
Base Brasileira de Dados em Conforto Térmico

Christhina Cândido², Roberto Lamberts¹, Richard de Dear² e Renata De Vecchi¹

¹ Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC - Brasil

² The University of Sydney, Sydney – Australia

Introdução

É sabido que a contribuição do condicionamento ambiental em termos de consumo de energia mundial é significativa. Dados no Relatório do Grupo III do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) indicam setor de edificações como o mais promissor em termos de diminuição nas emissões de carbono (IPCC, 2007). Para tal, o mesmo relatório propõe a necessidade de mudanças no design das edificações, com foco na diminuição do uso do condicionamento artificial, no incremento dos meios passivos de condicionamento além da preocupação com os ganhos de calor pelo envelope da edificação.

No Brasil, observa-se que os setores público e comercial, quando somados, correspondem a 30,7% do consumo final de energia (BEN, 2005). Neste contexto, aproximadamente 50% da energia é destinada ao condicionamento ambiental (BEN, 2005). No entanto, o emprego de condicionamento ambiental não implica em uma relação direta com a satisfação dos usuários. Estudos realizados indicam que grande parte da insatisfação dos usuários nos seus ambientes de trabalho advém do desconforto térmico (HUIZENGA, 2006); sendo este um dos principais itens relacionados à produtividade dos ocupantes (GOINS, 2007). Em termos desta relação usuário-edifício, nota-se o crescente desenvolvimento de pesquisas com foco na satisfação, envolvendo aspectos relativos à preferência, sensação e aceitabilidade térmica. Nestes termos, experimentos de campo conduzidos em “ambientes reais”, ocupados e utilizados por usuários “reais” parecem ser mais representativos do que aqueles desenvolvidos em ambientes laboratoriais (DE DEAR, BRAGER, COOPER, 1997).

De forma complementar, observa-se que tais pesquisas carecem de *benchmarks* e procedimentos que avaliem o desempenho das edificações associada à resposta do usuário (ARENS, 2008). A metodologia desenvolvida durante o projeto da ASHRAE RP-884 (DE DEAR, BRAGER, COOPER, 1997), assim como o banco de dados resultante, se constitui em referência para o desenvolvimento de pesquisas desde a

sua publicação. O resultado do projeto foi inserido na normalização da ASHRAE 55 (2013), servindo como referência para diversos estudos desenvolvidos e em desenvolvimento.

Recentemente, a discussão da aplicabilidade das classes de aceitabilidade térmica em ambiente com ar condicionado foi incrementada face o aporte energético demandado para mantê-la (ARENS et al, 2008). Nos casos onde a ventilação natural é utilizada como estratégia de condicionamento, bem como as edificações com estratégia híbrida¹, a discussão relaciona-se, fortemente, com a aceitabilidade do movimento do ar *versus* a temperatura *versus* a satisfação do usuário (ZHANG et al, 2007).

No contexto de climas quente e úmidos, como é o caso do Brasil, o incremento do movimento e da velocidade do ar é constantemente apontado como a estratégia essencial para o conforto térmico dos usuários (TANABE e KIMURA, 1994; FOUNTAIN et al, 1994; ARENS et al, 1998; TOFTUM, 2004; ZHANG et al, 2007). Além de intrinsecamente relacionada ao conforto térmico, o movimento do ar pode contribuir ainda com a percepção da qualidade do ar interno, estímulo ao desenvolvimento das atividades e a produtividade (ZHANG et al, 2007; BRAGER e BAKER, 2008). No entanto, os aspectos relativos à aceitabilidade do movimento do ar carecem de mais estudos associados ao conforto térmico e, conseqüentemente, a satisfação dos usuários dos ambientes (TOFTUM, 2004; BRAGER e BAKER, 2008).

Nesse sentido, o desafio de desenvolver experimentos de campo, focados na associação do conforto térmico e a aceitabilidade do movimento do ar como consequente dado de entrada para normas está em aberto para os pesquisadores. O foco em normas com zonas de temperatura e faixas de velocidade do ar baseadas em experimentos em ambientes reais, no intuito de promover menor aporte energético nos edifícios está em pauta (ZHANG et al, 2008).

O projeto aqui apresentado tem como objetivo formar um banco de dados nacional focado nos aspectos relativos ao conforto térmico, bem como a aceitabilidade do movimento do ar dos usuários em ambientes de trabalho. Pretende-se utilizar tais dados como base para a formulação de normas apropriadas ao contexto brasileiro. Para tal, pretende-se incluir edificações de trabalho com três estratégias de

¹ Edifícios híbridos ou Mixed-mode são aqueles onde são combinados o uso de ventilação natural (com o uso das janelas controlado pelos usuários) e ar-condicionado (BRAGER, BAKER, 2008).

condicionamento ambiental: ar condicionado, ventilação natural e híbrido para caracterizar as diferenciações entre as preferências térmicas e de movimento do ar dos usuários. Embora focado em edificações de trabalho, este projeto pretende também incluir outros tipos de edificação, tais como residências e escolas, bem como dados de experimentos de campo previamente desenvolvidos² no intuito de ampliar a sua abrangência.

Objetivos

Este projeto tem como objetivo geral formar um banco de dados nacional focado nos aspectos relativos ao conforto térmico, bem como a aceitabilidade do movimento do ar de usuários em seu ambiente de trabalho. Como *objetivos específicos*, apontam-se os seguintes itens:

- Utilizar os dados resultantes dos experimentos de campo como referência para a formulação de normas apropriadas ao contexto brasileiro, tendo em vista o menor consumo de energia em edificações de trabalho;
- Identificar as preferências térmicas específicas dos usuários sob três estratégias de condicionamento ambiental: ar-condicionado, ventilação natural e híbrido para caracterizar as diferenciações entre as preferências térmicas e de movimento do ar dos usuários;
- Identificar a aplicabilidade e/ou possíveis discrepâncias do modelo adaptativo face os dados coletados neste banco de dados;
- Contribuir para a metodologia de experimentos de campo em ambientes sob a condição de uso real dos usuários.

Metodologia

A metodologia adotada neste projeto consiste na associação entre medições das variáveis ambientais e as respostas dadas pelos usuários em questionários de conforto sensação, preferência e aceitabilidade térmica e de do movimento do ar. Para tal, são propostos experimentos de campo com os usuários desenvolvendo

² A metodologia de desenvolvimento do(s) experimento(s) deve ser explicitada para que os resultados sejam incluídos no banco de dados.

atividades em ambientes de trabalho, visando caracterizar a condição de uso real dos mesmos.

1. Experimentos de campo

Tendo em vista a formação de um banco de dados nacional, os experimentos de campo devem ser conduzidos em diferentes localidades que apresentam características climáticas específicas, tendo como base o Zoneamento Climático Brasileiro. Para tal, pretende-se contar com a parceria das instituições e pesquisadores destas localidades, visto a necessidade de execução dos experimentos e emprego de instrumentos de medição.

Em relação à tipologia de condicionamento ambiental, pretende-se incluir três diferentes estratégias: ambientes com ar condicionado, ventilação natural e híbridos. Pretende-se identificar a relevância dos itens considerados no modelo adaptativo, incluindo o nível de controle ambiental (acesso às aberturas, ventiladores, controle do ar-condicionado, etc.), a satisfação no ambiente de trabalho e a influência da variabilidade da temperatura interna.

Os experimentos devem ser conduzidos em pelo menos duas épocas do ano, incluindo verão e inverno, visando à inserção das diferenciações climáticas e oportunidades adaptativas dos usuários. Propõe-se ainda a execução de uma pesquisa piloto para ajustes na metodologia, nos questionários e treinamento dos pesquisadores que sejam necessários para a pesquisa.

Os experimentos de campo deverão atender as exigências de uma das seguintes classes (de DEAR, BRAGER, COOPER, 1997; ARENS, 2008):

- Classe 1

Nesta classe, serão agrupados os experimentos de campo que atingirem as exigências da ASHRAE (2013). Esta classe agrupa os experimentos desenvolvidos incluindo as medições das variáveis ambientais para três ou duas alturas de referência (temperatura do ar, temperatura de globo, velocidade do ar, umidade relativa), incluindo a atividade desenvolvida e a vestimenta dos usuários. Tais itens devem ser coletados ao mesmo tempo do preenchimento dos questionários de conforto térmico e de aceitabilidade do movimento do ar.

Em relação à velocidade do ar, esta deve ser medida por termoanemômetros omnidirecionais, com medição a partir de 0,05 m/s. Recomenda-se ainda o uso de elementos que permitam a visualização do fluxo de ar, sempre que possível, tais como fumaça (*smoke sticks*).

- Classe 2

Nesta classe serão incluídos os experimentos desenvolvidos com registro das variáveis ambientais (temperatura do ar, temperatura de globo, velocidade do ar, umidade relativa) para somente uma altura de medição.

Em relação à velocidade do ar, os instrumentos podem ser unidirecionais complementados pelo uso de elementos que permitam a visualização do fluxo de ar, sempre que possível, tais como fumaça (*smoke sticks*).

É desejável que os experimentos sejam sempre realizados com a maior acuracidade possível, ou seja, incluídos na classe 1. No entanto, nos casos em que isso não seja possível, os experimentos da classe 2 são bem-vindos no intuito de se obter uma maior amostragem. Independente da classe em que esteja incluído, e tendo em vista a formulação do banco de dados, os experimentos devem considerar os seguintes itens.

Identificação básica: cada edificação/ambiente deve ter uma identificação, bem como o registro de suas características arquitetônicas (tipologia de aberturas, ventiladores, layout, data/hora do monitoramento, etc.). Cada usuário do ambiente também deve receber identificação individualizada.

Medições das variáveis ambientais e equipamentos: temperatura do ar, temperatura de globo, velocidade do ar, umidade relativa, conforme os itens mínimos estabelecidos nas classes 1 ou 2 explicadas anteriormente. Em relação aos instrumentos utilizados, recomenda-se o emprego de estações microlimáticas combinada com termoanemômetros portáteis (ver Anexo A).

A acuracidade das medições das variáveis ambientais está intrinsecamente relacionada a qualidade dos equipamentos utilizados. Todos os instrumentos utilizados nos experimentos devem ser previamente calibrados, visando a acuracidade dos dados coletados pelos mesmos. Quando possível devem ser calibrados em laboratório³ ou tomando como referência equipamentos calibrados e de precisão.

Questionário de conforto térmico e aceitabilidade do movimento do ar: os questionários deverão ser preenchidos pelos usuários durante a aquisição das

³ Caso dos equipamentos desenvolvidos no Brasil, tais como o confortímetro SENSU desenvolvido pelo Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas dos Materiais – LMPT/UFSC.

variáveis ambientais. O questionário será de modelo único para a pesquisa, incluído perguntas relativas à sensação, aceitabilidade e preferência térmica, aceitabilidade do movimento do ar, satisfação do usuário, bem como vestimenta, atividade e informações individuais (altura, idade, peso). O modelo sugerido pode ser visto no Anexo B deste documento

Como referência para os valores da vestimenta serão adotadas as tabelas da ASHRAE (2013). Além da vestimenta, o valor do isolamento da cadeira (i.e 0,15 clo para uma cadeira estofada típica de escritório segundo estimativas de McCullough e Olesen, 1994) também deve ser considerado.

Controle/aceso dos usuários do ambiente: a possibilidade de adaptação do usuário no ambiente monitorado deve ser registrada pelo pesquisador sob a forma de acesso/controle de abertura das janelas, partições internas e externas, termostatos, cortinas/persianas, ventiladores e aquecedores.

Cálculo de índices e variáveis: com base nas medições das variáveis ambientais, serão calculadas as variáveis derivadas, tais como a temperatura radiante média, temperatura operativa, intensidade de turbulência, PMV, PPD, *draft risk*, PS model, bem como as demais variáveis consideradas como de relevância para o projeto.

Medição/aquisição das variáveis meteorológicas: tendo em vista os conceitos de aclimatação e resposta adaptativa, dados meteorológicos deverão ser coletados durante o desenvolvimento dos experimentos de campo. Quando isto não seja possível, recomenda-se a aquisição dos dados de estações meteorológicas mais próximas do local de desenvolvimento dos experimentos. Recomenda-se a inserção de dados relativos à temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento, considerando os valores das máximas, mínimas e médias para os períodos de desenvolvimento da pesquisa.

2. Base de dados e tratamento estatístico

Além da padronização dos experimentos de campo, observa-se a importância de utilização de ferramentas complementares de organização dos dados coletados. Desta forma, espera-se formar uma base de dados de acesso *on-line* pelos pesquisadores, onde os mesmos poderão cadastrar/analisar as informações dos experimentos desenvolvidos.

A base de dados deverá ser alimentada por tabelas em formato Excel® (ver modelo no Anexo C) permitindo sua fácil compatibilização, tendo em vista os diferentes

resultados provenientes dos experimentos de campo. Além de servir como alimentação/organização dos dados provenientes dos experimentos, pretende-se incluir as informações relativas ao projeto como um todo. O acesso será livre para os demais pesquisadores interessados, tendo em vista a disseminação de tais informações para o público interessado.

Em relação ao tratamento estatístico dos dados, pretende-se aplicar a análise Probit. Este tipo de análise considera as respostas dadas nos questionários como valores binários, podendo ser combinados em relação às demais variáveis ambientais tais como temperatura operativa, velocidade do ar e assim por diante. Este tipo de análise foi largamente aplicada no projeto da ASHRAE RP-884 e tem seus resultados reconhecidos pela possibilidade de associação entre os aspectos subjetivos e variáveis ambientais podendo ser analisado ainda as diferenciações semânticas entre as escalas aplicadas (BRAGER, BOGERSON, LEE, 2007).

Resultados esperados

O primeiro resultado esperado é a formulação do banco de dados em si, resultante de experimentos de campo desenvolvidos. Decorrente deste primeiro item observa-se a possibilidade de disseminação das informações e resultados obtidos no desenvolvimento deste projeto por meio do banco de dados on-line de acesso livre para os pesquisadores interessados. Nesse sentido, observa-se ainda a possibilidade de contribuição metodológica para o desenvolvimento de futuros experimentos de campo em ambientes de uso real dos usuários.

O segundo resultado esperado é a utilização da base de dados como referência para a formulação de normas brasileiras para edificações, tendo em vista o conforto térmico dos usuários e a eficiência energética de ambientes de trabalho. Dentro deste contexto, pretende-se incluir as análises resultantes dos experimentos sob a forma de norma, com foco nas temperaturas mais aceitas/preferidas pelos usuários e as faixas de aceitabilidade do movimento do ar para os três tipos de condicionamento ambiental (ar condicionado, ventilação natural e híbrido) investigado.

Referências Bibliográficas

ARENS, E.; HUMPHREYS, M.; DE DEAR, R.; ZHANG, H. Are "Class A" temperature requirements realistic or desirable?. **Proceedings** Yonsei Conference, Japan, 2008.

ARENS, E.; XU, T.; MIURA, K.; HUI, Z.; FOUNTAIN, M.; BAUMAN, F. A study of occupant cooling by personally controlled air movement. **Energy and Buildings**, vol 27, 1998.

ASHRAE Standard 55-1992. Thermal environment conditions for human occupancy. ASHRAE, Atlanta. 2004.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética: Balanço energético Nacional. Resultados preliminares/ BEN 2006 ano base 2005. Disponível *on line* em: <http://www.mme.gov.br/>

BRAGER, G; BAKER, L. Occupant Satisfaction in Mixed-Mode Buildings. **Proceedings** of Conference: Air Conditioning and the Low Carbon Cooling Challenge, Cumberland Lodge, Windsor, UK, 2008. London: Network for Comfort and Energy Use in Buildings, <http://nceub.org.uk>.

BRAGER, G.; BORGESON, S; LEE, Y.S. Control Strategies for Mixed-Mode Buildings, Summary Report, **Center for the Build Environment**, 2007.

BRAGER, G.; DE DEAR, R. Climate, comfort & natural ventilation: A new adaptive comfort standard for ASHRAE Standard 55. Center for Environmental Design Research – **Center for the Build Environment**. University of California, Berkeley, 2001.

DE DEAR, R.; BRAGER, G.; COOPER, D. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. **Final Report ASHRAE RP-884**, 1997.

EN ISO 7730, Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, 2005.

FOUNTAIN M.E.; ARENS E.; de DEAR R.; BAUMAN F.; MIURA K. Locally controlled air movement preferred in warm isothermal environments. **ASHRAE Trans** 100:937–952, 1994.

HUIZENGA C, ABBASZADEH S, ZAGREUS L, ARENS E. Air quality and thermal comfort in office buildings: results of a large indoor environmental quality survey. **Proceedings**, Healthy Buildings 393-397, Lisbon, Portugal, 2006. Disponível *on line* em: http://repositories.cdlib.org/cedr/cbe/ieq/Huizenga2006_HB/

IPCC, Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change. Full Report, Working Group III of the IPCC, 2007. Disponível *on line* em: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg3.htm>

McCULLOUGH, E., OLESEN, B.W. Thermal insulation of chairs. **ASHRAE Trans** 100: 795-802, 1994.

TANABE, S.; KIMURA, K. Effects of air temperature, humidity and air movement on thermal comfort under hot and humid conditions. **ASHRAE Trans**. vol. 100, 1994.

TOFTUM, J. Air movement – good or bad? **Indoor Air**, vol 14, 2004.

ZHANG, H. K.; ARENS, E.; BUCHBERGER, E.; BAUMAN, F.; HUIZENGA, C. Comfort, Perceived Air Quality, and Work Performance in a Low-Power Task-Ambient Conditioning System, CBE report, 2008. Disponível *on line* em: http://repositories.cdlib.org/cedr/cbe/ieq/Zhang2008SR_TAC1

ZHANG H., ARENS E, ABBASZADEH S, HUIZENGA H, BRAGER G, PALIAGA P, ZAGREUS L. Air movement preferences observed in office buildings. **International Journal of Biometeorology**, 51: 349–360, 2007.

Anexo A

Instrumentos sugeridos para o desenvolvimento dos experimentos de campo.



Figura 1 - Confortímetro Sensu



Figura 2 - Confortímetro BABUC A



Figura 3 - Termoanemômetro onmidirecional.



Figura 4 - Termanemômetro portátil



Figura 5 - Smoke sticks para a visualização do fluxo de ar predominante no interior dos ambientes.



Anexo B

Modelo do questionário de conforto e aceitabilidade térmica

AVALIAÇÃO DE CONFORTO E ACEITABILIDADE TÉRMICA

Idade: ____ Altura: ____ Peso: ____ Sexo: F __ M __ Data: ____

1. Com relação à sua sensação térmica: **Como você está se sentindo neste momento?**

Com muito frio	Com frio	Levemente com frio	Neutro	Levemente com calor	Com calor	Com muito calor

2. Com relação ao ambiente, como você classifica neste momento?

Aceitável	Inaceitável

3. Com relação ao ambiente, como você classifica neste momento?

Confortável	Desconfortável

4. Como você preferia estar neste momento?

Mais aquecido	Assim mesmo	Mais resfriado

5. Com relação à velocidade do ar, como você classifica neste momento?

Se INACEITAVEL , por que?		Se ACEITAVEL , classifique:	
Baixa velocidade do ar		Baixa velocidade do ar	
Alta velocidade do ar		Velocidade do ar suficiente	
		Alta velocidade do ar	

6. Com relação à constância do movimento do ar, como você classifica neste momento?

Se INACEITAVEL , por que?		Se ACEITAVEL , classifique:	
Movimento de ar pouco constante		Movimento de ar pouco constante	
Movimento de ar muito constante		Movimento do ar suficiente	
		Movimento de ar muito constante	

7. Com relação à velocidade do ar, como você gostaria de estar neste momento?

Maior velocidade do ar	
Assim mesmo	
Menor velocidade do ar	

8. Com relação ao movimento do ar, como você gostaria de estar neste momento?

Movimento do ar mais constante	
Assim mesmo	
Movimento do ar menos constante	

9. Em que momento você usa o ar-condicionado com estratégia de conforto térmico?

No quarto	No trabalho	No carro	
Não utiliza	Outros		

10. Com relação à estratégia de conforto térmico, qual destas você gostaria de utilizar neste momento?

Ventilação natural	Ventiladores	
Ar-condicionado		

11. Qual atividade você está desenvolvendo?

Sentado	Sentado, escrevendo	Sentado, digitando	Em pé, desenhando	Andando
---------	---------------------	--------------------	-------------------	---------

12. Qual roupa você está usando?

Roupa de baixo:	Calcinha	Calcinha e sutã	Cueca	Camiseta	Camisa manga longa
Camisetas e blusas	Alça fina	Manga curta	Normal, longa	Flanela, manga	Blusa fina, longa
Calças	Bermuda	Calça fina	Calça normal	Calça flanela	Macacão
Saias e vestidos	Saia curta	Saia média	Saia longa	Vestido manga curta	Vestido manga longa
Sapatos e meias	Sandálias	Sapato	Botas	Meia fina	Meia grossa
Diversos	Casaco	Jaqueta	Suéter	Colete	

Posição sala

Para controle do pesquisador. Por favor, não preencha.

