

ESTUDO DA APLICABILIDADE DE ÍNDICES E ZONAS DE CONFORTO TÉRMICO NA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES EM NATAL-RN

Virgínia Maria Dantas de Araújo, Arquiteta, Doutora em Estruturas Ambientais
UFRN - Departamento de Arquitetura - Laboratório de Conforto Ambiental
Campus Universitário. CEP 59072 900 Natal - RN
(084) 215 3722 / 215 3721 2 (084) 215 3703 E-mail: virginia@ct.ufrn.br

Eduardo Henrique Silveira de Araújo, Estatístico, Especialista em Estatística e Engenharia de Produção
UFRN - Departamento de Estatística - CONSULEST
Campus Universitário. CEP 59072 900 Natal - RN
(084) 215 3789 / 215 3787 2 (084) 215 3781 E-mail: ehhsa@digi.com.br

RESUMO

A partir da avaliação realizada em edificações escolares no litoral nordestino brasileiro, o estudo discute o conforto térmico de usuários de edificações, cujas sensações estão associadas com o ritmo de trocas de calor entre o corpo e o meio ambiente. Tais sensações são função das variáveis do meio e das variáveis do indivíduo adaptado à sua região, estas últimas influenciadas pelos usos e costumes da população. Nesse sentido, observou-se que muitos dos índices e zonas de conforto térmico conhecidos e utilizados no Brasil foram definidos para realidades e aplicações distintas das nossas. Assim, o objetivo do presente trabalho é determinar os parâmetros das variáveis ambientais que propiciam o conforto térmico, a partir da técnica de avaliação pós-ocupação, e confrontá-los com os índices e zonas de conforto térmico comumente utilizados no país.262

ABSTRACT

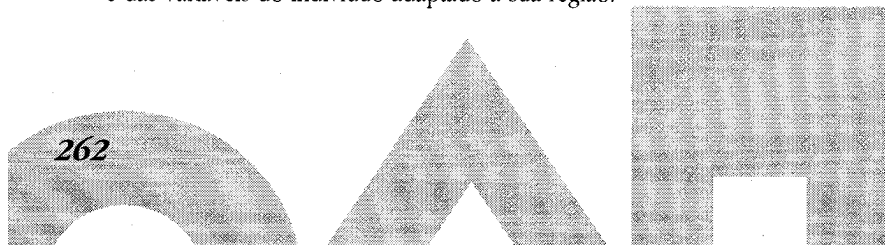
This study was developed based on an assessment carried out on school buildings in the Brazilian north-eastern coastal region and deals with the thermal comfort of these buildings users whose thermal sensations are associated with the rhythm of heat exchange between the body and the environment. These sensations are a function of environmental variables and those of the subjects fully adapted to regional conditions, the latter being influenced by the culture and population customs. In this regard, it was observed that many of the thermal indices and comfort zones known and used in Brazil were defined from realities and applications different from ours. Therefore, the objective of this research was to determine, based on the post-occupational assessment technique, the environmental variable parameters which confers thermal comfort and to compare them with thermal indices and comfort zones currently used in the country.

INTRODUÇÃO

Observa-se que os índices são adequados às condições nas quais foram desenvolvidos sendo, na maioria das vezes, incorporadas respostas subjetivas de usuários aclimatados àquelas condições específicas e que apresentam hábitos alimentares e de vestimentas distintos dos demais. Daí a importância do presente trabalho (ARAÚJO, 1996), já que nenhum estudo foi realizado para as condições brasileiras, no sentido de identificar os parâmetros que definam as nossas condições de conforto térmico e validem a adoção de algum índice à nossa realidade climática.

As ferramentas de análise desse problema são de natureza estatística, pela apreciação que se faz do julgamento da satisfação ou insatisfação de um grupo de indivíduos. Inicialmente, foram realizados estudos em laboratório envolvendo poucas pessoas. Com a realização de estudos em campo, algumas das variáveis ambientais eram medidas e as pessoas expressavam suas sensações térmicas em escalas adequadas. Experiências extensivas e, de alguma forma, de natureza semelhante às já mencionadas nos estudos de campo, mas sob condições laboratoriais rigidamente controladas, também foram realizadas.

Nesse sentido, o objeto de estudo do presente trabalho é o conforto térmico de usuários de edificações, cujas sensações estão associadas com o ritmo de trocas de calor entre o corpo e o meio ambiente, considerando a função das variáveis do meio e das variáveis do indivíduo adaptado à sua região.



ESTUDOS PRECEDENTES

Não é difícil concluir-se, pelos estudos revisados, que os índices e zonas de conforto analisados e descritos, considerados como mais significativos na literatura técnica disponível, se originaram basicamente de extensivas observações de laboratório ou de campo. As análises são em detalhes diferentes, mas em princípio cada índice é o resultado de análises estatísticas de dados experimentais. Cada índice, portanto, aplica-se estritamente às condições físicas nas quais foi determinado. Observa-se, ainda, que a maioria dos trabalhos experimentais produzidos tem concentrado em vestimenta leve e em atividade sedentária.

No Brasil, da mesma forma que na Europa, as pesquisas na área foram basicamente desenvolvidas por higienistas e voltadas para as condições de trabalho. Considerados pioneiros, esses estudos foram desenvolvidos na década de 30 e 40, durante o Governo Vargas, em instituição ligada ao Ministério do Trabalho. Segundo SCARAZZATO (1988), as primeiras referências que se tem conhecimento sobre índices térmicos, no Brasil, são os trabalhos de SÁ (1938) e de RIBEIRO (1945), ambos higienistas.

O Professor PAULO SÁ, do Instituto Nacional de Tecnologia, do Ministério do Trabalho, Indústria e Comércio, abordou a questão do conforto térmico com duplo objetivo de verificar qual dos índices propostos, até aquele momento, acompanhava melhor, com suas indicações, as influências do ambiente sobre os indivíduos; e o de determinar que indicação do índice correspondia à situação ótima. Após levantar os dados no Rio de Janeiro, de maio de 1934 a maio de 1935, e tratá-los estatisticamente, SÁ chegou a determinar que, sob umidades relativas entre 60 e 80%, as temperaturas secas do ar representam com suficiente fidelidade a sensação térmica experimentada no ambiente por observadores brasileiros, vestidos normalmente e em pequena atividade; nas mesmas condições a temperatura de conforto térmico é de cerca de 24,5°C no inverno, e de 26,5°C no verão (SÁ, 1938:57). Quanto ao trabalho de RIBEIRO (1945), o mesmo se limitou a estudar o clima do Rio de Janeiro e a propor recomendações gerais quanto ao conforto térmico.

A análise e a aplicação efetiva dos índices térmicos às condições brasileiras tiveram início na década de 70, em decorrência da crise mundial de energia, quando o conceito de utilização de outras fontes de energia foi sendo incorporado, merecendo destaque a retomada do estudo e prática da energia solar com influência na produção arquitetônica da época. Somente a partir da década passada, com o desenvolvimento e aplicação dos modelos de simulação de desempenho térmico de edificações, os índices térmicos passaram a ser incorporados à análise de projetos e a ser questionados. No entanto, nenhum estudo experimental foi realizado no sentido de validar ou questionar os índices térmicos adotados.

METODOLOGIA ADOTADA

A metodologia empregada para o desenvolvimento do estudo compreendeu os seguintes passos: caracterização da região do ponto de vista climático; apresentação da situação-problema, ou seja, a caracterização do objeto de estudo; definição das variáveis envolvidas no problema; detalhamento dos procedimentos e estratégias utilizadas para a coleta dos dados; caracterização da população objeto de estudo, bem como o plano amostral empregado e os procedimentos operacionais utilizados na pesquisa de campo.

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Na apresentação e análise dos dados obtidos no estudo, procurou-se ressaltar as evidências que esclarecem cada questão levantada através de análises quantitativas e/ou qualitativas, testando as hipóteses formuladas, evidenciando os resultados em relação aos objetivos propostos e definindo os parâmetros de conforto térmico. Inicialmente, processou-se a análise descritiva dos dados levantados das variáveis testando-se, em seguida, a influência das variáveis ambientais e psicofisiológicas na variável resposta (grau de satisfação), aplicando-se a técnica de correlação simples. Finalmente, determinou-se os parâmetros de conforto térmico a partir da frequência dos valores das variáveis ambientais estudadas em relação a cada grau de satisfação, com base na análise probit (Tabela 1).

Para melhor visualização e utilização prática, optou-se por apresentar os parâmetros de conforto térmico para as variáveis constantes do diagrama psicrométrico na Figura 1 e para esta apresentação considerou-se a temperatura de globo igual à temperatura de bulbo seco.

Tabela 1 Parâmetros de conforto térmico para as variáveis ambientais estudadas.

