

ESTUDO DE ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO PARA APLICAÇÃO EM BELO HORIZONTE - MG, COM BASE EM PESQUISA DE POPULAÇÃO UNIVERSITÁRIA

GONÇALVES, Willi de B. (1); VALLE, Ramón M. (2); GARCIA, Emerson S. (3)

(1) Professor Assistente do curso de Arquitetura e Urbanismo da PUC-Minas e das Faculdades Metodistas Integradas Izabela Hendrix – e-mail: willi@pucminas.br - Av. Dom José Gaspar, 500 - Coração Eucarístico - B. Horizonte - CEP 30535-610; (2) Orientador; Professor adjunto UFMG-EE-DEMEC – e-mail: ramon@vesper.demec.ufmg.br;
(3) Co-orientador; Professor titular UFMG-EEF - e-mail: emerson@mestrado.eef.ufmg.br

RESUMO

Este trabalho discute alguns resultados da dissertação de mestrado do primeiro autor. Apresenta-se uma análise da adaptabilidade de índices de conforto térmico, baseada em pesquisa de campo realizada com população universitária em Belo Horizonte. Os índices e zonas de conforto térmico são ferramentas úteis no estudo do desempenho das edificações, quanto ao conforto ambiental, tanto em avaliações pré-projeto bem como pós-ocupacionais. Entretanto, diversos índices e zonas difundidos e utilizados no Brasil são obtidos com base em realidades climáticas diferentes das nossas e em respostas de usuários aclimatados a essas condições específicas. O objetivo principal do estudo foi pesquisar os índices e zonas de conforto térmico mais significativos e usados, encontrados na literatura técnica, determinando seus limites de aplicabilidade e/ou adaptabilidade para uso em Belo Horizonte - MG, considerando-se as características climáticas da região e a adaptação climática dos indivíduos, estudados através de pesquisa em ambiente construído. São analisados os diagramas bioclimáticos de Olgyay, Givoni e Szokolay, o método Fanger de PMV/PPD e o índice de temperatura efetiva.

ABSTRACT

Study of thermal comfort indices for application in Belo Horizonte - MG, with basis in research of university population. This paper discusses some results of the first author's M.Sc. thesis. It presents an analysis of the adaptability of thermal comfort indices, based on a field research made with university population in Belo Horizonte. The thermal comfort indices and zones are useful tools in the study of the building performance, with relationship to the environmental comfort, in pre-project evaluations as much as in postoccupational evaluations. However, several known indices and zones used in Brazil are obtained with basis in climatic realities different from ours and in answers of users acclimatized to those specific conditions. The main objective of the study was to research the more significant and used thermal comfort indices and zones, found in the technical literature, determining their limits of applicability and/or adaptability for use in Belo Horizonte, taking into account the climatic characteristics of the area and the individuals' climatic adaptation, studied through field research in built environment. It analyzes the bioclimatic diagrams after Olgyay, Givoni and Szokolay, the Fanger method of PMV/PPD, and the effective temperature index.

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho se propõe a responder a seguinte questão: em que condições os índices de conforto térmico encontrados na literatura técnica, e que são convencionalmente utilizados, correspondem às condições de conforto levantadas especificamente para a população estudada, levando em consideração as características climáticas da região em estudo e a adaptação climática dos indivíduos?

Há dois tipos de índice de conforto térmico: os subjetivos e os biofísicos. Nos índices subjetivos, as respostas subjetivas e fisiológicas dos indivíduos são utilizadas como variáveis dependentes. Os índices biofísicos são baseados em princípios físicos de transferência de calor. De uma forma geral, cada índice subjetivo envolve ferramentas de natureza estatística para análise dos dados experimentais. Trabalha-se com o julgamento de satisfação ou insatisfação de um grupo de indivíduos, o que limita a aplicabilidade do índice às condições físicas para as quais foi determinado, não sendo recomendável – embora a prática seja esta – generalizá-los para outros contextos climáticos. É precisamente neste aspecto da aplicabilidade dos diversos índices de conforto térmico que se centra este estudo.

Os índices e zonas cuja aplicabilidade é aqui analisada são: os diagramas bioclimáticos de Olgyay (1963), Givoni (1992) e Szokolay (1995), método Fanger de PMV/PPD (Fanger, 1970), índice de temperatura efetiva corrigida (Bedford, 1946) e índice de temperatura efetiva padrão (ASHRAE, 1997).

