

CONFORTO TÉRMICO EM ESPAÇOS ABERTOS COM DIFERENTES ABRANGÊNCIAS MICROCLIMÁTICAS. PARTE 2: PROPOSIÇÃO DE CALIBRAÇÃO DE MODELOS PREDITIVOS

Leonardo Marques Monteiro (1); Marcia Peinado Alucci (2)

Departamento de Tecnologia, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo
São Paulo, Brasil, tel: 55 11 3091-4538 r.214, fax: 55 11 3091-4539,
e-mail: (1) leo4mm@gmail.com (2) marcialu@usp.br

RESUMO

Este artigo apresenta pesquisa que, baseada nos resultados apresentados em “*Conforto térmico em espaços abertos em diferentes abrangências microclimáticas. Parte 1: verificação experimental de modelos preditivos*”, propõe calibrações para tais modelos preditivos, visando à possibilidade de seu uso para verificação da adequação térmica de espaços abertos na cidade de São Paulo. Apresentam-se os procedimentos utilizados para a proposição das calibrações para diferentes abrangências microclimáticas. São então consideradas comparativamente as faixas interpretativas originais e calibradas para os seguintes índices: WCTI, HSI, WBGT, ITS, HU, Sevilha (Swreq), KMM (PMV), Vogt (Swreq, w) Comfa (S), Tne, Menex (HL, PhS, R’, ECI, STI, SP), DeFreitas (PSI, STE), TS, NWCTI e ASV. As faixas interpretativas originais foram obtidas nas referências apresentadas no primeiro artigo e as faixas calibradas são apresentadas para duas abrangências microclimáticas distintas, com base nos resultados obtidos. Por fim, realizaram-se ainda simulações correlacionando os resultados dos levantamentos empíricos com os dos modelos preditivos calibrados, rerepresentando-se os resultados finais do primeiro artigo, comparando-os com os resultados finais utilizando-se as novas faixas interpretativas propostas.

ABSTRACT

This paper presents, based on the results considered on the previous paper “*Conforto térmico em espaços abertos em diferentes abrangências microclimáticas. Parte 1: verificação experimental de modelos preditivos*”, a research that proposes calibrations for predictive models, allowing the verification of the thermal adequacy of open spaces in the city of São Paulo. The procedure used for the proposal of calibration for different microclimatic situations is presented. The original and calibrated interpretative scales for the following indexes are considered: WCTI, HSI, WBGT, ITS, HU, Sevilha (Swreq), KMM (PMV), Vogt (Swreq, w) Comfa (S), Tne, Menex (HL, PhS, R’, ECI, STI, SP), DeFreitas (PSI, STE), TS, NWCTI e ASV. The original interpretative scales were obtained in the bibliographical references of the first paper and the calibrated ones are presented for two different ranges of microclimatic conditions, based on the results found. Lastly, simulations were performed to correlate the results from the empirical research with the results from the calibrated predictive models, presenting again the final results presented on the first paper, but now comparing them with the results from the simulations done with the proposed calibration.

1. INTRODUÇÃO

O artigo “*Conforto térmico em espaços abertos em diferentes abrangências microclimáticas. Parte 1: verificação experimental de modelos preditivos*” verificou a aplicabilidade de diferentes modelos preditivos de conforto e/ou estresse térmico em espaços abertos, considerando diferentes abrangências micro-climáticas. O método adotado foi indutivo experimental (levantamentos de campo) e dedutivo (simulação de modelos). O levantamento de campo foi realizado em mais de 70 cenários microclimáticos distintos com a aplicação de aproximadamente 2.000 questionários. Os procedimentos realizados consistiram na quantificação das variáveis ambientais (temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do ar e temperatura radiante média), individuais (taxa metabólica e isolamento térmico da roupa) e subjetivas (percepção e preferência de sensação térmica), segundo normas internacionais. Os resultados das simulações de vinte modelos, considerando trinta e dois índices, foram correlacionados com os dos levantamentos de campo, determinando-se as suas capacidades preditivas.

O presente artigo apresenta pesquisa que, baseada em tais resultados, objetivou propor calibrações para tais modelos preditivos de conforto e/ou estresse térmico, visando a possibilidade de uso dos mesmos para a verificação da adequação térmica de espaços abertos na cidade de São Paulo. Apresentam-se os procedimentos utilizados para a proposição das calibrações para diferentes abrangências microclimáticas. São então consideradas comparativamente as faixas interpretativas originais e calibradas para os modelos e seus respectivos índices. Foram realizadas calibrações para dois conjuntos de dados, seguindo os critérios e procedimentos descritos no tópico a seguir. A abrangência de cada conjunto será discutida subsequentemente. Em seguida, apresentam-se os resultados encontrados e as faixas interpretativas calibradas, para cada conjunto considerado. Por fim, discute-se a utilização de cada uma das calibrações propostas.

2. CRITÉRIOS, PROCEDIMENTOS E ABRANGÊNCIAS

Os critérios para calibração dos índices dos modelos são aqui explicitados. Estabeleceu-se, para cada critério interpretativo dos modelos, uma escala em termos de sensação térmica com sete valores, sendo três valores negativos (muito frio, frio, pouco frio), um valor de neutralidade e três valores positivos (pouco calor, calor, muito calor), de maneira análoga ao que foi estabelecido para a realização do levantamento de campo. A calibração se deu então através de método iterativo, variando-se os limites de cada faixa interpretativa visando a maximizar a correlação entre os valores fornecidos por estas e os valores das respostas subjetivas. Teria sido possível realizar a calibração através da maximização da quantidade, ou da porcentagem, de predições corretas. Contudo, admitiu-se que, ainda que com menor porcentagem de acertos, é mais interessante garantir uma maior correlação, uma vez que esta exprime mais significativamente a tendência a acertar outras predições. A iteração realizada considerou a mesma precisão de casas decimais apresentadas pelos índices originais. No caso dos índices de temperatura equivalente, considerou-se uma casa decimal. Contudo, para a proposição dos limites das faixas interpretativas, adotaram-se apenas valores inteiros ou meios, arredondando-se os valores originais, que apresentaram variação decimal em alguns casos, sem que com isso houvesse alteração na segunda casa decimal da correlação obtida. De modo análogo, realizaram-se aproximações nos resultados dos demais índices sempre que também não houvesse alteração na segunda casa decimal da correlação. Assim, evita-se a indicação de resultados com graus de precisões inexistentes.

Foram inicialmente realizados os procedimentos de calibração para um primeiro conjunto de trinta e seis situações ambientais, que apresenta abrangência de variação microclimática mais restrita. Pode-se verificar através dos resultados do levantamento de campo, que todas essas situações, exceto uma, levaram a sensações térmicas próximas da neutralidade ou tendentes para o calor. Com relação aos modelos que consideram apenas situações quentes, realizaram-se as correlações mantendo-se a situação que indica uma sensação térmica de pouco frio. Contudo, foram caracterizadas faixas interpretativas apenas de neutralidade e calor para esses modelos, uma vez que seus critérios interpretativos não permitem a verificação de situações térmicas frias. Como consequência, tem-se que a porcentagem máxima possível de acertos, para esses modelos, fica reduzida. Porém, por se tratar apenas de uma situação (representando menos de 3%), optou-se por aplicá-los para todo o conjunto de situações, facilitando a verificação de resultados. Deve-se ressaltar que um segundo processo de calibração, mais abrangente, considerando situações termicamente frias, verificará as correlações

desses modelos apenas nos casos em que eles se aplicam. Ainda que dez dessas trinta e seis situações levantadas apresentem tendência à sensação de frio, nove destas estão na zona qualitativa de neutralidade térmica e apenas uma caracteriza-se efetivamente como sensação de um pouco de frio, conforme já colocado. Assim, o estabelecimento dos limites das faixas interpretativas para situações de frio foi realizado, na primeira calibração, considerando-se a tendência distributiva dos valores sensação, ainda que não se saiba se, em situações mais frias, essa tendência se mantenha. O mesmo raciocínio é aplicado para as situações mais quentes, ainda que possivelmente o erro nesse caso seja menor, devido às situações verificadas que abarcam sensações térmicas mais intensas de calor. Devido a essas limitações, estudos subsequentes contemplaram não apenas essas trinta e seis situações, mas também outras trinta e seis que apresentam situações térmicas em condições mais abrangentes, tanto para frio quanto para calor, possibilitando assim verificar não apenas as extrapolações realizadas, mas também propor novas faixas interpretativas. Assim, tem-se a proposição de uma segunda calibração, mais abrangente. As duas calibrações realizadas serão apresentadas nos tópicos seguintes. A discussão acerca dos casos em que cada calibração deve ser utilizada é realizada nas considerações finais.

3. RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO

São aqui apresentados os resultados, em termos correlativos, da calibração dos índices dos modelos.

Tabela 1: Módulos das correlações entre resultados do levantamento de campo e resultados das simulações (sem calibração e com calibração) para o conjunto mais restrito de situações

Modelo	Índice	Correlação com o parâmetro do modelo	Sem calibração		Com calibração	
			Correlação com as faixas do índice	Porcentagem de predições corretas	Correlação com as faixas do índice	Porcentagem de predições corretas
ET	ET*	0,73	0,59	44%	0,71	72%
	CET*	0,89	0,77	11%	0,85	81%
OT	OT	0,72	0,69	47%	0,72	75%
ET+OT	EOT*	0,70	0,66	42%	0,73	75%
WCT	WCTI	0,69	0,64	31%	0,74	78%
HSI	HSI	0,83	0,72	68%	0,89	81%
WBGT	WBGT	0,86	-	-	0,86	89%
Gagge	SET*	0,89	0,84	28%	0,86	86%
ITS	ITS	0,84	0,75	62%	0,89	86%
Humidex	HU	0,74	0,70	69%	0,78	81%
KMM	PMV	0,87	0,82	75%	0,83	86%
	PPD	0,70	-	-	0,81	78%
Vogt	Swreq	0,87	-	-	0,86	83%
	w	0,86	-	-	0,86	83%
Sevilha	Swreq'	0,89	0,83	72%	0,89	86%
Comfa	S'	0,89	0,65	61%	0,87	83%
Tne	Tne	0,88	0,70	33%	0,89	86%
MENEX	HL	0,89	0,76	62%	0,88	83%
	PhS	0,81	0,71	28%	0,89	86%
	R'	0,86	0,76	69%	0,86	83%
	STI	0,87	0,79	53%	0,82	78%
	SP	0,89	0,82	78%	0,89	86%
	ECI	0,78	0,72	42%	0,80	81%
DeFreitas	PSI	0,89	0,76	72%	0,88	83%
	STE	0,79	0,71	58%	0,81	83%
MEMI	PET	0,89	0,78	31%	0,89	86%
TS	TS	0,87	0,84	78%	0,89	89%
NWCT	NWCTI	0,62	0,60	22%	0,71	72%
ASV	ASV	0,85	0,77	76%	0,89	89%

Tabela 2: Módulos das correlações entre resultados do levantamento de campo e resultados das simulações (sem calibração e com calibração) para o conjunto mais abrangente de situações

Modelo	Índice	Correlação com o parâmetro do modelo	Sem calibração		Com calibração	
			Correlação com as faixas do índice	Porcentagem de predições corretas	Correlação com as faixas do índice	Porcentagem de predições corretas
ET	ET*	0,69	0,58	40%	0,64	61%
	CET*	0,88	0,79	15%	0,84	81%
OT	OT	0,71	0,63	39%	0,71	64%
ET+OT	EOT*	0,67	0,66	36%	0,73	65%
WCT	WCTI	0,72	0,68	25%	0,73	71%
HSI	HSI	0,80	0,74	64%	0,83	78%
WBGT	WBGT	0,80	-	-	0,82	77%
Gagge	SET*	0,82	0,79	19%	0,81	65%
ITS	ITS	0,86	0,76	58%	0,86	81%
Humidex	HU	0,65	0,61	51%	0,69	61%
KMM	PMV	0,78	0,72	56%	0,76	69%
	PPD	0,66	-	-	0,73	66%
Vogt	Swreq	0,86	-	-	0,85	76%
	w	0,84	-	-	0,83	76%
Sevilha	Swreq'	0,88	0,84	72%	0,88	78%
Comfa	S'	0,87	0,63	58%	0,84	81%
Tne	Tne	0,87	0,74	31%	0,87	81%
MENEX	HL	0,88	0,83	63%	0,87	83%
	PhS	0,82	0,77	31%	0,88	81%
	R'	0,87	0,75	67%	0,85	78%
	STI	0,86	0,77	52%	0,81	78%
	SP	0,86	0,82	72%	0,85	71%
	ECI	0,73	0,74	36%	0,70	61%
DeFreitas	PSI	0,87	0,82	61%	0,85	74%
	STE	0,78	0,71	54%	0,80	74%
MEMI	PET	0,82	0,78	35%	0,85	79%
TS	TS	0,86	0,83	69%	0,86	80%
NWCT	NWCTI	0,68	0,64	18%	0,69	64%
ASV	ASV	0,84	0,74	61%	0,81	79%

As Tabela 1 e 2 fornecem, respectivamente para os conjuntos de dados mais restrito e mais abrangente, essas correlações comparativamente com as correlações sem calibração, apresentadas no capítulo anterior. As correspondências entre os limites e interpretação dos índices originais e das calibrações realizadas são apresentadas em subitens subsequentes. Os limites para as variáveis ambientais e individuais foram apresentados detidamente no artigo anterior.

4. PROPOSIÇÃO DOS LIMITES DAS FAIXAS INTERPRETATIVAS

As tabelas do subitem seguinte, cujos modelos foram inicialmente considerados no artigo acerca de verificação experimental, são aqui consideradas comparativamente com a proposta de limites de faixas interpretativas segundo as duas calibrações realizadas, considerando as respostas subjetivas de preferência de sensação térmica. Com relação aos índices baseados em analogia de temperaturas equivalentes, não foram localizadas faixas interpretativas originalmente propostas, fato já esperado, na medida em que a interpretação do índice se realiza, em princípio, através de analogias entre temperaturas, e não de escalas interpretativas. Esses índices serão considerados no subitem seguinte.

4.1 Resultados comparativos entre as faixas interpretativas originais e propostas.

Serão aqui apresentadas comparativamente as faixas interpretativas originais e calibradas para os modelos e seus índices: WCTI, HSI, WBGT, ITS, HU, Sevilha (Swreq), KMM (PMV), Vogt (Swreq e w) Comfa (S), Tne, Menex (HL, PhS, R', ECI, STI, SP), De Freitas (PSI, STE), TS, NWCTI e ASV.

Tabela 3: WCTI (Siple & Passel, 1945; citados por Williamson, 2003) e calibrações propostas.

WCTI	Classificação	1ª. Calibração	Sensação	2ª. Calibração	Sensação
< 0,0	extremamente quente	< 20	muito calor	< 10	muito calor
0,0 - 58,3	muito quente	20 - 70	calor	10 - 70	calor
58,3 - 116,4	quente	70 - 120	pouco calor	70 - 100	pouco calor
116,4 - 232,7	pouco quente	120 - 360	neutra	120 - 240	neutra
232,7 - 581,5	confortável	360 - 680	pouco frio	240 - 580	pouco frio
581,5 - 930,4	pouco frio	680 - 1200	frio	580 - 1120	frio
930,4 - 1628,2	frio	> 1200	muito frio	> 1120	muito frio
1628,2 - 2326,0	congelante				
> 2326,0	extremamente congelante				

Tabela 4: HSI (Belding & Hatch, 1955) e calibrações propostas.

HSI	Classificação	1ª. Calibração	Sensação	2ª. Calibração	Sensação
> 100	estresse térmico				
70 a 90	resposta muito severa ao calor	> 70	muito calor	> 62	muito calor
40 a 60	resposta severa ao calor	35 a 70	calor	34 a 62	calor
10 a 30	resposta leve/moderada ao calor	25 a 35	pouco calor	25 a 34	pouco calor
0 a 10	nenhuma resposta	0 a 25	neutra	0 a 25	neutra

Tabela 5: WBGT (Yaglou, 1957; ISO 7243, 1989) e calibrações propostas.

WBGT	Para 65<M<130 W/m ²	1ª. Calibração	Sensação	2ª. Calibração	Sensação
30	Aclimatados ao calor				
29	Não aclimatados ao calor	> 28,0	muito calor	> 28,0	muito calor
		23,5 - 28,0	calor	24,5 - 28,0	calor
		22,0 - 23,5	pouco calor	22,5 - 24,5	pouco calor
		18,5 - 22,0	neutra	19,0 - 22,5	neutra
		17,0 - 18,5	pouco frio	14,5 - 19,0	pouco frio
		13,5 - 17,0	frio	9,0 - 14,5	frio
		< 13,5	muito frio	< 9,0	muito frio

Tabela 6: ITS (Givoni, 1969) e calibrações propostas.

ITS	Classificação	1ª. Calibração	Sensação	2ª. Calibração	Sensação
> 150	estresse (calor)				
50 a 150	esforço (calor)	> 90	muito calor	> 150	muito calor
		70 - 90	calor	70 - 150	calor
		50 - 70	pouco calor	45 - 70	pouco calor
-50 a 50	neutralidade	0 a 50	neutra	0 a 45	neutra
		-20 a 0	pouco frio	-25 a 0	pouco frio
		-40 a -20	frio	-90 a -25	frio
-150 a -50	esforço (frio)	< -40	muito frio	< -20	muito frio
< -150	estresse (frio)				

Tabela 7: Humidex (Environment Canadá, 2000) e calibrações propostas

HU	Classificação	1ª. Calibração	Sensação	2ª. Calibração	Sensação
≥ 54	Golpe térmico eminente				
≥ 45	Situação de perigo				
40 - 45	Muito desconforto				
30 - 40	Algum desconforto	> 34,0	muito calor	> 37,0	muito calor
		30,5 - 34,0	calor	32,0 - 37,0	calor
		30,0 - 30,5	pouco calor	30,0 - 32,0	pouco calor
≤ 30	Sem desconforto	< 30,0	neutra	< 30,0	neutra

Tabela 8: PMV (Jendritzky, 1979) e calibrações propostas.

PMV	Classificação	1ª. Calibração	Sensação	2ª. Calibração	Sensação
> 2,5	muito quente	> 3,3	muito calor	> 4,0	muito calor
1,5 a 2,5	quente	1,3 a 3,3	calor	1,8 a 4,0	calor
0,5 a 1,5	pouco quente	0,6 a 1,3	pouco calor	0,6 a 1,8	pouco calor
-0,5 a 0,5	confortável	-0,9 a 0,6	neutra	-0,9 a 0,6	neutra
-1,5 a -0,5	pouco frio	-1,5 a -0,9	pouco frio	-2,0 a -0,9	pouco frio
-2,5 a -1,5	frio	-3,5 a -1,5	frio	-3,1 a -2,0	frio
< -2,5	muito frio	< -3,5	muito frio	< -3,1	muito frio

Tabela 9: Swreq (Vogt et al., 1981; ISO 7933, 1989) e calibrações propostas.

Sw _{req} max	Para M>65 W/m ²	1ª. Calibração	Sensação	2ª. Calibração	Sensação
400	Perigo para aclimatados				
300	Advertência para aclimatados				
250	Perigo para não aclimatados				
200	Advertência para não aclimatados	> 160	muito calor	> 150	muito calor
		90 - 160	calor	70 - 150	calor
		40 - 90	pouco calor	40 - 70	pouco calor
		0 - 40	neutra	0 - 40	neutra

Tabela 10: w (Vogt et al., 1981; ISO 7933, 1989) e calibrações propostas.

w max	Para M>65 W/m ²	1ª. Calibração	Sensação	2ª. Calibração	Sensação
1,0	Perigo para aclimatados				
0,85	Perigo para não aclimatados	> 0,63	muito calor	> 0,67	muito calor
		0,43 - 0,63	calor	0,45 - 0,67	calor
		0,26 - 0,43	pouco calor	0,28 - 0,45	pouco calor
		0 - 0,26	neutra	0 - 0,28	neutra

Tabela 11: Swreq do modelo de Sevilha (Dominguez et al., 1992a) e calibrações propostas.

Nível de sudação	Caráter do espaço	1ª. Calibração	Sensação	2ª. Calibração	Sensação
		> 280 g/h	muito calor	> 280 g/h	muito calor
		< 280 g/h	calor	< 280 g/h	calor
< 90 g/h	Zonas de passagem	< 130 g/h	pouco calor	< 140 g/h	pouco calor
< 60 g/h	Zonas de permanência	< 70 g/h	neutra	< 70 g/h	neutra

Tabela 12: S do modelo COMFA (Brown & Gillespie, 1995) e calibrações propostas.

S	Interpretação	1ª. Calibração	Sensação	2ª. Calibração	Sensação
> 150	Preferia-se muito mais frio	> 110	muito calor	> 100	muito calor
50 a 150	Preferia-se mais frio	55 a 110	calor	45 a 100	calor
- 50 a 50	Preferia-se como está	15 a 55	pouco calor	15 a 45	pouco calor
		-23 a 15	neutra	-23 a 15	neutra
		-55 a -23	pouco frio	-60 a -23	pouco frio
-150 a -50	Preferia-se mais calor	-125 a -65	frio	-120 a -60	frio
< -150	Preferia-se muito mais calor	< -125	muito frio	< -120	muito frio

Tabela 13: Tne (Aroztegui, 1995) e calibrações propostas.

Tne - tar	Classificação	1ª. Calibração	Sensação	2ª. Calibração	Sensação
		> 11,5	muito calor	> 12,0	muito calor
		8,0 a 11,5	calor	8,0 a 12,0	calor
2,5 a 3,5	80% de satisfeitos (calor)	4,5 a 8,0	pouco calor	4,0 a 8,0	pouco calor
-2,5 a 2,5	90% de satisfeitos	-4,5 a 4,5	neutra	-4,0 a 4,0	neutra
-3,5 a 3,5	80% de satisfeitos (frio)	-8,0 a -4,5	pouco frio	-8,0 a -4,0	pouco frio
		-11,5 a -8,0	frio	-12,0 a -8,0	frio
		< -11,5	muito frio	< -12,0	muito frio

Tabela 14: HL (Blazejczyk, 2000a) e calibrações propostas.

HL	Classificação	1ª.Calibração	Sensação	2ª.Calibração	Sensação
		> 1,80	muito calor	≥ 1,65	muito calor
≥1,600	Estresse elevado por calor	1,26 - 1,80	calor	1,23 - 1,65	calor
1,186 - 1,600	Estresse moderado calor	1,08 - 1,26	pouco calor	1,08 - 1,23	pouco calor
0,931 - 1,185	Neutralidade térmica	0,87 - 1,08	neutra	0,88 - 1,08	neutra
0,811 - 0,930	Estresse moderado por frio	0,83 - 0,87	pouco frio	0,72 - 0,88	pouco frio
≤ 0,810	Estresse elevado por frio	0,79 - 0,83	frio	0,65- 0,72	frio
		≤ 0,79	muito frio	≤ 0,65	muito frio

Tabela 15: PhS (Blazejczyk et al., 2002a) e calibrações propostas.

PhS	Classificação	1ª.Calibração	Sensação	2ª.Calibração	Sensação
< 0,25	Esforço elevado por calor	< 0,25	muito calor	< 0,30	muito calor
0,25 - 0,49	Esforço moderado por calor	0,25 - 0,50	calor	0,30 - 0,70	calor
0,50 - 0,99	Esforço leve por calor	0,50 - 1,00	pouco calor	0,70 - 1,00	pouco calor
		1,00 - 3,10	neutra	1,00 - 3,10	neutra
1,00 - 1,99	Esforço leve por frio	3,10 - 3,60	pouco frio	3,10 - 4,20	pouco frio
2,00 - 4,00	Esforço moderado por frio	3,60 - 4,60	frio	4,20 - 5,50	frio
>4,00	Esforço elevado por frio	> 4,60	muito frio	> 5,50	muito frio

Tabela 16: R' (Blazejczyk et al., 2000b) e calibrações propostas.

R'	Classificação	1ª.Calibração	Sensação	2ª.Calibração	Sensação
> 120	Estímulo forte	> 130	muito calor	> 135	muito calor
60 - 120	Estímulo moderado	50 - 130	calor	50 - 135	calor
< 60	Estímulo fraco	< 50	neutra/pouco calor	< 50	neutra/pouco calor

Tabela 17: ECI (Blazejczyk et al., 2002a) e calibrações propostas.

ECI	Classificação	1ª.Calibração	Sensação	2ª.Calibração	Sensação
< 0,3	muito quente	< 0,34	muito calor	< 0,32	muito calor
0,3 - 0,5	quente	0,34 - 0,48	calor	0,32 - 0,48	calor
0,5 - 0,8	pouco quente	0,48 - 0,52	pouco calor	0,48 - 0,52	pouco calor
0,8 - 1,2	confortável	0,52 - 0,88	neutra	0,52 - 0,85	neutra
1,2 - 2,0	pouco frio	0,88 - 1,50	pouco frio	0,85 - 1,30	pouco frio
2,0 - 3,0	frio	1,50 - 2,20	frio	1,30 - 2,00	frio
> 3,0	muito frio	> 2,20	muito frio	> 2,00	muito frio

Tabela 18: STI (Blazejczyk et al., 2002a) e calibrações propostas.

STI	Classificação	1ª.Calibração	Sensação	2ª.Calibração	Sensação
≥ 55,0	muito quente	> 75,0	muito calor	> 70,0	muito calor
46,0 a 54,9	quente	55,0 a 75,0	calor	49,0 a 70,0	calor
32,0 a 45,9	pouco quente	35,0 a 55,0	pouco calor	34,5 a 49,0	pouco calor
22,6 a 31,9	confortável	15,0 a 35,0	neutra	19,5 a 34,5	neutra
- 0,4 a 22,5	pouco frio	- 5,0 a 15,0	pouco frio	0,0 a 19,5	pouco frio
-38,0 a -0,5	frio	-35,0 a -5,0	frio	-33,05 a 0,0	frio
≤ - 38,0	muito frio	< -35,0	muito frio	< -33,0	muito frio

Tabela 19: SP (Blazejczyk et al., 2000b) e calibrações propostas.

SP	Classificação	1ª.Calibração	Sensação	2ª.Calibração	Sensação
6	Roupa totalmente molhada				
5	Roupa quase totalmente molhada				
4	Roupa parcialmente molhada				
3	Testa e corpo molhados	3,2	muito calor	3,0	muito calor
2	Pele úmida com umidade visível	2,0	calor	2,1	calor
1	Pele úmida sem umidade visível	1,1	pouco calor	1,2	pouco calor
0	Testa e corpo secos	0	neutra	0	neutra

Tabela 20: PSI (De Freitas, 1997; citado por Blazejczyk, 2002a) e calibrações propostas.

PSI (W/m ²)	Sensação:	1ª.Calibração	Sensação	2ª.Calibração	Sensação
< -281	extremamente quente				
-281 a -185	muito quente				
-184 a -111	quente	< - 115	muito calor	< - 140	muito calor
		-115 a - 52	calor	-140 a - 54	calor
-110 a -50	pouco quente	- 52 a - 22	pouco calor	- 54 a - 22	pouco calor
-49 a +16	confortável	- 22 a 22	neutra	- 22 a 18	neutra
17 a 83	pouco frio	22 a 52	pouco frio	18 a 50	pouco frio
84 a 161	frio	52 a 115	frio	50 a 128	frio
		> 128	muito frio	> 128	muito frio
162 a 307	muito frio				
> 307	extremamente frio				

Tabela 21: STE (De Freitas, 1997; apud Blazejczyk, 2002a) e calibrações propostas.

STE (°C)	Sensação:	1ª.Calibração	Sensação	2ª.Calibração	Sensação
> 35,2	extremamente quente				
34.5 - 35.2	muito quente	> 33,7	muito calor	> 34,3	muito calor
33.4 - 34.4	quente	32,5 - 33,7	calor	32,7 - 34,3	calor
32.2 - 33.3	pouco quente	32,0 - 32,5	pouco calor	32,0 - 32,7	pouco calor
30.9 - 32.2	confortável	30,3 - 32,0	neutra	30,1 - 32,0	neutra
29.1 - 30.8	pouco frio	28,7 - 30,3	pouco frio	28,5 - 30,1	pouco frio
26.0 - 29.0	frio	25,8 - 28,7	frio	25,2 - 28,5	frio
21.1 - 25.9	muito frio	< 25,8	muito frio	< 25,2	muito frio
< 21.1°C	extremamente frio				

Tabela 22: TS (Givoni et al., 2003) e calibrações propostas.

TS	Classificação	1ª.Calibração	Sensação	2ª.Calibração	Sensação
7	Muito quente	6,7	muito calor	6,5	muito calor
6	Quente	5,6	calor	5,6	calor
5	Pouco quente	4,7	pouco calor	4,7	pouco calor
4	Neutralidade térmica	4,0	neutra	4,0	neutra
3	Pouco frio	3,3	pouco frio	3,3	pouco frio
2	Frio	2,4	frio	2,4	frio
1	Muito frio	1,3	muito frio	1,5	muito frio

Tabela 23: NWCTI (Bluestein & Osczevski, 2002) e calibrações propostas.

NWCTI	Sensação	1ª.Calibração	Sensação	2ª.Calibração	Sensação
> 35	muito quente	> 36	muito calor	> 38	muito calor
27 - 35	quente	30 - 36	calor	31 - 38	calor
23 - 27	pouco quente	24 - 30	pouco calor	24 - 31	pouco calor
21 - 23	confortável	12 - 24	neutra	14 - 24	neutra
17 - 21	pouco frio	6- 12	pouco frio	7 - 14	pouco frio
9 - 17	frio	0 - 6	frio	0 - 7	frio
< 9	muito frio	< 0	muito frio	< 0	muito frio

Tabela 24: ASV (Nikolopoulou, 2004) e calibrações propostas.

ASV	Sensação	1ª.Calibração	Sensação	2ª.Calibração	Sensação
> 1,5	muito quente	> 1,20	muito calor	> 1,00	muito calor
0,5 a 1,5	quente	0,40 a 1,20	calor	0,35 a 1,00	calor
		0,15 a 0,40	pouco calor	0,15 a 0,35	pouco calor
-0,5 a 0,5	confortável	-0,15 a 0,15	neutra	-0,25 a 0,15	neutra
		-0,40 a -0,15	pouco frio	-0,40 a -0,25	pouco frio
-1,5 a 0,5	frio	1,20 a -0,40	frio	-1,20 a -0,40	frio
< 1,5	muito frio	< -1,20	muito frio	< -1,20	muito frio

4.2 Resultados das faixas interpretativas para índices de analogia de temperaturas.

Conforme colocado no artigo anterior, para os índices baseados em temperaturas equivalentes foram utilizadas inicialmente as faixas interpretativas propostas por De Freitas (1997). Ainda que o autor aponte a utilização desse critério apenas para os índices baseados em temperatura efetiva, adotou-se o mesmo para os demais casos, por falta de outras referências. Contudo, verificou-se também que, embora alguns índices tenham apresentado considerável correlação com as respostas de percepção de sensação térmica, a porcentagem de acertos preditivos foi bastante baixa. Assim, por não terem sido localizadas faixas interpretativas propostas por seus autores, serão apresentadas na tabela a seguir apenas as faixas propostas através dos processos de calibração realizados para os índices ET*, CET*, OT, EOT*, SET* e PET. O índice STI (Blazejczyk, 2002) já foi considerado anteriormente.

Tabela 25: Primeira calibração proposta para os índices ET*, CET*, OT, EOT*, SET*, PET.

Sensação	ET*	CET*	OT	EOT*	SET*	PET
muito calor	> 33,0	> 42	> 34	> 36	> 33	> 43
calor	> 27,5	> 35	> 30	> 29	> 26	> 34
pouco calor	> 25,5	> 29	> 26	> 26	> 22	> 26
neutra	21,0-25,5	21-29	20-26	21-26	12-22	17-26
pouco frio	< 21,0	< 21	< 20	< 21	< 12	< 17
frio	< 19,0	< 15	< 16	< 18	< 8	< 10
muito frio	< 13,5	< 8	< 12	< 11	< 1	< 3

Tabela 26: Segunda calibração proposta para os índices ET*, CET*, OT, EOT*, SET*, PET.

Sensação	ET*	CET*	OT	EOT*	SET*	PET
muito calor	> 34	> 42	> 34	> 36	> 33	> 43
calor	> 28	> 34	> 30	> 29	> 26	> 31
pouco calor	> 26	> 29	> 26	> 25	> 22	> 26
neutra	21-26	21-29	20-26	20-25	17-22	18-26
pouco frio	< 21	< 21	< 20	< 20	< 17	< 18
frio	< 17	< 14	< 15	< 15	< 12	< 12
muito frio	< 8	< 7	< 10	< 8	< 5	< 4

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Serão aqui considerados os resultados encontrados, apontando-se as situações em que devem ser utilizados. A primeira calibração contempla, conforme já apontado, situações climáticas mais restritas, enquanto a segunda abarca uma maior variedade, incluindo situações térmicas mais quentes e mais frias. Assim, a primeira calibração, apesar de apresentar resultados um pouco superiores aos da segunda, conforme pode ser verificado na tabela 26, resulta em faixas interpretativas que apresentam boas correlações apenas para situações mais restritas, sendo que os seus valores mais extremos são oriundos de extrapolações. Desta forma, recomenda-se utilizar a primeira calibração quando todas as variáveis ambientais estiverem dentro dos limites nos quais foram realizados os levantamentos empíricos iniciais. Fora destes limites, recomenda-se a utilização das faixas interpretativas geradas através da segunda calibração. Vale ressaltar que, apesar de mais abrangente, esta também apresenta limites definidos nos quais se realizaram os levantamentos empíricos. De modo resumido e simplificado, pode-se colocar que os limites são os encontrados na tabela 27. Deve-se ressaltar também que, ainda que não seja um fator limitante para situações habituais, os valores de isolamento de roupa verificados foram: entre 0,4 e 0,9 clo, com médias entre 0,5 e 0,7 clo, para a primeira simulação; e entre 0,3 e 1,2 clo, com médias entre 0,4 e 0,9 clo, para a segunda simulação.

Tabela 27: Limites de aplicabilidade das faixas interpretativas calibradas.

variável	1ª. calibração	2ª. calibração	variável	1ª. calibração	2ª. calibração
t_{ar}	20 ~ 29°C	15 ~ 33°C	ur	40 ~ 75%	30 ~ 95%
t_{tm}	20 ~ 60°C	15 ~ 66°C	v_{ar}	0,1 ~ 2,2 m/s	0,1 ~ 3,6 m/s

Pode-se concluir que a primeira calibração realizada é mais restrita, mas oferece melhores resultados dentro de suas restrições. Já a segunda calibração, apesar de apresentar resultados um pouco menos precisos para situações térmicas mais próximas das condições de neutralidade, é bastante mais abrangente. Situações mais extremas devem ser consideradas também com a segunda calibração, lembrando sempre que, neste caso, tratam-se de extrapolações que, assim como no caso da primeira calibração, provavelmente não forneceram resultados tão precisos. Por fim, deve-se colocar que, conforme pode ser verificado, o ganho correlativo da primeira calibração é bastante pequeno se comparado com o ganho em abrangência da segunda calibração. Desta forma, pode-se recomendar, por simplificação e facilidade de uso, que, para casos gerais, seja utilizada a segunda calibração.

A contribuição desta pesquisa foi fornecer valores de referência para a devida utilização de diversos índices de conforto em espaços abertos da cidade de São Paulo. Os resultados finais apresentados permitem ainda estudos comparativos entre diversas pesquisas, já realizadas ou a serem realizadas, e mesmo entre aquelas que utilizem modelos preditivos distintos, uma vez que tais comparações são possibilitadas devido ao estabelecimento realizado de faixas interpretativas de referência.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELDING, H. S.; HATCH, T. F. (1955) "Index for evaluating heat stress in terms of resulting physiological strain". *Heating, Piping, Air Conditioning*, 27, p.129-42.
- BLAZEJCZYK, Krzysztof. (2002) "Assessment of recreational potential of bioclimate". in: *International Workshop on Climate, Tourism and Recreation*, 1, 2001, Greece. ISB, p. 133-52.
- _____. (1996) "*Man-environment heat exchange model*". <http://www.igipz.pan.pl/klimat/blazmenex.ppt>. Acesso realizado em 24/04/2004.
- BLUESTEIN, M.; OSCZEWSKI, R. (2002) "Wind chill and the development of frostbite in the face". Preprints, in: 15th Conf. on Biom. , Kansas City, MO, American Meteorology Society, p. 168-71.
- BROWN, Robert D.; GILLESPIE, Terry J. (1995) *Microclimatic landscape design: creating thermal comfort and energy efficiency*. New York: John Wiley & Sons.
- DOMINGUEZ et al. (1992) *Control climático en espacios abiertos*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- GIVONI, B. (1969) *Man, climate and architecture*. New York: John Wiley & Sons.
- GIVONI, B; NOGUCHI, Mikiko. (2000) "Issues in outdoor comfort research". in: *Passive And Low Energy Architecture, PLEA 2000*. Cambridge: J&J, p. 562-5.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. (1989) *ISO 7933*. Hot environments: analytical determination and interpretation of thermal stress. Genève: ISO.
- _____. (1989) *ISO 7243*. Hot environments: estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature). Genève: ISSO.
- JENDRITZKY, Gerd. (2003) "Perceived temperature: Klima-Michel-model". in: *The Development of Heat Stress Watch Warning Systems for European Cities*. Freiburg May 3, 2003.
- MINISTÉRIO DO TRABALHO (1978). *NR15 Atividades e operações insalubres*, Anexo 3 - Limites e tolerância para exposição ao calor. Brasília: Ministério do Trabalho.
- NIKOLOPOULOU, Marialena (2004) *Designing Open Spaces in the Urban Environment: a Bioclimatic Approach*. Atenas: CRES, 2004.
- SIPLE, P. A.; PASSEL C. F. (1945) "Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures". in: *Proceedings of the American Philosophical Society*, 89(1), p.177-99.
- WILLIAMSON, S. P. (2003). *Report on wind chill temperature and extreme heat indices*. Washington: Meteorological Services And Supporting Research.
- YAGLOU, C. P.; MINARD, D. (1957). "Control of heat casualties at military training centers". *A.M.A. Archives of Industrial Health*, 16, p. 302-16.

7. AGRADECIMENTO

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro.