



AVALIAÇÃO DO AMBIENTE ATMOSFÉRICO A PARTIR DO ÍNDICE DE CONFORTO PET (PHYSIOLOGICALLY EQUIVALENT TEMPERATURE) EM DUAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DE SÃO PAULO: EM-IAG/USP E EM-CONGONHAS.¹

Edelci Nunes da Silva

enunes@usp.br

Faculdade de Saúde Pública - USP

Helena Ribeiro

lena@usp.br

Faculdade de Saúde Pública - USP

RESUMO

O uso dos índices complexos de conforto na caracterização do ambiente atmosférico a fim de avaliar as condições da saúde e bem estar humano tem sido cada vez mais usado, sobretudo em países do hemisfério Norte. O objetivo é discutir o uso de índice de conforto na avaliação da atmosfera. Utiliza-se como exemplo o cálculo do índice PET (Physiologically Equivalent Temperature) para duas estações meteorológicas da cidade de São Paulo, EM-IAG/USP e EM-Congonhas, no ano de 2003. São apontadas as vantagens e as limitações do uso desse índice na avaliação do ambiente termal.

Keywords: conforto térmico, bioclima, saúde

INTRODUÇÃO

Vivemos mergulhados em um “oceano” de ar – a atmosfera – numa interação complexa entre todos os seus elementos (temperatura, umidade, pressão atmosférica, vento etc.) Jendritzky (1995) classificou em três campos de interação homem x atmosfera. A Figura 1 mostra os três campos cujos efeitos diretos da atmosfera atuam sobre a saúde humana – a troca de calor com o organismo, a radiação solar e a poluição do ar.

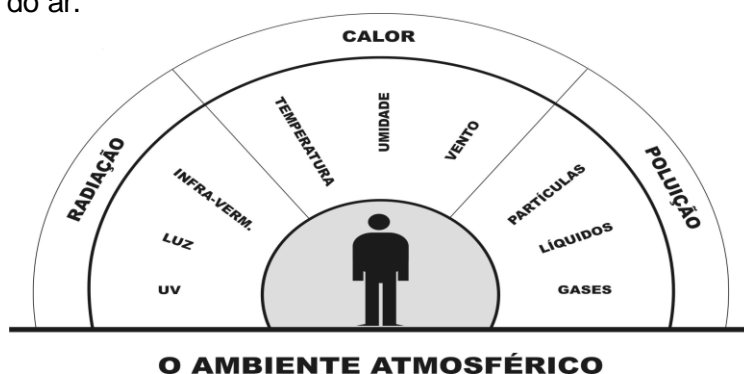


Figura 1– O ambiente atmosférico, segundo Jendritzky.

Fonte: Jendritzky (1995).

Nas investigações relativas à saúde e a atmosfera tem havido um maior enfoque nos efeitos da poluição do ar. Atualmente, é amplamente reconhecido que a poluição apresenta efeitos deletérios à saúde. Assim, em muitos países, têm-se realizado

¹ Este ensaio faz parte da pesquisa de doutorado que está sendo conduzida para avaliar o ambiente atmosférico e a morbidade da população na cidade de São Paulo intitulado: AMBIENTES ATMOSFÉRICOS E POSSÍVEIS CORRELAÇÕES COM DOENÇAS DO APARELHO RESPIRATÓRIO E CIRCULATÓRIO EM ESPAÇOS INTRA-URBANOS NA CIDADE DE SÃO PAULO. A pesquisa tem apoio da FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.

esforços para diminuir a poluição do ar e estabelecer padrões mínimos para exposição humana à poluição atmosférica.

Auciliems (1997) aponta que essas inter-relações são complexas e objeto das diferentes paisagens e adaptações entre as pessoas expostas aos estímulos atmosféricos. O bem estar das pessoas e a condição do ambiente atmosférico, interno e externo, são inseparáveis e é preciso uma visão de conjunto (holística) na abordagem dessas relações.

Há, portanto a necessidade de empreender um esforço para compreender o impacto do ambiente atmosférico quando se trata de avaliar as condições de saúde e bem estar das pessoas. “Atribuir a morbidade e mortalidade a um parâmetro específico pode ser errôneo e o fenômeno necessita ser tratado como parte da interação do complexo biológico-ambiente.” (Auciliems 1997, p. 167)

1.1. Uma visão do conjunto atmosférico

Uma das formas de avaliar o conjunto atmosférico e sua relação com o homem é através dos índices de conforto humano. O conceito de conforto térmico é complexo e subjetivo. O Conforto térmico é o estado mental obtido quando: 1) os mecanismos termoregulatórios são minimamente ativados e 2) psicologicamente a percepção é satisfeita com o ambiente térmico. (Auciliems 1997, p. 162)

Há quase um século as pesquisas relacionadas ao conforto humano vêm desenvolvendo índices que medem as condições de conforto humano no ambiente atmosférico. Deve-se ressaltar, contudo, que o objetivo é identificar as condições que levam à sobrecarga dos mecanismos termofisiológicos humanos.

Vários índices de conforto térmico foram desenvolvidos considerando principalmente a temperatura, umidade e vento: a temperatura efetiva (ET) a temperatura efetiva corrigida (CET) e o *Wind Chill* são os índices de conforto mais bem conhecidos. (Auciliems 1997)

Segundo Monteiro e Alucci (2007) esses são índices empíricos e apresentam respostas significativas para o ambiente em que foram desenvolvidos: “Os estudos realizados ao longo do século XX demonstram que os índices empíricos apresentam respostas significativas, mas apenas às situações específicas em que foram determinados”

Nos últimos anos, entretanto, tem havido um esforço dos pesquisadores de aprimorar os modelos e construir índices considerando as complexas condições do ambiente atmosférico e o balanço energético do organismo humano. Esses índices são construídos a partir de modelos analíticos e consideram um padrão de ambiente e característica humana na qual as condições iniciais são consideradas. (Monteiro e Alucci 2007)

Há também um esforço dos pesquisadores em desenvolver softwares de fácil acesso e uso para a disseminação da aplicação desses índices em várias partes do mundo.

A bibliografia recente aponta para uma preocupação dos pesquisadores em aplicar esses índices em ambientes externos, especialmente nas áreas urbanas a fim de avaliar as condições bioclimáticas do ambiente atmosférico, sendo possível a sua aplicação em várias áreas do conhecimento como: planejamento urbano, turismo, avaliação do clima e saúde etc. e, especialmente que tenha um caráter universal, ou seja, possa ser aplicado em qualquer tipo climático e para todo tipo de pessoa (Matzarakis e Mayer 2000; Jendritzky et al, 2001)

Além do uso dos índices de conforto alguns pesquisadores adotam a classificação biometeorológica/bioclimática. Lecha (1998) desenvolveu uma classificação biometeorológica com objetivo de avaliar os efeitos à saúde em Cuba. Considera que

os tratamentos estatísticos e índices desenvolvidos nos países de clima temperados não são adequados para o clima tropical úmido cubano. O autor parte do princípio de que a população está adaptada a determinada condição climática e estabelece, a partir de um amplo estudo das variáveis meteorológicas, parâmetros para 18 tipos de tempo possíveis para o país, conjugando principalmente temperatura, umidade, nebulosidade, vento.

Este trabalho tem por objetivo discutir o uso dos índices complexos de conforto na caracterização do ambiente atmosférico a fim de avaliar as condições da saúde e bem estar humano. Utiliza-se como exemplo o cálculo do índice PET² (Physiologically Equivalent Temperature) para duas estações meteorológicas da cidade de São Paulo, EM-IAG/USP e EM-Congonhas, no ano de 2003. São apontadas as vantagens e as limitações do uso desse índice na avaliação do ambiente termal.

METODOLOGIA

O índice de conforto PET foi calculado com o uso do software *Rayman* com dados médios diários de temperatura do ar (°C), umidade do ar (%), vento (m/s), radiação solar global (W/m²) para as duas estações meteorológicas EM-IAG/USP e EM-Congonhas do ano de 2003. Foram fornecidos dados de latitude, longitude e altitude da localidade da EM-IAG/USP. A partir desses dados o software calculou a Temperatura Média Radiante – um elemento importante para a avaliação do conforto. É considerada uma pessoa padrão de 1,75m de 35 anos, sexo masculino e sentado

A estação meteorológica do IAG-USP localiza-se na zona sul de São Paulo, no bairro da Água Funda, no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, implantada conforme as normas da Organização Meteorológica Mundial. Trata-se de uma grande área verde sem a direta influência do entorno urbanizado.

O Aeroporto de Congonhas encontra-se na zona sul da cidade, no distrito de Santo Amaro. No entanto, a estação meteorológica sofre maior influência do entorno urbanizado. Trata-se de um local intensamente ocupado por residências horizontais e verticais, vias de tráfego intenso como a Avenidas dos Bandeirantes, Washington Luis além obviamente do tráfego aéreo.

O índice de conforto térmico PET (Physiologically Equivalent Temperature)³ foi desenvolvido por Jendritzky (publicado em pela primeira vez em inglês em 1981) baseado nos trabalhos de Fanger e adaptado para situações externas (Jendritzky et al. 2001).

O cálculo do índice de conforto PET é baseado no balanço de energia humana, nos dados meteorológicos (temperatura do ar, velocidade do vento, umidade do ar, e fluxo de radiação de ondas curtas e longas) e dado termo-fisiológico (atividade e vestimenta).

O software *Rayman* disponibilizado no endereço <http://www.mif.uni-freiburg.de/rayman> é gratuito e pode facilmente a partir de dados como temperatura, umidade, vento, radiação global ou cobertura do céu e calcular o índice PET.⁴ A escala fornecida é um índice de temperatura equivalente à sensação térmica do indivíduo.

² O índice PET tem utilizado em outras pesquisas no Brasil. Alguns desses trabalhos estão relacionados em Monteiro e Alucci 2007.

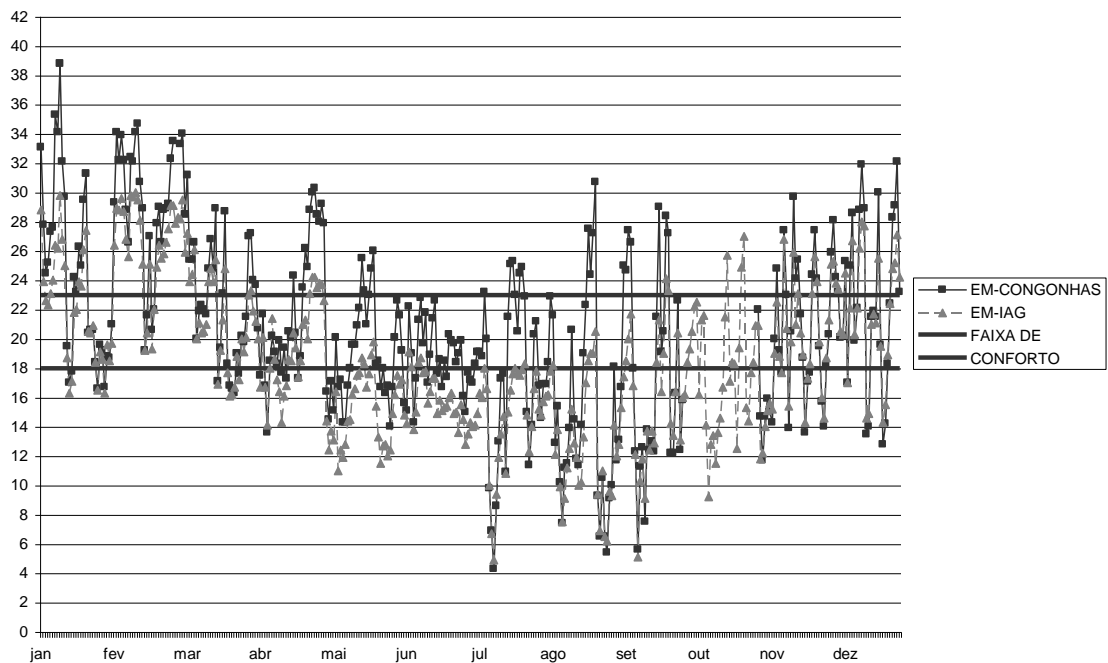
³ O modelo para o balanço de energia humana é o MEMI (Munich Energy Balance for Individuals), o qual usa o a avaliação do índice PET. Este modelo está descrito no VDI-Guideline 3787 Part 2 Metodos para avaliação Humana-Biometeorológica do clima e higiene do ar para o Planejamento Urbano e Regional. Matzarakis e Mayer 2000.

⁴ O programa permite a saída de três índices de conforto térmico: O PMV (Predicted Mean Vote) e o SET* Standard Effective Temperature. Neste trabalho foi utilizado somente o índice PET.

Tabela 1 - Faixas de Temperatura fisiológica Equivalente (PET em °C) para diferentes graus de percepção térmica para o ser humano, considerando produção interna de calor 80W, e transferência de resistência pela vestimenta: 0,9 clo. Fonte: Matzarakis e Mayer, (2000).

RESULTADOS

PET (°C)	Percepção térmica	Grade de Stress Fisiológico
<4	Muito Frio	Extremo stress de frio
4-8	Frio	Forte stress de frio
8-13	Ameno	Stress de frio moderado
13-18	Levemente Frio	Stress de frio leve
18-23	Confortável	Sem stress térmico
23-29	Levemente quente	Leve stress de calor
29-35	Moderadamente quente	Stress de calor moderado
35-41	quente	Forte stress de calor
>41	Muito quente	Extremo stress de calor



Fonte: EM-IAG/USP e EM-Aeroporto de Congonhas
 Figura 1 – Temperatura de Conforto Térmico (PET) na EM-IAG e na EM-Congonhas em 2003, São Paulo, SP

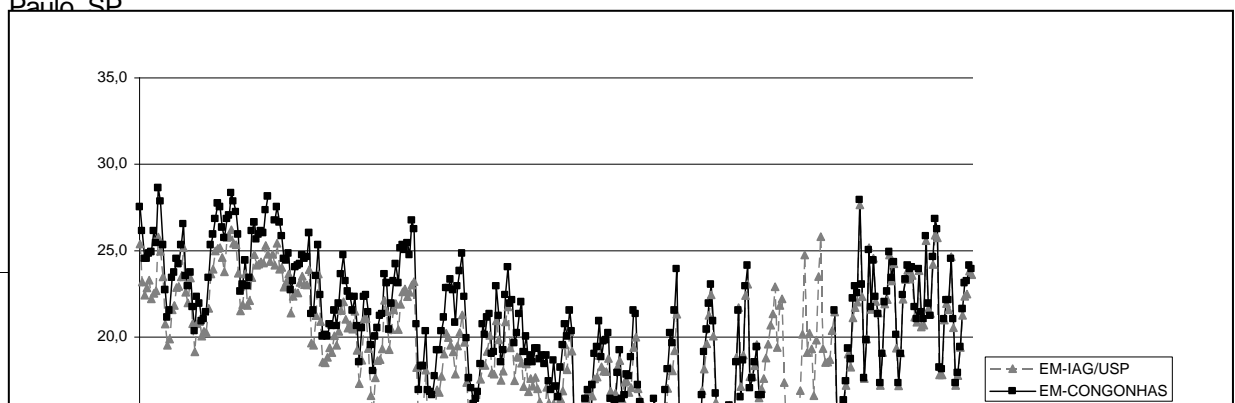
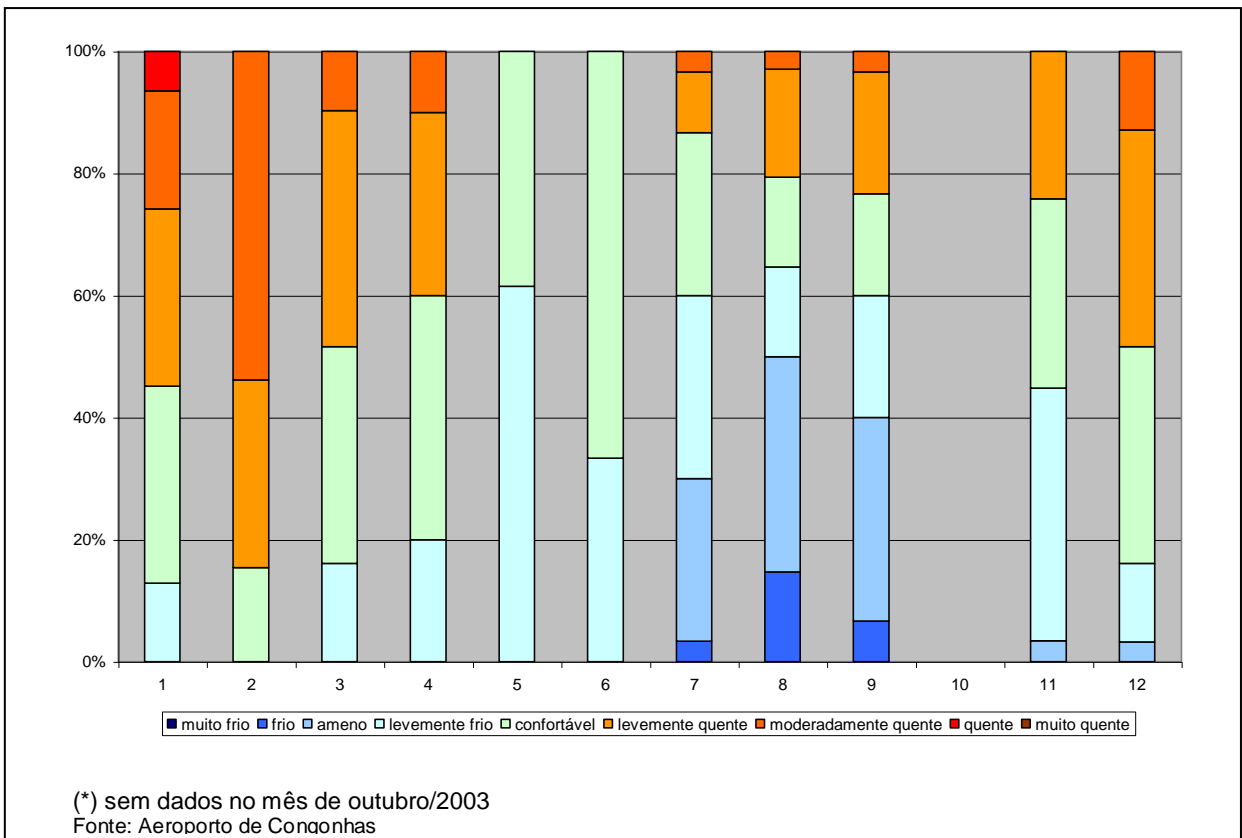


