



MÉTODO PROPOSTO PARA DETERMINAÇÃO DE ÍNDICES DE AJUSTE EM MEDIDAS EFETUADAS POR SENSORES DE TEMPERATURA DO AR UTILIZADAS EM ALGORITMOS DE CONTROLE DE SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DE CONDICIONAMENTO DE AR DO TIPO “TETO FRIO”

Marcelo Jun Ikeda (1); Brenda Chaves Coelho Leite (2);

- (1) Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, Brasil – e-mail: marcelo.ikeda@poli.usp.br
(2) Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, Brasil – e-mail: brenda.leite@poli.usp.br

RESUMO

Proposta: O presente trabalho é um estudo preliminar para a determinação de índices de ajuste em medidas efetuadas por sensores de temperatura do ar utilizadas em algoritmos de controle de sistema de automação do sistema de condicionamento de ar do tipo “Teto Frio”. Este sistema se caracteriza por um sistema misto composto por circuitos de água gelada que percorre serpentinhas instaladas em placas metálicas de forro e circuitos de ar, com distribuição de ar pelo teto, cujo funcionamento é controlado por um sistema de automação (hardware e software) específico. **Método de pesquisa/Abordagens:** Modelo de zoneamento de um ambiente experimental em regiões e sub-regiões ou quadrantes, onde foram feitas medições setoriais de temperatura e velocidade do ar. Determinação destas variáveis ambientais em diversas posições da sala e em diferentes níveis conforme as recomendações da ISO 7730 (1994) para avaliação do conforto térmico e análise do comportamento da distribuição das temperaturas do ar no ambiente. Avaliação estatística através de Cálculos de “Índices z”. **Resultados:** O método permite determinar um ponto da sala a certa altura que melhor represente a temperatura do ar do ambiente onde o ocupante se encontra. Os valores deste ponto comparados com os valores das variáveis ambientais obtidos de pontos de medições fixas possibilitaram a determinação do índice de ajuste da temperatura e sua utilização no algoritmo de controle. **Contribuições/Originalidade:** Este estudo representa uma possibilidade de melhora na eficiência do sistema de condicionamento de ar, através de uma melhor estimativa da temperatura do ambiente, haja vista que, nos pontos de instalação dos sensores, adotados normalmente em edifícios, o valor de temperatura do ambiente considerado nem sempre corresponde à temperatura ideal para controle.

Palavras-chave: Ar Condicionado, Teto Frio, Índice de Ajuste, Setpoint de Temperatura, Conforto Térmico, Sistema de automação.

ABSTRACT

Propose: The present work is a preliminary study to determine adjustment indexes in measurements made by air temperature sensors used in control algorithms of automation system applied to “Cooling Ceiling” air conditioning system. This system characterizes itself by a mixed system compounded by cold water circuits which pass through coils installed on metal ceiling tiles and by air circuits whose functioning is controlled by a specific automation system (hardware and software). **Methods:** Zoning model of an experimental environment in regions and sub-regions where sectorial measurements of air temperature and speed were done. Determination of these environment variables in several positions in the room, and in different levels according to ISO 7730 (1994) recommendations to thermal comfort

evaluation, and analysis of behavior of air temperature distribution in the environment. Statistical evaluation through Z-score calculation. **Results:** The method allows determining a place in the room at a certain height that best represents the air temperature of the environment where the occupant is located in. The values of this place compared to the values of the environment variables obtained from fixed measurements allowed the determination of adjustment indexes in temperature measurements and their utilization in the control algorithm. **Originality/value:** This study represents a possibility of efficiency improvement of the air conditioning system through a better estimative of the environment temperature, whereas in the places normally adopted in buildings where sensors have been installed, environment temperature value does not always correspond to ideal thermal comfort to controlling.

Keywords: air conditioning, cooling ceiling, adjustment indexes, temperature setpoint, thermal comfort, automation system.

1 INTRODUÇÃO

Os projetos de sistemas de climatização de ambientes têm a função principal de compensar os incrementos de cargas térmicas oriundos de pessoas, de equipamentos e de radiação solar. Estes sistemas preocupam-se principalmente com a retirada de calor sensível e latente, de forma a garantir a manutenção das condições de temperatura e umidade, assim, como a velocidade do ar dentro dos limites de conforto para as pessoas em determinados ambientes.

O sistema de teto frio se baseia no princípio da troca de calor por meio da radiação, onde são utilizadas placas metálicas de forro ativadas por serpentinhas contendo água gelada, criando assim, um teto com uma temperatura inferior à temperatura do próprio local. Para evitar os efeitos da condensação, uma vez que na maioria dos ambientes existe calor latente, há introdução de ar resfriado, que também contribui para o condicionamento do ar, trocando calor por convecção.

De acordo com Sodec (1999), o sistema de “teto frio” é uma instalação que consegue atender a vários requisitos de conforto térmico, tais como:

- Baixo gradiente de temperatura;
- Baixa velocidade do ar;
- Baixo nível sonoro (manutenção do nível de pressão sonora permitível).

Por outro lado, os sistemas de resfriamento radiantes requerem estratégias de controle bem ajustadas para manterem os níveis de umidade e temperatura em uma margem bem tolerável e assim, evitar a condensação na superfície das serpentinhas.

De um modo geral, observa-se na prática que nos sistemas de climatização de ar, a obtenção do valor de temperatura de referência para o ajuste automático da temperatura do ar de insuflamento é feita através de um sensor de temperatura localizado no duto de retorno do ar, porém, comumente também é encontrado no ambiente, como é o caso desta pesquisa. Estes sensores de temperatura do ar localizados no ambiente normalmente são posicionados em locais não muito adequados por questões essencialmente estéticas, isto é, eles podem ser encontrados em locais muito altos ou muito baixos, atrás da porta ou perto de algum equipamento dissipador de calor.

Dessa forma, o posicionamento inadequado destes sensores de temperatura do ar pode implicar em medidas errôneas que são introduzidas nos algoritmos de controle do sistema de automação de condicionamento do ar. Isso pode provocar sensação de desconforto no ocupante além de exigir mais do equipamento, gastando-se mais energia do que o necessário.

Para resolver este problema, tendo-se em vista que nem sempre, é possível posicionar estes sensores de temperatura no “local ideal”, é necessário acrescentar ao algoritmo de controle do sistema de

automação índices de ajuste nas medidas efetuadas pelos sensores fixos de temperatura do ar. Portanto, este ajuste resolve indiretamente o problema da má estimativa de temperatura do ambiente em decorrência do mau posicionamento do sensor, proporcionando dessa forma melhor condição de conforto térmico e gasto de energia elétrica otimizado.

2 OBJETIVO

Tendo-se em vista, o problema com medições erradas de temperatura do ar do ambiente, em decorrência do mau posicionamento dos sensores, este estudo preliminar propõe solucionar este problema através da determinação de índices de ajuste em medidas efetuadas por sensores de temperatura do ar utilizados em algoritmos de controle do sistema de condicionamento de ar do tipo “teto frio”. Os índices de ajuste serão determinados considerando medições feitas por sensores localizados em posições fixas no ambiente experimental, em comparação com resultados de medições da variável “temperatura do ar”, realizadas no ambiente.

3 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA ESTUDO DE CASO

3.1 Ambiente de medição

O ambiente experimental é o Laboratório para o Ensino de CAD do Departamento de Engenharia da Construção Civil da Escola Politécnica da USP. O ambiente possui geometria retangular com uma área de piso de aproximadamente 180 m². As paredes são de alvenaria e divisórias, e o acesso é feito por duas portas de vidro de 10 mm de espessura. As janelas são de vidro simples e localizam-se na região oposta à da porta e possuem no total 25 m². O teto da sala é composto por placas metálicas de alumínio de 0,75 m² cada uma. O sistema de painéis delimita um espaço Plenum de 40 cm de altura. A construção do “teto frio” da sala foi executada de forma a possuir doze circuitos fechados de água gelada, conforme a figura 1.

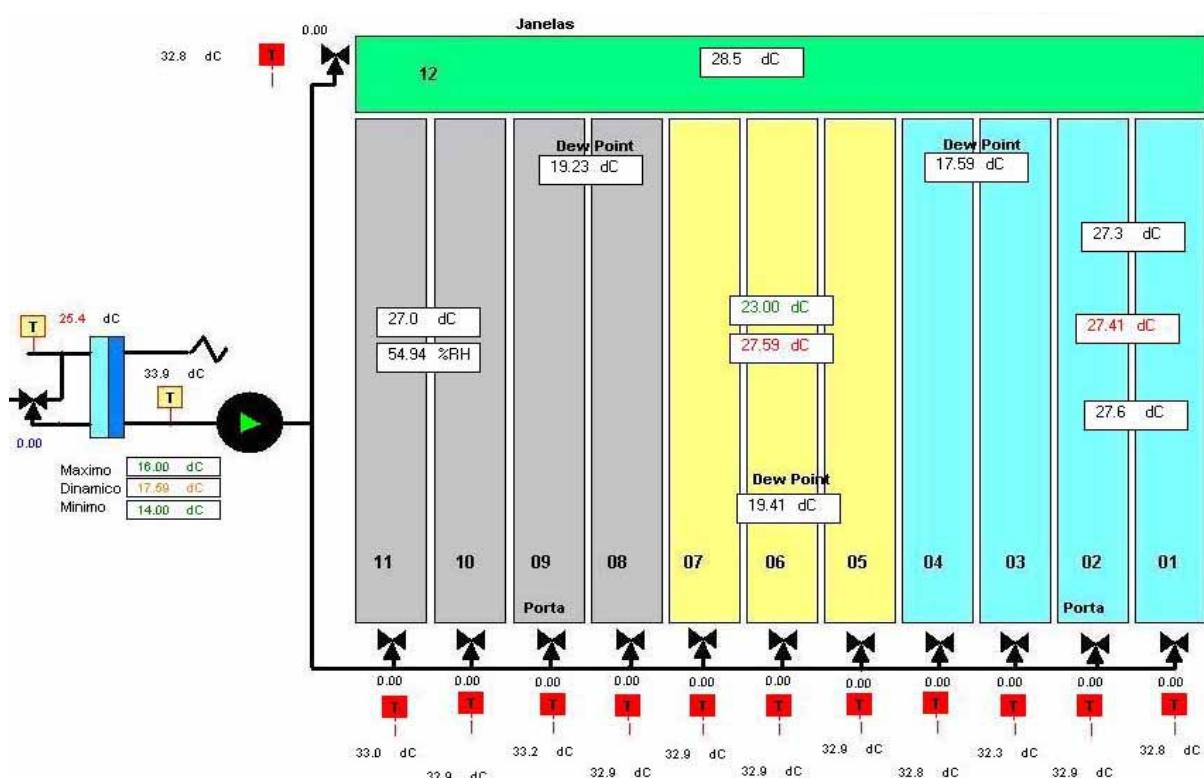


Figura 1 –Zoneamento de ambiente

Cada circuito possui um conjunto de painéis radiantes ativados por serpentinas contendo água gelada e controlado por uma válvula motorizada que mantém a vazão de água gelada conforme a exigência do sistema de controle. Adicionalmente, os circuitos foram agrupados em conjuntos com o objetivo de permitir uma melhor utilização do sistema de condicionamento de ar, através da otimização da carga de resfriamento conforme a real necessidade de cada região que se criou abaixo de cada agrupamento de circuitos.

Dessa forma, o sistema de controle do condicionamento de ar se comporta como se tivesse quatro regiões distintas dentro de um mesmo ambiente. Duas regiões localizadas nas laterais que compreendem quatro circuitos cada uma, uma região central que compreende três circuitos e uma região localizada na porção posterior, em frente às janelas, com apenas um circuito. Por exemplo, se o sistema de controle “entender” que certa região está com grande concentração de carga térmica, esta tentará suprir com uma carga de resfriamento equivalente, através da abertura proporcional das válvulas de água fria sobre os circuitos de painéis radiantes localizados nesta região. Sem esquecer, é claro que, como o ambiente é amplo e sem baias ou divisórias, necessariamente existe uma interação de cargas térmicas e umidade entre estas regiões.

3.2 Sistema de Condicionamento de ar

O sistema de condicionamento de ar do tipo “teto frio” caracteriza-se por um sistema misto composto por circuitos de água que percorre serpentinas instaladas em placas de forro metálicas e circuitos de ar cujo funcionamento é controlado por um sistema de automação (hardware e software) específico.

3.2.1 Circuito de água

No circuito de água, esta é utilizada como meio de transferência de calor e é transportada através de serpentinas metálicas acopladas em um forro metálico ou presentes no interior do fan coil, promovendo uma redução da energia de transporte exigida na climatização de um edifício. A circulação de água gelada encontra-se subdividida em alguns circuitos hidráulicos:

- O primário promove a circulação de água gelada pelas serpentinas através de equipamentos de expansão indireta, em regime de vazão de água variável, em função da variação de carga térmica. No caso deste laboratório, adotou-se o sistema com chiller e fan coil;
- O secundário promove a circulação, em circuito fechado, de água gelada pelas serpentinas acopladas aos painéis radiantes. A água que circula por essas serpentinas é impulsionada por uma bomba secundária, e é resfriada por um trocador de calor que, por sua vez, recebe água gelada do chiller. A vazão de água é controlada por atuadores de válvulas motorizadas existentes em cada circuito de placas radiantes. As serpentinas de água gelada das placas foram dimensionadas em função do calor sensível, isto é, o calor fornecido principalmente por equipamentos e radiação solar.

3.2.2 Circuito de ar

O outro circuito complementar é o de ar, representado por um fan coil localizado no teto da sala, dimensionado pelo calor latente, o calor fornecido principalmente pelas pessoas, através de redes de dutos e difusores de teto, mantendo a temperatura do ambiente ao redor do setpoint pré-estabelecido. O equipamento fan coil foi projetado para atender uma capacidade térmica de 4 TR.

Para evitar os efeitos da condensação, uma vez que no ambiente da sala existe calor latente, há introdução de ar resfriado, que também contribui para o condicionamento do ar, trocando calor por convecção. O sistema fornece ao ambiente uma determinada vazão de ar com controle de temperatura e umidade, de forma que o ar compense os ganhos e perdas de calor e umidade, mantendo as características do ambiente dentro da faixa desejável. O ar insuflado é geralmente constituído de uma mistura de ar de retorno com ar externo, garantido a renovação permanente do ar ambiente.

3.3 Sistema de Automação e Controle

O sistema de automação e controle da sala é dividido basicamente em hardware e software. O hardware consiste de todos os dispositivos que efetivamente influenciam o controle das variáveis ambientais, tais como, sensores, controladoras e atuadores de válvulas e dampers. O software é representado pelo aplicativo *Comfort View*, que permite a monitoração destas variáveis e configurações de setpoints.

Os sinais utilizados no sistema de controle são de natureza analógica ou digital e são manipulados com diferentes modos de controle. No caso deste estudo será utilizado principalmente o modo de Controle Proporcional – Integral (PI). Nos sistemas de condicionamento de ar do tipo “teto frio”, os sistemas de controle têm as seguintes finalidades, contendo em cada um, *loops* ou rotinas de controle.

3.3.1 Resfriamento do ambiente

O resfriamento do ambiente basicamente acontece por meio de duas formas de controle:

- Controle do “chiller”: Possui uma rotina que faz o controle de temperatura através da abertura e fechamento de válvulas do circuito primário;
- Controle da vazão de água gelada nas serpentinas do teto frio: Para o controle da vazão de água nas serpentinas, há um *loop* de controle para cada válvula de cada circuito de placas com seu respectivo sensor de temperatura da água de retorno.
- Controle das válvulas de água nas placas: Ocorre o fechamento das válvulas de água dos circuitos em função dos valores de temperatura de ponto de orvalho.

3.3.2 Suprimento de ar frio:

O suprimento de ar frio no ambiente é feito pelo controle do ventilador do fan-coil, através do variador de freqüência (controle de vazão de ar) e pela modulação de dampers (de ar externo, retorno e mistura). A modulação de dampers é importante para que sejam mantidas adequadas às pressões nos dutos e nos espaços e a qualidade do ar, no que diz respeito à taxa de renovação. As duas rotinas responsáveis pelo controle de suprimento de ar frio estão descritas abaixo:

- **Rotina de controle da vazão de ar do fan-coil:** A vazão de ar é controlada pela freqüência determinada para o variador de freqüência. O programa de controle do variador de freqüência se baseia na leitura da vazão e em um setpoint dinâmico. O algoritmo determina o percentual a ser usado do diferencial do setpoint de vazão máximo e mínimo. Este algoritmo baseia-se na média das 4 temperaturas da sala medidas através dos sensores fixos ST1, ST2, ST3 e ST4, comparando com o setpoint SETPT01, gerando um valor percentual de vazão de ar.
- **Rotina de controle da válvula do fan-coil:** O algoritmo monitora a temperatura da água de retorno do fan-coil através do sensor ST7 e o valor de setpoint SETPT01 quando o status do fan-coil estiver ativo gerando um percentual de abertura da válvula;

Portanto, o controle da vazão de ar do fan-coil e o controle da temperatura do ambiente são feitos em duas rotinas independentes, como *loops* de controle Mestre / Escravo. Desta forma, com a variação da temperatura temos uma variação correspondente no setpoint de vazão de ar, aumentando ou diminuindo a vazão no ambiente.

3.3.3 Desumidificação

O *loop* de controle da umidade aciona o aquecimento proporcional que gera uma carga térmica causando a necessidade de resfriamento do ar e consequentemente abertura da válvula e desumidificação. Esta rotina permite o aquecimento somente com um valor de freqüência superior à freqüência mínima admitida.

4 METODOLOGIA

A determinação de índices de ajuste nas medidas efetuadas pelos sensores de temperatura do ar utilizados em algoritmos de controle do sistema de automação e controle de condicionamento de ar se baseia na comparação de medidas locais das variáveis ambientais, efetuadas por sensores em posições fixas, e de medidas efetuadas na posição que melhor represente as condições ambientais, “local ideal”.

O método aplicado nesta pesquisa para a determinação deste “local ideal” se fundamentou em procedimentos e especificações indicados pelas normas de conforto térmicos ISO 7730 (1994), ISO 7726 (1998) e ASHRAE Standard 55 (2004).

4.1 Condições de contorno para a elaboração do experimento

O foco desta pesquisa é um estudo quantitativo relacionado com sistema de automação do sistema de condicionamento de ar, porém, serão considerados também alguns fatores relacionados ao conforto térmico como as condições ambientais sugeridas pelas normas previamente citadas.

Como o ambiente de medição é uma sala de aula, considerar-se-á que as pessoas se encontram sentadas a maior parte do tempo e o tipo de atividade desenvolvida é do tipo: leve ou sedentária. Para estas condições, segundo a norma ISO 7730 (1994), que trata das exigências recomendadas de conforto térmico, a pesquisa irá considerar as seguintes condições operativas:

- Setpoint de temperaturas de 23 °C (utilizada no dia da medição);
- Velocidades relativas do ar (V_a) de $0,10 < V_a < 0,30$ m/s;
- Umidade relativa do ar (UR) em torno de 50%.

4.2 Variáveis medidas

Nesta pesquisa foram feitas medições de algumas variáveis ambientais de acordo com as normas da ASHRAE 55 (2004) e ISO 7726 (1985).

- Temperatura do ar;
- Velocidade do ar.

4.3 Pontos de medições

Os pontos de medições serão divididos em pontos de medições fixos e setoriais.

4.3.1 Pontos de medições fixos

Os pontos de medições fixos simulam um método tradicional de aquisição de variáveis ambientais. Os quatro sensores de temperatura de ar estão fixos nas paredes da sala, basicamente em quatro pontos: um ponto na janela, e os demais nas paredes laterais da sala. Estes sensores estão posicionados a dois metros do piso. Os sensores de ponto de orvalho, em número de três, estão localizados: dois nos dutos de retorno (um em cada ramo) e um no ambiente, próximo ao forro. Os três cobrem toda a área da sala.

4.3.2 Pontos de medições setoriais

Para a determinação do “local ideal” a sala foi dividida em diferentes quadrantes imaginários. Os pontos de medições setoriais foram posicionados em 16 posições dentro da sala, mostradas na Figura 2.

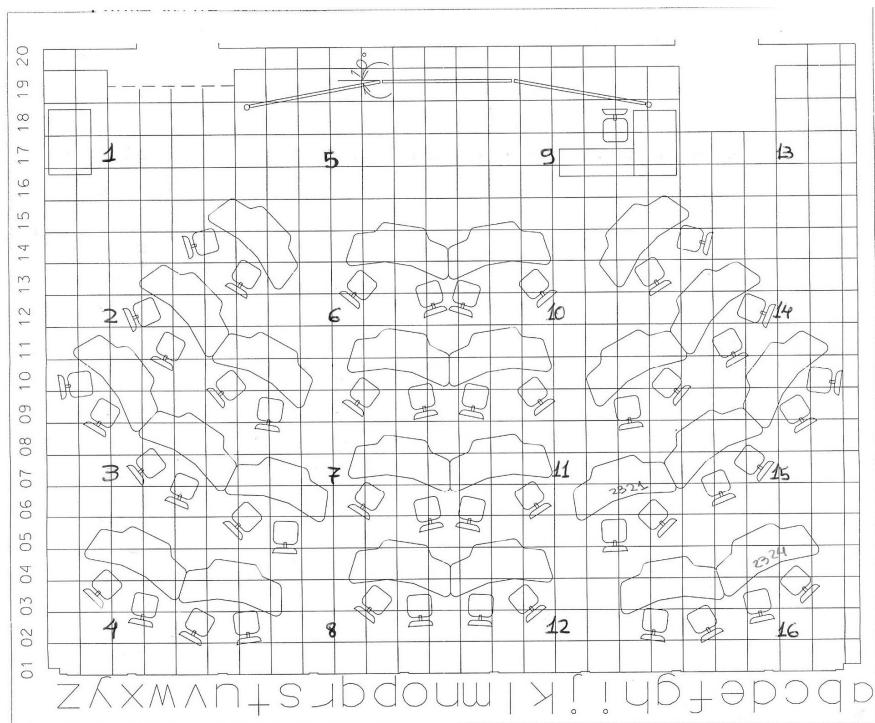


Figura 2 –Pontos de Medição Setoriais

Para cada posição, as variáveis temperatura e velocidade do ar foram medidas as seguintes alturas, seguindo as sugestões da norma ISO 7730 (1994) para conforto: 0,10; 0,60; 1,10; 1,70; 2,00 e 2,35 m, sendo: níveis 0,10m (nível do tornozelo); 0,60m (nível do tronco); 1,10m (nível da cabeça), para pessoas sentadas. Estas alturas 0,10; 0,60; 1,10m são recomendadas pela ASHRAE 55 (2004) para as medições das variáveis ambientais para ocupantes com atividade sedentária.

4.4 Períodos de medição

As medições setoriais foram feitas atendendo as recomendações da ISO 7726 (1985), que caracteriza o ambiente em estudo como do tipo C. A norma sugere que o período mínimo para medições de temperatura seja de um minuto e de velocidade do ar, três minutos. Dessa forma, as medições foram feitas durante períodos de três minutos em cada posição e com um intervalo de um minuto para a estabilização dos transdutores.

5 ANÁLISE DE RESULTADOS

A determinação das características do “local ideal” foi feita através de análise estatística das medições, onde foi possível mapear o ambiente nas direções horizontal (quadrantes) e vertical (alturas):

5.1 Estimativa da “altura ideal” (Vertical):

De acordo com a norma ASHRAE 55 (2004), das 6 alturas tomadas como referência: 0,10m; 0,60m; 1,10m; 1,70m; 2,00m e 2,35m, a temperatura operativa mais recomendável para representar as condições do ambiente onde o ocupante se encontra para a condição de uma pessoa sentada a maior parte do tempo, é a altura 0,60m. Portanto, considerar-se-á:

Altura Ideal correspondente no experimento: $H = 0,60m$

5.2 Determinação do “local ideal” nos quadrantes (Horizontal):

Como a determinação do “local ideal” no quadrante refere-se a um estudo quantitativo, a avaliação de qual local é o mais adequado reflete-se à “avaliação do desempenho” individual de cada temperatura com relação às demais temperaturas envolvidas na análise. Assim, o critério de avaliação adotado foi o cálculo dos Índices Z de cada resultado analítico. Este índice reflete o desvio de cada variável a partir de sua média, normalizado pelo seu desvio padrão, isto é, levando-se em conta a dispersão dos resultados, como se fossem unidades fracionárias de desvios padrões. Trata-se de um dos critérios de aceitação de resultados e avaliação de desempenho adotado pela norma ABNT ISO/IEC Guia 43-1:1999. Sua equação é a seguinte:

$$Z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{DV}, \text{ onde } x_i \text{ é o resultado da temperatura do ponto } i \text{ e } \bar{x} \text{ é o valor médio.}$$

$$DV = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2}, \text{ onde } \bar{x} \text{ é a média da amostra, } n \text{ é o tamanho da amostra e } DV \text{ é o desvio padrão.}$$

Tabela 1 – Dados de temperaturas e velocidades do ar nas 16 posições para h=0,10m, h=0,60m e h= 1,10m

H1 = 0,10m																					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	Média Aritm.	DP	Menor Z	"Local Ideal"	Temp.
Temp. (°C)	21,17	21,38	21,13	21,28	21,25	21,23	21,28	21,63	22,14	21,65	21,77	21,83	21,51	22,23	21,98	21,86	21,58	0,36	0,12	P8	21,63
V (m/s)	0,26	0,25	0,11	0,10	0,22	0,20	0,17	0,12	0,15	0,19	0,15	0,14	0,11	0,21	0,12	0,07	0,16	0,06			
ÍNDICE Z-SCORE																					
Temp.	-1,15	-0,57	-1,15	-0,85	-0,94	-1,00	-0,84	0,12	1,57	0,19	0,53	0,68	-0,19	1,80	1,12	0,79					

H2 = 0,60m																					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	Média Aritm.	DP	Menor Z	"Local Ideal"	Temp.
Temp. (°C)	20,70	20,58	20,61	20,60	20,96	21,10	20,91	21,06	22,96	21,30	21,12	21,18	21,20	21,82	21,49	22,32	21,24	0,65	0,07	P13	21,20
V (m/s)	0,11	0,18	0,09	0,10	0,15	0,18	0,12	0,11	0,37	0,15	0,15	0,12	0,09	0,12	0,07	0,08	0,14	0,07			
ÍNDICE Z-SCORE																					
Temp.	-0,84	-1,02	-0,98	-0,99	-0,44	-0,22	-0,52	-0,28	2,64	0,09	-0,19	-0,10	-0,07	0,89	0,38	1,66					

H3 = 1,10m																					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	Média Aritm.	DP	Menor Z	"Local Ideal"	Temp.
Temp. (°C)	20,93	20,91	20,75	20,83	21,23	21,32	21,22	21,31	22,18	21,52	21,40	21,47	21,60	22,08	21,76	21,82	21,39	0,43	0,00	P11	21,40
V (m/s)	0,08	0,16	0,08	0,09	0,14	0,11	0,09	0,10	0,27	0,13	0,10	0,09	0,04	0,07	0,03	0,02	0,10	0,06			
ÍNDICE Z-SCORE																					
Temp.	-1,10	-1,14	-1,51	-1,32	-0,38	-0,17	-0,40	-0,20	1,84	0,29	0,00	0,17	0,47	1,62	0,85	0,99					

Com os resultados obtidos de Zi da Tabela 1, o seguinte critério foi adotado para avaliação do desempenho de cada temperatura, de forma a concluir que o desempenho, em geral, foi satisfatório.

$|Z_i| < 2 \rightarrow$ desempenho satisfatório

$2 < |Z_i| < 3 \rightarrow$ desempenho questionável

$|Z_i| > 3 \rightarrow$ desempenho insatisfatório

Porém, como desejamos determinar a temperatura mais representativa do ambiente, então, devemos achar o menor valor de Z_i correspondente a sua temperatura.

Portanto, para a “altura ideal”, a posição que melhor representa a temperatura do ambiente (t_{ideal}) é:

$H = 0,60\text{ m}$	$t_{ideal} = 21,20\text{ }^{\circ}\text{C}$
Posição= P13	$V_{ar} = 0,09\text{ m/s}$

5.2.1 Análise da Distribuição de ar:

Através da análise das alturas superiores (Tabela 2), é possível verificar o perfil de estratificação da temperatura do ar. Percebe-se que, em média, a temperatura do ar aumenta na medida em que fica mais próximo da superfície das placas radiantes ficando acumulado na altura do teto.

Com relação à homogeneidade do ambiente, ela atende as especificações da ISO 7726 (1985), porque o desvio padrão entre cada uma das quantidades e seus valores espaciais médios não excedem $\pm 5\%$ (DP/Media < 5%).

Tabela 2 – Dados de temperaturas e velocidades do ar nas 16 posições – Estratificação do ar

H4 = 1,70m																Média Aritm.	DP	Menor Z	"Local Ideal"	Temp.	
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16						
Temp. (°C)	20,43	20,42	20,33	20,34	20,74	20,88	20,88	21,49	21,18	21,03	21,06	21,50	21,51	21,29	21,40	20,96	0,42	0,17	P11	21,03	
V (m/s)	0,20	0,17	0,17	0,14	0,19	0,16	0,15	0,21	0,27	0,23	0,16	0,16	0,11	0,12	0,15	0,11	0,17	0,04			
ÍNDICE Z-SCORE																					
Temp.	-1,25	-1,28	-1,51	-1,48	-0,52	-0,19	-0,20	-0,18	1,25	0,52	0,17	0,24	1,27	1,31	0,79	1,04					

H5 = 2,00m																Média Aritm.	DP	Menor Z	"Local Ideal"	Temp.	
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16						
Temp. (°C)	20,63	20,70	20,64	20,51	21,05	21,07	20,91	21,19	21,83	21,53	21,34	21,37	22,02	21,75	21,70	21,75	21,25	0,49	0,13	P8	21,19
V (m/s)	0,26	0,13	0,11	0,15	0,18	0,13	0,22	0,15	0,26	0,16	0,13	0,17	0,08	0,05	0,12	0,10	0,15	0,06			
ÍNDICE Z-SCORE																					
Temp.	-1,27	-1,13	-1,25	-1,53	-0,41	-0,38	-0,70	-0,13	1,19	0,58	0,19	0,25	1,58	1,04	0,94	1,03					

H6 = 2,35m																Média Aritm.	DP	Menor Z	"Local Ideal"	Temp.	
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16						
Temp. (°C)	20,89	20,90	20,87	20,71	21,32	21,06	20,34	21,49	22,10	21,73	21,63	21,65	22,20	21,97	21,99	21,97	21,43	0,57	0,11	P8	21,49
V (m/s)	0,13	0,11	0,10	0,11	0,12	0,13	0,37	0,10	0,17	0,11	0,11	0,12	0,10	0,08	0,10	0,10	0,13	0,07			
ÍNDICE Z-SCORE																					
Temp.	-0,95	-0,92	-0,98	-1,25	-0,19	-0,65	-1,91	0,11	1,19	0,54	0,36	0,39	1,36	0,95	0,99	0,95					

5.3 Cálculo do índice de ajuste

Para a determinação dos índices de correção, deve-se verificar qual é a média de temperatura dos quatro sensores fixos de temperaturas nesta característica de setpoint adotado (Tabela 3):

Tabela 3 – Dados de temperaturas e velocidades do ar para cada posição

Temperaturas dos Sensores Fixos na Parede (°C) no momento da medição de cada ponto (P1 a P16)																Média Aritm.	DP	
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16		
ST1	20,32	20,30	20,20	20,20	20,40	20,32	20,40	20,50	20,80	20,70	20,67	20,60	20,56	20,60	20,70	20,70	20,50	0,19
ST2	20,40	20,22	20,12	20,10	20,52	20,60	20,68	20,82	21,14	21,04	21,00	20,98	21,00	21,10	21,20	21,20	20,76	0,39
ST3	20,20	20,14	20,10	20,18	20,22	20,30	20,30	20,38	20,50	20,50	20,40	20,40	20,16	20,22	20,34	20,40	20,30	0,13
ST4	20,40	20,38	20,30	20,30	20,40	20,40	20,40	20,42	20,68	20,58	20,50	20,50	20,60	20,60	20,60	20,60	20,48	0,12
Media	20,33	20,26	20,18	20,20	20,39	20,41	20,45	20,53	20,78	20,71	20,64	20,62	20,58	20,63	20,71	20,73		
DP	0,09	0,10	0,09	0,08	0,12	0,14	0,16	0,20	0,27	0,24	0,26	0,25	0,34	0,36	0,36	0,34		

Portanto, a diferença da média das temperaturas medidas pelos sensores fixos (t_{sf} °C) com a temperatura média medida no “local ideal”, que melhor representa as condições do ambiente (t_{ideal} °C), corresponde ao índice de ajuste procurado. Esquematicamente tem-se:

Índice de ajuste = $t_{sf} - t_{ideal}$, onde $t_{ideal} = 21,20^\circ\text{C}$ e $t_{sf} = 20,58^\circ\text{C}$;
Índice de ajuste = .	-0,62

Como comparativo, caso se optasse pela Média Aritmética, seria obtido:

$H = 0,60 \text{ m}$	$t_{ideal} = 21,24^\circ\text{C}$	Índice de Ajuste = - 0.66
----------------------	-----------------------------------	---------------------------

O método de avaliação estatística, através do índice Z, é uma opção para determinação de um “local de referência” dentre as posições medidas, para comparação com a temperatura medida pelo sensor de temperatura do ar na posição fixa na parede e consequente obtenção do índice de ajuste. Através deste índice é possível obter uma melhora na eficiência do sistema de climatização, caso se opte por manter o sensor nesta posição. Porém, caso seja possível do ponto de vista estético e logístico, uma outra opção seria posicionar o próprio sensor de ar na posição escolhida pela análise de forma a eliminar a existência do próprio índice de ajuste.

6 REFERÊNCIAS

ISO, 1994. *Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions of thermal comfort (ISO 7730)*. International Organization for Standardization, Genever.

ISO, 1998. *Thermal environments - Instruments and methods for measuring physical quantities (ISO 7726)*. International Organization for Standardization, Geneva.

ASHRAE Standard, 2004. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. (ASHRAE Standard 55-2004). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta - USA.

ASHRAE, 2001. *Handbook of Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers Inc. Atlanta, - USA.

ABNT ISSO/IEC GUIA 43-1, *Ensaios de Proficiência por Comparações Interlaboratoriais Parte 1: Desenvolvimento e Elaboração de Programas de Ensaios de Proficiência*, 1999.

FANGER, P.O. 1972. *Thermal Comfort, Analysis and Application in Environmental Engineering*, McGraw-Hill Book Company, New York.

LEITE, B. C. C., 2003. *Sistema de Ar Condicionado com Insuflamento pelo Piso em Ambientes de Escritórios: Avaliação do Conforto Térmico e Condições de Operação*. Engenharia Mecânica - Universidade de São Paulo. (Tese de Doutorado).

Sistema de Techos Fríos – Texto técnico - TROX TECHNIK

SODEC, F.. 1999. *Economic viability of cooling ceiling systems: Energy and Buildings*, 30, (2), 195-201. Fuel and Energy Abstracts, Volume 40, Issue 6, November 1999, Page 413.