

USO DE SIMULAÇÃO CFD PARA ORIENTAR SOLUÇÕES
DE PROJETO EM DATA CENTERS

Lucas Cavalcante Magalhães – lucascmagalhaes01@gmail.com

Marco Aurélio Ceylão de Meneses Silva – marcoceylao@gmail.com

João Manoel Dias Pimenta – pimenta@unb.br

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Mecânica, www.unb.br

A2 - Aplicações Industriais e Especiais

Resumo. O uso de simulações CFD se tornou presente na análise do funcionamento de Data Centers a fim de avaliar o funcionamento e a eficiência energética dessas instalações. O presente trabalho busca introduzir o conceito de computational fluid dynamics (CFD), e revisar contribuições de estudos sobre esse tipo de simulação em Data Centers, tendo em vista a importância que os processamentos digitais e os sistemas de armazenamento têm na contemporaneidade. Além disso, foram abordados alguns parâmetros relevantes de estudo e de comparação entre eles, como o supply heat index (SHI) e o return temperature index (RTI). Depois, elaborou-se um exemplo de modelo para verificar a influência do confinamento dos servidores na distribuição dos campos de temperatura e velocidade, onde foram encontrados melhores índices para o caso enclausurado, mas ainda acima das faixas recomendadas. Por meio do campo de temperatura, foi possível identificar zonas em que a segurança operacional não é garantida nos casos estudados, porém, com uma região significativamente maior para o caso enclausurado, uma possível consequência do efeito Venturi, que ainda assim é contrária ao esperado.

Palavras-chave: Data center, Simulação, CFD

1. INTRODUÇÃO

Um data center (DC) é um ambiente projetado para acomodar servidores, sistemas de armazenamento, dispositivos de rede e outros componentes essenciais da tecnologia da informação (TI). Sua criação foi uma consequência da demanda global sobre o crescimento exponencial da indústria digital a partir do fim da Segunda Guerra Mundial. Desde então, um dos desafios que surgiu com a evolução da demanda de capacidade de processamento foi o controle da temperatura para o funcionamento adequado dos processadores, tendo em vista a intensa geração de calor presente nessas instalações. Conforme o aumento do custo da energia elétrica, demandou-se o estudo e o investimento em sistemas de ar-condicionado e, conseqüentemente, a otimização do uso da energia virou pauta em diversos centros de pesquisa ao redor do mundo.

Especialmente nos últimos anos, a necessidade de instalações de processamento de dados aumentou consideravelmente, de modo que o consumo de empresas detentoras dos maiores DCs do mundo (Amazon, Google, Microsoft e Meta) mais que dobrou entre 2017 e 2021 (International Energy Agency, 2023). Nesse sentido, os data centers passaram a representar a coluna vertebral do mundo globalizado, sendo a base da computação na nuvem, de inteligências artificiais e de todo sistema financeiro internacional. Isso reflete no aumento do número de prédios e salas, no aumento da quantidade de ar-condicionado e em maiores quantidades de energia, e tudo isso se resume a maiores investimentos. Nesse contexto, conforme Statista (2023), em 2021 a receita global do mercado de data centers passou de 50 bilhões de dólares, e espera-se que esse valor alcance 136 bilhões de dólares até 2028. Apenas no Brasil, é previsto que este mercado continue a crescer e alcance valores superiores a seis bilhões de dólares até 2027. Somente São Paulo recebeu mais de US\$ 295 milhões em investimento no setor em 2020 (Data Centre Magazine, 2021).

Uma parcela significativa do custo total associado é atribuída ao consumo energético, e, a depender do equipamento de TI, os sistemas de resfriamento compõem cerca de 24% - 60% do total de energia consumida pelo DC (Asgari et al. 2021). Assim, ineficiência no gerenciamento dos campos de temperatura e nas trocas de calor de todo o sistema levam ao desperdício energético e a maiores custos de operação.

Dessa maneira, como método de análise do funcionamento de data centers, o uso de simulações CFD é adotado como ferramenta. Esse tipo de simulação trabalha com a discretização do domínio de um modelo computacional do DC, e a partir disso, juntamente com validações experimentais, é possível tomar melhores decisões de projeto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O estudo de DC por meio de métodos CFD não é novidade, possuindo trabalhos relevantes desde antes do ano 2000, e nesta revisão são apresentados os trabalhos mais relevantes ao estudo de DC por meio de CFD. Existem diversos outros tópicos estudados, como a disposição do espaço interno em corredores, o enclausuramento desses corredores e a utilização de plenums. Além disso, recentemente trabalhos sobre a utilização de líquidos para a troca de calor com os componentes eletrônicos vem ganhando relevância devido aos elevados coeficientes de troca de calor.

Kang et al. (2001) concluíram que o volume do plenum pode ser tratado como uniformemente pressurizado para a maioria dos DCs convencionais. Ressaltaram na análise a importância do fluxo através das placas perfuradas para atender às demandas de refrigeração, pontuando a relevância de se analisar corretamente esses componentes em métodos CFD. No entanto, os autores também comentam na demanda computacional para uma análise mais rigorosa das placas perfuradas.

Por meio da análise dinâmica de fluidos computacional (CFD), Magnus Herrlin (2006) desenvolveu parâmetros para melhor avaliar o funcionamento dos DCs. O RCI, Rack Cooling Index, indica a climatização dos equipamentos de TI e o RTI, Return Temperature Index mensura a performance do gerenciamento de ar do sistema de climatização.

Singh et al. (2010) publicaram um estudo indicando que a vedação dos espaços entre os equipamentos de TI é recomendada, posto que pode acarretar em uma redução de até 20% do gasto energético do sistema de climatização. Aprofundando no tema de análises computacionais para DCs, N.M.S Hassan et al. (2013) realizaram um monitoramento dos parâmetros de um DC por meio de uma análise CFD, especificamente sobre o fluxo de ar, a temperatura e a distribuição de pressão desse DC localizado na CQUniversity, Austrália. A preocupação desse estudo se baseia no desenvolvimento de métodos de refrigeração mais eficientes e efetivos, objetivando a melhora do controle do fluxo de ar dentro do DC, tendo conhecimento das ilhas quentes e frias. Além disso, a metodologia deles segue as diretrizes da ASHRAE, como as recomendações de temperatura de entrada, e utilizam como ferramenta o software CoolSim para prever as estratégias de otimização de controle de temperatura e eficiência energética.

Além disso, Zhihang Song et al. (2013) desenvolveram um modelo alternativo à simulação tradicional em CFD por meio da introdução de uma rede neural, de modo a otimizar o processo computacional para possivelmente integrar o método a uma avaliação em tempo real de DCs. Além disso, propõem uma aplicação baseada em um controlador PID (proporcional integral derivativo) para controlar a entrada de ar frio mais precisamente. Os resultados mostrados são bons, mas sugerem ainda melhorias em partes específicas do modelo desenvolvido, como o próprio chão perfurado.

Nada et al. (2016) por meio de simulações CFD (Ansys Fluent) concluíram que a arquitetura e escolha dos locais das ilhas de calor influenciam na performance energética do sistema de refrigeração. Ademais, pôde-se concluir que a recirculação de ar quente e o bypass de ar frio representam problemas sérios para a eficiência da operação. Neste trabalho, os parâmetros SHI/RHI e o RTI/RCI são usados como ponto de comparação. Além disso, o modelo criado usou superfícies porosas para simular a entrada de ar pelo plenum. Foi concluído que o uso do enclausuramento do corredor firo melhora os índices.

Um trabalho de validação computacional por meio de experimentos foi apresentado por Wibron et al. (2018) tendo como foco principal a análise de modelos de turbulência mais complexos por meio da ferramenta Ansys Fluent. Obtiveram bons resultados comparativos entre os dados coletados e os simulados, o que corrobora com a precisão do modelo e da simulação CFD.

Ahmadi e Erden (2020) também incluem validação experimental para previsão de temperaturas em um DC. Neste trabalho, fazem comparações pontuais entre diferentes métodos de simulação, e entre diferentes modelagens, com destaque para análise de performance para DCs com alturas diferentes de plenum.

De modo geral, os estudos entendem que o "estado da arte" do sistema de climatização dos DCs ainda utiliza o ar como fluido para troca de calor. Já existem estudos sobre a utilização de líquidos sintéticos para a troca de calor com os equipamentos de TI, que, por mais promissora que seja, ainda não possui uso comercial devido a simplicidade, confiabilidade e baixo custo de manutenção do sistema de refrigeração à ar (Asgari et al., 2021).

Dessa forma, o uso de ferramentas CFD na análise do desempenho de DCs continua sendo relevante, permitindo analisar de forma quantitativa e qualitativa e, em alguns casos, até prever o desempenho do sistema de climatização dessa área, onde é crítica a necessidade da segurança de operação.

3. FERRAMENTAS CFD PARA DCs

Neste tópico são abordados brevemente os conceitos relevantes à solução do problema por meio da ferramenta CFD, como as equações governantes e a definição das condições de contorno. Além disso, é apresentada também uma comparação entre os *softwares* mais populares para o uso de CFD em DCs.

3.1 Conceitos relevantes

O estudo do escoamento dentro da análise CFD é obtido por meio da análise de três equações governantes: a conservação da massa, do momento e da energia. Junto das equações, é necessário que ocorra a discretização do problema, que consiste em transformar o domínio do fluido contínuo em um domínio de elementos menores, onde é possível resolver as equações governantes de maneira discreta. Esses elementos que discretizam o domínio definem a malha do modelo, a qual pode apresentar diferentes características e influenciar diretamente o resultado da simulação. O preparo da simulação é feito inserindo no *software* as condições de contorno do problema, definidas nas superfícies do volume de controle. Além disso, é preciso definir o regime de solução do problema (transiente ou permanente), o modelo de turbulência a ser usado e a quantidade de iterações a serem realizadas, ou a variação mínima do resultado necessária para se considerar que foi atingida a convergência.

3.2 Softwares disponíveis para análise CFD de DCs

Dentre as opções para análise CFD em data centers, pode-se destacar o Ansys Fluent, OpenFoam, CoolSim e SimScale CFD. O primeiro, Ansys Fluent é o mais comum dentre os estudos feitos, sendo um programa que apresenta boa proximidade dos valores obtidos pela simulação comparados com os valores medidos experimentalmente (Wibron et al, 2018) e possui uma interface que facilita sua utilização. No entanto, é necessária uma licença comercial para seu uso, e a aplicação aqui está restrita à sua versão acadêmica. Devido à popularidade, conta com grande disponibilidade de material de ensino disponível gratuitamente na internet.

OpenFoam é um programa *opensource* e, portanto, é possível utilizá-lo sem nenhum custo. Possui uma versão profissional que é lançada semestralmente, e seu código é constantemente revisado pela equipe. Sua *interface* de utilização é menos amigável do que as dos demais programas citados, mas ainda assim, é um programa popular dentre os estudos feitos contando com comunidades em fóruns ativas.

CoolSim é um software desenvolvido especificamente para a análise de CFD em DCs. Sendo assim, possui alguns recursos voltados para a análise não encontrados nos demais, desde modelos existentes da infraestrutura de um DC até indicadores da performance do DC nos resultados. Outro diferencial é o processamento de dados externo ao computador do usuário, mas, assim como o ANSYS, é um programa que possui licença comercial.

Por fim, SimScale CFD é um programa que roda no navegador do computador, exigindo praticamente nenhuma capacidade de processamento do *hardware* do usuário, possui também algumas ferramentas para simplificar a modelagem CAD e conta com desenvolvimento de uma inteligência artificial para auxiliar em diversas etapas do processo de simulação. É preciso uma licença para sua utilização e, para os estudantes, é possível aplicar para uma licença acadêmica assim como no Ansys Fluent.

4. ÍNDICES RELEVANTES

Com a finalidade de apresentar análises mais objetivas numericamente, parâmetros de eficiência são criados para análise, os quais são utilizados como pontos de comparação entre diferentes modelos de data center. O PUE (power usage effectiveness) e o CUE (carbon usage effectiveness) são dois índices muito relevantes ao se avaliar o gasto energético de um DC. O PUE é a razão entre o gasto energético total do sistema e o gasto energético dos equipamentos dos servidores, e o CUE é a razão entre a quantidade de CO₂ produzido e o gasto energético total do sistema. Contudo, neste estudo 3 parâmetros de análise térmica foram utilizados como pontos de análise, e são detalhados nas seções a seguir.

4.1 Supply/Return Heat Index (SHI/RHI)

O índice de calor fornecido (supply heat index - SHI) é definido como a proporção entre o calor somado ao ar frio antes de entrar nos *racks* e o ganho de calor total do ar ao passar pelos *racks*. O denominador representa a dissipação de calor efetiva dos processadores. Pode ser escrito como

$$SHI = \frac{\sum_j \sum_i ((T_{in})_{i,j} - T_{ref})}{\sum_j \sum_i ((T_{out})_{i,j} - T_{ref})} \quad (1)$$

onde T_{in} é a temperatura de admissão do *rack*, T_{out} é a temperatura de saída do ar no *rack*, T_{ref} é a temperatura de referência do sistema de refrigeração, e os índices i e j representam as diferentes superfícies de entrada e de saída dos *racks*.

Desse modo, para o caso de valores altos de SHI, sabe-se que a temperatura que chega aos *racks* é alta, inferindo-se a provável presença de muita recirculação de ar quente, o que enfraquece a troca de calor com os processadores. Logo, é um bom índice de eficiência de transferência de calor do sistema. O valor recomendável para o SHI é menor que 0,2 (Nada et al, 2016).

O índice de calor retornado (return heat index - RHI) é o complemento do SHI, e a soma dos dois deve ser igual a 1. Representa a fração entre o calor total retirado pelo sistema de refrigeração e o aumento total de energia ao passar pelos *racks*. Baixos valores de RHI consequentemente também indicam troca de calor entre o ar de saída dos equipamentos com o ar dos corredores frios, também dificultando a eficiência do processo.

4.2 Return Temperature Index (RTI)

O índice de temperatura de retorno (return temperature index - RTI) avalia a eficiência da gestão de temperatura em relação ao ar de retorno. Mostra o desvio da diferença entre as temperaturas de insuflamento e de retorno em relação à diferença de temperatura aferida nos equipamentos. É expresso por

$$RTI = \left[\frac{T_{retorno} - T_{admissão}}{\Delta T_{IT}} \right] \times 100\% \quad (2)$$

onde $T_{retorno}$ é a temperatura de retorno, $T_{admissão}$ é a temperatura de admissão e ΔT_{IT} é a variação da temperatura nos equipamentos

Assim, também indica o nível de recirculação de ar dentro da instalação. Isto é, para RTI maiores que 1, infere-se a existência de recirculação de ar quente e o aumento da temperatura de retorno, já valores menores que 1 indicam o *bypass* de ar frio - e ambos são danosos à eficiência do DC. Idealmente o valor deste fator seria igual a 1, o que indicaria que não há perdas por recirculação de ar. É recomendado que o valor para este índice esteja entre 0,92 e 1 (Nada et al, 2016).

5. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

A metodologia do trabalho se baseia em simulações CFD por meio do *software* Ansys Fluent de diferentes cenários para um *Data Center*. O modelo construído tem seu princípio retirado de Nada et al. (2016), de modo que as dimensões principais, e algumas condições de contorno foram retiradas desse trabalho. Os cenários avaliados se diferenciam em relação à presença ou ausência do enclausuramento do corredor frio do DC.

O data center tem dimensões de 6,71 x 5,49 x 3,00 m, com 14 *racks* separados em duas fileiras, cada um com quatro servidores de tamanho 0,610 x 0,915 x 0,500 m. As dimensões de um *rack* são de 0,610 x 0,915 x 2,000 m. Entre as duas fileiras e entre uma fileira e as paredes do DC existe um espaço de 1,22 m. Para a saída do plenum, são consideradas placas quadradas de 0,60 x 0,60 m. Para a saída de ar do volume de controle, são utilizadas três saídas acima de cada fileira. O modelo pode ser visualizado na Fig. 1, onde evidencia-se a utilização de um plano de simetria.

Os parâmetros de entrada fornecidos pelo trabalho de referência que foram mantidos para este modelo se resumem à vazão total do sistema de refrigeração no plenum e à metodologia de representação da física das placas perfuradas. Isto é, as placas alteram a difusão do ar, e, para acrescentar isso à simulação, seguiu-se a estratégia da adição de uma força sobre um corpo de volume arbitrário elaborado por Abdelmaksoud et al. (2010), onde essa força é dada por

$$F = \frac{1}{V} \rho Q \left(\frac{Q}{\sigma A_{placa}} - \frac{Q}{A_{placa}} \right) \quad (3)$$

em que V é o volume do corpo de força (que é arbitrário), ρ é a densidade do ar, Q é a vazão de ar total através das placas, σ é a razão de abertura da grade e A_{placa} é a área total da placa perfurada. Assim, F é expresso em N/m³.

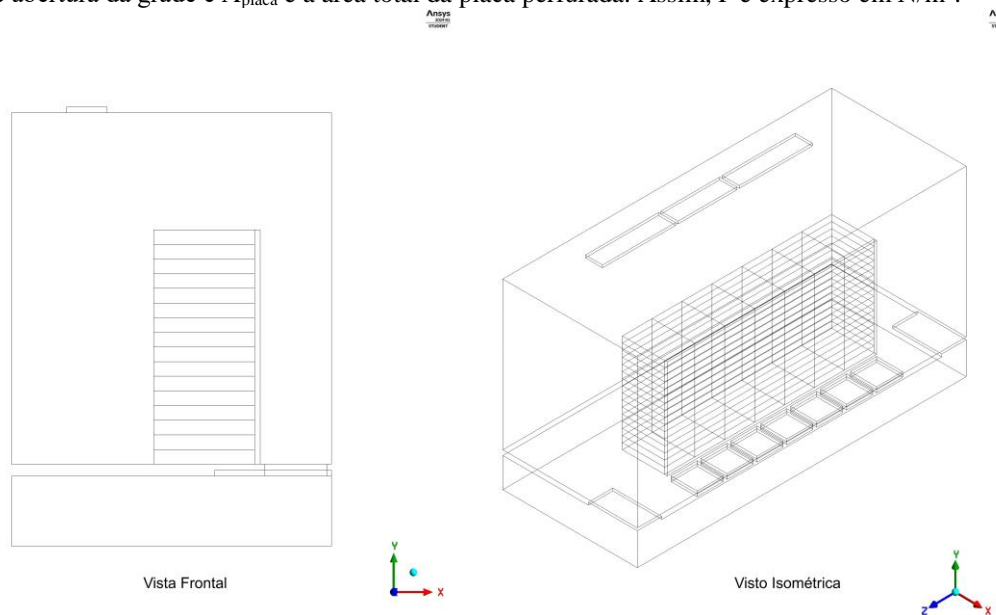


Figura 1. Geometria do Data Center

Além disso, a temperatura de entrada do ar foi definida arbitrariamente como 23°C, tendo em vista a faixa recomendada pela ASHRAE entre 18 a 27°C de temperatura (bulbo seco). A vazão total foi definida como 4 m³/s de ar, que se distribuem igualmente entre duas entradas. Em seguida, a dissipação de calor foi dividida igualmente entre 16 níveis de servidores, com o valor de 750 W/m² para cada nível. Apesar da arbitrariedade desse valor, ele define cada *rack* como um de 7kW, o que se encontra no mercado.

Outro aspecto de grande impacto no resultado final foi a adição de aceleração no escoamento dentro dos servidores de modo a representar a presença do sistema de exaustão que existe neles por meio dos *coolers* (ventoinhas). Para isso, definiu-se que em cada servidor há 4 *coolers* de 120 CFM. Esse valor é submetido ao programa por meio da definição de uma força F sobre um corpo de volume V, dada em N/m³ por

$$F = \frac{1}{V} \rho \cdot \frac{Q^2}{A} \quad (4)$$

onde ρ é a densidade do ar, Q é a vazão e A é a área da seção transversal do cooler (assumiu-se as dimensões de 120mm x 120mm). Desse modo, tem-se que seu valor é de 16 N/m³.

Por fim, também foi imposto aos servidores apenas escoamentos na direção perpendicular à área de entrada deles. Isso faz com que não haja recirculação dentro deles, o que de fato acontece devido às barreiras físicas de suas estruturas.

5.1 Teste de Convergência e Qualidade da malha

Tendo em vista o impacto que a malha apresenta sobre um estudo de CFD, é preciso não só se certificar que a qualidade dela é satisfatória, como também deve-se realizar um teste de sua convergência. Isto é, avaliar como que o refinamento dela afeta os resultados obtidos, de modo que há um nível ideal onde os parâmetros observados não apresentem mais variações significativas com o aumento do número de elementos, a partir do qual não vale mais a pena refiná-la pois isso acarretaria em apenas mais custos computacionais, sem ganhos de resultado.

Assim, para esse estudo foram avaliados 5 pontos de temperatura para 5 malhas diferentes para um caso inicial não enclausurado do corredor frio, conforme mostra a Tab. 1. A partir da análise desses valores de temperatura, evidencia-se que não há diferenças relevantes para cada tamanho de malha, o que permite que se use menos elementos para simulações mais rápidas. Cabe destacar que a licença estudantil do Ansys Fluent limita a quantidade de elementos, e os valores apresentados na Tab. 1 consideram um número equivalente de elementos, posto que a presença do plano de simetria (2 planos de simetria no caso de 4.180.837) aumenta proporcionalmente o número total.

Tabela 1. Efeito da variação da malha nos valores de temperatura [°C] para 5 pontos

NÚMERO DE ELEMENTOS	230.448	710.280	949.264	1.778.892	4.180.837
Temperatura no ponto 1	19,33	20,17	21,33	20,51	21,43
Temperatura no ponto 2	19,25	19,39	20,17	19,13	19,98
Temperatura no ponto 3	19,77	19,78	19,72	20,92	20,59
Temperatura no ponto 4	19,76	20,2	19,64	22,03	22,15
Temperatura no ponto 5	20,8	21,3	20,5	22,56	22,61

Além da quantidade de elementos, outros parâmetros como a qualidade do elemento e a sua simetria também afetam a condição da malha. O primeiro trabalha com a relação entre o volume do elemento e o comprimento de suas arestas, e ele varia entre 0 e 1, de modo que o valor de 1 indica um cubo perfeito e o 0 indica que ele não tem volume. Já o segundo avalia o quão próximo de uma figura regular o elemento está, e ele varia de 1 (muito longe) até 0 (equilátero). Nesse contexto, manter os elementos próximos aos valores ideais (1 e 0, respectivamente) facilita a interpolação das variáveis entre cada elemento, o que melhora a simulação.

Neste estudo, as malhas com 1.778.892 e 4.180.837 elementos alcançaram uma qualidade acima de 0,95, e com uma assimetria abaixo de 0,1 para todos os seus elementos. Sendo assim, foram comparadas as diferenças absolutas e percentuais dos pontos de temperatura entre elas, conforme mostrado na Tab. 2. Tendo em vista que as variações são baixas (não passam de 5%), entende-se que o uso de uma malha com uma quantidade de elementos próxima à 1.778.892 é adequado para os casos discutidos a seguir.

Tabela 2. Diferenças absolutas (ΔT) e percentuais (%) dos valores de temperatura [°C] para as malhas com 1.778.892 e 4.180.837 elementos

	ΔT	%
Ponto 1	0,92	4,28%
Ponto 2	0,85	4,23%
Ponto 3	0,33	1,60%
Ponto 4	0,12	0,52%
Ponto 5	0,04	0,20%

Desse modo, as malhas dos dois casos discutidos nas seções seguintes são construídas seguindo essa lógica, isto é, mantendo todos os elementos com uma qualidade acima de 0,95 e uma assimetria abaixo de 0, e um número de elementos próximo a 1.778.892. Assim, para o caso não enclausurado e para o caso enclausurado tem-se, respectivamente, malhas com 1.983.232 e com 2.008.506 elementos.

5.2 Resultados do DC sem enclausuramento

A partir das condições de contorno detalhadas anteriormente, foi possível obter os planos de temperatura mostrados na Fig. 2. Nela, entende-se como *rack 1* o posicionado na extremidade do corredor, enquanto *rack 4* faz referência ao posicionado no centro do corredor.

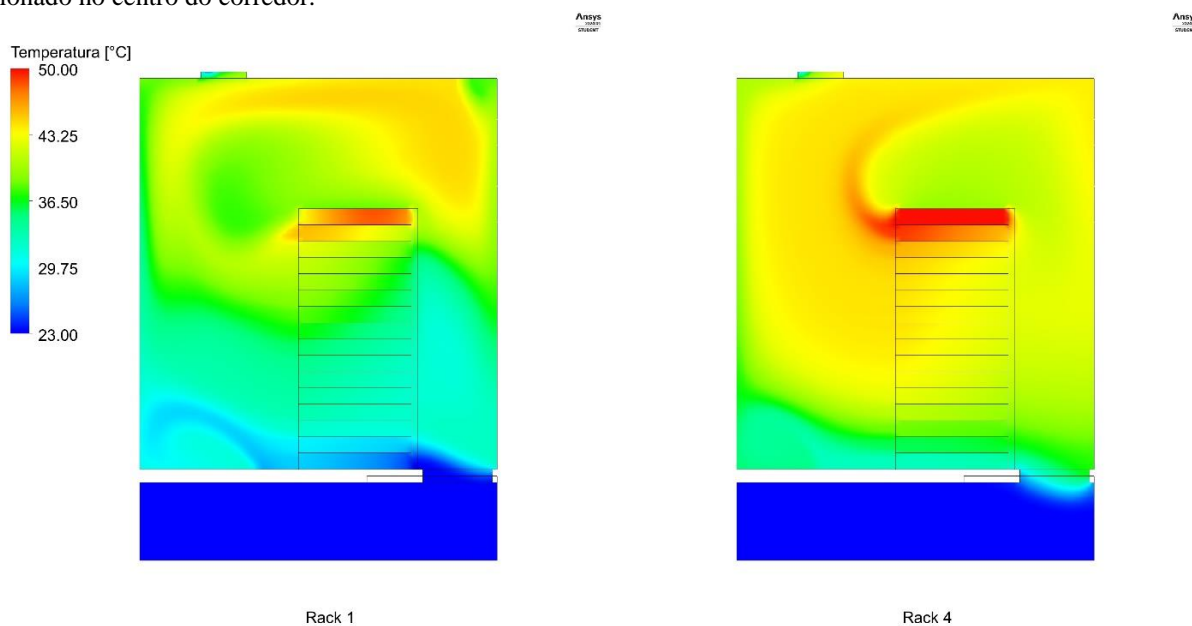


Figura 2. Campos de temperatura no plano XY para DC aberto

Evidencia-se uma notável tendência de recirculação de ar dentro do DC, principalmente no *rack* central (*rack 4*), de modo que a temperatura na entrada dos servidores é bem mais quente do que o ar insuflado (23°C) que entra pelo plenum. Além disso, os servidores mais críticos estão localizados na parte superior do *rack 4*, com temperaturas que chegam aos 50°C, o que poderia comprometer o funcionamento adequado de processadores presentes ali. Ademais, não são perceptíveis grandes diferenças no perfil geral da temperatura em relação à extremidade e ao centro do DC não enclausurado.

5.3 Resultados do DC com enclausuramento

Seguindo a mesma lógica do caso anterior, a Fig. 3 mostra os resultados de temperatura para o caso enclausurado do mesmo data center. Nela, evidencia-se picos de temperatura maiores do que o visto no caso anterior, o que não era esperado.

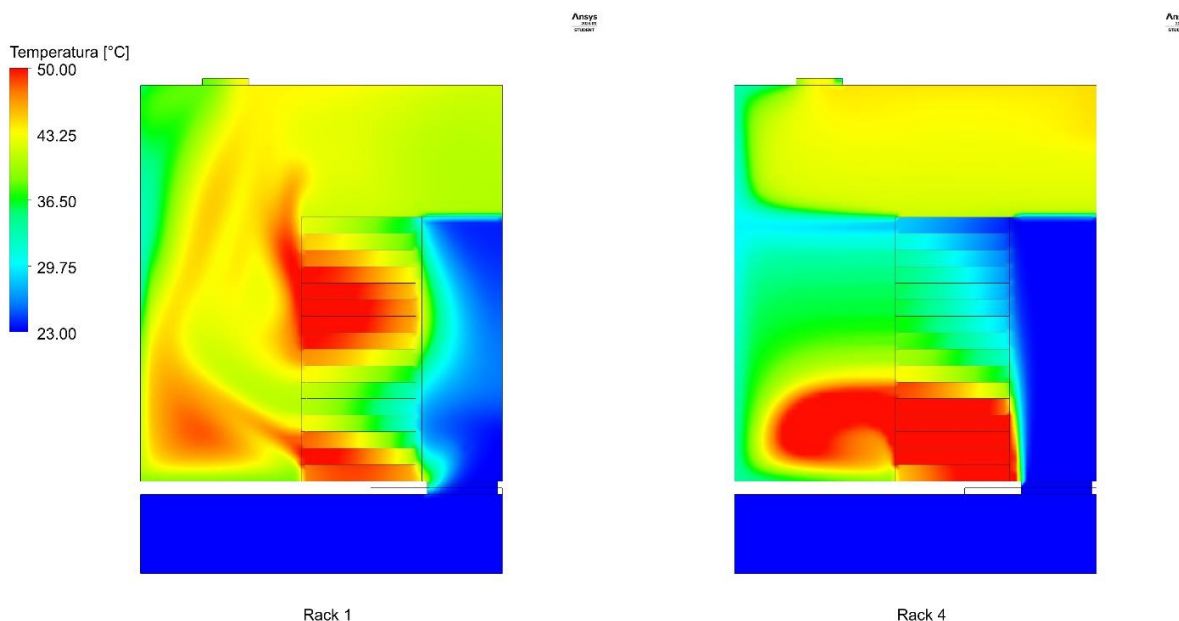


Figura 3. Campo de temperatura no plano XY para DC enclausurado

Uma das justificativas para isso pode ser a presença do efeito Venturi. Esse fenômeno descreve o comportamento do escoamento em pontos de maiores velocidades, de modo que, como consequência do Teorema de Bernoulli, zonas de baixa pressão são geradas. A Fig. 4 exemplifica isso, onde evidencia-se que nas placas perfuradas próximas às saídas de ar do plenum (maiores velocidades), há menos passagem de ar.

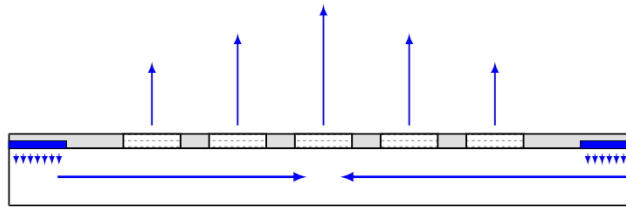


Figura 4. Representação do efeito Venturi

Isso é visível nos campos de temperatura ao analisar a diferença do perfil do rack 1 (que fica em uma extremidade do DC) para o rack 4 (que fica centralizado). No rack 1, existe menos ar disponível para os servidores, consequentemente, são formadas zonas de elevada temperatura em diferentes alturas. Já no rack 4, o fluxo através das placas é maior, o que fornece no total mais ar frio. Contudo, os primeiros níveis de servidores também possuem picos elevados de temperatura, o que comprometeria o funcionamento adequado dos equipamentos. Assim, também se imagina que o fato da velocidade vertical do escoamento do rack 4 ser alta, acaba gerando zonas de baixa pressão neles, estagnando o fluxo de ar e a troca de calor através deles, o que é indesejado.

5.4 Comparação entre os cenários

Com a finalidade de analisar numericamente o caso, calculou-se a média do SHI para todos os racks, o que pode ser consultado na Fig.5.

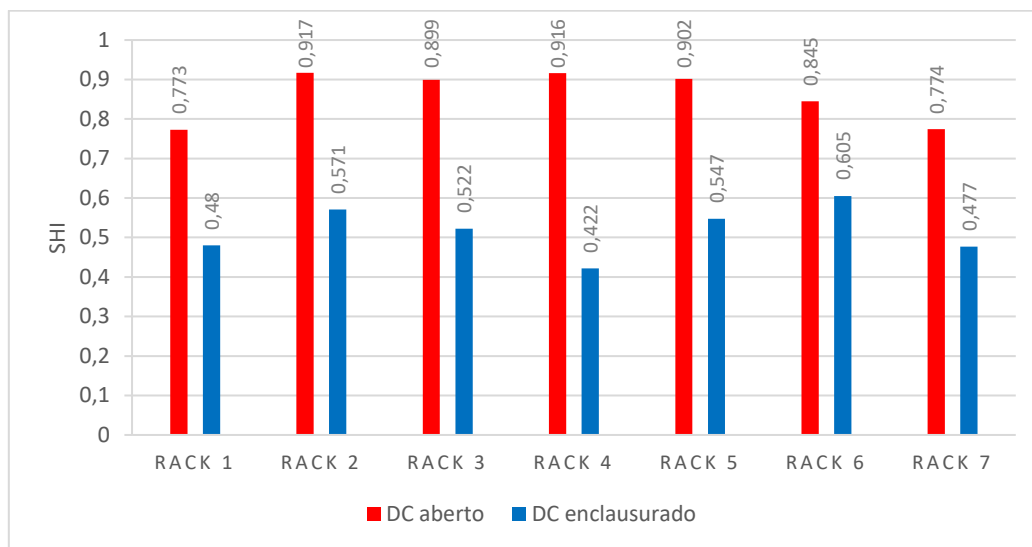


Figura 5. Valores de SHI para os dois casos analisados

Outro parâmetro térmico relevante é o RTI. A diferença de temperatura média entre a entrada e a saída do servidor no caso não enclausurado é de 1,82°C. Já para o caso enclausurado essa diferença passa a ser de 11,86°C, o que por si só já indica uma troca de calor mais eficiente de um caso para o outro. O RTI do caso não enclausurado é de 7,55, e o do caso enclausurado é 1,55. Valores elevados desse parâmetro indicam a ocorrência de recirculação, enquanto valores mais baixos indicam que ocorre by-pass de ar frio. Assim, nota-se claramente a forte presença da recirculação no caso não enclausurado. Neste parâmetro também é relevante pontuar que ambos os casos estão fora da faixa recomendada (entre 0,92 e 1).

Apesar dos valores mais adequados para esses índices terem sido encontrados para o caso enclausurado, fica claro pelas imagens mostradas nas seções anteriores (Fig. 2 e Fig.3) que o DC sem enclausuramento apresenta menos servidores à 50°C, e seria, tendo em vista apenas o resultado CFD, mais adequado por garantir a operacionalidade de mais servidores. Na tentativa de explicar esse resultado inesperado, a Fig. 6 revela o comportamento da velocidade entre os dois casos, de maneira que se observa valores maiores de velocidade no caso do DC aberto.

Tendo em vista que Fig.6(a) e Fig.6(c) fazem referência à componente \vec{u} da velocidade (horizontal), entende-se que as áreas esverdeadas mostram zonas que há escoamento apenas na direção vertical, as avermelhadas indicam escoamento para direita, e as azuladas indicam escoamento para esquerda. Dessa maneira, observa-se que as velocidades através dos servidores no caso não enclausurado são maiores (3 m/s) do que no caso enclausurado (< 1 m/s), o que torna a transferência de calor mais eficiente no primeiro caso. Além disso, as Fig.6(b) e Fig.6 (d) mostram por meio das linhas de corrente a grande recirculação presente no corredor não enclausurado, que pode ser uma das justificativas para que a velocidade do escoamento pelos servidores seja consideravelmente maior.

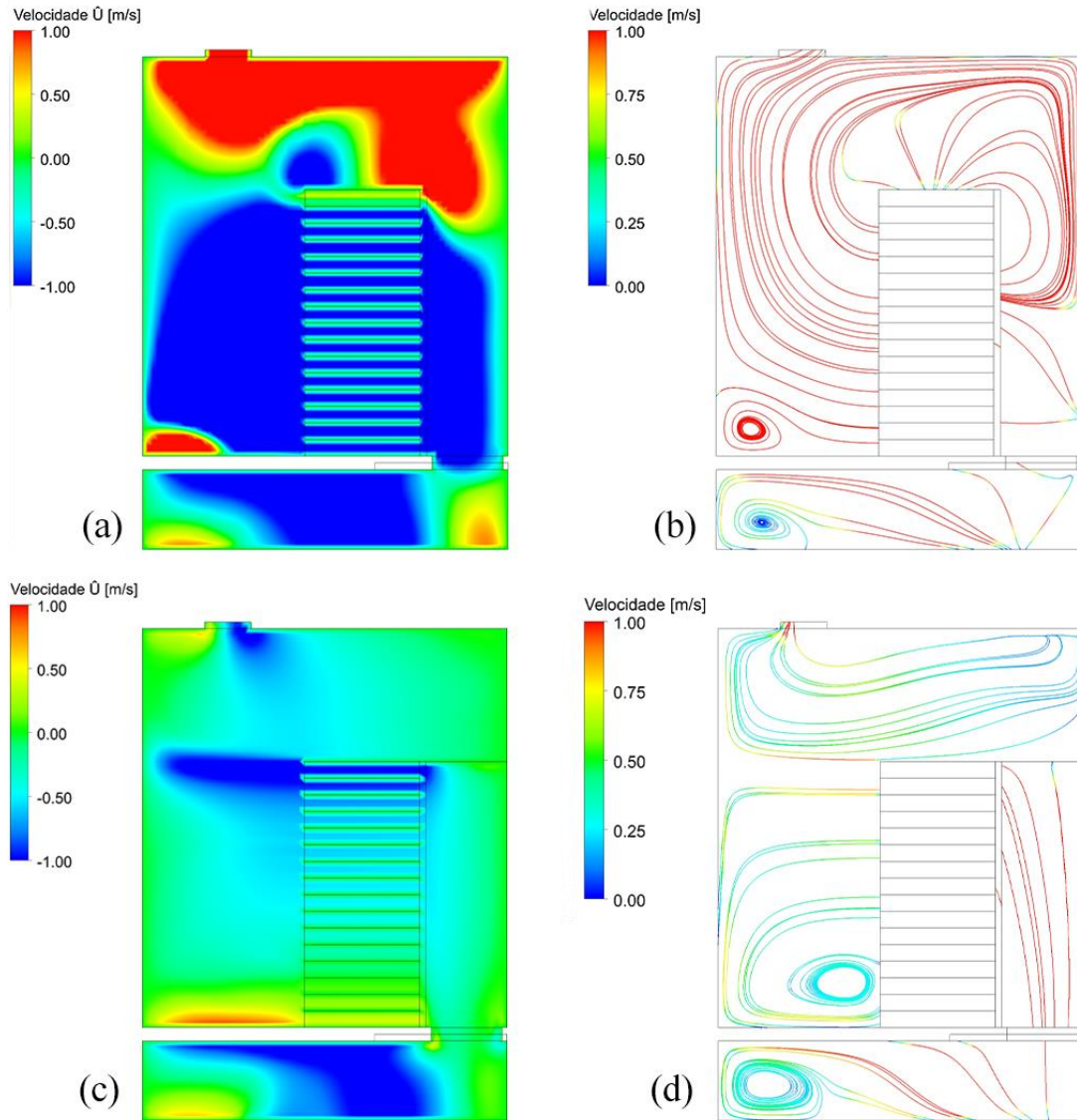


Figura 6. (a) Velocidade \vec{u} no rack 4 do DC aberto; (b) Linhas de corrente no rack 4 do DC aberto; (c) Velocidade \vec{u} no rack 4 do DC enclausurado; (d) Linhas de corrente no rack 4 do DC enclausurado.

5 Conclusão

O uso da ferramenta CFD para simulações de data centers é um grande aliado na avaliação de decisões de projeto, permitindo prever melhores soluções antes do projeto sair do papel. Este trabalho aborda uma visão geral da área. Foram apresentados os principais trabalhos feitos, assim como os principais índices. Também foram abordados os softwares disponíveis e os conceitos relevantes por trás deles. Além disso, foi avaliado a diferença do enclausuramento nos campos de temperatura e velocidade, com a utilização dos índices SHI e RHI. Observou-se que o enclausuramento melhora significativamente o desempenho em relação aos índices, porém ainda assim o caso enclausurado atinge temperaturas muito elevadas o que impediria a sua operação com segurança, em parte devido ao efeito Venturi. Dessa forma, é necessário utilizar outras modificações de projeto para não só melhorar a sua segurança operacional, mas também sua eficiência como um todo. Algumas opções são o uso de guias para o escoamento na saída dos racks, a alteração da vazão das placas perfuradas (através da abertura) ou até o uso de ventiladores abaixo das placas perfuradas no plenum.

6 REFERÊNCIAS

- Ahmadia, E. V. 2020. A parametric CFD study of computer room air handling bypass in air-cooled data centers. *Applied Thermal Engineering*, v. 166, n. 114685.
- Asgari, S. 2020. A gray-box model for real-time transient temperature predictions in data centers. *Applied Thermal Engineering*, v. 185, n. 116319.
- Data Center Magazine, Energy efficiency predictions for data centres in 2023, 2023. Disponível em: <https://www.datacentremagazine.com>.
- Hassan, N.M.S; Khan, M.M.K; Rasul, M.G. 2013. Temperature monitoring and CFD Analysis of Data Centre. *Procedia Engineering* 56: 551-559.
- Herrlin, M. K. 2008. Airflow and Cooling Performance of Data Centers: Two Performance Metrics. *ASHRAE Transactions* 114(2):182-187.
- International Energy Agency, Data Centres and Data Transmission Networks, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/energy-system/buildings/data-centres-and-data-transmission-networks>
- Kang, S. 2001. A Methodology for the Design of Perforated Tiles in Raised Floor Data Centers Using Computational Flow Analysis. *IEEE Transactions On Components And Packaging Technologies*, v. 24, No. 2: 177-183.
- Nada, S. A. 2016. CFD investigations of data centers' thermal performance for different configurations of CRACs units and aisles separation. *Alexandria Engineering Journal* 55: 959-971.
- Pegus II, P. 2016. Analyzing the Efficiency of a Green University Data Center. *ICPE '16: Proceedings of the 7th ACM/SPEC on International Conference on Performance Engineering*, p. 63-73.
- Statista. Data Center dossier, 2023. Disponível em: <https://www.statista.com/study/35990/data-centers-statista-dossier/>.
- Singh, U. 2010. CFD-based operational thermal efficiency improvement of a production data center. Tata Consultancy Services Ltd., India.
- Song, Z. 2014. A dynamic compact thermal model for data center analysis and control using the zonal method and artificial neural networks. *Applied Thermal Engineering* 62: 48-57.
- Wibron, E. 2018. Computational Fluid Dynamics Modeling and Validating Experiments of Airflow in a Data Center. *Energies* 11:644.

USE OF CFD SIMULATIONS TO GUIDE PROJECT SOLUTIONS FOR DATA CENTERS

Abstract. *The use of CFD simulations has become common in the analysis of Data Centers to assess functionality and energy efficiency of the installation. This work aims to introduce the concept of computational fluid dynamics (CFD) and revise contributions of studies about these simulations in Data Centers, considering the importance of digital processing and storage systems currently. In addition, the relevant parameters of study and comparison between Data Centers were also presented, such as the supply heat index (SHI) and the return temperature index (RTI). Afterwards, an example model was made to verify the influence of server confinement on the temperature and velocity fields, where better parameters were found for the confined case, although still higher than expected. With the temperature field, it was possible to identify zones in which the operational security is not guaranteed, although with a region significantly larger in the confined case, which is a possible consequence of the Venturi effect, and yet is still contrary to what was expected.*

Keywords: Data center, simulation, CFD