

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA POSIÇÃO DE ENTRADA DE AEROSSOL EM UM AMBIENTE DE SALA DE AULA

Rita de Cássia Cordeiro de Sousa Pinheiro [1], Victor Wagner Freire de Azevedo [2]

¹ Graduanda do curso Bacharelado em Engenharia Mecânica, UFERSA, Mossoró – Rio Grande do Norte. E-mail: ritaccspinheiro@hotmail.com

² Professor Doutor, RN – UFERSA, Mossoró – Rio Grande do Norte. E-mail: victorwfreire@ufersa.edu.br

Data da defesa: 19/11/2021;

RESUMO:

Desde o surto de SARS (Síndrome Respiratória Aguda Grave) em 2002, o estudo da Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD) foi uma das principais ferramentas que os cientistas usaram para investigar a transmissão aérea de vírus respiratórios. A transmissão de doenças respiratórias infecciosas transmitidas através do ar dentro de qualquer ambiente fechado tem sido tema bastante estudado, pois as gotículas respiratórias infectadas inseridas no ambiente por atividades naturais têm efeitos prejudiciais nos ocupantes do mesmo ambiente. Essas gotículas têm a capacidade de ficar em suspensão ou pousar em superfícies em pouco tempo. O referente projeto propõe o estudo do escoamento de partículas supostamente infectadas com o vírus em um ambiente de sala, considerando as condições do cenário da Covid-19. O comportamento do escoamento e a distribuição de partículas no ar foram investigados, criando e implementando um modelo numérico que se aproxima das condições do espirro humano, sendo analisado em uma sala com a presença de alunos usando simulações computacionais. O modelo composto por uma sala de aula que inclui seis alunos e uma representação do professor foi desenvolvido e analisado de maneira próxima a realidade. Assim, foi possível observar qualitativamente como as partículas emitidas por um espirro podem se espalhar no ambiente obtendo resultados como o comportamento do aerossol expelido e as regiões mais críticas de acúmulo dessas partículas suspensas.

Palavras-chave: Escoamento de partículas; Aerossol; CFD.

1. INTRODUÇÃO

Desde o início da pandemia do SARS-COV-2 (Covid-19), em fevereiro de 2020 [1], a OMS vem reunindo cientistas e profissionais de saúde globais, no intuito de acelerar o processo de pesquisa e, assim, desenvolver novas normas e padrões para conter a propagação da pandemia do coronavírus, como também para ajudar a cuidar dos afetados. Essa preocupação afetou a todos os setores socioeconômico mundiais, principalmente o meio estudantil, o qual tem ampla probabilidade de contaminação.

Em decorrência do alto número de episódios documentados nos quais houve a ocorrência de infecção pela Covid-19, apesar de uma longa distância local entre a pessoa transmissora e a pessoa receptora, entende-se que a contaminação por partículas, infectadas por vírus, transportadas pelo ar pode ser considerada uma via crítica da disseminação da doença. Dessa forma, o estudo do escoamento de partículas se faz necessário essencialmente em casos de ambientes fechados, como por exemplo a sala de aula de escolas e universidades [2, 3], onde o tempo de permanência em tal ambiente acaba sendo longo e o número de pessoas

razoavelmente grande, aumentando assim o risco de infecção, sobretudo por meio da transmissão aérea do vírus.

Nesse contexto, a trajetória e a concentração de partículas de transmissão aérea do SARS-CoV-2 têm sido grande dedicação em pesquisas, com o objetivo de combater a pandemia de Covid-19. É conhecido que a infecção por SARS-CoV-2, depende da disseminação de pequenas gotículas respiratórias con-tendo vírus que a pessoa infectada exala ao tossir, espirrar ou mesmo simplesmente falar e respirar [4], além disso, [5] e [6] ressaltam que a transmissão da doença, apesar de ocorrer principalmente através dessa forma, também pode acontecer através de superfícies contaminadas após a deposição das gotículas contaminadas. Um estudo realizado por [7], analisou o comportamento do fluxo de gotículas emitidas pela tosse e espirro de um passageiro dentro da cabine de uma aeronave de fuselagem larga, o qual demonstra como as doenças aerotransmissíveis podem ser transportadas de um passageiro em pé e em movimento para os outros passageiros.

No atual contexto da pandemia, trabalhos recentes voltaram seus estudos para a transmissão de doenças pelo ar no ambiente de uma sala de aula, utilizando simulação numérica. No trabalho publicado por [3], a deposição de aerossol, emitidos de diferentes fontes, nos alunos é comparada para explorar qualitativamente o risco representado para os presentes na sala devido à sua posição em relação à fonte infectada. Uma análise semelhante foi realizada por [6] também, que contribuiu com a avaliação da eficácia das medidas de biossegurança dentro da sala de aula como a consideração de janelas abertas no ambiente e inclusão de barreiras nas mesas, que mostraram redução na concentração do aerossol significativa em relação ao ambiente fechado. Em [2], o ambiente da sala de aula foi analisado com a consideração de purificadores de ar. Os resultados do modelo numérico mostraram uma redução da concentração de partículas em comparação com o ambiente com janelas abertas, e concluiu que o posicionamento adequado desses dispositivos dentro do ambiente da sala de aula é uma medida bastante eficiente na dispersão de aerossóis, o que reduz significativamente o risco de contágio.