Variável ambiental	Parâmetros
Temperatura de bulbo seco	25,1° - 28,1°C
Temperatura de bulbo úmido	22,3° - 24,2°C
Umidade relativa	69% - 92%
Temperatura de globo	25,3° - 28,5°C
Temperatura radiante média	25,9° - 29,2°C
Velocidade do ar	0,12 - 0,83 m/s

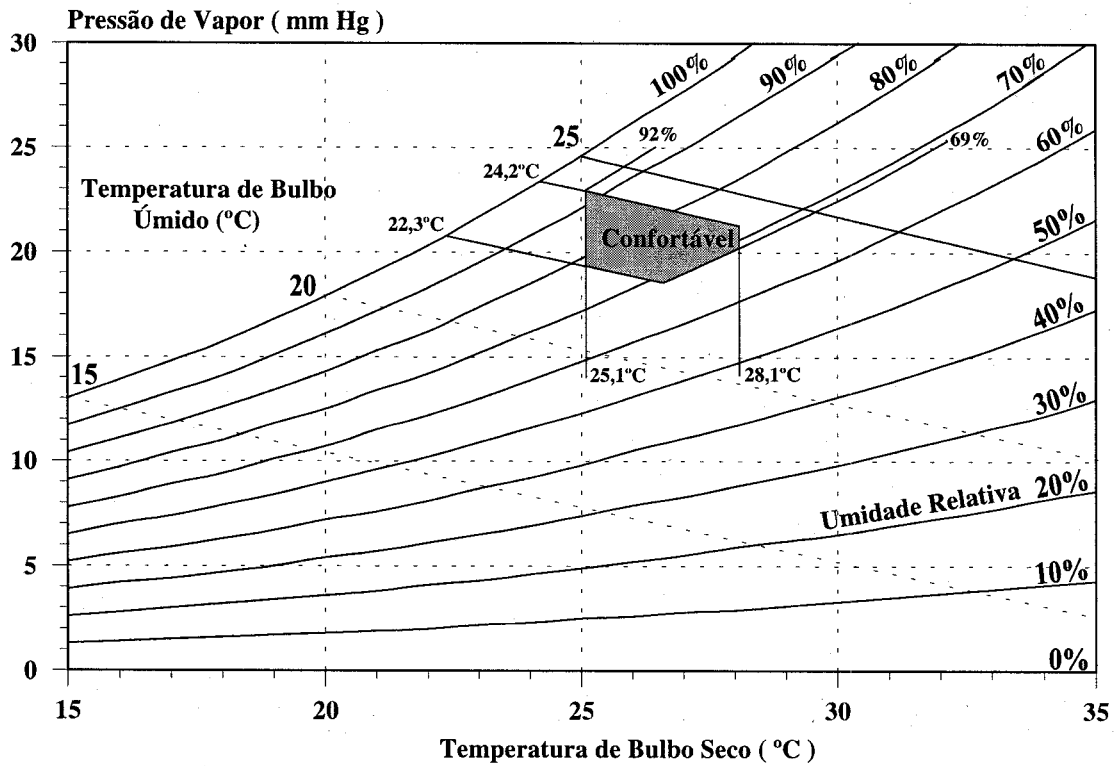


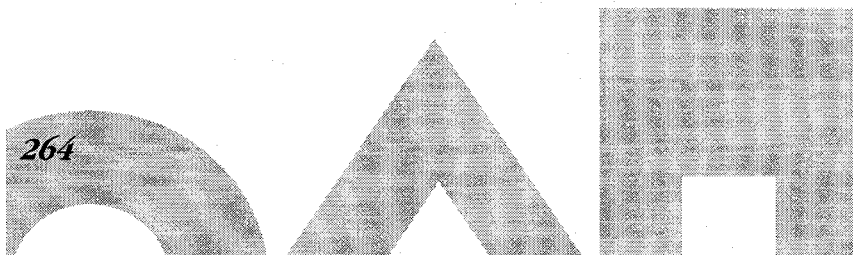
Figura 1. Diagrama psicrométrico com os parâmetros de conforto térmico determinados.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise desenvolvida acerca dos índices e zonas de conforto térmico em diferentes países, demonstra que os resultados dos estudos variam de lugares e autores. Existem ainda várias classificações dos índices térmicos, dentre as quais: os que avaliam a fadiga térmica; os que reúnem em um valor os efeitos de diversas variáveis; os que estimam a sensação térmica, dentre outros. Assim, em função das características e da base experimental do presente estudo, optou-se pela comparação com os índices e zonas de conforto térmico que estimam a sensação térmica para a atividade sedentária ou que reúnem em um valor o efeito de diversas variáveis. Os estudos que foram comparados com os resultados encontrados foram os seguintes: Índice da TEMPERATURA EFETIVA; Zona de conforto proposta por OLGAYAY; Zona de conforto proposta por GIVONI; Modelo proposto por FANGER; Índice da TEMPERATURA EFETIVA PADRÃO.

Neste sentido comparou-se, inicialmente, os parâmetros definidos com a zona de conforto térmico proposta por KOENIGSBERGER et al. (1977) para a maior parte dos climas tropicais, determinada através do índice da Temperatura Efetiva. Baseados nos dados de vários estudos, principalmente os desenvolvidos na Austrália e em Singapura, KOENIGSBERGER et al. (1977:74) consideraram válidos os limites de 22 a 27°C para a temperatura efetiva (TE). A referida zona de conforto, representada no nomograma da temperatura efetiva na Figura 2, está limitada pelas linhas da TE de 22 e 27°C e pelas linhas de velocidade do ar de 0,1 e 1,5 m/s. Considerando-se os parâmetros das variáveis da temperatura de bulbo seco (25,1 a 28,1°C) e úmido (22,3 a 24,2°C) e a velocidade do ar (0,12 a 0,83 m/s) encontrados para a região de estudo, observa-se que a zona de conforto determinada encontra-se inserida dentro dos limites propostos pelo estudo desenvolvido por KOENIGSBERGER et al.

As críticas ao índice da TE, centram-se na constatação de que o efeito da umidade relativa do ar torna-se superestimada para baixas temperaturas e subestimada para altas temperaturas. Tais situações dificilmente ocorrem na região de estudo, viabilizando a sua utilização, dependendo dos objetivos da análise proposta.



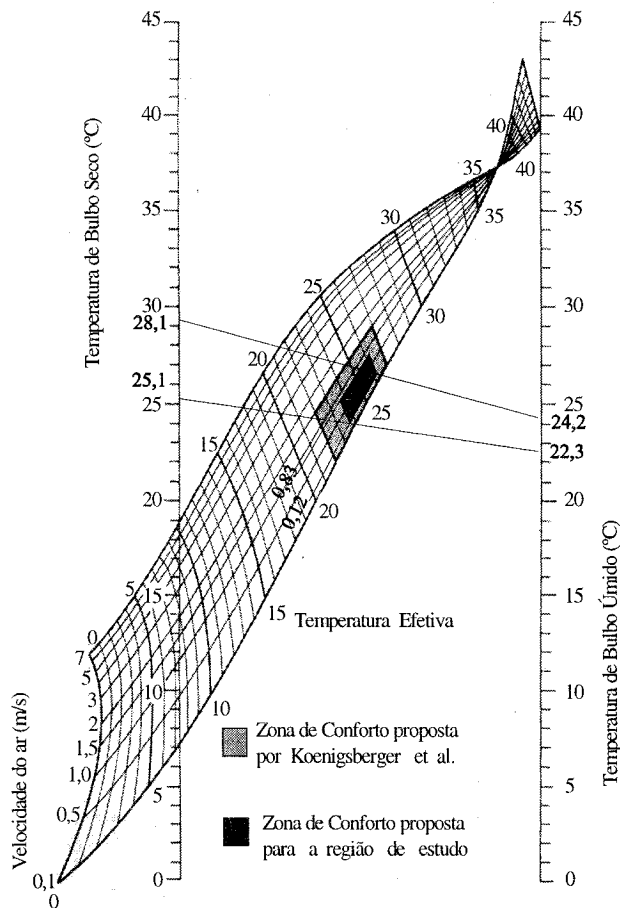


Figura 2. Zona de conforto térmico proposta por KOENIGSBERGER et al. e a determinada para a região de estudo.

A zona de conforto definida por OLGAY está compreendida entre 21° e 27°C de temperatura de bulbo seco, com umidades relativas entre 20 e 75%, considerando uma redução do limite superior da referida zona a partir da umidade relativa de 50%. KOENIGSBERGER et al. (1977:68) corrigiram alguns valores da zona de conforto térmico proposta por OLGAY para as regiões tropicais, passando a adotar os limites de conforto térmico da temperatura de bulbo seco entre 21° e 30° C e da umidade relativa entre 30 e 65%, conforme a carta bioclimática da Figura 3.

Pode-se observar, tendo como base os parâmetros das variáveis da temperatura de bulbo seco (25,1° a 28,1°C), da umidade relativa (69 a 92%) e velocidade do ar (0,12 a 0,83m/s) definidos para a região de estudo, que a zona de conforto encontra-se fora dos limites propostos pelo estudo acima mencionado, inserindo-se na região onde há necessidade de medidas corretivas relativas ao movimento do ar. Pelo aqui exposto, observa-se que apesar das correções feitas por KOENIGSBERGER et al. para as regiões tropicais, há restrições quanto a utilização do modelo proposto por OLGAY para a região de estudo.

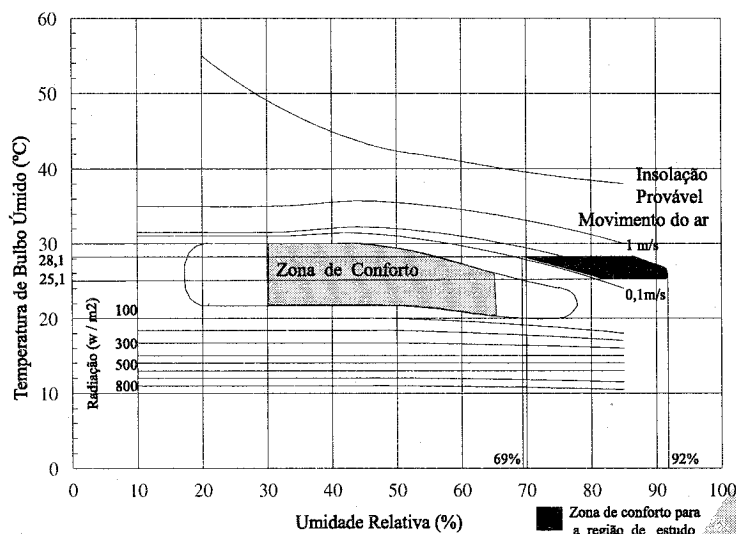


Figura 3. Zona de conforto térmico proposta por OLGAY e a determinada para a região de estudo, representadas na carta bioclimática.

Os limites de conforto propostos por GIVONI, para pessoas aclimatadas, em repouso ou em atividade sedentária, vestidas com roupa leves, estão compreendidos entre 21° e 26°C de temperatura de bulbo seco e com pressão de vapor entre 5 e 17 mmHg. Além disso, GIVONI propõe as condições suportáveis que se estendem de 20° a 28°C de TBS e até 20 mmHg de pressão de vapor. GONZALEZ et al. (1986:72) corrigiram alguns valores da zona de conforto térmico proposta por OLGAYAY para as regiões da Venezuela, passando a adotar os limites de conforto térmico da temperatura de bulbo seco entre 22° e 29°C e da umidade relativa entre 20 e 75%, conforme a carta bioclimática da Figura 4.

Observa-se, com base nos parâmetros das variáveis da temperatura de bulbo seco (25,1° a 28,1°C), da temperatura de bulbo úmido (22,3° a 24,2°C) e da umidade relativa (69 a 92%) encontrados para a região de estudo, que a zona de conforto determinada na Figura 4 encontra-se fora dos limites propostos por GIVONI E GONZALEZ, inserindo-se na região onde há necessidade de ventilação natural ou mecânica.

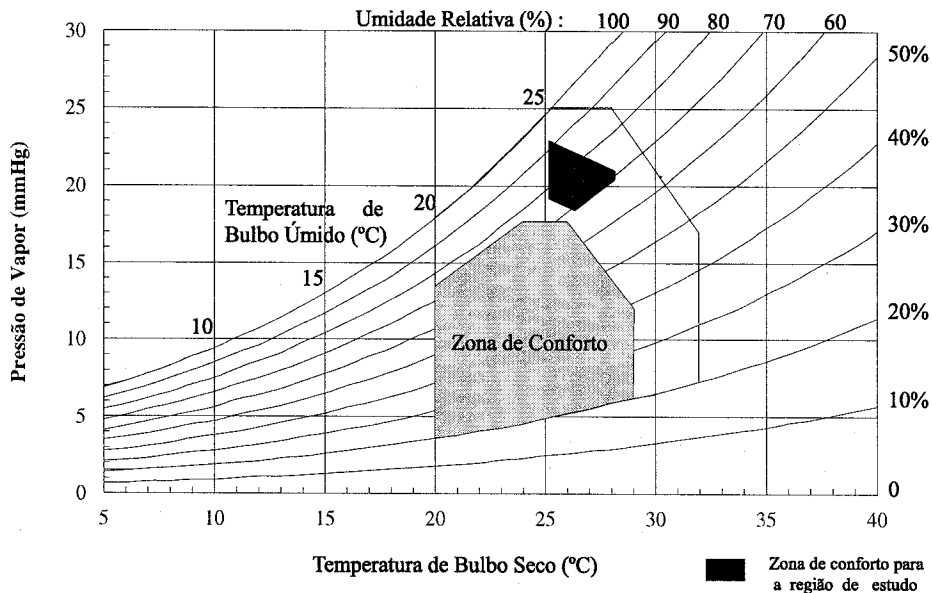
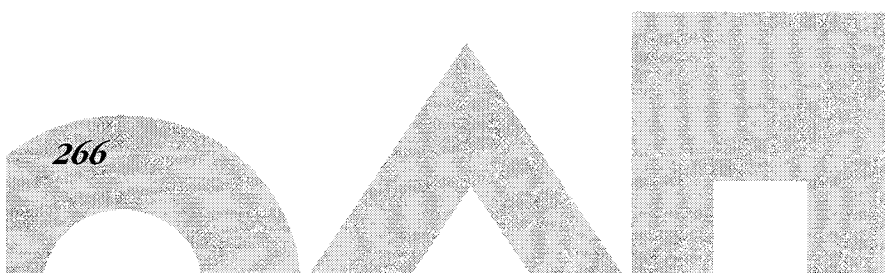


Figura 4. Zona de conforto proposta por GIVONI e adaptada por GONZALEZ para regiões da Venezuela em comparação com a proposta para a região de estudo.

Dando continuidade ao estudo comparativo, analisa-se o método proposto por FANGER (1972), com grande aceitação e recomendação no país. Observa-se que a metodologia proposta por FANGER é bastante consistente do ponto de vista conceitual. No entanto, verifica-se que em dois pontos, a determinação do “voto médio estimado” (VME) e da “percentagem de pessoas insatisfeitas” (PPI), está baseada em resultados da própria experiência dinamarquesa e dos experimentos norte-americanos desenvolvidos na Universidade Estadual de Kansas por NEVINS et al. (1966). Nesse sentido, julgou-se necessário adotar integralmente os mesmos procedimentos do referido estudo com os dados da amostra levantados na presente pesquisa, para efeito de comparação dos resultados obtidos. Tal comparação pode ser efetuada dadas as semelhanças experimentais. As estimativas das proporções de insatisfeitos devido ao frio e ao calor obtidas destas linhas são somadas resultando numa curva.

A curva da figura 5 é utilizada por FANGER na avaliação térmica dos ambientes. Pode-se observar que a referida curva é simétrica e apresenta um mínimo de 5% de insatisfeitos com relação ao voto médio estimado igual a zero. Este ponto corresponde à condição de conforto “ótima”, ou seja, onde encontra-se a máxima percentagem “confortável”. Observa-se, ainda, que a percentagem de pessoas insatisfeitas (PPI) aumenta à medida que o voto médio estimado se afasta de zero. Por exemplo, no $VME = \pm 1$ a percentagem de pessoas insatisfeitas é cerca de cinco vezes o valor mínimo de 5%.

Observa-se no gráfico da Figura 5 que a curva da percentagem de pessoas insatisfeitas na região de estudo, tem um mínimo em torno de 47,5%, portanto, correspondendo a um voto médio estimado (VME) igual a zero, o que reforça os restritos intervalos dos parâmetros de conforto térmico encontrados com base nos dados experimentais. Além disso, diferentemente dos dados experimentais de FANGER (1972:68), que foram definidos através de sistemas ambientais controlados artificialmente, os dados do presente estudo foram levantados nas condições ambientais naturais considerando toda a não uniformidade térmica dos ambientes, o que já faria esperar uma percentagem maior que os 5% de pessoas insatisfeitas nas condições “confortáveis” para as pessoas pesquisadas.



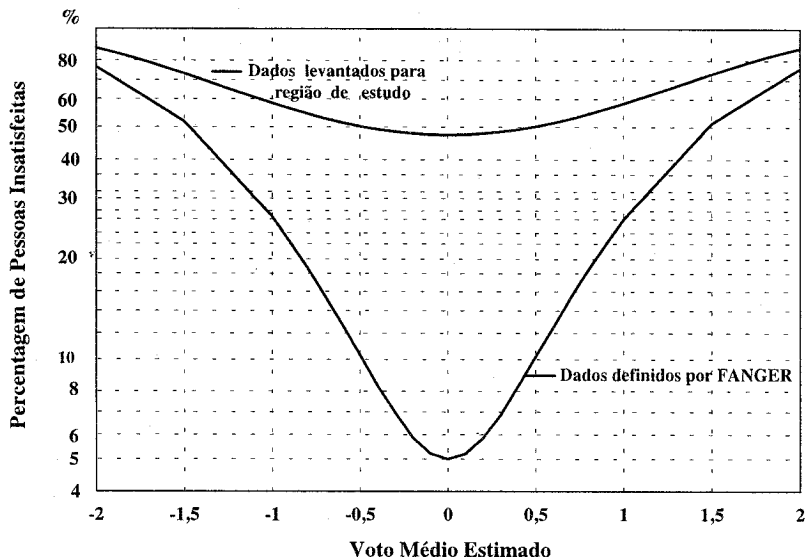


Figura 5. Gráfico da percentagem de pessoas insatisfeitas (PPI) em função do voto médio estimado (VME) definidos a partir dos dados experimentais levantados para a região de estudo em comparação com os dados definidos por FANGER.

Pôde-se igualmente constatar que os resultados da relação entre a percentagem de pessoas insatisfeitas e o voto médio estimado encontrados no presente estudo, foram significativamente diferentes, o que inviabiliza a utilização dos referidos dados para a região de estudo.

Finalmente, a zona de conforto térmico definida através da temperatura efetiva padrão (TEP) leva em consideração o conceito da temperatura de neutralidade térmica (T_n), definida como a média das temperaturas do ar sob as quais a maioria das pessoas não sente calor nem frio. ALUCCI (1993:84) adotou esse método para a definição das condições de conforto para distintas regiões do país justificando que, dos índices propostos na bibliografia consultada, é o único que permite considerar, na definição dos limites de conforto, as condições de exposição às quais as pessoas estão aclimatadas. Observa-se que apesar da definição da zona de conforto a partir dos dados climáticos da região de estudo, os limites da pressão de vapor definidos no referido índice (TEP) ficam muito aquém das encontradas na região, onde se chega a registrar valores entre 16 a 25 mmHg (Figura 6).

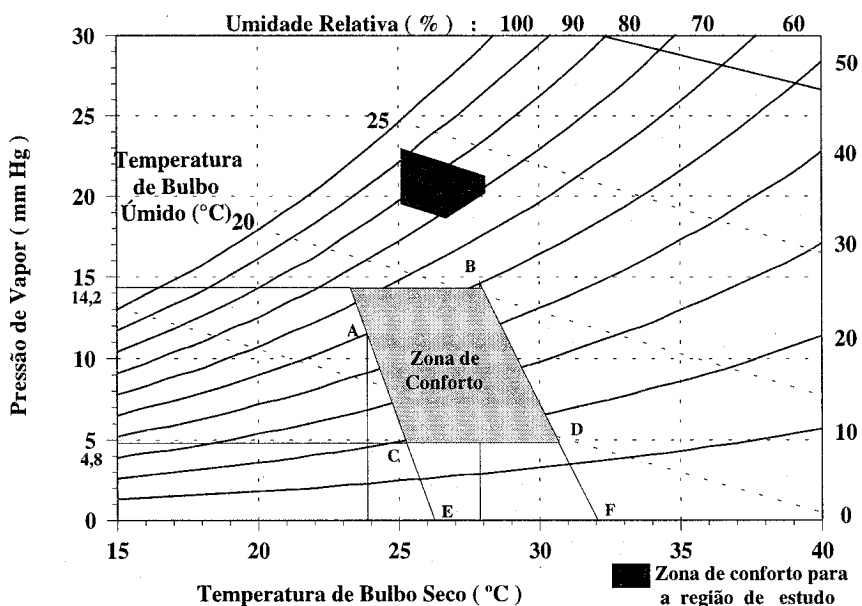


Figura 6. Zona de conforto térmico proposta pelo índice da temperatura efetiva padrão e a determinada pelos dados experimentais para a região de estudo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados encontrados, pôde-se verificar que a metodologia proposta comprovou a sua validade operacional e científica e que os procedimentos aqui descritos podem ser aplicados para outras regiões climáticas do Brasil, determinando parâmetros mais próximos da nossa realidade, além de permitir a montagem de um banco de dados consistente relacionado às exigências térmicas de usuários aclimatados às condições brasileiras.

Na discussão dos resultados conclui-se que os índices e zonas de conforto térmico analisados estão de acordo com a hipótese levantada de que os modelos são adequados às condições nas quais foram desenvolvidos e que muitos dos índices e zonas de conforto térmico, conhecidos e utilizados no país, foram definidos para condições climáticas e aplicações distintas das nossas. Verificou-se que apesar das restrições quanto a utilização do índice da temperatura efetiva, levantadas na literatura técnica, foi o que apresentou melhores resultados quanto a sua utilização para a região de estudo.

Da mesma forma, os resultados aqui encontrados são particularmente valiosos devido às condições experimentais sob as quais os dados foram levantados, no entanto, a sua aplicação prática é relativamente limitada, já que são válidos somente para as condições características sob as quais a experiência foi realizada. Pôde-se também constatar que a percentagem de pessoas insatisfeitas devido ao calor na região de estudo é um dado consideravelmente alto, o que reforça os restritos intervalos dos parâmetros de conforto térmico encontrados com base nos dados experimentais e ressaltam a importância dos estudos relacionados à adequação das edificações ao clima.

Pôde-se também constatar que a percentagem de pessoas insatisfeitas devido ao calor na região de estudo é um dado consideravelmente alto, o que reforça os restritos intervalos dos parâmetros de conforto térmico encontrados com base nos dados experimentais e ressaltam a importância dos estudos relacionados à adequação das edificações ao clima.

Os parâmetros das variáveis determinados podem ser utilizados por arquitetos e outros profissionais que tenham interesses em projeto e avaliações de desempenho térmico de edificações escolares na região de estudo e podem dar subsídios para a definição das condições de conforto térmico nestas edificações onde são utilizados recursos de condicionamento artificial.

Embora não tenha se constituído em objetivo do trabalho, os fatores por ele evidenciados poderão a vir a ter influência significativa no aprendizado dos alunos o que, por si, justificaria o interesse também de profissionais da área pedagógica no sentido do desenvolvimento de estudos em que a questão ambiental e o desempenho escolar sejam considerados.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo apoio financeiro, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo suporte financeiro na aquisição dos equipamentos utilizados na pesquisa e a CONSULEST - Consultoria de Estatística do Departamento de Estatística da UFRN, pela consultoria nas etapas de planejamento do experimento e tratamento dos dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALUCCI, Márcia P. *Conservação de energia elétrica nas edificações*. São Paulo: CNPq / EPUSP, 1995.
- Conforto térmico, conforto luminoso e conservação de energia - Procedimentos para desenvolvimento e avaliação de projeto de edificações*. São Paulo:FAUUSP,1993,Tese de Doutorado.
- ARAÚJO, Virgínia M.D. *Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares no litoral nordestino brasileiro*. São Paulo: FAUUSP, 1996, Tese de Doutorado.
- FANGER, P.O. *Thermal Comfort. Analysis Engineering*. United States: Mc Graw Hill. Book Company, 1972.
- GIVONI, B. *Man, climate and architecture*. London: Elsevier, 1976.
- GONZALEZ et al. *Proyecto clima y arquitectura*. Universidad Del Zulia, Facultad de Arquitectura, Instituto de Investigaciones de Arquitectura y Sistemas Ambientales, México: Volume 1, Ediciones Gustavo Gili, 1986.
- KOENIGSBERGER et al. *Vivienda y edificios en zonas cálidas y tropicales*. Madrid: Paraninfo, 1977.
- NEVINS et al. *A temperature-humidity chart for thermal comfort of seated persons*. ASHRAE, Trans., Vol. 72, p.283-291, 1966.
- OLGYAY, Victor *Design With Climate*. New Jersey: Princeton University, 1963.
- RIBEIRO, Benjamin Alves *Contribuição ao estudo do conforto ambiental*. São Paulo: Instituto de Higiene, Boletim N.º85, 1945.
- SÁ, Paulo *Conforto térmico*. Rio de Janeiro: Ministério do Trabalho. Instituto Nacional de Tecnologia, 1938.
- SCARAZZATO, Paulo Sérgio *Investigação sobre critérios para determinação e medição dos níveis de conforto térmico*.São Paulo:1988. Dissertação de mestrado, FAUUSP.