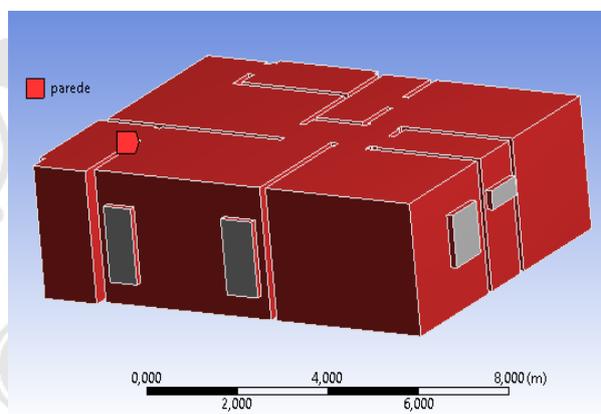


Figura 12 – Geometria com a indicação da fronteira *Wall*.

Fonte: Autores, 2016.

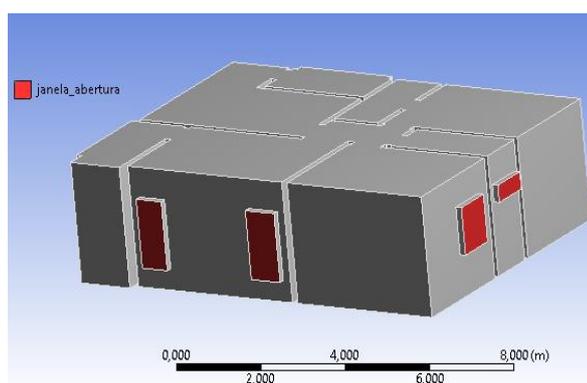


Figura 13 – Geometria com a indicação da fronteira *Outlet*.

Fonte: Autores, 2016.

Mediante a criação da geometria, foi possível realizar dentro da ferramenta Meshing a construção da malha. Iniciou-se essa etapa a partir do processo de geração automática de malha que o próprio software fornece como uma alternativa sucinta para o método. No

entanto, a mesma não proporcionaria resultados otimizados devido ao pequeno número de nós e elementos, induzindo a um maior erro quando as equações governantes fossem resolvidas. Dessa forma, optou-se por ser realizado o refinamento da malha, objetivando um maior número de nós e elementos, propiciando assim maior aproximação nos resultados quando as equações fossem solucionadas.

O primeiro instrumento utilizado para fazer o processo de refinamento foi o *Sizing*, que segundo Cabral (2017), permite diminuir o tamanho dos elementos da malha em todo o volume estudado, o que solicitou algumas configurações particulares para o caso em questão, tais como:

- ✓ *Max Face Size*: 0,05 m
- ✓ *Min Size*: $6,3849^{-0,003}$ m (*Default*)
- ✓ *Curvature*: $18,0^\circ$ (*Default*)
- ✓ *Max Tet Size*: 1,2270 m (*Default*)
- ✓ *Growth Rate*: 1,2 (*Default*)

Esses valores que foram apresentados auxiliam na formação de uma malha mais detalhada e com maior precisão de resultados, e opção do *Max Face Size* foi a única que necessitou de alteração para o valor de 0,05 m, pelo motivo de diminuir o tamanho da face.

O segundo instrumento aplicado para realizar o processo de refinamento foi o *Inflation*, onde Cabral (2017) afirma que a mesma possui a função de diminuir o tamanho dos elementos em regiões de interesse, que para este caso, o local escolhido para um estudo mais detalhado e preciso das propriedades e fenômenos que ocorrem próximos à entrada do gás, e concomitantemente ao *Sizing*, foram utilizadas configurações particulares a esta aplicação, a detalhar:

- ✓ *Named Selection*: *entradadogas*
- ✓ *Option Inflation*: *Smooth transition*
- ✓ *Trasition Ration*: 0,77
- ✓ *Maximum Layers*: 10
- ✓ *Growth Rate*: 1,2

A realização de alterações para o *Inflation* somente foi retificada na opção *Maximum Layers* para aumentar a quantidade de camadas da zona de refinamento, deixando os outros tópicos conforme o sugerido pelo *software*.

Ao final do processo, as estatísticas adquiridas mediante as configurações descritas resultaram em 669.344 nós e 3.520.069 elementos presentes na malha, e as Figuras 14 e 15

abaixo expressam a diferença evidente entre a malha gerada automaticamente pelo *software* sem refinamento, e a malha refinada em toda a geometria com ênfase na etapa de *Inflation* que otimizou a região de entrada do gás no sistema.

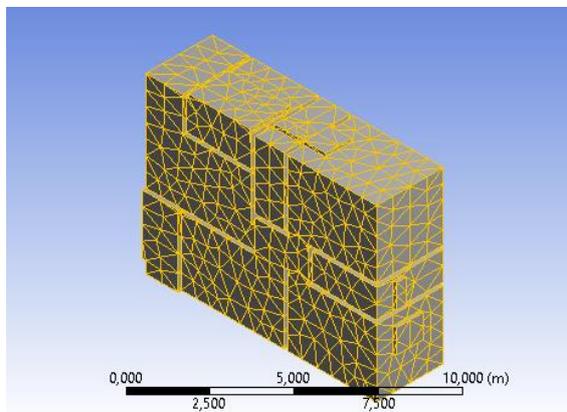


Figura 14 – Malha automática fornecida pelo *Software*.
Fonte: Autores, 2016.

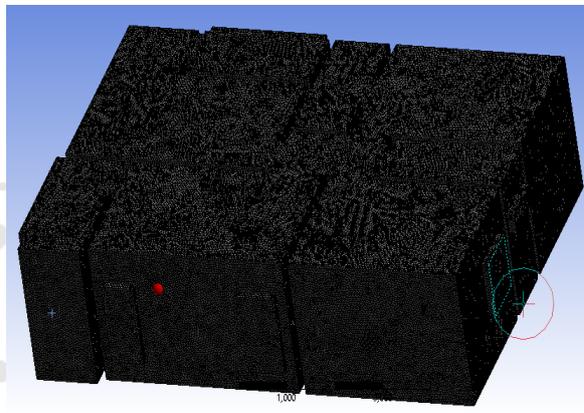


Figura 15 – Malha refinada determinada com o auxílio do *Software*.
Fonte: Autores, 2016.

CONCLUSÕES

Neste estudo, a proposta de se utilizar o método booleano na construção da geometria parcial para configurar as condições de contorno e processamento do modelo foi a que melhor otimizou o trabalho em economia de tempo e detalhamento da geometria, referindo-se assim as aberturas de portas e janelas, e a entrada de gás dentro da cozinha do apartamento, pontos cruciais para que posteriores estudos ocorram de maneira a demonstrar as características de interação de gás-sólido dentro da geometria, e exponha assim os gráficos de escoamento com maior clareza e eficiência.

Portanto, percebe-se o quão a fluidodinâmica computacional é importante para a segurança dos usuários, propiciando a diminuição do custo-benefício na fabricação de maquetes e protótipos, além da economia de materiais caso seja construído o modelo real para ser submetido à análise experimental em laboratório.

REFERÊNCIAS

- ALVES, A. B. C. G.; BRAGA, G. C. B.; CAMPOS, A. T. **Simulação computacional de incêndio aplicada ao projeto de arquitetura**. In: Seminário Internacional NUTAU 2008: Espaço Sustentável - Inovações em edifícios e cidades, São Paulo, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9077 – **Saídas de emergência em edifícios**. Rio de Janeiro, 1993.

AUGENBROE, G. **Building Simulation Trends Going Into the New Millennium.** In: BUILDING SIMULATION, 7, 2001, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, 2001.

CABRAL, E. M. **Processo de separação água/óleo via hidrociclone.** 35 f. Relatório de Estágio (Graduação em Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, 2017.

MALISKA, C. R. **Issues on the Integration of CFD to Building Simulation Tools.** In: BUILDING SIMULATION, 7, 2001, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, 2001.

SOARES, Renan Francisco. **Estudo Fluidodinâmico Computacional (CFD) Aplicado à Aerodinâmica do Esporte Automobilístico.** 146 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2013.

TRINDADE, Sileno Cirne; PEDRINI, Aldomar; DUARTE, Raimundo Nonato Calazans. **Métodos de aplicação da simulação computacional em edifícios naturalmente ventilados no clima quente e úmido.** Ambiente Construído (Online), Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 37-58, Dec. 2010. Available from <<https://goo.gl/q1Baqk>>.

VERSTEEG, H. K.; MALALASEKERA, W. **An introduction to computational fluid dynamics: The finite volume method.** Harlow: Longman Scientific & Technical, 1995.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal da Paraíba – Campus Campina Grande pelo apoio financeiro.