Com base nisso, o presente trabalho teve como objetivo geral avaliar o escoamento de aerossóis emitidos em uma sala de aula da UFERSA, para isso desenvolveu um modelo numérico capaz de prever o transporte de aerossol e a deposição na superfície do ambiente, considerando diferentes cenários de fonte de partículas, de forma que seja possível o estabelecimento de medidas adicionais de proteção contra o contágio por parte de alunos e professores.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A Covid-19 e transmissão por aerossol

As gotículas respiratórias e aerossóis respiratórios são criadas por meio de espirros, tosse, fala e até mesmo da respiração normal, elas caem rapidamente ao solo em minutos [8]. As partículas de aerossol e gotículas que são liberadas pelo ser humano nessas atividades normais são polidispersas por natureza, ou seja, são ejetadas sem uniformidade. O espirro e a fala liberam partículas principalmente $<1 \mu\text{m}$, e a tosse libera partículas maiores, tipicamente $<10 \mu\text{m}$ [6].

De acordo com a Organização Mundial da Saúde, aerossóis respiratórios que carregam algum vírus, como o SARS-COV-2, podem se estabelecer no ar por um período de até três horas, o que leva a percorrer viagens de longa distância. De acordo com [5], esse período de tempo que um aerossol pode permanecer suspenso no ar depende diretamente do tamanho da partícula, da umidade relativa e das possíveis trocas de ar interno do ambiente. Por essa razão, a OMS chegou a fazer alterações na distância social segura ideal, a qual hoje é padronizada

em 2 m de distância entre uma pessoa e outra. Todavia, existem estudos que argumentam que uma distância ainda maior do que 2 m seria mais adequada para essa proteção [8].

Na transmissão de doenças infecciosas respiratórias, existem duas formas de propagação, que são: os contatos diretos e indiretos. Isso ocorre dentro de qualquer local fechado, especialmente em uma sala de aula. No contato direto, as gotículas contendo o vírus que saem da boca e do nariz da pessoa possivelmente infectada durante a tosse, espirro e fala precisam apenas de um contato próximo para serem transportadas. Já no contato indireto, gotículas são transmitidas das superfícies, como as carteiras ou janelas, para as pessoas presentes na sala. Muitos são os parâmetros que devem ser levados em consideração para simular a dispersão e deposição das gotículas expiratórias por meio da dinâmica dos fluidos computacional (CFD). Esses parâmetros são: [7]

- Taxa de fluxo de tosse ou espirro;
- Direção de tosse ou espirro;
- Área da entrada das partículas (boca);
- Posição da entrada das partículas.

2.2 Equações governantes

O transporte das partículas expelidas no aerossol no interior de um volume de controle é afetado especialmente por forças inerciais devido ao arrasto da partícula, sedimentação gravitacional e ao fluxo de ar. Os esforços que atuam sobre uma partícula dependem do tamanho da partícula e de sua posição no escoamento [6], além do tempo de sedimentação dos aerossóis. O tempo de sedimentação dos aerossóis pode chegar a várias horas e seu comportamento no ar é próximo ao de um gás [4].

A modelagem e análise comportamental da simulação da injeção de partículas em ambiente de sala de aula foi realizada numericamente por meio do auxílio do software Ansys Fluent, que utiliza o método dos volumes finitos para solução das equações governantes. Um escoamento Euler-Lagrange é resolvido, em que a fase contínua é regida pela Eq. de conservação da massa

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \quad (1)$$

e pela eq. de conservação da quantidade de movimento

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial (u_j u_i)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\nu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right], \quad (2)$$

onde ρ é a massa específica do fluido, p a pressão, ν a viscosidade cinemática do fluido e u, v e w as componentes longitudinal, normal e transversal da velocidade, respectivamente. E a Eq. da continuidade é

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_j} = 0. \quad (3)$$

A fase discreta é regida pela Eq. de transporte de partículas

$$\frac{d\vec{u}_p}{dt} = F_D(\vec{u} - \vec{u}_p) + \frac{\vec{g}(\rho_p - \rho)}{\rho_p} + \vec{F}, \quad (4)$$

onde u é a velocidade do fluido, u_p a velocidade da partícula e ρ_p a massa específica da partícula. F é a aceleração adicional (força/massa unitária da partícula) e F_D equivale a força de arrasto por unidade de massa da partícula, sendo

$$F_D = \frac{18\mu}{\rho_p d_p^2} \frac{C_D R_{ep}}{24}, \quad (5)$$

$$R_{ep} \equiv \rho d_p \frac{|\vec{u} - \vec{u}_p|}{\mu}. \quad (6)$$

Em que R_{ep} é o número relativo de Reynolds da partícula, d_p é o diâmetro da partícula e μ é a viscosidade molecular do fluido.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

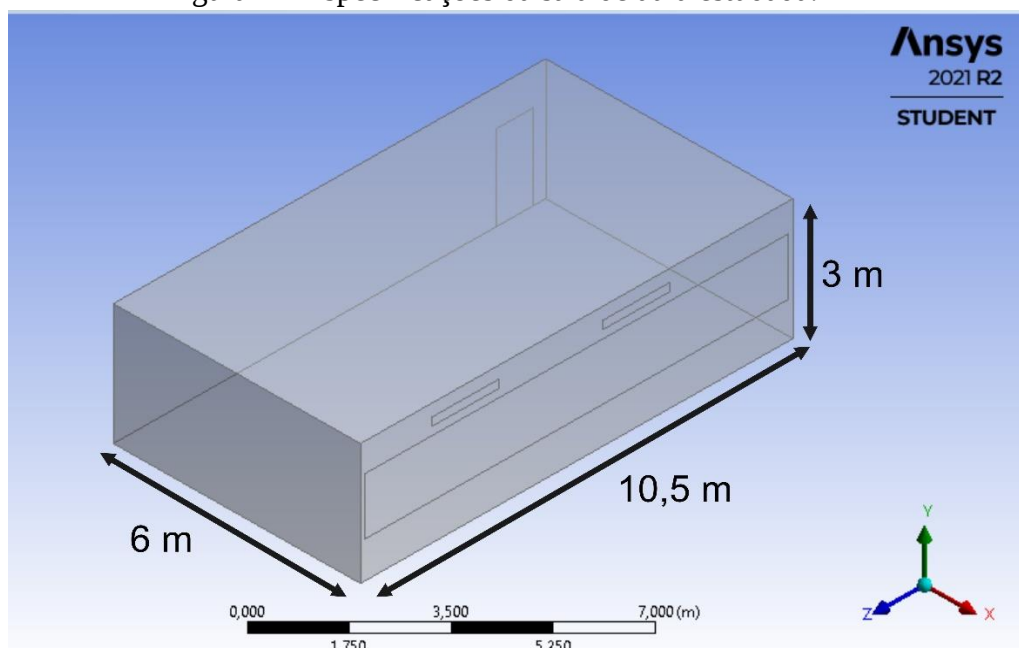
Nesta seção estão expostas as etapas seguidas no desenvolvimento do presente modelo: obtenção do domínio, determinação da malha, modelagem do problema e obtenção do perfil do comportamento das partículas.

Foi analisado um ambiente de sala de aula da UFERSA considerando a porta aberta, janelas fechadas e aparelho de ar condicionado ligado. Foram adicionadas barreiras de acrílico em cada carteira dos alunos.

3.1. Modelo Físico, Cenários e Condições de Contorno:

Este trabalho investigou o transporte e a dispersão de gotículas contendo vírus Sars-CoV-2 gerados pelo espirro em uma sala de aula com alunos. Foi desenvolvido uma geometria base de uma sala de aula, baseando-se em uma das salas de aula da UFERSA – Campus Mossoró. As dimensões e as especificações da sala são apresentadas na Fig. 1. A sala foi representada pelo domínio com dimensões de 6 x 10,50 x 3 m. O modelo possui duas entradas de ar a 2,50 m do solo representando as unidades evaporadoras dos ares-condicionados com dimensões 1,63 x 0,20 m; uma porta com 2,10 x 0,90 m que permite a livre saída dos fluxos de ar e partículas; as paredes e a janela, com dimensões de 1,40 x 10,30 m e 0,90 m de peitoril, são fixas e prendem as partículas que se depositam sobre elas.

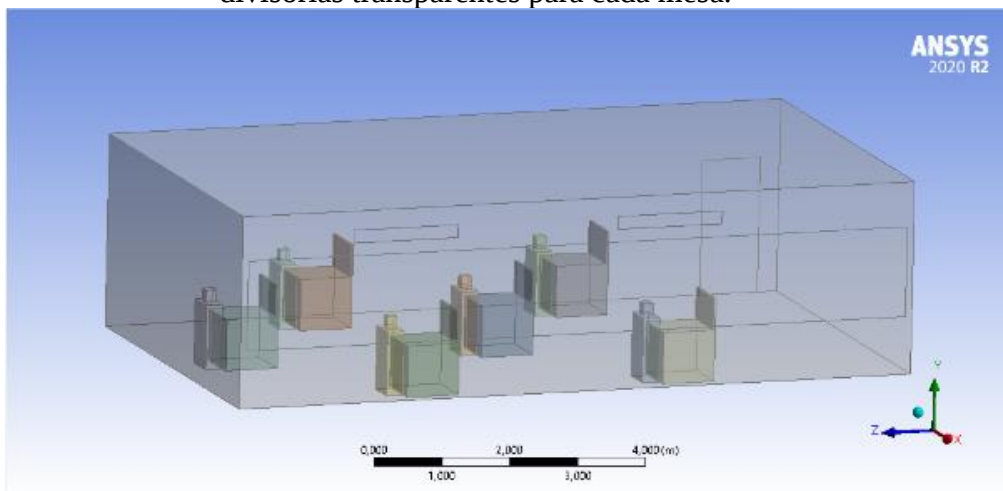
Figura 1 – Especificações da sala de aula estudada.



Fonte: Autoria Própria (2021)