2. TIPOS DE VARIÁVEIS MANIPULADAS

A técnica de pesquisa utilizada, para o levantamento de votos de conforto e sensações térmicas dos indivíduos, foi o uso de questionários, com uma medição simultânea das variáveis em cada ambiente estudado.

Dentre as variáveis físicas usadas neste trabalho para o cálculo dos índices de conforto térmico, foram medidas diretamente: temperatura do ar (temperatura de bulbo seco), temperatura de bulbo úmido natural e psicrométrica, velocidade do ar e temperatura de globo. Os parâmetros utilizados neste trabalho que dependem de rotinas de cálculo a partir dos parâmetros medidos diretamente são: umidade relativa, temperatura radiante média, temperatura operativa e temperatura efetiva. Uma descrição completa destes parâmetros, bem como de seus métodos de medição pode ser encontrada em (Gonçalves, 2000).

A variável psico-fisiológica mais importante levantada no trabalho é a sensação térmica dos indivíduos. Ela tem sido tradicionalmente medida usando uma escala de sete pontos, em pesquisas de campo. Os indivíduos são solicitados a quantificar a sua sensação térmica numa escala descritiva, subjetiva. A escala utilizada neste trabalho é a recomendada pela ASHRAE (1997), adotando-se um número para cada grau da mesma. Além do número, adotou-se uma abreviatura para cada grau da escala: muito quente (+3, MQ), quente (+2, Q), ligeiramente quente (+1, LQ), confortável (0, C), ligeiramente frio (-1, LF), frio (-2, F), muito frio (-3, MF).

Além da sensação térmica, outros parâmetros psico-fisiológicos foram levantados junto dos indivíduos amostrados, como por exemplo, votos em escalas subjetivas de satisfação, aceitabilidade e preferência térmica, isolamento térmico da vestimenta e taxa metabólica. Estes dois últimos foram obtidos mediante conversão das respostas marcadas nos formulários, com uso de tabelas encontradas na bibliografia (Gonçalves, 2000).

3. METODOLOGIA ADOTADA

A metodologia empregada para o desenvolvimento deste trabalho incluiu uma etapa inicial de embasamento teórico. O planejamento do experimento envolveu tarefas de elaboração do plano amostral, detalhamento da fase de coleta de dados, definição dos procedimentos estatísticos para a análise dos dados, elaboração dos questionários para levantamento dos dados, definição das variáveis envolvidas e especificação dos sistemas de medição a serem utilizados no processo experimental, com estimativa de suas fontes de erro. A amostra pesquisada foi de 570 indivíduos, tendo sido realizados 20 ensaios de campo, no período de março a outubro de 1999.

Antes da etapa experimental foi realizado um estudo dos modelos disponíveis para a análise estatística dos dados a serem obtidos. A definição do modelo influenciou na elaboração de algumas questões dos formulários de pesquisa utilizado. Uma versão completa dos formulários pode ser encontrada em (Gonçalves, 2000). O modelo estatístico utilizado é o modelo “probit” (probability unit). Este modelo, tem sido utilizado em trabalhos anteriores na mesma área, realizados no Brasil (Araújo, 1997; Xavier, 1999) e no exterior (Kwok, 1998).

A pesquisa foi realizada dentro de salas de aula. Simultaneamente, foram medidas as variáveis físico-ambientais e as respostas dos indivíduos baseadas na sensação térmica existente no momento da medição. Para o levantamento dos dados foram utilizados instrumentos de medição tais como termômetro, psicômetro, termômetro de globo e anemômetro. Ao mesmo tempo, foram aplicados questionários para levantar a resposta dos indivíduos em termos de sensações térmicas e as condições de vestimenta, sexo, idade e adaptação climática. O ensaio era sempre realizado após um período de permanência dos usuários dentro do ambiente de, no mínimo, 1 hora. O horário de realização dos ensaios variou em função da disponibilidade dos professores em ceder 30 min de suas aulas para a realização dos mesmos. As medições foram realizadas a 1,1m de altura (Kwok, 1998).

