

IMPACTO DO AQUECIMENTO GLOBAL EM SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE AR

JOSÉ RUI CAMARGO
MARCOS PAULO DE FARIA
Departamento de Engenharia Mecânica
Universidade de Taubaté

RESUMO

O aquecimento global refere-se a um aumento da temperatura superficial de todo o globo terrestre, incluindo a terra e a água, que vem ocorrendo nas últimas décadas. Este aumento de temperatura deve-se, principalmente, à emissão de CO₂ e também de outros gases. Seus principais efeitos são: aumento na nebulosidade, no índice pluviométrico, na condensação de núcleos de partículas contaminantes e na temperatura. O aumento na temperatura influi de forma definitiva na sensação de conforto térmico humano e isto provocará, certamente, um aumento na potência frigorífica instalada para condicionamento de ar para conforto. Neste trabalho apresenta-se, inicialmente, uma avaliação de dois índices utilizados para avaliar o conforto térmico humano em ambientes condicionados, quais sejam, a temperatura efetiva e o índice de tensão fisiológica relativa. A seguir são feitas simulações bioclimáticas produzidas pela mudança de clima devido ao aquecimento global para cenários futuros, para seis cidades brasileiras. As simulações utilizam condições climáticas projetadas baseadas em modelos matemáticos já existentes e avaliam o impacto do aquecimento global na sensação de conforto térmico e no consumo energético de sistemas de condicionamento de ar.

Palavras-Chave: Aquecimento Global, Condicionamento de Ar, Conforto Térmico.

INTRODUÇÃO

Neste trabalho apresenta-se, inicialmente, dois parâmetros utilizados para avaliar o conforto térmico humano em ambientes condicionados. A seguir são feitas simulações bioclimáticas com o objetivo de avaliar as alterações produzidas pela mudança do clima devido ao aquecimento global para cenários futuros. As simulações são feitas para seis cidades brasileiras escolhidas aleatoriamente, e se baseiam em modelos

matemáticos já existentes. O objetivo principal é analisar o impacto do aquecimento global na sensação de conforto térmico e no consumo energético de sistemas de condicionamento de ar.

A maior parte dos gases existentes, além de deixar passar a luz que vem do sol, é também transparente às radiações emitidas pela superfície da Terra e pela própria atmosfera. No entanto alguns gases, entre os quais destaca-se o gás carbônico, o metano, o óxido nítrico e o vapor

d'água, também são transparentes à radiação proveniente do sol, também conhecida como radiação infravermelha. Estes gases, que absorvem a radiação infravermelha, são conhecidos como gases de efeito estufa e são os responsáveis pelo aquecimento global (Fig.1).

O efeito do aquecimento global vem sendo percebido desde o final da década de 70 com o aumento das emissões dos gases de estufa, produzidos principalmente pela queima de combustíveis fósseis (CO_2 , NO_2 , NH_4 , entre outros em menor quantidade), dando início aos primeiros problemas de aquecimento global do planeta⁽¹⁾.

Uma convenção destinada a discutir os problemas provocados pelo aquecimento global foi realizada, em 1997, em Kyoto, no Japão e, a partir das discussões, foi emitido um documento conhecido como “Protocolo de Kyoto” – um complemento da Convenção sobre Mudanças Climáticas, assinada no Rio de Janeiro, em 1992 - onde ficou estabelecida uma redução de 5% do CO_2 emitido entre 2008 e 2012, tendo 1990 como ano base. O tratado foi assinado por mais de 150 países, mas nenhuma nação desenvolvida o ratificou até agora. Nessa mesma convenção também ficou claro que os Estados Unidos e a Europa não conseguiriam cumprir o estabelecido e foi criado um mecanismo, denominado “Mecanismo de Desenvolvimento Limpo –

MDL” que criou uma flexibilização para compensação das emissões. Pelo MDL os países industrializados poderão financiar, nos países em desenvolvimento, projetos que levem a uma redução da emissão dos gases de efeito estufa e descontar, de seu balanço próprio de emissões, essa redução obtida em outro país. As discussões para a implementação deste mecanismo tiveram continuidade durante a reunião do IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática – que aconteceu em Haia, na Holanda, em novembro de 2000. O IPCC, vinculado ao Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, divulgou um documento com novos dados, apresentando um balanço do clima global. Uma das descobertas mais preocupantes foi que o limite superior do aquecimento global nos próximos 100 anos pode ser bem maior do que o estimado preliminarmente, em 1995, pelo próprio IPCC. Naquele cenário concluiu-se que, no pior caso, as temperaturas médias se elevariam 3 °C. Neste novo balanço a temperatura média global pode ficar 6 °C acima da média de 1990.

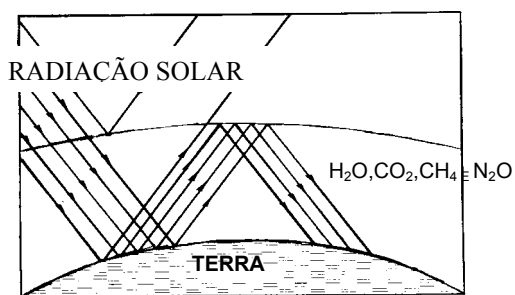


Figura 1: Representação esquemática do efeito do aquecimento global

A mudança climática, como consequência das emissões de CO₂, há muito tempo é encarada como uma das preocupações do ser humano. Estima-se que todo o setor industrial do planeta emita 7 bilhões de toneladas de CO₂ por ano na atmosfera⁽²⁾. Como o metabolismo das florestas e dos oceanos é capaz de absorver apenas 3,7 bilhões desse total o restante, ou seja, 3,3 bilhões de toneladas por ano, permanece na atmosfera, agravando o efeito estufa. Como o tempo de residência desses gases na atmosfera varia de 50 a 200 anos, se levado em conta apenas o período de 1860 a 1999, tem-se como consequência um aumento de 0,7 °C na temperatura da atmosfera e 0,31 °C na temperatura dos oceanos.

Uma forma de amenizar os problemas causados pelo aquecimento global é a conscientização da população do planeta para diminuir a emissão de poluentes na atmosfera e, para isso, vem sendo realizados estudos em diversas regiões do mundo analisando o impacto do aquecimento global em bioclimas e recintos acondicionados e suas influências no conforto térmico humano.

Para avaliar o impacto fisiológico do aquecimento global pode-se utilizar inúmeros índices biometeorológicos. Entre esses índices biometereológicos empíricos, talvez a mais freqüente relação aplicada é a Temperatura Efetiva de Houghten e Yaglou. O fator da

Temperatura Efetiva é definido como a temperatura de ar saturado que dá a mesma sensação térmica com as condições ambientes. Este índice tenta integrar os efeitos térmicos e de umidade do meio ambiente e tem sido usado para avaliar o conforto térmico em bioclimas equatoriais e tropicais.

Hentschel⁽³⁾ e Taesler⁽⁴⁾ concluíram que a temperatura efetiva, por causa de sua simplicidade de aplicação para amplas faixas de bioclimas, é o melhor índice disponível para avaliar as condições bioclimáticas humanas. Neste trabalho utilizou-se esse índice, em associação com o Índice de Tensão Fisiológica Relativa (RSI).

O trabalho de McGregor⁽⁵⁾ simula a variação de bioclimas no futuro, com o aumento de 2°C na temperatura efetiva e 7% e 14% na umidade relativa. Foram avaliados os bioclimas do Pacífico Sul e foram usados os conceitos de temperatura efetiva e umidade relativa para avaliar as mudanças prováveis no conforto humano, como consequência do aquecimento global. O autor verifica que o aquecimento global resultará em mudanças nas freqüências, duração e intensidade das condições fisioclimáticas e conclui que, para as Ilhas do Pacífico Sul, em termos de conforto térmico humano e principalmente bioclimaticamente, o impacto negativo das alterações bioclimáticas resultantes

do aquecimento global será sentido mais drasticamente.

INDICES BIOCLIMÁTICOS

Temperatura Efetiva

Uma vez que a temperatura, a umidade e a movimentação do ar interagem de forma independente, é necessário considerá-las juntas pois todos esses fatores contribuem para determinar a sensação de frio ou calor sentida pela corpo humano. A Temperatura Efetiva é uma composição desses fatores. Ela busca avaliar a temperatura na qual “a maioria das pessoas se sente bem”, levando em conta o tempo de exposição e os efeitos da umidade e da movimentação do ar e resultou de testes realizados por Yaglou, em 1923, na cidade de Pittsburgh, EUA. Para esses testes foram utilizadas duas salas interligadas. Na primeira não havia movimentação do ar e a umidade relativa era de 100%. Yaglou determinou a combinação de temperaturas, umidades e velocidades do ar estabelecidas na segunda sala que proporcionavam a mesma sensação de conforto térmico que a primeira sala, de acordo com a avaliação de várias pessoas que passavam rapidamente através delas. À temperatura correspondente na primeira sala denomina-se “temperatura efetiva”.

O resultado dos testes foi a elaboração da Carta de Conforto ASHRAE (Fig. 2). Apesar de ter sido feita em Pittsburgh, com trabalhadores homens usando roupas para residência ou escritório, ela resultou no mais conhecido índice para condições internas desejáveis, e é utilizada por toda a indústria de condicionamento de ar. Devido à sua simplicidade de aplicação, é o melhor índice disponível para avaliar as condições bioclimáticas humanas.

Na parte superior das linhas de velocidades (linhas internas, entre as escalas de temperatura de bulbo seco e temperatura de bulbo úmido) é mostrada uma zona de conforto e a pequena escala a direita dessa zona representa o percentual de pessoas que se sentem confortáveis naquela respectiva temperatura efetiva.

O limite da região de conforto, a partir do qual 100% das pessoas se sentem desconfortáveis, é 26,1 °C.

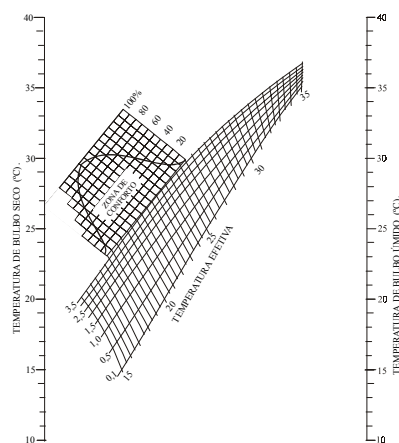


Figura 2 - Carta de conforto ASHRAE

A temperatura efetiva é sempre menor do que a lida no termômetro de bulbo seco; sendo iguais somente para a umidade relativa de 100% (ar saturado). As preferências de conforto variam com o sexo, a idade, a localização geográfica e a duração da exposição. Assim, as mulheres preferem temperaturas aproximadamente 0,6 °C mais quentes que os homens. Pessoas expostas continuamente a um ambiente condicionado preferem uma temperatura 0,6 °C mais fria que aquelas expostas por 30 minutos ou menos. Habitantes de áreas desérticas, tropicais e subtropicais preferem temperaturas relativamente quentes e moradores de áreas montanhosas preferem temperaturas mais frias ⁽⁶⁾.

Índice de Tensão Fisiológica Relativa (RSI)

Com o objetivo de levar em conta os efeitos da vestimenta e da radiação térmica desenvolveu-se o RSI – Relative Strain Index ou Índice de Tensão Fisiológica Relativa. Este índice leva em conta o estado de conforto térmico de um indivíduo padrão em atividade sedentária, vestido com roupa normal de trabalho (saudável, 25 anos de idade e não aclimatado ao calor). Para as condições especificadas (produção interna de calor de 100 W/m²; movimento do ar de 1 m/s; sem radiação solar direta) este índice engloba simultaneamente a temperatura de bulbo seco do

ar e a pressão de vapor, sendo expresso pela seguinte equação:

$$RSI = \frac{10,7 + 0,74(T_a - 35)}{(44 - P_{H_2O})} \quad (1)$$

onde T_a é a temperatura de bulbo seco (°C) e P_{H_2O} é a pressão de vapor (mmHg). A Tab. I mostra a classificação atribuída pelo RSI ⁽⁷⁾.

Tabela I - Classificação pelo Índice de Tensão Fisiológica Relativa (RSI)

RSI	Percentual de pessoas
0,10	100% desestressadas
0,20	75% desestressadas
0,30	0% estressadas
0,40	75% estressadas
0,50	100% estressadas

Este índice foi convencionado para uma temperatura média da pele igual a 35 °C e um limite superior de evaporação de suor máxima possível equivalente a 390 W/m².

Assim, o Índice de Tensão Fisiológica Relativa é uma expressão da razão da evaporação de suor necessário ao conforto para uma evaporação possível devido as condições do ambiente. Esse índice tenta relacionar a tensão térmica para um indivíduo empenhado em uma atividade física moderada equivalente a 3 vezes o fator de metabolismo durante o descanso ⁽⁵⁾. Ele

analisa a contribuição relativa dos vários fatores ambientais ao “stress” térmico de indivíduos sedentários sobre diversas condições de vestimenta ⁽⁴⁾.

Para indivíduos com problemas cardiovasculares, a situação de desconforto tem sido considerada para os valores de RSI na faixa de 0,18 a 0,25. Com valores de RSI acima de 0,3 todas as pessoas experimentam algum desconforto individual.

METODOLOGIA

Neste trabalho analisa-se tanto o impacto fisiológico quanto o impacto energético e econômico do aquecimento global. Para isso foi utilizada a seguinte metodologia:

a) Para a análise do impacto fisiológico foram utilizados dois índices que buscam medir e traduzir o nível de desconforto térmico humano, quais sejam: a Temperatura Efetiva (TE) e o Índice de Tensão Fisiológica Relativa (RSI).

b) Para a análise do impacto energético e econômico foram simulados processos psicrométricos com condições de temperatura e umidade relativa projetadas para condições futuras.

Deste modo, para a análise dos bioclimas futuros, valores de temperatura e umidade, provenientes de Goulart et al ⁽⁸⁾ foram utilizados

para o cálculo da Temperatura Efetiva e do Índice de Tensão Fisiológica Relativa. Foram tomados valores para um dia mensal típico, para o mês mais quente do ano, nível de 1%.

Para a Temperatura Efetiva utilizou-se a equação de Missenard. Como simulação de bioclimas futuros um valor de +2 °C foi adicionado para a temperatura de bulbo seco atual (TE2) e foram feitos acréscimos de 7% (TE07) e 14% (TE14) na umidade relativa, seguindo metodologia utilizada por McGregor ⁽⁵⁾.

A equação da Temperatura Efetiva de Missenard é expressa como:

$$ET = Ta - 0,4 (Ta-10) (1 - rh / 100) \quad (2)$$

onde Ta é a temperatura de bulbo seco (°C) e rh a umidade relativa (%). Valores da Temperatura Efetiva nos níveis atuais são representados por ET e quando sujeitos a um acréscimo de 2°C são representados por ET2.

Para a avaliação do bioclima futuro utilizando o Índice de Tensão Fisiológica Relativa (RSI) foram utilizados valores de temperatura atuais acrescidas de +2 °C (RSI2) e também uma mudança de pressão de vapor de 7% e 14%.

O Índice de Tensão Fisiológica Relativa com um aumento de temperatura de 2 °C e 7% e de 14% de aumento na pressão de vapor se referem aos Índices de Tensão Fisiológica

Relativa RSI207 e RSI214, respectivamente. O RSI foi calculado pela equação (1).

Para a análise energética e econômica, no caso da carga térmica, utilizou-se o seguinte procedimento. Como condições iniciais internas e externas foram tomados valores de acordo com a NBR-6401. Para a determinação das entalpias considerou-se 4 cenários:

- a) NORMAL: considera a temperatura como na condição externa atual,
- b) T+2C: considera um aumento de 2 °C na temperatura de bulbo seco externa; mantendo constante a umidade absoluta,
- c) T+2C7%: considera um aumento de 2 °C na temperatura de bulbo seco externa e um acréscimo de 7% na umidade relativa,
- d) T+2C14%: considera um aumento de 2 °C na temperatura de bulbo seco externa e um acréscimo de 14% na umidade relativa.

A seguir fez-se uma análise da influência da elevação da temperatura de condensação em virtude do aumento de 2 °C na temperatura de bulbo seco externa para um sistema frigorífico por compressão de vapor utilizando R-12 (diclorodifluorometano). Considera-se, inicialmente, apenas a elevação da temperatura de condensação, sem o efeito do aumento da carga térmica. Em seguida, procura-se aglutinar os dois efeitos, quais sejam, o aumento da

temperatura de condensação e o aumento da carga térmica.

Apresenta-se, também, a Estatística Anual de Vendas de Aparelhos Condicionadores de Ar tipos self-contained e chiller. Baseado no aumento da carga térmica devido ao aumento da temperatura externa procura-se fazer uma projeção de vendas futuras.

RESULTADOS

Nesta seção apresenta-se o resultado das análises do impacto fisiológico e energético devido ao aquecimento global.

Análise do impacto fisiológico

Escolheu-se, aleatoriamente, 06 (seis) cidades brasileiras para a análise do impacto do aquecimento global e aplicou-se a metodologia descrita anteriormente. As cidades escolhidas foram: Belém, Brasília, Porto Alegre, Recife, São Luiz e São Paulo. Para um país de dimensões continentais como o Brasil, as diferenças entre as estações não são muito pronunciadas e os meses de dezembro a março, definidos como verão, não correspondem necessariamente ao período mais quente do ano e, assim, foi feito um estudo climático para cada caso particular. Quando analisa-se as variações sazonais da temperatura pode-se notar que essas variações aumentam com a latitude. As condições para Belém e São Luiz

são típicas da zona equatorial (pequena amplitude térmica). Neste caso, o conforto humano é determinado mais pela umidade que pela temperatura. Com o aumento da latitude existem variações anuais mais amplas de temperatura. Na região Sul (Porto Alegre) pode-se notar a transição para o clima temperado, com uma amplitude térmica anual mais significativa. Uma outra característica de climas equatoriais-tropicais é a maior variação diurna de temperatura comparada com a variação anual, ou seja, as variações diurnas podem igualar ou superar as variações anuais ⁽⁵⁾.

Para a análise do desconforto térmico a partir da Temperatura Efetiva considerou-se o valor de 24 °C como a TE na qual todos se sentem confortáveis e, acima desse valor tem início o desconforto para alguns indivíduos. O

limite na Temperatura Efetiva, acima do qual 100% das pessoas se sentem desconfortáveis é 26,1 °C ⁽¹⁰⁾. O valor no Índice de Tensão Fisiológica Relativa para o qual todas as pessoas se sentem confortáveis é de 0,3 ⁽⁷⁾. Acima e abaixo, a partir desse valor tem início o desconforto para algumas pessoas, sendo o valor de RSI 0,5 o limite acima do qual todos se sentem desconfortáveis. Esses valores de TE maior que 24 °C e RSI maior que 0,3 indicam os períodos do dia em que algum tipo de condicionamento de ar deve ser utilizado para propiciar conforto térmico

As Figs. 3 a 10 mostram os resultados da aplicação desses índices biometeorológicos para as seis cidades brasileiras escolhidas.

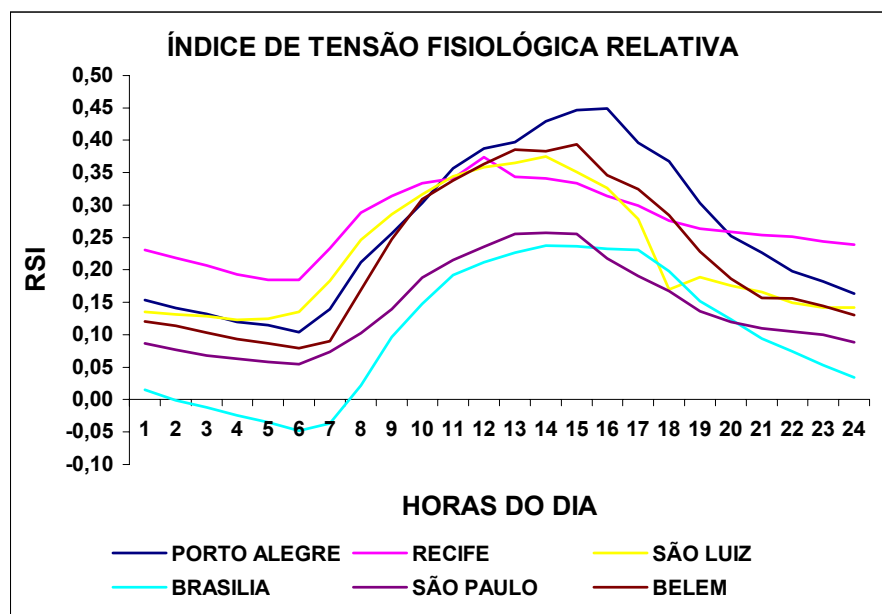


Figura 3 - Índices de Tensão Fisiológica Relativa com temperaturas normais

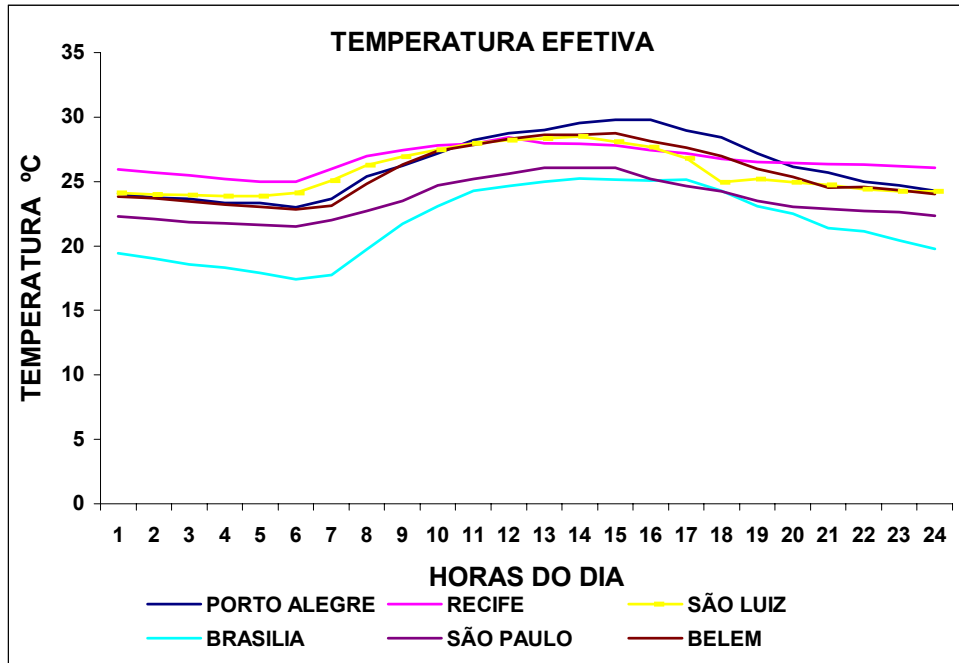


Figura 4 - Temperatura Efetiva normal.

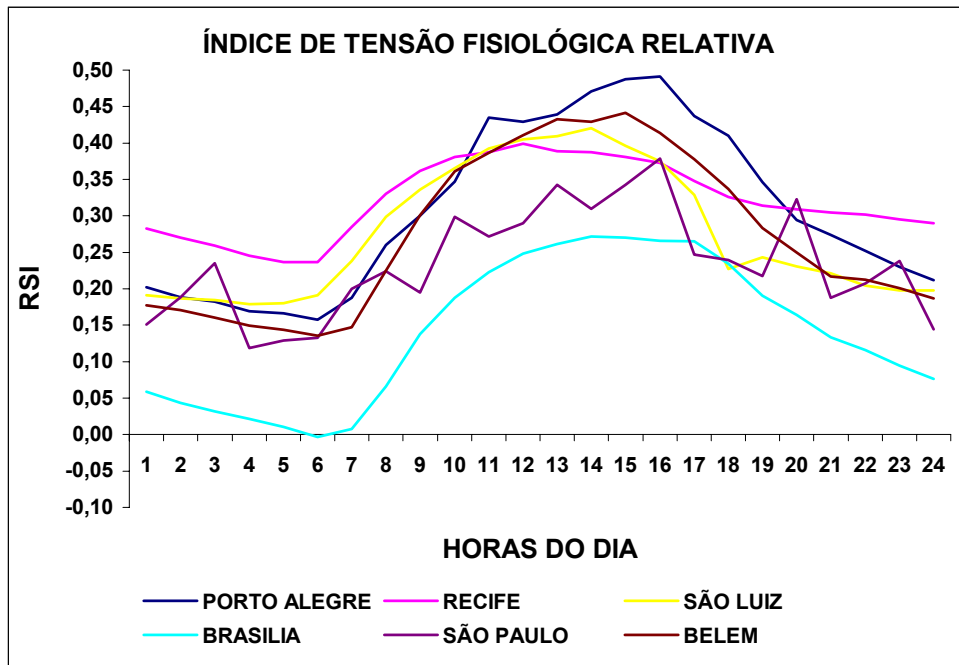


Figura 5 - Índice de tensão fisiológica relativa com temperatura com acréscimo de 2 °C

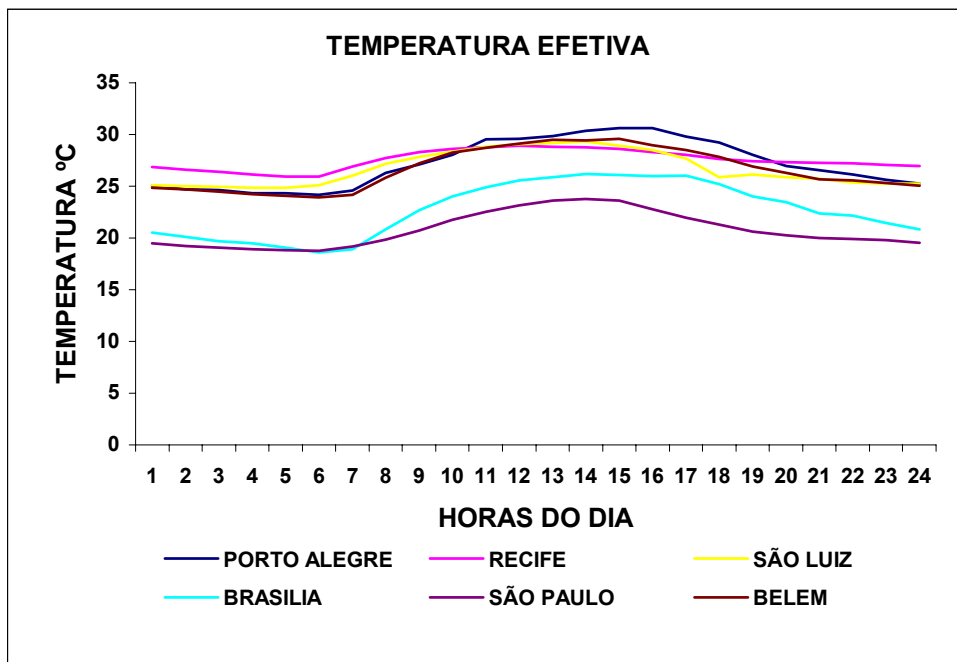


Figura 6 - Temperatura efetiva com o acréscimo em 2°C

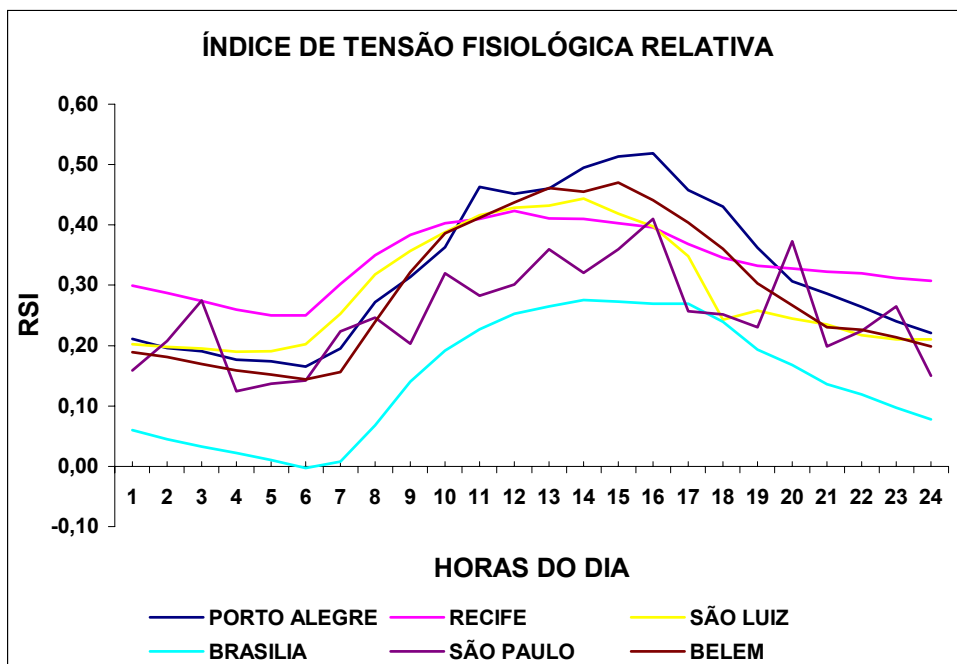


Figura 7 - Índice de tensão fisiológica relativa com acréscimo de 2° C e 7% na umidade relativa

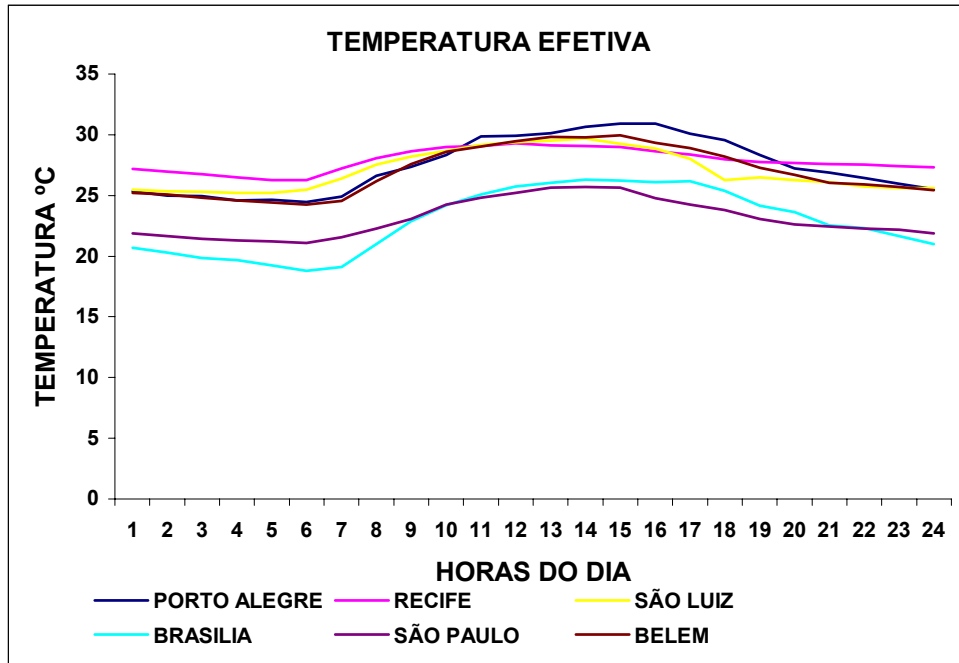


Figura 8 - Temperatura efetiva com 2° C e 7% de umidade relativa

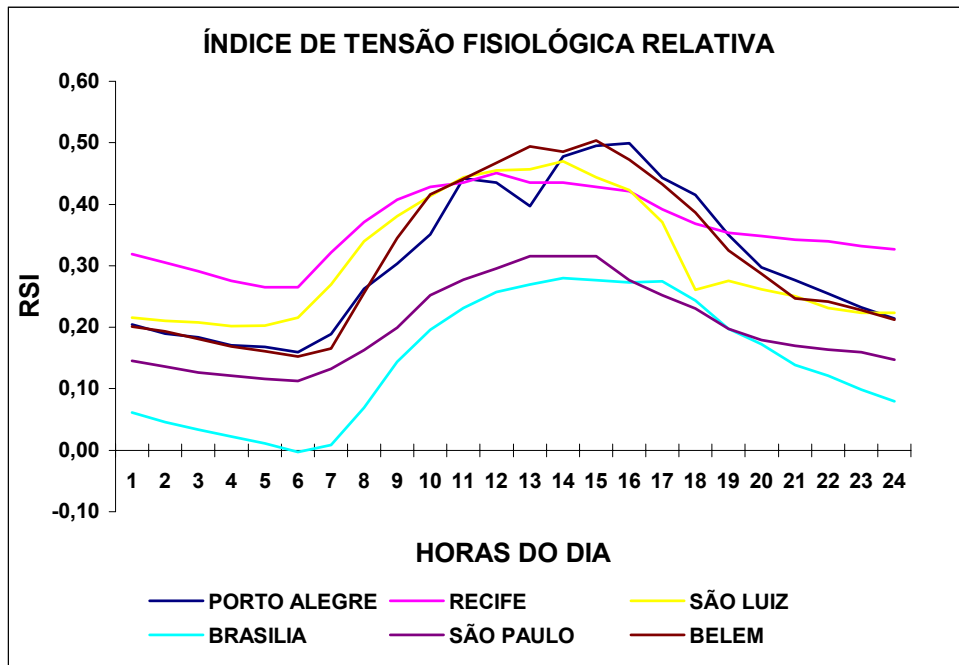


Figura 9 - Índice de tensão fisiológica relativa com 2° C e 14 % de umidade relativa

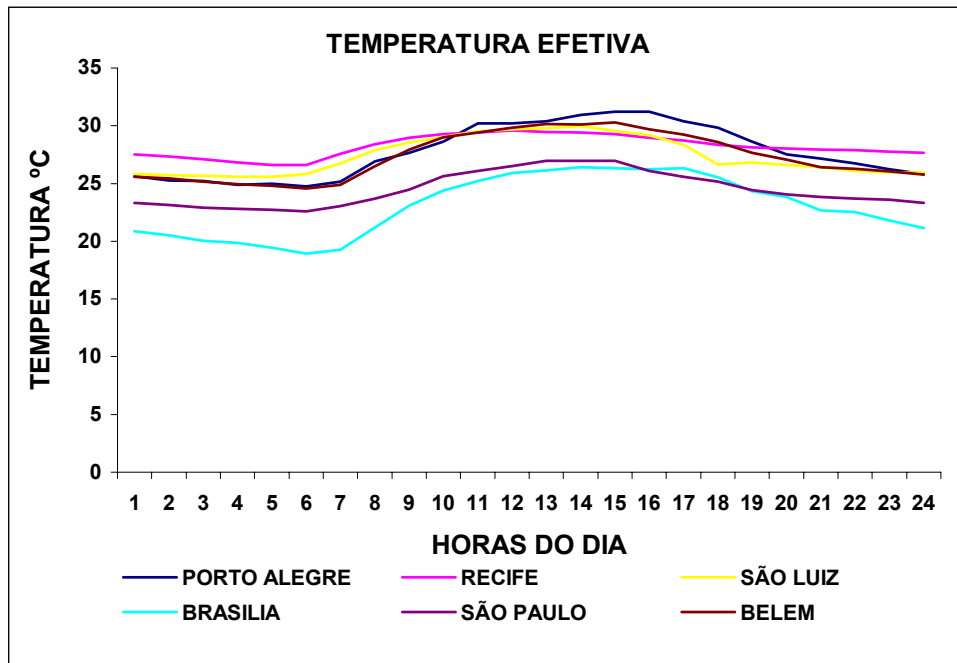


Figura 10 - Temperatura efetiva com 2° C e 14% de umidade relativa

Análise da variação da carga térmica

A Fig. 11 mostra, esquematicamente, o diagrama psicrométrico com as condições do ar externo e do ar interno.

A quantidade de calor, por unidade de massa q_{AR} , a ser retirada do ar é dada por:

$$q_{AR} = (h_{INT} - h_{EXT}) \quad (3)$$

onde h_{INT} é a entalpia específica do ar interno e h_{EXT} é a entalpia específica do ar externo.

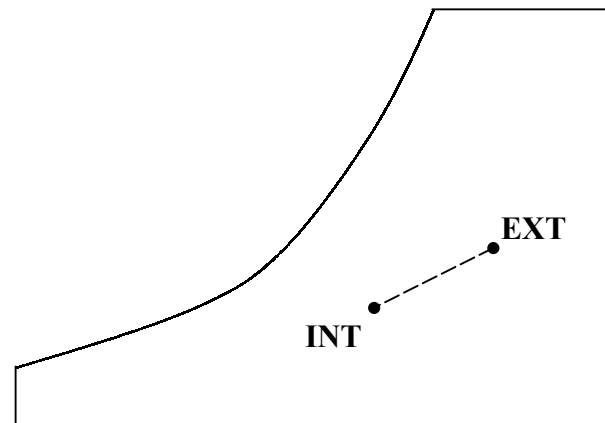


Fig. 11 - Diagrama Psicrométrico/Condições do ar externo e interno

A ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – apresenta, na NBR-6401⁽⁹⁾ (Instalações Centrais de Ar Condicionado para Conforto – Parâmetros Básicos de Projeto), em sua Tabela 1 (Condições internas para o verão), a temperatura de bulbo seco e a umidade relativa a serem utilizadas para projeto. Para instalações com a finalidade de conforto em residências, hotéis, escritórios e escolas esses valores são, respectivamente, 23°C a 25°C e 40% a 60%. Adota-se, neste trabalho, como condições internas uma temperatura de bulbo seco de 24°C e umidade relativa de 50% (valores médios). Para essa condição, a entalpia específica e a umidade absoluta do ar são, respectivamente, $h = 47,838$ kJ/kg de ar seco e $w = 0,009318$ kg de H₂O/kg de ar seco.

Foram utilizados valores da entalpia específica do ar externo considerando quatro cenários:

- a) NORMAL: condição externa normal;
- b) T+2C: considera um aumento de 2 °C na temperatura de bulbo seco externa; mantendo constante a umidade absoluta, ou seja, apenas aquecimento sensível;
- c) T+2C7%: considera um aumento de 2 °C na temperatura de bulbo seco externa e um acréscimo de 7% na umidade relativa, ou seja, um acréscimo de calor sensível e de calor latente;

- d) T+2C14%: considera um aumento de 2 °C na temperatura de bulbo seco externa e um acréscimo de 14% na umidade relativa, ou seja, um acréscimo de calor sensível e de calor latente.

A Tab. II apresenta a quantidade de calor a ser retirado do ar externo para atingir a condição interna de acordo com NBR-6401, q_{AR} conforme Eq. (3), e a variação percentual $q\%$ nesta carga térmica para os três cenários futuros: T+2C; T+2C7% e T+2C14%.

A elevação da temperatura e da umidade relativa do ar externo devido ao aquecimento global acarreta, além do aumento na potência frigorífica e, conseqüentemente, um aumento na potência do compressor para os sistemas que operam através de compressão de vapor, dois novos e indesejáveis efeitos:

- Aumento do calor a ser retirado no condensador, ou seja, necessita-se de maior vazão para o fluido resfriador do condensador ou maior área de troca de calor e,
- Elevação da temperatura de condensação, o que leva a um aumento adicional na potência do compressor.

Para analisar a influência do aumento da temperatura de condensação na potência do compressor e no calor a ser retirado no condensador adota-se um ciclo operando com R-22 sujeito às seguintes condições:

Temperatura de vaporização = 0 °C

Temperatura de condensação = 40 °C

Superaquecimento = 5°C; Sub-resfriamento = 5 °C

Quando considera-se um aumento de 2 °C na temperatura de condensação em virtude do aquecimento global de 2 °C tem-se as variações apresentadas na Tab. III.

Essa tabela apresenta as variações que ocorrem no calor trocado no condensador, na potência do compressor e na potência frigorífica, comparando o ciclo normal e o ciclo com temperatura de condensação aumentada de 2°C.

O calor total retirado no evaporador (potência frigorífica) é:

$$Q_{EV} = \dot{m} (h_1 - h_4) \quad W \quad (4)$$

Como a potência frigorífica deve ser, no mínimo, a mesma é necessário que haja um aumento no fluxo de massa \dot{m} de R-22 dentro do

sistema frigorífico e esse aumento no fluxo deve ser de 1,60% para manter a potência frigorífica. O aumento do fluxo de massa provocará um aumento no calor a ser retirado no condensador de $(1,60 - 0,68) = 0,92\%$. Do mesmo modo, a potência do compressor aumentará de 5,92%. Por outro lado, a carga térmica também aumentará, conforme Tab. IV, e esse efeito deve ser acrescentado à variação anterior, ou seja, a potência do compressor sofrerá um aumento devido tanto ao efeito da elevação na temperatura de condensação quanto ao aumento do fluxo de massa para compensar o aumento na carga térmica.

$$\text{Potência do compressor} = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (5)$$

A Tab. IV apresenta os resultados finais em valores tomados pela média das 6 cidades.

Tabela II - Carga Térmica

	NORM AL	T+2C		T+2C7%		T+2C14%	
LOCAL	q(kJ/kg)	q (kJ/kg)	q%	q (kJ/kg)	q%	q (kJ/kg)	q%
Belém	37,038	39,12	+5.62	49,663	+34.08	53,92	+45.58
Brasília	22,103	24,378	+10.29	31,835	+44.03	34,904	+57.91
Porto A.	32,477	34,538	+6.34	43,907	+35.19	47,649	+46.91
Recife	32,569	34,641	+6.36	44,516	+36.68	48,471	+48.82
São Luís	41,758	43,851	+5,01	55,396	+32,659	60,043	+43,78
S.Paulo	24,149	26,221	+8.58	34,567	+43.14	37,895	+56.92

Tabela III – Resultados dos parâmetros calculados para o ciclo frigorífico, por unidade de massa

Valores em (kJ/kg)	Normal	T+2	%
Calor no condensador	194,7	193,39	- 0,68
Potência do compressor	28,8	30,1	+ 4,32
Potência Frigorífica	165,9	1163,29	- 1,60

Tabela IV: Variação média das potências frigorífica e do compressor

PARÂMETRO	T+2°C	T+2°C7%	T+2°C14%
CARGA TÉRMICA.	7%	36,7%	50%
POT.COMPRESSOR	12,92%	42,62%	55,92%

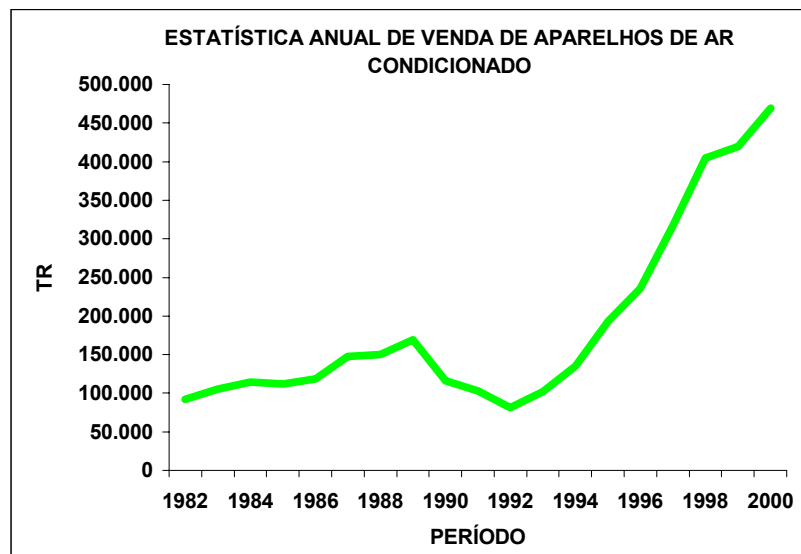


Figura 12 – Estatística Anual de Vendas
Fonte: ABRAVA

Análise econômica

As vendas anuais de máquinas e equipamentos de ar condicionado central, referentes ao período de 1982 a 2000, em

Toneladas de Refrigeração, de acordo com dados fornecidos pelo Departamento de Economia e Estatística da ABRAVA – Associação Brasileira

de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento – são apresentados na Fig. 12.

Pode-se observar uma sensível mudança na taxa de variação da quantidade de aparelhos vendidos na última década, com relação aos anos 80.

Se for computado o efeito do aquecimento global essa taxa deverá crescer ainda mais.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Uma análise dos gráficos apresentados na seção anterior mostra que, para Belém, com temperatura normal (sem considerar as hipóteses utilizadas para a simulação dos efeitos do aquecimento global) observa-se que o RSI ultrapassa o limite de 0,3 das 10 às 17 horas. Para RSI2 este valor é ultrapassado das 9 às 18 horas, significando um acréscimo de 25% no tempo. Para RSI207 o valor limite é superado das 9 às 19 horas e para RSI214 das 9 às 19 horas, com aumentos de 37,5% em ambos os casos. Um caso crítico, com RSI maior que 0,5, ocorre para RSI214 às 15 horas. Analisando os dados de Temperatura Efetiva percebe-se que, com temperatura normal, o valor de TE igual a 24 °C é ultrapassado das 8 às 24 horas. Para TE2 este valor é ultrapassado durante as 24 horas do dia, com acréscimo de 41% no tempo de desconforto. Para TE207 e TE214 ocorre o mesmo, ou seja, durante todo o dia pelo menos algumas pessoas

se sentem desconfortáveis. Casos críticos, com Temperatura Efetiva acima de 26,1 °C, quando 100% das pessoas se sentem desconfortáveis ocorre, para temperatura normal, das 9 às 18 horas. Para TE2 das 9 às 20 horas; para TE207 das 8 às 20 horas e para TE214 das 8 às 22 horas.

Para Brasília, observa-se que em nenhum dos casos o RSI ultrapassa o limite de 0,3. Analisando os dados de Temperatura Efetiva nota-se que, com temperatura normal, o valor de TE igual a 24 °C é ultrapassado das 11 às 18 horas. Para TE2 este valor é excedido das 10 às 19 horas do dia. Para TE207 este valor é ultrapassado das 10 às 19 horas e para TE214 este período ocorre também das 10 às 19 horas. Isso significa um aumento de 25% das horas, em todos os casos simulados. Casos críticos, com Temperatura Efetiva acima de 26,1 °C, não existem, neste caso. Para TE2, o valor é excedido somente às 14 horas; para TE207 das 14 às 17 horas e para TE214 das 13 às 17 horas.

Um exame dos gráficos mostra que, para Porto Alegre, com temperatura normal (sem considerar as hipóteses utilizadas para a simulação dos efeitos do aquecimento global) o RSI ultrapassa o limite de 0,3 das 10 às 19 horas. Para RSI2 este valor é ultrapassado das 9 às 19 horas, significando um acréscimo de 10% no tempo. Para RSI207 o valor limite é superado das 9 às 20 horas, significando um acréscimo de 20%

e para RSI214 das 9 às 19 horas, com aumentos de 10 % em ambos os casos. Um caso crítico, com RSI maior que 0,5, ocorre para RSI207 das 15 às 16 horas. Verificando os dados de Temperatura Efetiva percebe-se que, com temperatura normal, o valor de TE igual a 24 °C é ultrapassado das 8 às 24 horas. Para TE2 este valor é ultrapassado durante as 24 horas do dia. Para TE207 e TE214 ocorre o mesmo, ou seja, durante todo o dia pelo menos algumas pessoas se sentem desconfortáveis. Isto significa um acréscimo de 33% em todos os casos. Casos críticos, com Temperatura Efetiva acima de 26,1 °C, quando 100% das pessoas se sentem desconfortáveis ocorrem, para temperatura normal, das 9 às 20 horas. Para TE2 das 8 às 22 horas; para TE207 das 8 às 22 horas e para TE214 das 8 às 23 horas.

Para Recife, observando os gráficos, percebe-se que, com temperatura normal, o RSI ultrapassa o limite de 0,3 das 9 às 16 horas. Para RSI2 este valor é ultrapassado das 8 às 22 horas, significando um acréscimo de 87.5% no tempo. Para RSI207 o valor limite é superado das 7 às 24 horas, que significa um acréscimo de 125% no tempo e para RSI214 da 1 às 2 e das 7 as 24 horas, com aumentos de 125% em ambos os casos. valores, com RSI maior que 0,5, não ocorrem neste caso. Analisando os dados de Temperatura Efetiva percebe-se que, com

temperatura normal, o valor de TE igual a 24 °C é este valor é ultrapassado durante as 24 horas do dia. Para TE, TE2, TE207 e TE214 ocorre o mesmo, ou seja, durante todo o dia pelo menos algumas pessoas se sentem desconfortáveis. Casos críticos, com Temperatura Efetiva acima de 26,1 °C, quando 100% das pessoas se sentem desconfortáveis ocorre, para temperatura normal, das 8 às 23 horas. Para TE2 das 2 às 24 horas; para TE207 das 1 às 24 horas e para TE214 das 1 às 24 horas.

Para São Luís em condições normais observa-se que o RSI excede o limite de 0,3 das 11 às 17 horas. Para RSI2 este valor é ultrapassado das 10 às 18 horas, significando um acréscimo de 28.6% no tempo. Para RSI207 o valor limite é superado das 8 às 17 horas, significando um acréscimo de 42.9% e para RSI214 das 8 às 18 horas, com aumentos de 57,5%. O caso crítico, com RSI maior que 0,5, não ocorre para esta cidade. Verificando os dados de Temperatura Efetiva percebe-se que, com temperatura normal, o valor de TE igual a 24 °C somente não é ultrapassado das 3 às 5 horas. Para TE2 este valor é ultrapassado durante as 24 horas do dia. Para TE207 e TE214 ocorre o mesmo, ou seja, durante todo o dia pelo menos algumas pessoas se sentem desconfortáveis. Casos críticos, com Temperatura Efetiva acima de 26,1 °C, quando 100% das pessoas se sentem

desconfortáveis ocorre, para temperatura normal, das 8 às 17 horas. Para TE2 das 8 às 19 horas; para TE207 das 7 às 20 horas e para TE214 das 7 às 21 horas.

Para São Paulo, com temperatura normal (sem considerar as hipóteses utilizadas para a simulação dos efeitos do aquecimento global) observa-se que o limite de 0,3 para o RSI não é superado em nenhum momento. Para RSI2 este valor é ultrapassado das 13 às 16 e as 20 horas. Para RSI207 o valor limite é superado as 10 e das 12 às 16 e as 20 horas e para RSI214 das 13 às 15 horas. Um caso crítico, com RSI maior que 0,5, não ocorre para esta cidade. Para a Temperatura Efetiva nota-se que, com temperatura normal, o valor de TE igual a 24 °C é ultrapassado das 10 às 18 horas. Para TE2 este valor de temperatura não é superado em nenhum horário. Para TE207 este valor é ultrapassado das 10 às 17 e para TE214 das 9 às 20 horas. Casos críticos, com Temperatura Efetiva acima de 26,1 °C, quando 100% das pessoas se sentem desconfortáveis não ocorrem para TE normal, para TE2 e para TE207. Para TE214 ocorre das 11 às 15 horas.

Ambos os índices biometeorológicos usados nesta análise produzem classificações espaciais e temporais de conforto térmico. Obviamente, a sensação de conforto térmico pode variar de indivíduo para indivíduo e esses

índices apenas fornecem uma indicação de conforto para a média da população.

Os limiares utilizados nesta análise também podem variar. Chowdhury e Ganesan⁽¹²⁾ têm indicado que níveis de limiar para classificações tropicais bioclimáticas devem ser maiores que aqueles para localizações temperadas. Eles consideram uma ET de 25°C, ao contrário de 24°C, um limiar de conforto/desconforto mais apropriado para cidades indianas. De Dear et al.⁽¹³⁾ em estudo para Singapura (equatorial), têm claramente declarado uma aclimação de 2°C para singapureanos nativos. Assim, pode-se esperar uma aclimação de 1°C, senão 2°C, para populações nativas. Camargo et al.⁽¹¹⁾ propõem um limite de Temperatura Efetiva em função da latitude do local, ou seja, um aumento gradual de aproximadamente 0,5 °C deve ser feito na temperatura efetiva para cada 5° de redução na latitude, a partir de latitude de 41°, ou seja, a zona de conforto apresentada na Fig. 2 deve se mover para a direita de aproximadamente 0,5 °C a cada redução de 5° na latitude.

A seguir faz-se uma análise com relação ao aumento no consumo de energia e nas vendas de aparelhos condicionadores de ar. Com relação à potência frigorífica observa-se, pela Tab. IV, um aumento médio de 7 % para um aumento de 2 °C na temperatura externa, um aumento médio de

36,7% para T+2°C com 7% e um aumento médio de 50% para T+2°C com 14%. A Tab. IV mostra também os resultados finais com relação ao aumento na potência do compressor, o que leva, diretamente a uma elevação no consumo de energia dos sistemas de condicionamento de ar. Observa-se que, para T+2°C, o consumo energético aumentará 12,92%. Para os cenários de T+2°C7% e T+2°C14% esse aumento será de 42,62% e 55,92%, respectivamente.

Com base na projeção dos dados apresentados na Fig. 12 e no aumento esperado da temperatura externa devido ao aquecimento global pode-se presumir que haverá um aumento no nível de vendas de máquinas e equipamentos de condicionamento de ar para o futuro.

CONCLUSÕES

A análise apresentada demonstra claramente que as mudanças na temperatura e na umidade relativa em virtude do aquecimento global influem decisivamente no estresse térmico e no dispêndio de energia com sistemas condicionadores de ar.

O aquecimento global resultará em mudanças significativas nas características dos bioclimas. Apesar de algumas aclimações naturais serem esperadas, cargas higrotérmicas maiores aumentarão os níveis de desconforto muito acima dos níveis atuais. Mudanças na

frequência, duração ou intensidade dos períodos nos quais condições fisioclimáticas estressantes ocorrem podem ser esperados. Para todo o País, bioclimas sazonais quentes irão se tornar mais estressantes, implicando em alterações no conforto térmico humano e na saúde na região equatorial/tropical. Possíveis efeitos na saúde incluem incidências maiores de exaustão devido ao calor, desidratação e outras doenças.

Os trabalhadores ao ar livre podem estar sujeitos a maior estresse térmico, necessitando, assim, de uma alteração no horário de trabalho para horários termicamente menos estressantes do dia. Ambientes de trabalho fechados terão que ser mantidos em níveis eqüitativos de conforto térmico, o que acarretará maior potência frigorífica e, conseqüentemente, maior gasto com a energia consumida. Por isso uma maior atenção precisa ser dada para um gerenciamento mais efetivo dos sistemas de condicionamento de ar existentes ou o desenvolvimento de estilos arquitetônicos que possam aproveitar as vantagens dos fluxos naturais de ar.

Com um clima mais quente, a construção de prédios inteligentes pode tornar-se uma opção importante para um efetivo gerenciamento energético.

Finalmente, uma forma de amenizar os problemas causados pelo aquecimento global é a conscientização da população do planeta para

diminuir a emissão de poluentes na atmosfera. Além disso, maior atenção precisa ser dada aos trópicos úmidos que, em termos de conforto térmico humano, são ambientes críticos. São em tais áreas bioclimáticas críticas que os impactos negativos de uma mudança climática provocada pelo aquecimento global serão sentidos mais intensamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) BHATTI, M.S.,1998. Global Warming Impact of Automotive Air Conditioning Systems. Delphi Harrison Thermal Systems, 1-25.
- (2) ABRAVA, 2000 – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento – “Compensação de emissões de CO₂ pode ser definida”, Revista ABRAVA, ano 24, set/out/2000, p.12-14.
- (3) HENTSCHEL, G., 1986. A Human biometeorology classification of climate for large and local scales. Proc. WMO/WHO/UNE Symposium on Climate and Human Health. Leningrado. WMO-WCAP n.1, p. 120-136, Genebra.
- (4) TAESLER, R., 1987. Climate characteristics and human health. Climate and human health, World Climate Applications Programme nº 1. Proceedings of the Symposium in Leningrad, september 1986, WMO, Genebra.
- (5) MCGREGOR, G.R.,1995. The human bioclimates of Western and South Pacific islands and climate change. Int. J. Biometeorol, 39:-12
- (6) WATT, J.R.; BROWN, W.K, 1997 Evaporative air conditioning handbook, , The Fairmont Press, Inc, Lilbun, GA, 507 p.
- (7) UNGER, J., 1999, Comparisons of urban and rural bioclimatological conditions in the case of a Central-European city. Int. J. Biometeorol, 43: 139-144.
- (8) GOULART, S.G.; LAMBERTS, R., FIRMINO, S., 1998. Dados climáticos de 14 cidades brasileiras, RPA Editorial Ltda, São Paulo, 208 p.
- (9) ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1980.NBR-6401, instalações centrais de ar condicionado para conforto - parâmetros básicos de projeto.
- (10) CREDER, H., 1996. Instalações de ar condicionado, Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 252 p.
- (11) CAMARGO, J. R., CARDOSO, S., TRAVELHO, J. S., 2000. Temperatura de Projeto para Condicionamento de Ar – Uma Nova Proposta. Anais do ENCIT –

8th Brazilian Congress of Engineering and Thermal Sciences, Porto Alegre, RS.

- (12) CHOWDHURY, A., GANESAN, H.R., 1983. Meteorological requirements on airconditioning in relation to human habitat for comfort, *Mausam* 34,3: 281-286.
- (13) De DEAR, R J.; LEOW, K. G.; FOO, S.C., 1991, Thermal confort in the humid tropics. Field experiments in air conditioned and naturally ventilated bulding in Singapore. *Int. J. Biometeorol*, 34: 259-265.