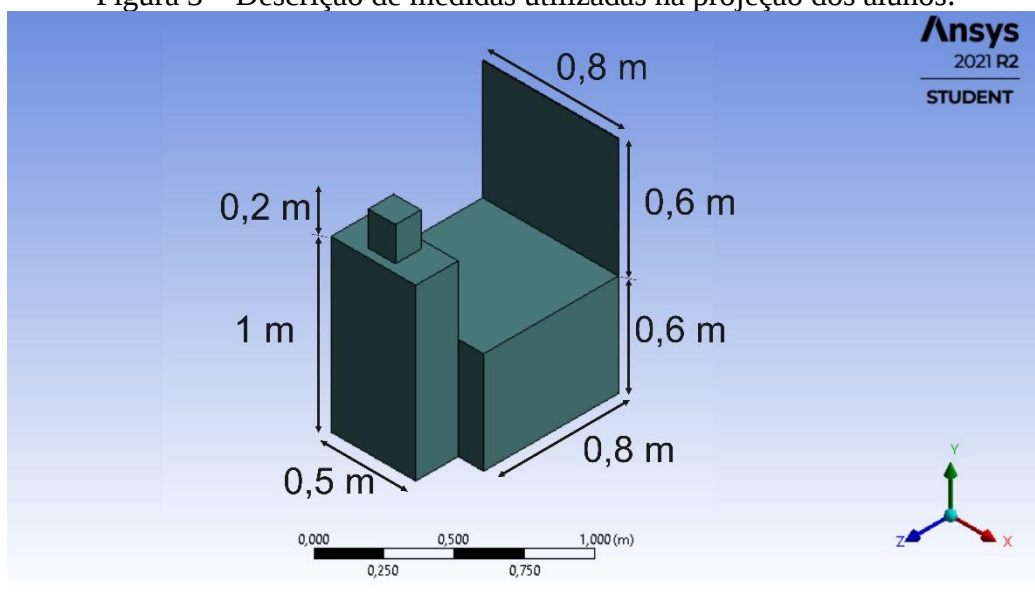
O domínio computacional foi aprimorado, sendo modelado uma classe composta por seis alunos em diferentes posições. A Fig. 2 mostra a sala de aula integrada com os alunos e suas carteiras com divisórias transparentes para cada mesa. Eles foram representados por blocos paralelepípedicos caracterizando o corpo, e blocos cúbicos representando a cabeça. No modelo não foi detalhado a cadeira que o aluno senta, apenas a altura foi considerada como de uma pessoa de estatura mediana sentada. A mesa da carteira também foi reproduzida em forma de bloco com medida de 0,80 x 0,80 x 0,60 m. As divisórias de acrílico de cada carteira foram acopladas nas mesas, cuja dimensão é de 0,8 x 1 m e espessura de 0,25 m. A Fig. 3 apresenta as medidas utilizadas na modelagem dos alunos, da mesa e da placa de acrílico. O ar de ventilação é fornecido por uma entrada na parede lateral da sala e sai pela porta aberta. A distância lateral entre cada aluno é de 1,8 m, e distancia frontal de 2,5 m que é maior do que a distância de separação recomendada de 2 m para a prevenção da Covid-19. A Fig. 4 apresenta a sala de aula com as carteiras em uma vista superior.

Figura 2 – Modelo 3D da sala de aula integrada com os alunos e suas carteiras com divisórias transparentes para cada mesa.



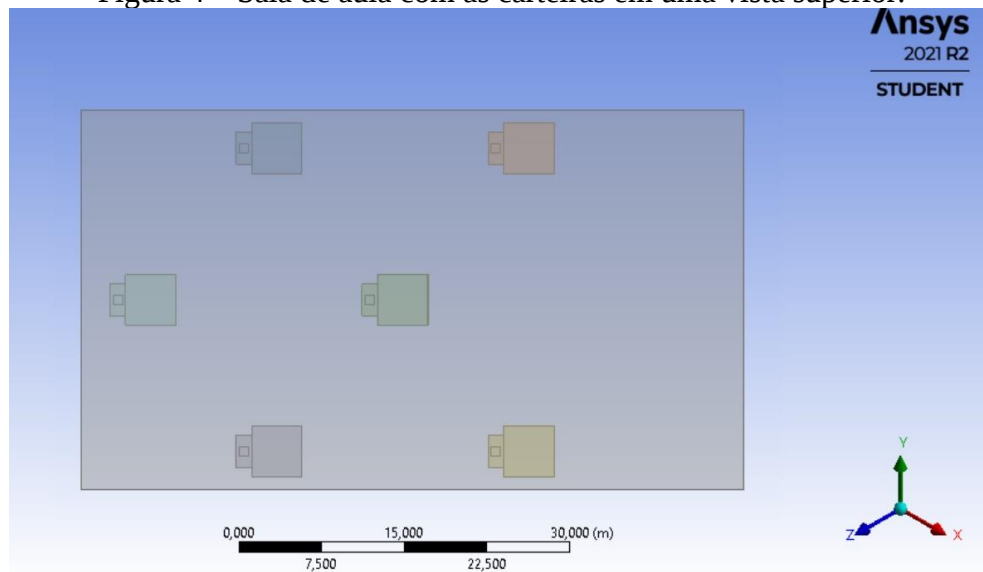
Fonte: Autoria Própria (2021)

Figura 3 – Descrição de medidas utilizadas na projeção dos alunos.



Fonte: Autoria Própria (2021)

Figura 4 – Sala de aula com as carteiras em uma vista superior.



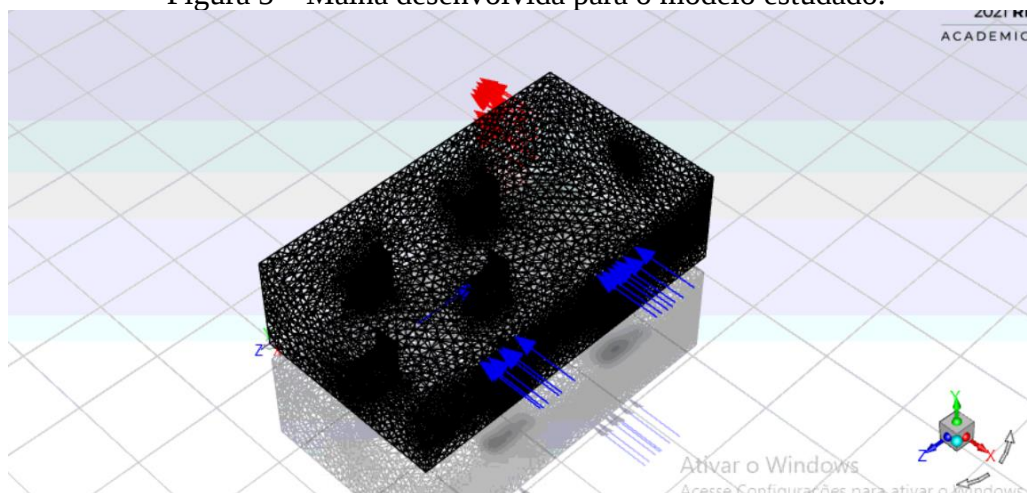
Fonte: Autoria Própria (2021)

Neste estudo, foram considerados dois cenários para o modelo físico, alterando a fonte de injeção das partículas. O primeiro cenário é constituído por uma pessoa infectada com Covid-19 em pé e sem máscara na frente da classe, supostamente o professor, que logo espirra e expulsa as gotículas infectadas pelo vírus no ambiente da sala. Um pequeno orifício na parede ortogonal à porta é responsável pela injeção de partículas, representando a região do nariz e boca do professor, presumindo-se que tenha 1,65 m de altura e um formato circular, da boca, com diâmetro de 0,01 m. A fonte desse caso se encontra a uma distância frontal de 2,5 m até a primeira fileira. No segundo cenário, a fonte de partículas foi colocada em um aluno no meio da turma, também assumindo não estar usando máscara. A superfície da boca foi representada por uma forma circular, igual a que representa a boca do professor, com diâmetro de 0,01 m, onde através dessa as partículas são injetados no sistema. Foi considerado no modelo uma aceleração gravitacional de $9,81 \text{ m/s}^2$ no sentido negativo do eixo Y.

3.2. Malha

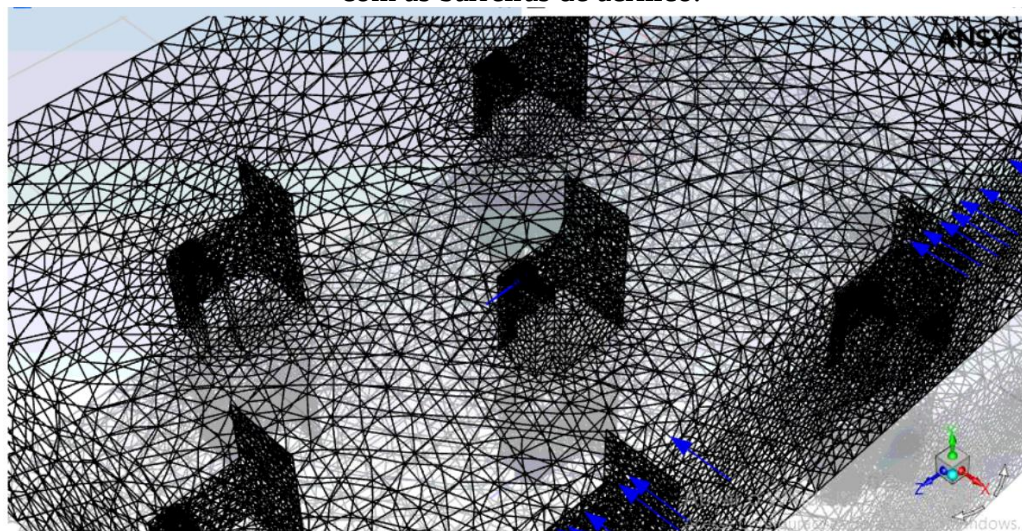
A malha computacional, representada na Fig. 5, contendo aproximadamente 200 mil volumes tetraédricos, baseando-se que esse modelo causa menos erros de simulação, foi gerada a partir do domínio computacional representado na Fig. 2. Ainda na Fig. 5 pode ser observado a região de entrada de ar e saída de ar, bem como os refinamentos localizados próximos aos alunos e ao professor. A Fig. 6 apresenta as mesas e estudantes na sala de aula, juntamente com as barreiras de acrílico.

Figura 5 – Malha desenvolvida para o modelo estudado.



Fonte: Autoria Própria (2021)

Figura 6 – Refino da malha na área das mesas e estudantes na sala de aula, juntamente com as barreiras de acrílico.



Fonte: Autoria Própria (2021)

3.2. Injeção das partículas

As especificações da injeção de partículas do estudo foram definidas dentro do software utilizado, onde o modelo de fase discreta é empregado com o objetivo de associar as características do aerossol proposto ao domínio das partículas expiratórias reais. A simulação dispõe-se e aplica-se uma abordagem Euler-Lagrange para caracterizar a mistura multifásica gás-líquido, utilizando-se o modelo de dispersão para modelar a fase contínua e o modelo de fase discreta.

As partículas investigadas possuem formato esférico e são injetadas aleatoriamente com uma velocidade de 10,60 m/s durante o período de 1 s conforme o modelo de distribuição Rosin-Rammler [9], o caracteriza um episódio de espirro. Essa injeção acontece em uma faixa de 10 diâmetros de partículas, variando entre 1 e 10 μm , configuração sugerida pelo próprio software. As partículas possuem densidade de 998,2 kg/m^3 , a qual foi aproximada com a densidade da água. O passo de tempo utilizado na modelagem do sistema foi de 5e-4 s [3].

A solução conta com a ventilação do ambiente através dos dois ar condicionados, em uma velocidade constante da entrada de ar de 0,1 m/s.

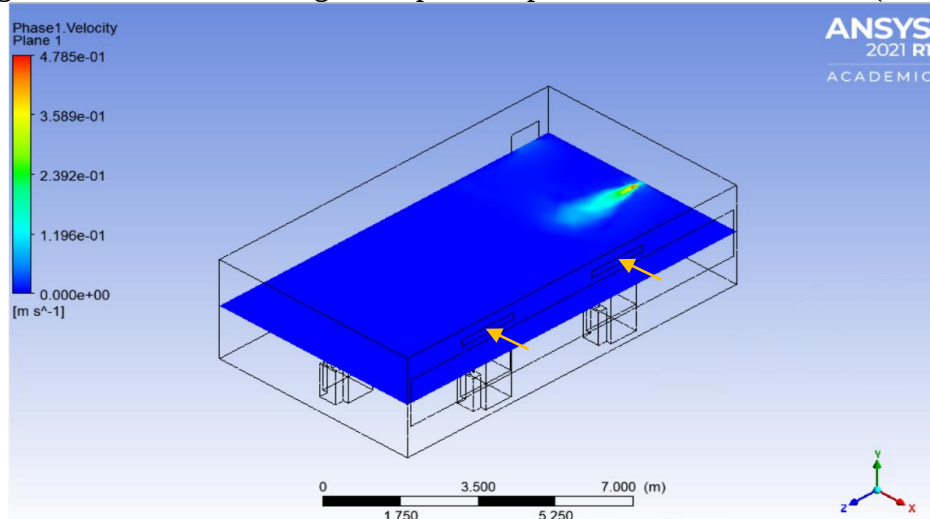
4. RESULTADOS

Com base na metodologia descrita, os resultados da simulação numérica nos permitem visualizar o comportamento das partículas no ambiente da sala de aula de forma qualitativa.

4.1 Caso 01 (Professor como fonte das partículas):

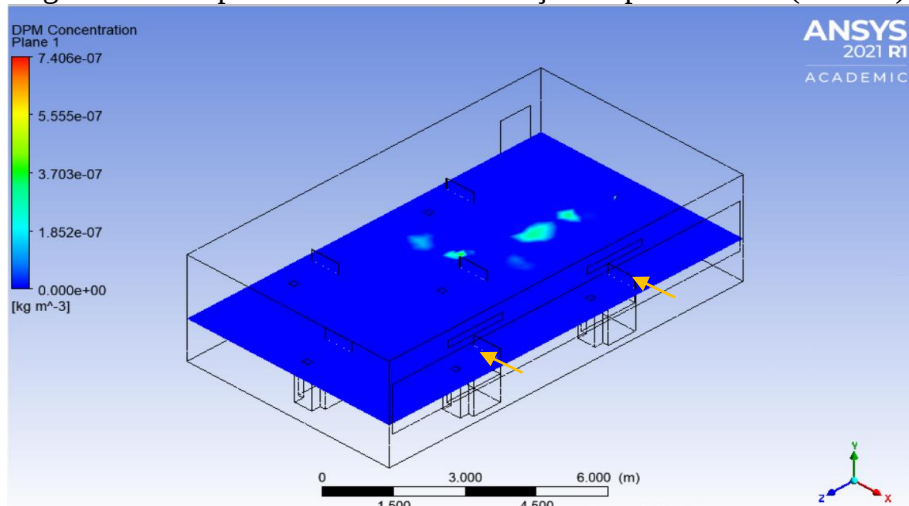
No primeiro caso pode-se observar o fluxo de partículas seguindo uma trajetória direta e rápida, sendo a injeção feita em um período de apenas um segundo, rumo a turma e se espalhando sobre os alunos, principalmente os da primeira fileira, que acabam sendo mais expostos nesse âmbito. Essa trajetória pode ser visualizada na Fig. 7. A concentração dessas partículas pode ser vista na Fig. 8, através de um plano traçado na altura média do nariz dos alunos. Esse comportamento pode ocorrer devido a localização da fonte estar em uma área de pouca ventilação, tendo em vista que após o período de 60 s as partículas podem ser vistas suspensas próximas à primeira fileira, mesmo existindo uma saída para circulação do ar através da porta aberta. Uma pequena concentração de partículas pode ser notada também na região da segunda fileira, evidenciando que as partículas conseguem se manter suspensas e atingir diferentes partes do ambiente em pouco tempo.

Figura 7. Transmissão das gotas espirradas pela fonte em frente a sala ($t = 1$ s).



Fonte: Autoria Própria (2021)

Figura 8 – Comportamento da concentração de particulados ($t = 60$ s).



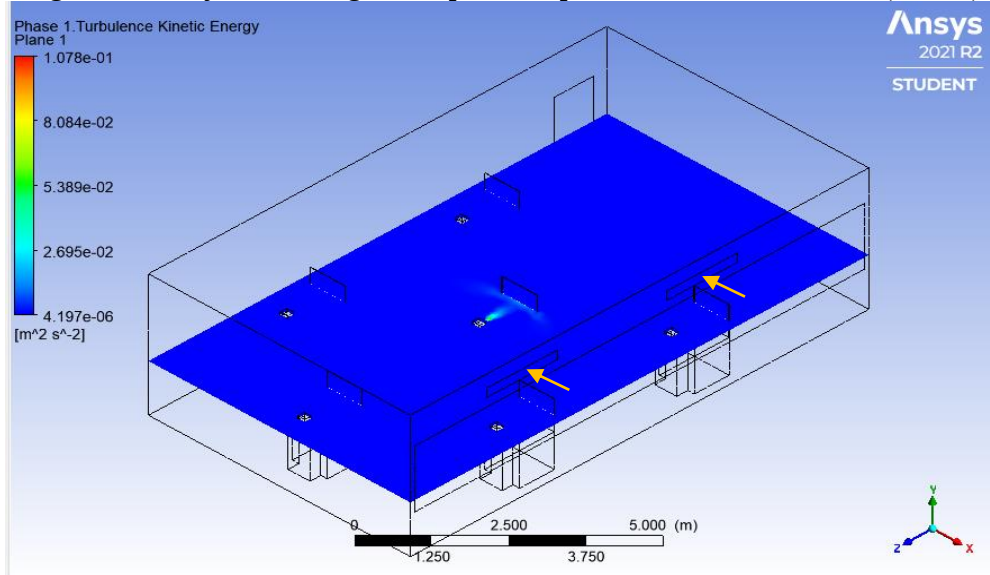
Fonte: Autoria Própria (2021)

É importante também frisar que mesmo com o uso das placas de acrílico acopladas em frente à carteira do estudante, a concentração das partículas emitida não escoar de forma direta e ortogonal a essa placa, pois o fluxo de partículas simulado tem comportamento aleatório, o que faz algumas nuvens de particulados conseguirem passar para a área do aluno e se depositar sobre a placa, sobre a carteira ou mesmo na pessoa sentada.

3.2. Caso 02 (Aluno na fileira central como fonte das partículas):

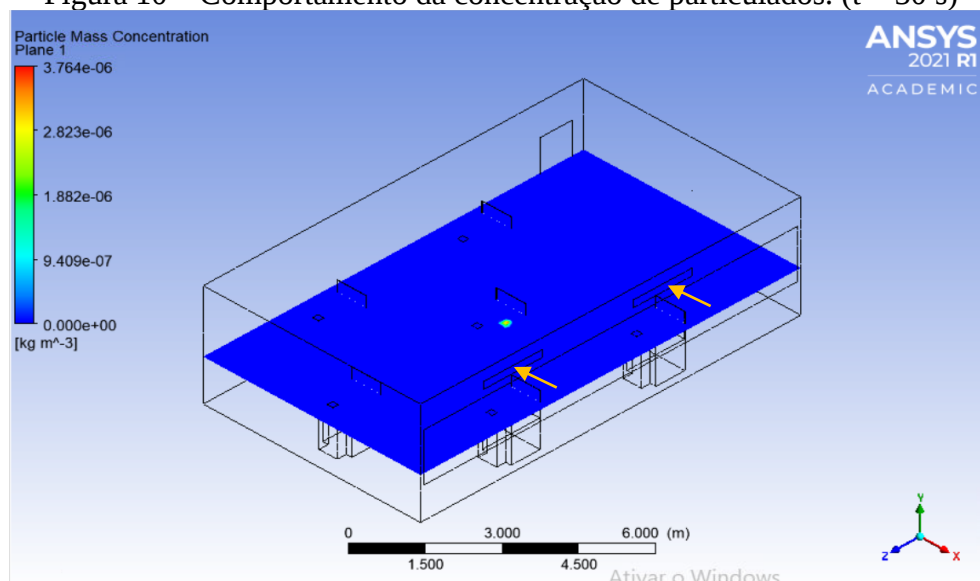
Resultados para o Caso 02 mostrando a trajetória das partículas emitidas podem ser visualizados na Fig. 9, onde observou-se que ao expelir o fluxo infectado, essas partículas atingem a placa de acrílico e a maior parte delas se movimenta apenas no ambiente da carteira onde ocorreu a origem do espirro. Isso provavelmente acontece pelo fato da barreira feita pela placa delimitar uma distancia pequena até a origem da injeção de partículas, e fazer com que essa trajetória seja parcialmente interrompida, julgando-se que a superfície da placa é fixa e prende essas partículas que se depositam sobre elas. No entanto, na concentração das partículas desse caso, apresentada na Fig. 10, nota-se que ainda há uma nuvem de particulados, parte do fluxo emitido, que se mantém em suspensão no ar, e possibilitando então o seu escoamento para as fileiras próximas à região central, como mostra na Fig. 11. Isso ocorre devido a barreira de acrílico limitar o escoamento apenas à frente da pessoa, e deixar o trajeto livre pelas laterais, fazendo com que as partículas tenham, hipoteticamente, uma rota de fuga em um período curto de tempo. Pode-se observar na figura 11, que no período de 60 s a nuvem de concentração de partículas já se encontra próxima a região lateral da sala.

Figura 9. Trajetória das gotas espirradas pela fonte entre a classe. ($t = 1$ s)



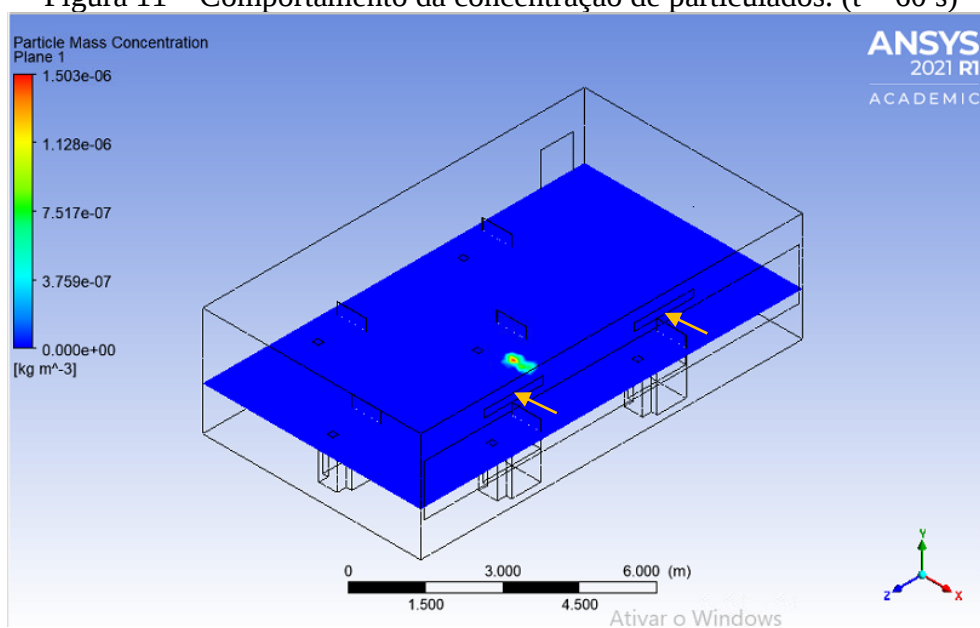
Fonte: Autoria Própria (2021)

Figura 10 – Comportamento da concentração de particulados. (t = 30 s)



Fonte: Autoria Própria (2021)

Figura 11 – Comportamento da concentração de particulados. (t = 60 s)



Fonte: Autoria Própria (2021)

Os dois casos estudados mostram a transmissão das gotas espirradas que foram produzidas da boca de um indivíduo presente em cada evento, por um período de 1 s durante sua permanência. A partir dos resultados, nota-se que as gotas podem ser transportadas para várias direções da sala, mas na sua maioria alcança o indivíduo próximo que está na distância indicada de 1,8 m. Nota-se que as placas protetoras conseguem reduzir consideravelmente a transmissão de aerossol entre os alunos, porém estas não eliminam completamente a transmissão de partículas entre a classe e sua eficácia na verdade depende da localização da fonte dentro da sala de aula.

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho investigou a injeção e trajetória do aerossol e a concentração partículas supostamente infectadas com o vírus em um ambiente de sala de aula realista

usando simulações computacionais. O modelo composto por uma sala de aula que inclui seis alunos e uma representação do professor pôde ser desenvolvido e analisado de maneira próxima à realidade. O comportamento do escoamento e a distribuição de partículas no ar foram investigados, criando e implementando um modelo numérico que se aproxima das condições de espirro humano. Como um estudo inicial, resultados preliminares puderam ser obtidos para as condições do caso estudado, o que mostram o potencial do modelo em estudar casos mais avançados.

Com os resultados obtidos, foi possível observar qualitativamente, como as partículas emitidas por um espirro podem se espalhar na sala de aula, podendo alcançar e possivelmente infectar várias pessoas presentes no mesmo ambiente, percebendo que as regiões mais críticas de acúmulo dessas partículas suspensas é justamente as áreas próximas a fonte de injeção, e muitas vezes vencendo a distância recomendada pela OMS de 2 m.

Dessa forma, faz-se necessário a revisão das medidas de segurança mais eficazes para mitigação do contágio nas condições do ambiente de sala de aula. Um ponto que deve ser levado em consideração é que a distribuição do aerossol na sala não é uniforme e, mesmo com apenas 6 alunos na sala e uma distância de 1,8 m lateral e 2,5 m frontal entre os alunos, a nuvem de partículas é transmitida em quantidade significativa entre a classe e as superfícies da sala. Esse fato evidencia que há a necessidade de conscientização dos indivíduos para a higienização constante das mãos, mesmo que tenha contato exclusivamente com seus próprios pertences. As proteções frontais das carteiras reduzem a transmissão do aerossol de um aluno para outro e sugere-se o uso das mesmas, no entanto a sua eficácia depende da localização da fonte. Além disso, no modelo do projeto essas proteções foram admitidas como uma placa em frente ao aluno, mas seria mais eficaz um formato em U, protegendo também as laterais do ambiente de cada aluno.

Por fim, este estudo está sujeito a muitas limitações, sendo necessária a pressuposição da deposição de partículas de aerossol em contato com as superfícies sólidas. Limitou-se também a visualização com as janelas abertas, mesmo presumindo-se que esse fato reduziria a concentração de partículas no meio. Os resultados deste trabalho devem ser interpretados no contexto do layout e distribuição dos alunos apresentados, pois outras salas de aula podem utilizar padrões de layout da sala diferentes e exigir investigações de transporte de aerossol sob medida para a sala de aula específica.

REFERÊNCIAS

- [1] ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE et al. Transmissão de SARS-CoV-2: implicações para as precauções de prevenção de infecções: resumo científico, 09 de julho de 2020 . Organização Mundial da Saúde, 2020
- [2] DUELL, Finn F. et al. The impact of large mobile air purifiers on aerosol concentration in classrooms and the reduction of airborne transmission of SARS-CoV-2. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 18, n. 21, p. 11523, 2021.
- [3] MIRZAEI, Mahshid et al. COVID-19 spread in a classroom equipped with partition—A CFD approach. *Journal of Hazardous Materials*, v. 420, p. 126587, 2021.
- [4] ROSTI, M. E. et al. Fluid dynamics of COVID-19 airborne infection suggests urgent data for a scientific design of social distancing. *Scientific reports*, v. 10, n. 1, p. 1-9, 2020.
- [5] KOHANSKI, Michael A.; LO, L. James; WARING, Michael S. Review of indoor aerosol generation, transport, and control in the context of COVID-19. In: *International forum of allergy & rhinology*. 2020. p. 1173-1179.
- [6] MOHAMED ABUHEGAZY, Mohamed et al. Numerical investigation of aerosol transport in a classroom with relevance to COVID-19. *Physics of Fluids*, v. 32, n. 10, p. 103311, 2020.

- [7] KOTB, Hassan; KHALIL, Essam E. Sneeze and cough pathogens migration inside aircraft cabins. *Energy*, v. 2, n. 4, 2020.
- [8] POLYZOIS, Panayiotis; THOMPSON, Shirley. Practical Mitigation Strategies for Countering the Spread of Aerosolized COVID-19 Virus (SARS-CoV-2) Using Ventilation and HEPA Air Purifiers: A Literature Review. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, v. 9, n. 9, p. 166-197, 2021
- [9] BUSCO, Giacomo et al. Sneezing and asymptomatic virus transmission. *Physics of Fluids*, v. 32, n. 7, p. 073309, 2020.