



**XII ENCAC** Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído  
**VIII ELACAC** Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído

BRASÍLIA | 25 a 27 de setembro de 2013

## **MODELO PREDITIVO DE SENSAÇÃO TÉRMICA EM ESPAÇOS ABERTOS EM CURITIBA/PR**

**Francine Aidie Rossi (1); Eduardo L. Krüger (2); Inácio Andruski Guimarães (3)**

(1) PhD, Professora do Departamento de Expressão Gráfica, [rossi@ufpr.br](mailto:rossi@ufpr.br)  
Universidade Federal do Paraná (UFPR), Departamento de Expressão Gráfica (DEGRAF).  
Av. Cel. Francisco Heráclito dos Santos, 210, Jd. das Américas - 81531-970 – Curitiba/PR

(2) PhD, Professor do Departamento de Construção Civil, [ekruger@utfpr.edu.br](mailto:ekruger@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Pós-Graduação em Tecnologia (PPGTE).  
Av. Sete de Setembro, 3165, Rebouças - 80230-901 – Curitiba/PR

(3) PhD, Professor do Departamento de Matemática, [andruski@utfpr.edu.br](mailto:andruski@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Departamento de Matemática (DAMAT).  
Av. Sete de Setembro, 3165, Rebouças - 80230-901 - Curitiba/PR

### **RESUMO**

Considerando a importância da adequação de cidades frente às mudanças climáticas e às tendências mundiais de urbanização crescente, é necessário prever alterações urbanas de modo a adequá-las ao clima local e futuro, em especial quanto às preferências térmicas de seus habitantes. Neste sentido, esta pesquisa tem como objetivo analisar a sensação térmica da população de Curitiba/PR e propor um modelo de predição de sensação térmica adequado às condições climáticas locais. Os locais de estudo são ruas de pedestres da Rua XV de Novembro e cercanias. Foram realizados 15 levantamentos de campo, sendo 14 dias no período entre janeiro e agosto de 2009 e um dia em junho de 2010, totalizando 15 situações urbanas distintas. Os levantamentos ocorreram entre 10h00 e 15h00 em dias de semana, tendo sido monitorados dados climáticos e levantados dados pessoais, com o uso de questionários. As respostas de sensação térmica foram agrupadas em três categorias: desconforto para o frio, conforto e desconforto para o calor. Foram testados a Função Discriminante Linear (FDL) e o Modelo de Regressão Logístico (MRL) para definir o modelo preditivo. A FDL apresentou melhor desempenho que o Modelo de Regressão Logístico (MRL), tendo taxa total de acerto de 53% e, portanto, se mostrando adequada para a predição/avaliação da sensação térmica da população analisada.

Palavras-chave: conforto térmico em espaços abertos, índices de conforto, planejamento urbano.

### **ABSTRACT**

Considering the importance of the adequacy of cities to climate change and global urbanization trends, urban modifies are needed in order to adapt them to the local climate and to the future, especially regarding thermal preferences of its inhabitants. In this sense, this research aims to analyze the thermal sensation of the population of Curitiba/PR and propose a predictive model of thermal sensation appropriate to the local climate. Fifteen measurements (14 days between January and August 2009 and one day in June 2010) were made at 15 different urban situations at Rua XV November and surrounding. The campaigns took place between 10am and 3pm on weekdays, during which weather data as well as comfort and individual data were collected. The thermal sensation votes were grouped into three categories: discomfort to the cold, comfort and discomfort to the heat. Two statistical models were tested to define the predictive model: the Linear Discriminant Function and the Logistic Regression Model. The results show that the Linear Discriminant Function performed better than the Logistic Regression Model, with a successful classification rate of 53% and was therefore considered as adequate for the prediction/evaluation of thermal sensation of the analyzed population.

Keywords: thermal comfort in open spaces, comfort indices, urban planning.

## 1. INTRODUÇÃO

A avaliação e a compreensão do conforto térmico em espaços abertos podem auxiliar a melhoria da qualidade urbana, influenciando positivamente o uso e a qualidade de vida urbana, tornando possível a melhoria do clima local por meio do planejamento urbano. Segundo Nikolopoulou (2004a), áreas bem planejadas atraem maior número de pessoas, turismo e comércio, sendo atrativas economicamente. Desta forma, as condições microclimáticas têm sido consideradas essenciais para a atratividade do espaço aberto e, indiretamente, para o seu uso (NIKOLOPOULOU; LYKOUDIS, 2006).

Várias pesquisas utilizam índices de conforto baseados no balanço térmico do corpo humano para analisar a relação entre a influência do desenho urbano na sensação térmica. Nesta linha citam-se as pesquisas de Givoni (1998), Shashua-Bar e Hoffman (2000), Picot (2004), Katzschner (2005), Katzschner e Mülder (2005), Ali-Toudert e Mayer (2006), Johansson (2006), Johansson e Emmanuel (2006), Rossi, Krüger e Bröde (2011) e Rossi, Krüger e Nikolopoulou (2011).

No Brasil, nos últimos 20 anos, a partir de um levantamento feito de trabalhos publicados, entre 1990 e 2011 nos anais dos Encontros Nacionais de Conforto no Ambiente Construído (ENCACs), principal fórum de discussão de pesquisas realizadas na área no Brasil, verificou-se que as pesquisas sobre clima urbano analisam, por um lado, a relação entre o microclima e a morfologia urbana e, por outro, a relação entre microclima e conforto térmico em espaços abertos. A maior parte dos estudos se concentra nas regiões sudeste e nordeste do país, e utiliza os índices “Voto Médio Preditivo” ou PMV (54% das pesquisas analisadas) e “Temperatura Fisiológica Equivalente” ou PET (60% das pesquisas analisadas) para avaliar a sensação térmica.

Entretanto, várias pesquisas mostram que tais índices podem não ser adequados para avaliar o conforto térmico quando comparados à sensação térmica real observada em levantamentos de campo, e indicam a necessidade de calibrá-los para o local de estudo ou mesmo de se desenvolver índices mais adequados à realidade climática local. Diversas pesquisas sugerem procedimentos de calibração dos índices PMV e PET, realizadas em cidades brasileiras: Costa (2003), Monteiro (2008), Hirashima (2010), Brusantin e Fontes (2009), Shimakawa e Bueno-Bartholomei (2009; 2011), Shinyashiki e Bueno-Bartholomei (2011) e Souza (2010). No entanto, somente uma pesquisa, no contexto brasileiro, propõe um modelo de predição específico para avaliar a sensação térmica em ambientes externos, sendo a de Monteiro (2008), que propõe um modelo preditivo para São Paulo/SP. No intuito de contribuir com essa lacuna quanto à construção de modelos preditivos para a sensação térmica em espaços abertos, a presente pesquisa apresenta um modelo preditivo para Curitiba/PR.

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste estudo é analisar a sensação térmica da população de Curitiba/PR e propor um modelo de predição de sensação térmica adequado às condições climáticas locais. Para tal, foram testados dois métodos estatísticos para o desenvolvimento do modelo preditivo: a função discriminante linear (FDL) e o modelo de regressão logística (MRL), os quais foram gerados a partir de dados de campo.

## 3. MÉTODO

O método deste estudo foi dividido nas seguintes etapas principais:

1. Monitoramento das variáveis climáticas e aplicação de questionários de sensação térmica;
2. Obtenção das categorias de sensação térmica real;
3. Apresentação dos modelos FDL e MRL, e;
4. Definição do modelo preditivo de sensação térmica em espaços abertos em Curitiba/PR.

### 3.1. Monitoramento das variáveis climáticas e obtenção das variáveis pessoais

A área de estudo localiza-se nos trechos de pedestre das ruas XV de Novembro e Rua Saldanha Marinho (implantadas no sentido SW-NE), da Travessa Oliveira Bello e da Rua Senador Alencar Guimarães que são paralelas (orientação axial NO-SE) e da Praça Generoso Marques.

O calçadão da Rua XV de Novembro faz parte da história do urbanismo brasileiro por ter se tornado em 1972 a primeira rua de pedestre do país. Atualmente, a Rua das Flores, como é popularmente chamada, faz parte da identidade cultural da cidade, sendo caracterizada por um fluxo intenso e constante de transeuntes. O monitoramento das variáveis climáticas foi realizado em 15 pontos ao longo do trecho das vias de pedestre (Figura 1), escolhido em função de diferenças locais quanto à morfologia urbana (cânions rasos e profundos, praças, cruzamentos).



Figura 1 – Localização dos pontos para o monitoramento das variáveis climáticas e aplicação dos questionários

Foram realizados 15 levantamentos de campo, entre janeiro e agosto de 2009/2010, no período das 10h00 as 15h00, tendo sido monitorados 2 pontos em cada dia. A escolha dos dias de monitoramento foi realizada com base nos seguintes critérios: (1) maior variação possível de condições climáticas e épocas do ano; (2) ocorrência de condições climáticas estáveis, em dias sem probabilidade de chuva; (3) disponibilidade da equipe de apoio e (4) disponibilidade de transporte para as estações meteorológicas (o peso aproximado de cada estação montada é de cerca de 22 kg).

As variáveis climáticas monitoradas foram: temperatura do ar ( $T_a$ ), umidade relativa (UR), velocidade do ar ( $V_a$ ) e direção do vento, radiação solar (RS) e temperatura do globo de cobre ( $T_g$ ). Utilizaram-se duas estações meteorológicas da marca HOBO modelo H21-001 no monitoramento das variáveis climáticas.

Para a obtenção da temperatura radiante média, foram utilizados termômetros de globo de cobre, fixados na altura de 110cm, com  $\varnothing=2''$  (emissividade aproximada do globo = 0,95), pintados na cor RAL-7001 (cinza médio) (THORSSON et al., 2007), devido à absorção de radiação de onda curta ser semelhante à de pessoas vestidas, em torno de 0,70. Os globos estavam equipados com dois sensores de temperatura tipo sonda, 12-Bit (S-TMB-M002) e HOBO Pro V2 logger (U23-004). A  $T_{rm}$  foi calculada pela fórmula para convecção forçada, apresentada no Anexo B da ISO 7726 (1998, p.14).

A Tabela 1 apresenta a descrição estatística dos dados climáticos. Obteve-se uma variação climática bastante considerável. Em relação à temperatura, por exemplo, tem-se uma variação de 6,4°C a 32,6°C. O total de horas de monitoramento no espaço urbano foi de aproximadamente 70.

Tabela 1 – Descrição estatística dos dados climáticos

	$V_a$ (m/s)	RS (W/m <sup>2</sup> )	$T_a$ (°C)	UR (%)	$T_g$ (°C)	$T_{rm}$ (°C)
<b>Média</b>	1,1	298	19,4	56	21,9	30,1
<b>Mínimo</b>	0,0	1	6,4	23	7,6	8,6
<b>Máximo</b>	4,2	1.249	32,6	93	38,0	74,7
<b>Desvio padrão</b>	0,6	309	5,4	13	6,6	13,5
<b>Variância</b>	0,4	95451	29,4	172	43,0	182,0

Paralelamente ao monitoramento das variáveis climáticas, foram aplicados questionários de conforto, conforme a ISO 10551 (1995), envolvendo questões relativas à sensação térmica dos transeuntes. O questionário foi dividido em duas partes. A primeira referente aos dados pessoais: (1) gênero, (2) idade, (3) altura, (4) peso, (5) local e tempo de moradia (aclimatação), (6) vestimenta e (7) tempo de exposição ao ambiente externo. Na segunda parte, referente à sensação térmica, há cinco questões sobre percepção, avaliação e preferências térmicas, aceitação pessoal e tolerância. Para cada questão foi aplicada uma escala de intensidade, de acordo com as definidas pela ISO 10551 (1995).

Do total de 2024 questionários obtidos foram considerados válidos 1685 questionários, segundo os seguintes critérios: (1) respondentes que declararam residir em Curitiba ou em sua Região Metropolitana por pelo menos 6 meses; (2) respondentes que declararam estar há pelo menos 15 minutos ao ar livre (ASHRAE, 2004), minimizando o efeito da exposição do indivíduo a outros gradientes térmicos anteriormente à

aplicação do questionário; (3) respondentes que não responderam o mesmo valor (positivo ou negativo) na escala de percepção e de preferência térmica.

A amostra pode ser caracterizada por gênero, idade, altura, peso e vestimenta (clo). Em relação aos dados pessoais, tem-se uma amostra bem diversificada, abrangendo várias faixas etárias, características físicas e diferentes condições de isolamento térmico da vestimenta (clo), conforme dados da análise descritiva, apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Análise descritiva dos dados pessoais

	Idade	Altura (cm)	Peso (kg)	Peso (IMC)	clo
<b>Média</b>	38	169	71	25	0,74
<b>Mínimo</b>	13	130	40	15,9	0,2
<b>Máximo</b>	91	202	180	55,6	2,6
<b>Desvio padrão</b>	17,4	9,1	14,4	4,3	0,3
<b>Variância</b>	302,3	83,2	207,5	18,6	0,1

### 3.2. Obtenção das categorias de sensação térmica real

A definição das categorias de sensação térmica teve como base as respostas obtidas por questionário, tendo sido considerada a associação dos votos de percepção e preferência térmica. Optou-se pela associação dos votos, pois, de acordo com Fanger (1982), a avaliação do conforto térmico está relacionada a fatores fisiológicos e psicológicos. Desta forma, as condições ambientais requeridas para o conforto térmico não são as mesmas para todos, sendo possível que uma pessoa que esteja sentindo algum grau de calor ou de frio declare estar confortável e aceite o ambiente térmico em questão ou que uma pessoa que declare estar em conforto prefira um ambiente termicamente diferente.

Foram definidas as seguintes categorias de sensação térmica:

- Grupo 1: desconforto para o frio (voto de percepção < 0 associado ao voto de preferência > 0);
- Grupo 2: conforto (percepção = 0 e preferência = 0);
- Grupo 3: desconforto para o calor (percepção > 0 associado à preferência < 0).

A Tabela 3 mostra as frequências absolutas e relativas (em itálico) observadas do cruzamento das respostas de percepção e de preferência térmicas. A coluna central (em cinza escuro) mostra o número de pessoas que responderam estar em conforto. Observa-se que 23,8% (ou seja, 401/1685) declararam não preferir mudanças no ambiente térmico, enquanto aproximadamente 4,5% ((3+9+64)/1685) responderam preferir uma condição mais fria e aproximadamente 12,6%, preferir uma condição mais quente. A linha central (em cinza escuro) mostra a porcentagem de pessoas que mesmo sentindo algum grau de frio (5,9%) ou algum grau de calor (14,4%) preferiam continuar no mesmo tipo de ambiente térmico. A porção superior direita da tabela (em cinza claro) mostra a quantidade de pessoas que estavam sentindo calor e preferiam estar em um ambiente mais frio (21,2%) e a porção inferior esquerda (em cinza claro) mostra a porcentagem de pessoas que gostariam de estar em um ambiente térmico mais quente (17,6%).

Tabela 3 – Frequências e porcentagens observadas das respostas reais de percepção e de preferência térmicas

Preferência térmica	Percepção térmica							Frequência Porcentagem Total
	-3 muito frio	-2 frio	-1 leve frio	0 conforto	1 leve calor	2 calor	3 muito calor	
muito mais frio: -3	0 <i>0,00</i>	0 <i>0,00</i>	0 <i>0,00</i>	3 <i>0,18</i>	6 <i>0,36</i>	4 <i>0,24</i>	3 <i>0,18</i>	16 <i>0,95</i>
mais frio: -2	0 <i>0,00</i>	0 <i>0,00</i>	0 <i>0,00</i>	9 <i>0,53</i>	16 <i>0,95</i>	22 <i>1,31</i>	8 <i>0,47</i>	55 <i>3,26</i>
pouco mais frio: -1	0 <i>0,00</i>	0 <i>0,00</i>	0 <i>0,00</i>	64 <i>3,80</i>	148 <i>8,78</i>	104 <i>6,17</i>	46 <i>2,73</i>	362 <i>21,48</i>
sem mudanças: 0	1 <i>0,06</i>	22 <i>1,31</i>	77 <i>4,57</i>	401 <i>23,80</i>	176 <i>10,45</i>	58 <i>3,44</i>	8 <i>0,47</i>	743 <i>44,09</i>
pouco mais calor: 1	8 <i>0,47</i>	40 <i>2,37</i>	163 <i>9,67</i>	165 <i>9,79</i>	0 <i>0,00</i>	0 <i>0,00</i>	0 <i>0,00</i>	376 <i>22,31</i>
mais calor: 2	4 <i>0,24</i>	22 <i>1,31</i>	34 <i>2,02</i>	34 <i>2,02</i>	0 <i>0,00</i>	0 <i>0,00</i>	0 <i>0,00</i>	94 <i>5,58</i>
muito mais calor: 3	5 <i>0,30</i>	6 <i>0,36</i>	14 <i>0,83</i>	14 <i>0,83</i>	0 <i>0,00</i>	0 <i>0,00</i>	0 <i>0,00</i>	39 <i>2,31</i>
Total	18 <i>1,07</i>	90 <i>5,34</i>	288 <i>17,09</i>	690 <i>40,95</i>	346 <i>20,53</i>	188 <i>11,16</i>	65 <i>3,86</i>	1.685 <i>100,00</i>

Considerando o cruzamento das respostas de percepção térmica e de preferência térmica, a coluna e a linha central (em cinza escuro) correspondem aos votos de conforto: ao somarmos as frequências absolutas e relativas, o resultado mostra 1032 indivíduos, ou 61,2%, das pessoas em conforto. A parte inferior esquerda da tabela representa os votos de desconforto para o frio. A soma destas frequências mostra que há 296 indivíduos, ou 17,6% das pessoas, em desconforto para o frio, e a parte superior direita da tabela representa o desconforto para o calor. A soma das frequências mostra 357 (21,2%) pessoas em desconforto para o calor.

A partir desse cruzamento obtiveram-se 296 pessoas em desconforto para o frio, 1032 pessoas em conforto e 357 pessoas em desconforto para o calor.

### **3.3. Apresentação dos modelos FDL e MRL**

Segundo Werkema e Aguiar (1996), o Modelo de Regressão Linear ou Modelo Linear Geral (MLG), por ser um método que investiga e modela a relação entre as diversas variáveis de um processo, é amplamente utilizado como método estatístico para a geração de modelo preditivo de sensação térmica. Como exemplo têm-se as pesquisas do projeto RUROS (NIKOLOPOULOU, 2004b) e de Monteiro (2008).

Entretanto, o MLG é adequado para a análise de dados contínuos, isto é, para a predição de variáveis respostas contínuas, cuja distribuição é normal, com variância constante (HAIR et al., 2005). Para a análise de dados cuja variável resposta é categórica, isto é, com distribuição Bernoulli, na qual a variável dependente assume apenas um de dois valores - 0 (zero) ou 1 (um) - o MLG não é o modelo mais adequado (ANDRUSKI GUIMARÃES, 2000).

Nesta pesquisa, utilizou-se a Função Discriminante Linear (FDL) e o Modelo de Regressão Logística (MRL) para desenvolver o modelo preditivo.

#### *3.3.1. A Função Discriminante Linear - FDL*

A FDL é uma das técnicas da análise discriminante linear utilizada quando a única variável dependente é categórica, sendo que cada valor representa um grupo de observações. É aplicada em casos nos quais a amostra pode ser dividida em grupos, baseados na variável dependente categórica, permitindo a elaboração de uma função matemática. Pressupõe-se que as variáveis independentes são contínuas e, além disto, para problemas envolvendo mais de dois grupos (como o caso desta pesquisa), abre-se mão da suposição de que as matrizes de covariâncias dos grupos são iguais. São objetivos da análise discriminante: entender diferenças de grupos e prever a probabilidade de que um indivíduo ou objeto pertença a um dos grupos, com base nas variáveis independentes. A partir dos dados de cada elemento e de cada grupo é derivada uma função, que é uma combinação linear das variáveis independentes, e que tem por objetivo discriminar os grupos entre si. Como resultado tem-se um conjunto de coeficientes para cada variável independente que classifica, com máxima precisão, cada elemento observado em um dos grupos pré-definidos (ANDRUSKI GUIMARÃES, 2000).

#### *3.3.2. O Modelo de Regressão Logística - MRL*

O MRL, também chamado de análise *logit* (*logarithmic unit*), é utilizado para relacionar, por meio de um modelo matemático, uma única variável dependente categórica com os fatores (variáveis independentes contínuas e/ou categóricas) que influenciam a ocorrência de um evento. Assim, da mesma forma que a função discriminante linear, a regressão logística é utilizada para identificar o grupo ao qual um indivíduo ou objeto pertence (HAIR et al., 2005). Quando se deseja estabelecer a relação entre a variável resposta (com mais de duas categorias) e as diversas variáveis independentes utiliza-se o MRL politômico.

Para realizar a classificação, a FDL calcula a distância entre o indivíduo e o centro dos grupos que representam as categorias. O indivíduo será classificado no grupo ao qual ele estiver mais próximo. No MRL as equações calculam a probabilidade de um determinado indivíduo pertencer a uma das categorias. Assim, o indivíduo será classificado pela equação que resultar o maior valor, isto é, maior probabilidade de pertencer àquela categoria. Nos dois modelos, o número de equações resulta do número de categorias da variável resposta.

### **3.4. Definição do modelo preditivo para avaliação da sensação térmica em espaços abertos em Curitiba/PR**

Para o desenvolvimento do modelo de predição foi considerada como variável dependente a sensação térmica, agrupada nas três categorias citadas acima (desconforto para o frio, conforto e desconforto para o

calor) e como variáveis independentes as variáveis climáticas: temperatura do ar (Ta), umidade do ar (UR), umidade absoluta (UA), velocidade do ar (Va), radiação solar (RS) e temperatura radiante média (Trm).

A umidade absoluta (UA) foi considerada como variável do modelo, pois fisiologicamente ela é determinante na manutenção da temperatura interna do corpo, influenciando o controle da temperatura interna pela respiração e pela transpiração, sendo a variável mais apropriada para avaliar o efeito fisiológico da umidade. A umidade absoluta foi calculada a partir dos valores de temperatura do ar e umidade relativa registrados nos levantamentos de campo, considerando a pressão atmosférica a 917 metros (altitude média de Curitiba), utilizando as equações da tabela D.1 do Anexo D da ISO 7726 (1998, p.39).

Em relação ao efeito da radiação solar, foram testados os valores monitorados de radiação solar e os calculados de temperatura radiante média. Apesar da temperatura radiante média ser utilizada nos índices de conforto, por considerar o efeito da radiação difusa e da radiação solar no ambiente urbano, testou-se os valores de radiação solar por esta ser uma das variáveis monitoradas em estações meteorológicas oficiais, sendo de fácil obtenção para a utilização no modelo.

Para testar a significância estatística das variáveis climáticas na sensação térmica foi utilizada a análise de regressão linear e a análise de variância (ANOVA). A ANOVA foi realizada para cada uma das variáveis independentes (Ta, Va, RS, Trm, UR e UA) em função da variável resposta (sensação térmica). A partir dos resultados da ANOVA, selecionaram-se as variáveis com importância significativa para fazer parte do modelo de predição da sensação térmica. Os resultados obtidos pelos modelos FDL e MRL foram comparados em relação ao acerto total (mesma proporção de pessoas nas 3 categorias – frio, categoria 1; conforto, categoria 2; calor, categoria 3 – para o caso real versus voto predito pelo modelo, conforme o Quadro 1) e em relação ao acerto por categoria (razão entre o número de observações classificadas corretamente e o número de observações na categoria) para que pudesse ser definido qual dos dois modelos é o mais adequado para prever a sensação térmica da população de Curitiba.

#### 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

As fracas correlações entre as variáveis climáticas e a sensação térmica, apresentadas na Tabela 4, indicam que somente uma variável não é suficiente para explicar a sensação térmica e mostram que há grande dispersão nos dados. Dentre as variáveis apresentadas, as que têm maior correlação com a sensação térmica são a temperatura do ar ( $r=0,57$ ) e a temperatura radiante média ( $r=0,37$ ). A correlação entre a sensação térmica e a velocidade do ar é negativa, indicando que, à medida que a velocidade do ar aumenta, a sensação térmica diminui. O mesmo ocorre com a umidade relativa. A correlação entre a sensação térmica e as demais variáveis climáticas é positiva, indicando que quanto maior a temperatura, a radiação solar e a temperatura radiante média, mais alto será o desconforto para o calor.

A comparação entre as correlações da umidade relativa (UR) e da umidade absoluta (UA) com a sensação térmica mostra que as duas variáveis apresentam correlação fraca, porém, a umidade absoluta apresenta melhor correlação. Em relação ao efeito da radiação, a temperatura radiante média (Trm) apresenta melhor correlação com a sensação térmica que a radiação solar (RS). O nível de significância mostra que as variáveis com maior importância na sensação térmica são; Ta, Trm e UA.

Tabela 4 – Correlações entre as variáveis climáticas e a sensação térmica

		Ta	Va	RS	Trm	UR	UA
<b>Sensação térmica</b>	<b>Correl. Pearson (r)</b>	0,572**	-0,055*	0,228**	0,375**	-0,152**	0,449**
	<b>Sig. (bi-caudal)</b>	0,000	0,0251	0,000	0,000	0,000	0,000
	<b>N</b>	1685	1685	1685	1685	1685	1685

\*\* Correlação é significativa ao nível de 0,01

\* Correlação é significativa ao nível de 0,05

Considerando-se os baixos valores de coeficiente de correlação encontrados, a atenção analisou-se a variabilidade dentro de cada um dos três grupos, utilizando-se a Análise da Variância (ANOVA). Para cada variável independente foi testada a hipótese nula de que não há diferenças significativas entre as três médias, uma para cada grupo. Na Tabela 5 estão apresentados os resultados da ANOVA. Com base em tais resultados, pode-se afirmar que pelo menos uma das três médias de cada variável é significativamente diferente das demais.

Os valores para a estatística F, de Fisher, da radiação solar e da temperatura radiante média mostram que a Trm ( $F=140,45$ ) tem maior variabilidade que a RS ( $F=52,9$ ). Analogamente, a UA ( $F=212,98$ ) apresenta maior variabilidade que a UR ( $F=19,91$ ). Pelo resultado da ANOVA as três variáveis que tem maior variabilidade interna são: Ta, Trm e UA.

Tabela 5– ANOVA entre as variáveis climáticas e a sensação térmica

		Soma dos quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado médio	F	Valor-p
Ta	Entre grupos	16.607,710	2	8.303,855	410,310	0,000
	Dentro do grupo	34.040,329	1.682	20,238		
	Total	50.648,040	1.684			
Va	Entre grupos	1,327	2	0,664	3,085	0,046
	Dentro do grupo	361,841	1.682	0,215		
	Total	363,168	1.684			
RS	Entre grupos	9.108.977,164	2	4.554.488,582	52,900	0,000
	Dentro do grupo	144.814.842,200	1.682	86.096,815		
	Total	153.923.819,364	1.684			
Trm	Entre grupos	46.456,291	2	23.228,145	140,449	0,000
	Dentro do grupo	278.178,215	1.682	165,385		
	Total	324.634,505	1.684			
UR	Entre grupos	6.502,503	2	3.251,251	19,911	0,000
	Dentro do grupo	274.655,071	1.682	163,291		
	Total	281.157,574	1.684			
UA	Entre grupos	3.352,258	2	1.676,129	212,978	0,000
	Dentro do grupo	13.237,263	1.682	7,870		
	Total	16.589,522	1.684			

Foram testadas diferentes combinações das seis variáveis climáticas no modelo. A quantidade de variáveis independentes foi definida em função do número de categorias da variável resposta, ou seja, três categorias. Para aplicar a FDL e o MRL é necessário que haja pelo menos a mesma quantidade de variáveis independentes que o número de categorias da variável dependente. Assim, foram testadas oito combinações de variáveis para os dois modelos, cada uma com pelo menos três variáveis, conforme mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 – Combinações de variáveis testadas nos modelos FDL e MRL

Ta, Va, RS, UR	Ta, Va, Trm, UR	Ta, RS, UR	Ta, Trm, UR
Ta, Va, RS, UA	Ta, Va, Trm, UA	Ta, RS, UA	Ta, Trm, UA

Na Tabela 7 estão as taxas de acerto total de cada uma das oito combinações de variáveis para cada um dos modelos. O acerto total representa a razão entre o número de observações classificadas corretamente e o número total de observações. A comparação entre os dois modelos mostra que não há grande variação da taxa de acerto total e que o MRL apresentou as maiores taxas, em torno de 65%. Na FDL as combinações com quatro variáveis apresentam melhores resultados que as combinações com três variáveis, apesar da diferença não ser significativa.

Tabela 7 – Porcentagem de acerto total de cada um dos modelos para as combinações de variáveis

Variáveis independentes	Modelos		Variáveis independentes	Modelos	
	FDL	MRL		FDL	MRL
Ta, Va, RS, UR	52,9	65,4	Ta, UR, RS	51,0	65,3
Ta, Va, RS, UA	52,9	65,3	Ta, UA, RS	51,0	65,4
Ta, Va, Trm, UR	52,6	65,0	Ta, UR, Trm	50,2	64,9
Ta, Va, Trm, UA	53,1	64,9	Ta, UA, Trm	50,0	64,9

O Quadro 1 apresenta a matriz de classificação da FDL e do MRL para a seguinte combinação de variáveis; Ta, Va, RS e UR. Apesar da taxa total de acertos ser maior no MRL (Tabela 7), verifica-se que o MRL classifica a maior parte dos indivíduos na categoria 2 (conforto), colocando 68% dos indivíduos da categoria 1 (desconforto para o frio) na categoria 2 (conforto) e 67% das pessoas da categoria 3 (desconforto para o calor) na categoria 2. Com a FDL ocorre o inverso. O modelo retira pessoas da categoria de conforto e os classifica em desconforto para o frio (32%) e em desconforto para o calor (30%), acertando somente 38% das pessoas corretamente. Entretanto, a FDL tem grande taxa de acerto na classificação das pessoas na categoria 1 (76%) e na categoria 3 (75%).

A Tabela 8 abaixo agrupa os resultados da FDL e do MRL em termos de percentuais de acerto para as três categorias: categoria 1 (desconforto para o frio), categoria 2 (conforto) e categoria 3 (desconforto para o calor). Permanece o padrão observado no Quadro 1, o MRL classifica acertadamente a maior parte dos indivíduos na categoria 2, entre 86 e 88%; enquanto que a FDL distribui as respostas nas categorias 1 e 3,



com baixo grau de acerto para a categoria 2, entre 32 e 39%. De modo geral, não há grande variação nos graus de acerto por categoria. Assim, é possível escolher as equações com base nas variáveis disponíveis para a classificação.

MRL				FDL			
Categoria observada	Categoria predita			Categoria observada	Categoria predita		
	1	2	3		1	2	3
1	31	68	1	1	76	23	1
2	6	87	7	2	32	38	30
3	1	67	32	3	4	21	75

Quadro 1 – matriz de classificação da FDL e do MRL, considerando as variáveis Ta, Va, RS, UR

Tabela 8 – Quadro comparativo para os diversos grupos de variáveis, com grau de acerto para as categorias segundo a classificação pela FDL e pelo MRL

Grupo de variáveis	Modelos	% Acerto Categoria 1	% Acerto Categoria 2	% Acerto Categoria 3
Ta, Va, RS, UR	FDL	76	38	75
	MRL	31	87	32
Ta, Va, RS, UA	FDL	75	39	74
	MRL	32	86	32
Ta, Va, Trm, UR	FDL	76	37	78
	MRL	30	86	33
Ta, Va, Trm, UA	FDL	75	38	79
	MRL	30	86	33
Ta, RS, UR	FDL	77	34	79
	MRL	28	88	31
Ta, RS, UA	FDL	77	34	80
	MRL	28	88	31
Ta, Trm, UR	FDL	77	32	79
	MRL	29	88	28
Ta, Trm, UA	FDL	76	33	79
	MRL	29	88	28

## 5. APRESENTAÇÃO DO MODELO PREDITIVO PARA AVALIAÇÃO DA SENSAÇÃO TÉRMICA EM ESPAÇOS ABERTOS EM CURITIBA/PR

Das oito combinações testadas escolheu-se como modelo aquele que tem como variáveis independentes a Ta, a Va, a RS e a UR, devido à facilidade de obtenção dessas variáveis, uma vez que são monitoradas em estações meteorológicas oficiais.

O número de funções discriminantes, gerados pela FDL, resultante da estimação dos parâmetros dos modelos é igual ao número de grupos (categorias) da variável resposta (sensação térmica). As funções que apresentam o menor poder discriminante são descartadas.

Nesta pesquisa há  $k = 3$  grupos e  $m = 4$  variáveis independentes, o que resulta em três funções discriminantes, cada uma com quatro variáveis, dadas por:

$$Y_1 = 0,2144 \times Ta - 0,4173 \times Va + 0,0007 \times RS + 0,0022 \times UR \quad \text{Equação 1}$$

$$Y_2 = -0,0636 \times Ta - 0,4852 \times Va + 0,0033 \times RS + 0,0185 \times UR \quad \text{Equação 2}$$

$$Y_3 = 0,0466 \times Ta + 0,6919 \times Va + 0,0002 \times RS + 0,0735 \times UR \quad \text{Equação 3}$$

onde:

$Y$  = é a distância do indivíduo ao centro dos grupos

$$Ta = [\beta_1 (x_1 - \overline{Ta}_1)]^2 + [\beta_2 (x_1 - \overline{Ta}_2)]^2 + [\beta_3 (x_1 - \overline{Ta}_3)]^2$$

$$Va = [\beta_1 (x_2 - \overline{Va}_1)]^2 + [\beta_2 (x_2 - \overline{Va}_2)]^2 + [\beta_3 (x_2 - \overline{Va}_3)]^2$$

$$RS = [\beta_1 (x_3 - \overline{RS}_1)]^2 + [\beta_2 (x_3 - \overline{RS}_2)]^2 + [\beta_3 (x_3 - \overline{RS}_3)]^2$$

$$UR = [\beta_1 (x_4 - \overline{UR}_1)]^2 + [\beta_2 (x_4 - \overline{UR}_2)]^2 + [\beta_3 (x_4 - \overline{UR}_3)]^2$$

Entretanto, somente são utilizadas as funções que apresentam o maior poder discriminante. Neste caso, respectivamente, 0,5306, 0,011 e 0,0000. Assim, a terceira função discriminante é descartada.

Para classificar uma nova observação (indivíduo) em uma das três categorias de sensação térmica é necessário realizar os seguintes passos:



1. Calcular a diferença entre a nova observação e a média da variável em cada uma das três categorias. Na Tabela 9 estão apresentadas as médias, total e de cada categoria, das variáveis climáticas, das quais devem ser subtraídos os dados da nova observação;
2. Multiplicar a diferença pelo coeficiente discriminante ( $\beta$ ) (equações 1, 2 e 3), das variáveis climáticas para as três categorias;
3. Elevar o resultado dessa multiplicação ao quadrado;
4. Somar o resultado obtido para o item 3 acima, para cada uma das categorias;
5. Adotar a categoria de menor valor para o item 4 acima.

Tabela 9 – Médias total e por categoria das variáveis independentes Ta, Va, RS e UR

Variável	Média total	Média na categoria 1 (k=1)	Média na categoria 2 (k=2)	Média na categoria 3 (k=3)
Temperatura do ar (°C)	19,9	14,5	19,9	24,6
Velocidade do ar (m/s)	1,0	1,0	1,0	0,9
Radiação Solar (W/m <sup>2</sup> )	280	202	256	417
Umidade relativa (%)	56	60	56	54

## 6. CONCLUSÕES

Dois modelos estatísticos foram testados para o desenvolvimento do modelo preditivo para avaliação da sensação térmica em espaços abertos em Curitiba, a Função Discriminante Linear (FDL) e o Modelo de Regressão Logístico (MRL). Estes dois métodos são denominados de métodos de discriminação ou classificação, pois classificam indivíduos de uma amostra em categorias ou grupos pré-definidos.

A comparação das taxas de acerto (total e por categoria) obtidas pela FDL e pelo MRL mostrou que os resultados obtidos nos dois métodos são semelhantes, independentemente da combinação das variáveis (Ta, Va, RS, Trm, UR e UA).

O MRL obteve maior porcentagem (em torno de 65%) de acerto total – razão entre o número de observações classificadas corretamente e o número total de observações - porém, a taxa de acerto por categorias (razão entre o número de observações classificadas corretamente e o número de observações na categoria) foi baixa. Em geral, o MRL classifica a maioria dos indivíduos na categoria 2 (conforto), classificando corretamente aproximadamente 30% de indivíduos nas categorias 1 e 3. A FDL tem taxa de classificação total mais baixa que o MRL, em torno de 52%. Entretanto, a FDL tem maior porcentagem de acertos por categorias, e por isso foi escolhida como o modelo mais adequado para avaliar a sensação térmica de usuários de espaços abertos em Curitiba/PR.

A escolha das variáveis independentes pode ser feita com base nos dados disponíveis para análise. Para o modelo preditivo de Curitiba, optou-se por utilizar a temperatura do ar (Ta), a umidade relativa (UR), a velocidade do ar (Va) e a radiação solar (RS).

A taxa de acerto de aproximadamente 50% obtida pela FDL é similar ao resultado obtido por Nikolopoulou e Steemers (2003) ao analisar aspectos psicológicos relacionados à sensação térmica. Os autores afirmam que as variáveis climáticas têm forte influência na sensação térmica, mas estas explicam aproximadamente 50% da variação entre a avaliação objetiva e subjetiva de conforto. O restante pode ser explicado por questões de adaptações físicas, fisiológicas e psicológicas. O ambiente é percebido por cada pessoa de maneira diferente, sendo que a resposta humana ao estímulo físico não está diretamente relacionada à magnitude deste estímulo, mas depende da informação que as pessoas têm de determinada situação. Diferente dos aspectos físicos que podem ser quantificados, não é possível medir o efeito das adaptações psicológicas. Entretanto, o entendimento da relação entre estes fatores psicológicos pode ajudar a verificar se o desenho urbano os influencia, e vice-versa.

Como possíveis aplicações dos resultados da pesquisa, sugerem-se: aplicação do modelo preditivo complementarmente a análise de ilhas de calor em Curitiba, com efeitos em termos de sensação térmica adicionalmente a diferenças de temperatura urbano-rural; aplicação do modelo preditivo na avaliação local de situações urbanas (a partir de dados microclimáticos medidos in loco); aplicação do modelo preditivo na previsão de modificações locais da geometria urbana, como procedido no projeto RUROS (NIKOLOPOULOU, 2004b); contribuição metodológica para a área de conforto em espaços abertos, com a introdução de modelo categórico de sensação térmica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALI-TOUDERT, F.; MAYER, H. Effects of street design on outdoor thermal comfort. In: Kiss, A., Mezósi, G., Sümeghy, Z. (eds.). Landscape, Environment and Society. Studies in Honour of Professor Ilona Bárány-Kevei on the Occasion of Her Birthday. SZTE Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék, Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Szeged, p.45-55, 2006.

- ANDRUSKI GUIMARÃES, Inácio. Construção e avaliação de uma regra de reconhecimento e classificação de clientes de uma instituição financeira com base na análise multivariada. 2000. 142 f. **Dissertação** (Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.
- ASHRAE. **Standard 55** - Thermal environmental conditions for human occupancy. ASHRAE, Atlanta, 2004.
- BRUSANTIN, Giovana N.; FONTES, Maria S. G. C. Conforto térmico em espaços públicos de permanência: uma experiência na cidade de Bauru-SP. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN: ENTAC, 2009. 1 CD-ROM.
- COSTA, Angelina D. L. Análise bioclimática e investigação do conforto térmico em ambientes externos: uma experiência no bairro de Petrópolis, em Natal/RN. 2003. 183f. **Dissertação** (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.
- FANGER, Pohl O. Thermal Comfort. Florida: Robert E. Krieger Publishing Co., 1982.
- GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design**. Nova Iorque: ITP, 1998.
- HAIR, Joseph F.; ANDERSON, Rolph E.; TATHAM, Roland L.; BLACK, William C. **Análise Multivariada de Dados**. Trad. Adonai Schlup Sant'Anna e Anselmo Chaves Neto. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. p. 32.
- HIRASHIMA, Simone Q. da S. Calibração do índice de conforto térmico temperatura fisiológica equivalente PET para espaços abertos do município de Belo Horizonte, MG. 2010. 225f. **Dissertação** (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 7726. **Ergonomics of the thermal environments – Instruments for measuring physical quantities**. Genève: ISO, 1998.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 10551. **Ergonomics of the thermal environments – Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales**. Genève: ISO, 1995.
- JOHANSSON, E. Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco. **Building and Environment**, v.41, p.1326–1338, 2006. [doi:10.1016/j.buildenv.2005.05.022](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.05.022)
- JOHANSSON, E.; EMMANUEL, R. The influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo, Sri Lanka. **International Journal of Biometeorology**, v.51, p. 119-133, 2006. [doi:10.1007/s00484-006-0047-6](https://doi.org/10.1007/s00484-006-0047-6)
- KATZSCHNER, L. The contribution of urban climate studies to a new urbanity. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 8., **Anais...** Maceió: ANTAC, 2005.
- KATZSCHNER, L.; MÜLDER, J. Regional climatic mapping as a tool for sustainable development. **Journal of Environmental Management**, v.87, p.262-267, 2005. [doi:10.1016/j.jenvman.2006.06.026](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.06.026)
- MONTEIRO, Leonardo M. Modelos preditivos de conforto térmico: quantificação de relações entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e projeto de espaços abertos. 2008. 382 f. **Tese** (Doutorado em Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- NIKOLOPOULOU, Marialena. **Outdoor Comfort**. In: Steemers, Koen; Steane, Mary Ann (eds.). *Environmental Diversity in Architecture*, Chapter 7, p.101-119, Spon Press: Oxford, 2004a.
- NIKOLOPOULOU, Marialena. **Designing open spaces in the urban environment: a bioclimatic approach**. Grécia, CRES, 2004b.
- NIKOLOPOULOU, Marialena; STEEMERS, Koen. Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. In: **Energy and Buildings**, v.35, p.95-101, 2003. [doi:10.1016/S0378-77880200084-1](https://doi.org/10.1016/S0378-77880200084-1)
- NIKOLOPOULOU, M.; LYKOURDIS, S. Thermal comfort in outdoor urban spaces: Analysis across different European countries. **Building and Environment**, v.41, p.1455-1470, 2006. [doi:10.1016/j.buildenv.2005.05.031](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.05.031)
- PICOT, X. Thermal comfort in urban spaces: impact of vegetation growth Case study: Piazza della Scienza, Milan, Italy. **Energy and Buildings**, v.36, p.329–334, 2004. [doi:10.1016/j.enbuild.2004.01.044](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.01.044)
- ROSSI, Francine A.; KRÜGER, Eduardo L.; BRÖDE, Peter. Definição de faixas de estresse térmico para espaços abertos em Curitiba, Paraná. In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 11, 2011, Búzios, RJ. **Anais...** Búzios, RJ: ENTAC, 2011. 1 CD-ROM.
- ROSSI, Francine A.; KRÜGER, Eduardo L.; NIKOLOPOULOU, Marialena A influência da configuração urbana no microclima e sensação térmica em ruas de pedestre de Curitiba, Paraná. In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 11, 2011, Búzios, RJ. **Anais...** Búzios, RJ: ENTAC, 2011. 1 CD-ROM.
- SHASHUA-BAR, L.; HOFFMAN, M. E. Vegetation as a climatic component in the design of an urban street An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. **Energy and Buildings**, v.31, p.221–235, 2000. [doi:10.1016/S0378-7788\(99\)00018-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(99)00018-3)
- SHIMAKAWA, Andréa H.; BUENO-BARTHOLOMEI, Carolina L. Aplicação dos modelos preditivos de conforto PET e PMV em Presidente Prudente-SP: estudo de caso - parque do povo. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN: ENTAC, 2009. 1 CD-ROM.
- SHINYASHIKI, Letícia A. V.; BUENO-BARTHOLOMEI, Carolina L. Praça Nove de Julho: o conforto térmico em espaços públicos abertos na cidade de Presidente Prudente – SP. In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 11, 2011, Búzios, RJ. **Anais...** Búzios, RJ: ENTAC, 2011. 1 CD-ROM.
- SOUZA, Léa Cristina L.; TENENTE, Cezar M.; GIUNTA, Mariene B.; NAKATA, Camila. Fator de visão do céu e intensidade de ilhas de calor na escala do pedestre. **Ambiente Construído**, v.10, n.4, p.155-167, out./dez. 2010. ENTAC: Porto Alegre, 2010.
- THORSSON, S.; LINDBERG, F.; ELIASSON, I.; HOLMER, B. Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting. **International Journal of Biometeorology**, v.27, p.1983–1993, 2007. [doi:10.1002/joc.1537](https://doi.org/10.1002/joc.1537)
- WERKEMA, Maria Cristina C.; AGUIAR, Silvio. **Análise de regressão: como entender o relacionamento entre as variáveis de um processo**. Fundação Christiano Ottoni: Escola de Engenharia da UFMG, 1996.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e à CAPES pelo apoio financeiro sob a forma de Projeto Universal, concessão de bolsas de mestrado, doutorado e doutorado sanduíche.