

## ANÁLISE CLIMÁTICA EM BELO HORIZONTE PELA VARIAÇÃO DO CONFORTO A PARTIR DE UMA SÉRIE TEMPORAL

### ANALYSIS OF CLIMATE CHANGE IN THE BELO HORIZONTE OF COMFORT FROM A SERIES

**Vandeir Robson da Silva Matias**

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais  
Doutor em Geografia pela UFMG  
[vandeir@deii.cefetmg.br](mailto:vandeir@deii.cefetmg.br)

**Júlia Moreira Costa**

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais  
[jujuba.m.c@hotmail.com](mailto:jujuba.m.c@hotmail.com)

#### RESUMO

Em áreas com intensa urbanização, o monitoramento da sensação térmica é necessário para posteriormente propor medidas de solução para os problemas de saúde vinculados as possíveis variabilidades climáticas. Os objetivos deste trabalho foram: analisar a variabilidade climática no centro urbano de Belo Horizonte, localizado a sudoeste do centro geográfico de Minas Gerais, na zona climática intertropical; relacionar as variações do clima ao conforto térmico e à saúde (sintomas) na população urbana. A análise foi feita considerando-se o conforto térmico na série temporal de 1911 a 2009, calculado através do Índice de Conforto Térmico. Foram estruturadas tabelas e gráficos no aplicativo *Microsoft Office Excel* para avaliar a evolução do conforto térmico na cidade. Os resultados mostraram que na série temporal estabelecida a temperatura em Belo Horizonte aumentou, assim como o Índice de Conforto Térmico, quando comparados os primeiros e últimos dez anos da série, passou para uma faixa de resposta ao conforto mais negativa. Por fim, foi criada uma metodologia e um *software (Confortplus)* de avaliação da sensação térmica voltada para a zona intertropical, que associa faixas temperatura e umidade relativa do ar associados a efeitos e sintomas na saúde.

**Palavras-chave:** Clima Urbano, climate variability, Conforto Térmico.

#### ABSTRACT

In areas of intense urbanization, the monitoring of thermal sensation is necessary to propose further measures for solving the health problems linked to possible climate variability. Our objectives were: to analyze climate change in the urban center of Belo Horizonte, located southwest of the geographic center of Minas Gerais, in the inter-tropical climate zone, climate variations relate to thermal comfort and health (symptoms) in the urban population. The analysis was made considering the thermal comfort in the time series from 1911 to 2009, calculated using the Thermal Comfort Index. Were structured tables and charts in Microsoft Office Excel application to assess the evolution of thermal comfort in the city. The results showed that in the temperature series established in Belo Horizonte increased as the thermal comfort index, when comparing the first and last ten years of the series, dropped to a range of more negative response to the comfort. Finally, we created a methodology and a software (Confortplus) assessment of thermal sensation toward the intertropical zone, which combines tracks temperature and humidity associated with health effects and symptoms.

**Keywords:** Urban Climate, Climate Change, Thermal Comfort

---

---

Recebido em: 08/02/2012

Aceito para publicação em: 16/05/2012

## INTRODUÇÃO

A sociedade contemporânea segundo Assis (2010) pauta-se na utilização indiscriminada de recursos naturais, índices de desenvolvimento econômico, crescimento dos centros urbanos e da produção industrial, fatores estes que comprovadamente ameaçam ultrapassar a capacidade de suporte do planeta. Percebe-se o crescimento e necessidade de discussões e estudos a respeito das questões ambientais, principalmente no campo variabilidade climática e da influência destas sobre o bem estar dos seres vivos, sob a saúde do planeta e do ser humano.

O cenário da variabilidade climática apresenta-se bastante controverso quando se trata da atribuição de responsabilidades sobre este, parte da literatura atribui às mudanças naturais e passagem das eras geológicas, enquanto outra parte afirma ter o homem grande participação no agravamento e desencadeamento da variabilidade climática e eventos extremos delas decorrentes. A concordância geral é que mudanças vêm ocorrendo e que estas possuem conseqüências sobre as sociedades, nos campos social e econômico, no meio rural e urbano e acima destes sobre a saúde e qualidade de vida dos habitantes da Terra (WELZER, 2010; CONFALONIERE, 2007; MENDONÇA, 2003).

Para Pinheiro (2011) As cidades apresentam como características a concentração de pessoas, a modificação do meio natural pelas ações antrópicas, construções, lançamento de rejeitos, atividade industrial intensa, supressão das áreas verdes, enfim, toda uma gama de atividades mutáveis que em interação e com fatores climáticos estáticos (relevo, altitude, topografia, vegetação, superfície do solo, entre outros). Tal interação leva à geração de:

(...) um clima próprio (clima urbano), resultante da interferência de todos os fatores que se processam sobre a camada de limite urbano e que agem no sentido de alterar o clima em escala local. Seus efeitos mais diretos são percebidos pela população através de manifestações ligadas ao conforto térmico, à qualidade do ar, aos impactos pluviais e a outras manifestações capazes de desorganizar (MONTEIRO, 1976 apud SOUZA, 2010, p. 28).

O estudo do clima urbano deve então ser sistematizado em escalas de análise temporal e espacial (ANDRADE, 2005; SOUZA, 2010), de forma que se possam estabelecer as conexões entre os fatores que levam à aparente uniformidade do clima e das constantes mudanças do tempo neste sistema tão complexo. Assim, é possível traçar a relação entre as mudanças do clima e a qualidade de vida nos centros urbanos, ou seja, saúde do ser humano.

Outra constatação a respeito dos centros urbanos pode ainda ser feita: a temperatura do centro urbano é mais alta do que a de seu entorno. Tal fato está diretamente ligado à estrutura física urbana e às atividades ali exercidas. (ANDRADE, 2005; ASSIS, 2010; BIAS; BAPTISTA; LOMBARDO, 2003; SOUZA, 2010).

O ser humano é um animal homeotérmico e conta com um sistema de termo regulação corporal (IKEFUTI; AMORIM, 2009) desta forma, reage às mudanças de temperatura, umidade, ventilação, dentre outros fatores climáticos, de variadas formas sofrendo alterações fisiológicas e psicológicas que interferem na saúde do indivíduo e na sua forma de perceber o ambiente. A reação às condições climáticas compreende o trabalho do sistema termorregulador, desta forma, condições climáticas ideais ao equilíbrio da temperatura corporal humana dispensariam este trabalho. O estado de “não trabalho” é denominado conforto térmico. (COSTA, 2002; LAMBERTS, 2005; FROTA; SCHIFFER, 2001).

O conforto térmico é avaliado por diferentes variáveis (LAMBERTS, 2005; FROTA; SCHIFFER, 2001), sendo a temperatura a principal delas (LAMBERTS, 2005) e pode ser calculado ou analisado através de ferramentas que quantificam ou qualificam o conforto térmico. Quantificado e qualificado, por índices de conforto térmico (subjetivos, biofísicos ou fisiológicos) (FROTA; SCHIFFER, 2001) as faixas de conforto ou desconforto térmico podem ser relacionadas à saúde humana, ou seja, os efeitos das condições climáticas sobre o homem (PEREIRA, 2008; SOUZA; NETO, 2008; SILVA; SOUZA, 2010; MATIAS; COSTA, 2010).

Trata-se como clima uma série de estados atmosféricos sobre determinado lugar em sua sucessão habitual (SORRE, 2006). Entretanto, mais do que a sucessão de eventos meteorológicos em sua natureza mais simples e sucessivamente, o clima apresenta mudanças (assim como a atmosfera em sua instabilidade) considerando-se as escalas temporal e espacial e ainda a influência biológica direta e indireta sobre este.

Tratando da variação temporal do clima remete-se primeiramente às mudanças do planeta como todo, para Eorola (2003) o clima oscila e muda naturalmente. A variação temporal observada relaciona-se à passagem do tempo cronológico, referente à rotação do planeta, gerando os dias e as diferentes estações. Quanto às mudanças espaciais têm-se evidentemente as diferenças entre regiões do planeta, variando entre hemisférios e zonas, e com particularidades. De acordo com Souza citado em Pinheiro:

(...) como relevo, latitude, altitude, distância ou proximidade do mar, posição geográfica e vegetação, são estáticos e influenciam o clima em menor grau de intensidade, em mesoescala. Quando a escala do estudo torna-se local (...) passam a ser relevantes nas alterações dos aspectos ambientais. (SOUZA, 2010, apud PINHEIRO, 2011, p. 28).

Os seres vivos existentes em um local possuem capacidade de modificar o meio e assim o clima, o ser humano aparece como aquele com maior potencial modificador, estruturando novos ambientes, alterando paisagens, aglomerando-se em centros e construindo estruturas que atuarão como fatores limitantes e modificadores do clima, ocorrendo a formação de microclimas alterados pela atividade antrópica.

Segundo Souza (2010) denomina-se como mudança climática variações do clima da Terra em escala global ou regional ao longo do tempo. Atualmente vem se discutindo cada vez mais sobre as oscilações do clima. Para Sá, 2008:

Somos confrontados com notícias, documentários, ações de divulgação e de formação e até com publicidade relacionadas com a problemática das mudanças climáticas. Num primeiro olhar, rápida e facilmente compreendemos que o aumento dos chamados gases de efeito de estufa constitui um problema sério para o equilíbrio do clima global do nosso planeta e, necessariamente, para os seres que nele habitam, com destaque para o Homem. (SÁ, 2008, p. 1)

Como dito anteriormente parte das variações do clima veem da dinâmica natural da Terra. Contudo, é inegável a contribuição antrópica no agravamento das modificações climáticas. Como afirma Carvalho, 2006:

Perante um comportamento climático tão abrupto como aquele que se verifica continuamente, num período de tempo tão curto (...) parece demasiadamente evidente que estas mudanças não terão somente uma origem natural e será o resultado do comportamento do ser humano. (CARVALHO, 2006, pp. 25-26)

A comunidade científica vem há décadas produzindo uma intensa carga de estudos a respeito do assunto, na busca de encontrar as causas, possíveis soluções e também de atribuir responsabilidades sobre as variações do clima. O fato é que a mudança do clima é uma realidade e as modificações climáticas que se aproximam provocarão acontecimentos atmosféricos extremados progressivamente mais fortes (WELZER, 2010) com consequências sobre as áreas sociais, econômicas e da saúde de forma direta ou indireta (WELZER, 2010; CONFALONIERE, 2007).

Dados fornecidos pelo chamado IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) no relatório de 2007 videnciam o aumento da temperatura média global. De acordo com os pesquisadores desde o primeiro relatório do IPCC em 1990, as projeções avaliadas sugeriram aumentos da temperatura média global entre cerca de 0,15 e 0,3°C por década para 1990 a 2005. No relatório constata ainda que a ocorrência de dias e noites quentes mais quentes e de ondas de calor se tornaram mais quentes nos últimos 50 anos.

Trabalha-se então, a ideia de que a variabilidade climática é decorrente da associação entre a dinâmica natural do planeta e de ações antrópicas modificantes. E que tais mudanças possuem efeitos diretos ou indiretos sobre a saúde, bem-estar e segurança dos seres vivos. Lowry (1977) citado por Andrade (2005) e Assis (2010), adota a seguinte equação para sua caracterização do clima urbano:

$$M, i, t, x = C, i, t, x + L, i, t, x + U, i, t, x$$

Em que  $M$  é o valor assumido por uma dada variável climática, no local urbano  $x$ , no momento  $t$ , e com tipo de tempo  $i$ ,  $C$  é a componente regional,  $L$  a componente local devida aos elementos não urbanos, como relevo, e  $U$  a componente urbana propriamente dita. Assim se

aceita que o clima urbano é condicionado pela conexão entre os fatores da esfera urbana e o meio e clima circundantes a esta.

De acordo com Assis (2010) no meio urbano ocorrem mudanças continuamente, já que este é um sistema complexo, aberto a fluxos de energia e massa, com densa área construída, arquitetura e atividade industrial de caráter modificante da meteorologia em escala local e das propriedades da baixa troposfera.

A sistematização dos estudos da climatologia urbana, baseados no trabalho de Monteiro (1976) compreende segundo Assis (2010) a classificação do clima urbano em diversas escalas de abordagem, constituindo assim o *Sistema Clima Urbano* (S.C.U.), que compreende a caracterização hierárquica das mudanças constantes deste clima particular. Ver figura 1.

Figura 1 – SISTEMA CLIMA URBANO

Sistema Clima Urbano: articulações dos subsistemas segundo os canais de percepção

Subsistemas Canais / Caracterização	I Termodinâmico Conforto Térmico	II Físico-Químico Qualidade do Ar	III Hidrometeorológico Impacto Meteorológico
Fonte	Atmosfera Radiação Circulação Horizontal	Atividade urbana Veículos automotores Indústrias Obras-Limpeza	Atmosfera Estados especiais (desvios rítmicos)
Trânsito no Sistema	Intercâmbio de operador e operando	De operando ao operando	Do operador ao operando
Mecanismo de Ação	Transformação no sistema	Difusão através do sistema	Concentração no sistema
Projeção	Interação Núcleo Ambiente	Do núcleo ao ambiente	Do ambiente ao núcleo
Desenvolvimento	Contínuo (permanente)	Cumulativo (renovável)	Episódio (eventual)
Observação	Meteorológica especial (trabalhos de campo)	Sanitária e meteorologia especial	Meteorológica Hidrológica (trab. de campo)
Correlações disciplinares e tecnológicas	Bioclimatologia Arquitetura Urbanismo	Engenharia sanitária	Engenharia sanitária e infra-estrutura urbana
Produtos	Ilha de Calor Ventilação Aumento de Precipitação	Poluição do ar	Ataques à integridade urbana
Efeitos diretos	Desconforto e redução do desempenho humano	Problemas sanitários, doenças respiratórias, oftalmológicas, etc.	Problemas de circulação e comunicação urbana
Reciclagem adaptativa	Controle do uso do solo Tecnologia de conforto habitacional	Vigilância e controle dos agentes de poluição	Aperfeiçoamento da infra-estrutura urbana e regularização fluvial. Uso do Solo
Responsabilidade	Natureza e Homem	Homem	Natureza

Fonte: (MONTEIRO, 1976 apud ASSIS, 2010)

Dessa forma é possível efetuar a análise, tanto individual, quanto por conexão dos fatores que sofrem a ação do clima urbano e também de como este sofre interferência em sua formação e comportamento por estes fatores.

Após definir uma sistematização de estudo do clima surge necessidade de se definir a área de abrangência espacial e temporal deste estudo. Tal necessidade, segundo Andrade (2005) gerou na literatura especializada uma série de conceitos erroneamente generalistas a respeito do clima urbano. Dessa forma, Andrade (2005) apresenta os termos de diferenciação do clima

e mais recorrentes da literatura e os define sem cercear forçadamente suas áreas de abrangência. A primeira, *microclima*, corresponde a uma área sobre a influência de elementos urbanos individuais e dos seus arranjos mais elementares (edifícios e as suas partes constituintes; ruas e praças, pequenos jardins); a dimensão típica pode ir até cerca de uma centena de metros. A segunda, denominada *Clima local* compreende de forma geral o conjunto sucessivo de microclimas e as especificidades naturais ou antrópicas locais, de acordo com Andrade (2005) citando Alcoforado (1999) é uma 'unidade climo-topológica'. Por fim, define-se *mesoclima*, como o conjunto de climas locais. Andrade (2005) discute também os tão incertos efeitos variabilidade climática sobre o ambiente urbano, já que estes dependem de complexas interações e apresentam-se de formas diversas de acordo com o local de observação dos mesmos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O principal interesse desse artigo é discutir os potenciais efeitos sob a saúde de ação direta devido a variabilidade climática, como as relacionadas à temperatura e umidade evidenciando a possibilidade do estudo das reações dos sistemas do corpo humano e sensações diante das diferentes condições climáticas. Fica claro que a saúde humana e o conforto térmico estão intimamente ligados e são fortemente influenciados pelo clima (PEREIRA, 2008; SOUZA; NETO, 2008; SILVA; SOUZA, 2010).

O presente trabalho trata desse universo do conforto/sensação térmica a partir de um estudo de caso da cidade de Belo Horizonte, capital do Estado de Minas Gerais, metrópole localiza-se ao sudoeste do centro geográfico do Estado de Minas Gerais, delimitada pelas coordenadas 19° 46' 35" e 20° 03' 34" de latitude sul, e 43° 51' 27" e 44° 03' 47" de longitude oeste.

Para realizar essa discussão além da revisão bibliográfica pertinente ao tema a metodologia consistiu em levantamento de dados meteorológicos: temperatura média e umidade relativa do ar, registradas no período de 1911 a 2009 na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais. Os dados utilizados foram captados da base de dados do INMET e dos trabalhos de Assis (2010) e Barreto (2010). Posteriormente à coleta foi realizada uma análise estatística de dados agregados.

O índice de Conforto térmico utilizado foi de caráter fisiológico, sendo determinado através do cálculo Índice de Conforto Térmico – ICT, efetuado em planilhas no aplicativo Microsoft Office Excel, utilizando a fórmula:  $ICT = T - (0,55 - 0,0055T) (T - 14,5)$ ; onde T é temperatura média. Dessa forma efetuou-se o tratamento estatístico de dados meteorológicos anuais e mensais levantados para a série analisada, de 1911 a 2009.

Foram confeccionados gráficos que mostram a evolução do Índice de Conforto Térmico em Belo Horizonte no período citado a fim de se constatar o efeito da variabilidade climática sobre a cidade pela variação do conforto térmico.

O índice de avaliação do conforto térmico escolhido para análise dos gráficos de evolução do conforto térmico foi a do Índice de Conforto Térmico, o qual classifica os valores de conforto térmico em: "(...)< 10 = Sensação de muito frio; 10,1 a 14,9 = Sensação de Frio; 15 a 19,9 = Nenhum desconforto (ideal); 20 a 24,9 – Grande desconforto; > de 25 – Máximo de desconforto." (BORSATO, 2009). A análise permitiu a criação de tabelas de conforto térmico e das respostas físicas além da elaboração de um software chamado de *Confortplus*.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ser humano é um animal homeotérmico, de temperatura interna constante, em torno de 37°C ± 0,3°C, que quando sofre mudanças, mesmo de pequena ordem, estas representam alguma enfermidade no organismo, dessa forma o sistema de termo regulação (controle de perdas e ganhos de calor com o ambiente) se mostra bastante sensível. Este sistema que busca o equilíbrio da temperatura corporal, apesar de natural, compreende um esforço extra do organismo (COSTA *et al.*, 2002; FROTA; SCHIFFER, 2001). Tal esforço pode ser poupado, ou ao menos reduzido, pelas condições atmosféricas do ambiente, "O organismo humano experimenta sensação de conforto térmico quando perde para o ambiente, sem recorrer a nenhum mecanismo de termo regulação, o calor produzido pelo metabolismo compatível com sua atividade." (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Os mecanismos de termo regulação atuam de forma a reagir às sensações de calor ou de frio que alteram o equilíbrio corporal interno. Segundo Lamberts (2005) a transpiração, causada pela vasodilatação e aumento do ritmo cardíaco, é forma mais comum de eliminação de calor (altas temperaturas do ambiente), enquanto como reação ao frio (baixas temperaturas) ocorre

a vasoconstrição com diminuição do ritmo cardíaco, provocando arrepios e tiritar com consequente atividade do corpo (movimentação) que gera calor. Frota e Schiffer (2001) dizem que todos os dias o ser humano passa um período sobre estado de fadiga, a qual ao ser analisada termo-higrometricamente possui suas causas em condições ambientais, de temperatura e umidade do ar, desfavoráveis ao aparelho termorregulador (que funcionará excessivamente).

Conforto térmico é um “estado fisiológico que dispensa atuação do sistema de termo regulação, livrando-o, portanto, de uma carga extra.” (SILVA et al., 2000 apud COSTA et al., 2002). Compreende por fim um “(...) estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda. A não satisfação pode ser causada pela sensação de desconforto pelo calor ou pelo frio (...)” (LAMBERTS, 2005, p. 5) e também pelas condições de umidade relativa e velocidade do vento.

O conforto térmico está ligado a diversas variáveis, sendo algumas correspondentes à influência do meio sobre o estado fisiológico e mental do ser humano, do habitante urbano.

Dessa forma o conforto térmico (diferentes índices determinantes deste) aparece como uma forma de avaliação da variabilidade climática.

O conforto térmico está intrinsecamente ligado a algumas variáveis, sendo um conjunto delas inerente à natureza e condição humana – metabolismo gerado por trabalho físico, vestimenta utilizada e aspectos individuais – e o outro relativo ao ambiente circundante do homem – temperatura e umidade relativa do ar e velocidade do ar (LAMBERTS, 2005; FROTA; SCHIFFER, 2001).

Lamberts (2005) caracteriza as variáveis temperatura e umidade, de forma que: a temperatura do ar (temperatura de bulbo seco) é destacada como principal variável do conforto térmico. A variável umidade relativa do ar compreende a quantidade de vapor d'água contido no ar em termos percentuais, formado por processo de evaporação. A atmosfera possui um nível de saturação de vapor d'água, que quando atingido leva à condensação do vapor e precipitação da água na forma líquida.

A análise do conforto térmico conta com ferramentas de avaliação, denominados índices de conforto térmico, que podem ser subjetivos, biofísicos ou fisiológicos (FROTA; SCHIFFER, 2001). Os caracterizam ainda os índices fisiológicos, que por sua vez baseiam-se na relação estabelecidas entre as condições climáticas.

Para efeitos práticos, serão apresentados 3 (três) índices de avaliação fisiológica, sendo eles:

- Índice de Conforto Térmico
- Índice de Temperatura Efetiva
- Diagrama do Conforto Humano do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia)

A equação do Índice de Conforto Térmico torna possível a obtenção dos valores do índice de conforto térmico para cada hora do dia para posterior análise qualitativa dos resultados nos diagramas de conforto térmico. Sendo a fórmula:  $ICT = T - 0,55(1 - 0,01UR)(T - 14,5)$ . Onde: ICT é o índice de conforto em (° C); T é a temperatura do bulbo seco (° C) e UR é a umidade relativa (%). “Dessa forma, têm-se os valores do ICT para cada hora do dia. Os quais classificados em: < 10 = Sensação de muito frio; 10,1 a 14,9 = Sensação de Frio; 15 a 19,9 = Nenhum desconforto (ideal); 20 a 24,9 – Grande desconforto; > de 25 – Máximo de desconforto.” (BORSATO; JUNIOR, 2010).

O estudo do conforto térmico através do Índice de Temperatura Efetiva, segundo Amorim e Ikefuti (2009) foi estruturado por Thom (1959), e utiliza os dados de temperatura do termômetro de bulbo seco e do termômetro de bulbo úmido. Ele é calculado através de fórmula:  $TE = 0,4(Ts + Tu) + 4,8$ . Onde: TE = Temperatura Efetiva medida nos horários determinados; Ts = Temperatura do bulbo seco; Tu = Temperatura do bulbo úmido. Sendo os resultados interpretados da seguinte maneira: resultados iguais ou menores que 18,9 °C, índice considerado desconfortável (*stress* ao frio); resultados iguais ou maiores que 25,6 °C, índice considerado desconfortável, (*stress* ao calor); para resultados compreendidos no intervalo entre 18,9 °C e 25,6 °C tem-se uma zona de conforto térmico. (CASCIOLO; PESSANHA; AMORIM, 2009; IKEFUTI; AMORIM, 2009). Os resultados do índice são também interpretados por Garcia (1995) na figura 2.

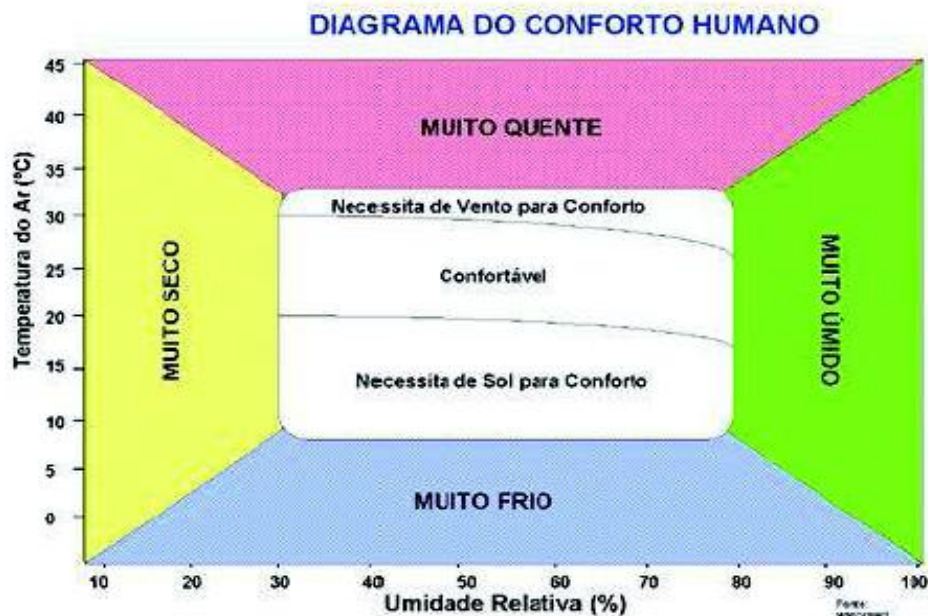
O Digrama de Conforto Humano do Instituto Nacional de Meteorologia-INMET possibilita a averiguação, em função da temperatura e umidade relativa do ar, o estado de conforto térmico humano ou não, apresentando assim, quais são as variáveis necessárias ao conforto. Os dados de temperatura e umidade com que se trabalha são cruzados e pelo cruzamento se determina a condição de conforto térmico para as condições analisadas, como ilustra a Figura 3.

Figura 2 – Temperatura efetiva e respectivas sensações e respostas físicas

Temperatura efetiva	Sensação		Resposta física
	Térmica	Conforto	
10°C	Muito frio		Estremecimento
15°C	Frio	incômodo	Vaso-constricção nas mãos e pés
20°C	Ligeiramente fresco	Ligeiramente cômodo	Aumento das perdas por calor seco
25°C	Neutro	Cômodo	Regulação vascular
30°C	Temperado		Regulação normal por transpiração e troca vascular
35°C	Quente		Aumento das perdas por calor seco
40°C	Muito quente	Muito incômodo	Problemas de regulação

Fonte: Garcia, 1995.

Figura 3 – Diagrama do Conforto Humano do INMET

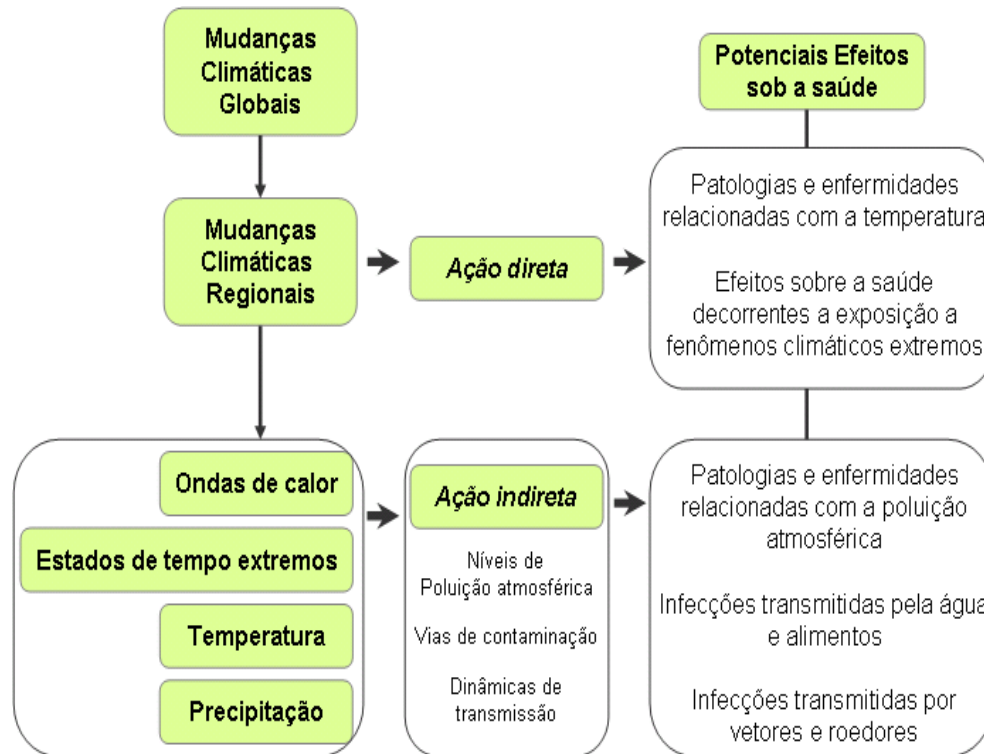


Fonte: INMET, 2006.

Segundo Souza e Sant' Anna Neto (2008) a associação dos estudos da geografia e climatologia aos estudos da saúde data do início do desenvolvimento científico humano. Com a "(...) medicina denominada de "ambientalista", que considera o clima como um fator determinante nas doenças específicas de cada lugar." (SOUZA; NETO, 2008, p. 2), iniciada por Hipócrates passou-se a realizar na atuação médica "(...) uma observação cuidadosa do ambiente físico (em que se produziu a enfermidade), o lugar, a estação do ano, o estado da

atmosfera e outras relações.” (SOUZA; NETO, 2008, p. 2). Discorrendo mais uma vez sobre a relação de efeitos da variabilidade climática sobre a saúde, a figura 4 extraído de SOUZA e NETO (2008) ilustra bem esta problemática.

Figura 4 – Potenciais efeitos, derivados das alterações climáticas globais, sob a saúde humana



Fonte: NOSSA, 2005

Organização e Adaptação: SOUZA, 2007. Extraído de: SOUZA e NETO (2008)

Para Assis (2010) as Normais Climatológicas de 1961 a 1990 (INMET, 2010), indicam que em Belo Horizonte a temperatura média anual é de 21,1°C, sendo no verão registrado 29,0°C como médias das máximas e no inverno 12,9°C média das mínimas. A precipitação total anual é 1491,3mm, sendo os meses de novembro a janeiro (verão) os mais chuvosos. A média anual da umidade relativa do ar é de 77,3%, apresentando o inverno as médias mais baixas, caracterizando um período seco. Para o pesquisador a distância de Belo Horizonte em relação à faixa oceânica é de aproximadamente 400 km em linha reta na direção Leste, assim o efeito da continentalidade não é tão rigoroso, sendo:

(...) percebido com mais intensidade nos meses mais secos, especialmente julho e agosto, quando os índices de umidade relativa do ar podem ficar abaixo de 30% e as amplitudes térmicas diárias ultrapassar os 18,0°C. Quanto à maritimidade, grande parte de seus efeitos são minimizados em função da presença de barreiras orográficas impostas pelas Serra da Mantiqueira, Serra do Mar, Serra do Espinhaço e pelo maciço montanhoso do Quadrilátero Ferrífero.. (ASSIS, 2010, p. 95).

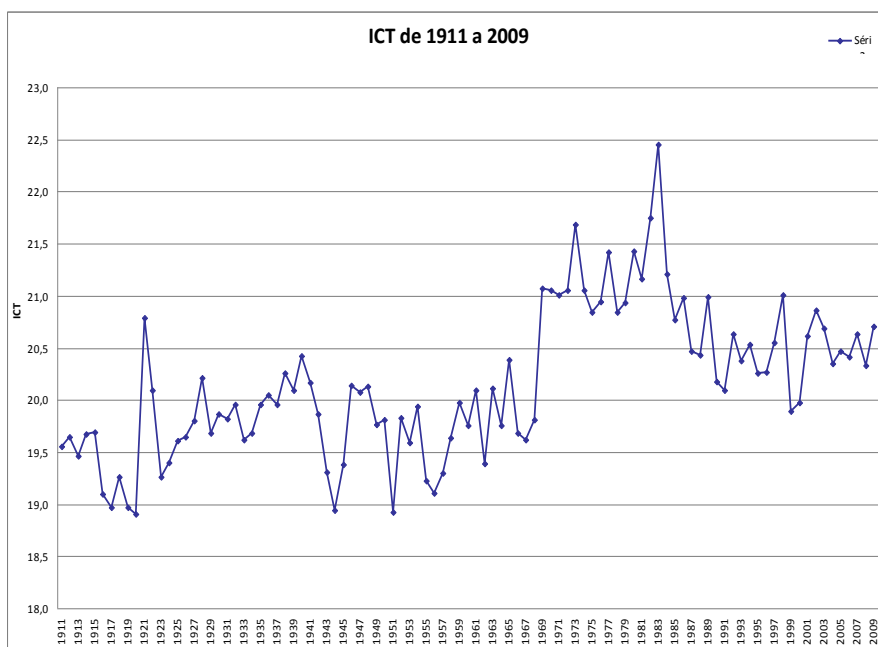
A partir do banco de dados para análise da variação temporal do conforto térmico, a fim de se estudar o efeito da variabilidade climática em Belo Horizonte sobre a saúde dos habitantes da cidade, foram elaborados gráficos que cruzam o índice de conforto térmico (calculado com base em dados de temperatura média e umidade relativa, anuais mensais aplicados à fórmula do ICT) e a passagem dos anos na série temporal pré-estabelecida. Chegou-se a figura 5 em sequência:

A figura 5 apresenta os resultados do cálculo do índice de conforto térmico, efetuado a partir das médias anuais da temperatura e umidade relativa do ar em todo o período estudado, 1911 a 2009, que totalizam 98 anos. O valor médio do ICT deste período foi de 20,2 °C, tendo alcançado o valor máximo de 22,5 °C em 1983 e o valor mínimo de 18,9 °C em 1920. Observa-se um



aumento geral do ICT no período observado, comparando a média dos dez primeiro anos registrados, que é de 19,5 °C, enquanto a dos dez últimos anos da série é de 20,5 °C.

Figura 5 - Evolução da média anual do Índice de Conforto Térmico verificado em Belo Horizonte no período de 1911 a 2009



Fonte: Elaboração a partir de INMET, 2010 e Assis, 2010.

Analisando a figura da evolução do ICT, tomando como base os intervalos de aumento ou queda significativa, observa-se que: de 1911 a 1921 houve queda no valor do ICT, cuja média alcançou 19,5 °C. Nesse período a temperatura média girava em torno de 20°C e a umidade relativa do ar em 70%. Em 1921 observa-se um pico de elevação que cai imediatamente, passando a apresentar pequenas variações ascendentes entre 1922 até 1940. O valor médio do ICT nesse período foi de 19,9 °C.

Em 1941 observa-se uma queda progressiva do ICT que perdurou até 1944. A média do ICT nesse período foi de 19,6 °C. Já o período de 1945 a 1967 apresenta grande oscilação da linha de evolução, assim como da temperatura média e da umidade relativa do ar, 20,9 °C e 69% respectivamente. Nesse período o valor médio de ICT foi de 19,8 °C. De 1968 a 1969 observa-se outro crescimento abrupto da linha de evolução do ICT, que atinge o maior valor desde 1911 que foi de 21,1 °C.

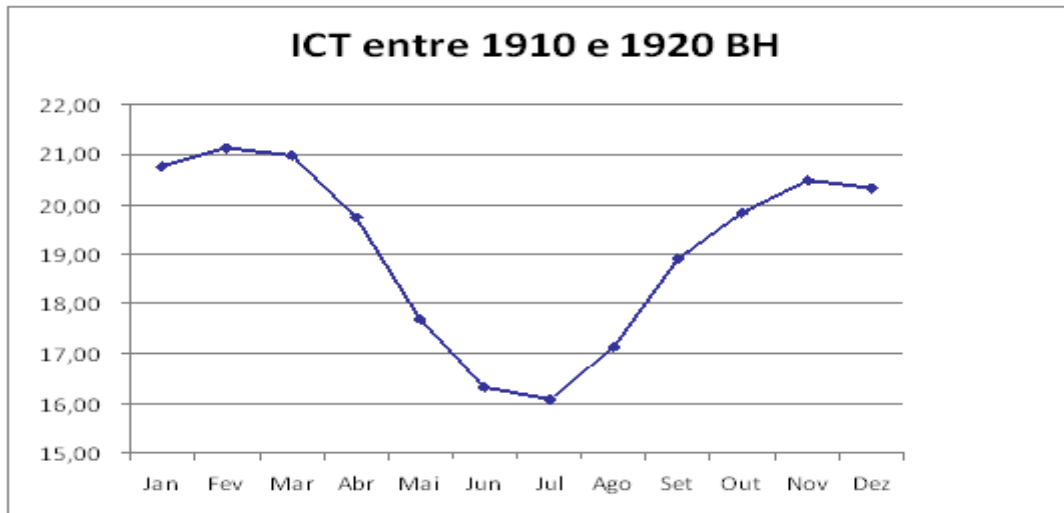
O período de 1969 a 1985 merece destaque devido ao fato de que se apresenta como uma fase em que os valores de ICT encontram-se elevados, devido ao aumento das temperaturas (em comparação com as outras registradas). De 1970 a 1981 há outro período de oscilação, seguido em 1983 de outro pico em que se observa o maior valor de ICT de todo o período analisado, que é de 22,5 °C. Neste ano foram registradas também a maior temperatura e uma alta umidade relativa do ar.

Em 1984/85 a linha de evolução passa por um declínio considerável, passando do ICT 22,5 °C (1983), para o ICT 20,8 °C. Entre 1986 a 1998 a média do ICT calculada é de 20,67 °C, período de oscilação relevante na linha de evolução e na média da umidade relativa do ar registradas. No último intervalo da série, período de 10 anos, de 1999 a 2009, observa-se um pequeno crescimento até 2002 seguido de queda em 2004. A partir de 2005 a linha não apresenta grandes oscilações. O período apresentou média de 20,54 de ICT inferior ao período anterior.

Pelo gráfico da figura 6 o que se percebe visualmente é um aumento geral, porém pequeno, do ICT calculado. A figura 6 compreende os resultados do cálculo do índice de conforto térmico – ICT, efetuado a partir das médias mensais e anuais da temperatura e da umidade relativa do ar,

medidas durante 10 anos, 1910 a 1920. Nesse período o valor médio da série do ICT foi de 19,0°C, sendo o valor máximo verificado em fevereiro, 21,1°C e o mínimo, no mês de julho, 16,1°C.

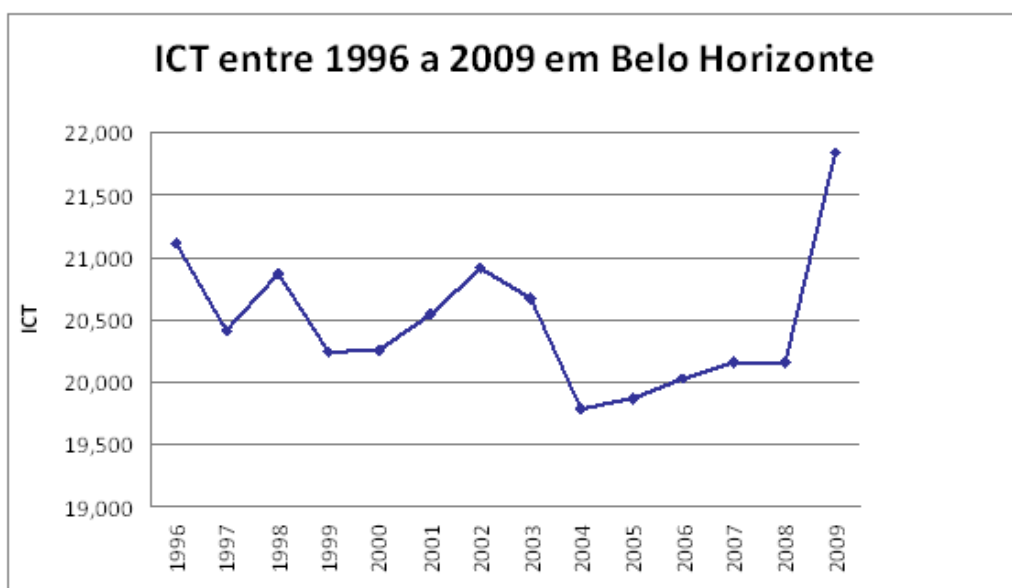
Figura 6 - Evolução média mensal do Índice de Conforto Térmico verificado em Belo Horizonte no período de 1910 a 1920



Fonte: Elaboração a partir de INMET, 2010

Observa-se ainda que nos meses de verão, dezembro a março, o ICT apresenta valores elevados. Tal resultado pode ser explicado pelas altas temperaturas e alta umidade relativa do ar. A partir do outono, começa a haver uma queda no ICT, que se concretiza em junho e julho (inverno), ocasionada pela queda das temperaturas e da umidade relativa do ar. Com a entrada da primavera, observa-se um novo crescimento. A figura 7 compreende os resultados do cálculo do índice de conforto térmico, efetuado a partir das médias anuais da temperatura e umidade medidas no intervalo de 10 anos, de 1999 a 2009. O valor médio do ICT destes anos foi de 20,5 °C, o máximo de 21,8 °C no ano de 2009 e o mínimo 19,8 °C em 2004.

Figura 7 - Evolução média anual do Índice de Conforto Térmico verificado em Belo Horizonte no período de 1999 a 2009



Fonte: Elaboração a partir de INMET, 2010.

De 1999 a 2000, o ICT apresenta resultado constante, com leve elevação de 2000 a 2002, quando apresenta nova queda. Em 2004 é registrado o valor mínimo da série. A partir de 2005 o ICT volta a subir de forma constante, coincidindo com o aumento das temperaturas médias anuais, embora a umidade relativa do ar apresente queda no mesmo período. Em 2009 há um aumento expressivo no ICT, o que se explica pela temperatura máxima média registrada na série, 23,5°C, e aumento da umidade relativa do ar, comparada com a dos anos de 2005 a 2008.

Analisando comparativamente as figuras 6 e 7, referentes respectivamente aos dez primeiros e aos dez últimos anos estudados, observa-se um aumento da média do ICT do primeiro período para o segundo, constata-se juntamente, o aumento das temperaturas médias registradas de 1911 a 1920 para as de 1999 a 2009, porém com diminuição da média da umidade relativa do ar. Importante destacar que as alterações registradas na umidade relativa do ar possuem relevância menor que as de temperatura, ao se considerar a equação utilizada para o cálculo do ICT, onde a variável temperatura tem peso maior.

Analisando os gráficos de forma a estabelecer uma comparação entre os resultados do ICT e as respostas físicas expressos na figura 8, respectivos à série temporal de cada gráfico, relacionando estes aspectos.

A figura 8 mostra que da média mensal de ICT dos anos de 1910 a 1920, de doze meses do ano, 5 meses apresentaram ICT de “grande desconforto”, coincidindo com os meses de temperaturas mais altas, enquanto 7 meses do ano apresentaram ICT “nenhum desconforto (ideal)”.

Figura 8 – Frequência de faixas de ICT e resposta física relativa à média mensal do período de 1910 a 1920 em Belo Horizonte

Faixas de ICT	Resposta física	Frequência
< 10	Sensação de muito frio	0
10,1 a 14,9	Sensação de frio	0
15 a 19,9	Nenhum desconforto (ideal)	7
20 a 24,9	Grande desconforto	4
> 25	Máximo desconforto	0

Fonte: Elaboração a partir de INMET, 2010.

A figura 9 mostra que da média anual de ICT dos anos de 1996 a 2009, apenas dois anos apresentaram ICT na faixa de “nenhum desconforto (ideal)”, e doze anos apresentaram ICT na faixa de “grande desconforto”.

Figura 9 – Frequência de faixas de ICT e resposta física relativa à média anual do período de 1996 a 2009 em Belo Horizonte

Faixas ICT	Resposta física	Frequência
< 10	Sensação de muito frio	0
10,1 a 14,9	Sensação de frio	0
15 a 19,9	Nenhum desconforto (ideal)	1
20 a 24,9	Grande desconforto	12
> 25	Máximo desconforto	0

Fonte: Elaboração a partir de INMET, 2010

A figura 10 mostra que da média anual de ICT do período de 1911 a 2009, a maior frequência registrada foi a na faixa de “grande desconforto”, totalizando 57 (cinquenta e sete) anos, enquanto 42 (quarenta e dois) anos ficaram na faixa de “nenhum desconforto (ideal)”. 75% (setenta e cinco) dos anos em que o ICT ficou na faixa de “grande desconforto” são anos da segunda metade de toda a série avaliada, a partir de 1960, o que indica um aumento do desconforto térmico como do aumento das temperaturas médias anuais.

Figura 10 – Frequência de faixas de ICT e resposta física relativa à média anual do período de 1911 a 2009 em Belo Horizonte

Faixas ICT	Resposta física	Frequência
< 10	Sensação de muito frio	0
10,1 a 14,9	Sensação de frio	0
15 a 19,9	Nenhum desconforto (ideal)	42
20 a 24,9	Grande desconforto	57
> 25	Máximo desconforto	0

Fonte: Elaboração própria a partir de INMET, 2010

Como dito anteriormente, o sistema termorregulador do corpo humano atua de forma a atingir o equilíbrio entre as condições ambientais externas e as adequadas internamente ao corpo. Procurando estabelecer de forma simplificada essa relação, Matias e Costa (2010) estruturaram em quadro uma metodologia de análise do conforto térmico, que relaciona faixas de temperatura e umidade relativa do ar aos mais possíveis e comuns sintomas corporais às condições climáticas analisadas pelo conforto térmico. A nova metodologia de análise criada por Matias e Costa (2010), para o presente trabalho, baseou-se no Diagrama do Conforto Humano do INMET (figura 2), nela criou-se uma escala de análise voltada para a região intertropical.

A Tabela 1 foi estruturada através de levantamento bibliográfico da literatura ligada à geografia da saúde e conforto térmico, como Souza e Neto (2008), Costa *et al.* (2002), Pereira, Mariano e Scopel (2009), dentre outros. Entretanto, é válido ressaltar que este trabalho não se propõe a um aprofundamento técnico rigoroso acerca dos sintomas comuns relacionados às condições climáticas. Os sintomas apresentados na tabela, e seus respectivos significados são de acordo com Leite (2007), Magalhães *et al.* (2001):

Tabela 1 – Conforto térmico analisado de acordo com faixas de temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) e sintomas respectivos à estas faixas, para a região intertropical

Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)	Sensação térmica	Resposta física	Sintomas comuns
0 – 5	0 – 100	Frio extremo	Muito desconforto	Letargia Redução na capacidade de julgar e pensar
6 – 10	0 – 100	Frio	Desconforto	Indolência Tremores musculares
11 – 15	0 – 30	Frio moderado	Desconforto moderado	Debilidade orgânica Tiritar
16 – 20	30 – 80	Início de frio	Leve desconforto	Apetência
21 – 25	0 – 30	Cômodo	Conforto	Neutralidade aparente
26 – 30	0 – 30	Início de calor	Leve desconforto	Desconcentração Indolência Letargia Sudorese
31 – 35	0 – 30	Calor	Desconforto	Desidratação Irritação Hiperpnéia
36 – 40	0 – 100	Calor extremo	Muito desconforto	Esgotamento nervoso Inapetência

Elaborado por: Vandeir Matias e Júlia Costa

Através da metodologia cunhada por Matias e Costa (2011) possível realizar uma análise do conforto térmico/sensação térmica com foco na saúde da população de uma cidade. Assim a metodologia permite de forma simplificada e acessível a previsão de sintomas e que sejam realizadas medidas de prevenção e correção diante destes. A partir da tabela 1, utilizando

recursos computacionais, criou-se um software simples, denominado de *Confortplus*, no qual a partir da entrada da temperatura e umidade, ele realiza o cálculo o índice de conforto térmico, expressa a sensação térmica para as condições de registradas e os sintomas sobre a saúde.

O software foi criado a partir de um aplicativo simples de web e pode ser utilizado pela sociedade civil de modo geral para conhecer os efeitos da temperatura e umidade na sensação térmica e os sintomas mais comuns desse efeito. A figura 11 em sequência traz uma imagem do *software*.

Figura 11 - *Software Confortplus*<sup>2</sup>

Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)	Sensação Térmica	Resposta Física	Sintomas Comuns
30	20	Início de calor	Leve desconforto	Desconcentração; Indolência; Letargia; Sudorese

Hipotensão: pressão arterial baixa (pode provocar desmaios e tontura);  
Hipotermia: aumento da temperatura normal corporal, sendo duas causas comuns: exposição a ambientes com temperatura elevada e desidratação;  
Hiperpnéia: aumento da frequência respiratória;  
Taquicardia: arritmia cardíaca, batimento acelerado do coração;  
Insuficiência cardíaca: dificuldade de realizar funções para o organismo;  
Inapetência: falta de apetite;  
Desidratação: falta de água para realizar funções ligadas ao organismo;

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das análises e tratamento estatístico de dados observou-se que na cidade de Belo Horizonte a temperatura média aumentou ao longo da série temporal analisada, de 1910 a 2009. Comparando os dez primeiros anos da série e os dez últimos o aumento na temperatura média foi de aproximadamente 1,5°C. Considerando-se o ICT de toda a série temporal o conforto térmico teve como principal resposta física a faixa de “grande desconforto”, sendo observada a mesma faixa nos dez últimos anos, já nos dez primeiros anos a faixa ficou em “nenhum desconforto (ideal)”.

Tal aumento e piora do índice podem ser explicado por diversos fatores, dentre eles: crescimento da cidade (utilização de materiais de baixo albedo), aumento da industrialização e frota de veículos automotores, intensificação dos fenômenos ilha de calor e inversão térmica, entre outros no nível de mesoescala. Além disso, pode-se inferir que os aumentos de temperatura e faixa de conforto térmico se deram também devido variabilidade climática, assim sistemas atmosféricos passam a atuar de forma mais ou menos acentuada sobre a cidade, causando a modificação do clima local.

Através da metodologia apurada por Matias e Costa (2011) explicitada na tabela 1 é possível realizar uma análise do conforto térmico com foco na saúde da população de uma cidade. A nova metodologia permite que seja feita, de forma simplificada e acessível, a previsão de

<sup>2</sup> Software elaborado por Rodrigo Santos Rodrigues, graduando em Engenharia da Computação pelo CEFET-MG, pela supervisão de Vandeir Matias.

sintomas e efeitos da variação climática sobre a saúde e que sejam realizadas medidas de prevenção e correção.

## REFERÊNCIAS

- ASSIS, W. L. **O sistema clima urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva tempo-espacial**. 2010. 299 f. (Geografia e Análise Ambiental) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- ANDRADE, H. **O clima urbano – natureza, escalas de análise e aplicabilidade**. *Finisterra*, XL, n.80, p. 67-91, 2005.
- BARRETO, A. A. Estudo das informações meteorológicas da região da Pampulha em Belo Horizonte no período de 1997 a 2009. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 9., 2010. **Anais...** Fortaleza: Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 2010. p. 1-15.
- BIAS, E. S.; BAPTISTA, G. M. M.; LOMBARDO, M. A. Análise do fenômeno de ilhas de calor urbanas, por meio da combinação de dados Landsat e Ikonos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Sociedade de Especialistas Latino-americanos em Sensoriamento Remoto, 2003. p. 1-8.
- BORSATO, V. da.; A. JUNIOR, S. A. F. O índice de conforto térmico no inverno de 2007 em Campo Mourão Paraná e a participação dos sistemas atmosféricos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 3., 2009, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009. p. 1-16.
- CARVALHO, V. F. M. de. **Contributos bioclimáticos para o planejamento urbano sustentável: medidas de mitigação e de adaptação enquanto resposta às alterações climáticas**. 2006. 372 p. Tese (Mestrado em Planejamento e Projecto do Ambiente Urbano) - Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto, Faculdade de Letras. Universidade do Porto, Faculdade de Medicina, Universidade do Porto. Porto, 2006.
- CASCIOLI, C. S.; PESSANHA, L. R. P.; AMORIM, M. C. C. T. O conforto térmico em Rosana / SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 3., 2009, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009. p. 1-13.
- CONFALONIERE, U. E. C. Mudança climática global e saúde. *Revista Eletrônica Com Ciência*. Campinas, n. 85, 2007. Disponível em: <<http://comciencia.br/comciencia/?section=8&edicao=22&id=237&tipo=1>>. Acesso em: 31 mai. 2011.
- COSTA, A. C. B. da; CLEMENTE, M. R.; COUTINHO, A. S.; SILVA, L. B. As variáveis e o conforto dos trabalhadores: o caso do CTI de um hospital de João Pessoa. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22., 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2002. p. 1-7.
- COSTA, E. R. da; SARTORI, M. G. B.; FANTINI, V.; ALVES, H. M.; SLODKOWSKI, A. C. Análise do conforto térmico do parque Itaimbé-Santa Maria/RS em condições atmosféricas de domínio da massa polar atlântica no Inverno. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 3., 2009, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009. p. 1-18.
- EOROLA, T.T. **Mudanças climáticas globais: passado, presente e futuro**. In: FÓRUM DE ECOLOGIA, MUDANÇAS CLIMÁTICAS: PASSADO, PRESENTE E FUTURO, 1., 2003, Florianópolis: Instituto de Ecologia Política na Universidade do Estado de Santa Catarina, 2003. p.1-10.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001. 244 p.
- GARCIA, F. F. **Manual de climatologia aplicada: clima, medio ambiente y planificación**. Madrid: Editorial Síntesis, S.A., 1995. 285p.
- IKEFUTI, P. V.; AMORIM, M. C. C. T. Análise do conforto térmico em diferentes padrões de Construção em Presidente Prudente/SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 3., 2009, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009. p. 1-15.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET: Seção de Armazenamento de Dados Meteorológicos – SADMET. **Dados meteorológicos horários do município de Belo Horizonte entre 1961 e 2009; Estação Meteorológica Principal instalada em Belo Horizonte, Minas Gerais.** Ministério da Agricultura e Reforma Agrária – Departamento Nacional de Meteorologia, 2010.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), (2007), **Mudança do Clima 2007: a Base das Ciências Físicas - Sumário para os Formuladores de Políticas**, OMM & PNUMA.

LAMBERTS, R. **Desempenho térmico de edificações.** 2005. 42 f. Apostila (engenharia civil, eficiência energética em edificações) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

MENDONÇA, F. **Aquecimento global e saúde: uma perspectiva geográfica – notas introdutórias.** *Terra Livre*, São Paulo, v. 1, n. 20, p. 205-221, jan./jul. 2003.

PEREIRA, C. C.; MARIANO, Z. F.; SCOPEL, I. O clima e as doenças respiratórias em Jataí-GO no ano 2008. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13., 2009, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009. p. 1-15.

PINHEIRO, J. A. N. Clima urbano e suas influências. *Web artigos*, Pará, 2008. Disponível em: <<http://www.zwebartigos.com/articles/10118/1/Clima-Urbano-E-Suas-Influencias/pagina1.html>>. Acesso em: 10 abr. 2011.

SÁ, A. A. As mudanças climáticas ao longo da história da Terra: O que nos dizem as rochas. In: CONGRESSO VIVER AMBIENTE, 1., 2008, Braga. **Anais...** Braga: Núcleo de Ciências da Terra da Universidade do Minho, 2008. p. 2-7. Resumos.

SORRE, M. **Objeto e Método da Climatologia.** *Revista do Departamento de Geografia*. São Paulo, v. 18, p. 89-94, 2006.

SOUZA, C. G.; NETO, J. L. S. **Geografia da saúde e climatologia médica: ensaios sobre a relação clima e vulnerabilidade.** *Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*, Uberlândia, v. 3, n. 6, p. 116-126, abr. 2008.

SOUZA, M. B. de. **Clima Urbano: aspectos teóricos e metodológicos.** In: MINI CURSO, 1., 2010. *Textos utilizados...* Disponível em: <<http://xa.yimg.com/kq/groups/22819098/158169393/name/Minicurso+clima+urbano.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2011.

WELZER, H. **Guerras Climáticas: Por que Mataremos e Seremos Mortos no Século 21.** 1ed. São Paulo: Geração Editorial, 2010. 314 p.