Figura 2 – Temperatura média do ar na EM-IAG e na EM-Congonhas em 2003, São Paulo, SP



Figuras 3 – Frequência de ocorrência da Temperatura de Conforto Térmico (PET) na EM-Congonhas em 2003, São Paulo, SP

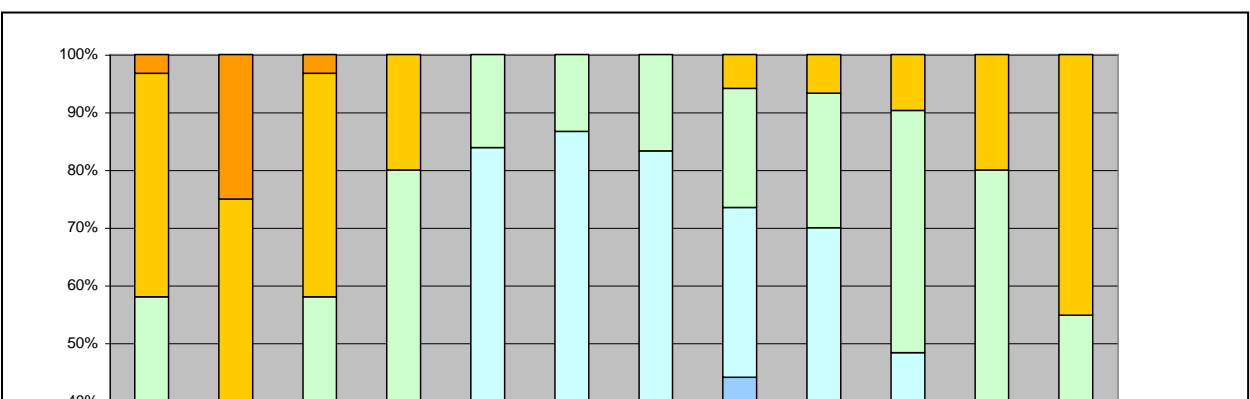


Figura 4 - Frequência de ocorrência da Temperatura de Conforto Térmico (PET) na EM-IAG-USP em 2003, São Paulo, SP.

O comportamento diário das temperaturas de conforto (PET) segue o padrão sazonal da distribuição das temperaturas do ar, com a concentração das temperaturas de conforto deslocadas para stress de calor de primavera-verão e stress de frio no outono-inverno.

Verifica-se a ocorrência do valor máximo em janeiro na EM-Congonhas no dia 09 de janeiro 38,8° C - forte stress de calor - e mínimo de 4,3° C – forte stress de frio – no dia 12 de julho. Na estação do EM-IAG ocorreu o valor máximo em 10/02/2003 de 30°C – stress de calor moderado – e mínimo no dia 12 de julho 4,9°C – forte stress de frio.

Nota-se a grande variabilidade ocorrida nos meses de agosto/setembro em que em poucos dias passa-se de extremo de calor para extremo de frio nas duas estações meteorológicas, porém com maior aguçamento na EM-Congonhas. A frequência das temperaturas (PET) nas duas estações meteorológicas enfatiza a diferença entre os dois lugares. O padrão das temperaturas muito frias muda pouco, mas verifica-se o aparecimento da frequência de temperaturas quentes na Estação de Congonhas.

Essa característica pode estar relacionada ao entorno mais urbanizado da EM-Congonhas, ou seja, a presença de ilha de calor.

As temperaturas na faixa de conforto ocorreram em todos os meses do ano, porém com menor frequência no mês de fevereiro e nos meses mais frios.

DISCUSSÃO

4.1 Os índices de conforto e a saúde

Algumas pesquisas que investigam a associação entre clima e saúde utilizam o índice de conforto como parâmetro para identificar as condições estressantes do ambiente atmosférico.

Os índices de conforto são uma composição de parâmetros atmosféricos, podendo então a atmosfera ser tomada em seu conjunto, além de considerar o balanço energético humano. Eles refletem a percepção humana ao ambiente térmico e indicam os efeitos termofisiológicos dos ambientes internos e externos no homem o qual têm estreita associação entre a termoregulação e na regulação circulatória, sendo importante para avaliar papel do clima no desencadeamento das doenças e de morte.

Marques (2007) utilizou o índice PET para avaliar a mortalidade diária no distrito de Lisboa e concluiu que a relação das temperaturas PET com a mortalidade diária é mais forte do que a da temperatura do ar. Considera que as temperaturas de conforto

fato destas basear-se na ação combinada de diferentes variáveis atmosféricas explicam melhor a atuação sobre o organismo humano. “Esta combinação afecta não só o conforto humano, mas também a saúde e neste caso em particular a mortalidade diária do distrito de Lisboa durante o Inverno”.

Contudo, a avaliação das temperaturas PET em relação aos dados de saúde, para os países de clima tropical, não é uma tarefa fácil, pois as características climáticas e de adaptação humana devem ser consideradas nos estudos de saúde e bem estar humanos. A maioria dos índices de conforto humano foi desenvolvida para ambientes internos, e testados em pessoas residentes em países mais frios. Outros, mais recentemente, desenvolvem modelos analíticos, mas também consideram o padrão de pessoas provenientes de países do hemisfério norte com características climáticas muito diferentes daquelas dos países tropicais como o Brasil.

Monteiro e Alucci (2007) constataram que as pesquisas existentes, no Brasil, não desenvolvem modelagem própria para avaliação da ambiência térmica, havendo uma contribuição com relação a calibrações e novas interpretações para modelos preexistentes e análises estatísticas, sendo os resultados encontrados dificilmente extrapolados para outras situações que utilizam índices de conforto.

Hoof (2008) ressalta que a neutralidade não é necessariamente uma condição térmica ideal sendo que as preferências térmicas podem ocorrer fora da faixa de conforto.

Do ponto de vista da avaliação à saúde deve-se considerar em que condições do ambiente térmico há sobrecarga nos mecanismos termofisiológicos? Para o grupo mais vulnerável, como crianças, idosos, mulheres grávidas os limites podem ser diferentes daqueles considerados como de neutralidade.

Jendritzky and Havenit (sem data) afirmam que as pessoas não sofrem devido à temperatura, mas sofrem e morrem devido a sobrecarga de calor. Consideram, portanto, necessário a avaliação do complexo termal nos estudos epidemiológicos que relacionam clima e mortalidade e não só a temperatura do ar.

O uso de um índice complexo pode ser mais interessante na avaliação do ambiente atmosférico e a saúde do que somente a temperatura média do ar, pois reflete um conjunto de variáveis meteorológicas (temperatura, umidade, radiação, vento) e o balanço energético do homem. Contudo, o uso desses índices deve ser comparado com outros indicadores e/ou método para avaliar a sua eficácia com relação à avaliação à saúde.

A escala do índice PET é de fácil compreensão, permite a confecção de gráficos facilitando a visualização. O software *Rayman* está disponível gratuitamente é possível gerar os índices de forma ágil e fácil com uma base grande de dados.

Os dados de PET para as duas estações meteorológicas evidenciaram: a diferença de padrão entre as estações meteorológicas; a sobrecarga de calor na EM-Congonhas; a grande variabilidade diária das temperaturas de conforto, sobretudo nas estações de transição (outono-primavera); existência de dias de stress térmico tanto de calor quanto de frio; não existência de dias de extremo stress de calor e frio ($>41^{\circ}$ C e $<4^{\circ}$ C, no ano de 2003.

Considerando as duas estações meteorológicas – uma menos influenciada pelo ambiente urbano (EM-IAG/USP) e a outra mais influenciada pelo entorno urbanizado (EM-Congonhas) percebe-se que a frequência das temperaturas de conforto diferencia-se significativamente. O IAG/USP apresenta maior frequência de dias levemente frio a frio nos meses de outono e inverno. Por outro lado a EM-Congonhas apresenta dias muito quente (forte stress de calor) nos mês de janeiro o que não ocorre no IAG-USP.

Essas características térmicas diferenciadas relacionadas com o padrão do uso do solo o que por sua vez pode evidenciar padrão também diferenciado no impacto à saúde. Pretende-se avaliar a correlação entre o índice PET e a ocorrência de morbidade hospitalar em crianças com menos de 5 anos e pessoas com mais de 60 anos, considerando a escala intra-urbanas.

Deve-se ressaltar que uma base de dados mais ampla (no mínimo cinco anos) será utilizada para obter maior confiabilidade nos resultados

REFERENCIAS

Auliciems Andris – Comfort, Clothing and Health in **Applied Climatology. Principles and Practice**. - Thompson Russel D. and Perry Allen (eds) Routledge: London, 1997.

Hoof J. van Forty years of Fanger_s model of thermal comfort: comfort for all? In **Indoor Air** 2008; 18: 182–201.

Jendritzky Gerd Human Health and Atmospheric Environment. **WCASP-33 WMO/TD** no. 682. May 1995. Appendix F.

Jendritzky Gerd, Havenith George – The Thermal Environment of the Human Being – A subjective retrospection on methodologies <http://www.utci.org/cost/publications/ICB05%20The%20Thermal%20Environment.doc>. Acesso em janeiro 2009.

Jendritzky Gerd; Maarouf Abdel; Staiger Henning Looking for a Universal Thermal Climate Index UTCI for Outdoor Applications in **Windsor-Conference on Thermal Standards, April 5-8, 2001, Windsor, UK**. Disponível em http://www.utci.org/isb/documents/windsor_vers04.pdf último acesso em 29.06.2009.

Lecha Estela Luis B. Biometeorological classification of daily weather types for the humid tropics. In. J. Biometeorol (1998) 42:77-83.

Marques, Jorge M. A. Condições climáticas de Inverno e a mortalidade diária no distrito de Lisboa. Universidade de Lisboa, 2007.(Dissertação de Mestrado)

Matzarakis Andreas; Mayer Helmut. Atmospheric Conditions and Human Thermal Comfort in Urban Areas in **11th Seminar on Environmental Protection “Environment and Health”** 20-23. November 2000, Thessaloniki, Greece, 155-166.

Monteiro Leonardo M. e Alucci Marcia P. Questões teóricas de conforto térmico em espaços abertos: consideração histórica, discussão do estado da arte e proposição de classificação de modelos. in **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 43-58, jul./set. 2007.