Ao iniciar-se o ensaio, explicava-se aos usuários os objetivos da pesquisa e os procedimentos que seriam realizados durante o ensaio de campo. Em seguida, fazia-se a primeira coleta de dados no ponto central da sala, obtendo os valores da temperatura de bulbo seco e da temperatura de globo, através de um monitor de estresse térmico, instrumento que conta com um termômetro de globo, um termômetro de bulbo seco e um termômetro de bulbo úmido natural. A temperatura de bulbo úmido psicrométrica era obtida através de um psicômetro. Para a medição da velocidade do ar, identificava-se a direção principal do fluxo, através da observação da posição das entradas e saídas de ar, e procedia-se à medição com um anemômetro de fio quente, seguindo-se as recomendações das normas ASHRAE 55-1992 e ISO 7726. Posteriormente foi calculada a velocidade média em cada ponto.

Após a primeira medição no ponto central da sala, os questionários eram distribuídos aos usuários e procedia-se a um esclarecimento geral sobre os formulários, enfatizando questões como o estado clínico, a necessidade de relatar todas as peças de roupa, e perguntas que diziam respeito às sensações experimentadas naquele momento e as que diziam respeito ao uso da sala, em geral. Enquanto os usuários respondiam os questionários, procedia-se à medição nos demais pontos, que eram escolhidos de forma a produzir uma amostra representativa da área ocupada dentro do ambiente. De uma forma geral, buscava-se posições centralizadas em relação às paredes, respeitando-se um raio mínimo de 60cm, livre de quaisquer obstáculos, em torno dos sensores. Buscava-se observar também as posições onde poderiam ocorrer valores extremos dos parâmetros ambientais, como próximo a janelas, paredes expostas à radiação solar, ventiladores, ou outras particularidades observadas. Depois da medição das variáveis ambientais, procedia-se à medição do comprimento, largura e pé-direito da sala, com o auxílio de uma trena, sendo o croqui da sala desenhado no questionário, com os elementos citados acima. Os dados de umidade relativa e temperatura radiante média foram calculados posteriormente, a partir dos dados levantados em campo.

Os procedimentos estatísticos utilizados na geração dos resultados obedeceram à seguinte seqüência: 1) análise descritiva dos dados, obtendo-se as medidas de tendência central e de dispersão da amostra; 2) obtenção das distribuições de frequências absolutas e relativas; 3) análise dos cruzamentos das variáveis ambientais com as variáveis psico-fisiológicas; 4) análise de correlação entre as variáveis para determinar quais as que poderiam constituir um modelo estatístico para obter a variável grau de satisfação; 5) obtenção do modelo por meio de uma análise de regressão múltipla das variáveis; 6) definição dos limites de conforto para a população estudada, utilizando o modelo probit.

4. RESULTADOS

Tabela 1. Limites de conforto para a população estudada

Variável físico-ambiental	Valor ótimo	Limites de conforto
Temperatura operativa	23,1°C	21,1 - 24,9 °C
Temperatura de bulbo seco	22,7°C	20,8 - 24,7 °C
Temperatura de bulbo úmido	16,7°C	14,8 - 19,4 °C
Temperatura de Globo	21,3°C	21,3 - 25,1°C
Umidade relativa	67%	64 - 93%
Umidade absoluta	12,0g/kg	9,5 - 15,5g/kg
Velocidade do ar	1,0 m/s	0,4 - 1,7 m/s

Após a coleta de dados foram realizadas análises descritivas, testes paramétricos de associação, independência e influência, análise de regressão e análise probabilística utilizando o modelo probit. O tratamento estatístico dos dados levantados em campo possibilitou a obtenção dos limites de conforto térmico para a população em estudo, resumidos na Tabela 1. Para melhor visualização, os limites mostrados na Tabela 1 foram desenhados numa carta psicrométrica, mostrada na Fig. 1. Essa figura mostra também a posição da zona obtida em relação às zonas de conforto e de estratégias de ventilação determinadas no diagrama bioclimático de Givoni.

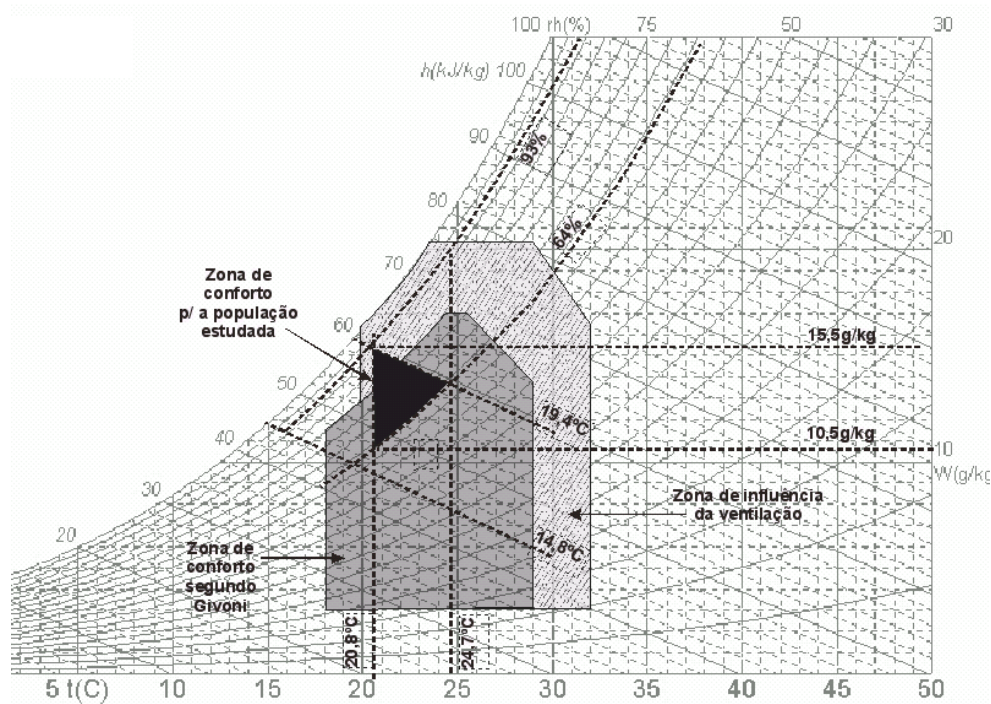


Figura 1 - Limites de conforto para a população em estudo desenhados em carta psicrométrica, com zonas de conforto e ventilação do diagrama bioclimático de Givoni

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A seguir, os limites de conforto obtidos para a população estudada são comparados com os diversos índices e zonas pesquisados.

Diagrama bioclimático de Givoni. O diagrama bioclimático de Givoni (1992) é construído sobre uma carta psicrométrica. Os limites de conforto são estabelecidos a partir de um índice de fadiga térmica, definido pelo autor. Observa-se, na Fig. 1, que quase toda a área da zona de conforto obtida neste trabalho fica dentro da zona proposta por Givoni, com uma pequena parcela inserida na zona de influência da ventilação. Pode-se afirmar que, a princípio, esse instrumento de avaliação é aplicável para a população estudada, respeitando-se os limites da zona de conforto obtida neste trabalho. Porém, é necessária a pesquisa sobre a configuração das zonas de estratégias bioclimáticas em torno da zona de conforto, principalmente no que diz respeito às estratégias que envolvem trocas por evaporação. Não obstante os limites para umidade relativa possam ser considerados altos, limites compatíveis foram obtidos em estudos anteriores (Araújo, 1997 e Xavier, 1999).

Diagrama bioclimático de Olgay. A Fig. 2 mostra a zona de conforto proposta por Olgay (1963) estabelecida em função da temperatura de bulbo seco e da umidade relativa, tendo à sua volta zonas de estratégias bioclimáticas. Verifica-se, na Fig. 2, que a zona ABC, em vermelho, formada pela interseção dos limites de conforto obtidos neste trabalho encontra-se fora da zona de conforto proposta por Olgay, inserindo-se na zona de influência da ventilação. Considerando-se somente os limites obtidos para a temperatura de bulbo seco e para a umidade relativa, o retângulo ABDE intercepta uma pequena porção da zona de conforto original. Constatou-se que se não for feita a correção para a latitude, o polígono de conforto ABDE intercepta uma área ligeiramente maior da zona de conforto

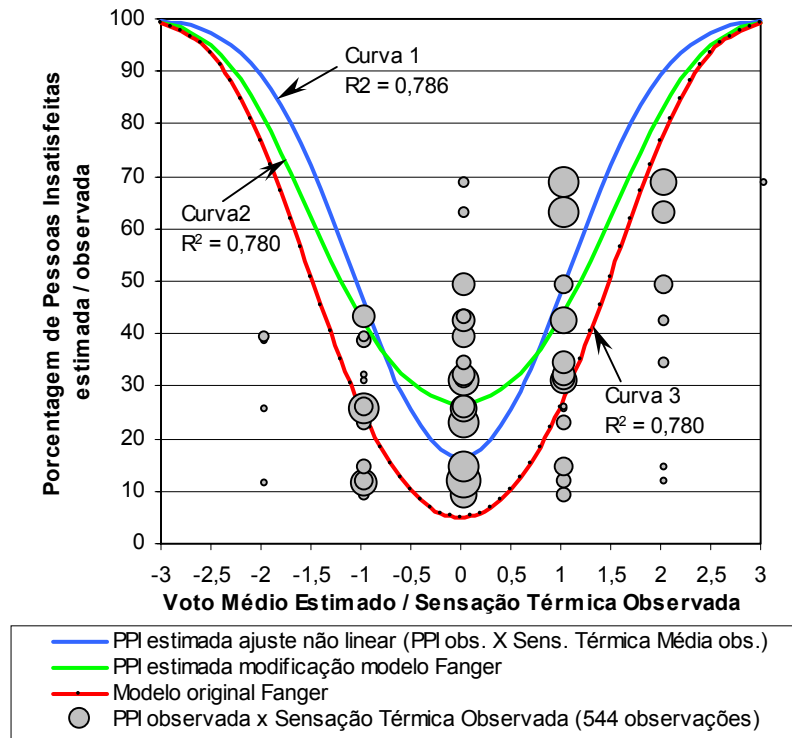


Figura 3 - Voto médio estimado contra Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas estimada / Sensação térmica observada contra Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas observada / comparação dos modelos de estimativa da Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas

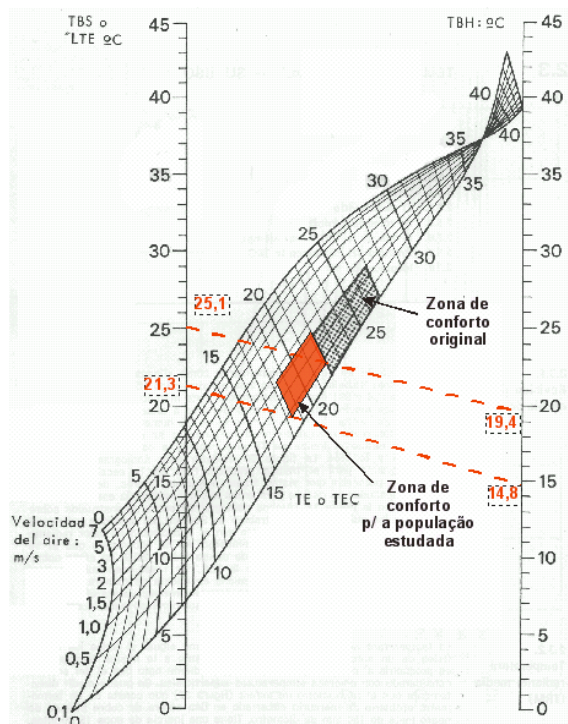


Figura 4 - Comparação dos limites de conforto obtidos para a população estudada com a zona de conforto do nomograma de temperatura efetiva corrigida.

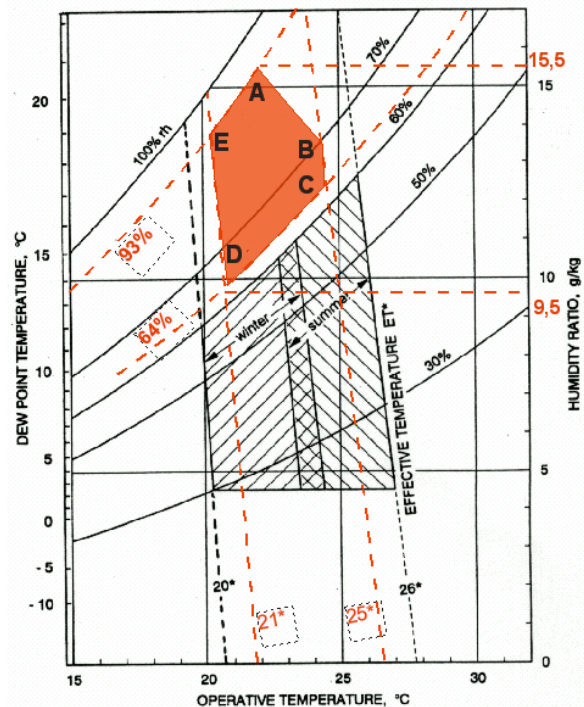


Figura 5 - Comparação dos limites de conforto obtidos para a população em estudo com a zona de conforto da norma ASHRAE 55-1992. Adaptado de (ASHRAE, 1997)

As curvas 1 e 2 (fig. 3), obtidas experimentalmente, podem ser usadas em conjunto para prever um intervalo de variação na estimativa do percentual de insatisfeitos em um ambiente.

Nomograma de temperatura efetiva corrigida. O índice de temperatura efetiva original é empírico e foi definido por Houghten e Yaglou em 1923. Ele foi apresentado de forma que o seu valor pode ser determinado para qualquer combinação de temperaturas de bulbo seco e úmido e velocidade do ar. Posteriormente ele foi corrigido para considerar os efeitos das trocas por radiação (Bedford, 1946), passando a chamar-se índice de temperatura efetiva corrigida. Verifica-se, na Fig. 4, que a zona de conforto obtida para a população em estudo fica adjacente à zona de conforto original. Observa-se que o limite superior para a velocidade do ar, 1,7m/s, supera ligeiramente o limite original de 1,5m/s, que já é alto. Outros resultados não apresentados neste trabalho, indicam que os usuários preferem velocidades mais baixas quanto ao movimento do ar, porém, associam velocidades mais altas a níveis maiores de frescor do ar. Considerou-se que o nomograma é aplicável, deslocando-se a zona de conforto.

Índice de temperatura efetiva padrão. O índice de temperatura efetiva corrigida foi usado pela ASHRAE até que em 1972, Gagge definiu a nova temperatura efetiva (TE^*), com uma abordagem mais racional e matemática (ASHRAE, 1997). Neste estudo, para o cálculo da temperatura efetiva foram considerados os seguintes parâmetros: Isolamento da vestimenta = 0,7clo, taxa metabólica = 1,2 met. Os outros dados de entrada são os limites da Tabela 1. Os limites de temperatura efetiva padrão obtidos para a população estudada variam de 21,1°C a 24,9°C. Convém enfatizar que este índice difere do anterior em sua metodologia de obtenção e que, portanto, estes limites de temperatura efetiva não se aplicam àquele índice. Verifica-se que os limites obtidos de temperatura efetiva padrão caem dentro da zona de conforto, porém os limites de umidade relativa, não. Pode-se afirmar que a aplicabilidade do instrumento para a população em estudo, em sua forma original, é reduzida, ficando restrita à valores de temperatura efetiva. Entretanto o instrumento se torna aplicável, caso se considere a zona de conforto representada pelo polígono ABCDE, mostrado na Fig. 5.

Diagrama bioclimático de Szokolay. Em 1987, Szokolay (1995) desenvolveu o método CPZ (Control Potential Zone) para análise do clima e recomendações de projeto. A Fig. 6 mostra a zona de conforto (área verde) desenhada a partir de uma adaptação da metodologia proposta por aquele autor. Para a determinação da temperatura de conforto, a equação proposta por Szokolay foi substituída pela seguinte equação proposta por Humphreys (1981):

$$T_c = 11.9 + 0,534 T_{ext} \quad (\text{Eq. 1})$$

onde T_c é a temperatura de conforto e T_{ext} é a temperatura externa média anual. Essa equação resulta, para Belo Horizonte, numa temperatura de conforto de 23,1°C, que é a temperatura operativa de conforto obtida experimentalmente neste estudo, para a população estudada.

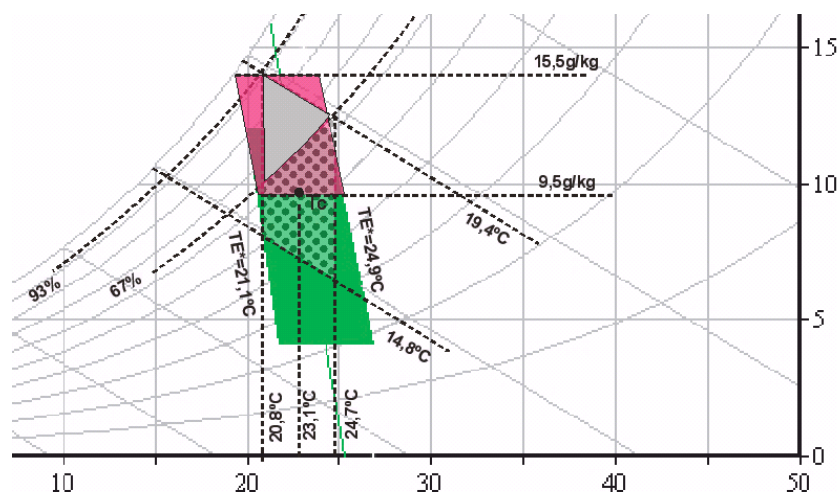


Figura 6 - Comparação dos limites de conforto obtidos para a população estudada com a zona de conforto de Szokolay adaptada

Examinando-se a Fig. 6, constata-se que, se os limites de umidade absoluta do método original foram deslocados para atender aos limites obtidos para a população em estudo, a zona de conforto obtida (área vermelha) passa a enquadrar perfeitamente a zona de conforto para a população em estudo (área verde).

cinza). Concluiu-se que este diagrama, em sua metodologia original, tem uma aplicabilidade reduzida para a população estudada. Esta aplicabilidade pode ser incrementada, mediante as modificações propostas na metodologia de obtenção da zona de conforto. Assim como para o método de Givoni, a pesquisa futura deve tentar esclarecer a configuração das Zonas de Controle Potencial, em torno da zona de conforto.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos resultados buscou estabelecer em que condições os índices estudados são aplicáveis para a população estudada. O diagrama de Olgyay é aplicável com restrições, mediante ajuste no limite superior da zona de conforto. O diagrama bioclimático de Givoni é aplicável, sofrendo uma redução na zona de conforto. O método de Fanger é aplicável, devendo suas equações serem ajustadas para refletir a realidade da população em estudo. O índice de temperatura efetiva corrigida é aplicável, mediante o deslocamento da zona de conforto. A zona de conforto da ASHRAE (temperatura efetiva padrão) tem aplicabilidade reduzida, podendo ser incrementada através do deslocamento da zona de conforto. O diagrama bioclimático de Szokolay tem aplicabilidade reduzida, apresentando, porém, resultados razoáveis, ao se introduzir modificações em sua metodologia, de forma a adequá-lo à população em estudo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, V. M. D. e Araújo, E. H. S. (1997) Estudo da aplicabilidade de índices e zonas de conforto térmico na avaliação de desempenho térmico de edificações em Natal - RN. In: IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído - Anais. Salvador : FAUFBA/LACAM; ANTAC, p. 262-268.
- ASHRAE (1997) American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. ASHRAE handbook – fundamentals. Atlanta: ASHRAE.
- BEDFORD, T. (1946) Environmental warmth and its measurement. Medical Research Council, War Memo No. 17. Londres: Stationery Office.
- FANGER, P.O. (1970) Thermal comfort analysis and applications in environmental engineering. Copenhagen: Danish Technical Press.
- GIVONI, B. (1992) Comfort climate analysis and building design guidelines. Energy and buildings, v. 18, nº 1, p. 11-23.
- GONÇALVES, W.B. (2000) Estudo de índices de conforto térmico avaliados com base em população universitária na região metropolitana de Belo Horizonte. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte: UFMG - Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica.
- HUMPHREYS, M.A. (1981). The dependence of comfortable temperatures upon indoor and outdoor temperatures, in: CENA e CLARKE (editores) Bioengineering, Physiology and Comfort, Amsterdam: Elsevier.
- ISO - International Organization for Standardization. (1994) Standard 7730, Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Genebra: International Standardization Organization.
- KWOK, A.G.(1998) Thermal comfort in tropical classrooms. ASHRAE Transactions, v. 104, pt 1.
- OLGYAY, V. (1963) Design with climate. New Jersey: Princeton University.
- SZOKOLAY, S.V. (1995). Termal Design of Buildings. Camberra, Australia: Raia Education Division.
- XAVIER, A. A. P. (1999) Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis. Dissertação de Mestrado. Florianópolis: UFSC - Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil.