

## MÉTODO DE ANÁLISE COMPARATIVA DE ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO PARA O BRASIL

**Iraci P. Stensjö**

(1) Doutora, Professora, iraci.pereira@gmail.com, UFMG, Rua Paraíba, 697 Funcionários, Belo Horizonte, MG, CEP:30190-060, 3409-8873

### RESUMO

Esse trabalho desenvolve um método automatizado para análise do conforto térmico, capaz de considerar diferentes parâmetros de conforto, para um maior número de cidades possível, mantendo a confiabilidade dos dados. O enfoque dessa metodologia deve ser modelos simplificados de conforto, que permitam uma análise preditiva, de modo a ser útil nas etapas iniciais do projeto arquitetônico. Os modelos de conforto comparados são: o modelo adaptativo proposto por Dear e Brager, o modelo proposto por Nicol, as zonas de conforto térmico definidas no Brasil por Araújo, Xavier e Gonçalves; as Tabelas de Mahoney, o Diagrama Bioclimático de Givoni e o triângulo de conforto de Evans. A base de dados adotada foi a das Normais Climatológicas de 1960-1991, a partir da qual foram obtidos dados médios mensais e horários. Como resultado, obteve-se uma planilha automatizada que permite a comparação dos diferentes modelos em estudo, que permite avaliar a sensação térmica e obter recomendações para o projeto arquitetônico.

Palavras-chave: conforto térmico humano, índices de conforto, recomendações para projeto.

### ABSTRACT

This study develops an automated method for analyzing thermal comfort through various parameters of comfort, that could support a large number of cities, maintaining data reliability. This methodology focus on models of indoor comfort used in predictive analysis, aiming its use in the early stages of architectural design. The comfort models compared are: the adaptive model proposed by Dear and Brager, the model proposed by Nicol, the thermal comfort zones defined in Brasil by Araújo, Gonçalves e Xavier, the Mahoney Tables, the Bioclimatic Diagram and the Comfort Triangles of Evans. The adopted database was that of the Climatological Normals of 1960-1991, from which monthly and hourly average data are produced. As a result, an automated spreadsheet is obtained. It allows the comparison of different models under study, to evaluate the thermal sensation and to specify building design guidelines to maximize indoor comfort conditions.

Keywords: human thermal comfort, comfort index, design strategies

# 1 INTRODUÇÃO

Os índices de conforto térmico humano são amplamente utilizados no país para diferentes funções além da avaliação da sensação térmica do usuário, como avaliar o desempenho térmico e eficiência energética de ambientes, etc. Frequentemente, diferentes índices são utilizados como instrumentos para orientação nas etapas iniciais de projeto, pois permitem uma prévia avaliação do clima do ponto de vista da possível resposta de conforto térmico do usuário e, em alguns casos, ao indicar diretamente estratégias de projetos para adequação ao clima.

Não existe nenhuma definição no Brasil de qual modelo de conforto térmico melhor representa a condição de aclimação da população brasileira. Isso pode ser positivo, pois o Brasil possui uma grande diversidade climática, devido a sua extensão territorial e diversidade geográfica e provavelmente existem inúmeras condições de aclimação dentro do país. Diferentes autores mostram a existência de diferentes zonas de conforto (Gonçalves, 2002), (Xavier A. A., 1999), (Araújo, Parâmetros de Conforto Térmico para Usuários de Edificações Escolares no Litoral Nordestino Brasileiro, 1996) e diferentes grupos de pesquisa adotam diferentes metodologias (Assis, 2001). Por outro lado, essa diversidade pode ser um fator restritivo ao seu uso nas etapas iniciais de projeto, onde se precisa de diretrizes de modo objetivo rápido. Além disso, o acesso aos dados pode ser outro fator restritivo utilização dos índices.

Esse trabalho propõe o desenvolvimento de uma ferramenta útil às etapas iniciais de projeto, que possa rapidamente fornecer resposta de sensação térmica e recomendações ao projeto de adequação ao clima, para um maior número de localidades.

A base de dados adotada são as Normais Climatológicas (Ramos, Santos, Fortes, & Meteorologia, 2009). Sua escolha se baseou na extensão de municípios compreendidos no texto e o rigor metodológico adotado na medição e tratamento dos dados. Os índices escolhidos são:

- a) O modelo adaptativo proposto por Dear e Brager (2002) proposto como alternativa para o método da ASHRAE Standard 55 de 1998 e incorporado na versão de 2004.
- b) A influência da umidade relativa na temperatura de conforto conforme discutido por Nicol (2004)
- c) A zona de conforto térmico definida no Brasil: por Araújo (1996), para Natal (RN); por Gonçalves (2002), para Belo Horizonte (MG); por Xavier (1999) para Florianópolis (SC) e Xavier (2000) para Brasília.

Além dos índices, foram escolhidos métodos de análise climática e recomendações para o projeto bioclimático, que incorporam índices de conforto:

- a) As Tabelas de Mahoney
- b) O Diagrama Bioclimático de Givoni
- c) O triângulo de conforto proposto por Evans (2007)

## 2 OBJETIVO

O objetivo desse trabalho é desenvolver uma método automatizado de análise do conforto térmico, capaz de considerar diferentes parâmetros de conforto, para um maior número de cidades possível, mantendo a confiabilidade dos dados. O enfoque dessa metodologia deve ser modelos simplificados de conforto, que permitam uma análise preditiva, de modo a ser útil nas etapas iniciais do projeto arquitetônico.

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 A base de dados

Nesse trabalho são utilizados os dados das Normais Climatológicas (Ramos et al., 2009), que correspondem às médias históricas compreendidas no período de janeiro de 1961 a dezembro de 1990, recalculadas na edição digital de 2009. Especificamente, nessa pesquisa são utilizados principalmente os dados de temperatura e umidade para avaliação do conforto térmico humano. A lista dos dados extraídos é:

- a) Temperatura média compensada, ou seja, temperatura média mensal horária, em °C
- b) Temperatura máxima, ou seja, temperatura média mensal das máximas, em °C
- c) Temperatura mínima, ou seja, temperatura média mensal das mínimas, em °C
- d) Pressão atmosférica no nível do barômetro, Pa
- e) Umidade relativa compensada, %
- f) Precipitação acumulada mensal, mm

As tabelas de dados das Normais possuem inúmeras lacunas de dados. Nesse trabalho foram consideradas todas as cidade presentes na publicação, por isso, algumas lacunas de dados poderão ocorrer no resultado final. Para contornar esse problema, a pressão atmosférica foi calculada a partir da altitude, nas localidades que não possuem esse dado.

A pressão atmosférica, P em Pascal, em uma dada altitude h em metros, pode ser calculada conforme a Equação 1 (Atmosphere, 1976)

$$P = P_0 \cdot \exp\left[\frac{-g_0 \cdot M \cdot h}{R \cdot T_0}\right] \quad \text{Equação 1}$$

Onde

- P é a pressão atmosférica local
- P<sub>0</sub> é a pressão atmosférica padrão ao nível do mar, 101325 Pa
- T<sub>0</sub> temperatura padrão do nível do mar, 288.15 K
- g<sub>0</sub> é a aceleração gravitacional, 9.80665 m/s<sup>2</sup>
- M é a massa molar de ar seco, 0.0289644 kg/mol
- R é a constante de gás universal, 8.31447 J/(mol.K)

### 3.2 A definição de um dia típico

As Normais Climatológicas fornecem apenas dados médios para as variáveis apresentadas, contudo um valor médio pode ser pouco representativo das condições de conforto. Assim, optou-se por gerar dias típicos com valores horários a partir dos dados originais. Os dados horários médios mensais de temperatura do ar podem obtidos pelo ajuste dos dados locais à curva-padrão da Organização Mundial de Meteorologia (WMO) (Assis, 2001), conforme descrito na Equação 2:

$$T = T_x - (T_x - T_n) \cdot j \quad \text{Equação 2}$$

onde:

- T é a temperatura média mensal horária, em °C
- T<sub>x</sub> é a temperatura média mensal das máximas, em °C
- T<sub>n</sub> é a temperatura média mensal das mínimas, em °C
- j é o valor de ajuste da curva horária de temperatura, a partir da hora 0 até as 23 horas: 0,75; 0,78; 0,82; 0,87; 0,89; 0,96; 1,00; 0,93; 0,76; 0,57; 0,41; 0,28; 0,15; 0,11; 0,02; 0,00; 0,04; 0,08; 0,15; 0,46; 0,56; 0,64; 0,73; 0,70.

A amplitude da variação diária da umidade relativa do ar seguiu o mesmo procedimento descrito na NBR15.220 (ABNT, 2005), que considera a variação média diária da umidade absoluta do ar igual a 3 gramas de vapor d'água por quilograma de ar seco. A conversão umidade relativa em umidade absoluta é feita conforme a Equação 3.

$$w = \frac{0,62198 \cdot y \cdot P_v}{P - y \cdot P_v} \quad \text{Equação 3}$$

Onde

- w é a umidade absoluta, em kg de vapor por kg de ar seco
- y é o coeficiente da umidade relativa, p. ex., para umidade relativa de 50%, y=0,5.
- P<sub>v</sub> é a pressão de vapor da água, em Pa

O modelo adotado de cálculo da pressão de vapor é apresentado na Equação 4, válido para as faixas de temperatura do ar entre 0 e 63 °C, entalpia entre 9,43 e 537 kJ/kg e pressão atmosférica entre 610,78 e 22870,52 Pa.

$$P_v = 610,78 \cdot \exp\left[\frac{17,269 \cdot T}{237,78 + T}\right] \quad \text{Equação 4}$$

Com a amplitude diária, a variação horária da umidade foi determinada a partir da pressão de vapor horária, em função da temperatura do ar. As duas equações anteriores também foram utilizadas para se traçar a carta psicrométrica do Diagrama Bioclimático de Givoni, conforme descrito no item 2.3.5. Por fim, a entalpia, utilizada em diferentes modelos de conforto, pode ser definida como uma função da temperatura e umidade absoluta, conforme mostrado na Equação 5.

$$h = 1,006 \cdot T + w(2501 + 1,77 \cdot T) \quad \text{Equação 5}$$

Onde h é a entalpia do ar, em kJ/kg.

### 3.3 Os modelos de conforto térmico

#### 3.3.1 A temperatura de conforto adaptativa

Os modelos adaptativos de conforto baseiam-se em trabalhos de campo que medem as condições ambientais e a resposta simultânea de sensação térmica em indivíduos envolvidos em suas tarefas habituais, com a menor intervenção possível dos pesquisadores, na tentativa de reproduzir as condições reais, nas quais o indivíduo também é agente nas condições térmicas do ambiente. Pereira e Assis (2010) ao comparar diferentes modelos adaptativos, observaram que a equação apresentada por Aluciems (1981) é a que possui maior similaridade com as zonas de conforto definidas por pesquisadores brasileiros. Nesse trabalho, optou-se por adotar o modelo apresentado por Dear e Brager (2002) que apresenta uma diferença de decimal do modelo de Aluciems, por ser o modelo utilizado na revisão da ASHRAE 55 em 2004.

Dear e Brager (2002) propõe um modelo adaptativo para edifícios naturalmente ventilados. Esse modelo de regressão considera as condições climáticas externas caracterizada em termos de temperatura de bulbo seco ao ar livre média  $T_{a,ext}$ , pela qual se pode obter a temperatura de conforto ótimo,  $T_{conf}$ , conforme a Equação 6 (Dear & Brager, 2002, p. 553). Os autores também definem zonas de conforto: para aceitabilidade de 90% a faixa é de 5°C, e para 80%, 78°C, ambas zonas são centradas sobre a temperatura ótima de conforto.

$$T_{conf} = 0,31 \cdot T_{a,ext} + 17,8 \quad \text{Equação 6}$$

A partir da Equação 6, é calculada as temperaturas de conforto mensais a partir das temperaturas médias mensais das cidades. A partir desse valor e dos limites de aceitabilidade, as temperaturas horárias são classificadas em conforto, desconforto por calor ou frio.

#### 3.3.2 A influência da umidade relativa na temperatura de conforto

De acordo com Nicol (2004, p. 687) há um aumento do volume de perdas via evaporação em climas quentes, onde a perda de calor metabólico por convecção e radiação e diminuem. Nesse contexto, a umidade do ar elevada pode representar uma barreira nesse processo, o que aumenta o desconforto. Assim, pode-se dizer que as pessoas necessitam de uma temperatura mais baixa para o conforto. O autor conclui que, em edifícios naturalmente ventilados, os usuários desejam uma temperatura de conforto inferior se a umidade é alta ( $UR > 75\%$ ) e a diferença entre a temperatura de conforto geral é de cerca de 1 °C.

Essa observação é utilizada como uma forma complementar à temperatura de conforto proposta por Dear e Brager (2002). Assim, nos meses em que a umidade relativa da cidade é superior a 75%, uma segunda temperatura de conforto térmica é calculado e há uma segunda classificação horária do conforto térmico, agora considerando o limite de conforto térmico como 1°C menor que  $T_{conf}$ , nos meses em que a umidade for maior que 75%.

#### 3.3.3 As zonas de conforto térmico definidas no Brasil

Araújo (1996), em trabalho de campo realizado em Natal, definiu limites de conforto térmico para uma população aclimatada e estabeleceu comparação com outros índices comumente utilizados no país. Gonçalves (2002) também definiu limites com base em pesquisa de campo realizada com população universitária em Belo Horizonte. Xavier (1999) definiu zona com base em população acadêmica em edifícios não climatizados em Florianópolis e outra para edifícios de escritório em Brasília, que utilizam sistemas de ar condicionado. Os valores de temperatura do ar e umidade relativa de cada zona térmica definida por esses autores dos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Limites de conforto térmico definidos no Brasil

Variáveis	Araújo (1996)	Gonçalves (2002)	Xavier (1999)	Xavier (2000)
Temperatura (C)	25,1° – 28,1°	20,8° a 24,7°	19,9° a 24,91°	21,58° a 22,87°
UR (%)	69% a 92%	64% a 93%	45% a 100%	62% a 100%

Fonte: (Araújo e Araújo, 1997), (Gonçalves, 2002), (Xavier,1999), (Xavier, 2000)

Com base nesses dados, as zonas de confortos definidas no Brasil estão inseridas sob a forma de polígono em carta psicrométrica, ao lado da zona de conforto definida por Givoni, para permitir a comparação.

### 3.3.4 As Tabelas de Mahoney

Carl Mahoney, em trabalho conjunto com John Martin Evans e Otto Königsberger. (United Nations, 1971) elaborou uma série de Tabelas que oferecem recomendações ao projeto arquitetônico a partir da análise de dados climáticos, voltadas para as etapas iniciais do projeto. As zonas de conforto térmico propostas nas tabelas variam em função da temperatura média mensal anual, do período do dia (diurno ou noturno) e da umidade relativa média mensal. Os parâmetros originais de conforto são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Quadro de classificação dos limites de conforto térmico apresentado nas Tabelas de Mahoney

UR média (%)	TMA <15°		15°<TMA <20°		TMA >20°	
	Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite
0 - 30	21° - 30°	12° - 21°	23° - 32°	14° - 23°	26° - 34°	17° - 25°
30 - 50	20° - 27°	12° - 20°	22° - 30°	14° - 22°	25° - 31°	17° - 24°
50 - 70	19° - 26°	12° - 19°	21° - 28°	14° - 21°	23° - 29°	17° - 23°
70 - 100	18° - 24°	12° - 18°	20° - 25°	14° - 20°	22° - 27°	17° - 21°

Fonte: United Nations (1971, p. 26). (TMA: temperatura média anual, em C, UR média: Umidade relativa média; Dia: Limites para o período diurno e Noite: Limites para o período noturno)

As Tabelas de Mahoney é um método frequentemente utilizado no projeto bioclimático, por isso, considera-se desnecessário reproduzir toda a sua metodologia neste texto. Nas planilhas desenvolvidas, todas o processo é reproduzido, permitindo ao usuário interessado ter acesso a todas as planilhas e informações geradas nas Tabelas.

### 3.3.5 O Diagrama Bioclimático de Givoni

Baruch Givoni desenvolveu o Diagrama Bioclimático que consiste em uma metodologia de análise da sensação térmica utilizando uma carta psicrométrica. Seu diferencial é a delimitação de zonas de estratégias de projeto, para a obtenção de conforto térmico nas edificações, mesmo quando a temperatura do ar está fora dos limites de conforto. O trabalho original (Givoni, 1976), sofreu alterações ao longo do tempo pelo próprio autor (Milne e Givoni, 1979), (Givoni, 1992), e também adaptações por outros autores, como o diagrama utilizado no Zoneamento Bioclimático Brasileiro proposto na NBR 15.220-3 (2005). Nesse trabalho, são adotados os limites estabelecidos na última publicação do autor sobre o assunto (Givoni, 1992) pois essa considera melhor demarcação científica das condições climáticas sob as quais diferentes estratégias de design para o conforto de verão podem ser aplicadas. Como esses limites só tratam das recomendações de verão, optou-se por reproduzir também as zonas que trazem estratégias para o período frio, de acordo com (Milne e Givoni, 1979).

### 3.3.6 A zona de conforto dinâmica de Evans (2003)

Evans (2007, p. 107) desenvolveu um modelo gráfico de conforto o que relaciona a combinação de temperaturas médias e amplitudes de temperatura, mostrado na Figura 1. O autor ainda apresenta recomendações para o projeto arquitetônico e procedimento para utilizar esse modelo de conforto no projeto bioclimático (Evans, 2003, p. 93).

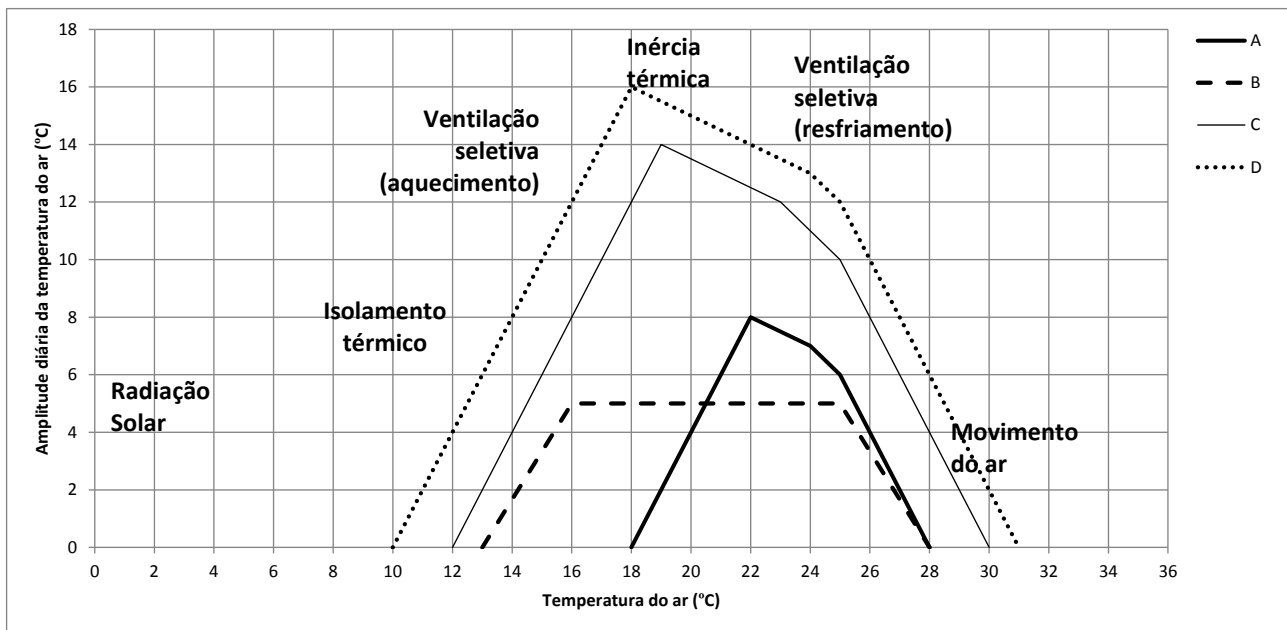


Figura 1 – O triângulo conforto definido por Evans (2003) com zonas de conforto sedentário (A), conforto (B), a circulação interna (C) e circulação externa (D). Fonte: (Evans, 2007, p. 107)

- Obter as temperaturas máximas e mínimas médias mensais a partir de dados meteorológicos padrão;
- Definir as condições para cada mês são definidos com uma série de pontos no gráfico, de acordo com a temperatura média e a amplitude térmica;
- Avaliar a relação entre as condições externas e da faixa de conforto desejável, da qual pode-se obter as exigências sazonais característicos para o conforto
- Escolher as medidas de projeto adequadas para atingir uma alteração favorável do clima externo. A importância de cada medida irá depender do número de meses, quando se aplica a cada medida e a distância entre os pontos e a zona de conforto.

#### 4 RESULTADOS

Os modelos numéricos apresentados anteriormente estão inseridos em uma planilha Excel automatizada e os resultados obtidos são apresentados nesse item. Como exemplo, são mostrados os resultados para a cidade de Belo Horizonte, mas eles podem ser obtidos para qualquer localidade presente nas Normais Climatológicas, desde que haja os dados.

Primeiramente são apresentados os dados médios mensais de temperatura do ar e temperatura de conforto, na Figura 2. As barras representam a temperatura mínima, média e máxima extraída das Normais, nas cores azul, bege e laranja, respectivamente. A linha preta contínua representa a temperatura de conforto calculada conforme Dear e Brager (2002), item 3.3.1, e a linha vermelha, considera a redução de 1°C conforme proposto por Nicol (2004), item 3.3.2. A classificação horária da temperatura do ar, conforme os limites de conforto adotados, é apresentada na Figura 3.

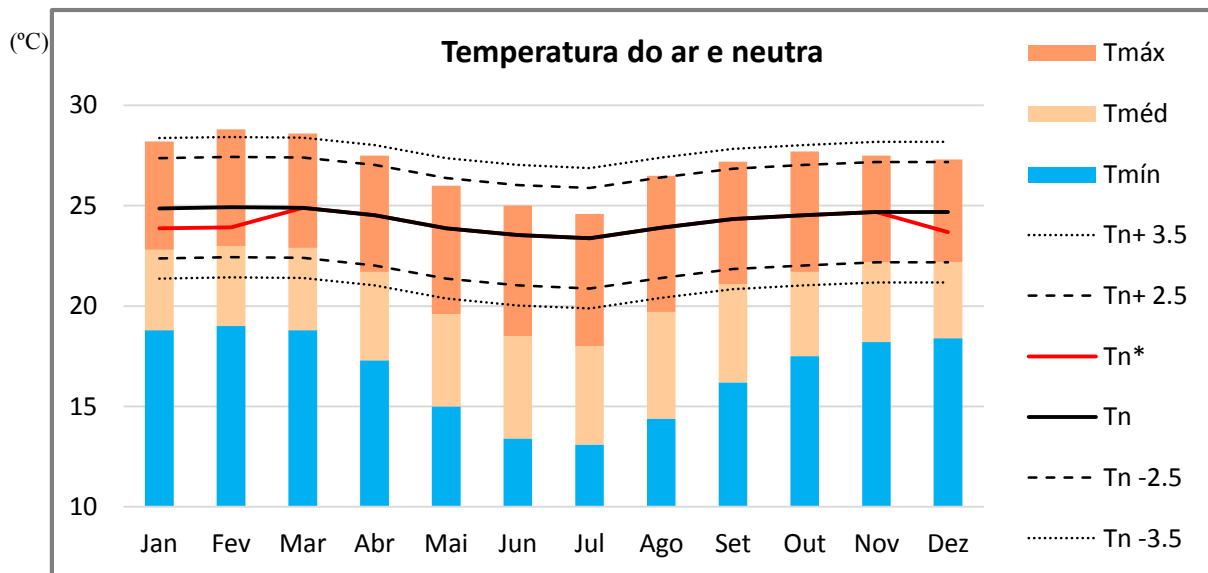


Figura 2 – Variação horária da temperatura média mensal e da temperatura de conforto

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
6:00	18.8	19.0	18.8	17.3	15.0	13.4	13.1	14.4	16.2	17.5	18.2	18.4	18.8	19.0	18.8	17.3	15.0	13.4	13.1	14.4	16.2	17.5	18.2	18.4
7:00	19.5	19.7	19.5	18.0	15.8	14.2	13.9	15.2	17.0	18.2	18.9	19.0	19.5	19.7	19.5	18.0	15.8	14.2	13.9	15.2	17.0	18.2	18.9	19.0
8:00	21.3	21.6	21.4	20.1	18.0	16.5	16.2	17.7	19.2	20.3	20.7	20.8	21.3	21.6	21.4	20.1	18.0	16.5	16.2	17.7	19.2	20.3	20.7	20.8
9:00	22.8	23.2	23.0	21.7	19.7	18.4	18.0	19.6	20.9	21.9	22.2	22.2	22.8	23.2	23.0	21.7	19.7	18.4	18.0	19.6	20.9	21.9	22.2	22.2
10:00	24.3	24.8	24.6	23.3	21.5	20.2	19.9	21.5	22.7	23.5	23.7	23.7	24.3	24.8	24.6	23.3	21.5	20.2	19.9	21.5	22.7	23.5	23.7	23.7
11:00	25.6	26.1	25.9	24.6	22.9	21.8	21.4	23.1	24.1	24.8	24.9	24.8	25.6	26.1	25.9	24.6	22.9	21.8	21.4	23.1	24.1	24.8	24.9	24.8
12:00	26.8	27.3	27.1	26.0	24.4	23.3	22.9	24.7	25.6	26.2	26.1	26.0	26.8	27.3	27.1	26.0	24.4	23.3	22.9	24.7	25.6	26.2	26.1	26.0
13:00	27.2	27.7	27.5	26.4	24.8	23.7	23.3	25.2	26.0	26.6	26.5	26.3	27.2	27.7	27.5	26.4	24.8	23.7	23.3	25.2	26.0	26.6	26.5	26.3
14:00	28.0	28.6	28.4	27.2	25.7	24.7	24.3	26.2	26.9	27.4	27.3	27.1	28.0	28.6	28.4	27.2	25.7	24.7	24.3	26.2	26.9	27.4	27.3	27.1
15:00	28.2	28.8	28.6	27.5	26.0	25.0	24.6	26.5	27.2	27.7	27.5	27.3	28.2	28.8	28.6	27.5	26.0	25.0	24.6	26.5	27.2	27.7	27.5	27.3
16:00	27.8	28.4	28.2	27.1	25.6	24.5	24.1	26.0	26.8	27.3	27.1	26.9	27.8	28.4	28.2	27.1	25.6	24.5	24.1	26.0	26.8	27.3	27.1	26.9
17:00	27.4	28.0	27.8	26.7	25.1	24.1	23.7	25.5	26.3	26.9	26.8	26.6	27.4	28.0	27.8	26.7	25.1	24.1	23.7	25.5	26.3	26.9	26.8	26.6
18:00	26.8	27.3	27.1	26.0	24.4	23.3	22.9	24.7	25.6	26.2	26.1	26.0	26.8	27.3	27.1	26.0	24.4	23.3	22.9	24.7	25.6	26.2	26.1	26.0

Figura 3 – Classificação da sensação térmica horária da temperatura do ar, considerando: a) Dear e Brager (2002) e b) também Nicol (2004). (Escala: ■  $T_{ar} < T_{conf} - 3,5$ ; ■  $T_{ar} < T_{conf} - 2,5$ ; ■  $T_{ar} > T_{conf} + 2,5$ ; ■  $T_{ar} > T_{conf} + 2,5$ )

As tabelas de Mahoney são preenchidas automaticamente, e os resultados de recomendações para o projeto arquitetônico podem ser obtidos para a cidade selecionada. A Figura 4 mostra a tabela de classificação do clima e da sensação térmica mensal, preenchida com os dados mensais de temperatura, umidade relativa e precipitação, para Belo Horizonte.

Dados climáticos		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Temperatura Média Mensal	MÁX	28.2	28.8	28.6	27.5	26	25	24.6	26.5	27.2	27.7	27.5	27.3
LIMITES DE CONFORTO	MÁX	27	27	27	27	27	27	29	29	29	29	27	27
	MÍN	20	20	20	20	20	20	23	23	23	23	20	20
STRESS térmico diurno		Q	Q	Q	Q	C	C	C	C	C	C	Q	Q
Temperatura Média Mensal	MÍN	18.8	19	18.8	17.3	15	13.4	13.1	14.4	16.2	17.5	18.2	18.4
LIMITES DE CONFORTO	MÁX	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	MÍN	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
STRESS térmico noturno		C	C	C	C	F	F	F	F	F	C	C	C
A.M.M. ( $T_{MAX} - T_{MIN}$ )		9.4	9.8	9.8	10.2	11	11.6	11.5	12.1	11	10.2	9.3	8.9
Umidade Relativa	MÁX												
Umidade Relativa	MÉD	79	75.1	74.7	73.9	72.5	71.4	68.7	64.5	65.1	69.8	74.1	78
Umidade Relativa	MÍN												
Grupo Higrométrico (G.H.)		4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	4	4
Precipitação pluviométrica		274	206	143	56	29	12	15	15	39	142	242	292

Figura 4 – Quadro de classificação do clima e da sensação térmica pelas tabelas de Mahoney para Belo Horizonte

Os dados horários são também plotados automaticamente no Diagrama Bioclimático, sendo cada mês destacado com uma cor diferente (Figura 5). A planilha também mostra a estratégia recomendada para cada de horas do dia típico (Figura 6 e 7), visto que a avaliação visual é comprometida quando os dados estão próximos.

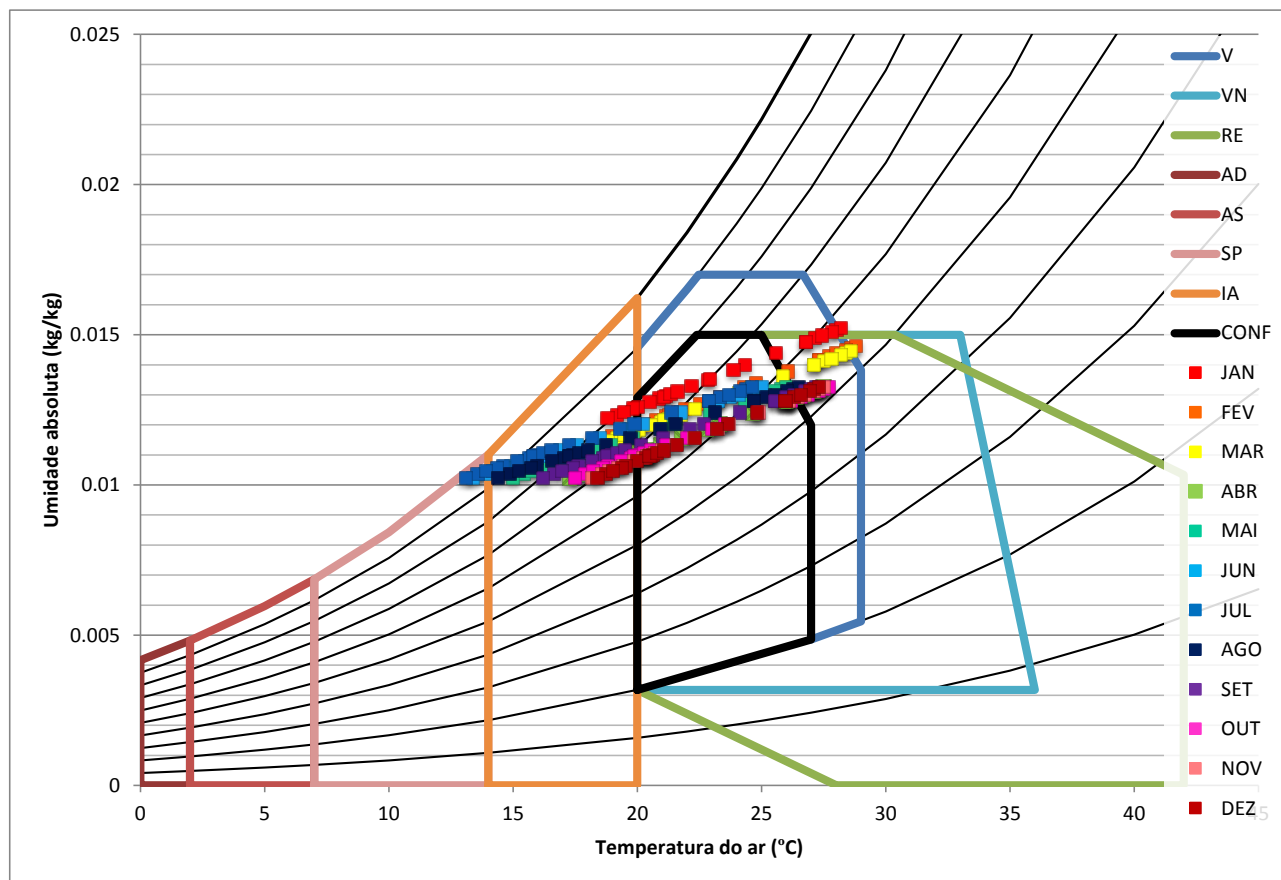


Figura 5 – Diagrama Bioclimático de Givoni, com os dados horários típico de cada mês plotados para a cidade de Belo Horizonte

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
0	C	C	C	IA	IA	IA	IA	IA	IA	C	C	C
1	C	C	C	IA	IA	IA	IA	IA	IA	IA	C	C
2	C	C	C	IA	IA	IA	IA	IA	IA	IA	IA	C
3	C	C	C	IA	IA	IA	IA	IA	IA	IA	IA	IA
4	IA	C	IA	IA	IA	IA	IA	IA	IA	IA	IA	IA
5	IA	IA	IA	IA	IA	SP	SP	IA	IA	IA	IA	IA
6	IA	IA	IA	IA	IA	SP	SP	IA	IA	IA	IA	IA
7	IA	IA	IA	IA	IA	IA	SP	IA	IA	IA	IA	IA
8	C	C	C	IA	IA	IA	IA	IA	IA	IA	C	C
9	C	C	C	IA	IA	IA	IA	IA	IA	IA	C	C
10	C	C	C	C	C	C	IA	C	C	C	C	C
11	RE	RE	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
12	RE	RE	RE	C	C	C	C	C	C	C	C	C
13	RE	RE	RE	C	C	C	C	C	C	RE	RE	C
14	V	RE	RE	RE	C	C	C	RE	RE	RE	RE	RE
15	AR	RE	RE	RE	C	C	C	RE	RE	RE	RE	RE
16	V	RE	RE	RE	C	C	C	C	RE	RE	RE	RE
17	RE	RE	RE	RE	C	C	C	C	C	RE	RE	RE
18	RE	RE	RE	C	C	C	C	C	C	C	C	C
19	C	C	C	C	C	IA	IA	C	C	C	C	C
20	C	C	C	C	IA	IA	IA	IA	C	C	C	C
21	C	C	C	C	IA	IA	IA	IA	C	C	C	C
22	C	C	C	C	IA	IA	IA	IA	IA	C	C	C
23	C	C	C	C	IA	IA	IA	IA	IA	C	C	C

Figura 6 - Estratégias para o projeto conforme o Diagrama de Givoni, por hora do dia e por mês, para a cidade de Belo Horizonte

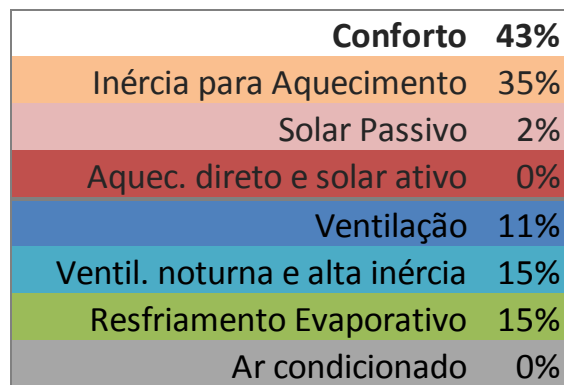


Figura 7 - Percentual de horas por estratégias para o projeto, para a cidade de Belo Horizonte

A carta psicrométrica e os dias típicos também são utilizados com a zona de conforto definida por Araújo (1996), Xavier (1999,2000) e Gonçalves (2001) como mostrado na Figura 8.



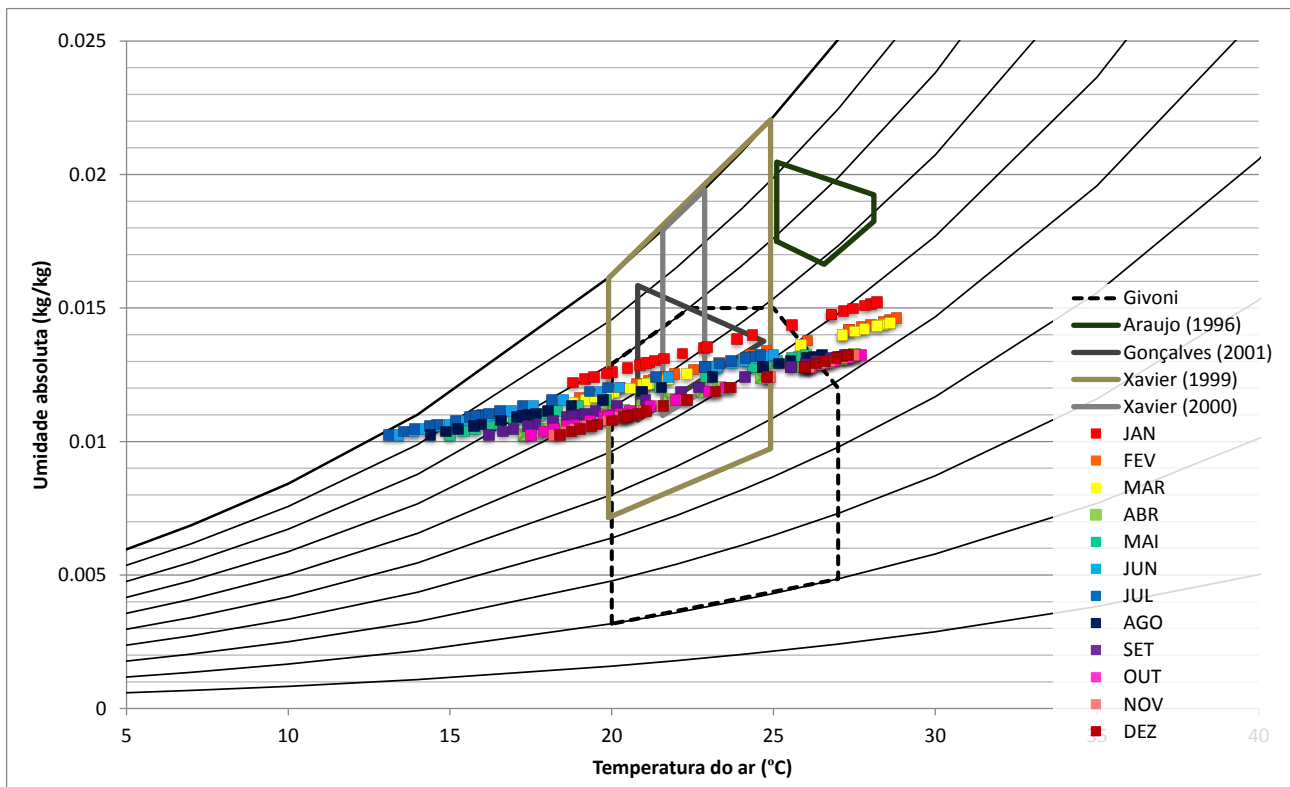


Figura 8 - Zona de conforto proposta por Araujo (1996) e por Givoni (1992) e dados horários de temperatura e umidade do ar para Belo Horizonte

O último resultado de conforto é o triângulo de Conforto de Evans (2007), no qual estão inseridos os dados médios mensais de temperatura e amplitude térmica, mostrados na Figura 9.

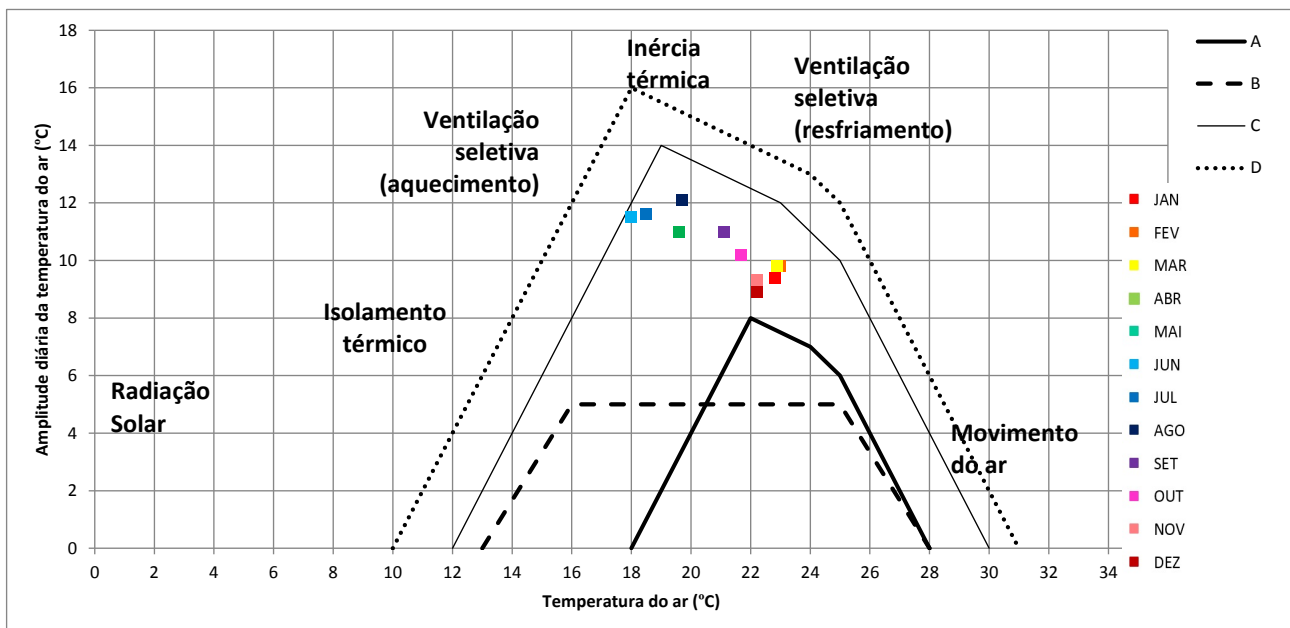


Figura 9 – O triângulo conforto definido por Evans (2003) com zonas de conforto sedentário (A), conforto (B), a circulação interna (C) e circulação externa (D) e os dados horários de Belo Horizonte.

## 5 CONCLUSÕES

A planilha automatizada demonstra ser uma ferramenta bastante útil e simples na avaliação da provável sensação térmica. Ela é mais frequentemente utilizada por alunos de graduação, e permite facilitar o aprendizado de diferentes conceitos do conforto térmico: variáveis climáticas, sensação térmica, índices de conforto, aclimatação. Seus modelos de recomendação arquitetônica têm sido utilizados nas etapas iniciais de projeto, para a escolha de estratégias bioclimáticas. A existência de mais de um modelo permite a

complementação entre eles, e reforça o papel de tomada de decisão do arquiteto. A planilha também pode ser útil como avaliação inicial de arquivos climáticos horários, quando se deseja ter um panorama geral dos dados.

Com relação aos índices, o uso complementar da recomendação de Nicol sobre a umidade relativa, com a temperatura neutra de Dear e Brager se mostrou bastante pertinente em climas mistos, com verões quentes e úmidos e invernos secos, mais frequentes nas regiões centrais do Brasil. Em climas predominantemente úmidos ou amenos, apenas a temperatura neutra é suficiente.

As zonas de conforto definidas por pesquisas de campo no Brasil possuem grande proximidade com a zona definida por Givoni, com exceção da zona definida por Araújo (1996). Considera-se a presença das zonas definidas no Brasil essencial para entender a diversidade da aclimatação local e para validar os resultados de outros modelos de conforto. Os métodos de análise climática e recomendação arquitetônica de Givoni e Mahoney são bem complementares e pertinentes, mesmo quando a indicação de sensação térmica pode não ser considerada a mais adequada.

A zona definida por Evans parece ter similaridade com a sensação térmica levantada no Brasil apenas em climas com umidade relativa elevada durante todo o ano, o que causa baixa amplitude térmica diária. Nos demais climas, não se observou similaridade. Com relação às recomendações para o projeto, em geral, são similares ao indicado por Givoni, contudo, como só há um ponto por mês, seus resultados são mais limitadores, pois não se percebe as variações que podem ocorrer ao longo do dia. Além disso, as recomendações ao projeto não possuem áreas claramente definidas, por isso não se vê diferença entre climas quentes mistos, predominantemente úmidos ou secos, que teoricamente, deveriam ter maior enfoque na ventilação, no primeiro caso, e na inércia, no segundo caso.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. ABNT, 2005. p. 30p.
- Araújo, Virgínia Maria Dantas de. **Parâmetros de Conforto Térmico para Usuários de Edificações Escolares no Litoral Nordeste Brasileiro**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). USP, São Paulo, 1996. 179 f.
- Araújo, Virgínia Maria Dantas de e Araújo, Eduardo Henrique Silveira de. Estudo da Aplicabilidade de Índices e Zonas de Conforto Térmico na Avaliação de Desempenho Térmico de Edificações em Natal, RN. 1997. IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** Salvador: ANTAC, 1997. p. 262-268.
- Assis, Eleonora Sad de. Método Integrado de Análise Climática para Arquitetura Aplicado à Cidade de Belo Horizonte, MG. VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** São Pedro: ANTAC, 2001. 8 p.
- Atmosphere, U.S. Committee on Extension to the Standard. **U.S. Standard Atmosphere**. Washington, D.C.: Government Printing Office, 1976. Disponível em: [http://www.astrohandbook.com/ch09/standard\\_atmos\\_1976.pdf](http://www.astrohandbook.com/ch09/standard_atmos_1976.pdf).
- Auliciems, A. **Psycho-Physiological Criteria for Global Thermal Zones of Building Design**. International Journal of Biometeorology. 1981.
- Dear, Richard J. de e Brager, Gail S. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. **Energy and Buildings**. Jul de 2002, v. 34, 6, pp. 549-561. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00005-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00005-1).
- Evans, John Martin. Evaluating comfort with varying temperatures: a graphic design tool. **Energy and Buildings**. v. 35, n. 1, 2003. p. 87-93. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00083-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00083-X).
- . 2007. **The Comfort Triangles: A new tool for bioclimatic design**. Tese. Delft: Delft University of Technology, 2007.
- Givoni, Baruch. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**. v. 18, n.1, 1992. p. 11-23. [http://dx.doi.org/10.1016/0378-7788\(92\)90047-K](http://dx.doi.org/10.1016/0378-7788(92)90047-K).
- . 1976. Man, climate and architecture. London: Applied Science, 1976.
- Gonçalves, W. B. **Estudo de Índices de Conforto Térmico Avaliados com Base em População Universitária na Região Metropolitana de Belo Horizonte**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Belo Horizonte, UFMG, 2002.
- Milne, M.; Givoni, B. Architectural design based on climate. D. Watson[ed.]. **Energy Conservation Through Building Design**. New York: McGraw-Hill Publishing Co, 1979.
- Nicol, Fergus. Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics. **Energy and Buildings**. v. 36, n. 7, 2004. p. 628-637. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.01.016>.
- Pereira, Iraci M.; Assis, Eleonora S. Avaliação de modelos de índices adaptativos para uso no projeto arquitetônico bioclimático. **Ambiente Construído**. jan/mar de 2010. p. 31-51. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ac/v10n1/v10n1a02.pdf>.
- Ramos, Andrea M.; et al. **Normais climatológicas do Brasil: 1961 - 1990**. Brasília: INMET, 2009. 465 pp. Ed. rev. ampl. ISBN: 9788562817014
- United Nations. **Climate and House Design**. New York: UN, 1971. p. 93p. Disponível em: <ftp://ftp.arch.ucl.ac.be/climat/mahoney.pdf>.
- Xavier, Antonio A. P. **Condições de Conforto Térmico para Estudantes de 2º Grau na Região de Florianópolis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). UFSC, Florianópolis, 1999.
- Xavier, Antonio A. P. **Predição De Conforto Térmico Em Ambientes Internos Com Atividades Sedentárias—Teoria Física Aliada A Estudos De Campo**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). UFSC, Florianópolis, 2000. [http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/teses/TESE\\_Antonio\\_Augusto\\_Xavier.pdf](http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/teses/TESE_Antonio_Augusto_Xavier.pdf).