Unisanta Science and Technology, **2016, 16, December**
Published Online 2016 Vol.5 N° 3 http://periodicos.unisanta.br/index.php/sat)

UNISANTA
Science and Technology
ISSN 2317-1316

Coordenação de Fluxo de Ar Condicionado em *Data Centers*: Arranjos e Simulações com CFD (Computational Fluid Dynamics)

Roberto Egon Heinrich[1] e Cláudio Rodrigo Torres[1,2]

[1]UNISANTA - Universidade Santa Cecília
Departamento de Pós Graduação - Mestrado em Engenharia Mecânica PPGEMec
Rua Oswaldo Cruz, 266 – Santos-SP, Brasil

[2]Universidade Metodista, São Paulo

Rua Alfeu Tavares, 149 Rudge Ramos, São Bernardo do Campo - SP- Brasil

E-mail*:* reheinrich1960@gmail.com.br

Received march, 2015

Resumo: Centros de dados são definidos como ambientes de missão crítica que vem demandando progressivamente mais densidade de potência devido à consolidação de ambientes e o forte crescimento das operações virtualizadas e/ou em nuvem. O consumo de energia com sustentabilidade energética ou eficiência energética é uma preocupação central dos gestores de centros de dados modernos. Depois do consumo de energia dos ativos de TIC (Tecnologia da Informação e Comunicação), o consumo de energia dos sistemas de AVAC (Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado) é o maior. Isto coloca os sistemas de AVAC de centros de dados em evidência para o aprimoramento de soluções eficientes de engenharia. Este trabalho apresenta uma visão técnica e pragmática de recomendações para os principais fatores que devem ser considerados pelos projetistas e proprietários destes sistemas, facilitando a melhor escolha técnica de otimização do desempenho energético do circuito fechado de ar refrigerado entre as fontes de carga térmica do ambiente (ativos de TIC) e os equipamentos de AVAC. O foco é o conjunto de equipamentos e acessórios utilizados para o transporte e orientação dos fluxos de ar refrigerado e aquecido, ao longo do referido circuito. Foram simuladas as principais alternativas de soluções regularmente disponíveis no mercado, associadas às condições-problema mais comuns, de modo consistente com as melhores práticas em uso na atualidade, apontando os resultados de cada solução com a correspondente simulação com DFC (Dinâmica de Fluidos Computacional), justificando a proposição. Essas informações viabilizam identificar o cenário corrente de uma instalação e obter orientação de apoio para a tomada de decisões de implementação.

Palavras chave: Centro de Dados, AVAC, Refrigeração, Corredores Enclausurados, Eficiência Energética.

Conditioned Air Flow Coordination in Data Centers: Arrangements and Simulation With CFD (Computational Fluid Dynamics)

Abstract: Data Centers are defined as mission critical environments that are progressively demanding more power density due to the consolidation of solutions and services and also the strong growth of virtualized operations and/or cloud services. The power consumption with energy sustainability or energy efficiency is the main concern of the modern Data Center managers. After the ITC (Information Technology and Communication) assets, the energy consumption of the HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) systems is the bigger one. This highlights the Data Center HVAC systems for the improvement of efficient engineering technical solutions. This work presents a technical and pragmatic view of recommendations for the main factors that must to be considered by the designers and owners of these systems, making easier the best technical choice for the optimization of cooled air closed circuit among the ther-

Copyright © 2016 ISESC.

mal load sources of the environment (ITC assets) and the HVAC devices. The focus is the set of equipment and accessories utilized for the transportation and orientation of the air flow along the referred circuit. The main solutions regularly found in the market were simulated in association with the common problem conditions, in a consistent way with the best practices nowadays in use, showing the results of each solution through the related CFD (Computational Fluid Dynamics) simulation, justifying the proposition. This information allows to identify the current scenery of a facility and get orientation for an implementation decision making.

Keywords*:* Data Center, HVAC, Cooling, Contained Aisles, Energy Efficiency.

1. Introdução

A gestão do desempenho operacional das infraestruturas de instalações de centros de dados (data centers) é foco na atualidade.

Essas infraestruturas são definidas como ambientes de missão crítica por terem de assegurar dependabilidade e resiliência aos equipamentos e sistemas de TIC (Tecnologia da Informação e Comunicação) que suportam. Igualmente, vem demandando progressivamente mais densidade de potência devido à consolidação de ambientes e o forte crescimento das operações virtualizadas e/ou em nuvem.

O consumo de energia, com sustentabilidade energética ou eficiência energética, é uma preocupação central dos gestores de centros de dados modernos.

O processo de atualização e modernização dessas infraestruturas ou mesmo a construção de novas, implica fazê-lo com vistas aos melhores resultados operacionais, tanto pelo ponto de vista da sustentabilidade ambiental como pelo ponto de vista dos resultados de negócio, afinal estes ambientes são mantidos com objetivos comerciais.

Analisando em detalhe o perfil de despesas operacionais de um *data center*, verifica-se que, regularmente, depois do consumo de energia dos ativos de TIC, o segundo maior consumidor de energia é o sistema de AVAC (Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado). Isto coloca os sistemas de AVAC de centros de dados em evidência para o aprimoramento de soluções eficientes de engenharia e, consequentemente, buscar melhor gerir as despesas operacionais correlatas e também o aspecto sustentabilidade das soluções pelo ponto de vista do impacto ambiental dessas operações.

Este trabalho apoia-se em práticas do mercado da engenharia de *data center*, no estado da arte, segundo implementações de projetos de relevância na área, com a reunião de conceitos e indicadores, além de soluções de engenharia propostas, estudadas e implementadas por especialistas da área.

Inclui uma visão técnica e pragmática de recomendações para os principais fatores que devem ser considerados pelos projetistas e proprietários destes sistemas, facilitando a melhor escolha técnica de otimização da eficiência energética do circuito fechado de ar refrigerado entre as fontes de carga térmica do ambiente (ativos de TIC) e os equipamentos de AVAC.

O foco é o conjunto de equipamentos e acessórios utilizados para o transporte e orientação dos fluxos de ar refrigerado e aquecido, ao longo do referido circuito de ar entre cargas (ativos de TIC) e os equipamentos de AVAC.

Proprietários das instalações de infraestrutura de centros de dados e suas equipes operacionais enfrentam grande dificuldade, no dia a dia, para compreender os efeitos de pequenas modificações de arranjo físico (posição de equipamentos), instalações de cabos e acessórios ou mesmo a posição e calibração dos elementos que constituem os sistemas de AVAC que, ao longo do tempo e dessas mudanças, por melhor que tenha sido concebido e implementado o centro de dados, prejudicam o desempenho e reduzem a capacidade das instalações.

Mesmo novos projetos são implementados sem cuidados especiais em relação a este importante tema.

Desenvolvida com a confrontação de problemas e soluções, comparando resultados entre alternativas confirmadas ou rejeitadas por ferramenta de avaliação ou simulação.

No universo dos problemas foram consideradas as instalações de infraestrutura de centros de dados que regularmente apresentam condições prejudicadas para a melhor eficiência dos sistemas AVAC, isto devido ao frequente desconhecimento técnico sobre as soluções de mercado e os motivadores de suas aplicações por parte dos proprietários e equipes de gestão e operação dos ambientes de *data centers*.

No universo das soluções elencou-se as possibilidades de engenharia mais importantes, frequentes e regularmente utilizadas, consideradas o estado da arte nesta disciplina, na atualidade.

Como estratégia de apresentação foram reunidas simulações de conjuntos de problema versus solução e a correspondente simulação da condição resultante, através de *CFD* (*Computational Fluid Dynamics*), demonstrando a eficácia da ferramenta de simulação no diagnóstico sobre os resultados de cada escolha.

Copyright © 2016 ISESC

2. Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é apresentar o *CFD (Computational Fluid Dynamics)*, adaptado para ambientes de *Data Centers* (Centros de Dados), como importante ferramenta de apoio na tomada de decisão para a identificação das melhores soluções de implementação, considerada a problemática da eficácia e eficiência dos circuitos de ar condicionado estabelecidos entre a carga térmica principal (ativos de TIC – Tecnologia da Informação e Comunicações) e os *CRAC* (*Computer Room Air Conditioner)* ou *CRAH (Computer Room Air Handler).*

Com o conhecimento dos fenômenos físicos que ocorrem nestes circuitos de ar, portanto, as consequências da má gestão técnica dos componentes das instalações e equipamentos, contribui-se para uma operação eficiente, assim como para a melhor escolha de soluções, no momento da implementação de novos sistemas e recursos no sistema de condicionamento de ar.

Além da correta especificação de engenharia para os equipamentos de capacidade dos sistemas de condicionamento de ar (os condicionadores de ar), este trabalho foca na correta seleção e aplicação de soluções de separação e contenção de fluxos, para a melhor eficácia e eficiência do referido e destacado circuito de ar condicionado.

3. O Fluxo da Energia no *Data Center*

Dunlap e Rasmussen (2006 p.15) explicam que muitos usuários de Data Center acreditam que ter, por exemplo, 500 kW de capacidade de refrigeração, significa ser capaz de instalar 500 kW de carga de TIC (Tecnologia da Informação e Comunicação). A capacidade efetivamente utilizável dependerá da arquitetura do sistema de refrigeração. Isto é, com foco no rack, na fila de racks ou na sala.

Para detalhar o caminho da energia num data center moderno típico, Rasmussen (2013) apresenta, na figura 1, um fluxograma que demonstra as proporções dos caminhos da energia, para um modelo que conta com CAG (Central de Água Gelada), RAG (Rede de Água Gelada), umidificadores, *CRAH (Computer Room Air Handler) /CRAC (Computer Room Air Conditioner), PDU (Power Distribution Unit), UPS (Uninterruptible Power Supply ou No-breaks)*, dispositivos de iluminação, painéis de distribuição e geradores.

A tabela 1 agrupa essas participações de consumo de energia para os sistemas de um *data center*.



Figura 1 - Fluxograma de energia através dos sistemas de um *data center* típico.
Fonte: adaptado de Rasmussen - SE WP 114 (2013 p.3)

Tabela 1 - Participações no consumo de energia de um *data center* típico.

Carga	Participação Sistema	Agrupamento	Participação Grupo
Resfriador	23%	AVAC	41%
Umidificador	3%		
CRAC/CRAH	15%		
TIC	47%	TIC	47%
PDU	3%	Elétrica Crítica	9%
UPS (No-break)	6%		
Dispositivos de Iluminação	2%	Elétrica Geral	3%
Painel de Distribuição / Gerador	1%		
Total	**100%**		**100%**

Fonte: adaptado de Whitney e Delforge (2014 p.11)

Copyright © 2016 ISESC

Analisando a tabela 1, verifica-se que, depois das cargas de TIC, AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) é, em geral, o segundo maior consumidor de energia de um *data center*, devendo a ele serem direcionados os esforços de otimização, os que estão ao alcance dos operadores e mantenedores das infraestruturas de apoio à operação.

Devido à importância do consumo do sistema AVAC e à suscetibilidade à falha humana gestão da coordenação do fluxo no trecho compreendido entre a carga (TIC) e os CRAH ou CRAC, o que reduz sobremaneira a eficiência, portanto aproveitamento da capacidade, esse é um sistema que deve ser analisado em destaque. Portanto, este artigo está focado no conjunto (parte) do sistema de refrigeração típico representado e destacado em vermelho na figura 2.

A figura 3 mostra o perfil termodinâmico do ar de refrigeração ao circular por uma rack de TIC típico.

Numa sala de equipamentos de TIC, o chamado *Data* Hall ou sala de racks, fluxos de ar acontecem em função do arranjo físico e posicionamento dos condicionadores de ar (*CRAH/CRAC*) e das cargas (*racks* de TIC). Salim (2010) classifica os fluxos como:

a) Fluxo do *CRAC/CRAH* (Mc): Vazão total de ar que passa pelas unidades *CRAC/CRAH* e é normalmente maior do que o requerido pelos servidores, isto devido às demandas parciais de TIC (N. do A.: não as máximas) e os *CRAC/CRAH* de redundância que são mantidos em operação.

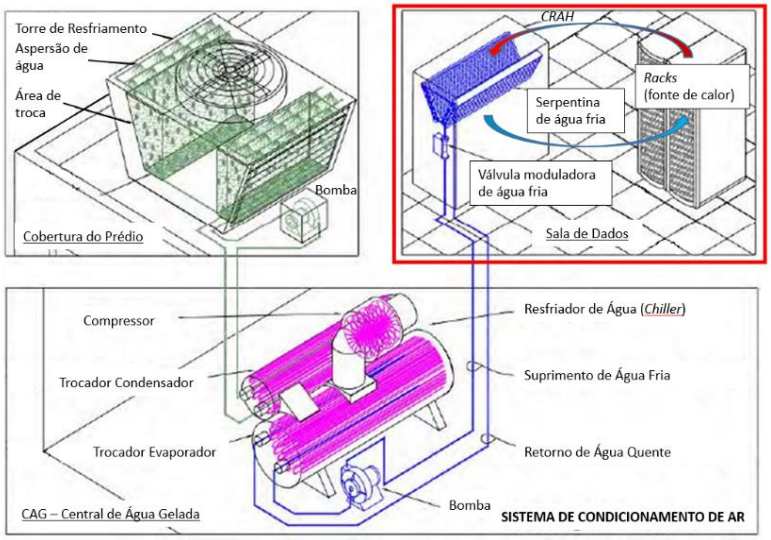

Figura 2 - *Data center* - Sistema VAC típico - Da rejeição ao *rack*.
Fonte: adaptado de realwish.com (2002-2015)

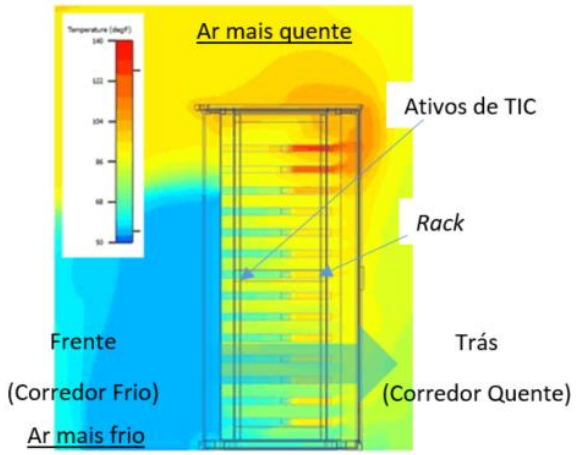

Figura 3 - Fluxo de ar no rack.
Fonte: adaptado de SIEMON (2016)

Copyright © 2016 ISESC

b) Fluxo de Pressão Negativa (Mn): Na prática esse fluxo é pequeno e até desprezível, mas esse fluxo é encontrado nas proximidades da descarga das unidades *CRAC/CRAH* onde as velocidades do ar são altas, por exemplo, em grelhas difusoras de piso, aberturas de piso, bordas de placas de piso elevado, no perímetro da sala e no perímetro das unidades *CRAC/CRAH*.

c) Fluxo de *Bypass* (Mbp): É o fluxo que deixa as grelhas de piso (N. do A.: ou placas perfuradas do piso elevado) e retorna diretamente para as unidades *CRAC/CRAH* sem refrigerar os ativos de TIC.

d) Fluxo de Recirculação (Mr): É o ar (N. do A.: mais quente) descarregado pelos servidores que retorna e se mistura com o ar entrando nos servidores para refrigerá-los.

As figuras 4, 5 e 6 mostram os fenômenos relacionados ao fluxo de ar, que ocorrem entre os *CRAC/CRAH* e o *rack* de servidores, conforme a classificação. As setas indicam as direções e os sentidos dos fluxos.

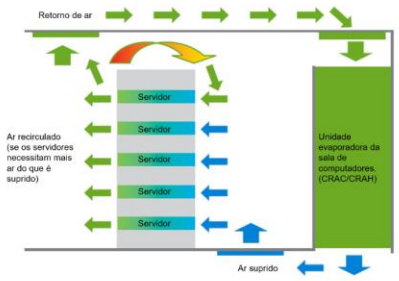

Figura 4 - Fluxo de recirculação.
Fonte: adaptado de Salim (2010, p.80 S-4)

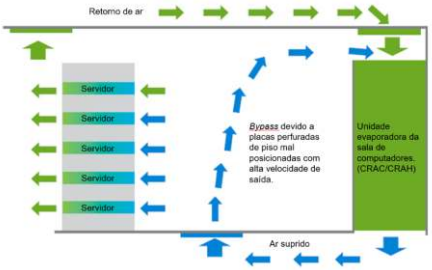

Figura 5 - Fluxo de bypass.
Fonte: adaptado de Salim (2010, p.81 S-4)

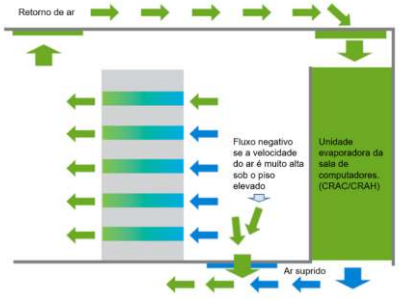

Figura 6 - Fluxo de pressão negativa.
Fonte: adaptado de Salim (2010, p.81 S-4)

Copyright © 2016 ISESC

Os fluxos de ar podem ser representados esquematicamente como na figura 7.

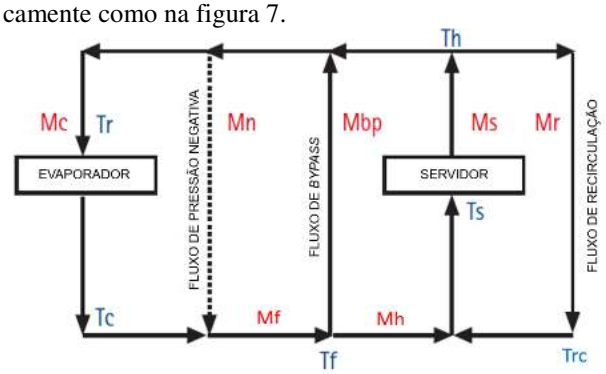

Figura 7 - Diagrama de circuitos de ar na sala de racks.
Fonte: adaptado de Salim (2010, p.80 S-4)

Segundo Salim (2010), o ganho de eficiência do sistema está em assegurar a separação dos fluxos de suprimento e de retorno, como mostra a figura 8.

Ainda segundo Salim (2010), outros principais métodos de coordenação e separação dos fluxos são:

a) Enclausuramento de corredores quentes;
b) Enclausuramento de corredores frios;
c) *Racks* enclausurados na descarga (chaminé).

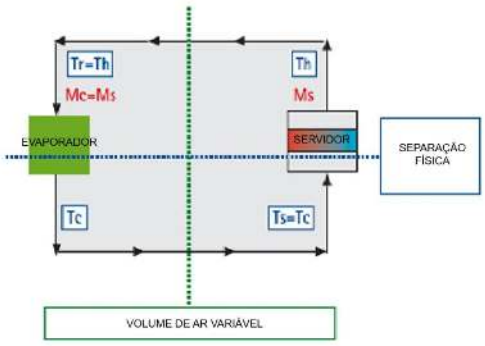

Figura 8 - Coordenação de fluxos de ar por separação.
Fonte: adaptado de Salim (2010, p.85 S-4)

Em quaisquer dos casos, a disposição e a especificação técnica de grelhas e difusores de ar frio, grelhas de retorno e placas perfuradas de piso elevado (quando existente cada elemento destes) são fundamentais.

Os ativos de TIC devem ser corretamente organizados no interior dos *racks*, de modo a evitar aberturas (passagem livre do ar por fora dos equipamentos ou fluxo sem efeito), assim otimizando o contato do ar frio com as partes quentes.

As figuras 9, 10 e 11 mostram cortes ticos de arranjos de separação de fluxos.

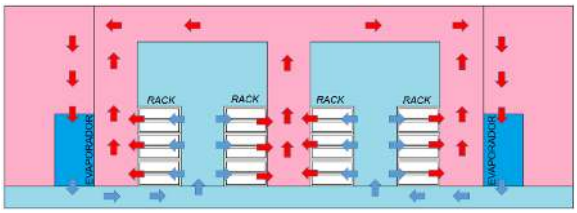

Figura 9 - Corredores quentes enclausurados.

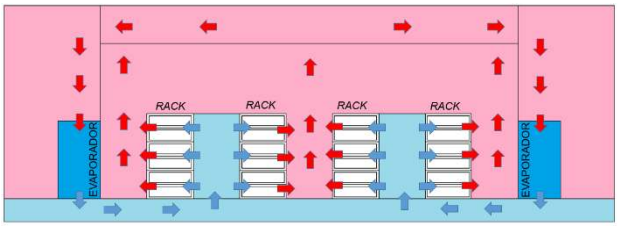

Figura 10 - Corredores frios enclausurados.

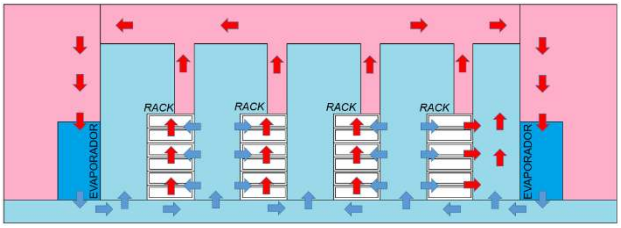

Figura 11 - *Racks* enclausurados na descarga.

Copyright © 2016 ISESC

Encontrar a melhor solução para uma condição existente, ou mesmo para um projeto novo é um desafio de custo, esforço e tempo. A simulação por CFD viabiliza a análise de alternativas a custos reduzidos, com precisão e velocidade.

4. *CFD (Computational Fluid Dynamics)*

Marshall e Bemis (2011), mostram que a partir de modelos dos ambientes das salas de dados feitos com software de *CFD* (figura 12), cálculos são realizados utilizando equações de continuidade, momento (Navier-Stokes), turbulência e energia, resolvendo pequenas células do volume até que valores aceitáveis sejam alcançados e os resultados então são mostrados em representações gráficas sobre o modelo tridimensional do ambiente (figura 13). Para representar uma condição equivalente a situações reais regularmente encontradas, um ambiente de sala de dados foi modelado e, sobre ele, sequências de implementações de soluções parciais de separação de fluxos de ar refrigerado foram aplicadas gradativamente.

As simulações por CFD viabilizaram a compreensão dos efeitos e dos limites de cada solução.

A figura 14 mostra o modelo da sala de dados (*data hall do data center*) elaborado para as simulações.

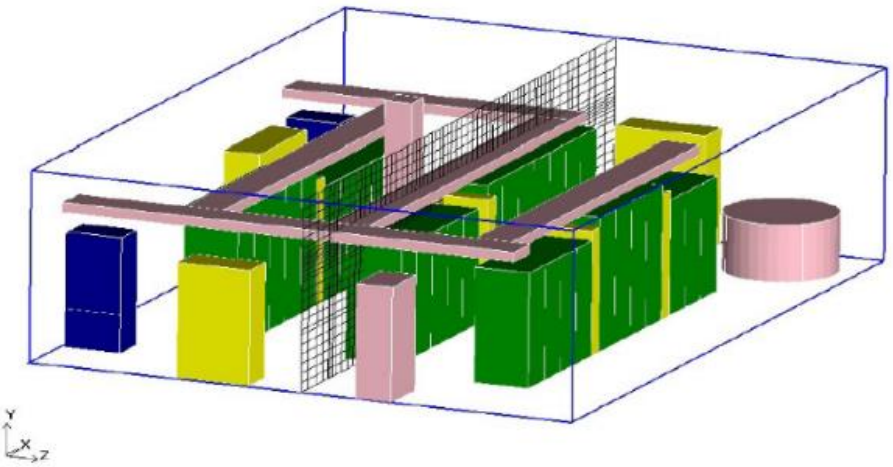

Figura 12 - CFD - Geometria do volume
Fonte: Marshall e Bemis (2011, p.1)

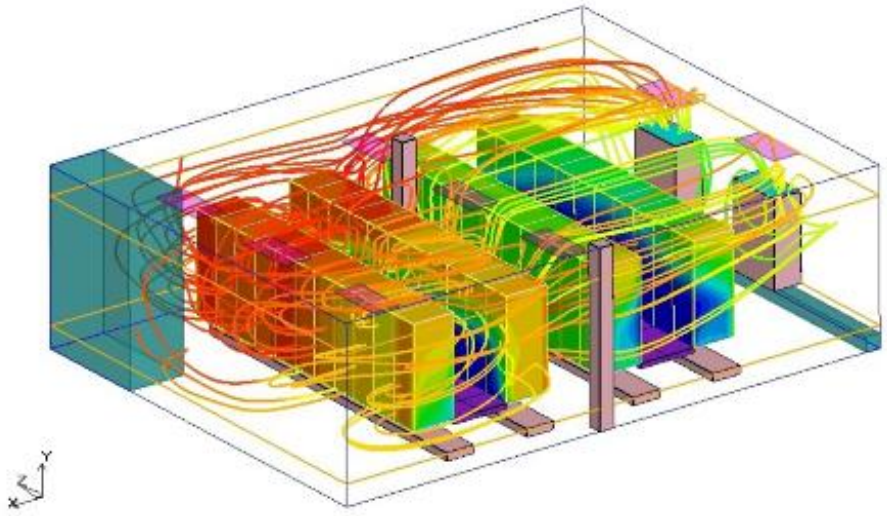

Figura 13 - CFD - Apresentação típica de resultados.
Fonte: Marshall e Bemis (2011, p.7)

Copyright © 2016 ISESC

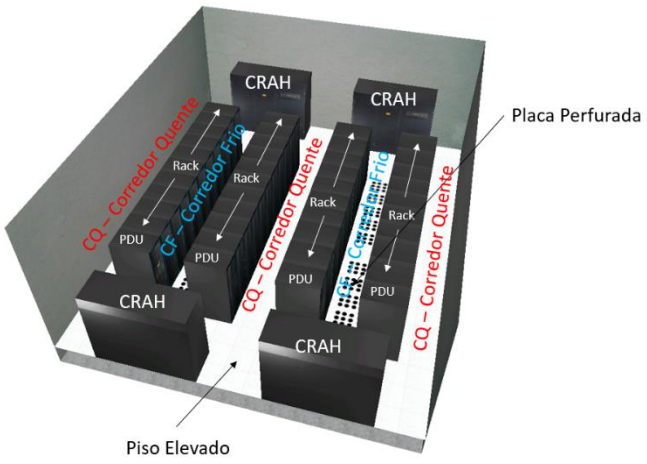

Figura 14. Modelo de arquitetura.

Uma sequência de simulações, de "A" a N", viabilizou a elaboração de uma sequência de implementações de soluções de separação de fluxo, levando o aproveitamento da capacidade de refrigeração de refrigeração de valores abaixo de 20% a 100% da capacidade dos *CRAH* ou *CRAC*.

O objetivo do estudo, diferente dos valores, é o de demonstrar a importância das simulações por *CFD* e da suscetibilidade do ambiente à uma má gestão da separação de fluxos. A figura 15 resume saídas de *CFD* para os estágios iniciais do ambiente em condições desfavoráveis de arranjo, seguindo até a melhor condição de separação de fluxos, com os corredores enclausurados.

A figura 16 mostra o arranjo inicial (prejudicado) e o arranjo final (organizado) para o ambiente da sala de dados.

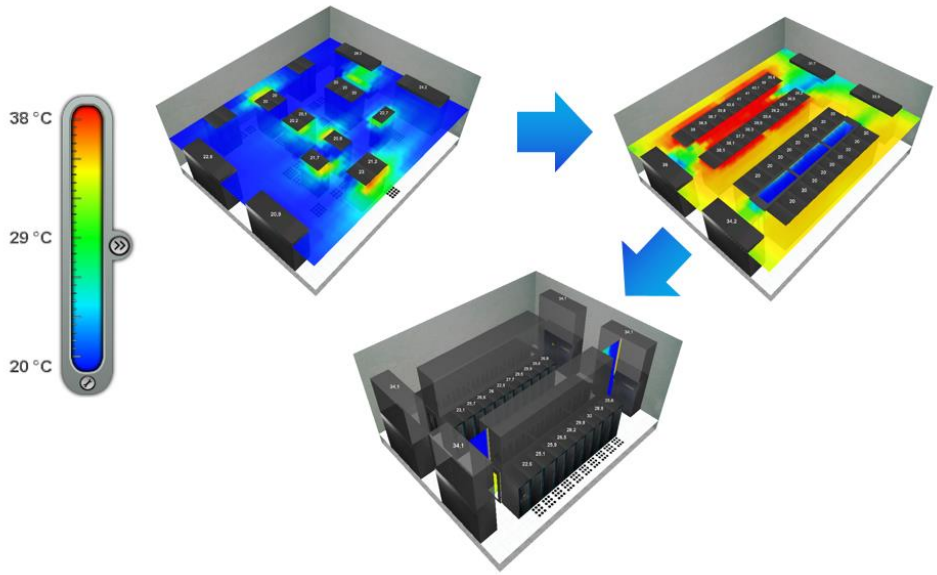

Figura 15 - CFD – Saídas de simulações sobre o modelo.

Copyright © 2016 ISESC

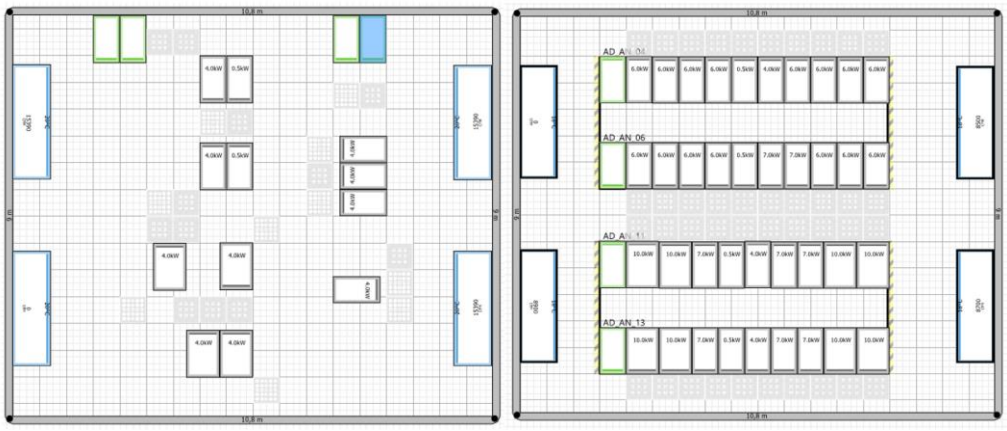

Figura 16 - CFD – Início (esquerda) e fim (direita) da sequência de implementações de soluções de separação de fluxos de ar condicionado.

5. Conclusões

Usuários e gestores de *data centers*, pelo ponto de vista das instalações físicas, regularmente encontram dificuldades na seleção da solução adequada de coordenação de fluxo de ar condicionado nas salas de dados. Para melhor aproveitar os recursos de infraestrutura disponíveis, devem buscar a melhor eficiência dos recursos, o que inclui a correta utilização do sistema AVAC, que é o maior consumidor de energia depois dos ativos de TIC. Reduzindo o consumo de energia, para um dado volume de serviços de TIC, impacta-se positivamente quanto à sustentabilidade das operações. Neste trabalho ficou demonstrado, com uma sequência de implementações baseadas em melhores práticas, os respectivos resultados através de modelos computacionais (*CFD)*, justificando os passos, comprovando os efeitos, a eficácia e a economia de recursos de desenvolvimento, propiciados pela utilização da ferramenta. Pode-se utilizar as simulações, assim como das informações de contextualização, para balizar as impressões e as decisões em processos de melhoria de ambientes de salas de dados de *data centers* ou mesmo na construção de novas instalações.

Referências

DUNLAP, K.; RASMUSSEN, N. ***The advantages of row and rack-oriented cooling architectures for data centers***. APC American Power Conversion White Paper #130, 21 p., 2006.

MARSHALL, L.; BEMIS, P. ***Using CFD for data center design analysis*.** Applied Math Modeling, Inc. White Paper #107, 17 p., 2011.

RASMUSSEN, N. **Implantação de *data centers* com eficiência energética**. SCHNEIDER ELECTRIC *White Paper* #114, 14 p. 2013.

WHITNEY, J.; DELFORGE, P. ***Scaling up efficiency across the data center industry: Evaluating key drivers and barriers***. Data Center Efficiency Assessment, Natural Resources Defense Council (NRDC), 34 p., 2014.

REALWISH SINGAPORE (2002-2015), ***Resources – Overview of Data Center Facility.*** Disponível em <http://www.realwish.com/resources.html> Acesso em 18 de setembro de 2016.

SIEMON (2016) ***Standards Informant TIA-942-A Data Center Energy Efficient Design Overview.*** Disponível em <http://blog.siemon.com/standards/author/admin/page/4> Acesso em 18 de setembro de 2016.

SALIM, M. ***Optimizing air management metrics by containment is the first step to data centers green transformation.*** *Section Four*, pág. 79 a 91 [2010]

Copyright © 2016 ISESC