



INFLUÊNCIA DO LAYOUT EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE AR CONDICIONADO PELO PISO

Viviane C. Abe; Brenda C. C. Leite

Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo – e-mail: viviane.abe@poli.usp.br

RESUMO

Proposta: O sistema de distribuição de ar condicionado pelo piso (*Underfloor Air Distribution System – UFAD*) é uma tecnologia ainda pouco difundida no Brasil. Resultados de diversas pesquisas comprovam sua eficácia na melhoria das condições de conforto térmico e da qualidade do ar, além da redução do consumo energético. Contudo, ainda há diversas barreiras que impedem a aplicação desse sistema em maior escala, como a ausência de normas específicas e de diretrizes de projeto. Atualmente, o projeto de distribuição dos difusores de ar no piso geralmente ocorre através da experiência do próprio projetista, ou é realizado com base em experiências de outros pesquisadores. Praticamente não existem diretrizes para projetos integrados de layout e de distribuição de difusores de ar no piso que viabilizem a compatibilização destes dois aspectos. O presente estudo tem por objetivo divulgar a tecnologia de distribuição de ar pelo piso no Brasil. Além disso, visa apresentar aos projetistas informações relativas à disposição dos difusores no piso, que podem orientá-los a uma tomada de decisões de projeto com embasamento científico. **Método de pesquisa/Abordagens:** Trata-se de uma revisão bibliográfica de pesquisas sobre sistemas de distribuição de ar pelo piso que apresentam dados referentes ao posicionamento de difusores de ar. **Resultados:** A revisão da literatura deixou clara a necessidade da realização sistemática de pesquisas sobre a influência do layout de mobiliário na condição térmica resultante em sistemas de distribuição de ar pelo piso. **Contribuições/Originalidade:** Os estudos apresentados na presente revisão contribuem para a divulgação da tecnologia de distribuição de ar pelo piso, ainda pouco conhecida no Brasil. A revisão bibliográfica também mostra aos projetistas e demais pesquisadores a importância fundamental do posicionamento adequado dos difusores no piso.

Palavras-chave: layout de mobiliário em escritórios; ar-condicionado; distribuição de ar pelo piso; conforto térmico.

ABSTRACT

Propose: The technology of Underfloor Air Distribution (UFAD) system is not yet widespread in Brazil. Many researches have been conducted that confirm the system benefits, like the improvement of indoor air quality (IAQ) and thermal comfort conditions, as well as the energy consumption reduction. However, there are many obstacles that make the widespread application of the system more difficult as the absence of specific standards and design guidelines. Nowadays, the floor diffuser distribution design is based on the designer own experience or based on others researchers recommendations. There are no design guidelines for the integration of floor diffusers distribution with the furniture layout. The purpose of this study is to divulge the UFAD technology in Brazil. Thus, it aims to expose, particularly for the system's designers, some information related to the distribution of floor diffusers, guiding them to make a scientific based decision. **Methods:** This study is a literature review of researches about UFAD systems that present relevant data related to the floor diffusers location. **Findings:** The literature review clearly showed the necessity of a systematic accomplishment

of researches about the impact of furniture layout on the thermal condition resulting in rooms with UFAD system. **Originality/value:** The studies presented in this literature review contribute for the divulgence of UFAD technology that is not very known in Brazil. The literature review also attests the fundamental role of suitable positioning of the floor diffusers.

Keywords: office layout; air-conditioning; underfloor air distribution system (UFAD); thermal comfort.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Sistemas de distribuição de ar condicionado pelo piso

Os sistemas convencionais de distribuição de ar condicionado são caracterizados pelo arranjo uniforme e fixo dos difusores no teto do ambiente. O ar é insuflado a baixas temperaturas sendo então misturado com o ar existente no ambiente até atingir uma temperatura homogênea que deve estar dentro da faixa de conforto térmico, conforme as normas NBR – 6401/1980 (ABNT, 1980), ASHRAE 55 (2004) e (ISO 7730, 1994). Porém, está cada vez mais difícil satisfazer as preferências ambientais individuais dos trabalhadores de escritórios utilizando este sistema de distribuição de ar. A ocupação espacial heterogênea, o aumento do número de equipamentos que dissipam calor, cujas cargas variam consideravelmente nas estações de trabalho, e as constantes reconfigurações dos escritórios modernos, para atualização e adequação do espaço ao uso dificultam o controle das condições térmicas locais.

Nos sistemas de distribuição de ar pelo piso (*Underfloor Air Distribution – UFAD*) o ar resfriado é insuflado no *plenum* (espaço entre a laje e o piso elevado), sendo então distribuído no ambiente através dos difusores de ar localizados nas placas do piso elevado. As principais características desse sistema são: insuflação do ar diretamente na zona ocupada a temperaturas mais elevadas (se comparadas aos sistemas convencionais), maior controle das condições térmicas para conforto dos ocupantes, melhoria da eficiência da ventilação e qualidade do ar, possibilidade de condicionamento apenas do volume de ar do espaço efetivamente ocupado, possibilidade de uso de até 100% de ar externo, redução do consumo energético, redução da altura do pé-direito da edificação (BAUMAN, 2003).

O sistema de distribuição de ar pelo piso promove total flexibilidade e consequente redução dos custos associados às freqüentes reconfigurações internas dos ambientes, já que, como não há dutos no interior do *plenum* do piso, os difusores de ar podem ser repositionados simplesmente através da mudança das placas do piso. Os difusores de ar de piso geralmente são ajustáveis, fornecendo uma oportunidade para que os ocupantes tenham um certo controle das condições térmicas locais (BAUMAN e WEBSTER, 2001).

Os sistemas distribuição de ar condicionado pelo piso atingiram considerável aceitação na Europa, África do Sul e Japão. Contudo, na América do Norte, o processo tem sido mais lento, devido à resistência ao uso de uma nova tecnologia, à falta de informação objetiva e à padronização de diretrizes de projeto (BAUMAN e WEBSTER, 2001), fato que se repete no Brasil. Assim, embora existam resultados de pesquisas feitas para documentar o seu real desempenho frente a essas situações, como por exemplo, os de Arnold, (1990), Bauman e Webster (2001), Bauman (2003), Bielli (2002), Corgnati e Perino (2004), Daly (2002), Faulkner et al. (1995), Genter (1989), Hanzawa e Nagasawa (1990), Heinemeier et al. (1990), Matsunawa et al. (1995); Leite (2003), Leite e Tribess (2001), Leite e Tribess (2002a e 2002b), Leite et al. (2003), McCarry (1995), Shute (1992 e 1995), Sodec e Craig (1990), Spoormaker (1990), Tuddenham (1986), Webster et al. (2002), o sistema ainda é pouco conhecido e utilizado no Brasil.

Em um escritório do tipo aberto (“*open-plan*”) o layout de mobiliário pode influenciar nas condições térmicas e de escoamento de ar nas estações de trabalho (BAUMAN et al., 1992). Essa influência foi estudada por Bauman et al. (1992), Haghishat, et al. (1996), Cheong et al. (2000 e 2002), Lee e Awbi (2004), Shaw (1993a e 1993b), porém, para ambientes com sistemas convencionais de distribuição de

ar. Ainda não há, até o momento, pesquisas que indiquem a influência do layout de mobiliário em sistemas de distribuição de ar pelo piso.

2. OBJETIVO

O presente estudo reúne os resultados de pesquisas que sugerem recomendações para a locação dos difusores de piso. A presente revisão bibliográfica tem por objetivo divulgar a tecnologia do sistema de distribuição de ar pelo piso, ainda pouco conhecida no Brasil. Além disso, o estudo visa apresentar, principalmente aos projetistas que estão lidando com o sistema pela primeira vez, as informações relacionadas à disposição dos difusores no piso disponíveis na literatura, orientando-os a uma tomada de decisões de projeto com embasamento científico.

3. METODOLOGIA

O presente estudo é uma revisão bibliográfica de pesquisas sobre o sistema de distribuição de ar pelo piso. Do material consultado foram extraídas informações relevantes sobre o posicionamento de difusores no piso e agrupadas por tipo de abordagem.

4. RESULTADO DAS PESQUISAS CONSULTADAS

A importância do impacto do layout de mobiliário na distribuição do ar no interior de um ambiente foi comprovada no estudo apresentado por Bauman et al. (1991), ainda que não tenham sido apresentadas recomendações para a locação dos difusores de ar. Em uma câmara de testes que simulava um ambiente de escritório foram realizadas medições da temperatura do ar. Os resultados das medições indicaram diferenças de temperatura em estações de trabalho adjacentes da ordem de 1°C a 2,5°C, ou seja, sob condições similares de insuflação de ar, duas estações de trabalho apresentaram diferentes temperaturas. Isto sugere que a posição dos difusores no piso, com relação ao mobiliário tenha interferido na distribuição do ar, resultando em diferentes temperaturas.

Dada a importância da locação dos difusores de ar nas condições térmicas resultantes em um ambiente climatizado, são apresentadas a seguir, informações relevantes, extraídas das pesquisas consultadas, relativas à posição do difusor de ar no piso com relação ao mobiliário e aos ocupantes. São apresentados também, resultados de pesquisas que avaliaram o grau de satisfação dos usuários com as condições térmicas resultantes em ambientes com o sistema de distribuição de ar condicionado pelo piso.

4.1 Posicionamento dos difusores com relação ao layout de mobiliário

Ainda há poucas informações relativas ao impacto do layout na distribuição de ar para os sistemas de insuflação pelo piso, não havendo registro de pesquisas empíricas que tratem do tema. Assim, as informações apontadas a seguir, correspondem a relatos de pesquisadores, geralmente baseados em suas experiências com o projeto e a instalação do sistema em edificações.

Shute (1992) recomenda evitar o posicionamento de difusores nas rotas de circulação dos ocupantes, que se mostraram incomodados em pisar ou mover-se sobre os difusores. Já, McCarry (1995), recomenda que os difusores de piso sejam posicionados em áreas de circulação, com exceção das áreas ocupadas por cadeiras e mesas, já que, segundo o pesquisador, os ocupantes raramente notam a presença dos difusores enquanto se movimentam.

Loudermilk (2003) e Spoormaker (1990) destacam a necessidade de considerar as diferentes zonas de ocupação (zona perimetral e zona interior) para o projeto de distribuição de difusores no piso. Spoormaker destaca a necessidade de se considerar a distribuição heterogênea das cargas térmicas no interior do ambiente, para a correta locação dos difusores de ar. O autor recomenda o emprego de um

difusor de ar para cada $16m^2$ (recomendações válidas para difusores de ar quadrados, com quatro grelhas ajustáveis e dotados de ventiladores (*fans*)).

Sodec (1984, apud SODEC e CRAIG, 1990) recomendou que, em sistemas de distribuição de ar pelo piso, quando as estações de trabalho possuírem difusores de ar incorporados à mesa (ventilação de tarefa ou “*task ventilation*”), cada estação deveria dispor de três ou quatro difusores de ar do tipo *swirl* (jato espiralado) de 150mm de diâmetro ou um difusor de 200mm de diâmetro para o condicionamento geral mínimo. No caso de estações de trabalho localizadas próximas ao perímetro externo da edificação, o autor recomendou o uso de quatro a seis difusores de 150mm ou dois difusores de 200mm de diâmetro. Para sistemas de distribuição de ar pelo piso sem ventilação de tarefa (sem difusores de ar incorporados à mesa), o número de difusores de piso deveria aumentar.

Foram relatados também problemas encontrados após a instalação do sistema em edificações, que devem ser evitados em projetos futuros. Arnold (1990) expôs um estudo de caso de uma edificação onde o uso de divisórias baixas fixadas nas placas do piso elevado e a colocação de carpetes de tamanhos diferentes das placas do piso elevado, dificultavam o acesso ao *plenum* do piso.

McCarry (1995) relata a experiência adquirida com a avaliação de três edifícios que dispunham de sistema de distribuição de ar pelo piso. McCarry revela que após as mudanças de layout de mobiliário, os difusores de ar não foram deslocados, exceto em situações extremas, como a locação do difusor exatamente sob a cadeira de um ocupante. Esse fato também foi notado por Leite et al. (2000) que afirmaram que as mudanças de layout não foram acompanhadas pelo reposicionamento dos difusores de piso.

4.2 Posicionamento dos difusores com relação aos ocupantes

As distâncias mínimas recomendadas nos estudos citados a seguir só podem ser aplicadas se os mesmos tipos de difusores de ar, carga térmica interna e parâmetros de operação do sistema forem adotados. Leite e Tribess (2004) citam que a escolha do tipo do difusor tem importância fundamental na distribuição do ar no interior do ambiente, para evitar a formação de uma camada de ar muito frio no nível dos pés.

Sodec e Craig (1990), Hanzawa e Nagasawa (1990) e Leite e Tribess (2004) recomendam o uso dos difusores do tipo *swirl* por apresentarem uma alta taxa de indução e um menor risco de causar desconforto local por correntes de ar, devido ao menor grau de turbulência resultante do perfil do escoamento do ar e ao alcance limitado do jato de ar. Já segundo Bauman et al. (1995) apesar dos difusores do tipo *swirl* reduzirem o risco de desconforto local, deve-se dar preferência à utilização de difusores do tipo *jet air* (jato de ar em uma determinada direção) em circunstâncias onde uma maior faixa de controle é desejada.

Xu e Niu (2004) usam uma ferramenta de dinâmica de fluidos computacional (*Computational Fluid Dynamics – CFD*) para comparar dois tipos de difusores de piso: o difusor quadrado do tipo *jet air*, com quatro grelhas ajustáveis, e o difusor do tipo *swirl*. Os resultados das simulações indicaram que ambos os difusores são adequados para manter a estratificação do ar na sala. Porém, no caso dos difusores do tipo *swirl*, a mistura do ar insuflado com o ar da sala é mais rápida, resultando em uma menor diferença de temperatura entre os níveis dos pés e da cabeça.

Segundo Sodec e Craig (1990), para difusores de ar do tipo *swirl*, de 150mm de diâmetro, a distância mínima a ser mantida entre o ocupante e o difusor de ar deve ficar em torno de 0,8 a 1,0m. Para difusores de ar de 200mm de diâmetro, essa distância deve ser de 1,0 a 1,5m. Shute (1992) recomenda o posicionamento dos difusores a pelo menos 1,20m de distância do ocupante e, no caso de não haver possibilidade de manter essa distância mínima, o autor sugere a locação dos difusores inseridos no mobiliário.

Matsunawa et al. (1995) desenvolveram um novo difusor de ar, do tipo *swirl*, com um ventilador (*fan*) incorporado. Os resultados dos testes indicaram que os difusores poderiam ser posicionados a 0,8m de distância dos ocupantes sem causar risco de desconforto local por correntes de ar. A mesma distância foi apontada por Leite (2003), porém para difusores do tipo *swirl* passivos (sem ventiladores).

Bauman et al. (1991) alertam para que o posicionamento dos difusores no piso seja feito com cautela, principalmente em estações de trabalho de dimensões reduzidas. Os resultados das medições dos perfis de velocidade e temperatura do ar, realizadas em uma câmara experimental, indicaram que havia forte risco de desconforto local devido a correntes de ar num raio de 1m de distância do módulo de insuflação, composto por uma placa de piso elevado, dotada de quatro difusores de ar do tipo *swirl*. Bauman et al. (1995) realizaram novamente o experimento, porém com a inclusão de um manequim térmico, para a investigação do desconforto térmico local e com os módulos de insuflação de ar instalados de 1 a 1,5m de distância do local onde o manequim permaneceria. As novas medições indicaram a assimetria das condições térmicas produzidas pelo sistema de distribuição de ar pelo piso sob determinadas condições de operação, porém, o controle da vazão de ar insuflado poderia proporcionar condições satisfatórias de conforto térmico.

Sekhar e Ching (2002) avaliaram um ambiente com o sistema de distribuição de ar condicionado pelo piso, com insuflação e retorno do ar pelo piso. Foi identificada uma zona de estagnação, sem movimento de ar, entre o ponto de insuflação e o de retorno. Assim, quando os ocupantes estavam próximos a um difusor (cerca de 0,5m de distância), permanecendo sob sua influência direta, sentiam desconforto local causado por correntes de ar. No entanto, se os ocupantes estivessem à cerca de 1 a 2m de distância, poderiam estar sujeitos à estagnação do ar até uma altura de 1,5m.

Chao e Wan (2004) identificaram a formação de uma zona de alta velocidade do ar (acima de 0,3m/s), observada a uma distância de 0,3 a 0,6m do difusor (*swirl*, com ventilador incorporado), na qual os ocupantes deveriam evitar, pois certamente sentiriam desconforto local.

Também foram encontrados registros de posicionamento do difusor relativo aos ocupantes baseados em valores de velocidades máximas permitidas. Kim et al. (2001) recomendam que a velocidade do ar seja menor que 0,2m/s antes de atingir o ocupante. Loudermilk (1999) recomenda que a velocidade do ar não seja maior do que 0,25m/s. Além disso, o autor sugere que a temperatura de insuflação seja no máximo 0,6°C menor do que a temperatura do ambiente, ou seja, se a temperatura do ambiente for 24°C, a temperatura de insuflação não deveria ser menor do que 23,4°C.

Segundo Chae et al. (2004) os sistemas de distribuição de ar pelo piso apresentam baixo risco de formação de correntes de ar, já que as velocidades de insuflação são muito baixas. Em medições realizadas em laboratório, as velocidades medidas variaram de 0,06m/s a 0,3m/s. Os autores destacaram que a locação e o arranjo dos difusores devem ser cuidadosamente considerados pelos projetistas desse sistema, mas não citaram recomendações para a distribuição dos difusores de ar no piso. Similarmente, Leite (2003), que estudou o desempenho do sistema de distribuição de ar pelo piso em uma câmara de testes com difusores do tipo *swirl*, considerou improvável a formação de correntes de ar se os parâmetros de operação do sistema estiverem adequados. Medições dos perfis de velocidade do ar resultaram em valores geralmente abaixo de 0,1m/s.

4.3 Grau de satisfação dos usuários

Foram incluídos resultados de pesquisas sobre a avaliação do grau de satisfação dos usuários com o ambiente, já que, segundo Leite (2003), a inclusão de pessoas no processo de avaliação da qualidade do ar é muito importante, “pois somente através de suas manifestações é possível se determinar parâmetros adequados para a elaboração de projetos de sistemas de climatização”.

Kim et al. (2000), Leite et al. (2000), Matsunawa et al. (1995), Xu e Niu (2004) e Zagreus et al. (2004) avaliaram o grau de satisfação dos usuários em ambientes com o sistema de distribuição de ar condicionado pelo piso. Matsunawa et al. revelaram que a maior parte dos ocupantes da edificação em

estudo estava satisfeita com as condições térmicas e somente alguns deles sentiram desconforto local nos pés. Os pesquisadores concluíram que se tratava de falta de ajuste dos difusores próximos a eles.

Também no estudo apresentado por Zagreus et al. (2004) os ocupantes estavam mais satisfeitos com a qualidade do ar interna no ambiente com o sistema de distribuição de ar pelo piso. Porém, com relação aos difusores de piso, a maioria dos ocupantes não soube responder se a locação e o número de difusores no piso eram satisfatórios. A maior parte dos ocupantes não ajustava os difusores com freqüência. Apesar disso, cerca de 2/3 dos ocupantes manifestaram preferência pelo sistema de distribuição de ar pelo piso em detrimento do sistema convencional de distribuição de ar. Já os resultados apresentados por Kim et al. (2000) revelaram que os ocupantes que permaneciam longe dos difusores de insuflação e de retorno estavam mais insatisfeitos com a condição térmica, por considerarem pequena a movimentação do ar (ar estagnado).

No estudo apresentado por Leite et al. (2000) apenas 43% dos ocupantes estavam satisfeitos com as condições ambientais. Os pesquisadores afirmaram que houve pouca compatibilidade entre o projeto e sua implementação, já que as freqüentes mudanças de layout de mobiliário não foram acompanhadas pelo reposicionamento dos difusores no piso. Citaram ainda a necessidade de instruir os ocupantes a ajustar os difusores de acordo com suas preferências individuais.

Xu e Niu (2004) afirmaram que a percentagem de ocupantes que expressam desconforto térmico local por correntes de ar tende a ser elevada na região próxima aos difusores, devido aos efeitos combinados de baixas temperaturas, velocidades do ar relativamente altas e à turbulência. Citam também que o desconforto local pode ser devido à configuração dos difusores, sendo o posicionamento dos difusores de fundamental importância para a criação de um ambiente termicamente confortável.

5. ANÁLISE DE RESULTADOS

Projetos de sistemas de distribuição de ar pelo piso envolvem um processo consideravelmente diferente daquele utilizado para os sistemas de distribuição de ar convencionais. O cálculo da carga térmica interna, da taxa de ar de renovação e da temperatura de insuflação do ar condicionado para a seleção do tipo, tamanho e número de difusores deve ser diferente nos dois sistemas (ARCHITECTURAL ENERGY CORPORATION, 2000).

Até o momento, a distribuição dos difusores de ar no piso geralmente ocorre através de aproximações empíricas baseadas em experiências anteriores dos projetistas com esse sistema, ou através da adoção de medidas utilizadas por outros pesquisadores (BAUMAN, 2003). A maioria dos projetistas freqüentemente usa regras genéricas, que não se aplicam às características peculiares do sistema.

O impacto do layout de mobiliário fica evidente através do resultado do estudo apresentado por Bauman et al. (1991) que indica diferenças de até 2,5°C em estações de trabalho adjacentes, sob as mesmas condições de operação do sistema, deixando claro que a posição dos difusores no piso com relação ao mobiliário foi responsável pelos diferentes perfis de distribuição do ar. A maior parte dos pesquisadores dos estudos apresentados acima (BAUMAN et al., 1991; CHAE et al., 2004; DE CARLI et al., 2000; LOUDERMILK, 2003; XU e NIU, 2004) concorda que o posicionamento dos difusores no piso é de fundamental importância para a condição térmica resultante, devendo ser cuidadosamente considerado durante a fase de projeto. Porém, nenhum deles apresenta recomendações para posicionamento dos difusores de ar com relação ao layout de mobiliário.

Os resultados das pesquisas evidenciam a necessidade de uma padronização de diretrizes de projeto de sistemas de distribuição de ar pelo piso. A tabela 1 apresenta um resumo das pesquisas que indicam valores mínimos de distâncias a serem mantidas entre os difusores de ar e os ocupantes. Os valores das distâncias indicadas na tabela 1 só podem ser considerados se o sistema operar sob os mesmos parâmetros adotados pelos pesquisadores e com os mesmos tipos de difusores de ar. Vale destacar que a adoção de um valor de distância para o posicionamento do difusor de ar com relação ao ocupante é um critério insuficiente para a definição de um projeto. Outros fatores como a proximidade de janelas,

o número de equipamentos (fontes de calor) e a distância dos difusores a obstáculos verticais (divisórias) também devem ser considerados.

Tabela 1 - Distâncias recomendadas para a locação dos difusores do tipo “swirl”

Pesquisadores	Difusor; capacidade de vazão	Distância mínima do ocupante (m)
Bauman et al. (1991)	$\varnothing 127\text{mm}$; 40 - 90 l/s; com <i>fan</i> incorporado	1
Bauman et al. (1995)	$\varnothing 127\text{mm}$; 40 - 90 l/s; com <i>fan</i> incorporado	1 - 1,5
Leite (2003)	$\varnothing 150\text{mm}$; 20 l/s $\varnothing 200\text{mm}$; 40 l/s	0,8
Matsunawa et al. (1995)	$\varnothing 173,1\text{mm}$; 42,48 l/s - 84,95 l/s; com <i>fan</i> incorporado	0,8
Shute (1992)	Não informa	1,20
Sodec e Craig (1990)	$\varnothing 150\text{mm}$; 12,5 l/s	0,8 - 1
Sodec e Craig (1990)	$\varnothing 200\text{mm}$; 40 l/s	1 - 1,5

As informações relativas ao posicionamento dos difusores de ar com relação ao layout de mobiliário (item 4.1), extraídas das pesquisas consultadas são, claramente, insuficientes para a determinação de diretrizes de projeto. Assim, Shute (1992) destaca que é de fundamental importância que o arquiteto de interiores entenda as características do escoamento do ar do sistema de distribuição de ar pelo piso para que possa executar o projeto de layout de mobiliário. O autor sugere a realização de um layout de mobiliário preliminar, que deve ser revisto pelo projetista do sistema de distribuição de ar, responsável por ajustes no layout com a finalidade de promover a melhor distribuição de ar no interior do ambiente.

A necessidade de mais pesquisas sobre o tema é evidenciada através das divergências encontradas, como nos estudos apresentados por McCarry (1995) e Shute (1995). McCarry relatou que os ocupantes raramente notavam a presença dos difusores, o que indica que eles poderiam ser posicionados em áreas de circulação. Já Shute afirmou que os ocupantes sentiram-se incomodados por terem que passar sobre os difusores. Divergências também foram encontradas nas pesquisas de Xu e Niu (2004), Chae et al. (2004) e Leite (2003). Xu e Niu (2004) afirmaram que haveria grande possibilidade de desconforto térmico local por correntes de ar na região próxima aos difusores. Já Chae et al. (2004) e Leite (2003) concluíram que havia baixo risco de correntes de ar, já que o sistema opera com baixas velocidades do ar, sendo improvável a formação de correntes de ar.

Percebe-se a necessidade de um maior pesquisas que apresentem resultados conclusivos sobre a posição dos difusores de ar no piso, de acordo com o layout do ambiente. Segundo De Carli et al. (2000), no projeto de sistemas de distribuição de ar pelo piso, o projeto de layout de difusores de piso e das grelhas de retorno deve ser criterioso. Os pesquisadores recomendam a utilização de modelos de dinâmica dos fluidos computacional durante a fase de projeto, já que esta ferramenta facilita a análise da influência de diferentes parâmetros, geometrias e arranjos de layout tanto de mobiliário como de difusores de ar. Os pesquisadores apresentam os resultados de uma simulação numérica e comparam os resultados com dados experimentais realizados anteriormente. Os resultados da simulação foram considerados satisfatórios pelos pesquisadores, que recomendam seu uso como ferramenta de projeto, também recomendada por Kim et al. (2000) e Xu e Niu (2004), em estudo semelhante.

Atualmente, Abe está desenvolvendo uma pesquisa, com a utilização de uma ferramenta de dinâmica dos fluidos computacional (CFD), que tem por objetivo verificar o impacto dos diferentes arranjos de layout de mobiliário no escoamento do ar insuflado pelo piso e, em função das situações de conforto e desconforto originadas da interação do layout e a planta de distribuição de difusores, pretende-se apontar possíveis recomendações para a locação dos difusores no piso, para um determinado layout de

mobiliário, de modo a garantir condições de conforto térmico para os usuários (em fase de elaboração)¹.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATION AND AIR CONDITIONING.

ANSI/ASHRAE Standard 55-2004: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2004.

ARCHITECTURAL ENERGY CORPORATION (AEC). **Design Brief: Underfloor air distribution and access floors.** 2000. Disponível em: <<http://www.energydesignresources.com/resource/36/>>.

ARNOLD, D. **Raised floor air distribution – a case study.** ASHRAE Transactions, Vol. 96 (2), p.665-669, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6401:** Instalações Centrais de Ar Condicionado para Conforto – Parâmetros Básicos de Projeto. Rio de Janeiro, 1980.

BAUMAN, F.S.; JOHNSTON, L.P.; ZHANG, H.; ARENS, E.A. **Performance Testing of a Floor-Based, Occupant-Controlled Office Ventilation System.** ASHRAE Transactions, Vol. 97 (1), p.553-565, 1991.

BAUMAN, F.S.; FAULKNER, D.; ARENS, E.A.; et al. **Air Movement, Ventilation, and Comfort in a Partitioned Office Space.** ASHRAE Transactions: Symposia, Vol. 98 (1), p.756-780, 1992.

BAUMAN, F.S.; ARENS, E.A.; TANABE, S.; ZHANG, H.; BAHARLO, A. **Testing and optimizing the performance of a floor-based task conditioning system.** Energy and Buildings, vol. 22 (3), p.173-186, 1995.

BAUMAN, F.S.; WEBSTER, T. **Outlook for underfloor air distribution.** ASHRAE Journal, Vol.43, No. 6, p.18-25, 2001.

BAUMAN, F. S. **Underfloor Air Distribution (UFAD) Design Guide.** Atlanta: ASHRAE, 2003. 243p.

BIELLI, E. **UFAD: Floor Supply and Floor Return for Excellent Indoor Air Quality and Thermal Comfort.** In: International Conference on Air Distribution in Rooms, 8, Copenhagen. **Proceedings...** Denmark: The Technical University of Denmark and Danvak, 2002. p. 449-452.

CHAE, Y.T.; MOON, H.J.; LEE, S.M.; SOHN, J.Y. **Experimental Comparison of Thermal Environment between Ceiling-based and Floor-based System with CAV HVAC System.** In: International Conference on Air Distribution in Rooms, 9, Coimbra. **Proceedings...** Coimbra: Universidade de Coimbra, 2004.

CHAO, C.Y.H.; WAN, M.P. **Airflow and air temperature distribution in the occupied region of an underfloor ventilation system.** Building and Environment, vol. 39 (7), p. 749-762, 2004.

CHEONG, K.W.D.; THAM, K.M.; SEKHAR, S.C. et al. **The Influence of office layout on the ventilation and air temperature distributions – an environmental chamber study.** In: International Conference on Healthy Buildings, 6, Finland. **Proceedings...** Helsinki, SIY Indoor Air Information Oy, Finland, 2000, vol. 2, pp 371-376.

CHEONG, K.W.D.; DJUNAEDY, E.; THAM, K.M.; SEKHAR, S.C.; WONG, N.H.; ULLAH, M.B. **Influence of furniture layout and ventilation design on air quality and thermal comfort.** In: International Conference on Indoor Air Quality and Climate, 9, Monterey. **Proceedings...** ISBN, 2002.

¹ ABE, V.C. Dissertação de mestrado em fase de desenvolvimento, sob orientação da Profª. Drª. Brenda Chaves Coelho Leite, no Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, com apoio da FAPESP. Defesa prevista para fevereiro de 2007.

CORGNATI, S.P.; PERINO, M. **Thermal comfort, IAQ and air distribution analysis in open-space offices with underfloor air distribution.** In: International Conference on Air Distribution in Rooms, 9, Coimbra. **Proceedings...** Coimbra: Universidade de Coimbra, 2004.

DALY, A. **Underfloor Air Distribution: Lessons Learned.** ASHRAE Journal, Vol. 44, No. 5, p.21-24, 2002.

DE CARLI, M.; PERON, F.; ROMAGNONI, P.; ZECCHIN, R. **Analysis of air velocity and temperature distribution in furnished rooms with underfloor air diffusers.** In: International Conference on Air Distribution in Rooms, 8, Reading. **Proceedings...** Elsevier Science Ltd., Oxford – UK, 2000.

FAULKNER, D.; FISK, W.J.; SULLIVAN, D.P. **Indoor Airflow and pollutant removal in a room with floor-based task ventilation: results of additional experiments.** Building and Environment, vol. 30 (3), p. 323-332, 1995.

GENTER, R.E. **Air Distribution for Raised Floor Offices.** ASHRAE Transactions, Vol. 95 (2), p.141-146, 1989.

HAGHIGHAT, F.; HUO, Y.; ZHANG, J.; SHAW, C. **The Influence of Office Furniture, Workstation Layouts, diffuser Types and Location on Indoor Air Quality and Thermal Comfort Conditions, at Workstations.** Indoor Air, No. 6, p. 188-203, 1996.

HANZAWA, H.; NAGASAWA, Y. **Thermal comfort with underfloor air-conditioning systems.** ASHRAE Transactions, Vol. 96 (2), p. 696-698, 1990.

HEINEMEIER, K.E.; SCHILLER, G.E.; BENTON, C.C. **Task conditioning for the workplace: issues and challenges.** ASHRAE Transactions, Vol. 96 (2), p. 678-689, 1990.

INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION. **ISO 7730:** Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Geneva, 1994.

KIM, S.H.; LEE, D.W.; LEE, K.H. **Evaluation of the indoor airflow and temperature distribution in an office with UFAC.** In: International Conference on Air Distribution in Rooms, 8, Reading. **Proceedings...** Elsevier Science Ltd., Oxford – UK, 2000.

KIM, Y.; LEE, K.; CHO, H. **Experimental Study of Flow characteristics of a Diffuser for Under Floor Air-Conditioning System.** ASHRAE Transactions, Vol. 107 (1), p. 230-236, 2001.

LEE, H.; AWBI, H.B. **Effect of internal partitioning on indoor air quality of rooms with mixing ventilation – basic study.** Building and Environment, vol. 39 (2), p.127-141, 2004.

LEITE, B.C.C.; TRIBESS, A.; ORNSTEIN, S.W. **Work Environment Thermal Evaluation with Underfloor Air Supply Applied to a Commercial Building in Rio de Janeiro, Brazil.** In: International Conference on Air Distribution in Rooms, 7, Kidlington. **Proceedings...** Kidlington: Elsevier, 2000. p. 989-994.

LEITE, B.C.C.; TRIBESS, A. **Conforto Térmico em Ambientes de Escritórios com Distribuição de Ar pelo piso.** In: VII Congresso Brasileiro de Refrigeração, Ventilação e Condicionamento de Ar, CONBRAVA, São Paulo, 2001. **Anais...** São Paulo, s. ed., 2001. p. 119-127.

LEITE, B. C. C.; TRIBESS, A. **Analysis of the Underfloor Air Distribution System: Thermal Comfort and Energy Consumption.** In: International Conference on Air Distribution in Rooms, 8, Copenhagen, 2002. **Proceedings...** DK: Technical University of Denmark, 2002a. p. 245-248.

LEITE, B. C. C.; TRIBESS, A. **Determinação de parâmetros de conforto térmico e condições de operação de sistema de ar condicionado com insuflamento pelo piso.** In: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica - CONEM/2002, João Pessoa, 2002b.

LEITE, B.C.C. **Sistema de ar condicionado com insuflamento pelo piso em ambientes de escritórios: avaliação do conforto térmico e condições de operação.** 2003. 162p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

- LEITE, B.C.C.; MENDES JÚNIOR, C.; TRIBESS, A. **Underfloor air conditioning system-operational conditions for comfort in Office environments**. In: International Congress of Mechanical Engineering, 17, COBEM 2003, Proceedings... São Paulo: ABCM, 2003.
- LEITE, B.C.C.; TRIBESS, A. **Individually controlled office environments – thermal comfort parameters determination**. In: International Conference on Air Distribution in Rooms, 9, Coimbra. Proceedings... Coimbra: Universidade de Coimbra, 2004.
- LOUDERMILK, K.J. **Underfloor Air Distribution Solutions for Open Office Applications**. ASHRAE Transactions, Vol. 105 (1), p. 605-613, 1999.
- LOUDERMILK, K.J. **Temperature Control and Zoning in Underfloor Air Distribution Systems**. ASHRAE Transactions, Vol. 109 (1), p. 307-313, 2003.
- MATSUNAWA, K; IIZUKA, H.; TANABE. S. **Development and application of an underfloor air-conditioning system with improved outlets for a “smart” building in Tokyo**. ASHRAE Transactions, Vol. 101 (2), p. 887-901, 1995.
- McCARRY, B.T. **Underfloor air Distribution Systems: Benefits and When to Use the System in Building Design**. ASHRAE Transactions, Vol. 101 (2), p. 902-911, 1995.
- SHAW, C.Y.; ZHANG, J.S.; SAID, M.N.A.; VACULIK, F.; MAGEE, R.J. **Effect on air diffuser layout on the ventilation conditions of a workstation – Part I: Air distribution patterns**. ASHRAE Transactions, Vol. 99 (2), p. 125-132, 1993a.
- SHAW, C.Y.; ZHANG, J.S.; SAID, M.N.A.; VACULIK, F.; MAGEE, R.J. **Effect on air diffuser layout on the ventilation conditions of a workstation – Part II: Air change efficiency and ventilation efficiency**. ASHRAE Transactions, Vol. 99 (2), p. 133-143, 1993b.
- SEKHAR, S.C.; CHING, C.S. **Indoor air quality and thermal comfort studies of an under-floor air-conditioning system in the tropics**. Energy and Buildings 34 (5), p. 431-444, 2002.
- SHUTE, R.W. **Integrated Access Floor HVAC**. ASHRAE Transactions: Symposia, Vol. 98 (1), p. 730-736, 1992.
- SHUTE, R.W. **Integrated Access Floor HVAC: Lessons Learned**. ASHRAE Transactions: Symposia, Vol. 101 (2), p. 877-886, 1995.
- SODEC, F.; CRAIG, R. **The underfloor air supply system – The european experience**. ASHRAE Transactions, Vol. 96 (2), p. 690-695, 1990.
- SPOORMAKER, H.J. **Low-pressure underfloor HVAC system**. ASHRAE Transactions, Vol. 96 (2), p. 670-677, 1990.
- TUDDENHAM, D. **A floor-based approach**. ASHRAE Journal, Julho 1986, p. 18-28.
- XU, H.T.; NIU, J.L. **CFD analysis of two different supply diffusers in underfloor air distribution systems**. In: International Conference on Air Distribution in Rooms, 9, Coimbra. Proceedings... Coimbra: Universidade de Coimbra, 2004.
- WEBSTER, T.; BAUMAN, F.S.; REESE, J. **Underfloor Air Distribution: Thermal Stratification**. ASHRAE Journal, Vol. 44, No. 5, p. 28-33, Maio 2002.
- ZAGREUS, L.; HUIZENGA, C.; ARENS, E.; LEHRER, D. **Listening to the occupants: a Web-based indoor environmental quality survey**. *Indoor Air*, No. 14, Pt. 8, p. 65-74 (2004).

7. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP.