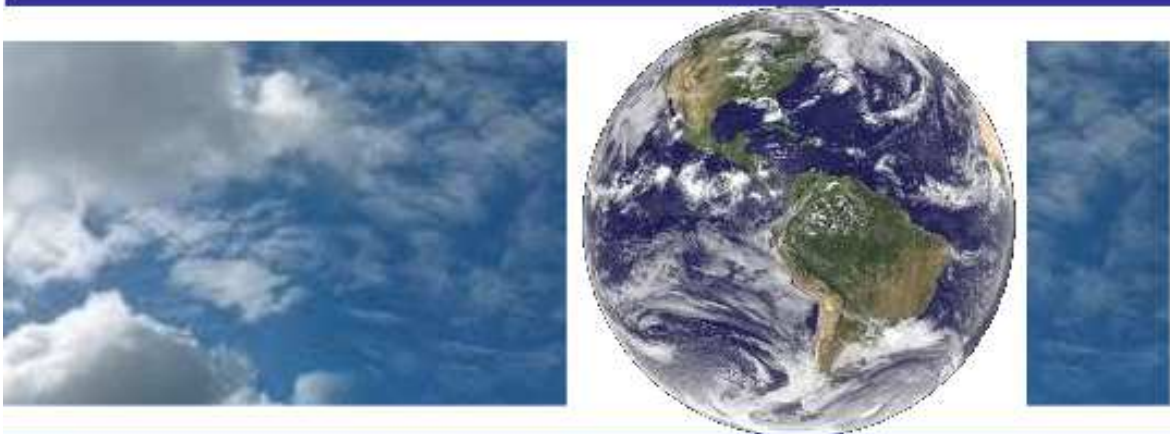


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**

# **METEOROLOGIA**



**TESE DE DOUTORADO**

**Josefa Morgana Viturino de Almeida**

**MONITORAMENTO DE ÍNDICE DE  
CONFORTO TÉRMICO HUMANO NO BRASIL**

**Campina Grande, Julho de 2017**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

**MONITORAMENTO DE ÍNDICE DE CONFORTO TÉRMICO**  
**HUMANO NO BRASIL**

**JOSEFA MORGANA VITURINO DE ALMEIDA**

Campina Grande - PB

Julho de 2017.

# **MONITORAMENTO DE ÍNDICE DE CONFORTO TÉRMICO HUMANO NO BRASIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para a obtenção do grau de Doutora em Meteorologia.

**Área de concentração:** Meteorologia de Meso e Grande Escalas

**Sub-área:** Climatologia

**Orientador:** Prof. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva

**Orientada:** Josefa Morgana Viturino de Almeida

CAMPINA GRANDE - PB

Julho de 2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

A447m Almeida, Josefa Morgana Vitorino de.  
Monitoramento de índice de conforto térmico humano no Brasil /  
Josefa Morgana Vitorino de Almeida. – Campina Grande, 2018.  
150 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade Federal de  
Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2017.  
"Orientação: Prof. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva".  
Referências.

1. Mesoescala (Meteorologia). 2. Conforto Térmico - Brasil. 3. UTCI  
(Índice Termoclimático Universal). I. Silva, Vicente de Paulo Rodrigues  
da. II. Título.

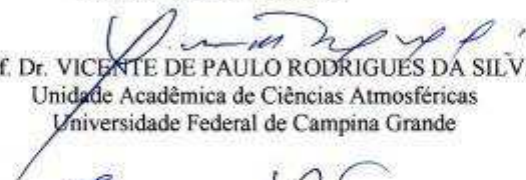
CDU 551.515.6 (043)


JOSEFA MORGANA VITURINO DE ALMEIDA


MONITORAMENTO DE ÍNDICE DE CONFORTO TÉRMICO HUMANO NO  
BRASIL


TESE APROVADA EM 27/07/2017


BANCA EXAMINADORA

  
Prof. Dr. VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

  
Prof. Dr. ENIO PEREIRA DE SOUZA  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

  
Prof. Dr. ENILSON PALMEIRA CAVALCANTI  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

  
Prof. Dr. KLEBER RENATO DA PAIXÃO ATAÍDE  
Instituto Nacional de Meteorologia

  
Profa. Dra. ANDREA MALHEIROS RAMOS  
Instituto Nacional de Meteorologia

## DEDICATÓRIA

Dedico à minha família essa etapa conquistada. Especialmente ao meu querido e amado esposo, Wagner, pelo incentivo e apoio incondicional. Sem você nada teria sido possível.

## AGRADECIMENTO

Á DEUS, pelo dom da vida e por tudo aquilo que me concede a cada dia da minha existência.

Ao meu esposo Wagner de Aragão Bezerra, pela compreensão, companheirismos, dedicação e amor. Ao meu filho Gabriel, que mesmo tão pequeno, compreendeu os momentos de ausência.

A minha irmã Roberta e a minha mãe Socorro, pela força e compressão nos momentos difíceis.

Aos meus demais familiares e amigos, que mesmo distantes, rezam e torcem pelo meu sucesso.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) nas pessoas do seu Diretor, Francisco de Assis Diniz e do meu Coordenador Exedito Ronald Rebello, pelo apoio. Agradeço ainda, pelos dados fornecidos para o desenvolvimento dessa tese e apoio no sentido de tornar operacional o UTCI no âmbito do INMET.

Ao professor e orientador desse trabalho, Vicente de Paulo Rodrigues da Silva, pelo apoio, confiança, incentivo e por acreditar no meu trabalho.

Aos colegas do INMET, em especial aos companheiros do Centro de Análise e Previsão do Tempo, pelo apoio, incentivo e compreensão nos poucos momentos que tive que me ausentar.

À coordenação da Pós-Graduação em Meteorologia, na pessoa do Professor Enio Pereira de Souza.

A Arilene de Almeida Lucena, secretária da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, pela atenção, competência e profissionalismo.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia que ao longo dessa jornada de mais de 17 anos na meteorologia, desde a graduação até esse momento, contribuíram para meu êxito profissional e pessoal.

“Deus perdoa sempre, o homem às vezes, mas a natureza nunca!”

Romen Barleto



## RESUMO

Os eventos extremos de frio/calor podem impactar significativamente na sociedade, incluindo danos à saúde. Dessa forma, o conforto térmico humano é altamente dependente das condições climáticas. O objetivo deste trabalho foi estabelecer metodologia para o monitoramento e previsibilidade do nível de conforto térmico humano em todas as regiões do Brasil, determinar a climatologia do UTCI (Índice Termoclimático Universal), investigar a existência de tendência temporal e o comportamento temporal do número de dias desconfortáveis. O teste Mann-Kendall foi utilizado para avaliar as tendências das séries temporais. Foram utilizadas 211 estações meteorológicas da rede do INMET no período de 1984 a 2014, dados de reanálises do ERA-Interim e do modelo COSMO. Conclui-se que, o UTCI reproduz as variações sazonais dos níveis de conforto/desconforto térmico em todo o Brasil. A climatologia horária do índice assemelha-se as características espaciais e temporais da climatologia da temperatura do ar. Quanto à existência de tendência temporal, observou-se que, aproximadamente 90% das estações meteorológicas apresentam tendência positiva estatisticamente significativa na tendência temporal do UTCI médio, máximo e mínimo às 18 UTC pelo teste de Mann-Kendall. Em todas as cinco estações de referência verificou-se que as manhãs estão mais quentes, com tendência estatisticamente significativa no número de dias quentes, em decorrência de tendências positivas no UTCI sazonal de inverno; e que as tardes também estão mais quentes, especialmente no inverno. Em Brasília, São Paulo e Porto Alegre, observaram-se tendências negativas no número de dias frios. Por fim, o UTCI foi capaz de reproduzir eventos extremos de calor/frio ocorridos recentemente no Brasil (fevereiro de 2014 e julho de 2013) e sua operacionalização no âmbito do INMET é possível, necessitando de um conjunto de ferramentas computacionais que acoplem dados de estações meteorológicas e do modelo numérico COSMO de 7km.

**Palavras-chave:** Conforto térmico, UTCI, Brasil, INMET.

## ABSTRACT

The extreme cold/heat events may significantly influence society, including damage to health. Likewise, the human thermal comfort is highly dependent on climatic conditions. The objective of this work was to establish a methodology for the monitoring and predictability of the level of human thermal comfort in all regions of Brazil, clarify the climatology of the UTCI (Universal Thermo-climatic Index), investigated the existence of temporal tendency and the temporal behavior of the number of uncomfortable days. The Mann-Kendall test was used to evaluate the trends of serious temporal events. Was used 211 meteorological stations of the INMET's network from 1984 to 2014, reanalysis data from the ERA-Interim and the COSMO model. It is concluded that the UTCI reproduces the seasonal variations of comfort levels/thermal discomfort throughout Brazil. Its hourly climatology resembles the spatial and temporal characteristics of the air temperature climatology. Regarding the existence of temporal trend, it was observed that, approximately 90% of the meteorological stations present a statistically significant positive tendency of the average, maximum and minimum UTC at 18 UTC by the Mann-Kendall test. In all five-reference stations, it was found that mornings are warmer, with a statistically significant trend in the number of hot days, as a result of positive trends in seasonal winter UTCI; And that the evenings are also warmer, especially in winter. In Brasília, São Paulo and Porto Alegre, there were negative trends in the number of cold days. Finally, the UTCI was able to reproduce extreme events of cold/heat that occurred recently in Brazil (February 2014 and July 2013) and its operationalization, on the INMET's scope, is possible; necessitating a set of computational tools that connect data from stations meteorological model and the 7km COSMO numerical model.

**Key words:** Thermal comfort, UTCI, Brazil, INMET.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>xiii</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b>	<b>xv</b>
<b>LISTA DE QUADROS</b>	<b>xvi</b>
<b>LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS</b>	<b>xvii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>Objetivo Geral</b>	<b>3</b>
<b>Objetivos específicos</b>	<b>3</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Clima urbano</b>	<b>5</b>
<b>2.2. Conforto térmico</b>	<b>11</b>
2.2.1. Índice Termoclimático Universal (UTCI)	14
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>16</b>
<b>3.1 Área de estudo</b>	<b>16</b>
<b>3.2 Índice Termoclimático Universal (UTCI)</b>	<b>17</b>
3.2.1 Definição do UTCI	17
3.2.2 Cálculo do UTCI	22
3.2.3 Escala de avaliação do UTCI	22
<b>3.3 Dados</b>	<b>24</b>
3.3.1 Dados Utilizados na Avaliação do UTCI	24
3.3.2 Análise e tratamento dos dados	24
3.3.3 Cálculo do UTCI	27
3.3.4 Cálculo das Médias Mensais do UTCI	28
3.3.5 Cálculo da Climatologia do UTCI	28
3.3.6 Análise espacial	29
3.3.7 Análise temporal das séries	29
3.3.8 Monitoramento diário do UTCI	30
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>32</b>
<b>4.1 Climatologia do conforto térmico humano no Brasil</b>	<b>32</b>
<b>4.2 Média mensal (horária) do UTCI</b>	<b>32</b>
4.2.1 Extremos climatológicos mensais (horários) mínimos do UTCI	49
4.2.2 Extremos climatológicos mensais (horários) máximos do UTCI	58
4.2.3 Tendências do UTCI médio, mínimo e máximo climatológico (18 UTC)	70
4.2.4 Comportamento das séries temporais do UTCI nas estações de referência	73
4.2.4.1. Estações de referência da Região Norte: Manaus - AM	74
	11

4.2.4.1.1.	Tendências das séries temporais de Manaus – AM	78
4.2.4.2.	Estações de referência da Região Nordeste: Salvador – BA	84
4.2.4.2.1.	Tendências das séries temporais em Salvador – BA	87
4.2.4.3.	Estações de referência da Região Centro-Oeste: Brasília – DF	93
4.2.4.3.1.	Tendências das séries temporais em Brasília – DF	95
4.2.4.4.	Estação de referência da Região Sudeste: São Paulo – SP	101
4.2.4.4.1.	Tendências das séries temporais em São Paulo – SP	105
4.2.4.5.	Estação de referência da Região Sul: Porto Alegre – RS	111
4.2.4.5.1.	Tendências das séries temporais em Porto Alegre – RS	113
<b>4.3</b>	<b>Avaliação da resposta do UTCI em episódios de frio/calor</b>	<b>120</b>
4.3.1.	Onda de calor em fevereiro de 2014	120
4.3.2.	Onda de frio em julho de 2013	123
<b>5</b>	<b>OPERACIONALIDADE E PREVISIBILIDADE DO UTCI NO ÂMBITO SERVIÇO METEOROLÓGICO NACIONAL (INMET)</b>	<b>128</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>131</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>134</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Conceito de UTCI derivado como temperatura equivalente a partir da resposta multivariada dinâmica do modelo UTCI - Fiala termofisiológico (FIALA et al., 2011), o qual foi acoplado a um modelo de vestuário (HAVENITH et al., 2011). Fonte: Bröde et al., 2012.	19
Figura 2 - Distribuição espacial das 221 estações meteorológicas de superfície do INMET, no período de 1984-2014.	26
Figura 3 - Distribuição espacial das 158 estações meteorológicas de superfície do INMET, com no mínimo 60% das observações no período de 1984-2014.	27
Figura 4 - Distribuição espacial das estações do INMET.	31
Figura 5 - Climatologia do UTCI médio às 06 UTC nos doze meses do ano no período (1984 - 2014).	37
Figura 6 - Climatologia do UTCI médio às 12 UTC nos doze meses do ano no período (1984-2014).	41
Figura 7 - Climatologia do UTCI médio às 18 UTC em todos os meses do ano no período (1984-2014).	45
Figura 8 - Climatologia do UTCI médio às 00 UTC em todos os meses do ano no período (1984-2014).	48
Figura 9 - Climatologia dos extremos de mínimos do UTCI nos horários das 06, 12, 18 e 00 UTC: janeiro, fevereiro e março, respectivamente.	54
Figura 10 - Climatologia dos extremos de mínimos do UTCI nos horários das 06, 12, 18 e 00 UTC: abril, maio e junho, respectivamente.	55
Figura 11 - Climatologia dos extremos de mínimos do UTCI nos horários das 06, 12, 18 e 00 UTC: julho, agosto e setembro, respectivamente.	56
Figura 12 - Climatologia dos extremos de mínimos do UTCI nos horários das 06, 12, 18 e 00 UTC: outubro, novembro e dezembro, respectivamente.	57
Figura 13 - Climatologia dos extremos de máximos do UTCI nos horários das 06, 12, 18 e 00 UTC: janeiro, fevereiro e março, respectivamente.	66
Figura 14 - Climatologia dos extremos de máximos do UTCI nos horários das 06, 12, 18 e 00 UTC: abril, maio e junho, respectivamente.	67
Figura 15 - Climatologia dos extremos de máximos do UTCI nos horários das 06, 12, 18 e 00 UTC: julho, agosto e setembro, respectivamente.	68
Figura 16 - Climatologia dos extremos de máximos do UTCI nos horários das 06, 12, 18 e 00 UTC: outubro, novembro e dezembro, respectivamente.	69
Figura 17 - Tendências do UTCI médio às 18 UTC (a) e respectiva significância estatística (b).	71
Figura 18 – Tendências dos mínimos do UTCI às 18 UTC (a) e respectiva significância estatística (b).	72
Figura 19 - Tendências dos máximos do UTCI às 18 UTC (a) e respectiva significância estatística (b).	72
Figura 20 - Distribuição média anual do UTCI em Manaus - AM às: (a) 12 UTC e (b) 18 UTC.	76
Figura 21 - Tendência temporal do UTCI às 12 UTC em Manaus durante os períodos de: (a) anual; (b) verão; (c) outono, (d) inverno e (e) primavera.	79
Figura 22 - Tendência temporal do UTCI às 12 UTC em Manaus: (a) mínimos, (b) máximos, (c) dias quentes e (d) dias confortáveis.	80
Figura 23 - Tendência temporal do UTCI às 18 UTC em Manaus durante os períodos de: (a) anual; (b) verão; (c) outono, (d) inverno e (e) primavera.	82

Figura 24 - Tendência temporal do UTCI às 18UTC em Manaus: (a) mínimos, (b) máximos, (c) dias quentes e (d) dias confortáveis.	83
Figura 25 - Distribuição média anual do UTCI em Salvador - BA às: (a) 12 UTC e (b) 18 UTC.	85
Figura 26 - Tendência temporal do UTCI às 12 UTC em Salvador durante os períodos de: (a) anual; (b) verão; (c) outono, (d) inverno e (e) primavera.	88
Figura 27 - Tendência temporal UTCI às 12 UTC em Salvador: (a) mínimos, (b) máximos, (c) dias quentes e (d) dias confortáveis.	89
Figura 28 - Tendência temporal do UTCI às 18 UTC em Salvador nos períodos de: (a) anual; (b) verão; (c) outono, (d) inverno e (e) primavera.	91
Figura 29 - Tendência temporal do UTCI às 18 UTC: (a) mínimos, (b) máximos, (c) dias quentes e (d) dias confortáveis.	92
Figura 30 - Distribuição média anual do UTCI em Brasília - DF às: (a) 12 UTC e (b) 18 UTC.	94
Figura 31 - Tendência temporal do UTCI às 12 UTC em Brasília durante o período de: (a) anual; (b) verão; (c) outono, (d) inverno e (e) primavera.	97
Figura 32 - Tendência temporal do UTCI às 12 UTC em Brasília: (a) mínimos, (b) máximos, (c) dias frios, (d) dias quentes e (e) dias confortáveis.	98
Figura 33 - Tendência temporal do UTCI às 18 UTC em Brasília durante o período de: (a) anual; (b) verão; (c) outono, (d) inverno e (e) primavera.	100
Figura 34 - Tendência temporal do UTCI às 18 UTC em Brasília: (a) mínimos, (b) máximos, (c) dias frios, (d) dias quentes e (e) dias confortáveis.	101
Figura 35 - Distribuição média anual do UTCI em São Paulo – SP às: (a) 12 UTC e (b) 18 UTC.	103
Figura 36 - Tendência temporal do UTCI às 12 UTC em São Paulo durante o período de: (a) anual; (b) verão; (c) outono, (d) inverno e (e) primavera.	106
Figura 37 - Tendência temporal do UTCI às 12 UTC em São Paulo: (a) mínimos, (b) máximos, (c) dias frios, (d) dias quentes e (e) dias confortáveis.	107
Figura 38 - Tendência temporal do UTCI às 18 UTC em São Paulo durante o período de: (a) anual; (b) verão; (c) outono, (d) inverno e (e) primavera.	109
Figura 39 - Tendência temporal do UTCI às 18 UTC em São Paulo: (a) mínimos, (b) máximos, (c) dias quentes e (d) dias confortáveis.	110
Figura 40 - Distribuição média anual do UTCI em Porto Alegre - RS às: (a) 12 UTC e (b) 18 UTC.	113
Figura 41 - Tendência temporal do UTCI às 12 UTC em Porto Alegre durante o período de: (a) anual; (b) verão; (c) outono, (d) inverno e (e) primavera.	115
Figura 42 - Tendência temporal do UTCI às 12 UTC em Porto Alegre: (a) mínimos, (b) máximos, (c) dias de frios, (d) dias quentes e (e) dias confortáveis.	116
Figura 43 - Tendência temporal do UTCI às 18 UTC em Porto Alegre durante o período de: (a) anual; (b) verão; (c) outono, (d) inverno e (e) primavera.	118
Figura 44 - Tendência temporal do UTCI às 18 UTC em Porto Alegre: (a) mínimos, (b) máximos, (c) dias quentes e (d) dias confortáveis.	119
Figura 45 - UTCI observado às 18 UTC no dia 09 de fevereiro de 2014.	122
Figura 46 - UTCI às 18 UTC na cidade de São Paulo – SP em fevereiro de 2014.	123
Figura 47 - UTCI observado às 12 UTC no dia 23 de julho de 2014.	125
Figura 48 - UTCI às 12 UTC na cidade de São Joaquim - SC em julho de 2014.	127
Figura 49 - UTCI às 18 UTC no dia 09 de fevereiro de 2014: (a) observado e (b) previsto pelo modelo COSMO.	130
Figura 50 - UTCI às 12 UTC no dia 23 de julho de 2013: (a) observado e (b) previsto pelo modelo COSMO.	130

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros estatísticos para a estação de referência de Manaus – AM.	78
Tabela 2 - Parâmetros estatísticos para a estação de referência de Salvador – BA.	86
Tabela 3 - Parâmetros estatísticos para a estação de referência de Brasília – DF.	95
Tabela 4 - Parâmetros estatísticos para a estação de referência de São Paulo – SP.	104
Tabela 5 - Parâmetros estatísticos para a estação de referência em Porto Alegre – RS.	112

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Variáveis disponíveis a partir da saída do modelo termo-fisiológico UTCI-Fiala após simulados tempos de exposição de 30, 60, 90 e 120 min.	21
Quadro 2 - Temperatura equivalente UTCI categorizada em termos de estresse térmico.	24



## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

### SIGLAS:

<b>ABR</b>	-	Abril
<b>AEA</b>	-	Agência Europeia do Ambiente
<b>AGO</b>	-	Agosto
<b>AM</b>	-	Amazonas
<b>AR5</b>	-	<i>The Fifth Assessment Report</i>
<b>ASHRAE 55</b>	-	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning</i>
<b>BA</b>	-	Bahia
<b>C</b>	-	Convecção
<b>CENTOS</b>	-	<i>Community Enterprise Operating System</i>
<b>CHT</b>	-	Conforto Térmico Humano
<b>COSMO</b>	-	<i>Consortium for Small-scale Modelling</i>
<b>COST 730</b>	-	Cooperação em Ciência e Desenvolvimento Tecnológico da União Europeia
<b>CRU</b>	-	<i>Climatic Research Unit</i>
<b>CSV</b>	-	<i>Comma-separated values</i>
<b>DEZ</b>	-	Dezembro
<b>DF</b>	-	Distrito Federal
<b>E</b>	-	Evaporação
<b>EEC</b>	-	Extremo Estresse por Calor
<b>EEF</b>	-	Extremo Estresse por Frio
<b>ECMWF</b>	-	<i>European Centre for Medium Range Weather Forecasts</i>
<b>ERA</b>	-	<i>European Reanalysis Data</i>
<b>INTERIM</b>		
<b>FEC</b>	-	Forte Estresse por Calor
<b>FEF</b>	-	Forte Estresse por Frio
<b>FEV</b>	-	Fevereiro
<b>GCM</b>	-	<i>Global Model Circulation</i>
<b>GRADS</b>	-	<i>Grid Analysis and Display System</i>
<b>hPa</b>	-	<i>Hecta Pascal</i>
<b>IBGE</b>	-	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>IBUTG,</b>	-	<i>Wet Bulb Globe Temperature</i>
<b>WBGT</b>		
<b>ICE</b>	-	Índice de Conforto Equatorial
<b>ICU</b>	-	Intensidade da ilha de calor
<b>INMET</b>	-	Instituto Nacional de Meteorologia
<b>IPCC</b>	-	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
<b>ISB</b>	-	<i>International Society of Biometeorology</i>
<b>ISO</b>	-	<i>International Standard Organization</i>
<b>JAN</b>	-	Janeiro
<b>JJA</b>	-	Meses de Inverno
<b>JUN</b>	-	Junho
<b>JUL</b>	-	Julho
<b>K</b>	-	Condução ou Kelvin
<b>Kg</b>	-	Kilograma
<b>Km, km<sup>2</sup></b>	-	Kilometro, Kilometro Quadrado
<b>LEF</b>	-	Leve Estresse por Frio
<b>M</b>	-	Metabolismo
<b>MEC</b>	-	Moderado Estresse por Calor

<b>MFEC</b>	-	Muito Forte Estresse por Calor
<b>MFEF</b>	-	Muito Forte Estresse por Frio
<b>MJm<sup>2</sup>dia<sup>-1</sup></b>	-	Mega Joules por Metro Quadrado por Dia
<b>Mm</b>	-	Milimetro
<b>m, m<sup>2</sup></b>	-	Metro, Metro Quadrado
<b>MAR</b>	-	Março
<b>MAI</b>	-	Maio
<b>MEC</b>	-	Moderado Estresse por Calor
<b>MET</b>	-	Taxa Metabólica
<b>NOV</b>	-	Novembro
<b>OUT</b>	-	Outubro
<b>PET</b>	-	<i>Physiological Equivalent Temperature</i>
<b>Q</b>	-	Radiação
<b>rH, ur</b>	-	Umidade Relativa do Ar
<b>Res</b>	-	Respiração
<b>RMSP</b>	-	Região Metropolitana de São Paulo
<b>RS</b>	-	Rio Grande do Sul
<b>S</b>	-	Calor do Corpo
<b>SC</b>	-	Santa Catarina
<b>SET</b>	-	Standard eficaz Temperatura, Setembro, Sem Estresse Térmico
<b>SIMEPAR</b>	-	Sistema Meteorológico do Paraná
<b>SP</b>	-	São Paulo
<b>SQL</b>	-	<i>Structured Query Language</i>
<b>Ta</b>	-	Temperatura do Ar
<b>TE</b>	-	Temperatura Efetiva
<b>Tmrt</b>	-	Temperatura Média Radiante
<b>U</b>	-	Componente zonal do Vento
<b>UHI</b>	-	<i>Urban Heat Island Intensity</i>
<b>UTC</b>	-	<i>Universal Time Coordinated</i>
<b>UTCI</b>	-	<i>Universal Thermal Climate Index</i>
<b>V</b>	-	Componente Meridional do Vento
<b>Va</b>	-	Velocidade Média do Vento
<b>VME, PMV</b>	-	<i>Predicted Mean Vote</i>
<b>WHO</b>	-	<i>World Health Organization</i>
<b>WMO</b>	-	<i>World Meteorological Organization</i>
<b>°C</b>	-	Graus Celsius
<b>4DVar</b>	-	<i>4 Dimensional Variational Analysis</i>
<b>%</b>	-	Porcento

## 1. INTRODUÇÃO

As discussões sobre variação climática e possíveis mudanças no clima atualmente estão no centro das grandes polêmicas da ciência, isto porque, além do alto grau de complexidade do assunto em termos científicos, os possíveis impactos sócio-econômico-ambientais decorrentes de tais mudanças podem afetar toda a vida no planeta. Nos grandes centros urbanos esta problemática torna-se mais evidente. Isso porque, fatores como o rápido crescimento populacional, o uso e ocupação desordenada do solo e a crescente industrialização geram alterações no microclima local, que, por sua vez, geram mudanças nas condições térmicas locais e afetam diretamente a qualidade de vida das populações (SILVA et al., 2010).

Vários autores apontam que a maioria das cidades ao redor do mundo enfrenta alterações nos padrões térmicos (KOLOKOTRONI e GIRIDHARAN, 2008; JUSUF et al., 2007), causados especialmente pela drástica substituição de áreas verdes por edificações. Mudanças nas superfícies urbanas alteraram não somente os padrões térmicos, mais também os radiativos, de umidade e aerodinâmico do ambiente (OKE, 1987; GIVONI, 1998; GIRIDHARAN et al., 2007a). Como consequência disso, observa-se uma maior concentração de calor em áreas urbanas do que nas áreas rurais circundantes, e tal fenômeno é conhecido como intensidade da ilha de calor urbano (ICU ou UHI, do inglês *The Urban Heat Island Intensity*), o que tem causado efeitos alarmantes em muitas cidades (GIVONI, 1998; OKE et al., 1998; SANTAMOURIS et al., 2007a, SODOUDI et al., 2014). Na Europa, por exemplo, estudos têm confirmado a extensão da UHI em muitas cidades (CARTALIS et al., 2001; SANTAMOURIS, 2007b). Os estudos também confirmaram o impacto da UHI na demanda por energia (SANTAMOURIS et al., 2001b; HASSID et al., 2000.).

Nesse contexto, a população urbana de Londres poderia ser gravemente afetada em termos de consumo de energia e de saúde, especialmente no verão, caso a tendência atual da urbanização continue, Kolokotroni et al. (2006) e GLA (2006). Em consonância com estas pesquisas, Jusuf et al. (2007) afirma que as ICU afetam o clima urbano, a demanda por energia, os tipos de habitação, além de acelerar a formação de poluição urbana. No Brasil, mais especificamente, na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), Gouveia (2007) identificou impactos das propriedades urbanas sobre as variáveis meteorológicas e sobre o conforto térmico humano.

Durante a última década, uma série de estudos subjetivos sobre conforto térmico ao ar livre em áreas urbanas tem sido realizada e os números tem aumentado a cada ano (JOHANSSON et al., 2014). Ainda segundo esse autor, atualmente não existe um padrão internacional que abrange estudos biometeorológicos humanos em geral, mas eles são, com poucas exceções, destinados a condições internas e /ou em ambientes de trabalho. Logo, o conforto térmico ao ar livre, ao contrário de conforto interior, é um campo relativamente novo de pesquisa. Observa-se ainda que o aumento da atenção aos ambientes descobertos como nos primeiros anos 2000 e das inúmeras dificuldades encontras nesses ambientes pouco controlados (MONTEIRO, 2008), levaram à utilização de métodos convenientes. Efetivamente, os índices de conforto térmico desenvolvidos para ambientes interiores derivam a grande maioria dos índices para ambientes externos. Um exemplo disso é o índice de desconforto de Thom (1959), ou o índice PET (Temperatura Fisiológica Equivalente ou do inglês, *Physiological Equivalent Temperature*), proposto por Höppler e Mayer em 1987. Devido isso, procedimentos para a avaliação do ambiente térmico nas áreas de serviços meteorológicos públicos, sistemas de saúde pública, planejamento na esfera de proteção e defesa civil, design urbano, turismo e lazer e de investigações da existência do impacto do clima apresentam deficiências significativas (JENDRITZKY et al., 2012). Portanto, analisar o comportamento espacial do conforto térmico humano no Brasil é fundamental para o planejamento e a gestão ambiental, especialmente em áreas urbanas.

O aquecimento do sistema climático é inequívoco, e desde a década de 1950, muitas das mudanças observadas são sem precedentes ao longo de décadas a milênios (IPCC, 2013). Ainda, segundo o quinto e último relatório de avaliação (AR5) do Grupo de Trabalho I do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), lançado em setembro de 2013, cada uma das três últimas décadas tem sido sucessivamente mais quente na superfície da Terra do que qualquer década anterior desde 1850. No Hemisfério Norte, por exemplo, o período de 1983 a 2012 foi provavelmente o mais quente 30 anos dos últimos 1400 anos. Também foi declarado que ao longo dos 50 anos anteriores, dias quentes, noites quentes e ondas de calor tornaram-se mais frequentes.

Anteriormente, em 2012, o Relatório Especial do IPCC sobre extremos também indicaram que o comprimento, frequência e/ou intensidade das ondas de calor provavelmente aumentaria sobre a maioria das áreas de terra no século XXI. Diante desse panorama, obseversa-se que alterações no sistema climático, e mais especificamente nos padrões térmicos afetam diretamente a qualidade de vida das populações.

De acordo como a WMO e a WHO (2015), o calor ou tempo quente que persistem por vários dias, muitas vezes referidas como "onda de calor" pode ter um impacto significativo na sociedade, incluindo um aumento da mortalidade e morbidade. Esse fenômeno, também, coloca uma maior pressão sobre as redes de infraestruturas, tais como, energia, água e transporte, além de impactar no tipo de vestuário, tipo de alimentos consumidos e turismo. Diferentemente de outros eventos climáticos extremos, alterações térmicas, tais como as ondas de calor só recentemente se tornaram reconhecidas como uma ameaça significativa para o ambiente e a sociedade. Além disso, segundo Lamberts et al. (2014), três fatores ponderam a relevância da temática: a própria satisfação do homem como o ambiente térmico; performance humana (baixa no rendimento quer seja por calor/frio das atividades intelectuais, manuais e perceptivas); e conservação de energia (minimizar desperdícios com aclimações desnecessárias).

O impacto do clima e das condições de tempo predominantes sobre o conforto humano é evidente. Condições ambientais afetam o balanço de calor entre o corpo humano e o ambiente e são fontes de possíveis condições de desconforto. Embora mais de uma centena de índices térmicos possam ser usados para avaliar os riscos térmicos (FREITAS e GRIGORIEVA, 2017), fica nítida a necessidade de elaborar uma climatologia dos índices de conforto térmico humano para o Brasil baseada no estado da arte e analisar o quanto as alterações nos padrões térmicos impactariam nos referidos índices.

Outro aspecto é o fato de que não há um produto similar em operação, no serviço meteorológico do Brasil, que fornece o monitoramento diário dos índices de conforto térmico humano ou previsão desses índices. Diante deste contexto, este trabalho tem os objetivos relacionados abaixo.

### **Objetivo Geral**

Estabelecer metodologia para o monitoramento e previsibilidade do nível de conforto térmico humano para todas as regiões do Brasil.

### **Objetivos específicos**

1. Determinar a climatologia de conforto térmico humano no país com base no Índice Termo-Climático Universal (UTCI, do inglês *Universal Thermal Climate Index*) para todos os meses do ano;
2. Analisar a distribuição espacial e determinar os valores extremos do UTCI no país;

3. Investigar a tendência temporal do UTCI durante o período de estudo nas escalas sazonal e anual em estações de referência;
4. Investigar o comportamento temporal do número de dias desconfortáveis, segundo a classificação do UTCI nas estações de referência;
5. Propor operacionalizar o cálculo do índice UTCI no Brasil no âmbito do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET);
6. Fazer a previsão de possíveis eventos de desconforto baseado na classificação do UTCI a partir dos dados de saída do modelo numérico Cosmo 7 km (do inglês, *Consortium for Small-scale Modelling*).

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Clima urbano**

O principal espaço de habitação dos homens são as cidades, onde as principais necessidades humanas, como, por exemplo, abrigo, alimentação e serviços são encontrados (CARMO e SILVA, 2001). Porém, o processo de urbanização, gerido pelas ações antrópicas é um dos principais modificadores ambientais (GOUVEIA, 2007); com isso, surgem alterações no clima urbano. As mudanças no microclima desencadeiam vários efeitos tanto sobre os ambientes externos quanto internos e, por sua vez, seus habitantes ficam sujeitos aos efeitos adversos e a diminuição da qualidade ambiental (CARMO e SILVA, 2001). Neste contexto, Deb et al. (2010) destacam que as mudanças no microclima provocam danos à saúde, aumento do consumo de energia elétrica e permitem aumentar a consciência por projeto urbanísticos que priorizem a vegetação e o paisagismo. Ainda segundo estes autores, um dos fatores que é altamente relevante para o ser humano é o conforto térmico.

Andrade (2005), no estudo do ambiente urbano, discute que diversas variáveis devem ser levadas em consideração, pois este ambiente engloba componentes naturais, econômicos e sociais, podendo ser compreendido sob diversas formas. Por isso, a análise do clima urbano, na sua complexidade, deve incorporar todos esses elementos para sua investigação e entendimento, pois ele é a resultante da intensidade do adensamento humano e urbano, da localização geográfica da cidade e o seu sítio urbano, sendo influenciado diretamente pelas atividades socioeconômicas desses centros (MENDONÇA, 2003). Dessa forma, o clima além de ser um dos principais componentes do sistema ambiental e um recurso natural, também pode ser compreendido como um indicador de degradação ambiental, pois, além de afetar todos os processos ambientais, ele determina diretamente os processos hidrológicos que afetam uma bacia hidrográfica, influenciando diretamente na qualidade de vida das populações. Isso é bastante perceptivo nas áreas urbanas, onde a falta de planejamento e gestão ambiental urbana se traduzem em inúmeros problemas socioambientais de grandes proporções.

Silva et al. (2006) sinalizam que a expansão das cidades tem gerado graves impactos ambientais em áreas urbanas, acentuados pelo desenvolvimento das atividades econômicas e pelas diversas atividades antrópicas, gerando um ambiente de desconforto com inúmeros problemas ambientais face à degradação dos recursos naturais e o rápido crescimento das populações urbanas. A intensidade e recorrência de problemas urbanos de natureza climática, como enchentes e alagamentos, a poluição atmosférica e as famosas ilhas de calor, têm sido a

tônica destas últimas décadas. Inegavelmente, esses problemas trazem consequências danosas, afetando a qualidade de vida da população residente nos centros urbanos, que somados a outros impactos ambientais, contribuem para uma diminuição da qualidade de vida nessas áreas.

Gonçalves (2003) destaca que as áreas urbanas são as mais intensamente modificadas e o seu alto grau de artificialização se dá em função do uso incorreto dos recursos naturais criando ambientes com uma vulnerabilidade maior em relação aos eventos naturais. Mendonça (2003) chama a atenção para o paradoxo da modernidade, ao mesmo tempo em que se intensificou a degradação do ambiente, cresceu a consciência para a intervenção racional ou planejada na alteração/construção do ambiente urbano, exigindo, assim, cada vez mais estudos que direcionem o uso sustentável dos recursos naturais nessas áreas e contribuam para a mitigação dos impactos ambientais. O mesmo autor continua afirmando que os problemas com o sistema atmosférico urbano constituem apenas uma pequena parcela desse quadro geral de degradação ambiental intensificado cada vez mais em função do acelerado crescimento da população urbana com a exploração dos recursos naturais e a consequente geração de resíduos. Nesses ambientes, constata-se cada vez mais o comprometimento da qualidade de vida das populações e sua relação com as condições atmosféricas, pois o clima constitui-se em um recurso natural imprescindível ao desenvolvimento das atividades econômicas, à saúde e ao bem estar da população.

Duarte e Serra (2003) ponderam que apesar de todo o conhecimento já acumulado sobre os fenômenos climáticos urbanos, o desafio hoje é transformar esses dados em critérios de ocupação e índices urbanos. Vale destacar, que os critérios de índices de ocupação não devem apenas ser definidos em função de cálculos estatísticos e matemáticos de densidade de área ocupada, mas sim, levar em consideração uma rede de fatores de ordem física, biológica, econômica e social que determinam as alterações no sistema climático e a qualidade de vida das populações residentes nesses ambientes.

O clima de uma cidade pode ser compreendido através da interação de diversos fatores globais (latitude, altitude, continentalidade, maritimidade) e locais (uso e ocupação do solo, geomorfologia, revestimento do solo) que conjugados com os elementos atmosféricos (temperatura, umidade, vento, pressão, dentre outros) determinam as condições atmosféricas sobre uma determinada localidade (BARBIRATO et al., 2007). Os fatores globais criam as condições climáticas em uma escala regional, enquanto que os fatores locais determinam as diferenciações microclimáticas, alterando, assim, o comportamento dos elementos



atmosféricos em uma escala local. Dessa forma, não existem dois tipos climáticos rigorosamente iguais, pois tais fatores são fortemente afetados pela ação antrópica que ocorrem de forma mais intensa e diversificada em diferentes áreas urbanas. Sendo assim, atribui-se, portanto, aos elementos climáticos, a qualidade de definir e fornecer os componentes do clima e aos fatores climáticos, a qualidade de condicionar, determinar e dar origem ao clima.

Monteiro (1976) compreende o clima urbano como um sistema climático integrado formado por três subsistemas de análise: termodinâmico; físico-químico e o hidrometeorológico. Para ele, as alterações climáticas em áreas urbanas podem ser percebidas através de canais de percepção, que retratam as alterações nos elementos climáticos dentro dos subsistemas mencionados. A formação das ilhas de calor, a inversão térmica e o desconforto térmico ambiental são exemplos de alterações ocasionados pelo processo de urbanização dentro do subsistema termodinâmico. A formação das chuvas ácidas e a poluição do ar, que afetam os grandes centros urbanos, são alterações que ocorrem e são percebidas dentro do subsistema físico-químico. Por outro lado, as precipitações urbanas, as enchentes e os impactos ambientais que ocorrem em função do processo de urbanização acelerada dos países em desenvolvimento são exemplos de alteração do subsistema hidrometeorológico. O mesmo autor destaca que para a compreensão do clima urbano faz-se necessária a análise rítmica dos tipos de tempos na escala diária, pois as médias mensais “escondem” a realidade da dinâmica dos processos que formam o sistema clima urbano e suas interferências nas atividades humanas e na organização do espaço.

Conti (1998) destaca que a permeabilização dos solos, o aumento do albedo, a redução das áreas verdes, o aumento da poluição atmosférica em função das indústrias instaladas nas cidades, o aumento da precipitação, as ilhas de calor e, conseqüentemente, o desconforto térmico, dentre outros fatores, são apenas alguns exemplos de alterações ambientais presentes nos centros urbanos que geram microclimas específicos. Com a ausência de superfícies líquidas e de áreas verdes, a evaporação se reduz consideravelmente aumentando a sensação de desconforto térmico e acentuando o efeito das ilhas de calor, já que a água ao se evaporar consome 580 cal/g; e essa energia deixando de ser utilizada fica presa no ambiente urbano, acentuando os efeitos já mencionados. O autor destaca que a intensificação de tais efeitos é influenciada pela forma arquitetônica dos edifícios, pela natureza dos materiais de construção, pelas cores das paredes e pela densidade da área construída; afetando, também, a velocidade e

direção dos ventos, que tendem a se orientar pelos vales ou canyons, definidos pelo alinhamento dos grandes edifícios, variando conforme a hora do dia e a situação sinótica.

Barbirato et al. (2007) também afirmam que o ambiente urbano tem sofrido intensas modificações climáticas face às diversas fontes adicionais de calor de caráter antropogênico e da composição dos materiais de sua superfície, a maioria bons condutores térmicos e com grande capacidade calorífica que tem colaborado para o desconforto térmico nesses ambientes. Os principais fatores responsáveis por alterações no balanço energético dos centros urbanos segundo Olgvay, (1998) são os seguintes: a localização da cidade dentro da região, o tamanho das cidades, a densidade da área construída, a cobertura do solo, a altura dos edifícios, a orientação e a largura das ruas, a divisão dos lotes, os efeitos dos parques e áreas verdes e detalhes espaciais do desenho dos edifícios. Já no que diz respeito ao uso e ocupação dos solos em áreas urbanas, ou seja, morfologia dos solos e paisagem, Oliveira (1988) menciona que os fatores condicionantes do clima urbano que são: porosidade, rugosidade, densidade da construção, tamanho da cidade, uso e ocupação do solo, orientação, permeabilidade do solo urbano e as propriedades termodinâmicas dos materiais constituintes do ambiente urbano.

Chandler (1976) afirma que alguns estudos apresentam em ordem hierárquica de abrangência as escalas de ordem regional, a escala das modificações devidas à orografia e a escala das modificações provocadas por edificações ou grupo de edificações. Por outro lado, Barbirato et al. (2007) destacam que a escala regional (macro-escala) está relacionada às condições meteorológicas da região. A meso-escala corresponde às alterações provocadas pela orografia da área em função das diferentes altitudes e a escala das edificações (micro-escala) evidencia a importância do planejamento urbano frente às decisões sobre a forma e orientação das estruturas urbanas e suas interferências no microclima do entorno.

Oke (2004) afirma que, além da formação das três camadas horizontais delimitadas para áreas urbanas (macro-escala, meso-escala, micro-escala), também pode ser encontrada três camadas no sentido vertical: a camada intra-urbana ou escala de cobertura urbana, a camada limite urbana e a subcamada de rugosidade. Lombardo (1995) explica que dentro das camadas verticais atmosféricas urbanas, é possível estabelecer uma divisão simplificada da atmosfera urbana em duas camadas: a camada intra-urbana e a camada limite urbana. A primeira apresenta um nível microclimático que abrange desde o solo até aproximadamente o nível das coberturas das edificações (podendo desaparecer totalmente em grandes espaços abertos). A segunda equivale à escala meso-climática, situando-se acima da camada de

cobertura urbana apresentando características influenciadas pela presença da cidade. Sob a influência de ventos regionais, esta última camada pode, a sotavento, separar-se da superfície, à medida que se desenvolve uma camada limite e passa a ser chamada de “pluma urbana”. A camada de cobertura urbana, e a camada limite urbana, são regidas pelas condições sinóticas do tempo desenvolvidas pela macro-escala. Dentro desses níveis, as consequências do processo de urbanização podem ser percebidas através da análise da temperatura do ar das cidades. Vale salientar que essas duas camadas (intra-urbana e limite urbana) possuem extensões que podem variar no tempo e no espaço (aumentar ou diminuir) em estilo rítmico em função do ciclo solar diário (BARBIRATO et al., 2007). Assis (2003) demonstra que os estudos sobre a dinâmica do clima urbano confirmam que as condições da atmosfera local são afetadas diretamente pela cidade face às suas diversas configurações.

O contexto da urbanização e dos seus problemas socioambientais gerados nos centros urbanos transformou-se nas últimas décadas em objeto de estudo por parte dos mais diversos profissionais: geógrafos, arquitetos, meteorologistas, físicos, engenheiros ambientais, dentre outros, que estão cada vez preocupados com o bem-estar e a qualidade de vida das populações que residem nesses ambientes (BRITO, 2007). Com a Revolução Industrial, significativas transformações ocorreram no sistema climático urbano das grandes cidades, com destaque, para os problemas ocorridos dentro do subsistema termodinâmico (intensificação da ilha de calor urbana; desconforto térmico) e dos problemas ocasionados no subsistema físico-químico (aumento da poluição; degradação da qualidade do ar). Esses problemas eclodiram e intensificaram-se cada vez mais, contribuindo assim, para o comprometimento da qualidade de vida das populações residentes nos grandes centros urbanos.

Uma revisão dos principais trabalhos a respeito da dinâmica climática urbana foi desenvolvida em Israel por Goldreich (1995), focalizando as ilhas de calor e os impactos do processo de urbanização sobre as precipitações em várias cidades e áreas adjacentes do país. A relação entre as diferentes formas de uso e ocupação do espaço geográfico e a formação de ilhas de calor na cidade de Graz, na Austrália foi investigada por Lazar e Podesser (1999). Estudo semelhante foi realizado em San Juan na Argentina por Papparelli et al. (2010). Na cidade de Tóquio no Japão, os impactos causados pelo calor produzido por fontes antrópicas e suas influências na dinâmica climática urbana foi realizado por Ichinose et al. (1999), demonstrando como as reduções no consumo de energia nessa cidade podem contribuir para mitigar os impactos no campo térmico do clima urbano. Na região de Pearl River Delta, situada na província de Guangdong no sul da China, Chen et al. (2006), utilizando técnicas de

sensoriamento remoto, analisaram as alterações ocorridas no clima urbano e sua relação com as diferentes formas de uso e cobertura do solo nesta região. Na aglomeração urbana de Budapeste, Pongracz et al. (2010) percebeu a formação de ilha de calor com diferentes intensidades em períodos e horários distintos.

Jonsson et al. (2004) verificaram como as partículas em suspensão na atmosfera urbana da cidade de Dar es Salaam, na Tanzânia, influenciam os parâmetros climáticos: velocidade do vento, umidade relativa do ar e temperatura desse ambiente, determinando assim o clima local, com a formação de ilhas de calor urbanas. Fan e Sailor (2005), a respeito do estudo do clima urbano na Filadélfia, Estados Unidos, estudaram os impactos ambientais provenientes dos efeitos antrópicos no clima urbano desta cidade. Grimmond et al. (2010) reforça que as cidades mais vulneráveis aos efeitos do calor são aquelas localizadas nas altas latitudes onde as ondas de calor ocorrem em intervalos irregulares. As cidades como Nova York, Filadélfia, Paris, Roma, Atenas e Xangai têm sofrido muitas mortes durante os episódios de calor excessivo. Assim, o estudo da temática aqui apresentada vem se revestindo de suma importância para grandes cidades do mundo e a compreensão de seus problemas climáticos se constitui numa ferramenta indispensável para o planejamento sustentável desses centros urbanos.

No Brasil, o estudo do clima urbano tem cada vez mais avançado na perspectiva de relacionar o planejamento urbano territorial com o conforto térmico. O processo de urbanização desprovido de perspectivas de planejamento urbano no país, iniciado a partir de meados da década de 1960, gerou inúmeros espaços marcados por fortes disparidades socioeconômicas e com inúmeros problemas de degradação ambiental. Nesse contexto, Mendonça (2003) admite que as relações de produção, voltadas quase que exclusivamente à reprodução econômica, desenvolveram no território brasileiro um tipo de “urbanização corporativa” desconsiderando a necessidade de um planejamento urbano que levasse em consideração o caráter social. Tal processo de urbanização é marcado pelo inchaço das cidades, em função do rápido crescimento da população urbana frente à população rural, e pelos problemas atmosféricos observados no território nacional. Dessa forma, torna-se relevante incorporar a dimensão social na interpretação do clima. Isso significa, portanto, compreender que a repercussão dos fenômenos atmosféricos na superfície terrestre se dá num território, transformado e produzido pela sociedade, de maneira desigual e apropriado segundo interesses dos agentes sociais (SANT’ANNA NETO, 2008). Para esse autor, nos estudos climáticos o que deveria realmente importar é o resultado deste processo inserido nas

dimensões socioeconômicas e ambientais. Compondo uma parte indispensável do estudo das cidades, o clima urbano torna-se um elemento chave para a compreensão dos problemas socioambientais em áreas urbanas (MENDONÇA, 2010).

## 2.2. Conforto térmico

A satisfação do homem com o meio térmico que o rodeia está diretamente associado como o conceito de conforto térmico (VICCHI, 2011). Porém, à respeito desse amplo tema é necessário destacar que, o ambiente térmico pode ser analisado sob dois aspectos: do conforto térmico e do estresse térmico. Porém, antes mesmo de definir cada um desses, é necessário observar o descrito por Houaiss (2001), o qual pondera que a sensação é o processo pelo qual um estímulo externo/interno provoca uma determinada reação, produzindo uma percepção; essa por sua vez, é a faculdade de aprender por meio dos sentidos ou da mente; e a preferência é a ação de preferir, de escolher um entre outros. Daí esse autor conduz o conceito de conforto térmico para sensações possíveis (sensação térmica).

A partir desses conceitos, é possível compreender a definição adotada e utilizada mundialmente (ASHRAE 55 (1992) – do inglês *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning* e ISO 7730:2005 – do inglês *International Standard Organization*): conforto térmico é definido como uma condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico e é obtida quando se está em equilíbrio com o ambiente térmico (FANGER, 1970).

Com base nessa definição, Maia (2002) acrescenta que, o conceito de conforto térmico engloba aspectos fisiológicos e psicológicos. Sob o aspecto fisiológico, a sensação térmica está relacionada ao conceito de neutralidade térmica, ou seja, quando não é necessária a intervenção de nenhum mecanismo termoregulador para manter a temperatura do corpo humano estável.

Neste sentido, faz-se necessário atentar para o fato de que o homem é um espécie hemeotérmica, sendo seu organismo mantido a uma temperatura interna constante da ordem de 37°C (FROTA e SCHIFFER, 1988). Quando por algum motivo esta temperatura é alterada, o organismo aciona os chamados mecanismos termoreguladores (THOM, 1959). Ainda para este autor, o corpo humano pode ser comparado com uma máquina térmica, que produz e dissipa calor continuamente.

Blazejczyk et al. (2013), indica que é crucial para um ser humano, que sua temperatura corporal central seja mantida dentro de uma estreita faixa que varia muito pouco em torno de 37°C, a fim de assegurar o funcionamento dos órgãos internos e do cérebro, com a otimização de atender o conforto, performance e saúde. Em contraste, a temperatura do invólucro, isto é, a da pele e das extremidades, é permitido variar muito, dependendo das condições ambientais, sendo este um dos mecanismos mantenedores de equilíbrio no que diz respeito à produção e a perda de calor, ao menos durante um período mais longo, desta forma reduz mudanças no conteúdo de calor no corpo (S) a zero. O calor é produzido pelo metabolismo (M) e qualquer atividade muscular (W). O calor excedente deve ser liberado para o meio ambiente. O calor pode ser trocado por convecção (calor sensível - C), condução (contato com sólidos- K), evaporação (fluxo de calor latente - E), radiação (de ondas longa e curta - Q), e respiração (latente e sensível - Res). A troca de calor entre o corpo humano e o meio ambiente pode ser descrito na forma da equação de equilíbrio de energia. Sendo assim, o conforto térmico implica num balanço de energia, isto é, todo o calor gerado ou ganho pelo organismo é eliminado na mesma proporção para que o corpo mantenha sua temperatura estável. Por outro lado, os fatores psicológicos envolve a ideia de satisfação com o ambiente, sendo sua mensuração muito mais complexa.

Segundo encontrado em Martins (2011), o estresse térmico pode ser considerado como o estado psicofisiológico a que uma pessoa está submetida, quando exposta a situações ambientais extremas de frio ou de calor. Com isso, podem ser analisadas duas situações distintas: estresse pelo calor – quando as respostas psicofisiológico ocorrem em ambientes quentes; e estresse pelo frio – quando se analisam ambientes frios.

De acordo como Gobo (2013), o conhecimento do conforto térmico inicia-se como a caracterização de modelos de conforto térmico buscando montar um arcabouço teórico relacionado às variáveis envolvidas no estudo. A partir desse ponto, segundo o autor, são definidos os índices que expressam a relação de causa e efeito.

O estabelecimento de critérios para a estimativa de conforto térmico humano (CHT) data do início do século XIX, onde na Europa surgiu o movimento para melhorar as condições de trabalho nas indústrias (MAIA, 2002). Apenas no século seguinte, motivados em parte pelo advento do ar condicionado, observou-se a evolução de alguns estudos em ambientes fechados (do inglês, *indoor*) (MONTEIRO, 2008). De acordo com (JOHANSSON et al., 2014) e Batista (2012) estudos em ambientes abertos (do inglês, *outdoor*) tem aumentando muito nos últimos dez anos, o que conduziu a adaptação e desenvolvimento de

novos índices. Ainda sobre esse aspecto, Batista (2012) refere-se aos índices de conforto térmico como sendo equações matemáticas que buscam relacionar variáveis ambientais relacionadas ao conforto na tentativa de quantificar o desconforto.

Em Ruas (2002), Gouvêa (2004) e Monteiro (2008) encontra-se detalhada descrição histórica das pesquisas sobre conforto ambiental. A avaliação do ambiente térmico é uma das principais questões em pesquisas bioclimáticas e para Blazejczyk et al. (2013) as centenas de índices bioclimáticos existentes, na sua maioria, tem apresentado uma aplicabilidade limitada, e não retratam os impactos reais das condições térmicas em seres humanos.

A primeira tentativa de analisar o conforto térmico humano (CHT) foi proposta por Houghten e Yaglou (1923) através do índice de temperatura efetiva. Este índice é baseado nas temperaturas de bulbo seco e úmido. Em 1948, este índice foi modificado por Missenard, que introduziu fatores relacionados com o equilíbrio térmico entre o indivíduo e o meio ambiente. Posteriormente, outros índices foram propostos, tais como: Thom (1959); Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo (IBUTG ou WBGT, do inglês *Wet Bulb Globe Temperature* - proposto por YAGLOU e MINARD, 1957, citado por LIMA, 2005); O Voto Médio Estimado (VME ou PMV ou do inglês, *Predicted Mean Vote* - proposto por FANGER, 1970); Índice PET (Temperatura Fisiológica Equivalente ou do inglês, *Physiological Equivalent Temperature* - proposto por HÖPPER E MAYER, 1987- citado por LIMA, 2005); Índice Kawamura (ONO e KAWAMURA, 1991), dentre outros.

No âmbito nacional, Monteiro (2008) elencou treze dissertações ou tese cujo tema refere-se ao conforto térmico em ambientes abertos. De acordo com Frota e Schiffer (1995), os índices de conforto térmico humano (CHT) são classificados em biofísicos – que se baseiam nas trocas de calor entre o corpo e o ambiente; fisiológicos – que se baseiam nas reações fisiológicas originadas por condições conhecidas de temperatura seca do ar, temperatura radiante média, umidade do ar e velocidade do ar e subjetivos – que se baseiam nas sensações subjetivas de conforto experimentadas em condições em que os elementos de conforto térmico variam. A Carta Bioclimática de Olgyay, o Índice de Conforto Equatorial – ICE e a Temperatura Efetiva – TE são exemplos de Índice Biofísico, Índice Fisiológico e Índice Subjetivo, respectivamente. Em Lyra (2007) é encontrada uma descrição detalhada destes índices. Segundo Lyra (2007), os índices de conforto térmico tentam sintetizar os efeitos das variáveis do conforto térmico, tendo seus limites estabelecidos, em sua maioria, para climas temperados. Logo, o estabelecimento de limites de conforto para as regiões tropicais contribui para a eficiência energética e o conforto ambiental.

Lamberts et al. (2011) listam os índices mais difundidos e utilização na literatura para determinar o estresse térmico (por calor/ambientes quentes e por frio/ambientes frios).

Freitas e Grigorieva (2017), revelam que, atualmente, 165 índices termo-climático humanos foram desenvolvidos e relatados na literatura científica. Para esses autores, tais índices são considerados como sendo qualquer parâmetro ou indicador descrito na literatura científica que tem por objetivo representar ou indicar o estado ou importância do ambiente térmico para um indivíduo ou grupos de indivíduos.

### 2.2.1. Índice Termoclimático Universal (UTCI)

No início dos anos 2000, a discussão sobre conforto térmico externo (termo em inglês “*outdoor*”) ganhou muito impulso, principalmente devido ao fato de que o Serviço Ambiental Canadense iniciou uma atualização do Wind Chill Index (índice de conforto térmico utilizado para condições de frio). Isso porque, o referido índice estava recebendo inúmeras críticas de biometeorologistas. A partir dessa ação, o Professor Peter Höppe, à época presidente da Sociedade Internacional de Biometeorologia (termo do inglês *International Society of Biometeorological* - ISB), evidenciou a necessidade de desenvolver um índice térmico de clima universal (HÖPPE, 2002). Visando obter tal índice, a ISB estabeleceu a Comissão 6 (cujo presidente é o Prof. Dr. Gerd Jendritzky e vice-presidente o Prof. Dr. Richard Dear). Em junho de 2001, a Comissão realizou sua primeira reunião na cidade de Freiburg, Alemanha. No ano de 2005, a Comissão 6/ISB passou a contar com os esforços da Ação COST 730 (Cooperação em Ciência e Desenvolvimento Tecnológico da União Europeia), que forneceu a base para o trabalho conjunto de 45 cientistas de 23 países (Austrália, Canadá, Israel, vários países da Europa, Nova Zelândia e os Estados Unidos). Devido à estrutura internacional da Comissão 6, os grupos de trabalho passaram a trabalhar sob a égide da Comissão de Climatologia (CCI) da Organização Meteorológica Mundial (OMM) (JENDRITZKY et al., 2012). Em 2009, a Ação COST 730 foi reunida para um fim bem-sucedido, uma vez que o UTCI foi desenvolvido (BLAZEJCZYK et al., 2013).

No ano de 2012, a Revista Internacional de Biometeorologia (do inglês, *International Journal of Biometeorological*) publicou uma edição especial sobre o UTCI. Essa edição contém sete artigos (JENDRITZKY et al., 2012; FIALA et al., 2012; PSIKUTA et al., 2012; WEIHS et al., 2012; HEVENITH et al., 2012; BRÖDE et al., 2012; BLAZEJCZYK et al., 2012), onde podem ser encontradas as descrições detalhadas de cada passo envolvido no desenvolvimento na pesquisa para obtenção e validação do UTCI. No prefácio da publicação,



McGregor (2012) enfatiza a relevância do UTCI, por ser o primeiro índice termoclimático universal, obtido por uma considerável coalizão multidisciplinar de cientistas representando um avanço científico e exemplo de co-produção do conhecimento.

Embora seja um tema recente, já existem vários artigos sobre o mesmo. Em 2013, a Revista de Geografia Polonesa (do inglês “*Geographia Polonica*”) também publicou uma edição especial contendo nove artigos relacionados ao UTCI (BLAZEJCZYK et al., 2013; BRÖDE et al., 2013; NOVAK, 2013; NOWOSAD et al., 2013; MAKOSZA, 2013; MILEWSKI, 2013; LINDNER-CERDROWSKA, 2013; WIECZOREK et al., 2013; BLAZEJCZYK, 2013). Nesse mesmo ano, Bröde et al., (2013) comparou o UTCI com padrões ergométricos para a avaliação do ambiente térmico. Mais recentemente, Vatani et al. (2016), aplicou o UTCI para a avaliação do estresse ocupacional por calor em indústrias de tijolos no Irã. Enquanto que em 2015, Pappenberger et al. (2015), avaliou o uso do UTCI para previsões globais de riscos térmicos à saúde e Froehlich et al. (2015) utilizou o UTCI e outros dois índices para estimar condições biometeorológicas humanas no sudoeste da Alemanha, visando potenciais mitigações e adaptações. Já Urban et al. (2014) compararam o UTCI como outros índices térmicos na avaliação dos efeitos do calor/frio na mortalidade cardiovascular na República Checa.

No Brasil, há poucos trabalhos utilizaram o UTCI na avaliação do conforto térmico Nince et al. (2013) utilizaram esse índice para a cidade de Cuiabá-MT, enquanto, Bröde et al. (2012), Krüger et al. (2012) e Martini et al. (2013) utilizaram para avaliar o conforto térmico na cidade de Curitiba-PR. Mais recentemente, Petales (2015), aplicou índice para Fortaleza-CE e Krüger et al. (2017) avaliou o uso do índice na cidade do Rio de Janeiro.

Em relação ao uso do UTCI pelos serviços de meteorologia, alguns países já tornaram o UTCI operacional para fins de avaliação de conforto térmico, como: Portugal<sup>1</sup> e Alemanha<sup>2</sup>.

Em relação à aplicabilidade do UTCI, Błażejczyk et al. (2012) compararam com o UTCI com alguns dos índices biometeorológicos mais utilizados e disseminados na literatura, como por exemplo, Temperatura Efetiva - TE, Temperatura Úmida de Globo Preto - WBGT, Índice de Estresse por Calor - HSI, Wind Chill Temperatura - WCT, Temperatura percebida -

---

<sup>1</sup> <http://www.ipma.pt/pt/ambiente/biometeo/utci/index.jsp>

<sup>2</sup> <http://www.dwd.de/DE/leistungen/gefahrendizesthermisch/gefahrendizesthermisch.html?nn=18464>

PT, Temperatura Equivalente Fisiológica - PET, Standard eficaz Temperatura - SET \*, fisiológica subjetiva Temperatura - PST, e esforço fisiológico - PHS. A principal conclusão a partir das comparações feitas para vários conjuntos de dados (global, região, locais, diárias e dados momentâneos) foi que o UTCI oferece uma melhor representação das condições biotermiais para os seres humanos do que os outros índices.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Área de estudo**

Com uma área de aproximadamente 8,5 milhões de km<sup>2</sup>, o Brasil possui dimensões continentais e é dividido em cinco regiões geográficas (Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul) (IBGE, 2005). A Região Norte abrange cerca de 45% do território brasileiro. Enquanto que, as Regiões Nordeste e Centro-Oeste ocupam juntas o equivalente a 36% do território, sendo 18% o percentual de cada uma dessas regiões. Já as Regiões Sudeste e Sul, são as menores em termos de percentual de área territorial, como 10% e 7%, respectivamente. Em 2010, o Censo do Instituto Nacional de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) revelou que a população brasileira já havia ultrapassado os 190 milhões de habitantes, sendo a Região Sudeste a mais populosa com cerca de 80 milhões de habitantes, seguida das Regiões Nordeste (53.081.950), Sul (27.386.891), Norte (15.864.454) e Centro-Oeste (14.058.094).

Outro aspecto relevante mostrado pelo IBGE (2010) diz respeito à urbanização. Nesse contexto, o Brasil, destaca-se pela intensidade desse processo, especialmente no que tange o acentuado crescimento tanto no número de habitantes quanto no tamanho das cidades, assim como na proporção de pessoas que vivem em espaços urbanos em relação aos espaços rurais. Em termos percentuais, a Região Sudeste, Nordeste e Sul possuem respectivamente, 46,4%, 24,1% e 14,5% da população urbana do país, e que as Regiões Centro-Oeste e Norte apresentam as menores taxas de população urbana, 7,8% e 7,2%, respectivamente. Tais dados ressaltam a importância de estudos climáticos com ênfase no conforto térmico humano, especialmente nas regiões metropolitanas.

Devido a sua grande extensão territorial, situado entre as latitudes de 5°N e 33°S, o Brasil possui grande variabilidade climática. Considerando a importância de classificação climática de Köppen (1936), diversos autores realizaram pesquisa sobre o tema, dentre eles, Rolim et al., (2007) e Jurca (2005). Mais recentemente, Alvares et al. (2014) desenvolveu um sistema de informação geográfica para identificar os tipos de clima segundo tal classificação, onde basear-se também nas médias mensais de temperatura e precipitação.

O estudo de Alvares et al. (2014) apontou para a existência de três zonas climáticas e doze tipos de clima no Brasil. A zona de clima tropical (A), prevalece, estando presente em 81,4% do território brasileiro. Essa zona climática não ocorre nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e em praticamente todo o Paraná, onde encontra-se a zona subtropical úmida (C). Enquanto que a zona de clima semiárido (B), como o próprio nome diz, está restrita a região semiárida da Região Nordeste, onde as precipitações anuais são inferiores a 800 mm.

Quanto ao aspecto dos principais sistemas meteorológicos atuantes do Brasil, mais uma vez, devido a extensa faixa territorial, há uma diversidade de sistemas. Vários estudos mostram de forma abrangente e regionalizada esse aspecto, como por exemplo, Cavalcanti et al. (2009) e Reboita et al. (2010).

### **3.2 Índice Termoclimático Universal (UTCI)**

O objetivo de desenvolver o UTCI (termo do inglês *Universal Thermal Climate Index*) foi conseguir um procedimento de avaliação internacionalmente aceito com base no progresso científico relacionado à modelagem da resposta termo-fisiológica humana ao longo das últimas quatro décadas. O termo "universal" deve ser entendido em termos de adequação para todas as avaliações das condições térmicas ao ar livre nos principais campos biometeorológicos humanos, tais como previsões diárias e alertas de condições meteorológicas extremas, para mapeamento bioclimático, planejamento urbano e regional, epidemiologia ambiental e pesquisas sobre os impactos climáticos, bem como, ser válido em todos os climas, estações do ano, e em escalas espaciais e temporais do micro através do macro;

A ISB (termo do inglês *International Society of Biometeorological*) mantém um sítio de internet<sup>3</sup> no qual é disponibilizada toda a documentação relativa ao desenvolvimento do UTCI, além do Código Fonte necessário para a implementação operacional do índice.

#### **3.2.1 Definição do UTCI**

Conceitualmente, o UTCI foi desenvolvido seguindo o conceito de temperatura equivalente (BRÖDE et al., 2012). A temperatura UTCI equivalente para uma dada combinação de velocidade do vento ( $V_a$ ), temperatura média radiante ( $T_{mrt}$ ), umidade relativa do ar (rH) e temperatura do ar ( $T_a$ ) é, então, definida como a temperatura do ar do

---

<sup>3</sup> [www.utci.org](http://www.utci.org)

ambiente de referência, que produz o mesmo valor do índice de resposta. Isso pode ser escrito em termos matemáticos conforme a Equação 1:

$$UTCI = f(Ta; Tmrt; Va; rH) = Ta + Offset(Ta; Tmrt; Va; rH) \quad (1)$$

Ainda com relação ao conceito do UTCI, observa-se que o mesmo envolve a definição de um ambiente de referência, para o qual todas as outras condições climáticas são comparadas. De acordo com Błażejczyk et al. (2012), para converter o impacto do clima para um único valor e para facilitar a interpretação e compreensão do UTCI, as condições de referência devem ser definidas em termos conformes as experiências da maioria das pessoas, e relevantes em todo o espectro de zonas climáticas para o qual UTCI vai ser aplicado.

Nesse sentido, as variáveis de referência envolvidas no ambiente de referência, sejam meteorológicas ou não, tais como a taxa metabólica (MET) e propriedades térmicas do vestuário (isolamento, resistência ao vapor, permeabilidade ao ar) são de grande importância. A Comissão 6 (ISB) definiu as seguintes condições para o ambiente de referência:

- Velocidade de caminhada ao ar livre de 4 km/h (1,1 m/s);
- A taxa de produção de calor metabólico de 2,3 MET (135 Wm<sup>-2</sup>); Diferentemente das abordagens anteriores que assumiam uma pessoa sedentária com baixa produção de calor metabólico (HOUGHTEN e YAGLOU 1923; GAGGE et al., 1971; GONZALEZ et al., 1974);
- Velocidade do vento, medida a 10 m de altura seguindo a convenção da meteorologia, de 0,5 m/s (correspondente a aproximadamente de 0,3 m/s em 1,1 m acima do nível do solo);
- Temperatura média radiante igual à temperatura do ar;
- Umidade relativa do ar de referência de 50% limitada a uma pressão de vapor 20 hPa para Ta > 29°C, conforme indicado nas observações de Stendel e Roeckner, 1998;

Jendritzky et al. (2007) descrevem que o UTCI deve fornecer uma quantidade unidimensional que reflete de forma adequada a reação fisiológica humana com a condição térmica real multi-dimensionalmente definida.

A Figura 1 ilustra o modelo conceitual do UTCI como resposta multi-variada. O valor do índice será calculado a partir da dinâmica de saída multivariada desse modelo. O termo "dinâmico" refere-se à dependência do tempo das respostas fisiológicas em condições não moderadas antes de atingir os estados estacionários.

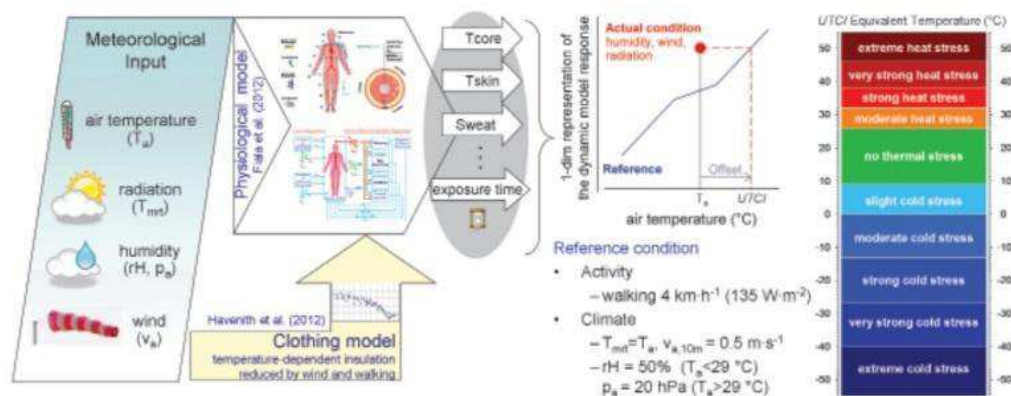


Figura 1- Conceito de UTCI derivado como temperatura equivalente a partir da resposta multivariada dinâmica do modelo UTCI - Fiala termofisiológico (FIALA et al., 2011), o qual foi acoplado a um modelo de vestuário (HAVENITH et al., 2011). Fonte: Bröde et al., 2012.

O UTCI derivado como temperatura equivalente, é calculado a partir do modelo UTCI descrito por Bröde et al. (2012). Tal modelo consiste no acoplamento entre as variáveis ambientais (temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento), modelo termofisiológico (FIALA et al., 2012) e modelo de vestuário (HAVENITH et al., 2012). O valor do índice é calculado a partir da dinâmica de saída multivariada desse modelo. O termo "dinâmico" refere-se à dependência do tempo das respostas fisiológicas em condições não moderadas antes de atingir os estados estacionários.

Após um extenso trabalho de validação (PSIKUTA et al., 2012), a resposta dinâmica simulada do modelo termo-fisiológico (FIALA et al., 2012), integrado com o modelo comportamental vestuário (HAVENITH et al., 2012), foi usado para derivar a escala de temperatura equivalente e para estabelecer limiares UTCI que definem diferentes categorias de estresse térmico.

Além disso, para facilitar o uso generalizado do UTCI, o procedimento operacional (BRÖDE et al., 2012a) fornece algoritmos simplificados para calcular os valores de UTCI de temperatura do ar ( $T_a$ ), a velocidade do vento ( $V_a$ ), temperatura radiante média ( $T_{mrt}$ ) e umidade relativa do ar ( $rH$ ), como entrada por uma abordagem de tabela de consulta ou por equações de regressão. Ambos os métodos simplificados foram baseadas em matrizes de dados gerados executando simulações fisiológicos sobre uma grade de condições meteorológicas relevantes definidos por combinações de  $T_a$ ,  $T_{mrt}$ ,  $V_a$  e  $rH$ .

O procedimento operacional em aplicações de rotina de cálculo e categorização do UTCI são descritos detalhadamente por Bröde et al. (2012) com os seguintes passos:

1) Ambiente de referência (dados meteorológicos ou não de entrada), descritas anteriormente;

2) Modelo Termofisiológico - amplamente validado (PSIKUTA et al., 2012), adaptado e ampliado (FIALA et al., 2012): No modelo o organismo humano é separado em dois sistemas de termorregulação que interagem, ou seja, (1) o sistema ativo de controle, e (2) o sistema passivo controlado. O modelo mais que incorpora um modelo de conforto térmico que prevê respostas perceptivas humanas dinamicamente a partir de estados fisiológicos.

O sistema passivo é um multi-segmentar, representação multi-camadas do corpo humano com informações sobre as propriedades anatômicas e fisiológicas do corpo. O modelo representa uma pessoa média com um peso corporal de 73,5 kg, o conteúdo de gordura corporal de 14%, e a área de superfície corporal (Dubois-área) de 1,86 m<sup>2</sup>. O corpo é idealizado como elementos esféricos e cilíndricos construídos de camadas anulares concêntricas de tecido com propriedades termo físicas adequados e as funções fisiológicas (FIALA et al., 1999). Elementos do corpo estão subdivididos em setores espaciais e em nós de tecido individuais. Na versão do modelo UTCI, o sistema é composto por 12 elementos do corpo que compreendem 187 nós de tecidos no total.

Já o sistema ativo do modelo prevê as reações de termorregulação do sistema nervoso central, ou seja, a supressão (vasoconstrição) e elevação (vasodilatação) do fluxo sanguíneo cutâneo, termogênese pelo tremor, e a excreção de umidade do suor. O sistema ativa foi desenvolvido por meio de regressão estatística (FIALA et al., 2001), usando os dados medidos obtidos a partir de uma variedade de experiências fisiológicas que cobrem em estado estacionário e estresse frio transiente; condições de frio, moderado, quentes e quentes de estresse; e níveis de atividade de até exercícios pesados.

3) Modelo Adaptativo de Roupas - desenvolvido e integrado (HAVENITH et al., 2012): Este modelo considera: a adaptação comportamental do isolamento pela roupa observada em geral na população urbana em relação à temperatura do ambiente real; a distribuição da roupa ao longo de diferentes partes do corpo, proporcionando valores de isolamento locais para os diferentes segmentos do modelo, e a redução das resistências térmicas e evaporativa por vestuários provocados pelo vento e o movimento do utilizador.

Tendo em vista a complexidade envolvida no cálculo do UTCI, de acordo com o listado nos passos 1-2 e 3, foi utilizada análise multivariada com o objetivo de simplificação (BRÖDE et al., 2012). Para isso, a resposta fisiológica dinâmica foi considerada como uma

variável latente, ou seja, a não ser diretamente observável por uma única quantidade, mas para ser escondida dentro dos parâmetros do modelo fisiológico de saída. Dados de simulação que cobrem a gama relevante das condições climáticas foram produzidos, a qual posteriormente foram aplicadas técnicas multivariados de redução de dimensão.

Dois conjuntos de dados foram gerados executando repetidas vezes o modelo fisiológico e de vestuário do UTCI combinados para diferentes condições climáticas com os valores das variáveis de saída, após simulados tempos de exposição de 30, 60, 90 e 120 min:

1) Os dados de referência (n = 926), contendo os resultados das simulações executadas para as condições de referência com a temperatura do ar que abranjam o intervalo esperado de previsões do UTCI. Os parâmetros climáticos foram definidos como:

- Temperatura do ar:  $-110^{\circ}\text{C} \leq T_a \leq +75^{\circ}\text{C}$ ;
- Temperatura média radiante:  $T_{mrt} = T_a$ ;
- Velocidade do vento (10m acima do nível do solo):  $v_a = 0,5 \text{ m/s}$ ;
- Umidade:  $rH = 50\%$  ( $T_a \leq 29^{\circ}\text{C}$ ),  $p_a = 20 \text{ hPa}$  ( $T_a > 29^{\circ}\text{C}$ ).

2) Dados gradeados (n=104,643) com a saída do modelo fisiológico para reais condições não referenciadas definidas sobre uma grade de variáveis de entrada meteorológicas, para os quais irão ser necessários valores de UTCI. Os parâmetros climáticos foram definidos como:

- Temperatura do ar:  $-50^{\circ}\text{C} \leq T_a \leq +50^{\circ}\text{C}$  ( $1^{\circ}\text{C}$  de incremento);
- Temperatura média radiante:  $-30^{\circ}\text{C} \leq T_{mrt} - T_a \leq +70^{\circ}\text{C}$  ( $5^{\circ}\text{C}$  de incremento);
- Velocidade do vento (10 m acima do nível do solo):

$V_a = 0,5; 0,8; 1,2; 1,8; 2,7; 4,0; 6,0; 9,0; 13,5; 20,2; 30,3 \text{ m/s}$ .

1. Umidade:

$rH = 5; 50; 100\%$  e  $rH = 5; \dots; 50; 100\%$  ( $T_a \leq 0^{\circ}\text{C}$ ).

$rH = 5, \dots (6 \text{ passos}) \dots, 100\%$  ou max.  $p_a = 50 \text{ hPa}$  ( $T_a > 0^{\circ}\text{C}$ ).

Análises multivariada do modelo de resposta foram realizadas para parte dos dados da grade com  $T_{mrt} - T_a \geq -10^{\circ}\text{C}$  (n = 82,916). A fim de determinar uma caracterização adequada do modelo de resposta fisiológica, análises de agrupamento hierárquico (HÄRDLE e SIMAR, 2007) foram realizadas nas variáveis conforme indicado na Quadro 1.

Quadro 1 - Variáveis disponíveis a partir da saída do modelo termo-fisiológico UTCI-Fiala após simulados tempos de exposição de 30, 60, 90 e 120 min.

Variável	Abreviatura	Unidade
Temperatura retal	Ter	°C
Temperatura média da pele	Tskm	°C
Temperatura da pele da face	Tskfc	°C
Temperatura da pele das mãos	Tskhn	°C
Perda de calor líquido total	Qsk	W
Perda de calor evaporativo (latente)	Esk	W
Taxa de sudorese	Mskdot	g/min
Produção de calor metabólico	Metab	W
Calor gerado pelos tremores	Shiv	W
Resfriamento Evaporativo da pele	WettA	% da área do corpo
Fluxo de sangue na pele	VblSk	% do valor basal
Débito cardíaco	SVbl	% do valor basal

### 3.2.2 Cálculo do UTCI

Como resultado das várias simplificações apresentadas no cálculo do UTCI, a ISB/6 desenvolveu e disponibilizou uma rotina computacional em linguagem FORTRAN para a realização do cálculo (<http://www.utci.org>).

O computo simplificado e rápido, do UTCI (conforme a Equação 1) para um conjunto de dados foram aproximados por meio de um polinômio em  $T_a$ ,  $v_a$ ,  $p_a$ ,

$T_r - T_a$ , incluindo todos os efeitos principais e termos de interação até a sexta ordem.

A fim de fazer uma demonstração sobre a precisão (acurácia), Bröde et al. (2012) avaliaram o erro médio quadrático no computo simplificado do UTCI. Os valores calculados foram preferencialmente comparados com soluções analíticas conhecidas. Para as condições de referência, UTCI deve ser igual à temperatura do ar por definição. A regressão polinomial rendeu um pequeno viés mediano de 0,2 K com erro médio quadrático de 0,5 K, que foi cerca de metade do valor obtido a partir do ajuste do modelo para todas as condições.

Portanto, dependendo dos requisitos de precisão do cenário utilizado, o cálculo rápido do UTCI (a partir da rotina FORTRAN) tem uma precisão aceitável.

### 3.2.3 Escala de avaliação do UTCI











Os diferentes valores do UTCI são classificados em termos de estresse térmico. A presente abordagem analisa as respostas para as condições de referência e deduz a carga (isto é, o estresse por calor ou frio) causada por uma resposta fisiológica do organismo a condições



ambientais efetivas. O Quadro 2 apresenta a rotulação das categorias de estresse e uma lista de critérios fisiológicos associados (BLAZEJCZYK et al., 2013).

Observa-se que valores de UTCI entre 18 e 26°C estão contidos na definição de “Zona de Conforto Térmico” fornecido no glossário de termos da Fisiologia Térmica (IUPS, 2001) como: A Faixa de temperaturas ambiente, associada com uma específica temperatura média radiante, umidade e velocidade do vento, dentro da qual o homem com determinadas vestimentas expressa indiferença em relação ao ambiente térmico durante um período de tempo indefinido.

Quadro 2 - Temperatura Equivalente UTCI categorizada em termos de estresse térmico.

UTCI (°C)	Categoria de cores	Categoria de Estresse	Respostas Fisiológicas
Acima de +46		Extremo estresse por calor (EEC)	-Aumento de Ter tempo gradiente; -Diminuição acentuada da perda líquida total; -Taxa média de suor > 650 g/h, aumento acentuado
+38 para +46		Muito forte estresse por calor (MFEC)	-Núcleo do gradiente da temperatura da pele < 1K (Tskfc); -Aumento na Ter em 30min;
+32 para +38		Forte estresse por calor (FEC)	-Sensação térmica dinâmica (DST) a 120 min >+2; -Taxa de suor média > 200g/h; -Aumento em Ter em 120 min; -Perda de calor latente > 40 W em 30 min; -Mudanças instantâneas na temperatura da pele >
+26 para +32		Moderado estresse por calor (MEC)	-Mudanças de inclinação na taxa de suor, Ter e Tskfc, mãos (Tskhn); -Ocorrência de sudorese até 30 min; -Forte aumento da eficiência da regulação evaporativa
+9 para +26		Sem estresse térmico (SET)	-Média da taxa de suor > 100 g/h; -DST até 120 min < 1; -DST entre -0,5 e +0,5 (valor médio); -Perda de Calor Latente >40W, medida durante o tempo gradiente. -Patamar em Ter tempo gradiente.
+9 para 0		Leve estresse por frio (LEF)	-DST para 120 min <-1; -Mínimo local da Tskhn (usando luvas).
0 para -13		Moderado estresse por frio (MEF)	-DST até 120 min <-2; -Fluxo sanguíneo da Pele até 120 min menor do que em SET; -Medida de Tskfc <15°C (dor); -Diminuição de Tskhn; -Ter tempo gradiente <0K/h; -30 min temperatura da face <15°C (dor); -Tmsk tempo gradiente <-1/h (para referência).
-13 para -27		Forte estresse por frio (FEF)	-Medida de Tskfc <7°C (dormência); -Ter tempo gradiente < -0,1K/h; -Ter diminui de 30 para 120 min; -Aumento o gradiente de temperatura do núcleo (ce)
-27 para -40		Muito forte estresse por frio (MFEF)	-120 min Tskfc <0°C (congelamento); -Mais acentuada a diminuição de Ter; -30 min Tskfc <7°C (dormência); -Ocorrência de tremores; -Tre tempo gradiente < -0,2 K/h; -Medida de Tskfc <0°C (congelamento); -120 min Tskfc <-5°C (aumenta o risco de congelam
Abaixo de -40		Extremo estresse por frio (EEF)	-Tre tempo gradiente <-0,3°C/h; -30 min Tskfc <0°C (congelamento).

Fonte: Blazejczyk et al., 2013, como adaptações.

### 3.3 Dados

#### 2.2.1 Dados Utilizados na Avaliação do UTCI

Foram utilizados dados diários de temperatura do ar ( $T_a$ , °C), umidade realtiva do ar (rH, %), velocidade do vento a 10 m ( $V_a$ , m/s) obtidos em 221 estações meteorológicas convencionais de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no período de 1984-2014 para todas as regiões do Brasil (Figura 2).

Além desses dados, utilizou-se dados nos horários sinóticos (00, 06, 12 e 18 UTC do inglês, *Universal Time Coordinated*) de temperatura do ar e do ponto de orvalho a 2 metros ( $T_a$  e  $T_d$ , °C), e as componentes zonal ( $u$ ) e meridional ( $v$ ) do vento a 10 m (m/s) das reanálises do ERA-Interim (DEE et al., 2011) com a resolução horizontal de  $0,125^\circ$  latitude x  $0,125^\circ$  longitude, produzidos pelo *European Centre for Medium Range Weather Forecasts* (ECMWF). Com base nas temperatura do ar e temperatura do ponto de orvalho a 2 metros ( $T_a$  e  $T_d$ , °C), foi derivada a umidade relativa do ar a 2 m (rH, %).

O projeto ERA-Interim consiste em uma melhoria das reanálises atmosférica global do ECMWF por meio da implementação de reanálises do ERA-40. Dentre as melhorias destacam-se o uso do estado da arte aplicado na assimilação (4DVar) - 4 dimensional variational analysis- e correções dos erros nos dados de observações por satélites. O ERA-Interim disponibiliza dados desde 1979 até o presente, e esses podem ser acessados no sítio: <http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=pl/>. Neste estudo, foi selecionado o período de 1984 a 2014. Acesso em 26 de maio de 2016.

#### 2.2.2 Análise e tratamento dos dados

Foi realizado um estudo para avaliar a qualidade das séries temporais das 221 estações meteorológicas do INMET. Analisou-se o volume de dados informados (temperatura do ar,  $T_a$ , °C), umidade realtiva do ar (rH, %) e velocidade do vento a 10 m ( $V_a$ , m/s) em cada estação meteorológica no período de 1984 a 2014 através de consultas ao Sistema de análise de séries do INMET.

Esse estudo teve por finalidade identificar as estações cujas séries temporais são mais completas, ou seja, com menos discontinuidade (pelo menos 60% das observações). Essa análise fez-se necessária para a seleção das estações meteorológicas de referência, cujas séries temporais foram analisadas quanto a existência ou não de tendência, por meio da teste estatístico Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975), que exige séries temporais completas, sem falhas.

Além disso, devido à complexidade do cálculo do UTCI, que requer as observações simultaneas das variáveis ( $T_a$ , rH e  $V_a$ ), a ausência de uma dessas implica na impossibilidade do

cálculo. Como isso, das 221 estações meteorológicas operantes na rede do INMET, foram identificadas apenas 158 estações meteorológicas que permitem o cálculo do UTCI, com pelo menos 60% de observações. Esse número (158) foi obtido com base no percentual de dados existentes das variáveis ( $T_a$ ,  $rH$  e  $V_a$ ), que consiste no quociente entre o número total de amostras informadas por estação pelo número de amostras esperadas no período de 1984-2014. A distribuição espacial das estações meteorológicas, segundo o percentual de dados maior do que 60%, é mostrada na Figura 3. Observou-se que, os Estados de Rondônia, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Espírito Santo e Rio de Janeiro possuem a menor densidade espacial de dados com mais de 60% das observações completas.

Os dados faltantes identificados nas séries temporais de cada uma das 221 estações meteorológicas foram preenchidos por meio de dados gradeados de reanálise do ERA-Interim (DEE et al., 2011). Nesse sentido, para cada estação meteorológica de superfície foi criada uma série temporal derivada dos dados gradeados (“estação virtual”) correspondentes às coordenadas latitude e longitude da estação meteorológica real (“estação física”), ou seja, o ponto de grade mais próximo.



Figura 2 - Distribuição espacial das 221 estações meteorológicas de superfície do INMET, no período de 1984-2014.

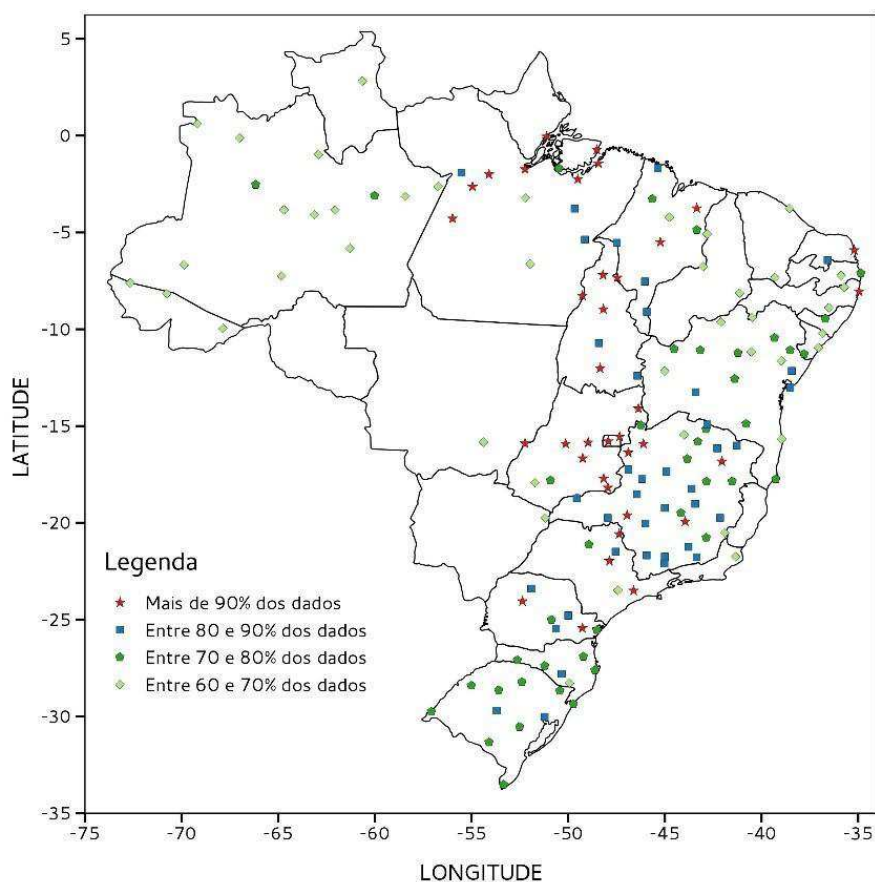


Figura 3 - Distribuição espacial das 158 estações meteorológicas de superfície do INMET, com no mínimo 60% das observações no período de 1984-2014.

As séries de dados gradeados de reanálise do ERA-Interim foram obtidas através *scripts* em linguagem GRADS (do inglês, *Grid Analysis and Display System*). Os *scripts* geraram as séries das quatro observações diárias (06, 12, 18 e 00 UTC- do inglês, *Universal Time Coordinated*) das variáveis  $T_a$ ,  $rH$  e  $V_a$ . Sendo essa última variável calculada a partir das componentes zonal ( $u$ ) e meridional do vento ( $v$ ) em (m/s), conforme equação 2:

$$V_a = \left( u^2 + v^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

As duas séries temporais de dados (dados observados e dados gradeados) foram inseridas em banco de dados PostgreSQL (disponível em: <https://www.postgresql.org/>), onde foi realizado o preenchimento dos dados faltantes.

### 2.2.3 Cálculo do UTCI

O UTCI foi calculado para os horários de observação (00, 12 e 18 UTC) nas 221 estações meteorológicas. Nas séries dos dados gradeados (“estação virtual”) foi acrescida a observação das 06 UTC. Para possibilitar o cálculo de todo o volume de dados foi necessário o desenvolvimento de rotinas computacionais em linguagem Fortran, conforme equação (1),

descrita em 3.2.1, tomando como base o algoritmo disponibilizado em (<http://www.utci.org>).

#### 2.2.4 Cálculo das Médias Mensais do UTCI

Inicialmente, os dados diários foram agrupados por estação, ano, mês e hora da observação (00, 06, 12 e 18 UTC) e variável observada ( $T_a$ ,  $rH$  e  $V_a$ ). Para cada um desses grupos foi calculada a média mensal por meio de consulta SQL (*Structured Query Language*) no banco de dados. O processamento dos dados gerou aproximadamente 7 milhões de registros observacionais e 10 milhões de registros gradeados.

As médias mensais do UTCI de cada estação meteorológica foram calculadas por meio de consultas no banco de dados nas quais se executou a seguinte Equação (3) nos horários das 00, 06, 12 e 18 UTC:

$$\bar{X}_{E,a,m,i} = \frac{\sum_{a,m,i=1}^n (Y_{a,m,i})}{n} \quad (3)$$

em que:

$\bar{X}$  - média mensal do UTCI;  $Y$  - UTCI;  $E$  - estação meteorológica;  $a$  - ano da observação;  $m$  - mês do ano (janeiro a dezembro);  $i$  -  $n$ -ésima observação do mês  $m$ ;  $n$  - número de observações no mês  $m$ .

#### 2.2.5 Cálculo da Climatologia do UTCI

A climatologia do UTCI foi calculada a partir das séries mensais obtidas no passo anterior. As médias mensais foram agrupadas segundo o código das estações e o mês observado. Com isso, tem-se um conjunto de todas as médias mensais individuais por estação ao longo de toda a série de dados, ou seja, trinta amostras de janeiros, fevereiros, marços, etc. Finalmente, foi computado a climatológica mensal como sendo a média desses meses, conforme a Equação 4.

$$\bar{C}_{E,m,i} = \frac{\sum_{m,i=1}^n (\bar{X}_{m,i})}{n} \quad (4)$$

em que:

$\bar{C}$  - Climatologia mensal do UTCI;  $\bar{X}$  - média mensal para o UTCI;  $E$  - estação meteorológica;  $m$  - mês observado;  $i$  -  $n$ -ésima média mensal do mês  $m$ ;  $n$  - número de observações na série (30 anos).

#### 2.2.6 Análise espacial

Os valores médios mensais e climatológicos do UTCI foram espacializados através do software Grads utilizando o método de interpolação de Cressman (1959).

As séries temporais do UTCI juntamente com as respectivas coordenadas de latitude, longitude e código das estações foram exportadas do banco de dados para um arquivo texto (.txt) e, assimilados como dados de estação do Grads. Utilizando scripts na linguagem GRADS foi definida uma grade de um grau (112 km<sup>2</sup>), onde foram realizados os cálculos de interpolação. Na elaboração das paletas de cores dos mapas foram utilizados os mesmos intervalos de classes e cores para os níveis de conforto térmico para o UTCI (BRÖDE et al., 2010a).

### 2.2.7 Análise temporal das séries

O teste estatístico de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975) é utilizado para a avaliação de tendência nas séries temporais climatológicas. Nesse estudo, o teste foi aplicado as séries temporais do UTCI nas estações de referência, ou seja, estações meteorológicas cujas séries temporais de dados apresentam-se mais completas no período 1984-2014 e que houvesse pelo menos uma em cada região do país. As estações de referência selecionadas foram: Manaus- AM (Região Norte), Salvador- BA (Região Nordeste), São Paulo – SP (Região Sudeste), Brasília –DF (Região Centro-oeste) e Porto Alegre –RS (Região Sul).

O teste de Mann-Kendall é um teste não-paramétrico que consiste em comparar cada valor da série temporal com os valores restantes, sempre em ordem sequencial. É contado o número de vezes que os termos restantes são maiores do que o valor analisado. A estatística S é obtida pela soma de todas as contagens, dado como se segue:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{Sinal}(x_i - x_j),$$

(5)

em que o Sinal  $(x_i - x_j)$  é obtido da seguinte forma:

$$\text{Sinal} = \begin{cases} 1 & \text{se } (x_i - x_j) > 0 \\ 0 & \text{se } (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{se } (x_i - x_j) < 0 \end{cases}$$

(6)

A estatística S tende para a normalidade quando *n* for grande, com média E(S) e variância Var (S) definidas como se segue:



$$E(S) = 0, \quad (7)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n+1)(2n+5) - \sum_{i=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18} \quad (8)$$

em que:  $(t_p)$  é número de dados com valores iguais num certo grupo ( $p$ th) e  $q$  o número de grupos contendo valores iguais na série de dados num certo grupo  $p$ . O segundo termo representa um ajuste para dados censurados.

O teste estatístico parametrizado ( $Z_{MK}$ ) é dado por:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (9)$$

A presença de tendência estatisticamente significativa na série temporal é avaliada usando-se o valor de  $Z$ . Essa estatística é usada para testar a hipótese nula que nenhuma tendência existe. O valor positivo de  $Z_{MK}$  indica uma tendência crescente. Para testar qualquer tendência constante, crescente ou decrescente para um nível significativo de  $p$ , é rejeitada a hipótese nula se o valor absoluto de  $Z$  é maior que  $Z_{1-p/2}$ , o qual é obtido na tabela da distribuição normal. Neste trabalho foram aplicados os níveis de significância de  $p = 0,05$  e  $0,1$ . Para a implementação do teste acima foi utilizado o software R (disponível em: <https://www.r-project.org/about.html>).

Outra abordagem dada às séries temporais consiste na avaliação de seus valores extremos, no período de estudo. Além disso, será avaliada a existência de tendência de mudança no número de dias desconfortáveis, segundo a classificação de conforto térmico dada pelo UTCI. Isso se ocorrerá por meio de consulta SQL no banco de dados definido anteriormente.

#### 2.2.8 Monitoramento diário do UTCI

Foram utilizados dados diários de temperatura do ar ( $T_a$ , °C), umidade realtiva do ar (rH, %), velocidade do vento a 10 m ( $V_a$ , m/s) obtidos da rede de observações do INMET. Atualmente, estão em operação 488 estações meteorológicas automáticas de superfície e 221 estações meteorológicas convencionais de superfície conforme Figura 4.

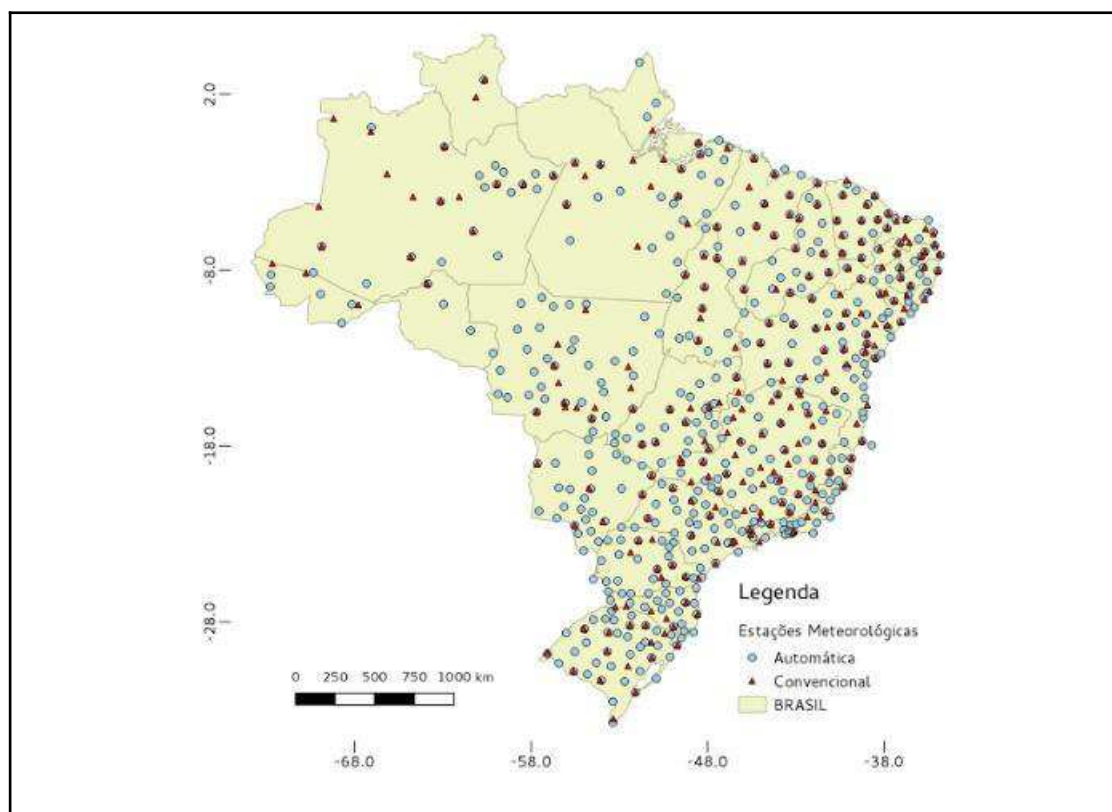


Figura 4 - Distribuição espacial das estações do INMET.

Foram implementadas rotinas computacionais que possibilite o monitoramento diário do UTCI, a partir dos dados das estações meteorológicas do INMET.

Além disso, foram aplicadas rotinas computacionais ao modelo numérico de previsão do tempo Cosmo (7 km) do INMET, que permitam os cálculos do UTCI objetivando, assim a previsão de eventos de desconforto térmico em todo o país. É válido ressaltar que no Brasil não existe ferramentas nesse sentido.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O clima de uma região tem implicação direta no conforto térmico, na saúde, na produtividade e nas redes de infraestrutura de uma dada população (TEJADA-MARTINEZ et al., 2002). Nesse sentido, em áreas urbanas as características do ambiente atmosférico que afetam diretamente os seres humanos são, principalmente, a temperatura, a umidade, a radiação e o vento (JAUREGUI, 1993).

Tais abordagens se tornam mais relevantes sob a ótica das mudanças climáticas, sendo que, ainda são poucos os estudos sobre os impactos das mudanças climática e as questões relacionados com conforto térmico (JENDRITZKY e TINZ, 2009).

Nesse contexto, em países como elevada concentração populacional urbana, como é o caso do Brasil (IBGE, 2016), estudos que abordem os aspectos relacionados como o conforto térmico tornam-se uma importante ferramenta adicional no serviços meteorológicos nacionais, podendo subsidiar os gestores públicos na tomada de decisão no tocante a eventos extremos de calor/frio.

Na sequência, será apresentada a climatologia horária do conforto térmico humano para o Brasil, com base no UTCI.

### **4.1 Climatologia do conforto térmico humano no Brasil**

Nesse estudo foi investigado o comportamento climatológico do Conforto térmico humano (CTH), com base no Índice Termoclimático Universal (UTCI), nas escalas diária (nos horários das 06, 12, 18 e 00 UTC), mensal, anual e os extremos mínimos/máximos.

A fim de simplificar o entendimento dos resultados, convencionou-se o uso das siglas das categorias do UTCI, conforme Quadro 2 (item 3.2.3).

### **4.2 Média mensal (horária) do UTCI**

De acordo com Barbosa et al. (2006), as observações realizadas nas estações meteorológicas do INMET são realizadas nos horários sinóticos das 00, 12 e 18 UTC. Sendo assim, os dados referentes ao horário das 06 UTC, são baseados em reanálise do ERA-Interim (DEE et al. 2011), conforme descrito no item 3.3.1. Uma abordagem similar foi realizada por Salviano et al. (2016), utilizando dados de reanálise do CRU (do inglês, *Climatic Research*

*Unit*) e dados médios diários de temperatura e precipitação estações meteorológicas do INMET entre os anos 1961 e 2011.

Como base nessa contextualização, as Figuras 5a a 5f mostram o UTCI médio das 06 UTC no Brasil. Os meses de janeiro (Figura 5a) e fevereiro (Figura 5b), apresentaram-se, na quase totalidade, na categoria sem estresse térmico - SET ( $9^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} \leq 26^{\circ}\text{C}$ ). As únicas exceções são áreas isoladas do centro do Amazonas e no sudoeste do Mato Grosso e de Rondônia, onde há moderado estresse por calor - MEC ( $26^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} \leq 32^{\circ}\text{C}$ ). Tais resultados convergem com a climatologia da temperatura mínima do ar do Brasil (INMET, 2009), onde em grande parte das Regiões Sul e Sudeste varia entre 18 a  $24^{\circ}\text{C}$ . Enquanto que, no sudoeste do Mato Grosso, sul de Rondônia e centro do Amazonas as temperaturas mínimas médias são superiores a  $24^{\circ}\text{C}$ .

Além disso, esse nível de desconforto térmico na área central do Amazonas pode está associado ao elevado teor de umidade na região. Pois, de acordo com Marengo e Nobre (2009), a distribuição espacial de precipitação na Amazônia possui quatro centros de máximos e um deles (o segundo maior – com cerca de 2500 mm por ano-, encontra-se em torno de  $5^{\circ}\text{S}$ ).

A partir do mês de março (Figura 5c), observa-se que as áreas de moderado estresse do calor – MEC, expandem-se levemente em direção ao norte do país. Em abril (Figura 5d), há uma continuidade no deslocamento para norte das áreas de MEC e, além disso, acrescentou-se o nordeste do Pará, leste do Amapá e norte do Maranhão. Tal deslocamento pressupõe uma associado como a ciclo sazonal da energia solar no topo da atmosfera, como principal regulador da temperatura do ar (FISCH, MARENGO e NOBRE, 2006).

No mês de maio (Figura 5e), observaram-se três padrões distintos sobre o Brasil: sem estresse térmico - SET (grande parte do país), moderado estresse por calor -MEC (pequenas áreas do nordeste do Amazonas, sul de Roraima, nordeste do Pará, Amapá e nordeste do Maranhão), leve estresse por frio - LEF ( $0^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} \leq 9^{\circ}\text{C}$ ), no extremo sul do Rio Grande do Sul e nas áreas serranas do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Essa variabilidade de padrões pode ser justificado basicamente devido à dimensão continental do Brasil (DANNI-OLIVEIRA, 2007) e conseqüentemente, a complexa variabilidade temporal e regional do ciclo sazonal de precipitação na América do Sul (ZHOU e LAU, 1998; KOUSKY, 1988).

A partir do mês de junho (Figura 5f), observou-se um aumento das áreas onde o UTCI das 06 UTC apresentou-se com leve estresse por frio - LEF (todo o Estado do Rio Grande do

Sul, Santa Catarina – exceto o leste, e o sul do Paraná). Nas demais áreas do país, o padrão é sem estresse térmico - SET, exceto no extremo litoral norte do Amapá, onde a disponibilidade de energia solar mantém a temperatura praticamente constante, como mínimas em torno de 23,0°C (INMET, 2009).

Em julho (Figura 5g), há uma continuidade do avanço na direção de sul para norte das áreas com leve estresse por frio - LEF, com expansão para a áreas central do Paraná. No restante do Brasil, a configuração é sem estresse térmico - SET. No mês de agosto (Figura 5h), há praticamente a mesma configuração de julho. A única alteração é observada na porção central do Paraná, onde há redução de área com leve estresse térmico por frio - LEF.

Com isso, nos meses de inverno (JJA), esses resultados vão ao encontro da climatologia da Região Sul (INMET, 2009), onde as temperaturas médias variam de 22-24°C a 6-8°C, ao longo da costeira e do interior, respectivamente (MARENGO e CAMARGO, 2008). Segundo Hamilton e Tarifa (1972), no inverno do Hemisfério Sul, o Brasil é comumente invadido por ar de origem polar, sistema esse responsável pelas variações bruscas das temperaturas do ar. Para Gerreaud (2000), a incursão equatorial das massas de ar frio é observado também a leste das orientações nordeste da cadeia das Montanhas Rochosas, dos Andes, leste do Himalaia, montanhas australianas da costa leste e Appalachians. Porém, segundo o autor, no leste do Andes, ocorrem as incursões mais drásticas que avançam sobre toda a América do Sul. O ar frio que avança para latitude mais baixas (Bacia Amazônica) é conhecido como "friagem" (HAMILTON e TARIFA, 1972).

Por outro lado, ainda em setembro (Figura 5i), observou-se leve estresse térmico por frio - LEF no Rio Grande do Sul (exceto no noroeste) e na área serrana de Santa Catarina. Enquanto que, novamente surgiu uma pequena área com moderado estresse por calor - MEC no nordeste do Amazonas. De acordo com a climatologia (INMET, 2009), em setembro as temperaturas mínimas variam de 8,8-13,3°C, no litoral e interior do Rio Grande do Sul, respectivamente. Enquanto que na serra Catarinense é de apenas 7,3°C.

Em outubro (Figura 5j), apenas o extremo sul do Rio Grande do Sul ainda apresentou leve estresse térmico por frio – LEF, área onde as temperaturas mínimas do ar variam entre 10 e 12°C (INMET, 2009). Por outro lado, a área do nordeste do Amazonas, onde há moderado estresse por calor - MEC, se ampliou, quando comparado ao mês anterior (setembro). Porém, a quase totalidade do Brasil se mantém sem estresse térmico - SET.

O padrão de moderado estresse térmico por calor (MEC) verificado no nordeste do Amazonas nos meses de setembro e outubro, coincidem com o período seco da região, que

vai e junho a novembro (INMET, 2009). Logo, observou-se que há uma inter-relação entre a ocorrência de desconforto térmico por calor como o período seco do nordeste do Amazonas.

Nos meses de novembro (Figura 5k) e dezembro (Figura 5l), a configuração média do UTCI às 06 UTC é de moderado estresse térmico por calor – MEC no nordeste e leste do Amazonas, sul de Roraima, noroeste do Pará e no sudoeste do Mato Grosso e de Rondônia.

Ao analisar esses padrões mensais do UTCI às 06 UTC, notou-se que os mesmos tendem a seguir a marcha sazonal das estações do ano, como consequência da migração norte-sul do Equador Térmico (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007). Isto é, já no mês de maio (Figura 4e), final do outono, observou-se o surgimento de áreas com leve estresse térmico por frio -LEF (extremo sul do Rio Grande do Sul e área serrana de Santa Catarina). Nos meses de inverno (Figuras 5f, 5g e 5h), ocorreu um aumento das áreas com leve estresse térmico por frio - LEF e essas avançam na direção norte (do Rio Grande do Sul para o Paraná). Padrão que se manteve, com notável diminuição de áreas (deslocamento para sul) a partir de setembro (início da primavera – Figura 5i) e restrita ao extremo sudeste do Rio Grande do Sul (Figura 5j). Por outro lado, nas áreas mais a norte do país, a condição de moderado estresse térmico por calor -MEC só não ocorreu no inverno (junho, julho e agosto).

A justificativa mais plausível para o observado na porção mais a norte do país é devido às suas características geográficas, especialmente latitude e relevo. Tal posição latitudinal (5°N-10°S) proporciona o recebimento de energia solar, praticamente igual ao longo do ano, apresentando portanto pouca variação da temperatura do ar (FISCH, MARENGO e NOBRE, 1997). O predomínio de desconforto térmico por calor na classificação MEC (moderado estresse por calor), geram implicações fisiológicas, a exemplo de ocorrência de sudorese e mudanças instantâneas na temperatura da pele (BLAZEJCZYK et al., 2013).

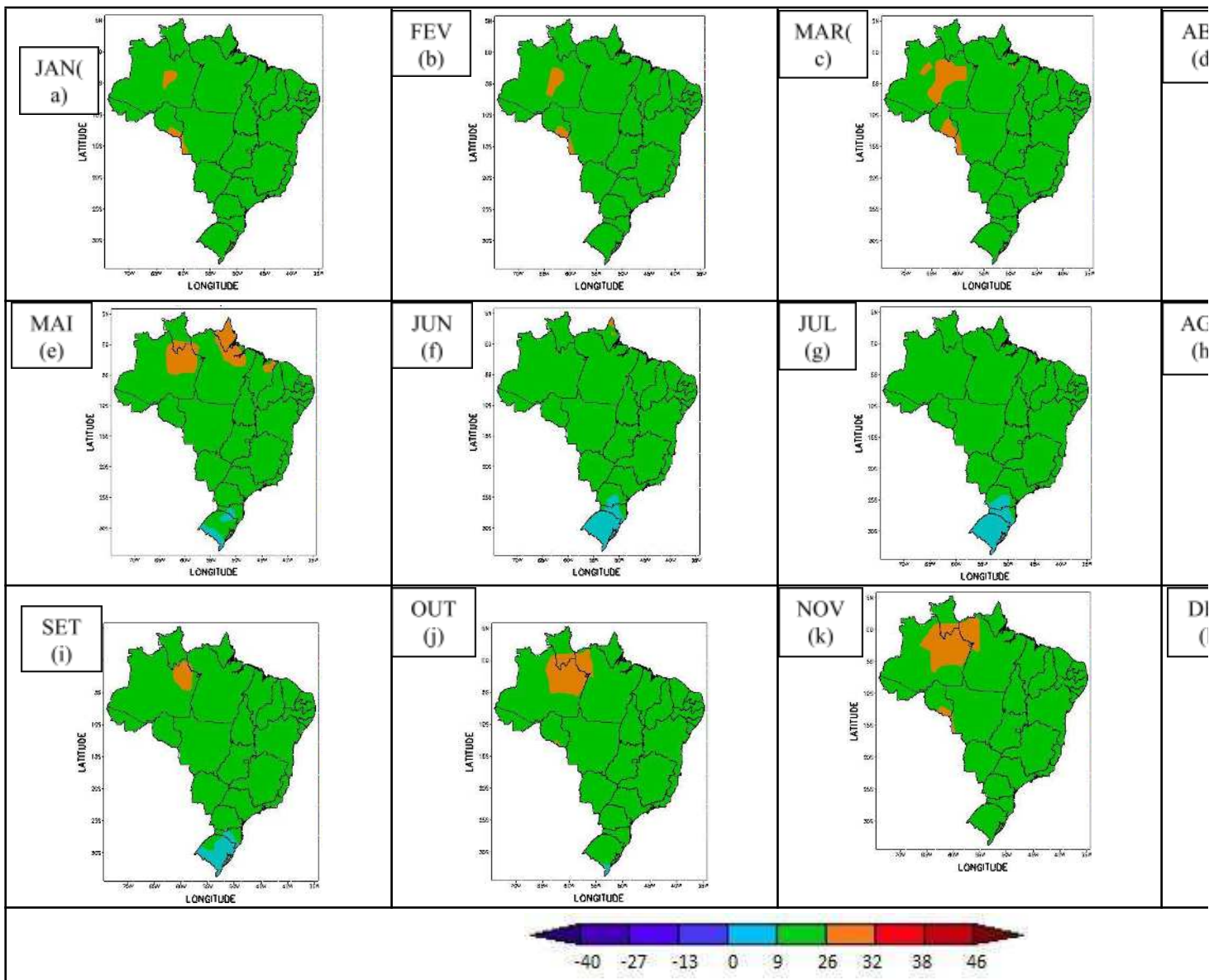


Figura 5 - Climatologia do UTCI médio às 06 UTC nos doze meses do ano no período (1984 - 2014).

Ao analisar o comportamento médio do UTCI às 12 UTC, notou-se que no quadrimestre janeiro-fevereiro-março-abril (Figuras 6a a 6d) grande parte do país (interior das Regiões Nordeste, Sul, Sudeste e Centro-Oeste - na quase totalidade), encontravam-se sem estresse térmico (SET). Já em praticamente toda a Região Norte, na extensa faixa litorânea da Região Nordeste, norte e litoral do Rio de Janeiro, observou-se moderado estresse térmico por calor - MEC. Os estados nos quais observou-se alterações ao longo desse quadrimestre foram: Roraima - expansão para norte da área de moderado estresse térmico por calor - MEC a partir de março (Figura 6c), ficando apenas uma pequena área no extremo norte sem estresse térmico - SET em abril (Figura 6d); extremo noroeste do Amazonas - domínio de moderado estresse térmico por calor - MEC a partir de abril (Figura 6d); Acre - expansão para norte da condição sem desconforto térmico - SET a partir de abril; Mato Grosso - diminuição da área sem desconforto térmico - SET no norte do estado a partir de abril; Pará - diminuição da área sem desconforto térmico - SET no sudoeste a partir de março; Espírito Santo e Rio de Janeiro - avanço para norte das áreas sem desconforto térmico - SET a partir de abril.

As alterações observadas durante os meses de janeiro a abril em Roraima, são justificadas pela climatologia da precipitação (mínimo em fevereiro, 18,1 mm), da umidade relativa do ar (valores mínimos às 12 UTC em fevereiro e março: 77 e 76%, respectivamente), e dos ventos, que são máximos em janeiro (cerca de 4,5 m/s e tendem a diminuir a partir de abril, menos do que 3 m/s) INMET (2009). Isso porque a temperatura mínima não varia muito: 23,2°C em janeiro e 23,6°C em março.

Por outro lado, no interior da Região Nordeste, o quadrimestre supracitado, contém os meses mais chuvosos da região semiárida: março e abril (ARAGÃO et al., 2007). Contribuindo assim, para que a umidade relativa do ar mantenha-se acima de 80% em todo semiárido INMET, 1992). As temperaturas também não variam muito: 22°C e 24°C (INMET, 2009). Enquanto que no leste da Região Nordeste, o quadrimestre mais chuvoso é abril a julho (RAO, 1993).

Além disso, nas Regiões Sudeste e Centro-Oeste, o período citado corresponde ao período chuvoso, sendo que abril é a transição entre o término do período chuvoso e o início do seco (PADILHA, 2005) e as temperaturas começam a diminuir a partir de abril (INMET, 2009).

No mês de maio (Figura 6e), observou-se um avanço de sul para norte das áreas sem desconforto térmico - SET, quando comparado como o mês de abril (Figura 6d). Nesse



sentido, há uma diminuição das áreas com moderado desconforto térmico por calor - MEC no sudoeste do Amazonas, sul e oeste de Rondônia, oeste e norte do Mato Grosso, noroeste de Goiás, sul do Tocantins e praticamente toda a faixa leste da Região Nordeste. Por outro lado, em maio (Figura 6e), no extremo sul do Brasil e em uma pequena área da região serrana do Rio Grande do Sul, observou-se o surgimento de leve desconforto térmico por frio - LEF. Tal configuração indica uma marcha sazonal do UTCI, que segue as estações do ano. Visto que, em maio (final do outono) as primeiras massa de ar frio conseguem avançar pela Região Sul do país e não raramente pode ocorrer algum episódio de friagem (RICARTE, 2012).

No trimestre junho-julho-agosto (inverno – Figuras 6f a 6h), praticamente todo o Brasil está sem desconforto térmico. As exceções encontram-se na Região Sul do país, onde as áreas com leve desconforto térmico por frio tendem a aumentar entre os meses de junho (Figura 6f) e julho (Figura 6g, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e extremo sul do Paraná). Nesses meses, a temperatura mínima média varia de 6-8°C nas áreas costeiras (MARENGO e CAMARGO, 2008)

Por outro lado, notou-se que o avanço das áreas sem desconforto térmico - SET na direção norte, atingindo o oeste e noroeste do Amazonas, sul do Pará, centro do Tocantins e o sul do Maranhão (Figuras 6f e 6g). Enquanto que, nos Estados de Roraima, Amapá, nordeste do Pará, centro e leste do Amazonas, nos meses de inverno persistiu a condição de moderado desconforto térmico por calor - MEC.

Em setembro (Figura 6i), ainda observou-se a condição de leve desconforto térmico por frio - LEF no extremo sul do Rio Grande do Sul e na região serrana do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Porém, notou-se uma expansão no sentido de norte para sul das áreas de moderado desconforto térmico por calor -MEC.

A partir de outubro (Figura 6j), observou-se que as áreas de moderado desconforto térmico por calor – MEC continuou expandindo no sentido de norte para sul, e predominam em praticamente toda a Região Norte do país, na quase totalidade do Mato Grosso, noroeste de Goiás, e avançou no interior da região Nordeste (Piauí, noroeste e Jaguaribe no Ceará, oeste e norte do Rio Grande do Norte), leste de Sergipe, oeste e recôncavo Baiano). Segundo a climatologia (INMET, 2009) em outubro as temperaturas mínimas ultrapassam 17°C no Distrito Federal, enquanto que a umidade relativa do ar, frequentemente fica abaixo de 30%.

Em novembro (Figura 6k), as áreas sem estresse térmico (SET) predominaram nas Regiões Sul, Sudeste (exceto pequena área no noroeste de Minas Gerais), Mato Grosso do Sul (exceto no norte), Goiás (exceto no noroeste) e no interior da Região Nordeste. Nas demais

áreas do país, a condição média do UTCI às 12 UTCI foi de moderado estresse térmico por calor -MEC. Finalmente em dezembro (Figura 6l), observou-se uma continuidade do padrão verificado em novembro (Figura 6l), com expansão das áreas de desconforto térmico sobre o litoral e norte do Rio de Janeiro, todo o litoral da Bahia, Sergipe, litorais de Alagoas, Pernambuco e Paraíba, todo o Rio Grande do Norte, noroeste e nordeste do Ceará. Por outro lado, no extremos norte do Amazonas e Roraima, surgiu áreas sem estresse térmico por calor -SET.

Ao analisar esses padrões mensais médio do UTCI às 12 UTC, observou-se a presença de uma marcha sazonal e a inter-relação como a climatologia sinótica do país. E isso é especialmente verificado nos meses de inverno (Figuras 6f a 6h) e de verão (Figuras 6l a 6a). No primeiro caso (inverno), há um deslocamento das áreas sem estresse térmico - SET no sentido sul para norte do país e o surgimento de áreas com desconforto térmico por frio - LEF (Região Sul), como reflexo das incursões de massas de ar frio de origem polar e até mesmo a ocorrência de friagens (nas Regiões Centro-oeste e sul da Região Norte) (MARENGO et al., 1997). Já no segundo caso (verão), observou-se o padrão oposto, com deslocamento das áreas de moderado desconforto térmico - MEC na direção norte para sul.

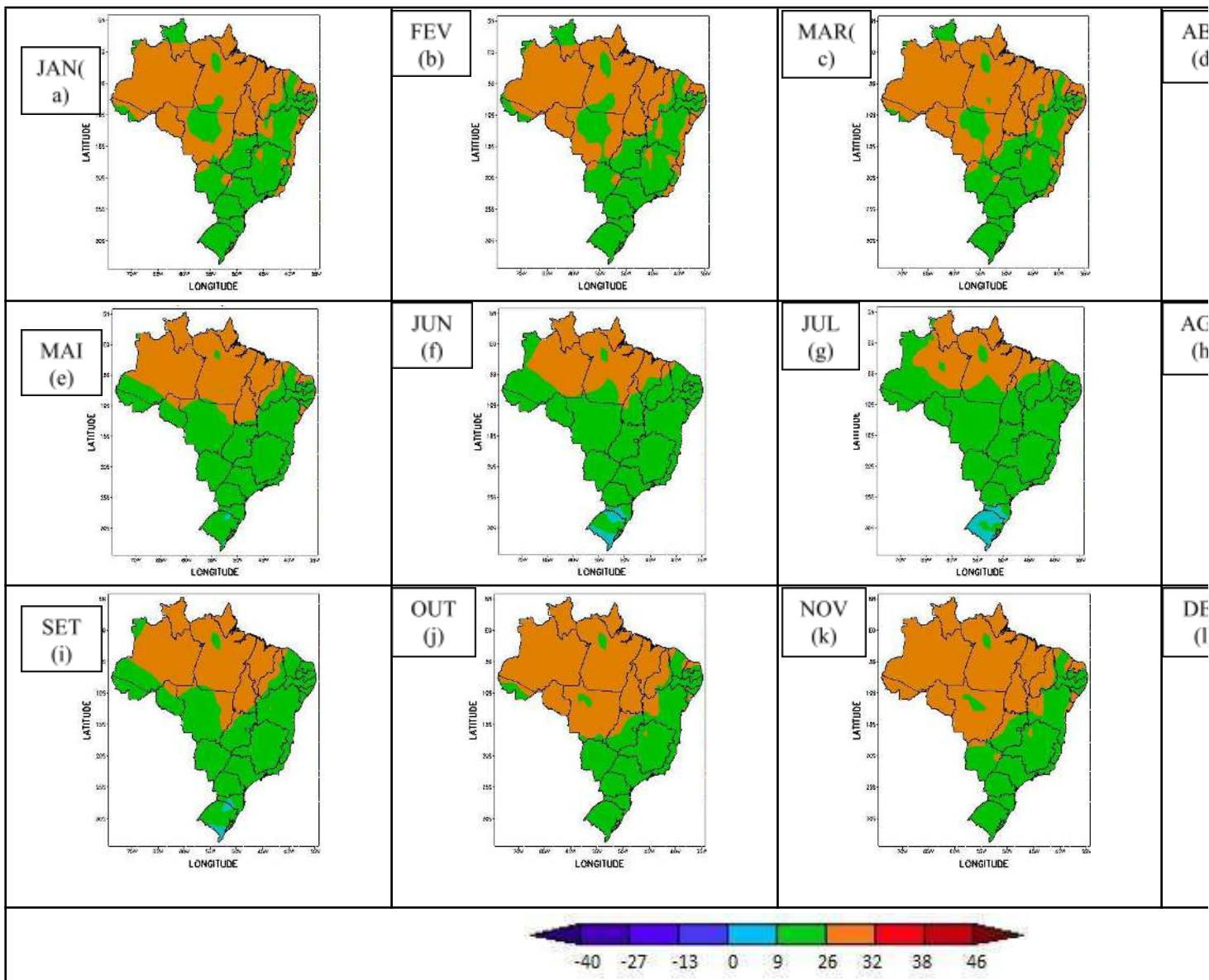


Figura 6 - Climatologia do UTCI médio às 12 UTC nos doze meses do ano no período (1984-2014).

Ao analisar o comportamento médio do UTCI às 18 UTC, nota-se que no trimestre janeiro-fevereiro-março (Figuras 7a a 7c) grande parte do Brasil apresentou moderado estresse térmico por calor - MEC. As exceções são observadas em pontos isolados das cinco regiões do país, onde ocorreram também as seguintes classificações: sem estresse térmico - SET e forte estresse por calor – FEC ( $32^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} \leq 38^{\circ}\text{C}$ ). A primeira exceção (SET) foi observada em uma expressiva faixa do sul e centro da Região Sul, incluindo, principalmente as regiões serranas dos três estados, leste de São Paulo e também as áreas de altitude mais elevado do sul e centro de Minas Gerais, Distrito Federal (Planalto Central), sudoeste e centro (Chapada Diamantina) da Bahia. Já nas Regiões Norte e Nordeste, a exceção foi indicada pela classificação de forte estresse por calor, observada no norte de Roraima (Figuras 7b e 7c), centro-oeste e sudeste do Amazonas, sudoeste e nordeste do Pará, sendo que a partir do mês de março há uma expansão da área no norte de Roraima e no sudeste do Amazonas, em direção ao sudoeste do Pará e noroeste do Mato Grosso. Enquanto que, na Região Nordeste, essa exceção estão presentes no centro do Maranhão e na divisa dos Estado do Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte (Figura 7a).

Esses resultados convergem como os obtidos por Costa et al., (2013b), que através da temperatura efetiva verificaram que em Belém (PA) apresentou desconforto entre às 8 e 15 horas, enquanto que Manaus (AM) o desconforto foi a partir das 16 horas.

A partir do mês de abril (Figura 7d), a classificação de moderado estresse por calor – MEC diminuiu, ao passo que as áreas contidas na classificação de sem estresse térmico -SET do UTCI, antes restrita apenas a parte da Região Sul e áreas de maior altitude das Regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste, aumentam. Observou-se que houve uma expansão da classificação SET no sentido de sul para norte. Por outro lado, na Região Norte, as áreas de forte estresse por calor - FEC avançaram de norte para sul, do nordeste do Pará em direção ao oeste do Tocantins e leste do Mato Grosso.

Em maio (Figura 7e), houve expansão ainda mais significativa do que a observada em abril (Figura 7d) das áreas sem estresse térmico – SET de sul para norte. Observou-se que as Regiões Sul e Sudeste, na quase totalidade apresentaram essa classificação do UTCI. Além dessas regiões, incluiu-se o sul e centro da Bahia e a área central dos estados de Pernambuco e da Paraíba, área de maior altitude. Por outro lado, verificou-se uma expansão da classificação forte desconforto por calor - FEC sobre o Tocantins e o oeste do Maranhão.

Nos meses de junho e julho (Figuras 7f e 7g), verificou-se que a classificação do UTCI (SET) prevaleceu no centrossul do Brasil e em grande parte da Região Nordeste. Notou-se

ainda que, no extremo sul do Rio Grande do Sul, surge um área com leve estresse por frio - LEF. Enquanto que, na Região Norte a classificação de moderado estresse por calor – MEC predomina. Mas, é observada uma área de forte estresse por calor – FEC no leste do Amazonas, Pará (exceto no noroeste), oeste do Tocantins e leste do Mato Grosso.

O estudo de Santos (2011) utilizando o Índice de THOM para João Pessoa-PB coincidem como os obtidos nesse estudo. O autor verificou que durante o período chuvoso a cidade de João Pessoa é confortável, ao passo que no período seco é parcialmente desconfortável, especialmente entre o meio dia e as 14 horas.

No mês de agosto (Figura 7h), verificou-se um expansão das áreas de moderado estresse por calor -MEC, na direção norte para sul do país, incluindo os Estados do Mato Grosso do Sul, noroeste de São Paulo, grande parte de Goiás, oeste e noroeste de Minas Gerais. Outro destaque importante, é o aumento expressivo das áreas com forte estresse por calor - FEC, na quase totalidade da Região Norte, nos Estados do Maranhão, Piauí e o extremo noroeste do Ceará. Porém, no extremo sul do Rio Grande do Sul, persistiu a condição de leve estresse por frio - LEF.

Em setembro e outubro (Figuras 7i e 7j), ainda observou-se a condição de leve estresse por frio no extremo sul do Rio Grande do Sul. No entanto, também notou-se a continuidade da expansão na direção de norte para sul das áreas de moderado/forte estresse por calor MEC/FEC. Em toda a Região Norte do país, predominou a condição de forte estresse por calor - FEC, bem como, na quase totalidade dos Estados do Maranhão, Piauí, Ceará, oeste da Paraíba, do Rio Grande do Norte e da Bahia, Mato Grosso, oeste de Goiás e o noroeste de Minas Gerais. Observou-se inclusive, que o norte do Paraná ficou sob a condição de moderado estresse por calor - MEC. Consequentemente, houve uma diminuição nas áreas sem estresse térmico - SET. Sendo que no mês de outubro (Figura 7j), a condição de SET restringiu-se a estreita faixa litorânea do Rio Grande do Norte a Alagoas e no sul da Bahia.

Em novembro (Figura 7k), houve uma redução expressiva da condição de forte estresse por calor - FEC, na direção sul para norte, permanecendo ainda grande parte da Região Norte sob tal condição (exceto o Acre, extremo noroeste de Rondônia, centrossul do Tocantins). No entanto, na Região Nordeste observou-se uma expansão das áreas com moderado estresse por calor - MEC, ficando apenas pontos isolados do agreste da Paraíba, litoral de Alagoas e sul da Bahia, sem estresse térmico - SET. Outro destaque foi o avanço do moderado estresse por calor - MEC no sul do Mato Grosso do Sul, centrossul do Paraná, oeste do Rio Grande do Sul e centro-norte do Rio de Janeiro.

Por fim, em dezembro (Figura 7l), a condição média do UTCI às 18 UTC no Brasil é de moderado estresse por calor - MEC, incluindo grande parte do Estado do Paraná, oeste e Vale do Itajaí em Santa Catarina e Rio Grande do Sul (exceto no sul, litoral e serras). Já as áreas de forte estresse por calor - FEC persistiram na Região Norte, mas com uma redução considerável na abrangência dos estados. Por outro lado, as áreas sem desconforto térmico - SET foram bem pontuais: leste da Região Sul, leste de São Paulo, em pontos de elevada altitude, como a serra da Mantiqueira entre São Paulo e Minas Gerais, além do centro de Minas Gerais, litoral sul do Espírito Santo, Distrito Federal (Planalto central), sudoeste e noroeste da Bahia.

Ao analisar esses padrões mensais médio do UTCI às 18 UTC, notou-se a presença de uma marcha sazonal do índice e a inter-relação como a climatologia do país (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007). E isso foi especialmente verificado no final do inverno/início da primavera (junho a outubro, Figuras 7f a 7j) e de verão (dezembro-janeiro-fevereiro). No primeiro caso (final do inverno, início da primavera), houve um deslocamento das áreas com moderado/forte estresse por calor MEC/FEC da direção norte para sul do país, como um reflexo da escassez das chuvas nas Regiões Norte, Centro-Oeste e no interior da Região Nordeste – predomínio da circulação da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) (ARAGÃO et al., 2007). Ao passo que, ainda persistiu a condição sem estresse térmico – SET em grande parte das Regiões Sul e Sudeste, devido as incursões de massas de ar frio (CERNE e POSSI, 2004).

Já no segundo caso (verão), observou-se a persistência da condição de moderado estresse por calor - MEC em grande parte do Brasil, mas com reduções expressivas nas áreas de: forte estresse por calor- FEC na Região Norte – período chuvoso (FISCH et al., 1997); e sem estresse térmico – SET no oeste da Região Sul, leste da Região Sudeste e na Região Nordeste – regiões como maior disponibilidade de energia solar, duas primeiras áreas e período seco, em grande parte do nordeste.

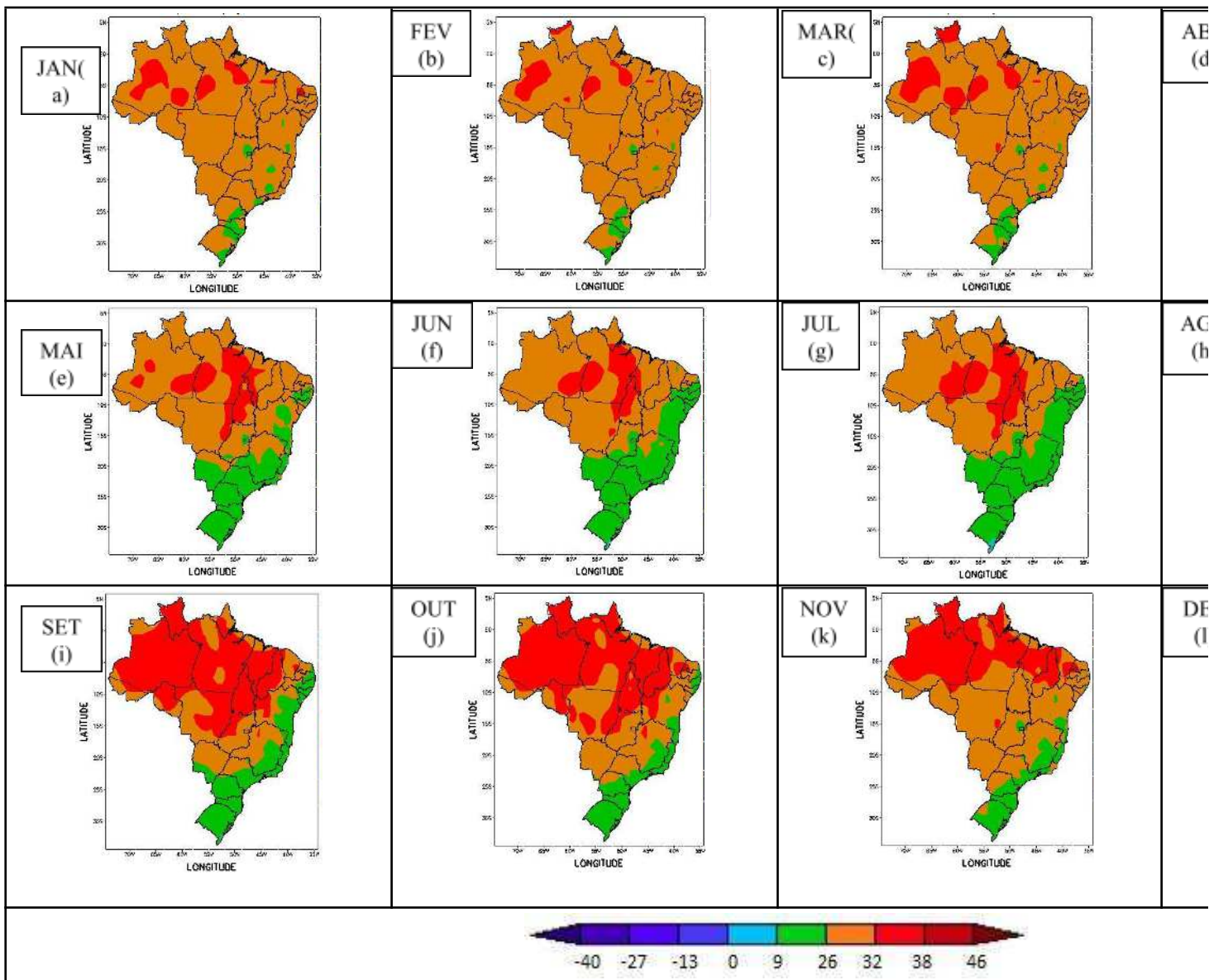


Figura 7 - Climatologia do UTCI médio às 18 UTC em todos os meses do ano no período (1984-2014).

Ao analisar o comportamento médio do UTCI às 00 UTC no trimestre janeiro-fevereiro-março (Figuras 8a a 8c), observou-se que na Região Norte, em grande parte dos Estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, no Maranhão, Piauí, divisa entre os Estados do Ceará, da Paraíba e do Rio Grande de Norte, oeste de Pernambuco, noroeste da Bahia, litoral do Rio de Janeiro, da Bahia e de Sergipe, apresentaram moderado estresse por calor - MEC. Nas demais, prevaleceu a condição sem estresse térmico – SET.

A partir do mês de abril (Figura 8d), notou-se que as áreas de SET expandiram-se na direção sul para norte. Em maio (Figura 8e), houve uma continuidade do deslocamento para norte das áreas de SET, ficando apenas a Região Norte (exceto no sudeste do Tocantins), nordeste e noroeste do Mato Grosso, Maranhão, Piauí (exceto o leste) e o Ceará (exceto os extremos nordeste e noroeste) sob a condição de moderado estresse por calor - MEC.

Nos meses de junho e julho (Figura 8f e 8g), observou-se três padrões distintos sobre o Brasil: sem estresse térmico – SET (grande parte do país); moderado estresse por calor – MEC (pequenas áreas do nordeste e noroeste do Mato Grosso, norte de Rondônia, Acre (exceto o leste- julho), centro-oeste do Tocantins, Maranhão (exceto o sul), oeste de Piauí, Amazonas, Roraima, Pará (exceto no sudoeste) e Amapá; e leve estresse por frio – LEF no extremo sul do Rio Grande do Sul (junho e julho) e na região serra do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (julho).

A partir do mês de agosto (Figura 8h) e, acentuando mais no meses de setembro e outubro (Figuras 8i e 8j), verificou-se que houve um deslocamento das áreas com moderado desconforto térmico por calor - MEC, na direção norte para o sul (Região Norte para a Região Centro-oeste) e na direção oeste para leste (Região Norte para a Região Nordeste). Além disso, surgiu, no sudoeste do Pará, uma área de forte estresse por calor - FEC. Mas, observou-se que ainda predominou no país a condição sem estresse térmico – SET e, ainda havia leve estresse por frio – LEF no extremo sul do Rio Grande do Sul em agosto e setembro (Figuras 8h e 8i).

Nos meses de novembro (Figura 8k) e dezembro (Figura 8l), a condição de sem estresse térmico – SET do UTCI média às 00 UTC persistiu em grande parte do Brasil. No entanto, em dezembro a área com moderado estresse térmico por calor –MEC aumentou no Mato Grosso do Sul em direção ao oeste de São Paulo. Além disso, surgiu pontos isolados no norte do Mato Grosso sem estresse térmico -SET.

Ao analisar esses padrões mensais, notou-se que os mesmos tendem a seguir a marcha sazonal das estações do ano. Isto é, já no mês de maio (Figura 8e), final do outono,



observou-se a expansão das áreas sem estresse térmico -SET, da direção sul para o norte. Em junho (Figura 8f) houve o surgimento de áreas com leve estresse por frio -LEF (extremo sul do Rio Grande do Sul). Em julho (Figuras 8g), ocorreu um aumento das áreas com leve estresse por frio -LEF (serras do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina). Padrão que se manteve, com notável diminuição de áreas (deslocamento para sul) a partir de agosto (Figura 8h) e ficou restrita ao extremo sudeste do Rio Grande do Sul (em setembro - Figura 8i). Enquanto que, no sul da Região Norte do país, as áreas com moderado estresse por calor -MEC só não ocorreu no inverno (junho, julho e agosto).

Ao analisar o UTCI médio mensal nos quatro horários de observações (06, 12, 18 e 00 UTC) verificou-se que o índice segue uma marcha sazonal mensal e horária, como os menores/maiores níveis de estresse por frio/calor (LEF/MEC-FEC) ocorrendo nos horários das 06-12/18 UTC. Além disso, notou-se que em termos de maior áreas de abrangência no país, os menores-LEF/maiores-MEC-FEC nível do UTCI médio mensal ocorrem no trimestre junho-julho-setembro e dezembro-janeiro-fevereiro. Outro ponto importante observado foi que nas Regiões Norte, Centro-Oeste e Nordeste, o trimestre mais crítico em termos de maior área de atuação e nível do UTCI mais elevado (FEC) é agosto-setembro-outubro. Esses níveis de desconforto térmico refletem respostas fisiológicas conforme Quadro 2.

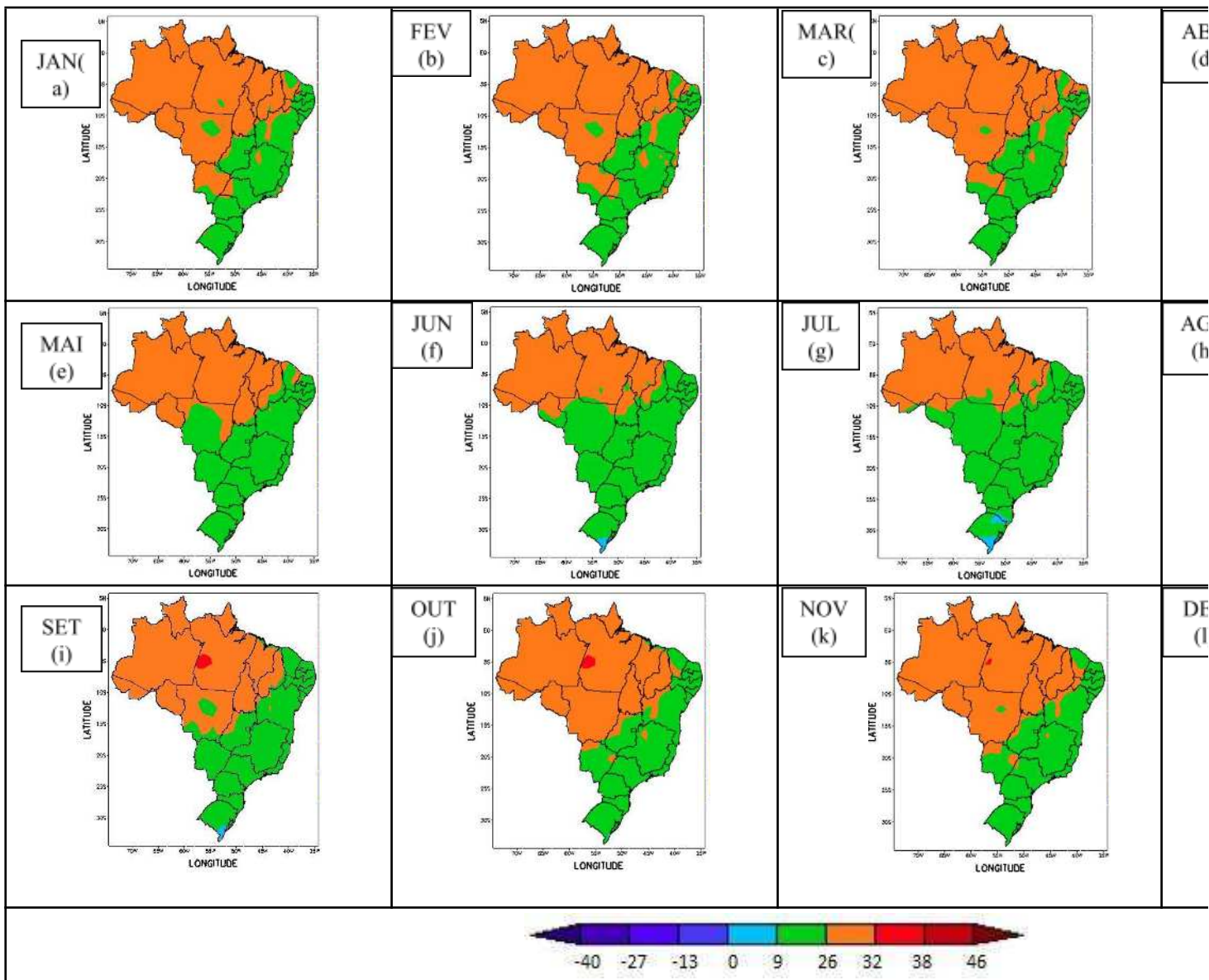


Figura 8 - Climatologia do UTCI médio às 00 UTC em todos os meses do ano no período (1984-2014).

#### 4.2.1 Extremos climatológicos mensais (horários) mínimos do UTCI

Os extremos mínimos mensais (horários) registrados no período de 1984 a 2014 estão ilustrados na sequência das Figuras 9 a 12.

No mês de janeiro (Figura 9a a 9d), não foi registrado extremo de estresse por frio ( $0^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} \leq 9^{\circ}\text{C}$ ) nos quatro horários (06, 12, 18 e 00 UTC) em grande parte do país (latitudes acima de  $24^{\circ}\text{S}$ ). As únicas exceções foram a Região Sul (nos quatro horários) e o sul de São Paulo (06 UTC, Figura 9a). Por outro lado, ainda em janeiro, ocorreu moderado estresse por frio - MEF ( $0^{\circ}\text{C} \leq \text{UTCI} < -13^{\circ}\text{C}$ ) no extremo sudoeste do Rio Grande do Sul às 12 UTC (Figura 9b) e na região serrana de Santa Catarina às 12, 18 e 00 UTC (Figuras 9b a 9d, respectivamente).

Em fevereiro (Figura 9e a 9h), observou-se um padrão semelhante ao de janeiro. Porém, foram registrados extremos de estresse por frio - LEF ( $0^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} \leq 9^{\circ}\text{C}$ ) em latitudes acima  $25^{\circ}\text{S}$ , no sul do Mato Grosso do Sul, região central de São Paulo e na divisa nordeste de Minas Gerais com São Paulo (aproximadamente  $20^{\circ}\text{S}$ ) às 06 UTC; sudoeste e oeste do Mato Grosso do Sul às 12 UTC; e extremos de moderado estresse por frio - MEF ( $0^{\circ}\text{C} \geq \text{UTCI} < -13^{\circ}\text{C}$ ) apenas na região serrana de Santa Catarina às 12 e 00 UTC, respectivamente.

A partir do mês de março (Figura 9i a 9l), observou-se que as áreas com extremos de estresse por frio (LEF) aumentaram (na direção sul para norte), especialmente nos Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul às 06 e 12 UTC (Figuras 9i e 9j) e, no Paraná e São Paulo às 00 UTC (Figura 9l). Além disso, houve aumento das áreas com extremos do UTCI no nível de MEF no sul do Rio Grande do Sul, região serrana do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, incluindo o meio-oeste desse estado, no horário das 12 UTC (Figura 9j).

Em abril (Figura 10a a 10d), houve uma continuidade no deslocamento para norte das áreas com extremo estresse por frio (LEF) (acima de  $15^{\circ}\text{S}$ ), incluindo na sua totalidade os Estados do Mato Grosso do Sul, São Paulo, Minas Gérias e de Goiás às 06 UTC e até mesmo o sul e oeste de Rondônia e o leste do Acre às 12 UTC, aproximadamente  $10^{\circ}\text{S}$ . Além disso, houve uma expansão das áreas com extremos moderados de estresse por frio (MEF) nos horários das 06, 12 e 00 UTC em toda a Região Sul, centrossul do Mato Grosso do Sul, sul e oeste de São Paulo, anteriormente restritos ao Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Adicionalmente, foram registrados extremos de forte estresse por frio - FEF ( $-13^{\circ}\text{C} \leq \text{UTCI} < -27^{\circ}\text{C}$ ) às 06 UTC na região serrana entre o Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

No mês de maio (Figura 10e a 10h), persistiu o avanço das áreas com extremos de estresse por frio (LEF) na direção sul para norte, especialmente nos horários das 06 e 12 UTC

sobre o Mato Grosso, Goiás e Minas Gerais, além do sul e oeste de Rondônia, leste do Acre (latitudes acima de 15°S). Observou-se também um deslocamento na direção oeste para leste desses extremos, incluindo o Estado do Rio de Janeiro, em praticamente todos os horários. Verificou-se ainda que, ocorreu extremos de moderado estresse por frio (MEF) acima da latitude de 20°S, incluindo o sul de Minas Gerais às 06 e 00 UTC. Outro destaque importante notado foi o extremo de forte estresse por frio (FEF), registrado no extremo sul do Rio Grande do Sul nos horários das 06, 12 e 00 UTC, além dos registrados nas áreas serranas entre o Rio Grande do Sul e Santa Catarina (nos quatro horários).

A partir do mês de junho (Figura 10i a 10l), observou-se extremos de estresse por frio (LEF) deslocando-se ainda mais a norte (latitudes acima de 10°S), no centrossul de Rondônia, leste do Acre e até mesmo o extremo sudoeste do Amazonas nos horários das 06 e 12 UTC. Adicionalmente, persistiu também o deslocamento dos registros de extremo estresse por frio (LEF) na direção oeste para leste, incluindo o centrossul do Espírito Santo nos horários das 06, 12 e 00 UTC. Notou-se também extremos de estresse por frio (LEF), até mesmo no sul do Tocantins, sudoeste da Bahia e áreas de maior altitude desse estado (Chapada Diamantina) e do centro de Pernambuco, nos horários das 12 e 00 UTC. Em relação aos registros de extremos de moderado de estresse por frio (MEF), esses ocorreram, principalmente nos horários das 06 e 12 UTC, em latitudes acima de 15°S, sobre os sul e oeste do Mato Grosso, sul de Goiás e no Distrito Federal. Também verificou-se uma expansão das áreas onde houve registros de extremos de forte estresse por frio (FEF), sobre o Rio Grande do Sul (exceto o centro e noroeste do estado), meio-oeste e sul de Santa Catarina, principalmente às 06, 12 e 00UTC. Um aspecto relevante notado no mês de junho, foi a persistência ao longo do dia (nos quatro horários) de moderado estresse por frio (MEF) em toda a Região Sul e em grande parte dos Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul (exceto às 18 UTC).

Em julho (Figura 11a a 11d), há uma continuidade dos registros de extremo de estresse por frio (LEF), dessa vez, em latitude até 5°S, compreendendo todo o Estado do Acre, sul do Amazonas, principalmente às 12 UTC. Notou-se também a persistência no deslocamento dos registros de extremo estresse por frio na direção oeste para leste, incluindo o todo o Estado do Espírito Santo, exceto o norte às 18 UTC; e também, de extremos de estresse por frio (LEF), até mesmo no sul do Tocantins, sudoeste, centro (Chapada Diamantina), noroeste da Bahia e em áreas de maior altitude do centro-oeste de Pernambuco, oeste e da Paraíba, sul do Ceará, nos horários das 06 e 12 UTC. Quanto aos registros de extremos de moderado estresse por frio (MEF), esses ocorreram às 12 UTC até mesmo no sul e oeste de Rondônia (em latitudes

entre 15°S e 12°S); e nos horários das 12 e 00 UTC no sul de Minas Geras e região serrana do Rio de Janeiro. Observou-se ainda uma expansão das áreas onde houve registros de extremos de forte estresse por frio, às 06 e 12 UTC sobre o sul do Paraná, Santa Catarina (exceto o oeste e litoral norte), Rio Grande do Sul (exceto o noroeste). Sendo que no sul e leste do Rio Grande do Sul, áreas serranas do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (incluindo também o meio-oeste e planalto sul do estado), esses extremos se prologam ao longo do dia (durante os quatro horários de observação). Enquanto que, os registros de moderado estresse por frio (MEF) persistiram também nos quatro horários nas demais da Região Sul, e na quase totalidade dos Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul (exceto às 18 UTC), extremo sul do Mato Grosso e Goiás (exceto às 18 UTC).

No mês de agosto (Figura 11e a 11h), há praticamente a mesma configuração observada em julho. Notou-se porém que, as áreas com registros de extremos de estresse por frio (LEF), especialmente às 12 UTC, restringiram até o sudoeste do Amazonas; os extremos de moderado desconforto térmico por frio (MEF) às 18 UTC, não avançaram além do oeste do Mato Grosso do Sul (limitado até aproximadamente 18°S); no sul e região serrana do Rio de Janeiro foram registrados extremos de moderado estresse por frio (exceto às 06 UTC).

Observou-se que, a partir de setembro (Figura 11i a 11l), houve uma diminuição das áreas onde foram registrados extremos de estresse por frio, especialmente às 12 UTC em latitudes acima de 10°S (sudoeste do Amazonas), às 18 UTC em latitudes acima de 20°S (Minas Gerais, Goiás, Espírito Santo e Bahia). Seguindo essa mesma observação, verificou-se que o norte do Paraná não houve registros de extremos de estresse por frio (LEF) (exceto às 06 UTC). Por outro lado, foram observados valores de moderado estresse por calor (MEC) em pontos isolados do noroeste do Pará e nordeste do Maranhão às 18 UTC.

Em outubro (Figura 12a a 12d), as áreas com registros de estresse por frio (LEF) restringiram-se: às 12 UTC ao sul de 10°S (extremo sul de Rondônia e sudoeste do Mato Grosso); às 18 UTC apenas em São Paulo, pequena área no sul de Minas Gerais devida com região serrana do Rio de Janeiro; os valores extremos de moderado estresse por frio (MEF) persistiram ao longo do dia (quatro horários) apenas no Rio Grande do Sul, região serrana de Santa Catarina. Além disso, não foram registrados valores extremos de forte estresse por frio no país (FEF). Ao passo que, houve registros de moderado estresse (MEC) por calor no Amapá (12 e 18 UTC) e no sudeste do Amazonas (18 UTC).

No mês de novembro (Figura 12e a 12h), observou-se que as áreas onde houve registros de extremos de estresse por frio (LEF) diminuiram ainda mais, especialmente sobre

latitudes ao sul de 15°S e nos horários de 12 e 18 UTC. Na Região Sul, os extremos de moderado estresse por frio (MEF) ao longo do dia (nos quatro horários observados) se manteve apenas no extremo sul do Rio Grande do Sul e nas áreas serranas entre o estado e Santa Catarina. Além disso, seguindo o que foi notado em outubro, houve registro de moderado estresse por calor (MEC), mas dessa vez, no nordeste do Pará às 18 UTC.

Em dezembro (Figuras 12i a 12l), um pequena porção do país registrou extremos de estresse por frio (LEF) (latitudes ao sul do 20°S), considerando os quatro horários de observação simultaneamente. Às 06 UTC ocorreu a maior abrangência espacial de áreas com ocorrência de extremos. Enquanto que, às 18 UTC, observou-se o oposto, menores áreas com registros de extremo de estresse por frio (LEF): na Região Sul apenas no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, mas nenhum estado na sua totalidade. Os extremos de moderado estresse por frio (MEF) foram bastante escassos: na região serra do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina apenas às 12 e 00 UTC. Além disso, seguindo o que foi notado em outubro e novembro, houve registros de moderado estresse por calor (MEC), mas dessa vez, no sudoeste e noroeste do Amazonas às 18 UTC.

Ao analisar essa distribuição mensal/temporal (quatro horários) dos extremos de estresse por frio do UTCI, notou-se que, similarmente ao observado na distribuição mensal média do índice, existe uma marcha sazonal dos extremos de mínimos valores do UTCI, que segue as estações do ano. Sendo que, a interação entre a quantidade de energia solar que chega no topo da atmosfera (FISCH, MARENGO E NOBRE, 2006) como os principais sistemas atmosféricos de grande escala que atuam sobre o Brasil (SERRA E RASTIBONA, 1941; KOUSKY, 1979; SATYAMURTY et al., 1998), o principal mecanismo de regulação da temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e, conseqüentemente do conforto térmico mensurado a partir do UTCI.

Observou-se que, a partir de abril (outono – Figuras 10a a 10d) houve um deslocamento da direção sul para norte, das áreas com extremos de estresse por frio (LEF), inclusive com surgimento de extremos na categoria moderado estresse por frio (MEF). Em maio (Figuras 10e a 10h), ocorreu os primeiros registros de extremos do UTCI na categoria forte estresse por frio (FEF). Nas áreas serranas do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, essa condição é observada de maio a setembro (Figuras 10a a 11l). Esses resultados são condizentes aos obtidos por Gerreaud (2000), que a partir de dados de re-análises do NCEP/NCAR entre 1979 e 1995, identificou 145 incursões de ar frio de maio a setembro.

Os meses de inverno (junho, julho e agosto – Figuras 10i a 11h), corresponderam ao período com maior área de ocorrência de extremos do UTCI nas três categorias (leve, moderado e forte estresse por frio) e nos horários das 06, 12, 18 e 00 UTC, simultaneamente. Incluindo, até mesmo latitudes acima de 10°S na primeira categoria nas Regiões Norte e Nordeste do país, especialmente às 12 UTC, convergindo assim com os resultados de Mattos (2003). Esse autor observou que eventualmente, as frentes frias penetram profundamente no continente sul americano, ao norte de 10°S. Além disso, os resultados obtidos para o inverno vão ao encontro dos de Lupo et al. (2001): as ondas de frio são mais frequentes no inverno (74% dos casos entre 1992 e 1996).

A partir de setembro (primavera – Figuras 11i a 11l), verificou-se uma redução das áreas com extremos de estresse por frio, na direção norte para sul. Em novembro, esse padrão acentuou-se ainda mais. Nos trimestre dezembro-janeiro-fevereiro (verão), os extremos de estresse por frio (na categoria LEF) restringiram-se ao sul de 20°S (sul do Mato Grosso do Sul e a Região Sul).

Além disso, observou-se que em todos os meses do ano às 12 (18 UTC) houve uma aumento (redução) das áreas com desconforto por frio (estresse por frio). Tal variação está diretamente associada marcha diária da radiação solar (ciclo diurno) sob o aquecimento do ar (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Dessa forma, para fins de investigação pontual do desconforto nas estações de referência, foi convencionado nesse estudo que, na maior parte do ano, o horário das 12 UTC está associado à ocorrência de desconforto por frio, enquanto que o horário das 18 UTC, corresponde a desconforto por calor.

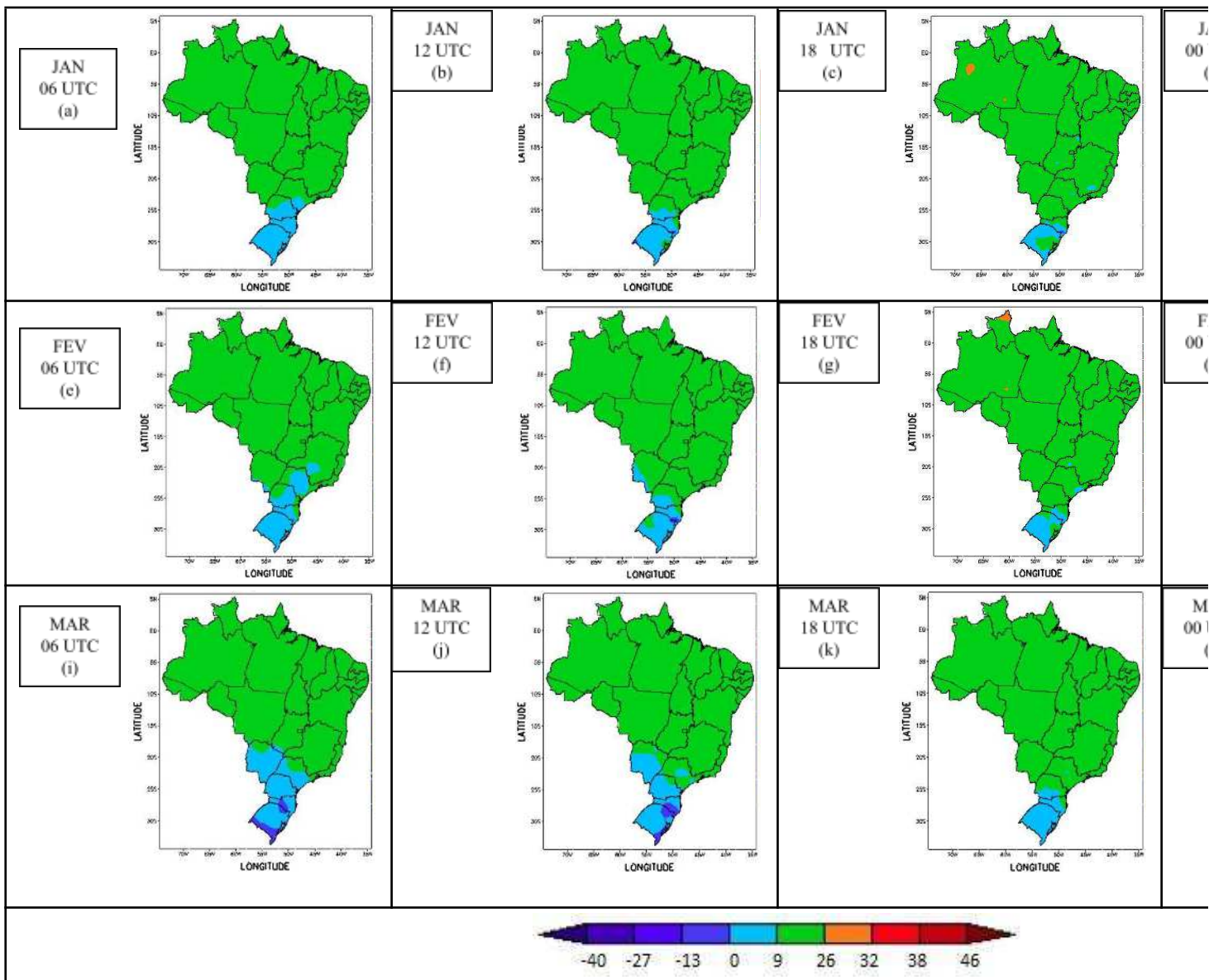
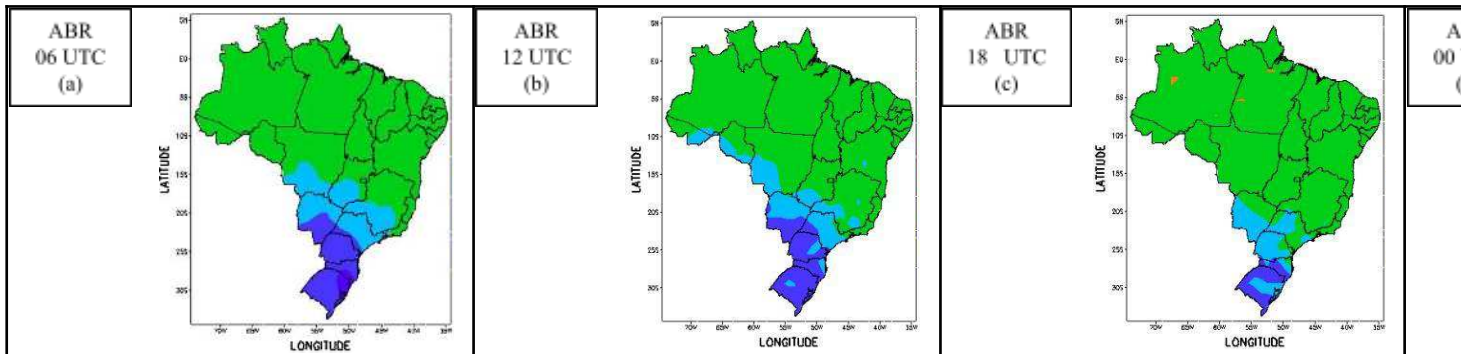


Figura 9 - Climatologia dos extremos de mínimos do UTCI nos horários das 06, 12, 18 e 00 UTC: janeiro, fevereiro e março, respectivamente.





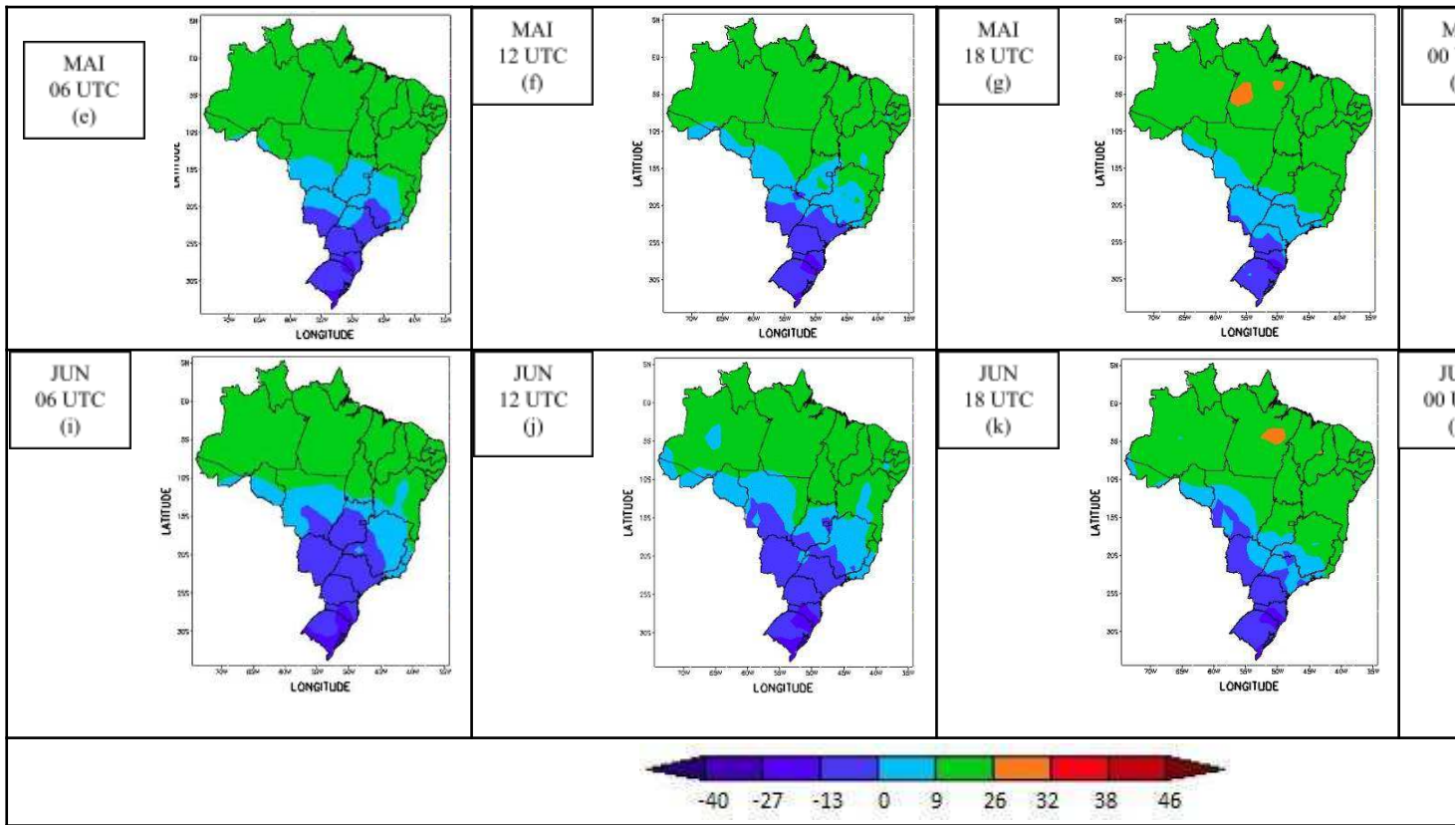
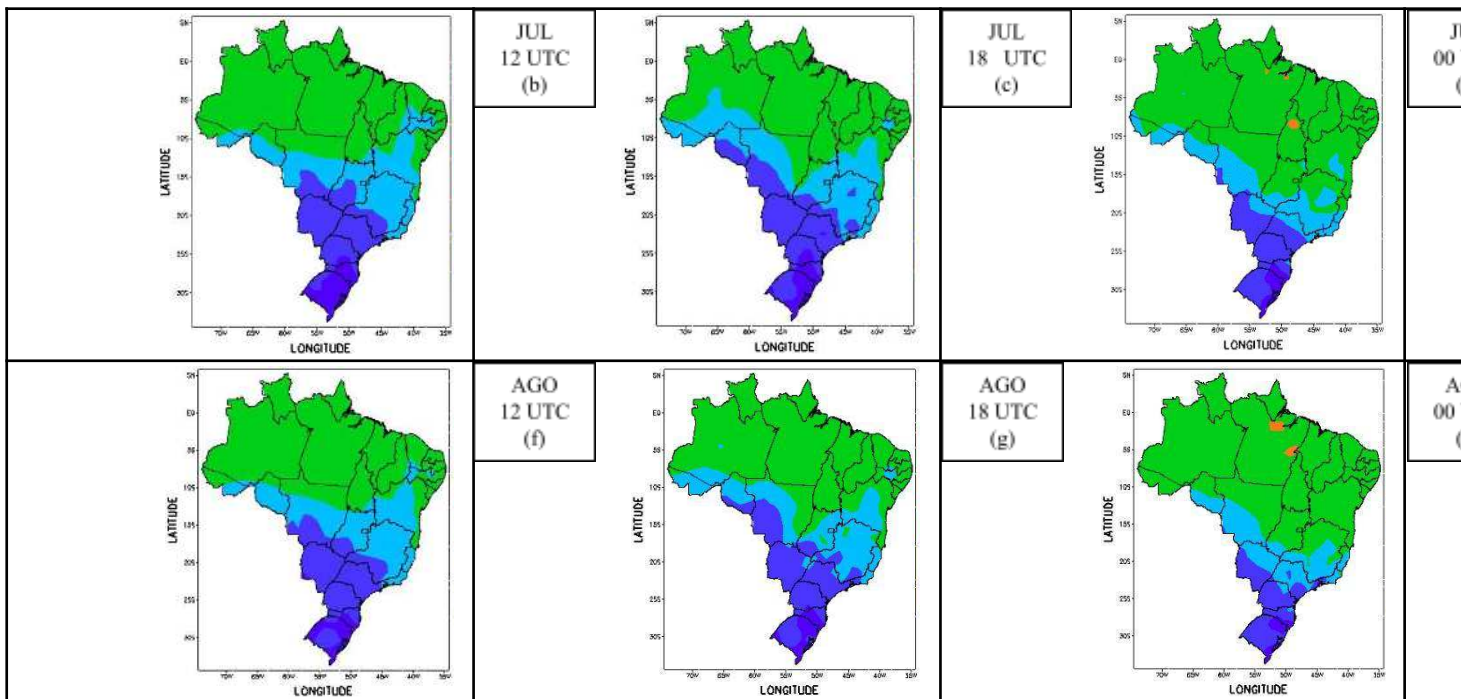


Figura 10 - Climatologia dos extremos de mínimos do UTCI nos horários das 06, 12, 18 e 00 UTC: abril, maio e junho, respectivamente.



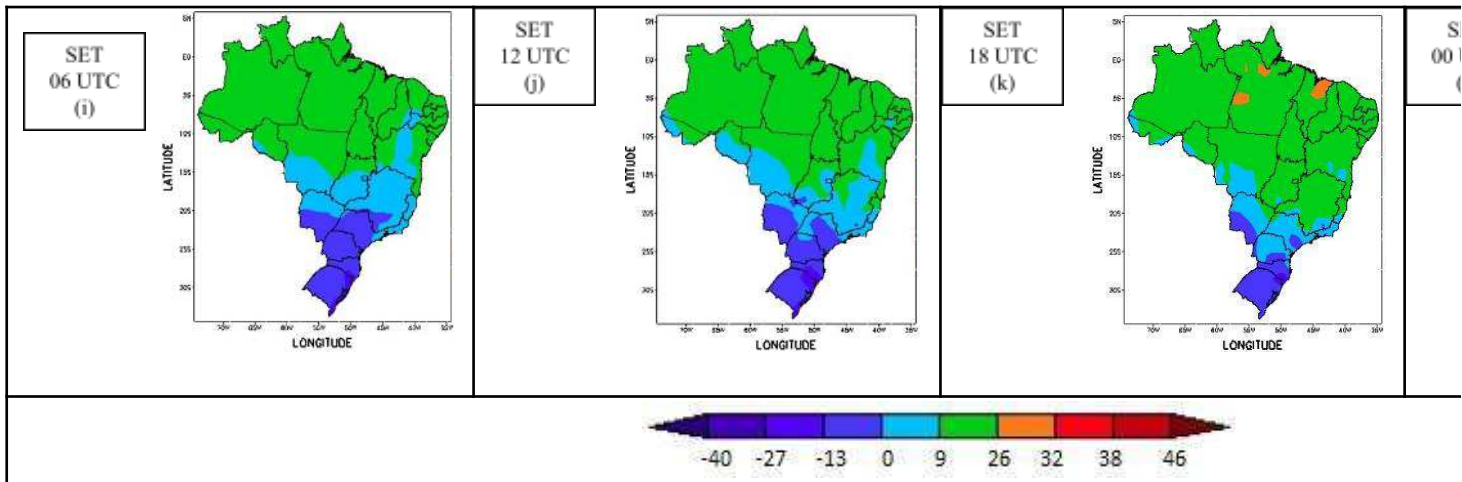


Figura 11 - Climatologia dos extremos de mínimos do UTCI nos horários das 06, 12, 18 e 00 UTC: julho, agosto e setembro, respectivamente.

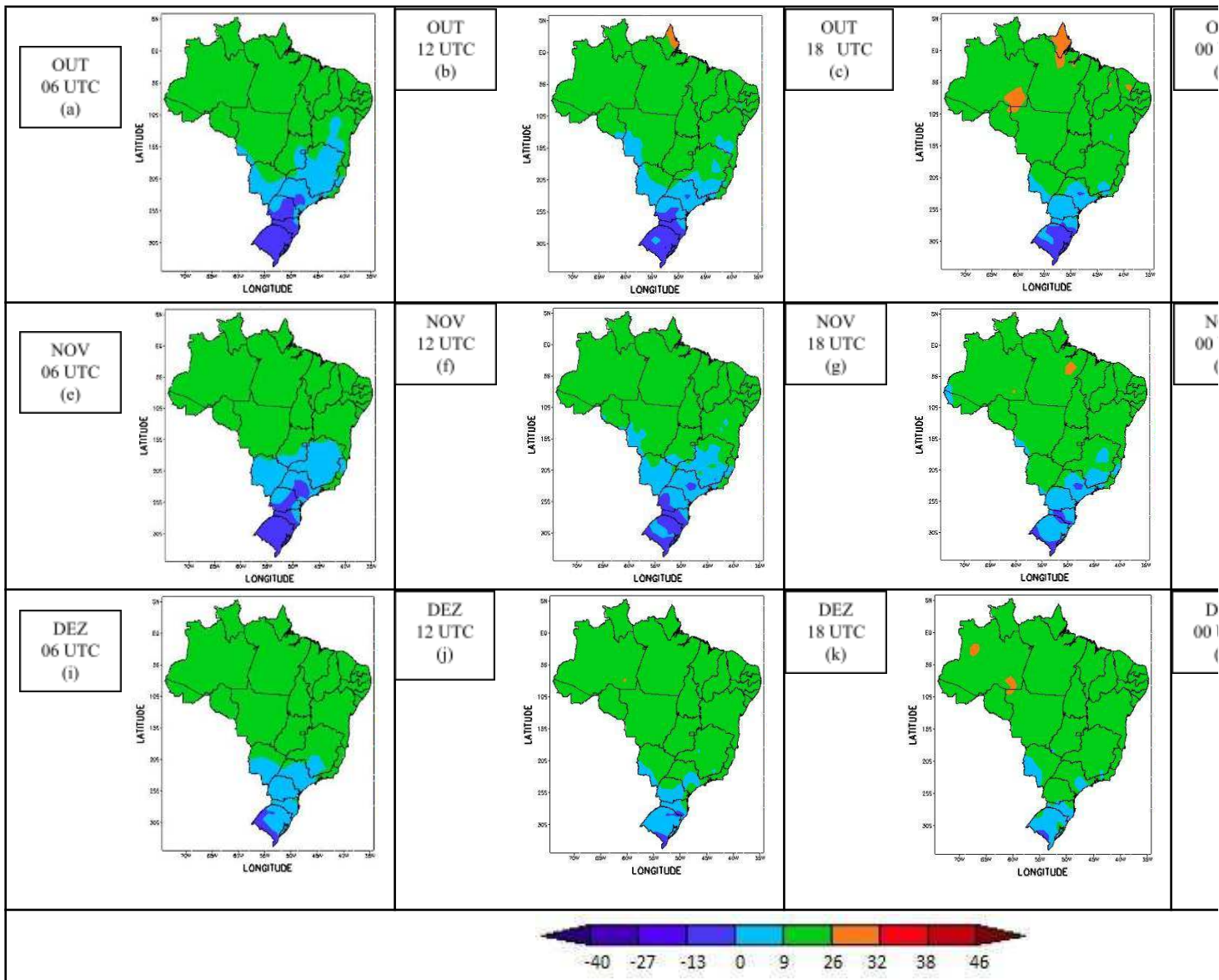


Figura 12 - Climatologia dos extremos de mínimos do UTCI nos horários das 06, 12, 18 e 00 UTC: outubro, novembro e dezembro, respectivamente.

#### 4.2.2 Extremos climatológicos mensais (horários) máximos do UTCI

Os extremos máximos mensais (horários) registrados no período de 1984 a 2014 estão ilustrados na sequência das Figuras 13 a 16.

No horário das 06 UTC, nos meses de janeiro e fevereiro (Figuras 13a e 13e) observou-se que em grande parte do centrossul do país predominou a condição de sem estresse térmico – SET ( $9 < \text{UTCI} \leq 26^{\circ}\text{C}$ ). Por outro lado, nos demais horários 12, 18 e 00 UTC, nesses meses, em todo o Brasil ocorreu desconforto térmico por calor em todos os níveis do UTCI. Às 12 UTC (Figuras 13b e 13f), observou-se predomínio de moderado estresse por calor - MEC ( $26^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} \leq 32^{\circ}\text{C}$ ) na quase totalidade das regiões do país. As exceções ocorreram em grande parte da Região Norte, leste da Região Nordeste, sul do Rio Grande do Sul, leste do Mato Grosso e no Rio de Janeiro, onde notou-se forte estresse por calor - FEC ( $32^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} \leq 38^{\circ}\text{C}$ ). No horário das 18 UTC (Figuras 13c e 13g), os extremos de desconforto térmico por calor foram os mais elevados, quando comparado os quatro horários, sendo que foram registrados os quatro níveis de estresse por calor do UTCI, com registrados inclusive, de extremo estresse por calor – EEC ( $\text{UTCI} > 46^{\circ}\text{C}$ ) no mês de janeiro (Figura 13c) no noroeste e sudoeste do Amazonas, norte de Rondônia, centro e sul do Piauí, e no extremo sudoeste do Rio Grande do Sul. Já em fevereiro, as ocorrências de EEC foram no sul do Tocantins, sul do Piauí, noroeste do Ceará, litoral norte de Santa Catarina e sudoeste do Rio Grande do Sul.

No horário das 00 UTC em janeiro (Figuras 13d), os máximos valores de estresse tiveram um comportamento bastante semelhante ao observado no horário das 12 UTC com predomínio de moderado estresse por calor - MEC ( $26^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} \leq 32^{\circ}\text{C}$ ) na quase totalidade das Regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste. Verificou-se que houve extremos de muito forte estresse por calor - MFEC ( $38^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} \leq 46^{\circ}\text{C}$ ), no centro do Piauí, norte do Amazonas, Roraima, pontos isolados do oeste e no sudoeste do Pará. Além disso notou-se também pontos isolados de valores máximos de extremo estresse por calor – EEC ( $\text{UTCI} > 46^{\circ}\text{C}$ ) no noroeste do Amazonas e no sudoeste do Pará. Nesse mesmo horário (00 UTC), fevereiro (Figura 13h), os extremos de máximos de muito forte estresse por calor - MFEC ( $38^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} \leq 46^{\circ}\text{C}$ ), ficaram restritos ao norte de Roraima, pontos isolados no oeste e sudoeste do Pará e no sudeste do Tocantins.

No mês de março às 06 UTC (Figura 13i), observou-se que em grande parte do centrossul do país predominou a condição de sem estresse térmico – SET ( $9 < \text{UTCI} \leq 26^{\circ}\text{C}$ ). Essa condição também avançou em direção a Região Nordeste (acima de  $10^{\circ}\text{S}$ ), incluindo os pontos de maior altitude da área central de Pernambuco e da Paraíba. Às 06 UTC no mês de

abril (Figura 14a) o padrão foi similar ao do mês de anterior. Porém, houve uma ampliação da área com SET, principalmente na Região Sul, no oeste de São Paulo, sul do Mato Grosso do Sul, sudoeste da Bahia e sul do Ceará. Nos horários seguintes, 12, 18 e 00 UTC nos meses de março e abril (Figuras 13j a 13l e 14b a 14d), observou-se que em quase todo o Brasil ocorreu estresse por calor em todos os níveis. Às 12 UTC em março (Figuras 13j), notou-se forte estresse por calor - FEC ( $32^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} \leq 38^{\circ}\text{C}$ ) em grande parte da Região Norte, praticamente sobre todo o Maranhão, Piauí, Rio Grande do Norte, leste da Região Nordeste, norte do Espírito Santo e Rio de Janeiro, Mato Grosso, oeste de Goiás. Por outro lado, as áreas de SET na Região Sul foram expandidas de março para abril (Figuras 13j e 14b). No horário das 18 UTC (março e abril, Figuras 13k e 14c), os extremos de estresse por calor foram os mais elevados, quando comparado os quatro horários, sendo que foram registrados os quatro níveis de estresse por calor. Em março (Figura 13k) houve pontos isolados onde os valores extremos do UTCI foram de extremo estresse por calor – EEC ( $\text{UTCI} > 46^{\circ}\text{C}$ ) no extremo e sudeste do Amazonas e no oeste do Tocantins. Em abril (Figura 14c), notou-se diminuição das áreas com MEC no Rio Grande do Sul e Paraná, mas houve expansão das áreas com EEC no oeste e sul do Tocantins, sudeste do Pará, nordeste do Mato Grosso, sudoeste do Amazonas e oeste do Acre.

No horário das 00 UTC nos meses de março e abril (Figuras 13l e 14d), os máximos valores de estresse por calor tiveram um comportamento similar ao observado no horário das 12 UTC (Figuras 13j e 14b), com predomínio de moderado estresse por calor - MEC ( $26^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} \leq 32^{\circ}\text{C}$ ) na quase totalidade das Regiões Sudeste, Sul e Centro-oeste. Em abril (Figura 14d), observou-se uma deslocamento para oeste das áreas com registros de FEC nos Estados do Ceará, Pernambuco e Bahia, e além disso, registrou-se no norte do Amazonas o UTCI no nível de extremo estresse por calor – EEC ( $\text{UTCI} > 46^{\circ}\text{C}$ ). Por outro lado, houve o surgimento de áreas com SET no sul e centro de Minas Gerais, restritos anteriormente às 12 UTC aos estados da Região Sul do país.

Nos meses de maio e junho às 06 UTC (Figura 14e e 14i), observa-se uma expansão na direção sul para norte das áreas onde os extremos de máximo do UTCI ocorreram no nível de sem estresse térmico – SET ( $9 < \text{UTCI} \leq 26^{\circ}\text{C}$ ), com avanço significativo de nível sobre o Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, sul do Tocantins, Rio de Janeiro, Espírito Santo e inteiro da Região Nordeste. Às 12 UTC (Figuras 14f e 14j), também notou-se uma avanço das áreas de SET na direção sul para norte, especialmente no mês de junho (Figura 14j), sendo esse nível do UTCI predominante na quase todo o centrossul do Brasil. Além disso, houve uma

expansão das áreas com o extremo do UTCI no nível de moderado estresse por calor – MEC ( $26^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} \leq 32^{\circ}\text{C}$ ) sobre o leste do Mato Grosso, centrossul do Tocantins, norte de Rondônia, sul Amazonas e do Pará, e sobre os Estados do Maranhão e Piauí. Em decorrência disso, verificou-se uma redução das áreas com o extremos do UTCI no nível de forte estresse por calor – FEC ( $32^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} \leq 38^{\circ}\text{C}$ ), especialmente em junho, na região Norte e em todo o leste da Região Nordeste. No horário das 18 UTC (Figuras 14g e 14k), notou-se o surgimento de extremos de máximos do UTCI no nível de SET no extremo sul do Rio Grande do Sul e áreas serranas do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Além disso, houve o avanço de sul para norte o nível de MEC, especialmente a partir de junho (Figura 14k) sobre as regiões Sudeste e Centro-Oeste. Quando comparados os meses de junho como maio (Figura 14k e 14g), ainda houve o predomínio do UTCI no nível de FEC sobre toda a Região Norte e Nordeste, exceto no sul e nordeste da Bahia, Alagoas, e nos lestes de Pernambuco até o Rio Grande do Norte. Nesse mesmo sentido, persistiu as áreas com extremos de máximos do UTCI no nível de EEC no sudeste do Pará, oeste do Tocantins e surgiu uma área no sudoeste do Amazonas e norte de Rondônia.

Às 00 UTC nos meses de maio e junho (Figuras 14h e 14l), evidenciou-se que os extremos de máximos do UTCI no nível de sem estresse térmico – SET ( $9 < \text{UTCI} \leq 26^{\circ}\text{C}$ ), continuaram avançando na direção sul para norte, principalmente no mês de junho (Figura 14l). Devido isso, houve uma redução das áreas com o nível do UTCI de MEC, anteriormente registrado em abril, na Região Sul, nos Estados de São Paulo, sul do Mato Grosso do Sul, Minas Gérias, áreas serranas do Rio de Janeiro, oeste do Espírito Santo, leste de Goiás e Distrito Federal, incluindo também áreas de maior altitude na Bahia e Pernambuco. Conjuntamente, verificou-se um aumento expressivo das áreas com o extremos de máximos do UTCI no nível de FEC sobre a Região Norte, e a presença do nível de FEC restrito ao mês de maio sobre o sul do Tocantins, norte de Roraima e centro do Amazonas (Figura 14h).

Às 06 UTC dos meses de julho e agosto (Figura 15a a 15e) observou-se uma continuidade da expansão na direção sul para norte das áreas onde os extremos de máximo do UTCI ocorreram no nível de sem estresse térmico – SET ( $9 < \text{UTCI} \leq 26^{\circ}\text{C}$ ), já verificada nos meses de maio e junho (Figuras 14e e 14i). Persistindo o avanço significativo de nível SET sobre praticamente todo o Estado do Mato Grosso em julho e sobre o leste em agosto, centrossul do Tocantins julho, sudeste do Pará em julho e sobre a Região Nordeste, exceto o centro e norte do Maranhão em julho, Maranhão em agosto e o oeste e norte do Piauí no dois meses. No horário das 12 UTC (Figuras 15b e 15f), também notou-se uma avanço das áreas

de SET na direção sul para norte, especialmente no mês de julho (Figura 15b), sendo esse nível do UTCI predominante na quase todo o centrossul do Brasil e interior da Região Nordeste (da área central da Bahia a Paraíba). Além disso, houve uma expansão das áreas com o extremo do UTCI no nível de moderado estresse por calor – MEC ( $26^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} \leq 32^{\circ}\text{C}$ ) sobre a Região Norte, ficando restrito ao norte e leste do Amazonas, Roraima, Amapá, nordeste do Pará e oeste do Tocantins as áreas com extremos do UTCI no nível de forte estresse por calor – FEC ( $32^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} \leq 38^{\circ}\text{C}$ ). Em agosto (Figuras 15f), verificou-se uma redução das áreas com extremos do UTCI no nível de SET, sendo substituídas pelo nível de MEC ( $26^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} \leq 32^{\circ}\text{C}$ ), especialmente sobre Mato Grosso, Goiás, Distrito Federal, norte de Minas Gerais, norte do Espírito Santo, Rio de Janeiro e interior da Região Nordeste. Às 18 UTC no mês de julho (Figuras 15c), notou-se praticamente o mesmo padrão observado em junho (Figura 14k), com persistência das áreas com extremos de máximos do UTCI no nível de SET no extremo sul do Rio Grande do Sul e áreas serranas do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. No mês de agosto, nesse mesmo horário, (Figura 15g), houve uma redução quase total das áreas com extremos máximos do UTCI no nível de SET na Região Sul, ficando apenas uma pequena porção no extremo sul do Rio Grande do Sul. Além disso, houve o avanço tanto de sul para norte, quanto de oeste para leste o nível de FEC ( $32^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} \leq 38^{\circ}\text{C}$ ) e MFEC ( $38^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} \leq 46^{\circ}\text{C}$ ), abrangendo as Regiões Sul, Sudeste e Nordeste. Quando comparados os meses de julho como agosto (Figura 15c e 15g), houve também uma expansão das áreas com extremos de máximos do UTCI no nível de ECC ( $\text{UTCI} > 46^{\circ}\text{C}$ ), sobre o oeste de Goiás, oeste da Bahia, sul do Maranhão, sudeste do Pará, norte de Rondônia e sul do Amazona.

A partir de agosto às 00 UTC (Figura 15h), iniciou-se uma redução das áreas com extremos de máximos do UTCI no nível de SET, especialmente nas Regiões Sul, Sudeste e Centro-oeste. Conseqüentemente, nessas áreas predominou o nível do UTCI de MEC. Nas Regiões Norte e Nordeste, no horário das 00 UTC em agosto manteve-se o mesmo padrão observado em julho (Figura 15d), com extremos de máximos do UTCI nos níveis de FEC, quase totalidade da primeira região e MEC da segunda região. Notou-se ainda que, no norte de Roraima, o nível de MFEC persistiu em julho e agosto e apenas no oeste do Pará foi registrado o nível de EEC.

A partir de setembro às 06 UTC (Figura 15i), observou-se um deslocamento de norte para sul das áreas com extremos de máximos do UTCI no nível de moderado estresse térmico por calor – MEC ( $26^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} \leq 32^{\circ}\text{C}$ ), conseqüentemente uma redução das áreas sem

estresse térmico – SET ( $9 < \text{UTCI} \leq 26^{\circ}\text{C}$ ), no Mato Grosso do Sul, Tocantins e Piauí. Em outubro (Figura 16a), esse mesmo comportamento de substituição de áreas com extremos de máximos do UTCI no nível SET para MEC, expandiu-se para o extremo sudoeste do Rio Grande do Sul, oeste de Goiás, oeste de São Paulo, Rio de Janeiro (exceto o sul e áreas serranas), norte do Espírito Santo e a Bahia (exceto a porção central). Às 12 UTC no mês de setembro (Figura 15j), os extremos de máximos do UTCI predominaram no nível de moderado estresse por calor – MEC ( $26^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} \leq 32^{\circ}\text{C}$ ), no entanto observou-se o nível de extremo estresse por calor – EEC ( $\text{UTCI} > 46^{\circ}\text{C}$ ) no noroeste do Amazonas e extremo sudeste do Pará. Ainda às 12 UTC, mas no mês de outubro (Figura 16b), notou-se que, as áreas com o nível de FEC expandiram-se pelo leste do Acre, por quase todo o Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, oeste e sudoeste de Goiás, oeste de São Paulo, triângulo e noroeste de Minas Gerais, Rio de Janeiro (exceto no sul e áreas serranas), sul do Espírito Santo, oeste da Bahia, Maranhão, Piauí (exceto no oeste), oeste dos Estados do Ceará e do Rio Grande do Norte, noroeste do Paraná e até mesmo na região central do Rio Grande do Sul. No horário das 18 UTC (Figuras 15k e 16c), apenas uma porção muito pequena do litoral sul do Rio Grande do Sul apresentou extremos de máximos do UTCI no nível de SET. O nível MEC também foi registrado em uma área restrita do sul do Rio Grande do Sul, região serrana do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, litoral sul da Bahia, e leste de Sergipe ao Rio Grande do Norte. Sendo que em outubro (Figura 16c), essas áreas sofreram redução quando comparadas com as de setembro, especialmente no leste da Região Nordeste. Por outro lado, houve uma expansão das áreas como extremos de máximos do UTCI no nível de FEC, nível predominante nos meses de setembro e outubro às 18 UTC (Figuras 15k e 16c). Além desse nível, observou-se ainda que sobre grande parte da Região Norte, Mato Grosso do Sul (exceto no norte), oeste de São Paulo, norte e triângulo de Minas Gerais, Maranhão e Piauí (exceto no sul), oeste da Bahia de Pernambuco e do Rio Grande do Norte os extremos de máximos do UTCI foram no nível de MFEC. Adicionalmente, notou-se expansão das áreas com nível de EEC no norte, centro e sul do Amazonas, Roraima, oeste e sudoeste do Pará, norte e leste de Rondônia, norte, leste e sudeste do Mato Grosso, leste do Tocantins, sul dos Estados do Maranhão e Piauí, oeste da Bahia, norte e noroeste do Ceará (em setembro – Figura 15k).

Nos meses de novembro e dezembro às 06 UTC (Figuras 16e e 16i), observou-se uma continuação da redução das áreas com extremos de máximos do UTCI no nível de sem estresse térmico – SET ( $9 < \text{UTCI} \leq 26^{\circ}\text{C}$ ) nas Regiões Sul, Sudeste e interior da Região Nordeste, já observado no mês anterior de outubro (Figura 16a). Porém, persistiu o nível de

moderado estresse por calor – MEC ( $26^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} \leq 32^{\circ}\text{C}$ ), em toda a Região Norte, no Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Maranhão, Piauí, norte do Ceará e Rio Grande do Norte (a partir de dezembro – Figura 16i), oeste de São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo, norte do Paraná (dezembro), Rio Grande do Sul (exceto no norte e sudeste, em dezembro) e litoral norte de Santa Catarina (dezembro). Às 12 UTC (Figura 16f e 16j), verificou-se que praticamente todo o Brasil apresentou extremos de máximos do UTCI no nível de forte estresse por calor – FEC ( $32^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} \leq 38^{\circ}\text{C}$ ).

No horário das 18 UTC (Figuras 16g e 16k), apenas no leste dos Estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte (novembro – Figura 16g), extremos sul do Rio Grande do Sul (novembro) e as áreas serranas de Santa Catarina (novembro e dezembro) apresentaram extremos de máximos do UTCI no nível de moderado estresse por calor – MEC ( $26^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} \leq 32^{\circ}\text{C}$ ). Nas demais áreas do país observou-se que em novembro os extremos de máximos do UTCI variaram nos níveis quatro níveis, sendo que o extremo estresse por calor – EEC ( $\text{UTCI} > 46^{\circ}\text{C}$ ) ocorreu no oeste, noroeste e sudeste do Amazonas, Roraima, sudoeste do Pará, centrossul do Tocantins, noroeste de Minas Gerais, oeste da Bahia, sul dos Estados do Maranhão e Piauí. Ainda às 18 UTC, só que no mês de dezembro (Figura 16k), os extremos de máximos do UTCI se mantiveram similares aos de novembro, porém com redução das áreas com níveis de ECC, especialmente no sudeste do Amazonas, sudoeste do Pará, centrossul do Tocantins e oeste da Bahia, áreas onde verificou-se o nível de MFEC. Por outro lado, as áreas com nível de MFEC expandiram-se, especialmente oeste e centro do Rio Grande do Sul, centro e sul do Ceará e no oeste dos Estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte.

Por fim, às 00 UTC nos meses de novembro e dezembro (Figuras 16h e 16l), observou-se que houve registros de extremos de máximos do UTCI em praticamente todo o Brasil, exceto no extremo sul do Rio Grande do Sul e região serrana de Santa Catarina em novembro, e apenas na serra Catarinense em dezembro. Em novembro (Figura 16h), os extremos de máximos o nível de muito forte estresse por calor - MFEC ( $38^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} \leq 46^{\circ}\text{C}$ ) no sudoeste, centro e leste do Amazonas, oeste do Acre e no sul dos Estados de Roraima e Piauí. Enquanto que em dezembro (00 UTC, Figura 16l), observou-se praticamente a mesma distribuição espacial dos extremos de máximo do UTCI verificada em novembro, mas houve uma expansão das áreas com o UTCI no nível de FEC, especialmente no centro e nordeste do Rio Grande do Sul, leste do Paraná e extremo sudeste de São Paulo, norte de Goiás, nordeste da Bahia, oeste dos Estados de Sergipe e Alagoas. Além disso, notou-se que os extremos de



máximos no nível de MFEC deslocaram-se no Amazonas (sudeste), Acre (leste) e no oeste de Rondônia, onde surgiram no sul do Tocantins, sudoeste do Pará, nordeste do Maranhão, oeste da Bahia. Adicionalmente, ocorreu o nível de extremo estresse por calor – EEC ( $UTCI > 46^{\circ}\text{C}$ ) no leste do Acre, sudeste do Amazonas e oeste de Rondônia.

Ao analisar essa distribuição mensal/temporal (quatro horários) dos extremos de estresse por calor do UTCI, notou-se que, similarmente ao observado nas distribuições mensal média e extremos de mínimos estresse por frio do índice, existe uma marcha sazonal (ciclo sazonal) que segue as estações do ano. Além do ciclo sazonal, notou-se que os extremos de máximos do UTCI acompanham o ciclo diurno de radiação solar. Isso porque em todos os meses do anos, os extremos de máximo estresse por calor ocorreram no horário das 18 UTC, período da tarde no qual usualmente ocorre a temperatura máxima, sendo que o pico de radiação acontece um pouco mais cedo (aproximadamente meio-dia).

Nos meses de setembro e outubro (18 UTC, Figuras 15k e 16c), verificou-se que houve um deslocamento de norte para sul das áreas de extremos de máximos do UTCI no nível de extremo estresse por calor – EEC ( $UTCI > 46^{\circ}\text{C}$ ), com a maior extensão espacial desse nível entre os meses do ano, observado em Roraima, Amazonas, Rondônia, sul do Pará, Mato Grosso, Tocantins, oeste da Bahia, sul do Maranhão e do Piauí e noroeste do Ceará. Tal padrão coincide como o período seco desses áreas do país (INMET, 2009; SALETI, 1984). Sendo que, na Amazônia central, durante esses meses chegam os maiores totais de radiação (HOREL et al., 1989).

No mês de dezembro (Figura 16k), também verificou-se o nível de ECC no sudoeste do Rio Grande do Sul. Em janeiro e fevereiro (Figuras 13c e 13g), praticamente todo o Brasil apresentou extremos de máximos do índice e os níveis de estresse variam de extremo estresse por calor – EEC ( $UTCI > 46^{\circ}\text{C}$ ) (apenas em pontos do centro do Rio Grande do Sul, litoral norte de Santa Catarina, norte do Rio de Janeiro, sul do Tocantins e do Piauí e noroeste do Ceará), muito forte estresse por calor - MFEC ( $38^{\circ}\text{C} < UTCI \leq 46^{\circ}\text{C}$ ) em grande parte da Região Norte, Maranhão, Piauí, oeste da Bahia de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, a forte estresse por calor – FEC ( $32^{\circ}\text{C} < UTCI \leq 38^{\circ}\text{C}$ ) na quase totalidade das Regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste.

Por outro lado, nos meses de inverno (junho e julho, Figuras 14k e 15c), os extremos de máximos do UTCI às 18 UTC no nível de FEC e MFEC ficaram concentrados no centro-norte do Brasil, ficando as Regiões Sul (exceto no extremo sul do Rio Grande do Sul e

áreas serranas desse estado e de Santa Catarina sem estresse térmico por calor), Sudeste e leste da Região Nordeste sob o nível de MEC.

Notou-se portanto que, o ritmo pendular do conforto térmico humano no Brasil a partir do UTCI, é fortemente dependente da sazonalidade dos sistemas atmosféricos. Sendo que, a ocorrência de extremos de desconforto térmico é menos abrangente espacialmente nos meses de maio a setembro, quando as frentes frias são mais frequentes; e mais abrangentes espacialmente durante o verão no Hemisfério Sul (CAVALCANTI e KOUSKY, 2003; ANDRADE, 2005), quando os sistemas frontais são menos frequentes. Ao passo que, no inverno, as massas de ar frio penetram sobre o continente na retaguarda das frentes frias, atuando amplamente sobre as Regiões Sul, Sudeste e parte do Centro-oeste do Brasil (MARENGO et al., 1997), podendo atingir latitudes acima de 10°S (MATTOS, 2003).

Outro aspecto importante observado foi o da Região Norte do país, onde em todos os meses do ano e horário de observação (00, 06, 12 e 18 UTC) ocorreu extremos de máximos de estresse térmico por calor. As únicas exceções foram notadas simultaneamente às 06 UTC no mês de junho no sul do Pará (Figura 14i) e em agosto no sul do Tocantins (Figura 15e), quando não houve extremos de máximos do índice dentro do nível de estresse por calor. Condição possibilitada, especialmente, pela disponibilidade de energia solar, através do balanço de energia, da ordem de 36 (MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>) em dezembro/janeiro e um valor mínimo de cerca de 30 (MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>) em junho/julho (SALATI e MARQUES, 1984).

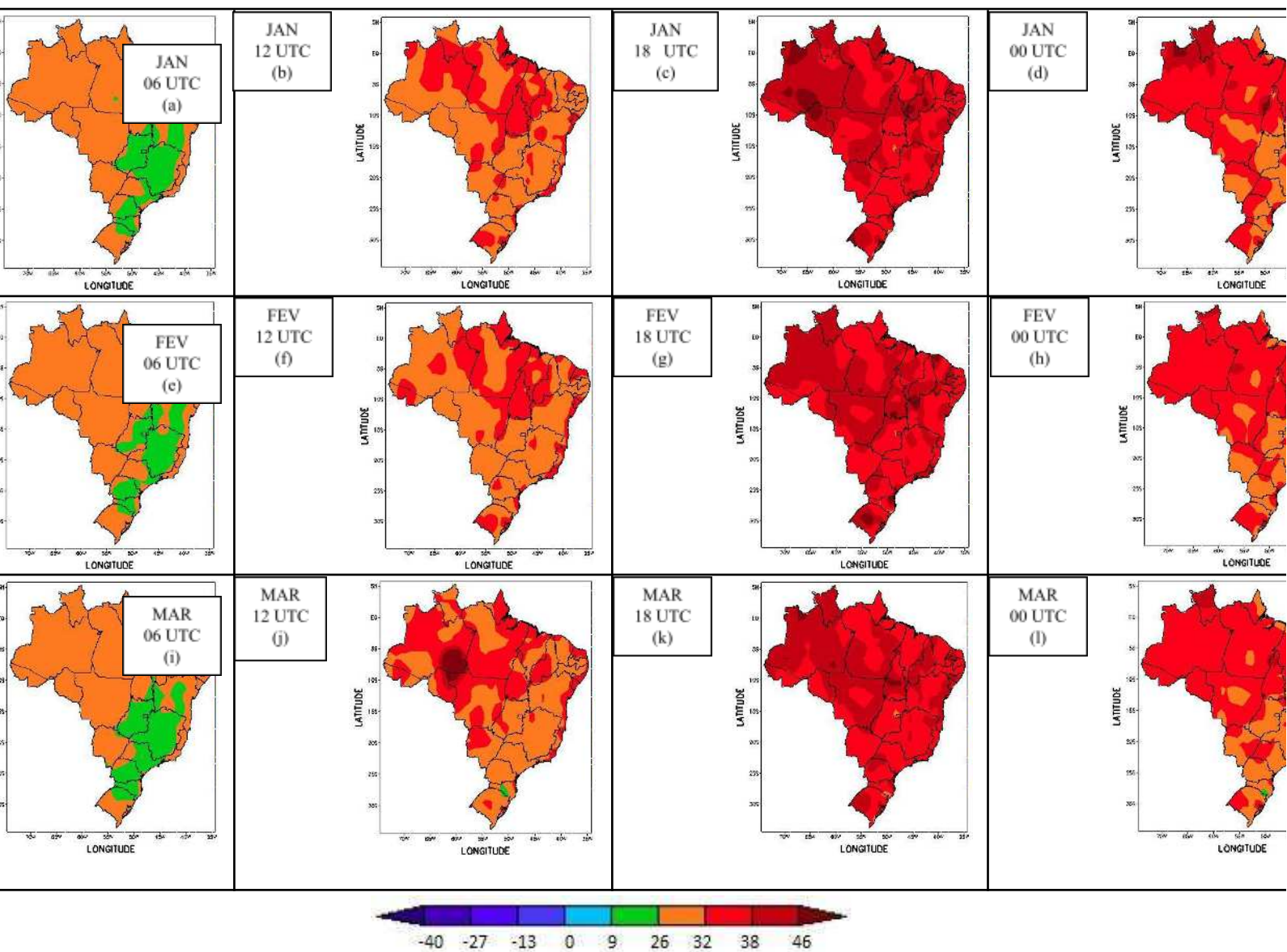
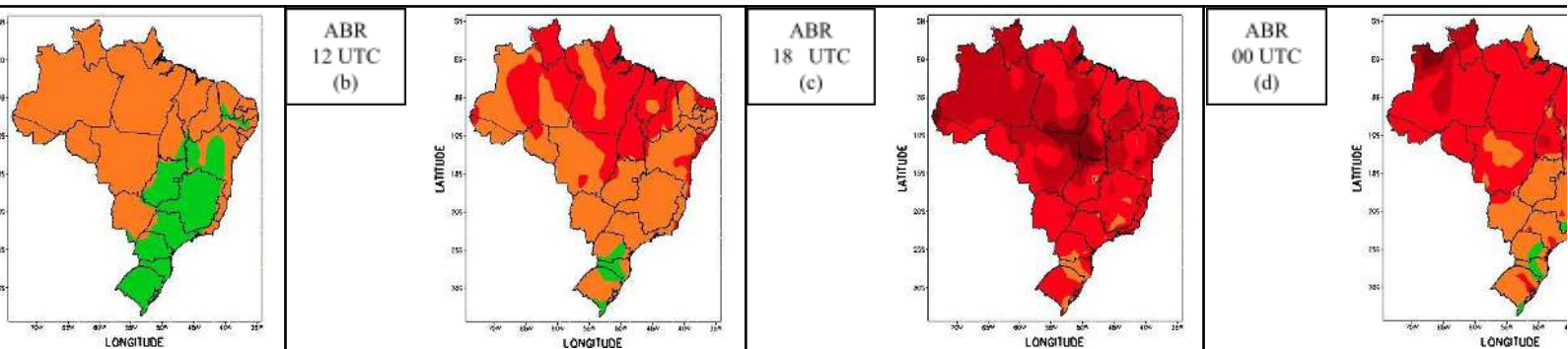


Figura 13 - Climatologia dos extremos de máximos do UTCI nos horários das 06, 12, 18 e 00 UTC: janeiro, fevereiro e março, respectivamente.



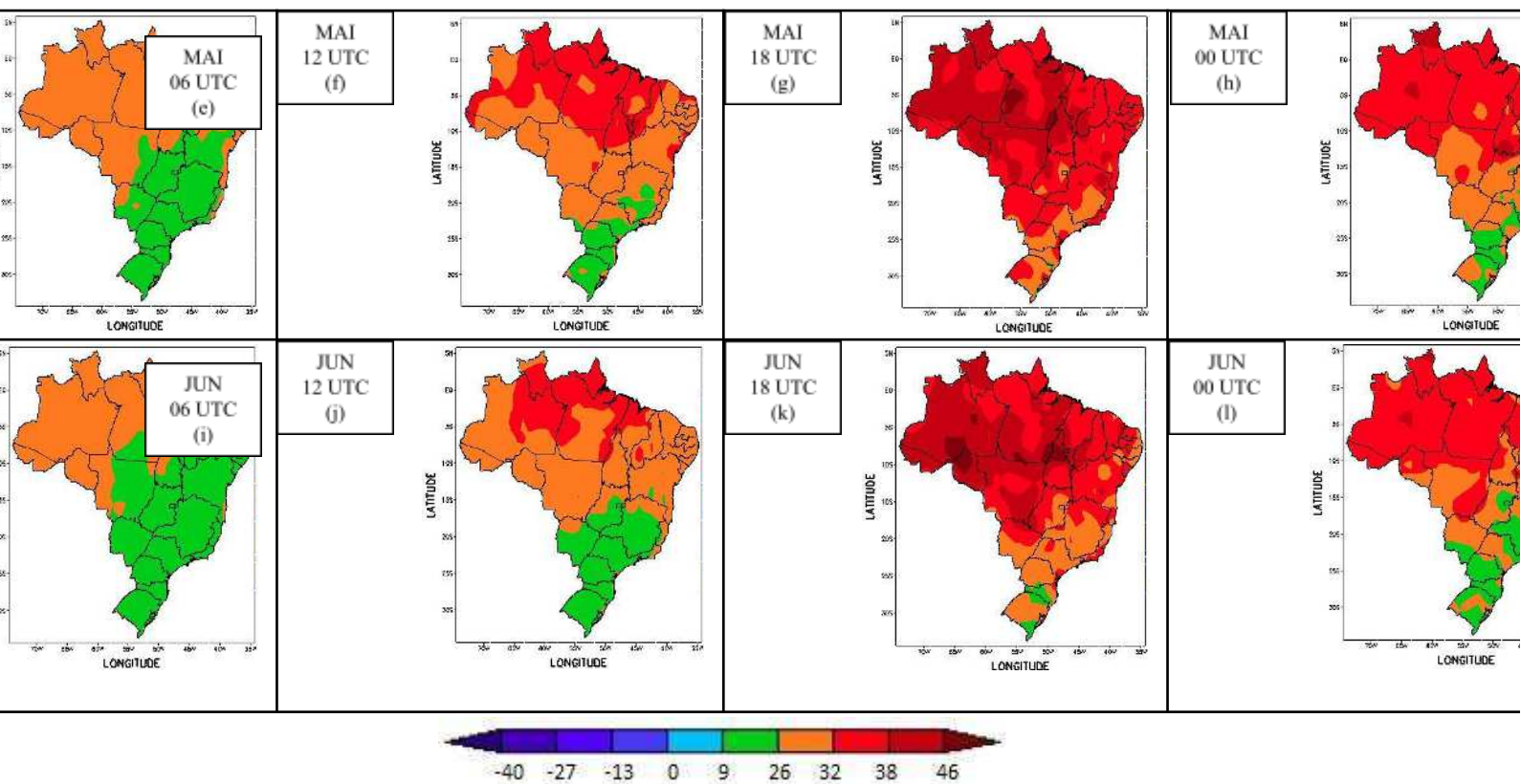
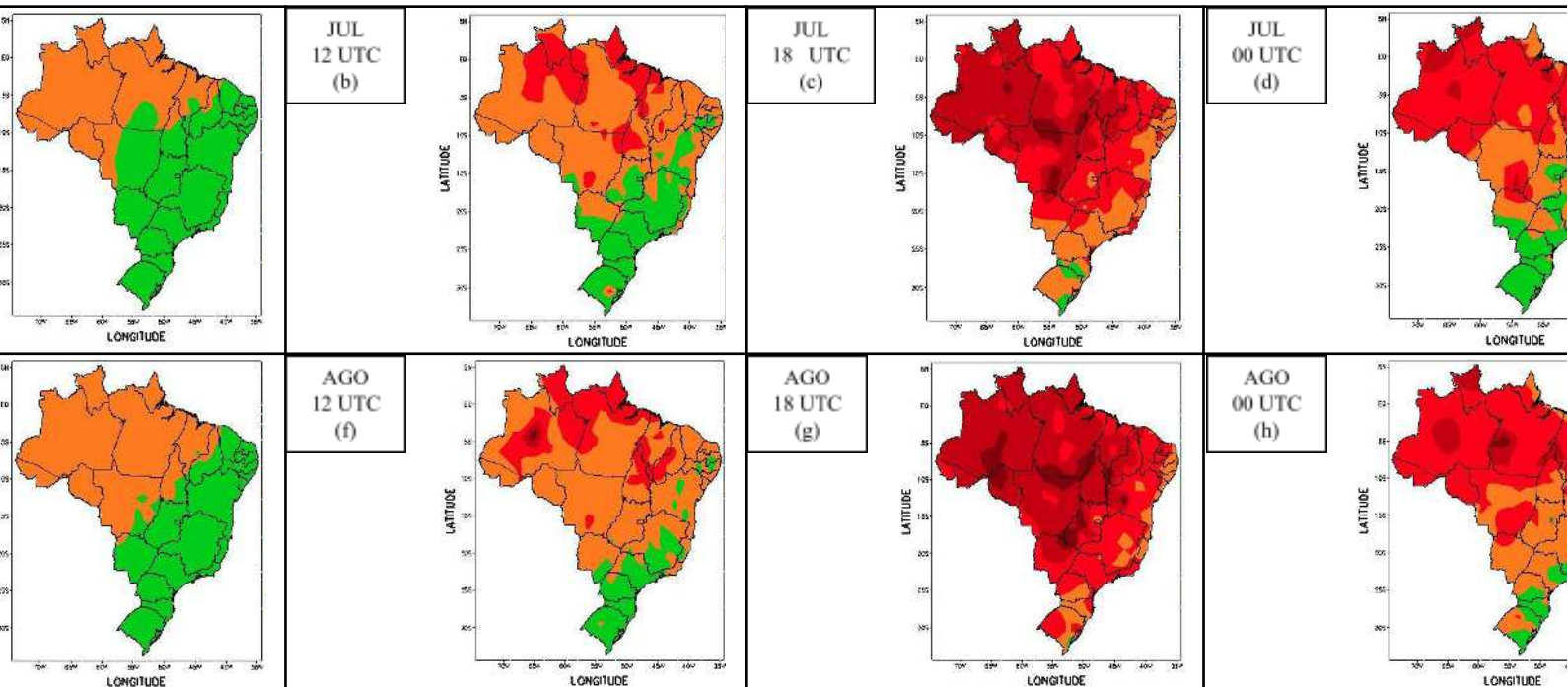


Figura 14 - Climatologia dos extremos de máximos do UTCI nos horários das 06, 12, 18 e 00 UTC: abril, maio e junho, respectivamente.



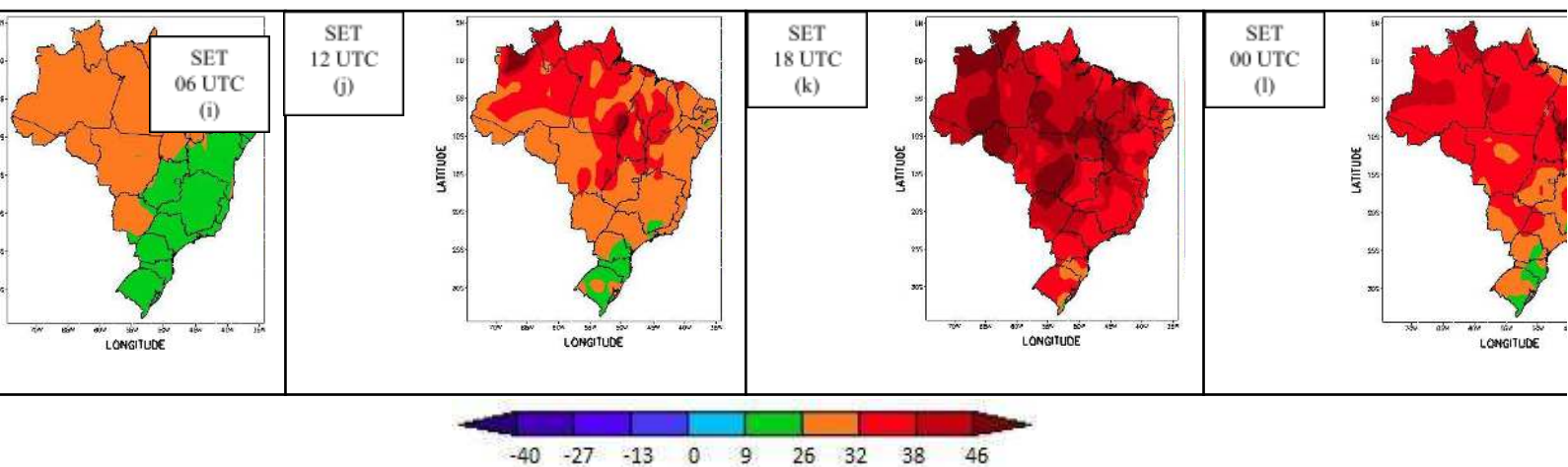
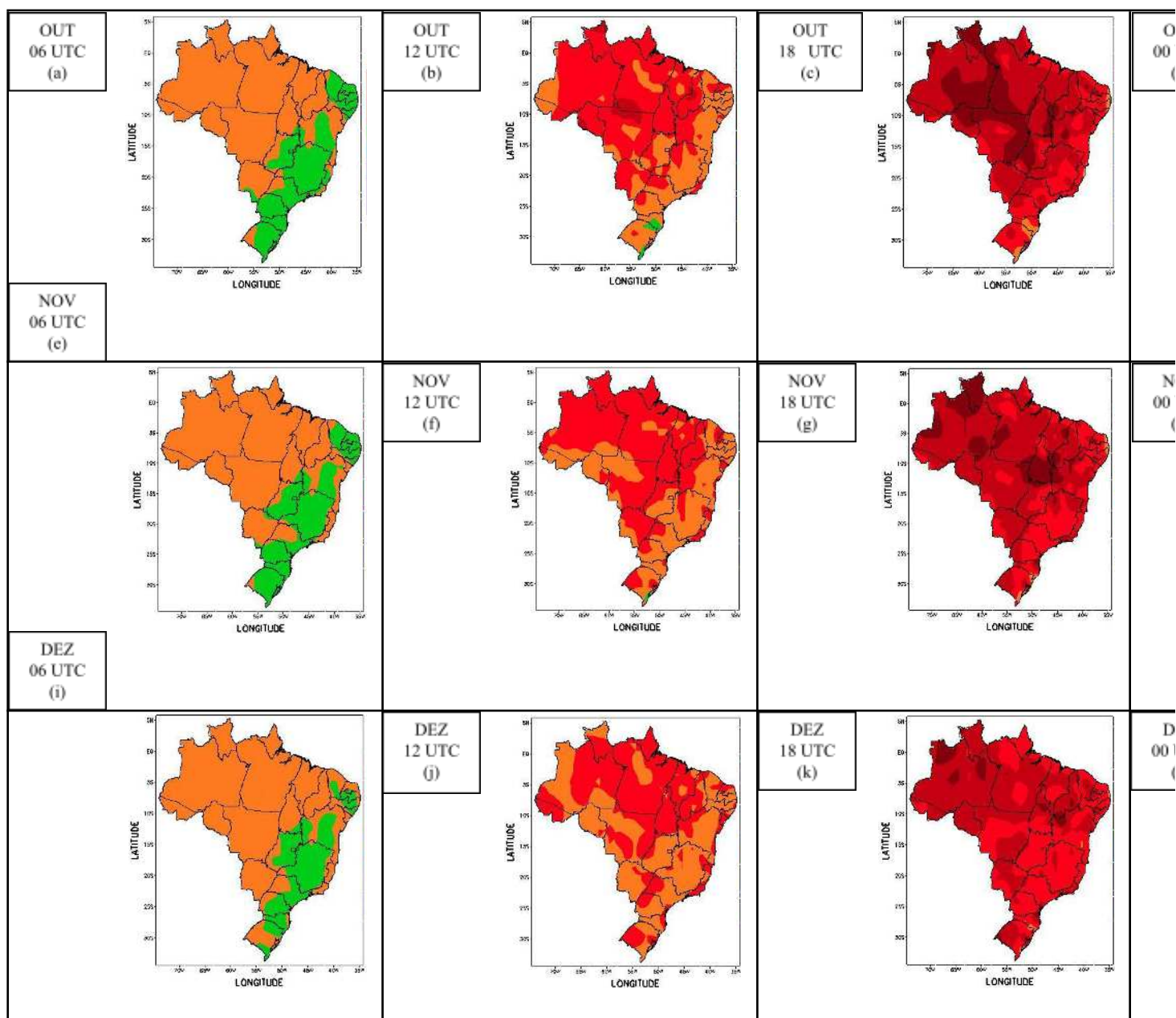


Figura 15 - Climatologia dos extremos de máximos do UTCI nos horários das 06, 12, 18 e 00 UTC: julho, agosto e setembro, respectivamente.



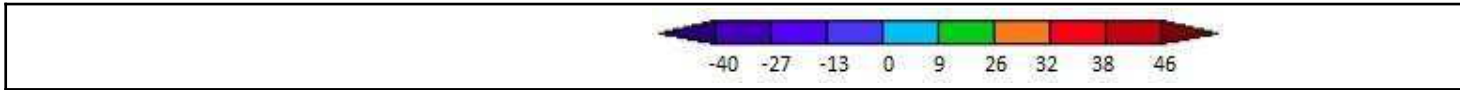


Figura 16 - Climatologia dos extremos de máximos do UTCI nos horários das 06, 12, 18 e 00 UTC: outubro, novembro e dezembro, respectivamente.

#### 4.2.3 Tendências do UTCI médio, mínimo e máximo climatológico (18 UTC)

As alterações climáticas afetam quase todos os aspectos da vida humana. Segundo Agência Euporeia do Ambiente – AEA (2015), é provável que estes impactos se agravem nas próximas década e, que os custos de tais alterações serão altos, em termos de degradação da saúde, dos ecossistemas e da economia, como a destruição de bens e infraestruturas.

De acordo como a AEA (2015), as temperaturas mais elevadas e menores volumes de precipitação, especialmente no sul da Europa, poderão causar secas, que consequentemente gerariam perdas na agriculturas, indústria e escassez de recursos hídrico, além de multiplicar os problemas de saúde relacionados ao calor.

Para Morabito et al., (2012), as publicações científicas que estimam como as mudanças climáticas afetarão à saúde da população são poucas. Nesse sentido, os autores avaliaram a taxa de mortalidade hospitalar não-acidental, a temperatura média diária e cenários climáticos do IPCC nas principais cidades da Itália. Os resultados dessa pesquisa apontam para um extenso aumento na mortalidade relacionado ao calor e um leve aumento relacionado ao frio em idoso, especialmente nas cidades costeiras.

Com base nessas evidencias, tornam-se essenciais os estudos sobre as prováveis implicações das mudanças climáticas na saúde da população e, a importância de se ter ferramentas que auxiliam a formulação de políticas públicas, principalmente para o planejamento de estratégias de intervenção que visem prevenir e minimizar as consequências das mudanças climáticas na saúde humana.

Nesse contexto, o UTCI surgiu como uma ferramenta inovadora no que tange o conforto térmico humano. Sendo assim, além da elaboração das médias, mínimos e máximos climatológicas horários apresentadas nos itens anteriores, analisou-se as tendências das séries temporais dos valores médios, mínimos e máximos no horários das 18 UTC.

Para obter as tendências das séries temporais do UTCI no período de 1984 a 2014, foi feito o modelo de regressão linear, através do qual encontrou-se a inclinação da reta de tendência, e posteriormente foi aplicado o teste de Mann-Kendall (significância estatística) para cada uma das 211 estações meteorológicas da rede do INMET.

As tendências e respectivas significâncias estatísticas do UTCI médio no horário das 18 UTC estão ilustrados nas Figura 17a e 17b. Verificou-se que, na quase totalidade (90%) das estações meteorológicas utilizadas, houve tendência positiva com significância estatística ( $p \leq 0,05$ ). Por outro lado, apenas em aproximadamente 10% das estações ocorreu tendência negativa e dessas, mais da metade (61%) não apresentou significância estatística ao nível de pelo menos 90% ( $p \leq 0,1$ ). Quantitativamente, os aumentos variam de 0,3 a 6,4°C nos últimos

trinta anos. Nas Regiões Norte, Nordeste e no Estado do Mato Grosso, verificou-se a maior uniformidade na distribuição espacial das tendências, bem como os maiores níveis de aumento 2,4 a 4,4°C.

As Figuras 18a e 18b mostram as tendências e respectivas significâncias estatísticas nas séries temporais dos mínimos do UTCI às 18 UTC. Notou-se que, a maior parte das estações do país apresentaram tendências positivas, com significância estatística ( $p \leq 0,05$ ) em grande parte, especialmente na Região Nordeste, Minas Gerais, leste de Goiás e Distrito Federal. Apenas no oeste da Região Norte (Amazonas e Acre), as tendências foram negativas e na maioria dos casos apresentou significância estatística ( $p \leq 0,05$ ).

As tendências e respectivas significâncias estatísticas nas séries temporais dos máximos do UTCI às 18 UTC estão ilustradas nas Figuras 19a e 19b. Observou-se que, em praticamente todas as regiões do Brasil, predominou as tendências positivas e essas foram extremamente significativas ( $p \leq 0,05$ ), na quase totalidade dos casos. Por outro lado, as tendências negativas foram isoladas e não apresentaram significância estatística ao nível de pelo menos 90% na maioria dos casos.

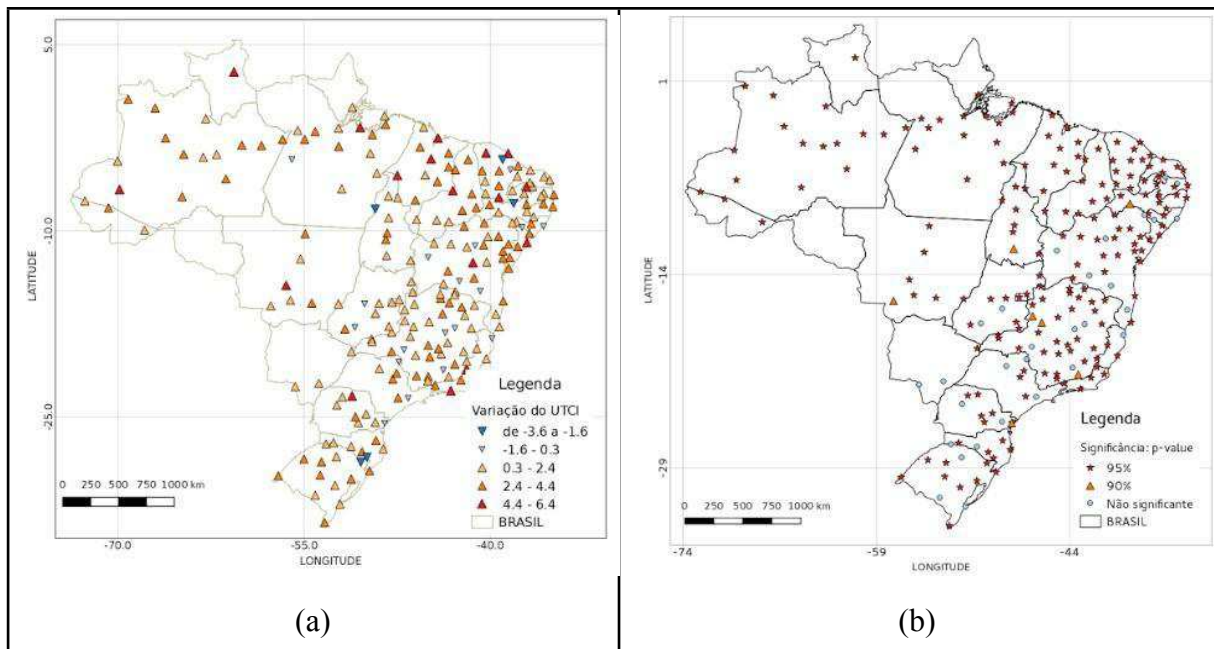


Figura 17 - Tendências do UTCI médio às 18 UTC (a) e respectiva significância estatística (b).



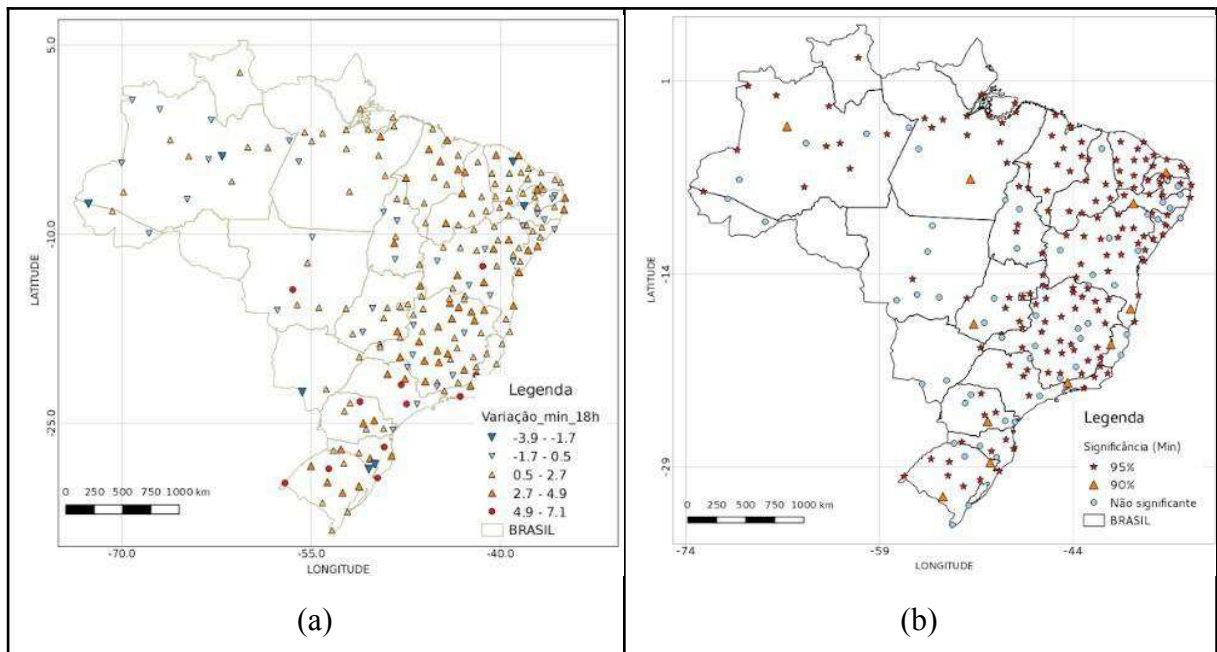


Figura 18 – Tendências dos mínimos do UTCI às 18 UTC (a) e respectiva significância estatística (b).

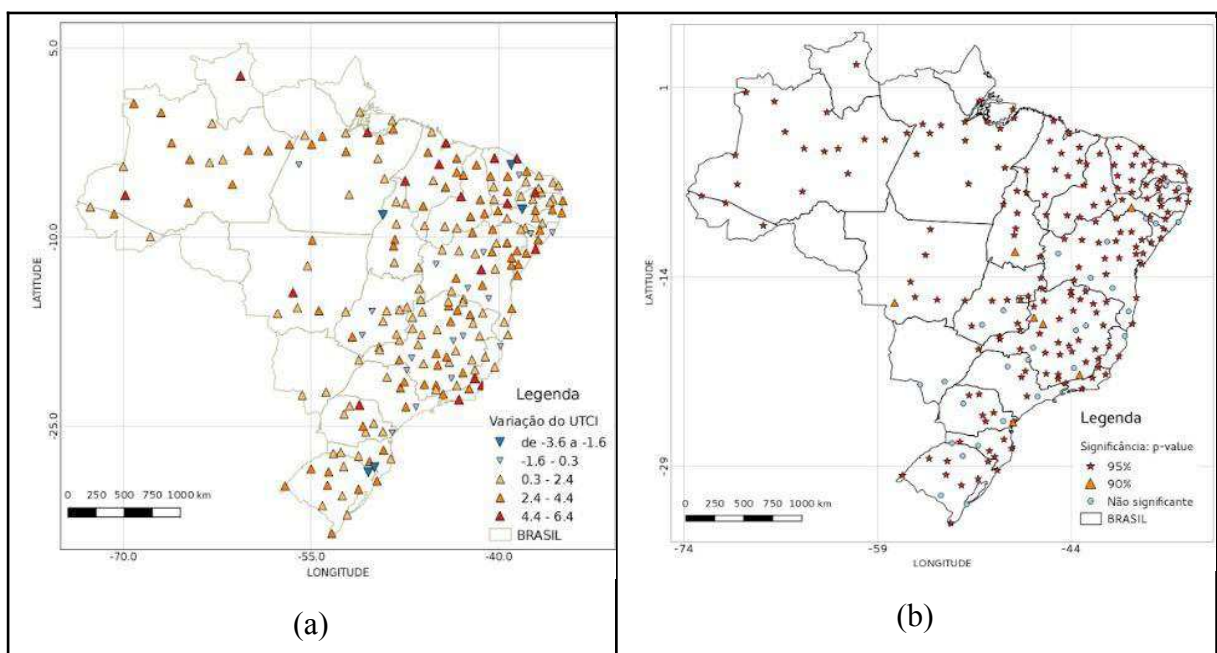


Figura 19 - Tendências dos máximos do UTCI às 18 UTC (a) e respectiva significância estatística (b).

Esses resultados estão em concordância com aqueles obtidos por:

Silveira et al. (2016) quando encontraram tendências positivas nas séries de temperatura média do ar no período 1961-1990 para o Brasil, a partir de dados do CRU (do inglês, *Climatic Research Unit*) e do INMET; Santos et al. (2010), que encontraram tendências positivas em estações da Região Nordeste com base em dados do INMET no período de 1961 a 2007. Adicionalmente, Marengo e Camargo (2008), que utilizando dados do INMET e SIMEPAR para a Região Sul no período 1960-2002, obtiveram tendências positivas para as temperaturas mínimas e para os dias mais quentes durante o inverno. Anteriormente, Silva (2004), analisou a existência de tendências estatisticamente significativa em dezenove estações da Região Nordeste do Brasil, tendo encontrado tendência crescente na temperatura do ar para quase todas as estações. Além da temperatura do ar, a tendência da umidade relativa do ar e da precipitação é inversa. O padrão de comportamento temporal da umidade relativa do ar é fisicamente consistente com o comportamento de outros variáveis analisadas. A diminuição da umidade relativa geralmente é acompanhada por redução da precipitação, enquanto que a temperatura, a evaporação, a evapotranspiração de referência e o índice de aridez.

No âmbito internacional, diversos estudos relevam condição similar, como, por exemplo o de Hoffman et al. (1997) e Rusticucci e Barrucand, (2001, 2004), que verificaram tendências negativas na amplitude térmica (DRT) para o norte da Argentina e, Bidegain e Podestá (2000), para o Uruguai. Em Portugal, um dos dois países onde o UTCI é utilizado operacionalmente, Lúcio et al. (2010), identificou tendências positivas nos máximos anuais de temperatura mínima e nos mínimos de temperatura máxima, especialmente na primavera e no verão. Globalmente, Jendritzky e Tinz (2009), avaliaram as alterações nos padrões de conforto térmico com base no Índice de Temperatura Percebido (PMV) a partir de dados do GCM ECHAM4 (do inglês, *Global Model Circulation*) para o período 2041-2050, sendo os anos 1971-1980 o período de controle. As simulações mostraram um padrão de maior frequência de calor, conseqüentemente de aumento na intensidade de estresse térmico, sendo que as alterações mais expressivas do calor serão vivenciadas por pessoas que vivem em climas quentes e úmidos.

#### 4.2.4 Comportamento das séries temporais do UTCI nas estações de referência

As análises expostas anteriormente foram no contexto espacial, ou seja, verificou-se o comportamento médio e os extremos mínimos/máximos do UTCI nas escalas anual, sazonal e horária (06, 12, 18 e 00 UTC) e em todo o Brasil de uma maneira abrangente.

De acordo com o observado no comportamento médio e nos extremos de mínimos/máximos do UTCI, em praticamente todos os meses do ano, os horários das 12/18 UTC estão associados à ocorrência de desconforto térmico por frio/calor em todo o Brasil.

O ciclo diurno da temperatura está diretamente associado como a variação da radiação ao longo do dia. Normalmente, a menor temperatura ocorre próximo ao nascer do sol, resultante do resfriamento radiativo, enquanto que, as temperaturas elevadas, geralmente, são registradas no começo ou meio da tarde, defasado do pico de radiação, que ocorre ao meio dia. No entanto, a radiação solar não é o único fator determinante para a variação diurna de temperatura. Nota-se mudanças nas condições de tempo verificadas nas Regiões Sul, Sudeste e em partes da Região Centro-oeste do país estão, na maioria das vezes, associadas à atuação de sistemas de origem frontal (KOUSKY, 1979 e SATYAMURTY et al., 1998). Conforme, Wallace e Hobbs (1977), as frentes frias estão associadas aos distúrbios de grande-escala e, ao se deslocarem acompanhados de ciclones e anitclones, alteram os padrões de pressão, vento e outras variáveis atmosféricas, como, por exemplo, a temperatura do ar e a umidade relativa do ar. Como todas essas variáveis meteorológicas (exceto a pressão atmosférica) estão presentes no computo do UTCI, o índice também apresenta um ciclo diurno sazonal, a marcha sazonal/diária.

Dessa forma, objetivando uma investigação pontual das séries temporais do UTCI nas estações de referência, foi convencionado analisar apenas os horários das 12 e 18 UTC das escalas anual e sazonal.

A escolha das estações de referência seguiu os critérios descritos no item 3.3.7.

#### 4.2.4.1. Estações de referência da Região Norte: Manaus - AM

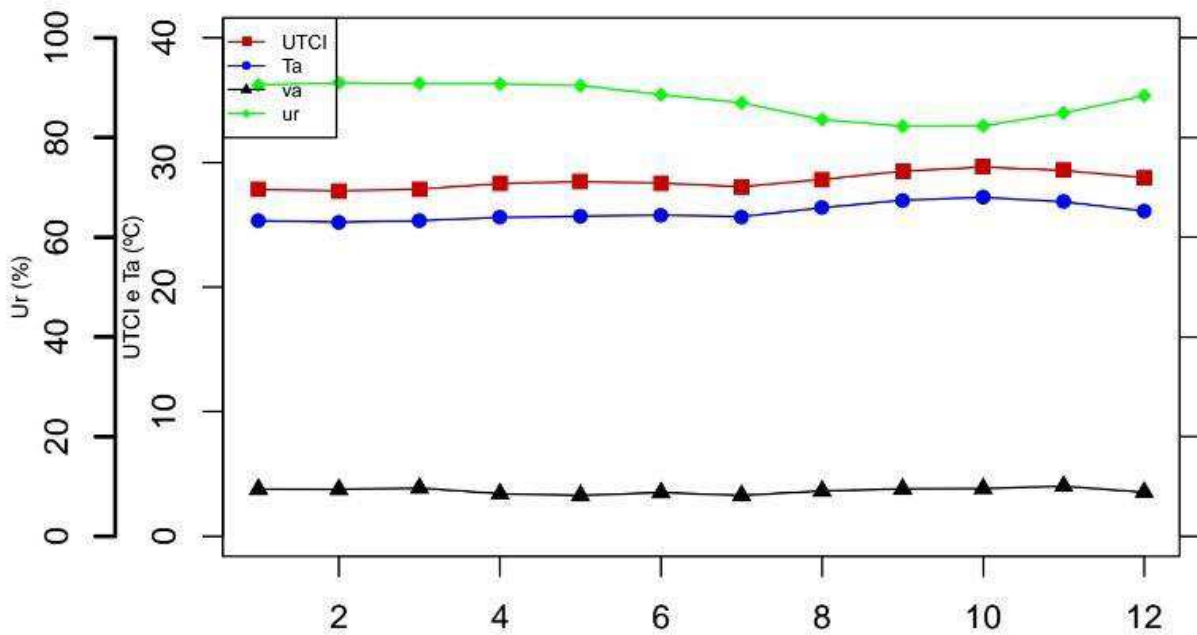
Ao analisar o UTCI médio anual em Manaus (AM) nos horários das 12 e 18 UTC (Figuras 20a e 20b, respectivamente), observou-se que em ambos os horários, o índice acompanha as variações mensais da temperatura do ar ( $T_a$ ), mas apresentou-se sempre maior do que  $T_a$  ao longo de todos os meses do ano.

Às 12 UTC (Figura 20a), o UTCI médio é de  $28,5^{\circ}\text{C}$  com desvio padrão é de  $2,1^{\circ}\text{C}$ , sendo que toda a série temporal classificada como MEC (moderado estresse por calor). Enquanto que os valores extremos no horário foram: mínimo  $17,3^{\circ}\text{C}$  (dia 01/08/1993), sendo classificado como SET (sem estresse térmico). Na ocasião, a temperatura do ar foi de  $19,2^{\circ}\text{C}$ , a umidade relativa do ar de 91% e a velocidade do vento de 3 m/s. Já o máximo do UTCI às 12 UTC foi  $36,1^{\circ}\text{C}$ , sendo classificado de FEC (forte estresse por calor) e ocorreu em dois

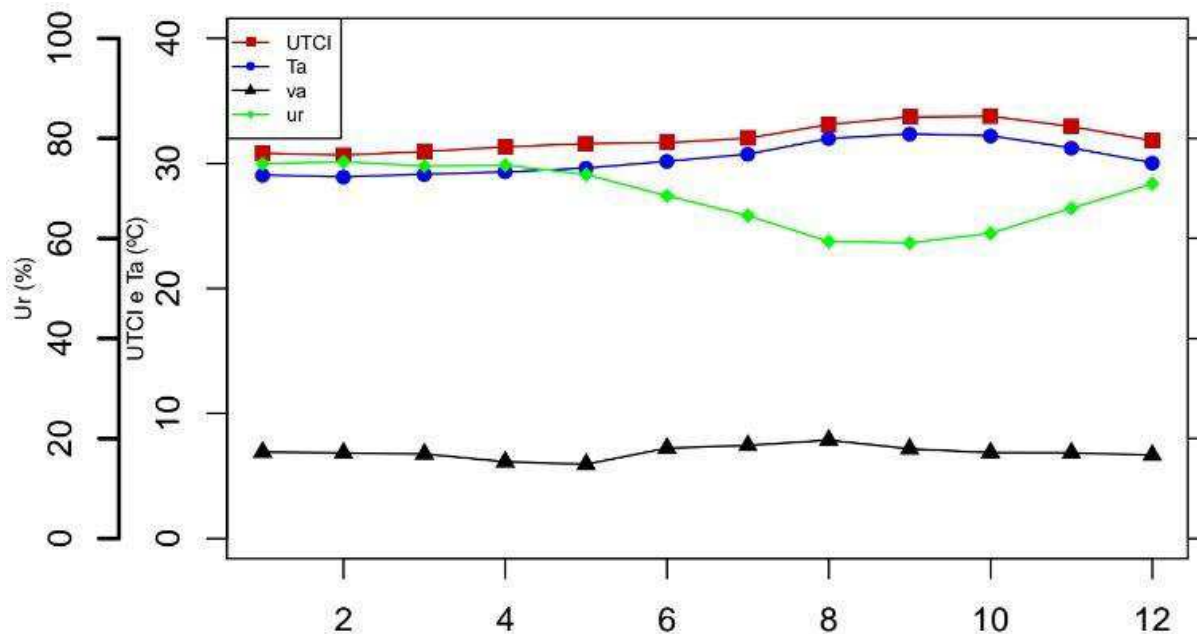
dias distintos: dia 02/12/2001, quando observou-se 29,6°C, 91% e sem vento (0 m/s), e no dia 25/10/2003, quando a temperatura do ar foi apenas 0,1°C maior do que a registrada no dia 02/12//2001, como a mesma umidade relativa do ar e 1m/s de velocidade do vento.

Em termos sazonais, os menores valores do UTCI às 12 UTC ocorrem no verão (janeiro: 27,8°C; fevereiro: 27,7°C e início do outono - março: 27,9°C), estação do ano em que a umidade relativa do ar média é superior a 90% (90,5%, 91,0% e 90,9%), respectivamente.

Por outro lado, os maiores valores médios do UTCI às 12 UTC ocorrem na primavera (setembro: 29,3°C, outubro: 29,6°C e novembro: 29,4°C), meses nos quais registraram-se os mínimos médios da umidade relativa do ar (setembro e outubro: 82,3% e novembro: 84,9%) e os máximos médios das temperatura do ar (setembro: 27,0°C, outubro: 27,2°C e novembro: 26,8°C), sendo que as velocidades médias do vento não varia muito durante o ano, mínimo de 0,8 m/s (maio e julho) e máximo de 1,0 m/s (março, setembro a novembro).



(a)



(b)

Figura 20 - Distribuição média anual do UTCI em Manaus - AM às: (a) 12 UTC e (b) 18 UTC.

No horário das 18 UTC (Figura 20b), notou-se que, a média do índice é 32,0°C com desvio padrão de 3°C, sendo a classificação dividida entre MEC (moderado estresse por calor) no período de dezembro a junho e de FEC (forte estresse por calor) no meses de julho a novembro. Em termos extremos às 18 UTC, observou-se que o valor mínimo do UTCI foi de 18,1°C (no dia 14/11/2000) classificado como SET (sem estresse térmico). Nesse dia, as

demais variáveis ambientais foram: 21,6°C, 98% e 5 m/s. Já o máximo do UTCI às 18 UTC foi de 50,3°C (dia 02/12/2001), quando observou-se 34,4°C, 97% e 0 m/s, sendo classificado de EEC (extremo estresse por calor).

Já sazonalmente, os maiores valores médios do UTCI às 18 UTC ocorrem no final do inverno (agosto: 33,1°C) e na primavera (setembro: 33,7°C; outubro: 33,8°C e novembro: 33,0°C), meses do ano nas quais a temperatura do ar média é máxima (32,0°C, 32,4°C, 32,2°C e 31,2°C, respectivamente) e a umidade relativa do ar média é mínima (59,4%, 59,1%, 61,0% e 66,0%, respectivamente).

Os menores valores médios do UTCI às 18UTC ocorrem no verão (janeiro: 30,8°C e fevereiro: 30,7°C), meses nos quais a média da temperatura do ar é mínima (29,1°C e 28,9°C), mas a média umidade relativa do ar é máxima (74,9% e 75,3%). Quanto às velocidades médias do vento, similarmente ao observado às 12 UTC, essas não variaram muito durante o ano, mínimo de 1,5 m/s (abril e maio) e máximo de 2,0 m/s (agosto).

Ao comparar os valores médios do UTCI nos dois horários (12 e 18 UTC), verificou-se que às 12 UTC há um maior distanciamento entre o índice e a temperatura do ar, cerca de 2,5°C. Enquanto que, às 18 UTC essa diferença é de apenas aproximadamente 1,6°C.

Os resultados desse estudo convergem, em partes com os obtidos em Barbosa et al. (2015) e Costa et. al. (2012), embora cada um deles tenha utilizado períodos e índices diferentes: (março de 2009 a dezembro de 2013) e Índice de Calor (IC); (janeiro a junho de 2011) e Índice de Temperatura Efetiva (TE). No primeiro estudo, os valores mínimos/máximos do IC no período chuvoso foram de 24,2°C e 28,6°C e, 24,5°C e 30,1°C no período seco. No segundo caso, a variabilidade horário no período chuvoso se estende das 11 às 18 horas (local), sendo a máxima temperatura efetiva 26,7°C (ligeiro desconforto). Com isso, observou-se que os valores do UTCI, especialmente às 18 UTC no período seco (33,8°C em outubro – máximo), foram superiores aos verificados nos estudos citados.

Na Tabela 1, encontram-se alguns dos parâmetros estatísticos das séries temporais das estações de referência nos horários das 12 e 18 UTC.

Tabela 1 - Parâmetros estatísticos para a estação de referência de Manaus – AM.

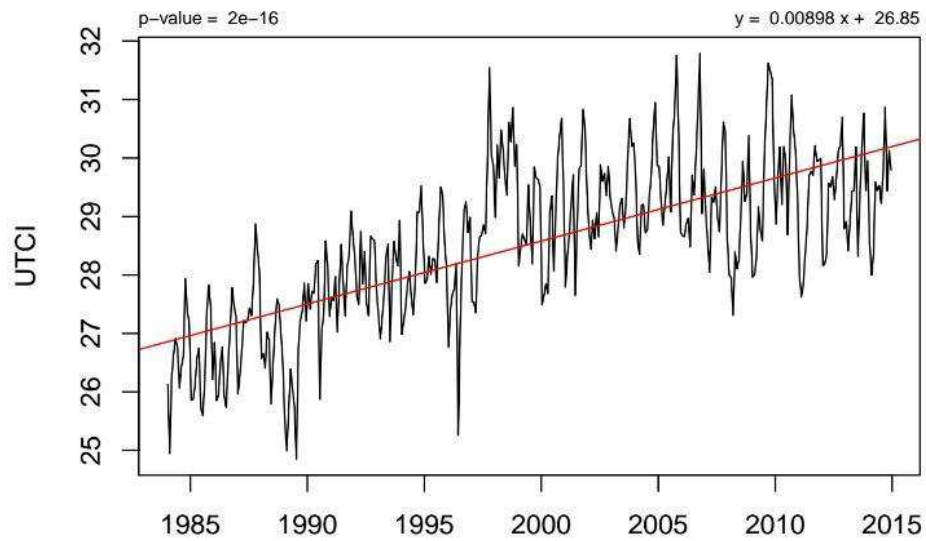
H or ár io ( U T C )	Mínim o	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância	Desvio Padrão
12	17,3	27,2	28,6	28,5	29,9	36,1	4,2	2,1
18	18,1	30,0	32,2	32,0	34,2	50,3	9,0	3,0

#### 1.1.1.1.1. Tendências das séries temporais de Manaus – AM

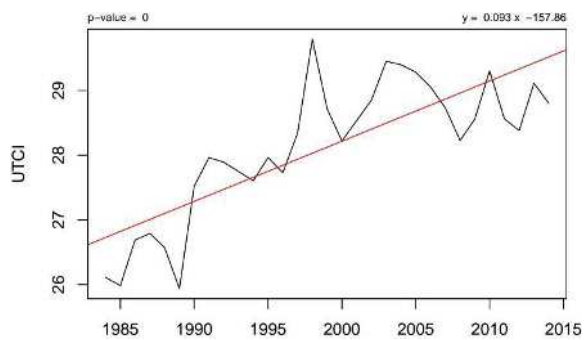
No que se refere ao comportamento temporal das séries temporais do UTCI em Manaus - AM, observou-se que há tendência positiva de 3,2°C no período com significância estatística ( $p \leq 0,05$ ) na média anualmente às 12 UTC (Figura 21a), ao longo da série história de dados. Em termos sazonais, este mesmo padrão se repetiu em todas as estações do ano (Figuras 21b a 21e), ou seja, tendência positiva com estatisticamente significativa ( $p \leq 0,05$ ). Observou-se que às 12 UTC o UTCI aumentou no verão foi 2,8°C (Figura 21b), 2,7°C (no outono- Figura 21c), 3,8°C (no inverno- Figura 21d) e 3,4°C (na primavera - Figura 21e).

Ao analisar o comportamento dos extremos mínimos/máximos da série temporal do UTCI às 12 UTC (Figuras 22a e 22b), verificou-se que há tendência positiva com significância extrema estatística ( $p \leq 0,05$ ) de 2,3°C e 3,9°C, respectivamente. Tal resultado implica em alterações importantes no conforto térmico, ou seja, condições de desconforto térmico observado inclusive no período da manhã.

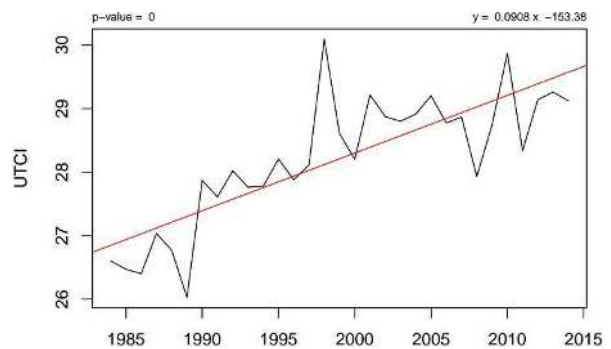
Considerando as categorias do UTCI, foi elaborada a contagem do número dias frios ( $UTCI \leq 9,0^\circ C$ ), de dias quentes ( $UTCI > 26^\circ C$ ) e de dias confortáveis ( $9^\circ C < UTCI \leq 26^\circ C$ ), porém as séries temporais de Manaus (AM) nos horários das 12 e 18 UTC não apresentaram a contagem de números de dias frios. A partir daí, verificou-se que às 12 UTC existem tendências estatisticamente significativa ( $p \leq 0,05$ ), sendo os sinais opostos: positiva no número de dias quentes e negativa no número de dias confortáveis, que em ambos os casos foi de aproximadamente 101 dias, conforme ilustrado nas Figuras 22c e 22d.



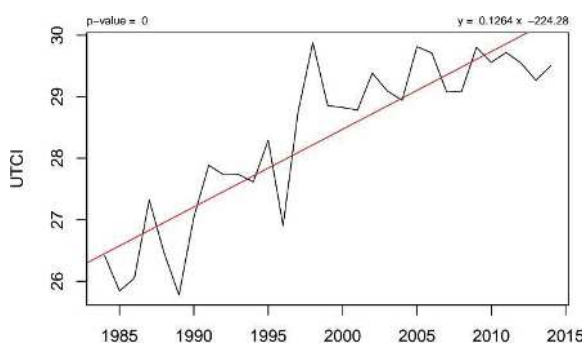
(a)



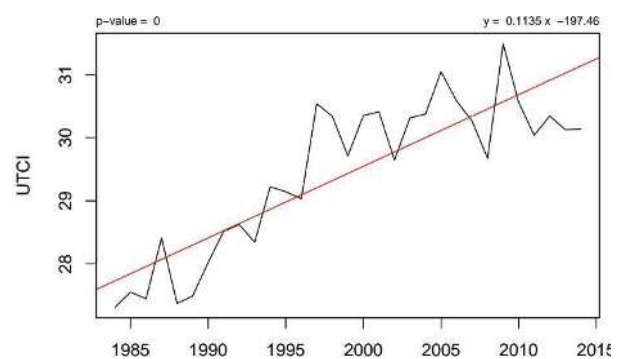
(b)



(c)



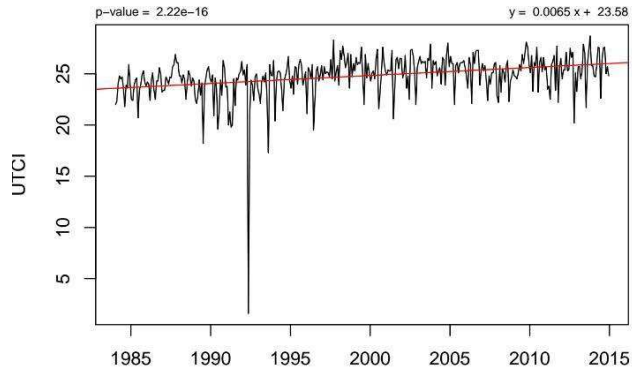
(d)



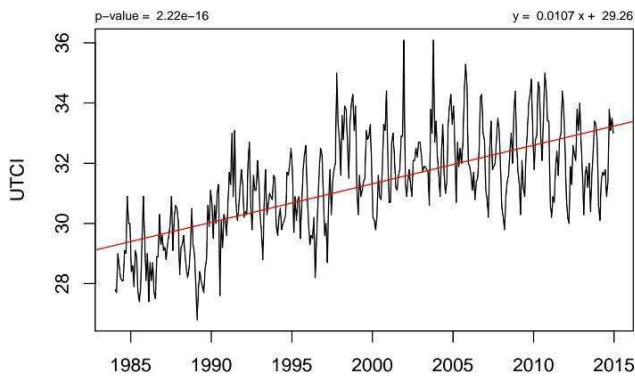
(e)

Figura 21 - Tendência temporal do UTCI às 12 UTC em Manaus durante os períodos de: (a) anual; (b) verão; (c) outono, (d) inverno e (e) primavera.

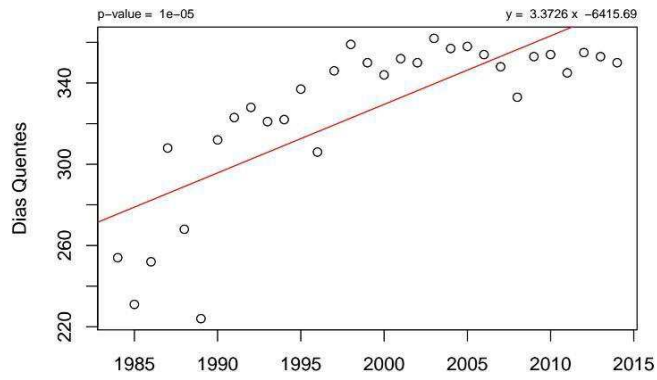




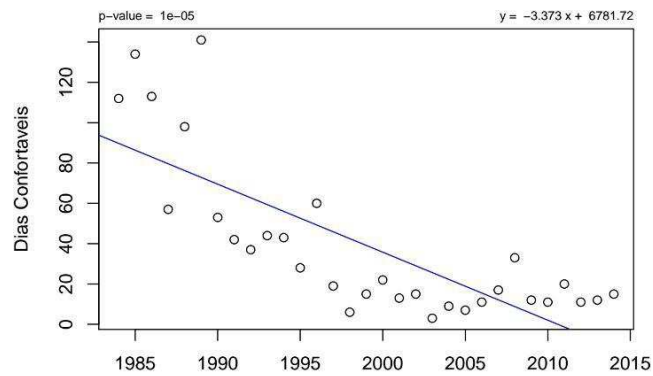
(a)



(b)



(c)



(d)

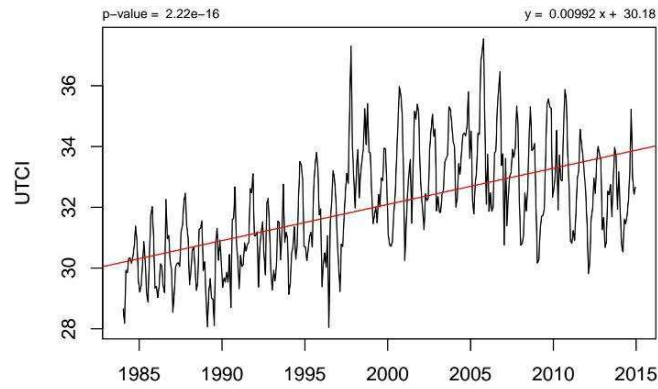
Figura 22 - Tendência temporal do UTCI às 12 UTC em Manaus: (a) mínimos, (b) máximos, (c) dias quentes e (d) dias confortáveis.

Similarmente, analisou-se à existência de tendências nas séries temporais do UTCI às 18 UTC, e observou-se que na média anualmente (Figura 23a) há um aumento foi de 3,6°C no período de 30 anos estatisticamente significativo ( $p \leq 0,05$ ). Em termos sazonais, este mesmo padrão novamente se repetiu em todas as estações do ano (Figuras 23b a 23e): tendência positiva estatisticamente significativo ( $p \leq 0,05$ ): aumentou em 3,2°C (no verão- Figura 23b), 2,5°C (no outono- Figura 23c), 4,4°C (no inverno- Figura 23d) e 3,9°C (na primavera- Figura 23e).

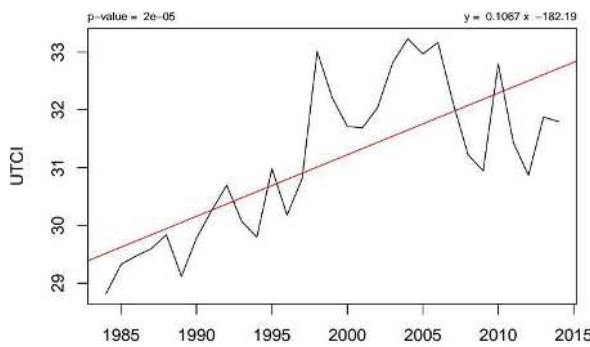
Ao analisar o comportamento dos extremos mínimos/máximos da série temporal do UTCI às 18 UTC (Figura 24a e 24b), verificou-se que há tendência positiva de 0,5°C e 4,1°C, respectivamente, com significância estatística ( $p \leq 0,05$ ) apenas nos máximos.

Considerando as categorias do UTCI, às 18 UTC há tendência positiva / negativa no números de dias quentes (cerca de 3 dias) e de dias confortáveis (cerca de 3 dias), respectivamente (Figura 24c e 24d), no entanto em ambos os casos, não houve significativas estatística ( $p \leq 0,1$ ).

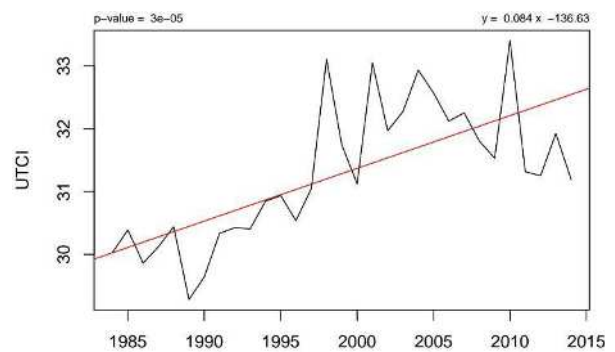
Logo, pode-se inferir que em Manaus (AM), especialmente as manhãs tem se tornado mais quente e desconfortáveis, visto que verificou-se um aumento/diminuição de aproximadamente 101 dias no número de dias quentes e de dias desconfortáveis, respectivamente. Além disso, observou-se que as maiores tendências sazonais, quantitativamente ocorrem no inverno: 3,8°C às 12 UTC e 4,4°C às 18 UTC. Adicionalmente, notou-se que tanto os valores médios quanto os máximos do UTCI, nos dois horários (12 e 18 UTC), apresentaram aumentos superiores a 3,0°C.



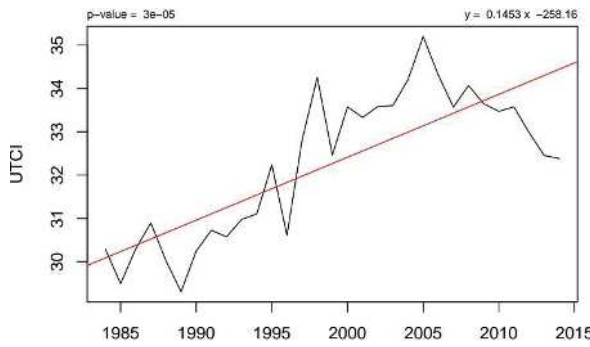
(a)



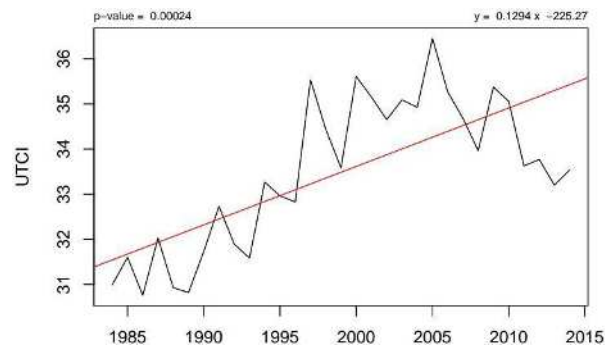
(b)



(c)

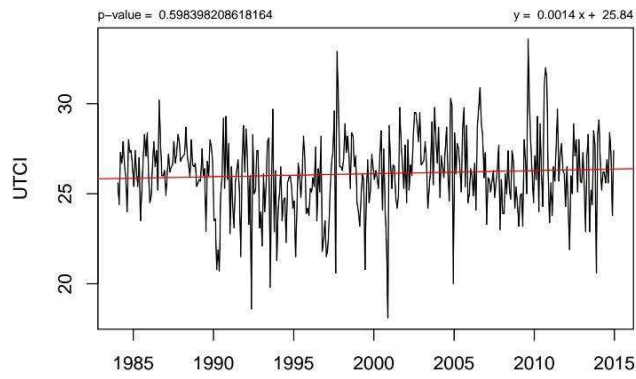


(d)

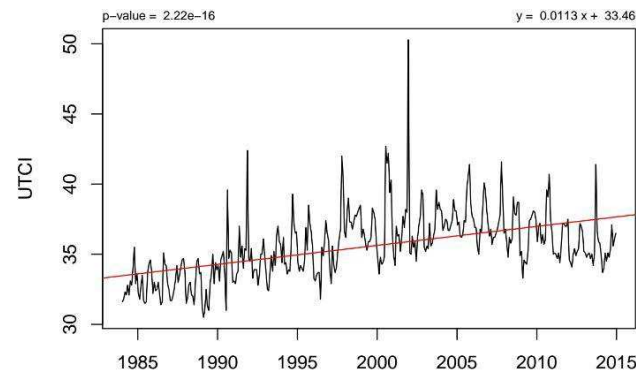


(e)

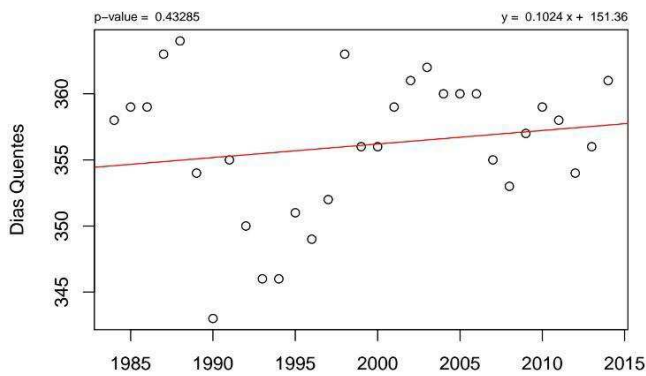
Figura 23 - Tendência temporal do UTCI às 18 UTC em Manaus durante os períodos de: (a) anual; (b) verão; (c) outono, (d) inverno e (e) primavera.



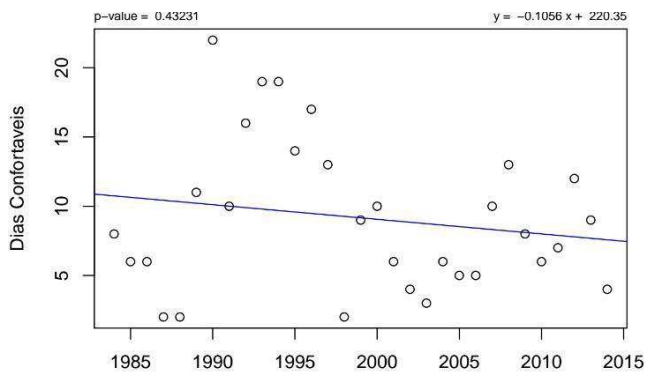
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 24 - Tendência temporal do UTCI às 18UTC em Manaus: (a) mínimos, (b) máximos, (c) dias quentes e (d) dias confortáveis.

#### 4.2.4.2. Estações de referência da Região Nordeste: Salvador – BA

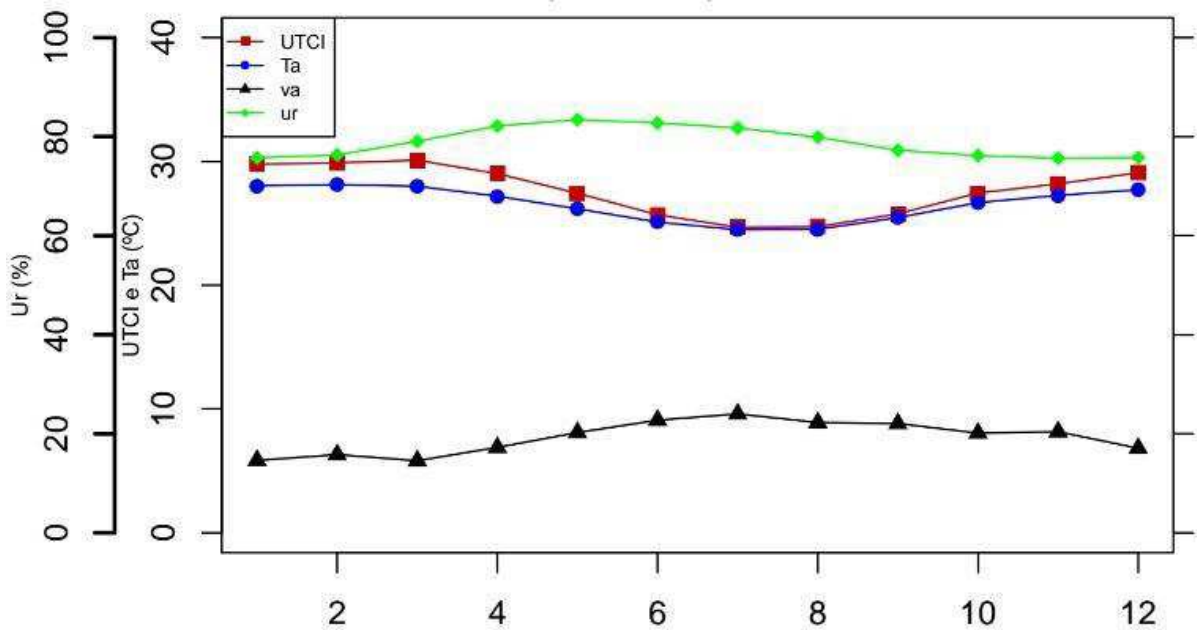
Ao analisar o UTCI médio anual em Salvador (BA) nos horários das 12 e 18 UTC (Figura 25a e 25b, respectivamente), observou-se que em ambos os horários, o índice acompanha as variações mensais da temperatura do ar ( $T_a$ ).

Às 12 UTC (Figura 25a), o índice apresentou-se maior do que  $T_a$  ao longo de todo o ano, porém, entre os meses de junho a novembro a diferença é inferior a  $1,0^\circ\text{C}$ , sendo mínima ( $0,2^\circ\text{C}$ ) em julho e agosto. Enquanto que, no período de dezembro a junho a diferença entre UTCI e  $T_a$  é máxima e varia de  $1,3^\circ\text{C}$  (maio) a  $2,1^\circ\text{C}$  (março). Segundo a classificação do UTCI, às 12 UTC, os meses de junho a setembro ( $24,7^\circ$  a  $25,8^\circ\text{C}$ ) é de sem estresse térmico (SET). Já no período de outubro a maio ( $27,4$  a  $30,1^\circ\text{C}$ ) classificação é de MEC (moderado estresse por calor). Notou-se ainda que, a média do UTCI é  $27,6^\circ\text{C}$ , sendo o desvio padrão de  $3,2^\circ\text{C}$  e recebendo a classificação MEC. Enquanto que o valor mínimo do UTCI foi de  $11,7^\circ\text{C}$  (dia 19/07/1985), sendo classificado como SET (sem estresse térmico). Nesse dia, as demais variáveis ambientais foram:  $21,3^\circ\text{C}$  (temperatura do ar), 78% (umidade relativa do ar) e 11 m/s (velocidade do vento). Já os máximos do UTCI às 12 UTC foram de  $35,9^\circ\text{C}$  (10/01/1998) e  $34,9^\circ\text{C}$  (dia 27/02/2010), quando observou-se  $32,0^\circ$  e  $31,6^\circ\text{C}$ , 72% e 1,6 e 0,5 m/s, respectivamente e sendo classificado como FEC (forte estresse por calor).

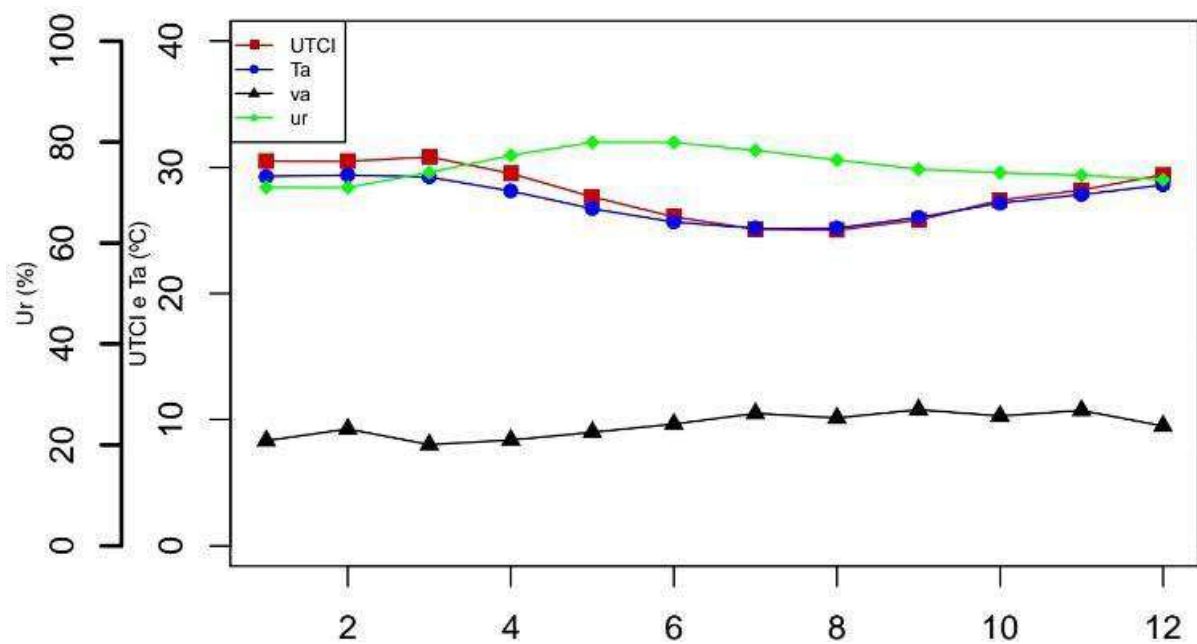
Em termos sazonais, os menores valores do UTCI às 12 UTC ocorrem no inverno (junho:  $25,7^\circ\text{C}$ , julho e agosto:  $24,7^\circ\text{C}$ ), estação do ano em que a velocidade média do vento é máxima (2,3; 2,4 e 2,2 m/s) e a média da umidade relativa do ar é de 83% (junho); 82% (julho) e 80% (agosto), não variado muito ao longo do ano, devido à condição peninsular de Salvador (como média de 79%, mínimo de 76% de outubro a janeiro, e máximo de 83% em maio e junho).

Por outro lado, os maiores valores médios do UTCI às 12 UTC ocorrem no verão (dezembro:  $29,1^\circ\text{C}$ ; janeiro:  $29,8^\circ\text{C}$  e fevereiro:  $29,9$ ) e no início do outono (março:  $30,1^\circ\text{C}$ ), meses nos quais as médias da umidade relativa do ar é mínima (dezembro, janeiro e fevereiro: 76%; e 79% em março) e as médias das temperatura do ar são máximas (dezembro:  $27,7^\circ\text{C}$ ; janeiro e março:  $28,0$  e fevereiro:  $28,1^\circ\text{C}$ ).

Em termos comparativos, os máximos valores do UTCI médio ocorrem no verão em Salvador – BA, enquanto que em Manaus – AM, nessa mesma estação do ano, são observados aos menores valores:  $27,8^\circ\text{C}$ ,  $27,7^\circ\text{C}$  e  $27,9^\circ\text{C}$ .



(a)



(b)

Figura 25 - Distribuição média anual do UTCI em Salvador - BA às: (a) 12 UTC e (b) 18 UTC.

Às 18 UTC (Figura 25b), o UTCI apresentou-se maior do que Ta em dois períodos do ano: de janeiro a junho (0,4°C a 1,6°C) e, entre outubro e dezembro (0,2°C a 0,8°C). Durante esses meses, ocorrem os maiores valores médios do UTCI às 18UTC: verão (janeiro e fevereiro: 30,5°C) e início do outono (março: 30,8°C e abril: 29,5°C), a condição de conforto

térmico foi classificada como MEC (moderado estresse por calor). Ainda nesse mesmo período, verificou-se as máximas de temperaturas médias do ar (janeiro: 29,3°C e fevereiro: 29,4°C), a média da umidade relativa do ar é mínima (janeiro e fevereiro: 71%), também não variando muito ao longo dos meses (com média de 75% e máximo de 80% em maio e junho), enquanto que a velocidade do vento (2,1 e 2,3 m/s) começa a diminuir, até atingir o mínimo em março: 2,0 m/s.

Já nos meses de julho a setembro  $T_a$  é maior do que UTCI, sendo que a diferença varia de 0,1 a 0,2°C. Nesse período (inverno e início da primavera) ocorrem os menores valores do UTCI (25,1°C, 25,0°C e 25,8°C), que segundo a classificação do UTCI é de sem estresse térmico (SET).

No horário das 18 UTC, observou-se ainda que, a média do UTCI é 28,0°C, sendo o desvio padrão de 3,3°C, classificado de MEC (moderado estresse por calor). Enquanto que o valor mínimo absoluto do UTCI foi de 13,0°C (no dia 02/09/1986), nível de conforto térmico classificado como SET (sem estresse térmico). Nesse dia, as demais variáveis ambientais foram: 22,2°C, 69% e 11,0 m/s. Já o máximo do UTCI às 18 UTC foi de 38,5°C (dia 05/03/2008), quando observou-se 30,6°C, 100% e 2,0 m/s, sendo classificado de MFEC (muito forte estresse por calor).

Na Tabela 2, encontram-se alguns dos parâmetros estatísticos das séries temporais nas estações de referência nos horários das 12 e 18 UTC.

Tabela 2 - Parâmetros estatísticos para a estação de referência de Salvador – BA.

H or ár io ( U T C )	Mínim o	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância	Desvio Padrão
12	11,7	25,8	28,2	27,6	30,0	35,9	10,0	3,2
18	13,0	26,1	28,4	28,0	30,5	38,5	11,1	3,3

Os resultados encontrados nas análises médias mensais nos horários das 12 e 18 UTC em Salvador (BA) apresentados nesse estudo, convergem com os obtidos por vários autores que utilizaram, na sua maioria o Índice PET, Goulart et al., (1998): encontraram que em 58%

das horas do ano a condição climática está acima do limite de conforto; Nery et al., (1997) observaram que o clima de Salvador promove sensação de estresse térmico positivo durante todo o ano, sendo amenizado nos meses de inverno (junho, julho e agosto).

#### 4.2.4.2.1. Tendências das séries temporais em Salvador – BA

No que se refere à existência de tendências na série temporal do UTCI às 12 UTC, observou-se que na média anual há tendência positiva de 3,0°C no período, estatisticamente significativa ( $p \leq 0,05$ ) (Figura 26a). Sazonalmente, este mesmo padrão foi verificado nas quatro estações do ano (Figuras 26b a 26e): tendência positiva com extrema significância estatística ( $p \leq 0,05$ ). Quantitativamente, observou-se que o UTCI às 12 UTC ao longo dos últimos 30 anos (período total da série de dados) aumentou em 3,0°C (no verão - Figura 26b), 2,2°C (no outono - Figura 26c), 3,5°C (no inverno- Figura 26d) e 3,8°C (na primavera - Figura 26e).

Em relação aos extremos mínimos/máximos da série temporal do UTCI às 12 UTC (Figuras 27a e 27b), notou-se que há tendência positiva de 2,4°C e 2,7°C, respectivamente e ambos os casos, foi estatisticamente significativa ( $p \leq 0,05$ ).

Considerando as categorias do UTCI, às 12 UTC verificou-se a existência de tendência positiva no números de dias quentes e conseqüentemente, tendência negativa no número de dias confortáveis, cerca de 130 dias, respectivamente (Figura 27c e 27d), e em ambos os casos, estatisticamente significativa ( $p \leq 0,05$ ).



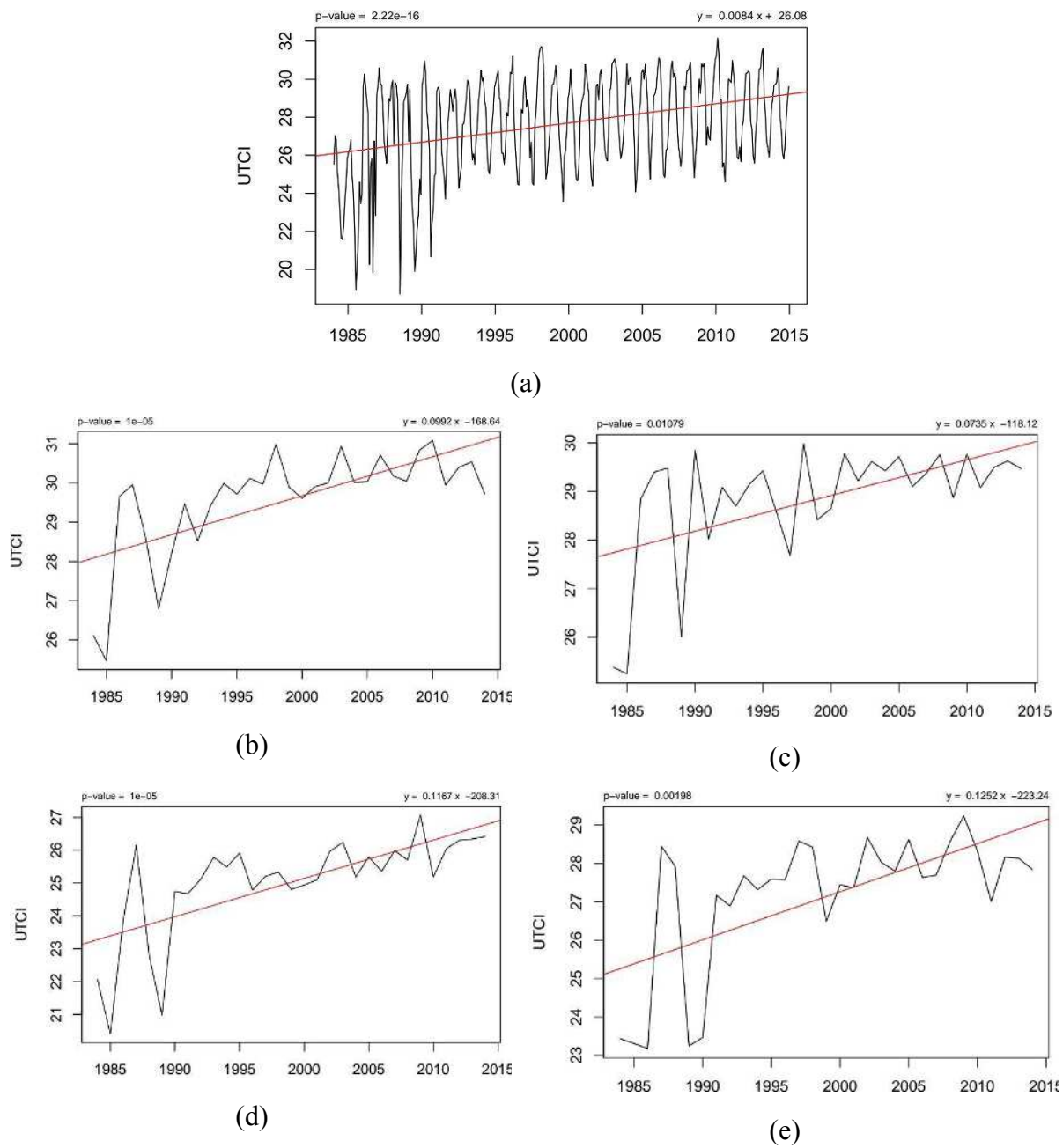
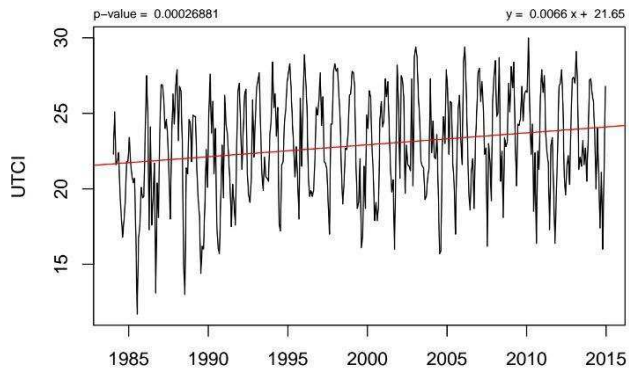
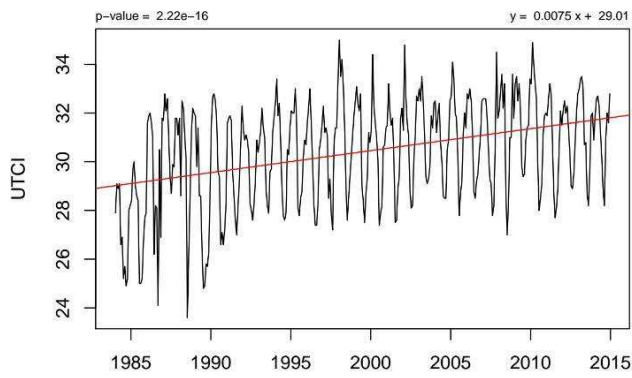


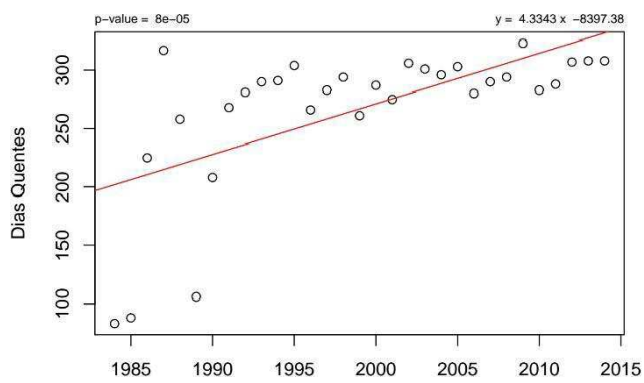
Figura 26 - Tendência temporal do UTCI às 12 UTC em Salvador durante os períodos de: (a) anual; (b) verão; (c) outono, (d) inverno e (e) primavera.



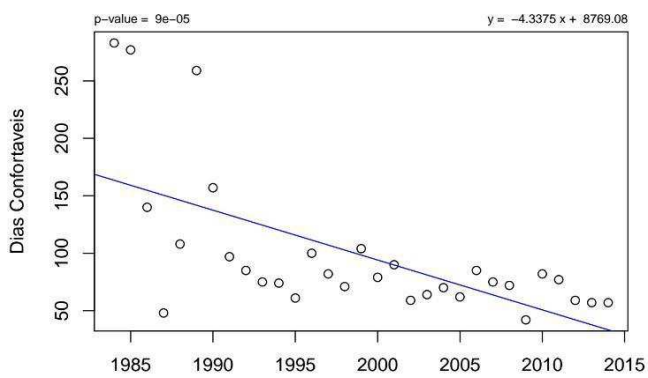
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 27 - Tendência temporal UTCI às 12 UTC em Salvador: (a) mínimos, (b) máximos, (c) dias quentes e (d) dias confortáveis.

Similarmente, analisou-se à existência de tendências nas séries temporais do UTCI às 18 UTC, e verificou-se que na média anualmente (Figura 28a) há um aumento foi de 2,9°C com extrema significância estatística ( $p \leq 0,05$ ), ao longo da série história de dados (30 anos). Em termos sazonais, este mesmo padrão novamente se repetiu em todas as estações do ano (Figuras 28b a 28e): tendência positiva com extrema significância estatística ( $p \leq 0,05$ ), exceto no outono, quando a tendência não foi estatisticamente significativa ( $p \leq 0,1$ ). Quantitativamente, o UTCI das 18 UTC aumentou em 2,6°C (no verão - Figura 28b), 2,2°C (no outono - Figura 28c), 3,5°C (no inverno - Figura 28d) e 3,6°C (na primavera - Figura 28e).

Ao analisar o comportamento dos extremos mínimos/máximos da série temporal do UTCI às 18 UTC (Figuras 29a e 29b), notou-se que há tendência positiva de 2,8°C e 2,3°C, respectivamente, estatisticamente significativo ( $p \leq 0,05$ ).

Considerando as categorias do UTCI às 18 UTC, observou-se que há tendências estatisticamente significativa ( $p \leq 0,05$ ) no número de dias quentes (positiva, aumento) e, conseqüentemente tendência negativa (diminuição) no número de dias confortáveis, aproximadamente 141 dias, (Figuras 29c e 29d).

Comparando os resultados obtidos em Salvador (BA) nos horários das 12 e 18 UTC, ficou evidente a similaridade nas tendências positivas (aumento) no UTCI, especialmente nos valores médios anuais da série temporal (3,0°C e 2,9°C, respectivamente) e, sazonalmente no outono (2,2°C, em ambos os horários, mas às 18 UTC sem significância estatística) e no inverno (3,5°C, nos dois horários). Além disso, quando compara os resultados das tendências com os obtidos em Manaus –AM, verifica-se que a tendência de aumento no valor máximo às 12 UTC é menor em 1,2°C (2,7°C em Salvador e 3,9°C em Manaus); às 18 UTC, o aumento é ainda menor: 1,8°C (2,3°C em Salvador e 4,1°C em Manaus). Em relação as tendências no número de dias quentes (desconfortáveis), verificou similaridade na tendência de aumento nas capitais apenas às 12 UTC: 130 dias em Salvador, contra 101 em Manaus. Sendo que às 18 UTC, essa diferença aumento quase cinquenta vezes, 141 dias em Salvador, para somente 3 dias em Manaus.

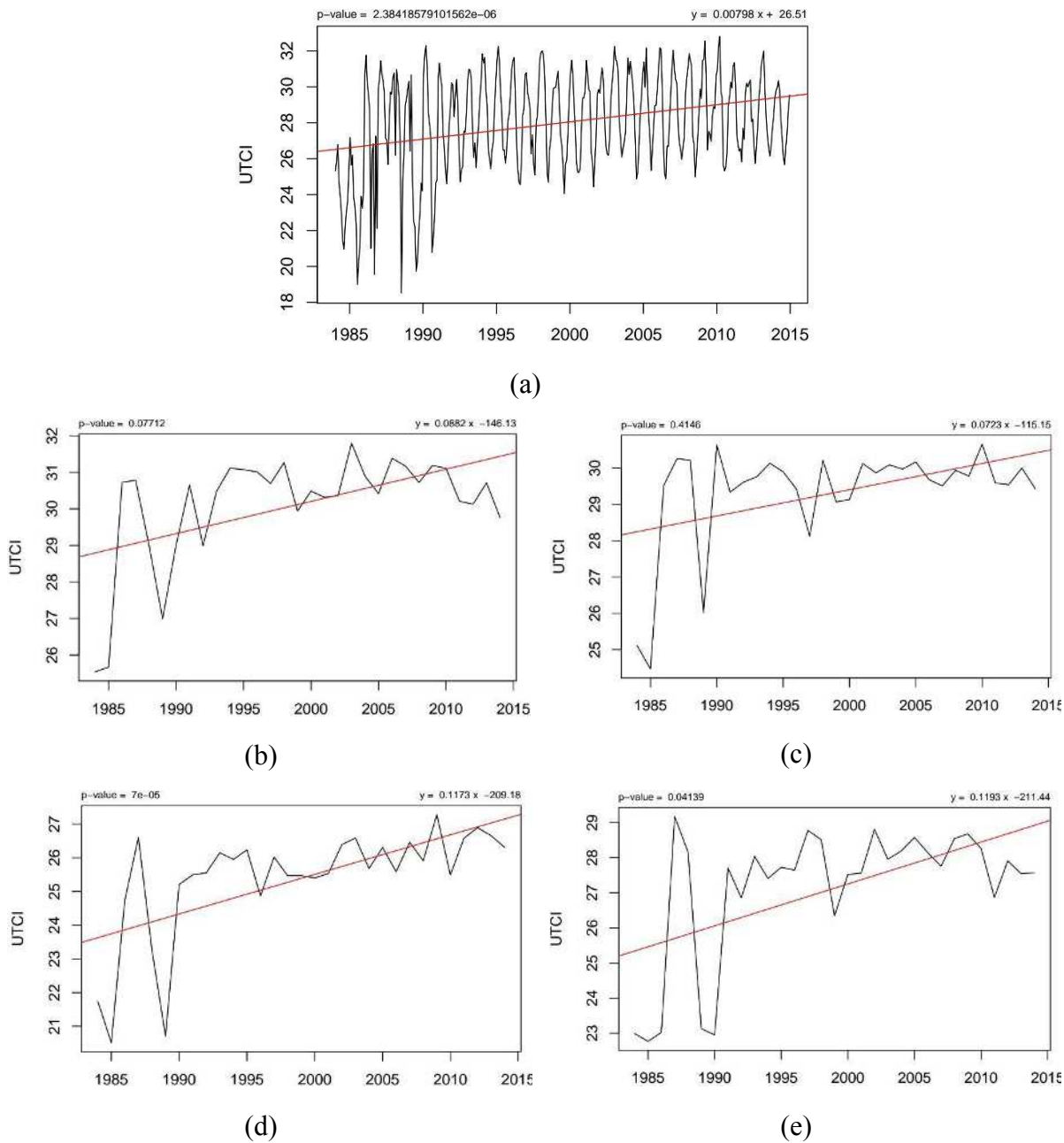
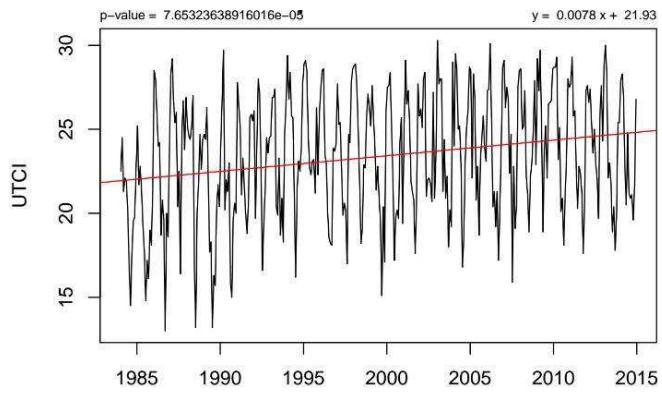
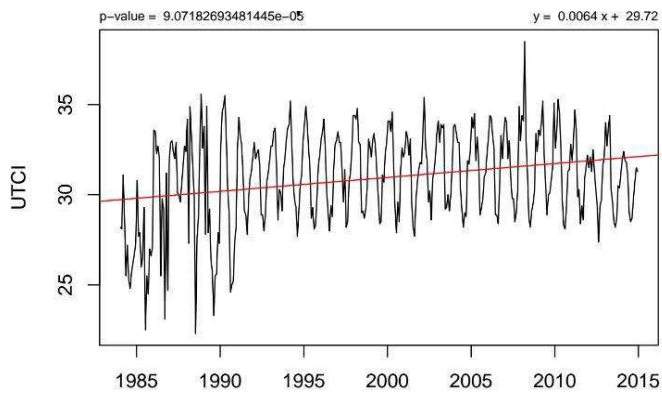


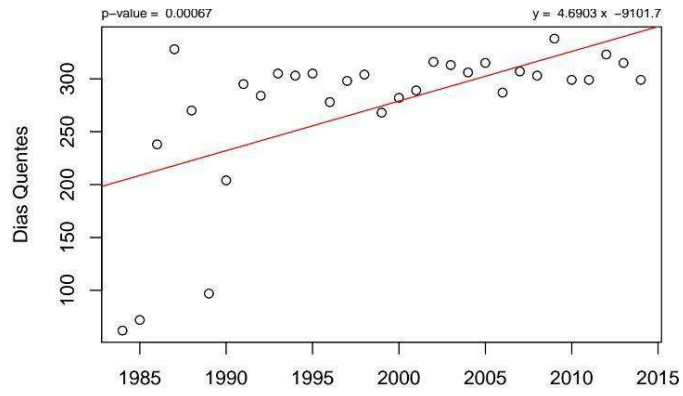
Figura 28 - Tendência temporal do UTCI às 18 UTC em Salvador nos períodos de: (a) anual; (b) verão; (c) outono, (d) inverno e (e) primavera.



(a)



(b)



(c)

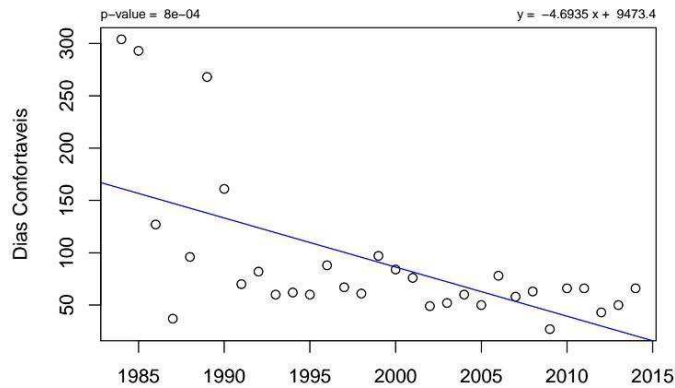


Figura 29 - Tendência temporal do UTCI às 18 UTC: (a) mínimos, (b) máximos, (c) dias quentes e (d) dias confortáveis.

#### 4.2.4.3. Estações de referência da Região Centro-Oeste: Brasília – DF

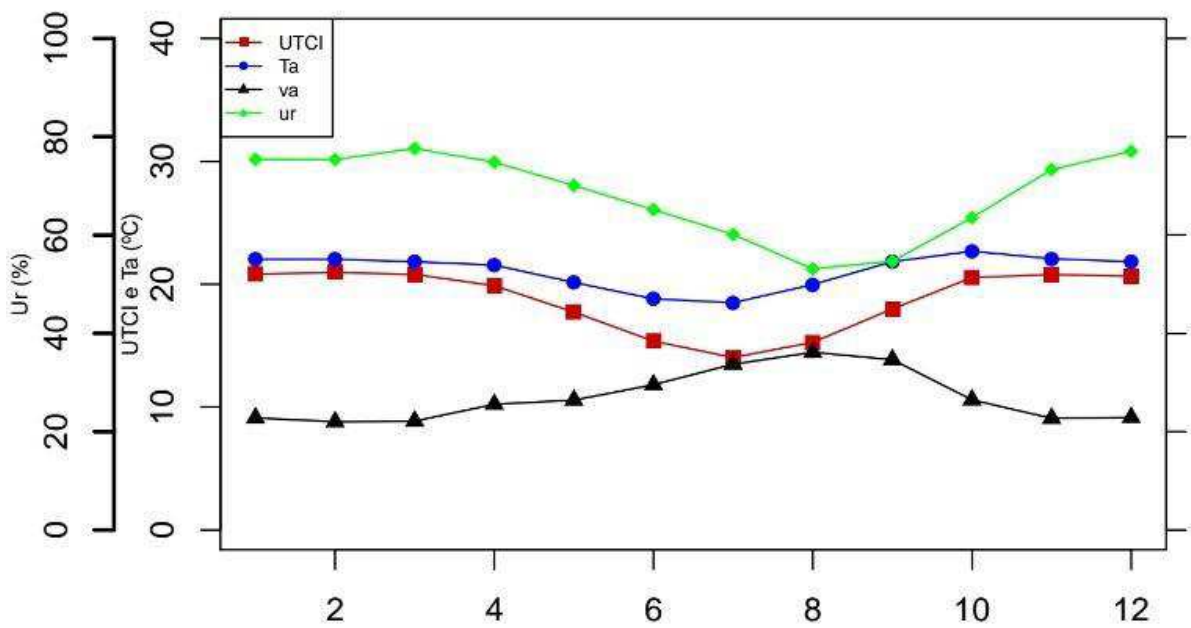
Ao analisar o UTCI médio anual em Brasília (DF) nos horários das 12 e 18 UTC (Figuras 30a e 30b, respectivamente), observou-se que em ambos os horários, o índice acompanha as variações mensais da temperatura do ar ( $T_a$ ), mas apresentou-se sempre menor do que  $T_a$  ao longo de todos os meses do ano. A combinação das médias das variáveis ambientais (temperatura do ar, vento e umidade relativa do ar) nesses horários de observações, proporcionou uma condição média de temperatura equivalente que, de acordo como a classificação do UTCI é de sem estresse térmico (SET) durante todo o ano.

Às 12 UTC (Figura 30a), notou-se que, a média do UTCI é  $18,7^{\circ}\text{C}$ , sendo o desvio padrão de  $4,7^{\circ}\text{C}$  e recebendo a classificação SET (sem estresse térmico). Enquanto que o valor mínimo do UTCI foi de  $-4,1^{\circ}\text{C}$  (dia 05/07/2000), sendo classificado como MEF (moderado estresse por frio). Nesse dia, as demais variáveis ambientais foram:  $15,3^{\circ}\text{C}$  (temperatura do ar), 73% (umidade relativa do ar) e 14 m/s (velocidade do vento). Já o máximo do UTCI às 12 UTC foi de  $28,8^{\circ}\text{C}$  (dia 30/10/2012), quando observou-se  $29,9^{\circ}\text{C}$ , 31% e sem vento (0 m/s), sendo classificado de MEC (moderado estresse por calor).

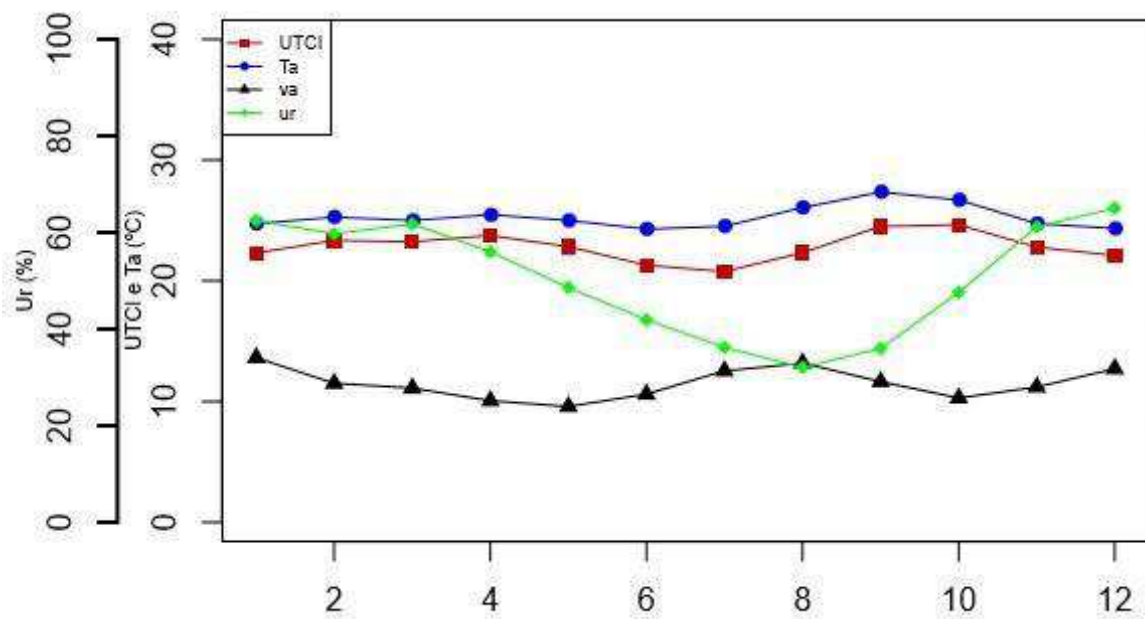
Em termos sazonais, os menores valores do UTCI às 12 UTC ocorrem no inverno (junho:  $15,4^{\circ}\text{C}$ ; julho:  $14,0^{\circ}\text{C}$  e agosto:  $15,3^{\circ}\text{C}$ ), estação do ano em há uma diminuição da umidade relativa do ar média (65,2; 60,1 e 53,1%) e uma aumento da velocidade média do vento (2,7; 3,1 e 3,3 m/s), respectivamente. Durante esses meses, observou-se que ocorreu também o maior distanciamento entre os valores do UTCI e da temperatura do ar,  $3,4^{\circ}\text{C}$ ;  $4,5^{\circ}\text{C}$  e  $4,7^{\circ}\text{C}$ .

Por outro lado, os maiores valores médios do UTCI às 12 UTC ocorrem no final da primavera (novembro:  $20,8^{\circ}\text{C}$ ) e no verão (dezembro:  $20,7^{\circ}\text{C}$ ; janeiro:  $20,8^{\circ}\text{C}$ , valor que também se repete em março (outono) e fevereiro:  $21,0^{\circ}\text{C}$ ), meses nos quais também ocorrem

os máximos da média umidade relativa do ar (novembro: 73,3%; dezembro: 77,1%; janeiro e fevereiro: 75,4% e março: 77,6%), as médias das temperatura do ar são elevadas (dezembro e março: 21,8°C; e janeiro e fevereiro: 22,0°C), sendo que o máximo ocorre em outubro: 22,7°C e; as velocidades médias do vento são mínimas: 2,3 m/s em novembro, dezembro e janeiro e 2,2 m/s em fevereiro e março.



(a)



(b)

Figura 30 - Distribuição média anual do UTCI em Brasília - DF às: (a) 12 UTC e (b) 18 UTC.

No horário das 18 UTC (Figura 30b), observou-se que, a média do UTCI é 22,8°C, sendo o desvio padrão de 3,6°C, classificado de SET (sem estresse térmico). Enquanto que o valor mínimo do UTCI foi de 5,5°C (no dia 28/08/1984) classificado como LEF (leve estresse por frio). Nesse dia, as demais variáveis ambientais foram: 16,2°C, 88% e 8 m/s. Já o máximo do UTCI às 18 UTC foi de 33,8°C (dia 06/12/2002), quando observou-se 35, 8°C, 11% e 0,3 m/s, sendo classificado de FEC (forte estresse por calor).

Já sazonalmente, os menores valores médios do UTCI às 18 UTC ocorrem no inverno (junho: 21,3°C; julho: 20,8°C e agosto: 22,3°C), estação do ano em há uma diminuição da umidade relativa do ar média (41,9; 36,2 e 32,1%) e um aumento velocidade média do vento (2,7; 3,1 e 3,3 m/s), respectivamente. Durante esses meses, observou-se que ocorreu também o maior distanciamento entre os valores do UTCI e da temperatura do ar, 3,0°C; 3,7°C 3 e 3,7°C.

Os maiores valores médios do UTCI às 18UTC ocorrem no início da primavera (setembro: 24,5°C e outubro: 24,6°C), meses nos quais a média da temperatura do ar é máxima (27,3°C e 26,7°C), mas a umidade relativa do ar (36,0% e 47,6%) ainda é relativamente pequena, quando comparadas com os máximos que ocorrem em dezembro e janeiro (65,1% e 62,5%), enquanto que a velocidade do vento (2,9 e 2,6 m/s) começa a diminuir, quando comparada como os meses de julho e agosto (3,1 e 3,3 m/s).



Na Tabela 3, encontram-se alguns dos parâmetros estatísticos das séries temporais nos referidos horários.

Tabela 3 - Parâmetros estatísticos para a estação de referência de Brasília – DF.

H or ár io ( U T C )	Mínim o	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância	Desvio Padrão
12	-4,1	15,9	19,5	18,7	22,3	28,8	21,8	4,7
18	5,5	20,7	23,3	22,8	25,3	33,8	13,2	3,6

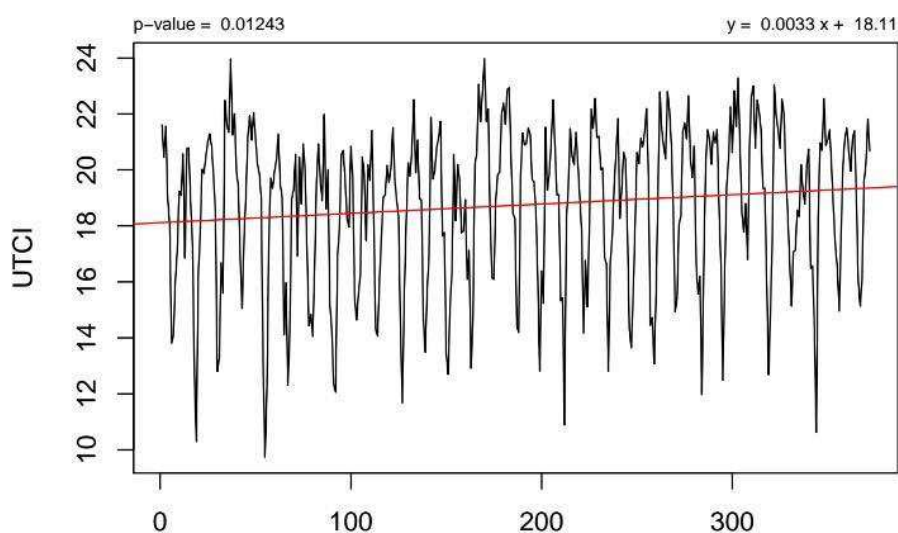
#### 4.2.4.3.1. Tendências das séries temporais em Brasília – DF

No que se refere à existência de tendências na série temporal do UTCI às 12 UTC, observou-se que a média anualmente (Figura 31a) há tendência positiva com significância estatística ( $p \leq 0,1$ ), porém ao longo da série história de dados (30 anos), o aumento foi de 1,2°C. Em termos sazonais, este mesmo padrão se repetiu em todas as estações do ano (Figuras 31b a 31e): tendência positiva com significância estatística ( $p \leq 0,1$ ), exceto no verão, quando a tendência não foi estatisticamente significativa. Quantitativamente, observou-se que o UTCI às 12 UTC ao longo dos últimos 30 anos (período total da série de dados) aumentou em 0,87°C (no verão - Figura 31b), 1,07°C (no outono - Figura 31c), 1,7°C (no inverno - Figura 31d) e 1,2°C (na primavera - Figura 31e). Esses resultados vão ao encontro dos obtidos por Almeida et. al., (2012) para a temperatura mínima média de Brasília-DF no período de 1963 a 2011: 1,85°C (anualmente), 1,95°C (no verão), 1,8°C (no outono), 2,05°C (no inverno) e 1,85°C (na primavera).

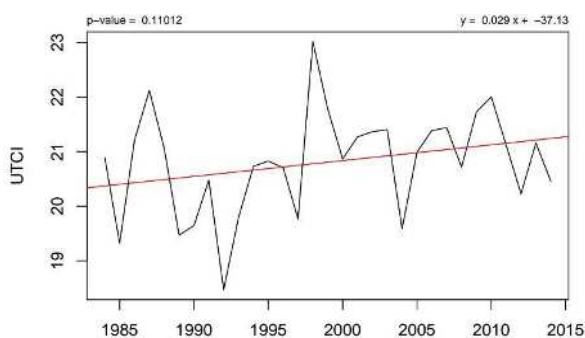
Ao analisar o comportamento dos extremos mínimos/máximos da série temporal do UTCI às 12 UTC (Figuras 32a e 32b), verificou-se que há tendência positiva de 0,8°C e 0,9°C, respectivamente. No entanto, apenas os extremos de máximos apresentam significância estatística ( $p \leq 0,1$ ).

Considerando as categorias do UTCI, foi elaborada a contagem do número dias frios ( $UTCI \leq 9,0^\circ C$ ), de dias quentes ( $UTCI > 26^\circ C$ ) e de dias confortáveis ( $9^\circ C < UTCI \leq 26^\circ C$ ), conforme ilustrado nas Figuras 32c a 32e, respectivamente. A partir daí, analisou-se a

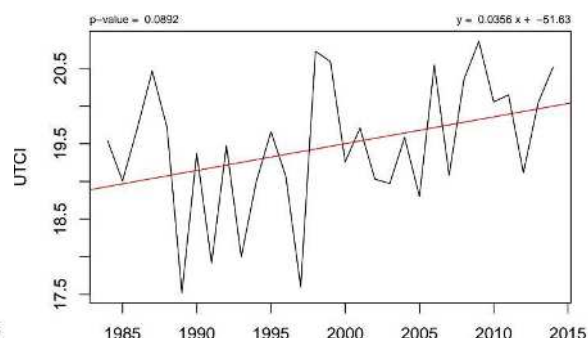
existência de tendências nas séries temporais do UTCI nos horários das 12 e 18 UTC. Às 12 UTC, foi observada tendência negativa no número de dias frios (5,2 dias), e tendências positivas nos números de dias quentes (0,3 dias) e de dias confortáveis (1,7 dias), porém não houve significância estatística ( $p \leq 0,1$ ) em nenhuma das contagens.



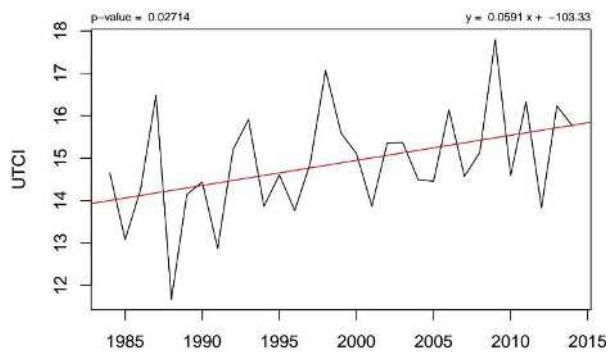
(a)



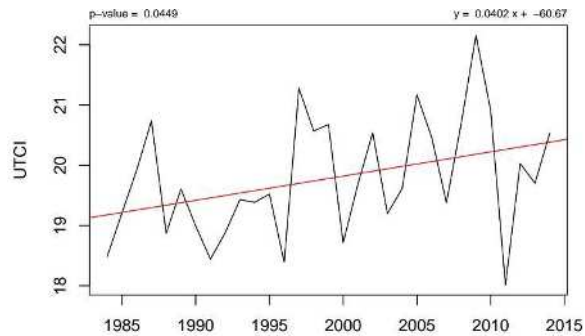
(b)



(c)

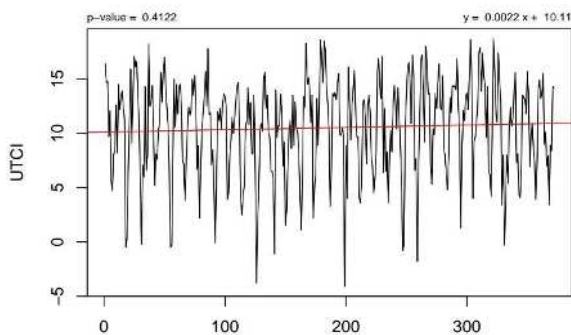


(d)

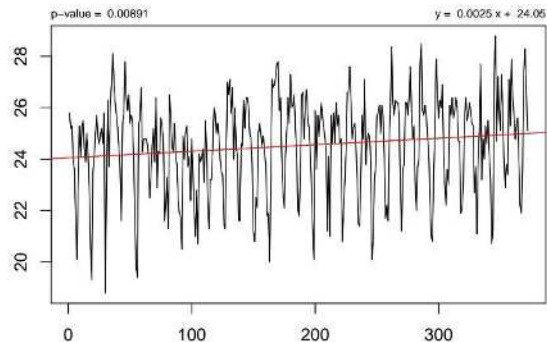


(e)

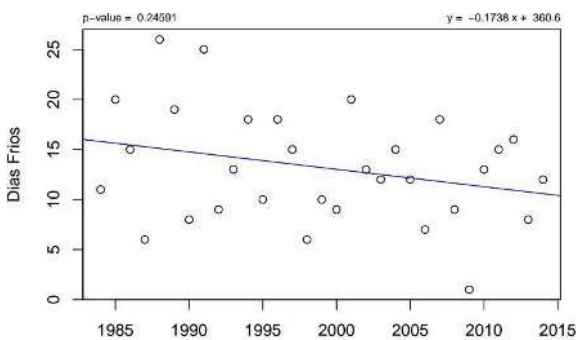
Figura 31 - Tendência temporal do UTCI às 12 UTC em Brasília durante o período de: (a) anual; (b) verão; (c) outono, (d) inverno e (e) primavera.



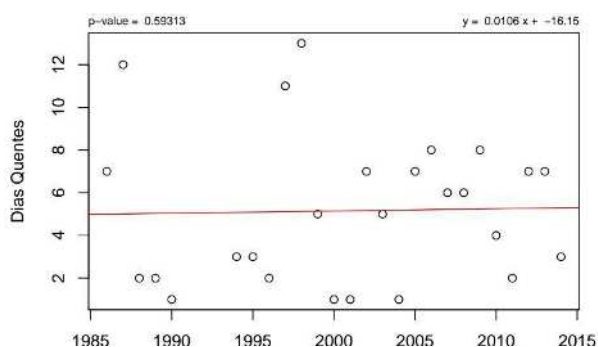
(a)



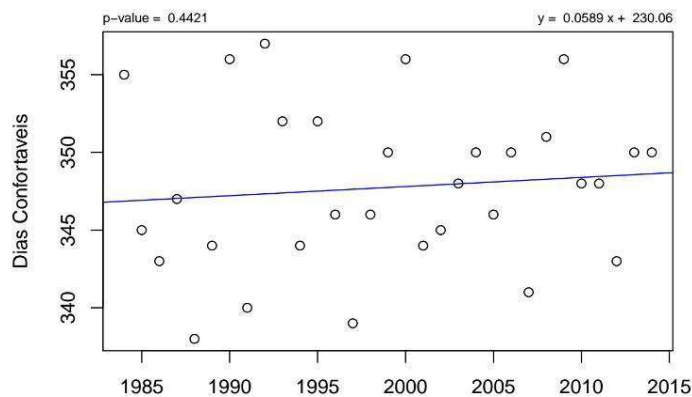
(b)



(c)



(d)



(e)

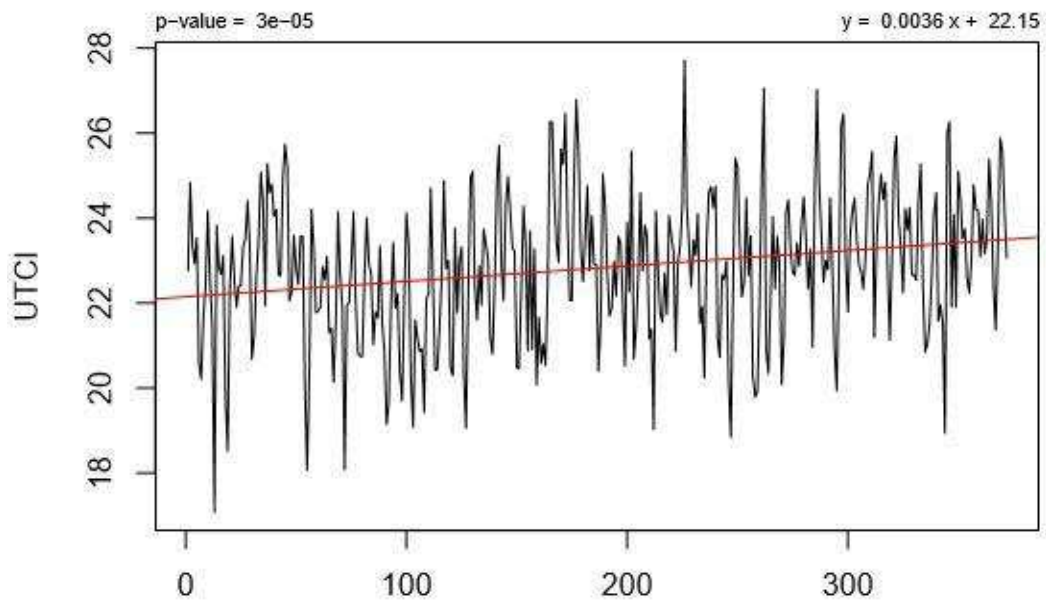
Figura 32 - Tendência temporal do UTCI às 12 UTC em Brasília: (a) mínimos, (b) máximos, (c) dias frios, (d) dias quentes e (e) dias confortáveis.

Analogamente, analisou-se à existência de tendências nas séries temporais do UTCI às 18 UTC, e observou-se que na média anualmente (Figura 33a) há um aumento foi de 1,3°C estatisticamente significativa ( $p \leq 0,05$ ), ao longo da série história de dados (30 anos). Em termos sazonais, este mesmo padrão novamente se repetiu em todas as estações do ano (Gráficos 33b a 33e): tendência positiva estatisticamente significativa ( $p \leq 0,05$ ), exceto no outono, quando a tendência foi estatisticamente significativa ( $p \leq 0,1$ ). Quantitativamente, o UTCI das 18 UTC aumentou em 1,1°C (no verão - Figura 33b), 0,75°C (no outono - Figura 33c), 1,5°C (no inverno - Figura 33d) e 1,9°C (na primavera - Figura 33e).

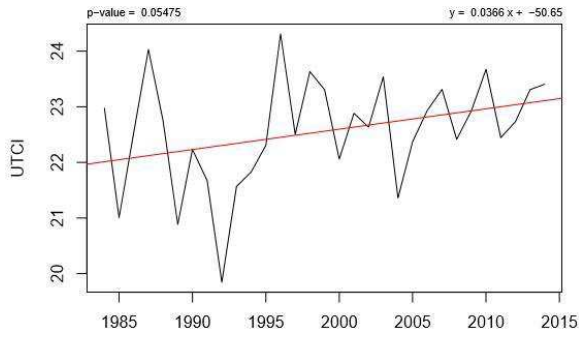
Ao analisar o comportamento dos extremos mínimos/máximos da série temporal do UTCI às 18 UTC (Figura 34a e 34b), verificou-se que há tendência positiva de 1,4°C e 1,0°C, respectivamente, estatisticamente significativa ( $p \leq 0,05$ ).

Considerando as categorias do UTCI, às 18 UTC não foi observada tendência estatisticamente significante no número de dias frios ( $UTCI \leq 9,0^\circ\text{C}$ ), mas há tendência positiva / negativa, com extremamente significativas ( $p \leq 0,05$ ), no números de dias quentes (31,2 dias) e de dias confortáveis (31,9 dias), respectivamente (Figuras 34c e 34d). Tais

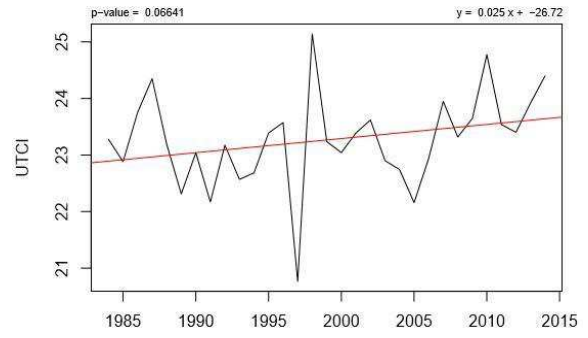
resultados concordam como os obtidos por Almeida et al. (2011), que encontraram tendência positiva no número de dias de verão ( $T > 25^{\circ}\text{C}$ ) (48 dias) e no número de dias quentes ( $T$  acima do percentil 90<sup>th</sup>) (4,05 dias).



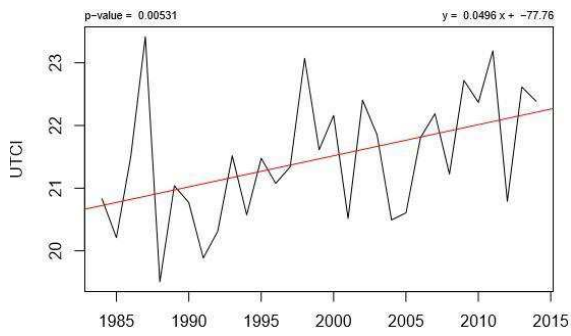
(a)



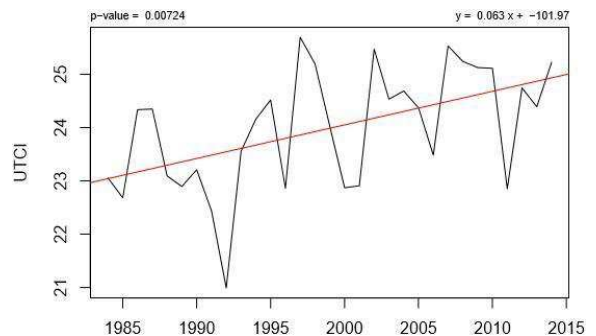
(b)



(c)

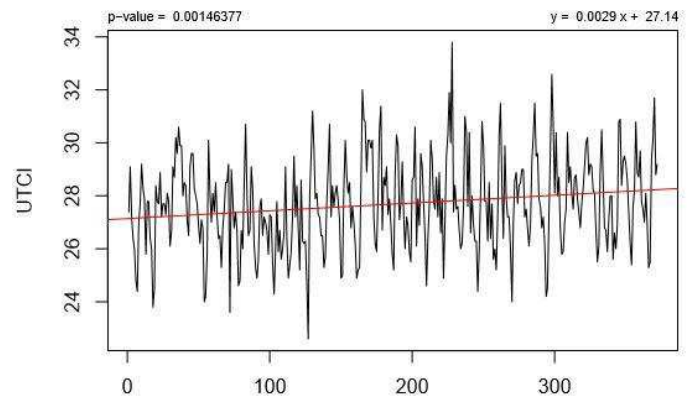
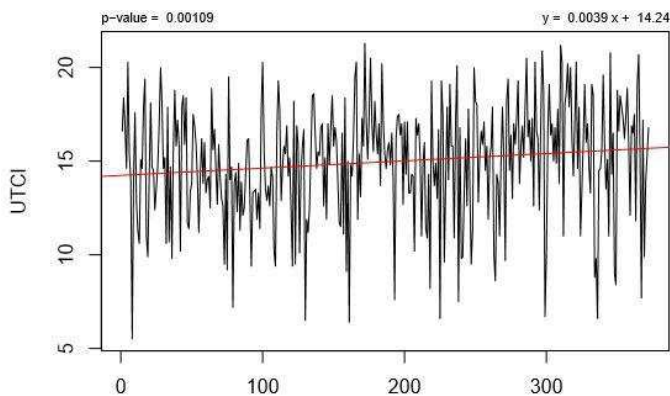


(d)



(e)

Figura 33 - Tendência temporal do UTCI às 18 UTC em Brasília durante o período de: (a) anual; (b) verão; (c) outono, (d) inverno e (e) primavera.



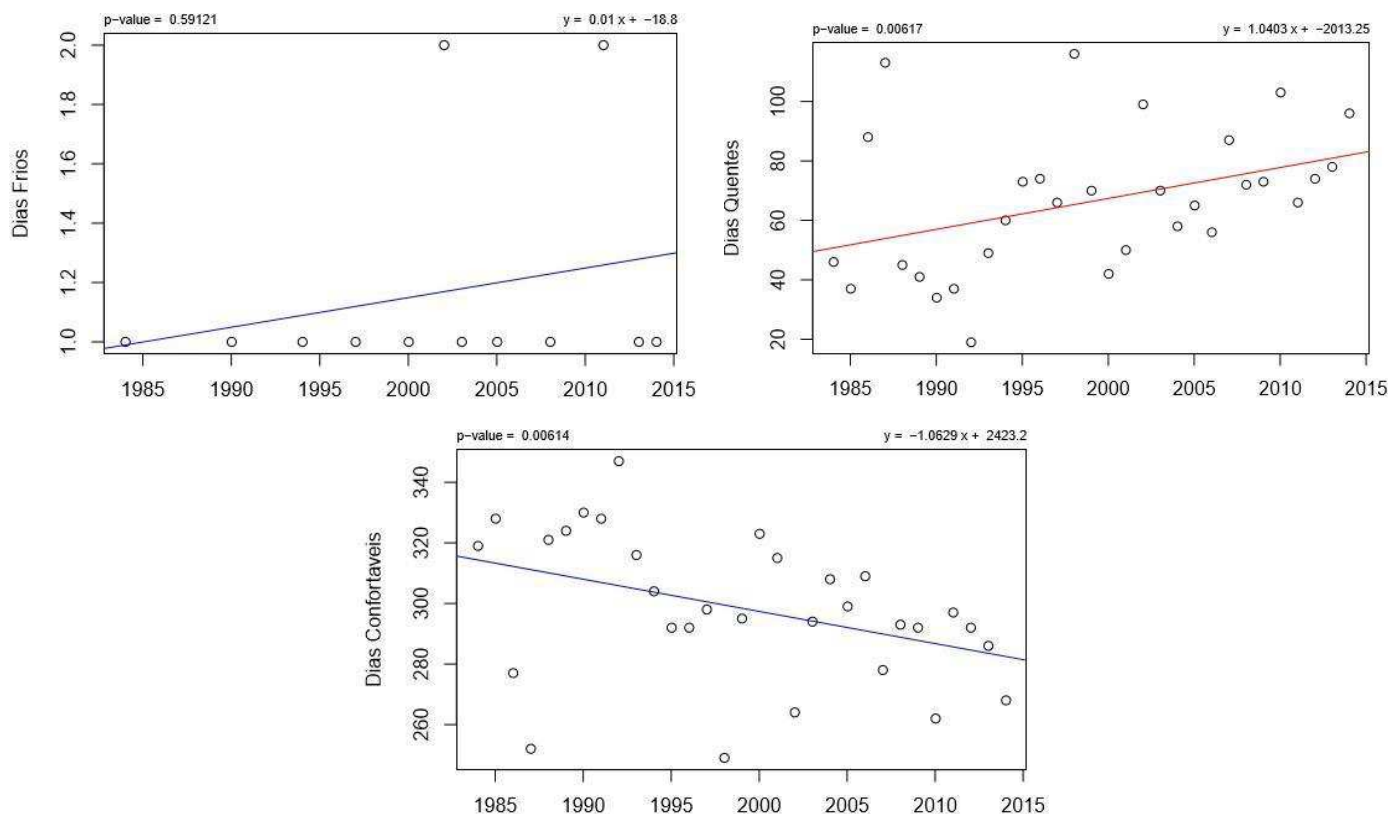


Figura 34 - Tendência temporal do UTCI às 18 UTC em Brasília: (a) mínimos, (b) máximos, (c) dias frios, (d) dias quentes e (e) dias confortáveis.

#### 4.2.4.4. Estação de referência da Região Sudeste: São Paulo – SP

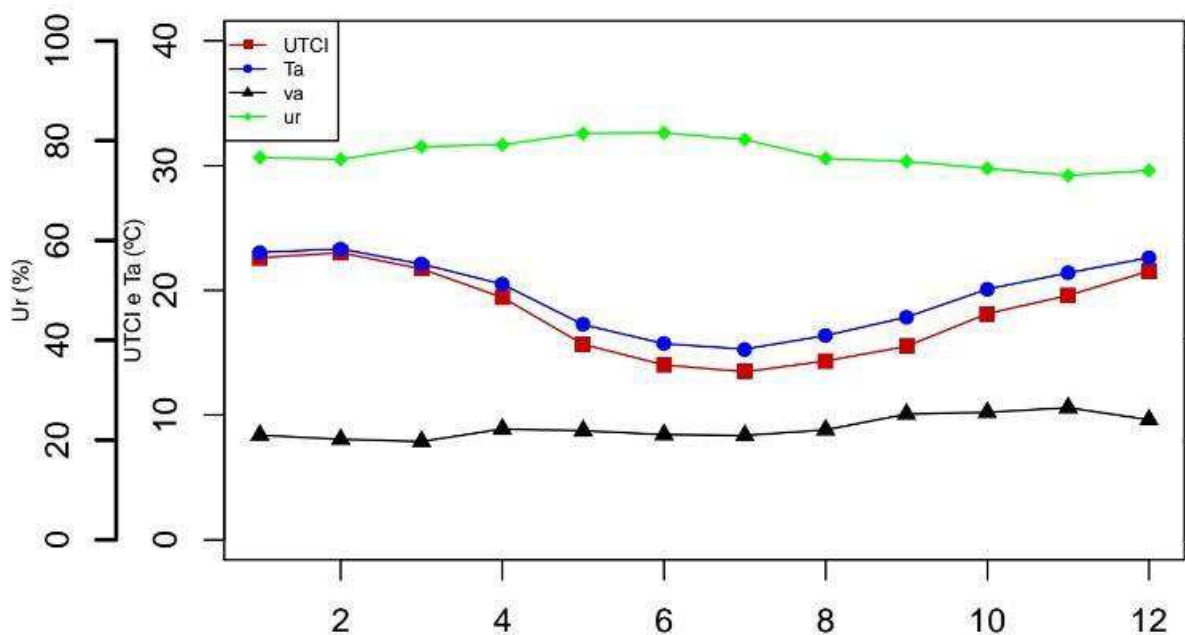
Ao analisar o UTCI médio anual em São Paulo (SP) nos horários das 12 e 18 UTC (Figura 35a e 35b, respectivamente), observou-se que em ambos os horários, o índice acompanha as variações mensais da temperatura do ar ( $T_a$ ), porém sempre menor do que  $T_a$  ao longo de todos os meses do ano.

Às 12 UTC (Figura 35a), o UTCI médio é de  $18,2^{\circ}\text{C}$  com desvio padrão é de  $5,3^{\circ}\text{C}$ , sendo que toda a série temporal é classificada como SET (sem estresse por calor), ou seja, confortável. Os valores extremos às 12 UTC foram: mínimo  $-7,0^{\circ}\text{C}$  (no dia 07/07/1985), sendo classificado como MEF (moderado estresse por frio). Nessa ocasião, a temperatura do ar foi de  $7,8^{\circ}\text{C}$ , a umidade relativa do ar de 57% e a velocidade do vento de 7 m/s. Já o máximo do UTCI às 12 UTC foi  $30,5^{\circ}\text{C}$ , sendo classificado como MEC (forte estresse por calor) e ocorreu no dia 08/12/2012, quando observou-se temperatura do ar de  $29,0^{\circ}\text{C}$ , umidade relativa do ar 56% e velocidade do vento de 1,6 m/s.

Em termos sazonais, os menores valores do UTCI às 12 UTC ocorrem no inverno (junho:  $14,0^{\circ}\text{C}$ ; julho:  $13,5^{\circ}\text{C}$  e agosto:  $14,3^{\circ}\text{C}$ ), sendo esta a estação do ano em que também

ocorreram as menores temperaturas médias do ar (variando entre 15,7°C e 16,4°C), a umidade relativa do ar média entre 82% e 76%; quanto a velocidade média do vento às 12 UTC não variaram muito durante o ano, mínimo de 2,0 m/s (fevereiro e março) e máximo de 2,6 m/s (outubro e novembro).

Por outro lado, os maiores valores médios do UTCI às 12 UTC ocorreram no verão (dezembro: 21,5°C, janeiro: 22,6°C, fevereiro: 23,0°C e início do outono, março: 21,7°C), meses nos quais ocorrem os máximos médios da temperatura do ar que variaram entre 23,3°C e 22,1°C; as médias da umidade relativa do ar variaram entre 74% e 79%. Ainda na primavera, observou-se o maior desvio entre os valores do UTCI e da temperatura do ar de 2,3 °C em setembro: UTCI é foi de 15,5°C e Tar foi de 17,9°C, a umidade relativa do ar foi de 76% e o vento médio de 2,5 m/s.





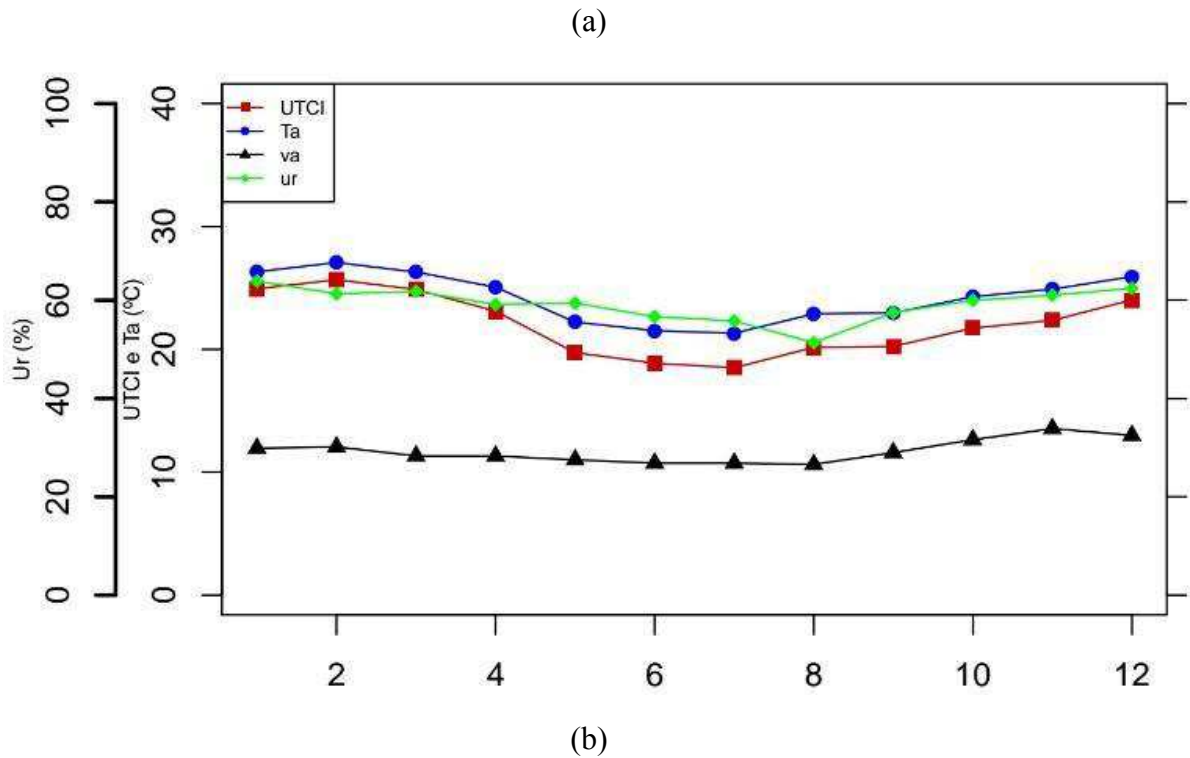


Figura 35 - Distribuição média anual do UTCI em São Paulo – SP às: (a) 12 UTC e (b) 18 UTC.

No horário das 18 UTC (Figura 35b), a média do UTCI é 22,0°C com desvio padrão de 5,5°C, recebendo portanto a classificação de SET (sem estresse térmico) em todos os meses do ano. Quanto aos extremos às 18 UTC, observou-se que o valor mínimo do UTCI foi de -1,4°C (no dia 08/06/1985) classificado como MEF (moderado estresse por frio). Nesse dia, as demais variáveis ambientais foram: Ta=11,9°C, rH=39% e 6,6 m/s. Já o máximo do UTCI às 18 UTC foi de 36,6°C (dia 19/01/1988), quando observou-se 34,0°C, 61% e Va=1,1 m/s, sendo classificado de FEC (forte estresse por calor).

Já sazonalmente, os maiores valores médios do UTCI às 18 UTC ocorrem no verão (dezembro: 24,0°C, janeiro: 24,9°C, fevereiro: 25,7°C e no início do outono, março: 24,9°C), meses do ano nas quais a temperatura do ar média variou entre 25,9°C e 27,1°C, a umidade relativa do ar média entre: 61% e 64% e o velocidade média do vento entre 2,8 m/s (março) e 3,2 m/s (dezembro).

Os menores valores médios do UTCI às 18UTC em São Paulo - SP ocorreram no final do outono (maio: 19,7°C) e no início do inverno (junho: 18,9°C, julho: 18,5°C), meses nos quais a média da temperatura do ar é mínima, variando entre 21,5°C e 22,5°C, a média umidade relativa do ar varia entre 51% e 59%. Quanto às velocidades médias do vento, similarmente àquele observado às 12 UTC, às 18 UTC não variaram muito durante o ano,

mínimo de 2,7 m/s (junho a agosto) e máximo de 3,4 m/s (novembro). Já o maior desvio entre os valores do UTCI e da temperatura do ar ocorre no inverno (2,8°C em julho) quando o UTCI é de 18,5°C, Tar é de 21,3°C, a rH é de 56% e Va é de 2,7 m/s. No início da primavera esse desvio de 2,7°C em agosto e setembro, quando UTCI é de 20,2°C (ambos os meses), Tar é de 22,9 e 23,0°C; a umidade relativa do ar é de 51 e 57% e o vento médio é de 2,7 e 2,9m/s, respectivamente para esses meses.

Ao comparar os valores médios do UTCI nos dois horários (12 e 18 UTC), verificou-se que às 18 UTC há um maior distanciamento entre o índice e a temperatura do ar, cerca de 2,2°C; enquanto que, às 12 UTC essa diferença é de apenas aproximadamente 1,4°C.

Na Tabela 4, encontram-se alguns dos parâmetros estatísticos das séries temporais das estações de referência nos horários das 12 e 18 UTC.

Tabela 4 - Parâmetros estatísticos para a estação de referência de São Paulo – SP.

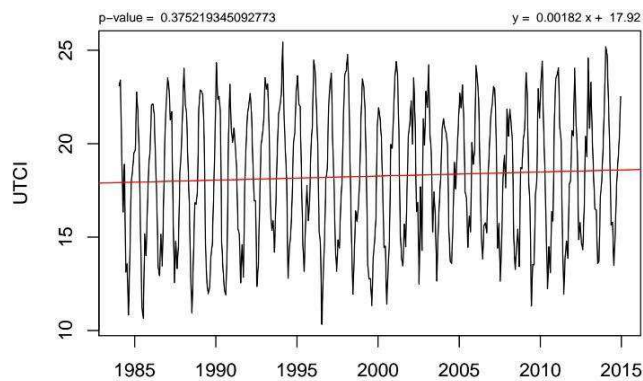
H or ár io ( U T C )	Mínim o	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância	Desvio Padrão
12	-7,0	14,8	18,8	18,2	22,3	30,5	28,8	5,3
18	-1,4	18,7	22,6	22,0	26,0	36,6	30,3	5,5

#### 4.2.4.4.1. Tendências das séries temporais em São Paulo – SP

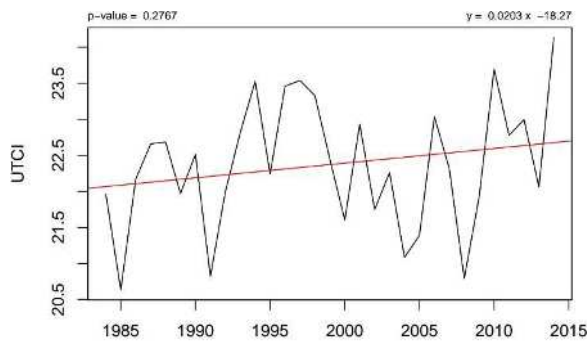
No que se refere à existência de tendências nas séries temporais do UTCI em São Paulo, observou-se que há tendência positiva na média anualmente às 12 UTC (Figura 36a): aumento de 0,7°C, mas sem significância. O mesmo comportamento foi observado sazonalmente, em todas as estações do ano (Figuras 36b, 36d e 36e), exceto no outono: tendência positiva com significância estatística ( $p \leq 0,05$ ) apenas no inverno. Quantitativamente, observou-se que o UTCI às 12 UTC o aumentou no verão foi 0,6°C (Figura 36b), 1,6°C (no inverno- Figura 36d) e 1,1°C (na primavera - Figura 36e).

Ao analisar o comportamento dos extremos mínimos/máximos da série temporal do UTCI às 12 UTC (Figuras 37a e 37b), verificou-se que há tendência positiva de 0,9°C e 1,0°C, respectivamente, sendo que apenas os extremos de máximos houve significância extrema estatística ( $p \leq 0,05$ ).

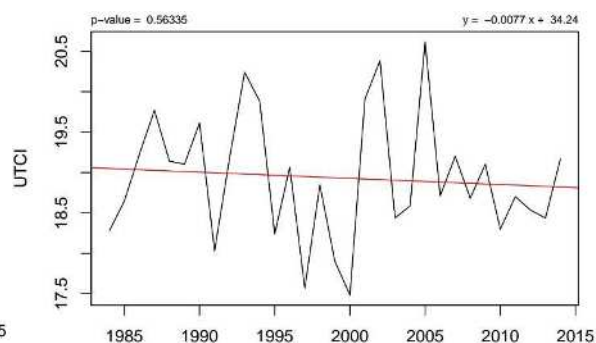
Considerando as categorias do UTCI, foi elaborada a contagem do número dias frios ( $UTCI \leq 9,0^\circ C$ ), de dias quentes ( $UTCI > 26^\circ C$ ) e de dias confortáveis ( $9^\circ C < UTCI \leq 26^\circ C$ ). A partir daí, verificou-se a existência de tendências com significância estatística ao nível de pelo menos ( $p \leq 0,1$ ) no número de dias frios e ao nível de ( $p \leq 0,01$ ) no número de dias quentes, sendo os sinais opostos: negativa de aproximadamente 9 dias e, positiva no número de dias quentes de cerca de 12 dias, conforme ilustrado nos Figuras 37c e 37d. O número de dias confortáveis também apresentem tendência de negativa aproximadamente 3,6 dias, porém sem significância estatística ao nível de pelo menos ( $p \leq 0,1$ ).



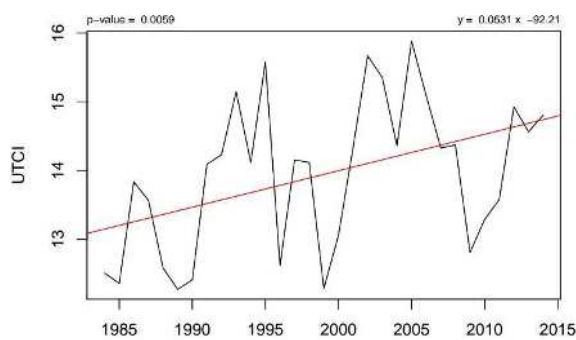
(a)



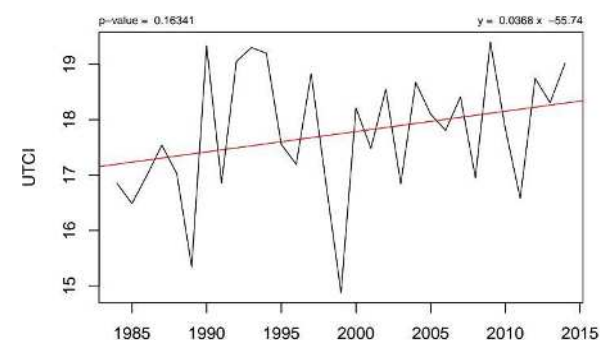
(b)



(c)

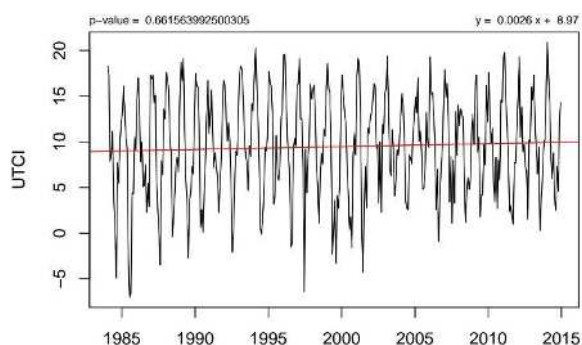


(d)

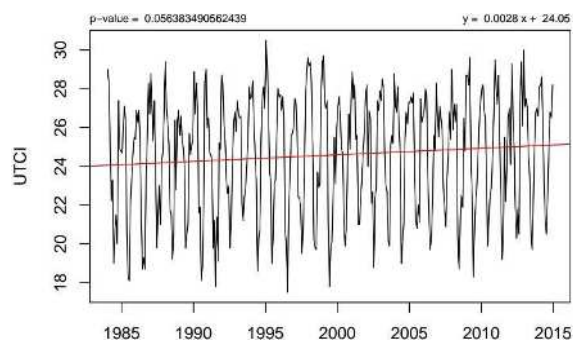


(e)

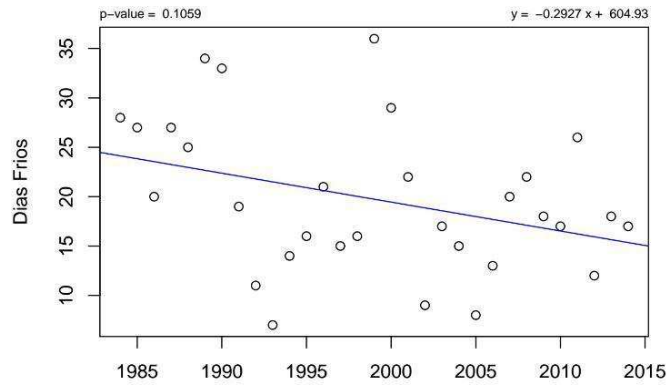
Figura 36 - Tendência temporal do UTCI às 12 UTC em São Paulo durante o período de: (a) anual; (b) verão; (c) outono, (d) inverno e (e) primavera.



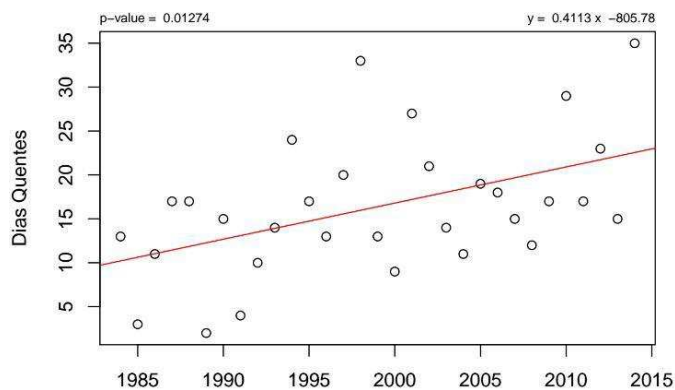
(a)



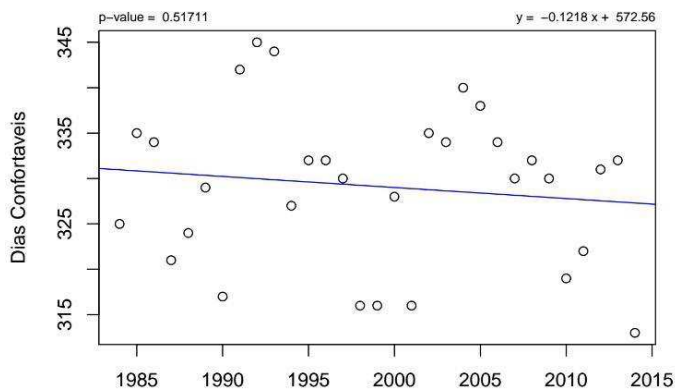
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 37 - Tendência temporal do UTCI às 12 UTC em São Paulo: (a) mínimos, (b) máximos, (c) frias frios, (d) dias quentes e (e) dias confortáveis.

Similarmente, analisou-se à existência de tendências nas séries temporais do UTCI às 18 UTC, e observou-se que a média anualmente (Figura 38a) praticamente não apresentou tendência, pois a diminuição foi muito pequena (cerca de  $0,08^{\circ}\text{C}$ ) e estatisticamente significativo ( $p \leq 0,1$ ), ao longo da série história de dados (30 anos). Em termos sazonais (Figuras 38b a 38e), verificou-se tendências negativas no verão e no outono (Figuras 38b e 38c):  $0,2^{\circ}\text{C}$  (sem significância estatística,  $p \leq 0,1$ ) e  $1,2^{\circ}\text{C}$  estatisticamente significativo,

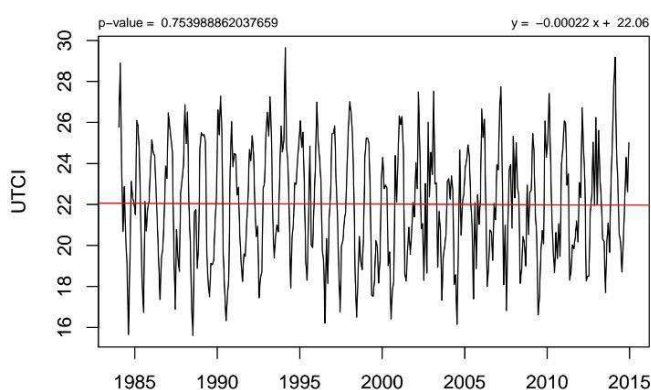
$p \leq 0,05$ ); enquanto que, no inverno e na primavera (Figuras 38d e 38e) há tendência positiva de  $1,04^\circ\text{C}$  e  $0,5^\circ\text{C}$ , respectivamente, estatisticamente significativo ( $p \leq 0,1$ ) apenas no inverno.

Em relação ao comportamento dos extremos mínimos/máximos da série temporal do UTCI às 18 UTC (Figuras 39a e 39b), verificou-se que há tendência negativa de  $0,04^\circ\text{C}$  e positiva de  $0,1^\circ\text{C}$ , respectivamente, sem significância estatística ( $p \leq 0,1$ ) em ambos os casos.

Considerando as categorias do UTCI, às 18 UTC (Figuras 39c e 39d) há tendência positiva / negativa no números dias confortáveis (cerca de 12 dias) e de dias quentes (cerca de 9 dias), respectivamente, no entanto em ambos os casos, não houve significância estatística ( $p \leq 0,1$ ). Por outro lado, não houve contagem de dias frios ( $\text{UTCI} \leq 9,0^\circ\text{C}$ ) às 18 UTC.

Portanto, notou-se que em São Paulo - SP, as manhãs tem se tornado mais quente (cerca de 12 dias) e desconfortáveis (aproximadamente 4 dias), visto que verificou-se tendências positivas no UTCI médio anual ( $0,07^\circ\text{C}$ ), nos máximos ( $1,0^\circ\text{C}$ ), sazonalmente isso também foi observado no inverno ( $1,6^\circ\text{C}$ ) e na primavera ( $1,1^\circ\text{C}$ ), enquanto que há tendência negativa no número de dias frios (cerca de 8 dias). Além disso, observou-se ainda que, às 18 UTC quantitativamente o inverno tem se tornado mais quente:  $1,04^\circ\text{C}$  e os máximos do UTCI aumentaram  $0,1^\circ\text{C}$  ao longo da série temporal (30 anos).

Tais resultados convergem como os obtidos por Marengo (2007), onde o autor observou tendência de diminuição do número de dias frios, aumento do número de noites quentes e diminuição no número de noites frias.



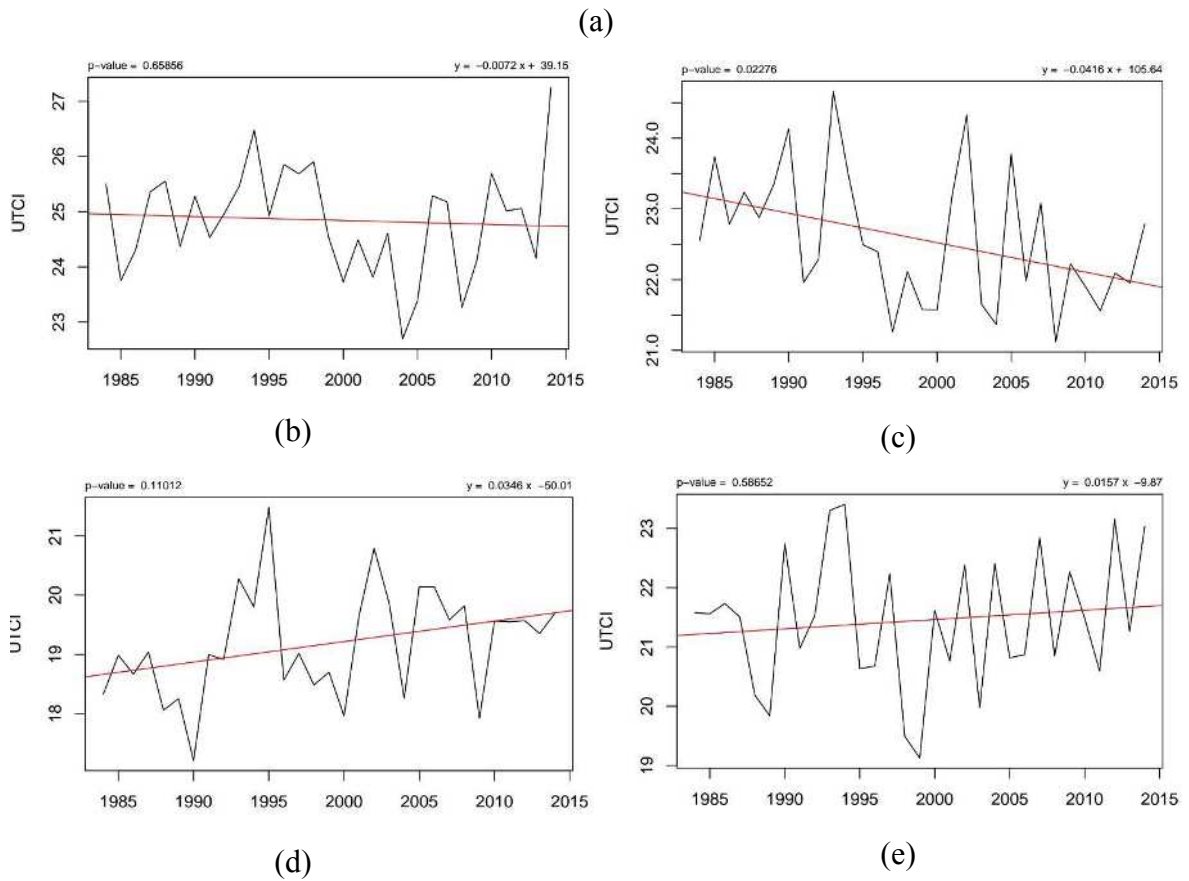
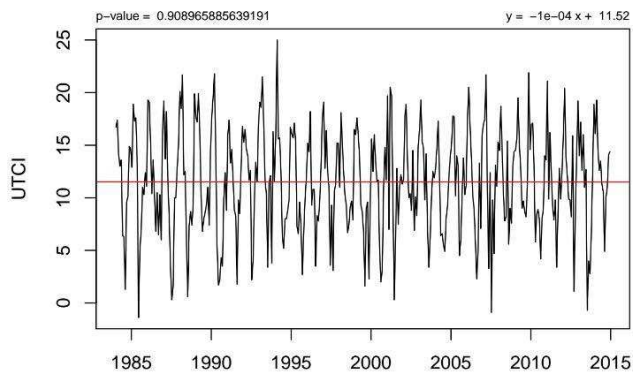
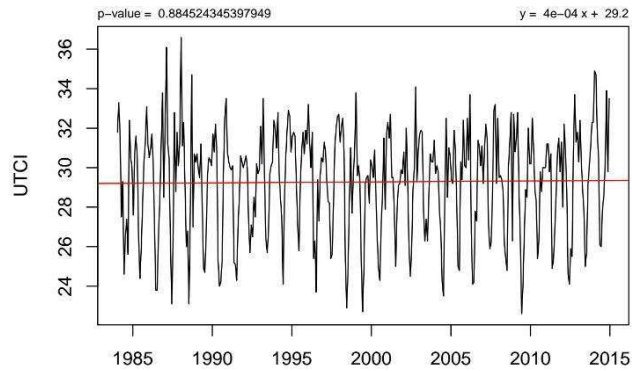


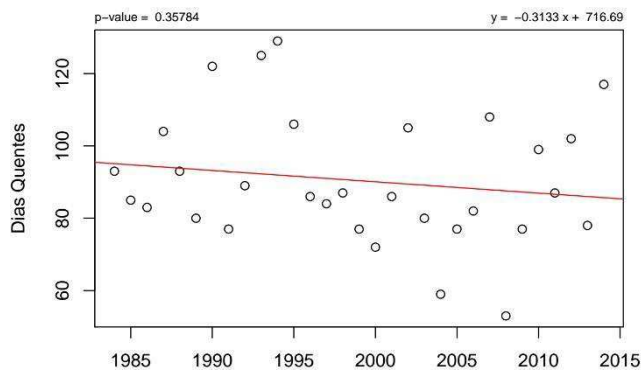
Figura 38 - Tendência temporal do UTCI às 18 UTC em São Paulo durante o período de: (a) anual; (b) verão; (c) outono, (d) inverno e (e) primavera.



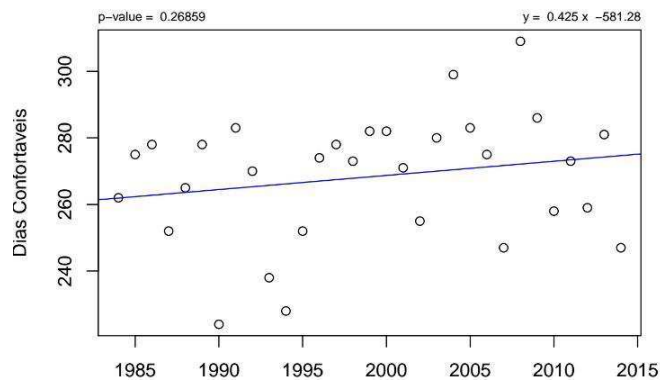
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 39 - Tendência temporal do UTCI às 18 UTC em São Paulo: (a) mínimos, (b) máximos, (c) dias quentes e (d) dias confortáveis.

#### 4.2.4.5. Estação de referência da Região Sul: Porto Alegre – RS

As Figuras 40a e 40b, ilustram o UTCI médio anual em Porto Alegre - RS nos horários das 12 e 18 UTC, observou-se que em ambos os horários, o índice acompanha as variações mensais da temperatura do ar ( $T_a$ ), mas apresentou-se menor do que  $T_a$  em praticamente todos os meses do ano. As exceções ocorreram às 12 UTC nos meses de janeiro (quando UTCI é igual a  $T_a$ ), em fevereiro e março quando UTCI é  $0,3^\circ\text{C}$  maior do que  $T_a$ .



Às 12 UTC (Figuras 40a), o UTCI médio é de 18,4°C com desvio padrão é de 6,9°C, sendo que toda a série temporal está na faixa de conforto térmico (SET, sem estresse térmico). Enquanto que os valores extremos no horário foram: mínimo -19,3°C (no dia 31/07/1993), sendo classificado como FEF (forte estresse por frio). Nessa ocasião, a temperatura do ar foi de 14,4°C, a umidade relativa do ar de 80% e a velocidade do vento de 8,1 m/s. Já os máximos do UTCI às 12 UTC foram 34,3°C e 34,1°C, sendo classificados de FEC (forte estresse por calor) e ocorreram em dois dias distintos: no dia 14/11/1990, quando a Ta foi de 32,8°C, rH foi de 56% e va foi de 1,2 m/s; e no dia 07/02/2010, Ta foi apenas 31,2°C, rH foi de 75% e Va foi de 1,8 m/s. Em termos sazonais, os menores/maiores valores do UTCI tanto às 12 UTC como às 18 UTC ocorreram no inverno/verão.

Às 12 UTC, os menores valores do UTCI médio são: 12,2°C (junho); 11,1°C (julho); e 12,8°C (agosto), recebendo a classificação de SET. Similarmente, os menores valores de Ta também ocorrem no inverno (13,0°C, 12,3°C e 14,1°C), sendo que o vento médio é inferior a 1,9 m/s no trimestre (entre 1,6m/s, e 1,8m/s) e a umidade relativa do ar média é superior a 80% (variando de 90% a 84%). Enquanto que, os maiores valores são: 23,5°C (dezembro), 25,1°C (janeiro) e 24,9°C (fevereiro), meses nos quais a umidade relativa do ar varia entre 71% (dezembro) e 73% (fevereiro) e a temperatura do ar varia entre 24,1°C e 25,1°C, sendo que as velocidades médias do vento não variam muito ao longo do ano, e no verão são superiores a 1,9 m/s (2,2 m/s, 2,1 m/s e 2,0 m/s).

Às 18 UTC (Figuras 40b), os menores valores médios do UTCI são: junho (16,6°C), julho (15,6°C) e agosto (17,4°C), meses nos quais a média da temperatura do ar é mínima (18,8°C, 18,2°C e 20,0°C), a umidade relativa do ar varia entre 63% e 68%. Quanto às velocidades médias do vento, similarmente ao observado às 12 UTC, às 18 UTC não variaram muito durante o ano, e no inverno variam de 2,4 m/s (junho), 2,5 m/s (julho) e 2,6 m/s (agosto). Por outro lado, os maiores valores do UTCI médio são: 26,9°C (dezembro), 28,5°C (janeiro e fevereiro) e 27,2°C (março - início do outono) – sendo classificado de MEC; meses do ano nos quais a temperatura do ar está entre 28,0°C e 29,3°C, a umidade relativa do ar varia entre 58% e 61% e; a velocidade média do vento é de: 3,2 m/s (dezembro), 3,0 m/s (janeiro), fevereiro (2,9 m/s) e 2,6 m/s (março).

Ainda no horário das 18 UTC, o UTCI médio é 22,2°C com desvio padrão de 7,6°C, recebendo a classificação de SET (sem estresse térmico) em praticamente todas as estações do ano, exceto no verão e início do outono (março), quando é classificado como MEC (moderado estresse por calor). Quanto aos extremos às 18 UTC, observou-se que o valor mínimo do

UTCI foi de  $-14,4^{\circ}\text{C}$  (no dia 16/07/1992) classificado como MEF (moderado estresse por frio). Nesse dia, as demais variáveis ambientais foram:  $14,2^{\circ}\text{C}$ , 56% e 10,6 m/s. Já o máximo do UTCI às 18 UTC foi de  $41,2^{\circ}\text{C}$  (dia 15/11/1990), quando observou-se  $T_a=38,6^{\circ}\text{C}$ ,  $rH=49\%$  e  $v_a=0,3$  m/s, sendo classificado de MFEC (muito forte estresse por calor).

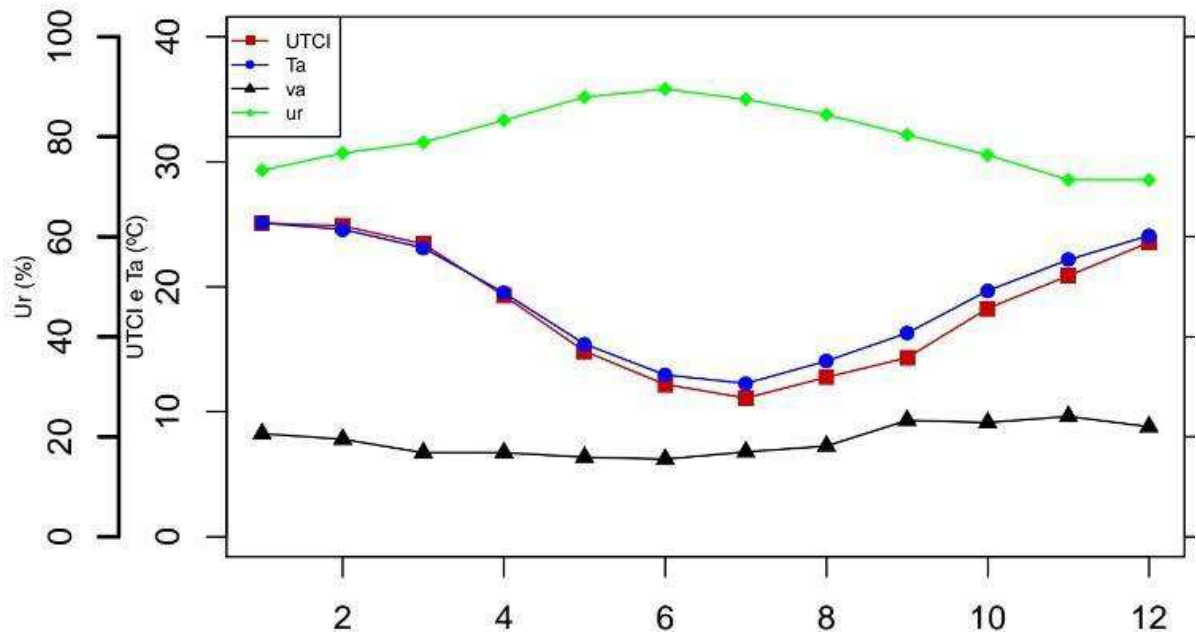
Ao comparar os valores médios do UTCI nos dois horários (12 e 18 UTC), verificou-se também em ambos os horários, o maior desvio em módulo entre o índice e a temperatura do ar, cerca de  $2,0^{\circ}\text{C}$  e  $3,2^{\circ}\text{C}$ , respectivamente, ocorre no início da primavera (setembro).

Os resultados obtidos nesse estudo, especialmente no verão às 18 UTC (UTCI médio classificado como MEC,  $26^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} \leq 32^{\circ}\text{C}$ ) vão de encontro aos obtidos por Gobo e Galvani (2014). Esses autores, considerando apenas o mês de janeiro dos anos de 2002, 2004 e 2007, para definir o verão e através o índice de Temperatura Efetiva com Vento TEv ( $^{\circ}\text{C}$ ); (SUPING et. al., 1992), encontraram que mais de 60% do Rio Grande do Sul está classificado entre “frio moderado ( $16-19^{\circ}\text{C}$ ) e “leve frio” ( $19-22^{\circ}\text{C}$ )

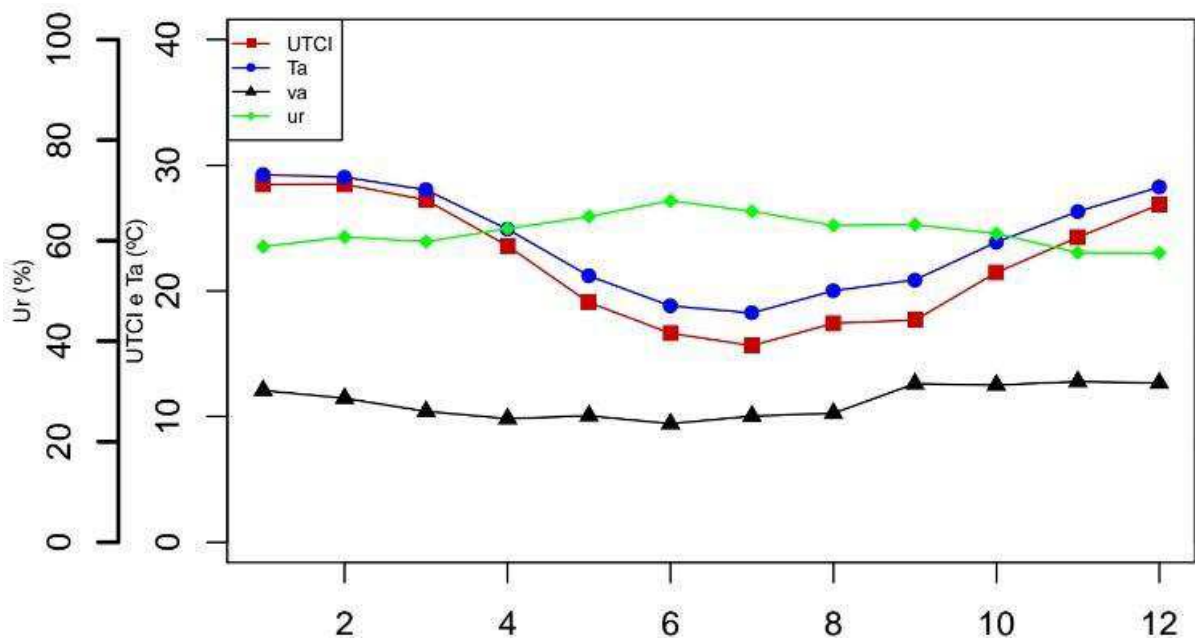
Na Tabela 5, encontram-se alguns dos parâmetros estatísticos das séries temporais das estações de referência nos horários das 12 e 18 UTC.

Tabela 5 - Parâmetros estatísticos para a estação de referência em Porto Alegre – RS.

H or ár io ( U T C )	Mínim o	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Variância	Desvio Padrão
12	-19,3	13,9	19,1	18,4	23,6	34,3	47,5	6,9
18	-14,4	17,5	22,8	22,2	27,7	41,2	57,4	7,6



(a)



(b)

Figura 40 - Distribuição média anual do UTCl em Porto Alegre - RS às: (a) 12 UTC e (b) 18 UTC.

#### 4.2.4.5.1. Tendências das séries temporais em Porto Alegre – RS

No que se refere à existência de tendências nas séries temporais do UTCl, observou-se que há tendência positiva estatisticamente significante ( $p \leq 0,1$ ) de  $1,8^\circ\text{C}$  na média anual às 12

UTC (Figura 41a), durante o período (30 anos). Em termos sazonais, este mesmo padrão se repetiu em todas as estações do ano (Figuras 41b a 41e): tendência positiva estatisticamente significativa ( $p \leq 0,1$ ), exceto no outono e inverno. Quantitativamente, observou-se que o UTCI às 12 UTC o aumentou no verão foi  $1,9^{\circ}\text{C}$  (Figura 41b),  $1,07^{\circ}\text{C}$  (no outono- Figura 41c),  $1,8^{\circ}\text{C}$  (no inverno- Figura 41d) e  $3,04^{\circ}\text{C}$  (na primavera - Figura 41e).

Ao analisar o comportamento dos extremos mínimos/máximos da série temporal do UTCI às 12 UTC (Figuras 42a e 42b), verificou-se que também há tendência positiva de  $3,7^{\circ}\text{C}$  e  $0,7^{\circ}\text{C}$ , respectivamente, no entanto, apenas os extremos de mínimo apresentaram significância estatística ( $p \leq 0,05$ ).

Considerando as categorias do UTCI, foi elaborada a contagem do número dias frios ( $\text{UTCI} \leq 9,0^{\circ}\text{C}$ ), de dias quentes ( $\text{UTCI} > 26^{\circ}\text{C}$ ) e de dias confortáveis ( $9^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} \leq 26^{\circ}\text{C}$ ). Para Porto Alegre (RS), Figuras 42c a 42e, verificou-se a existência de tendência negativa no número de dias frios (aproximadamente 24 dias), tendência positiva no número de dias quentes (cerca de 9) e no número de dias confortáveis (cerca de 15), sendo que, apenas o número de dias quentes não foi estatisticamente significativo ( $p \leq 0,1$ ). A tendência positiva no número de dias confortáveis ocorre em consequência da diminuição no números de dias frios, ou seja, Porto Alegre – RS não está se tornando mais confortável, mas sim menos fria.

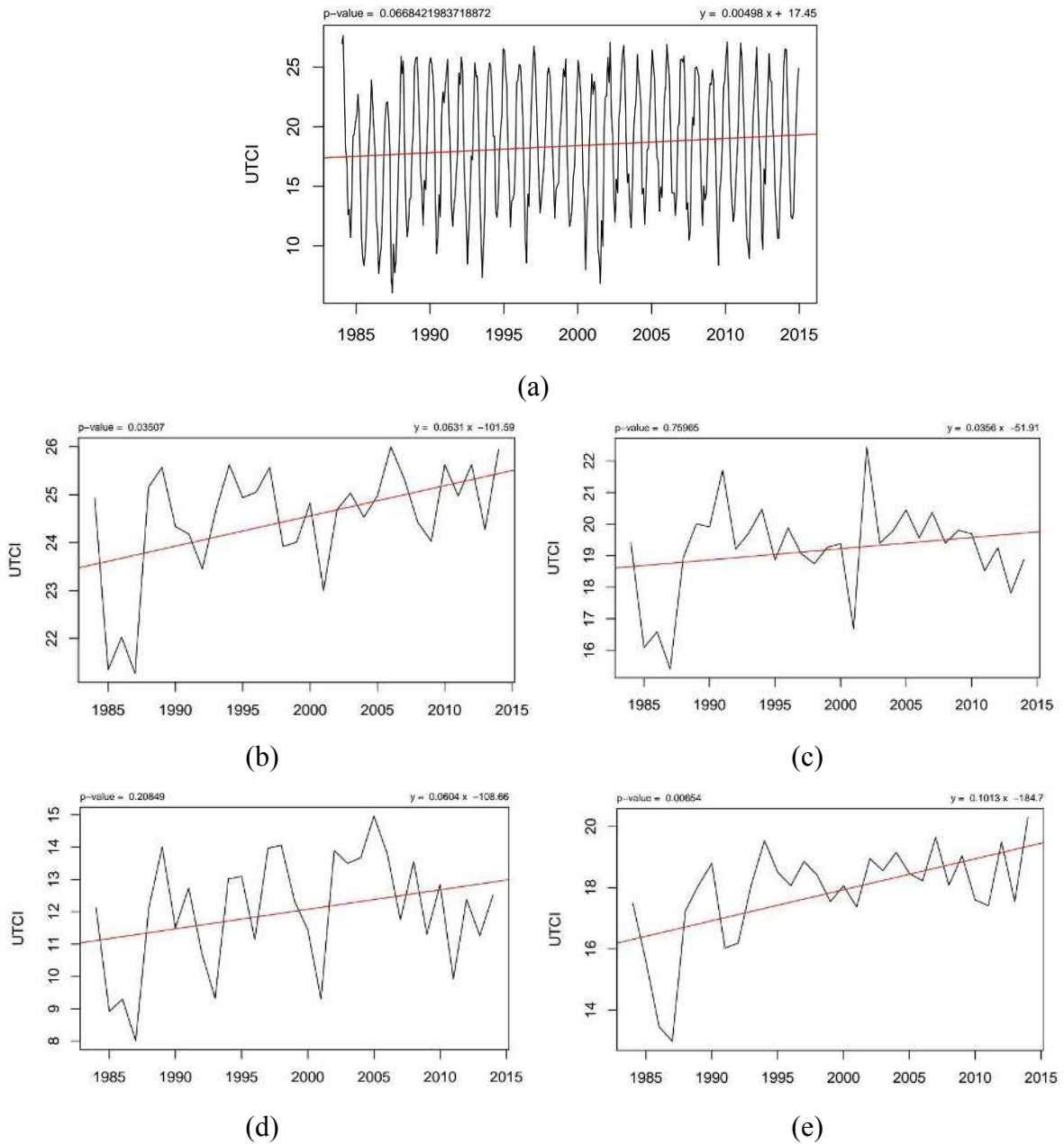
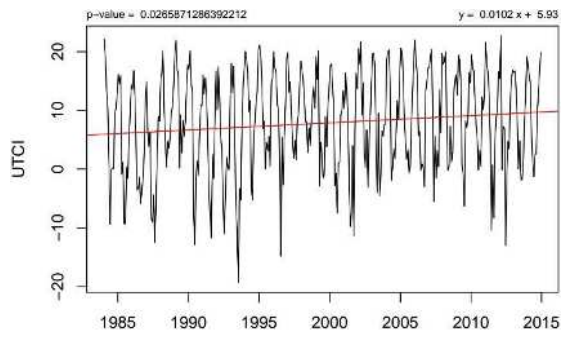
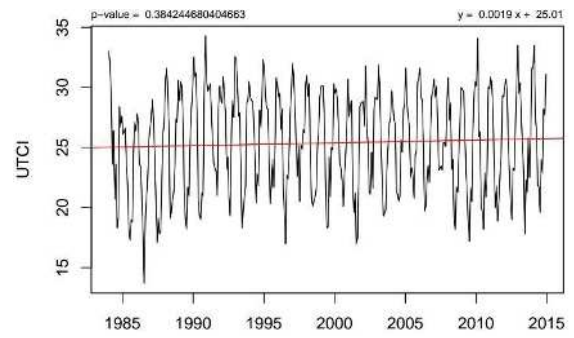


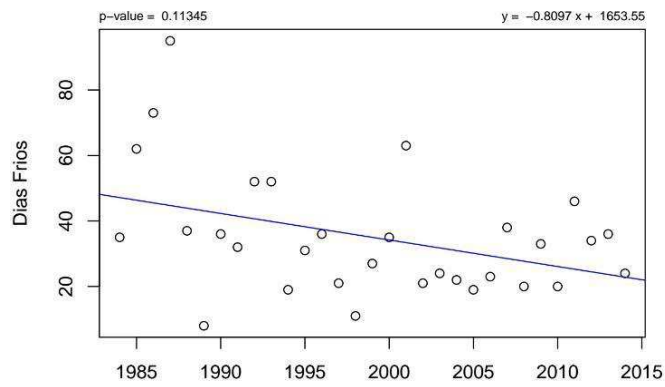
Figura 41 - Tendência temporal do UTCI às 12 UTC em Porto Alegre durante o período de: (a) anual; (b) verão; (c) outono, (d) inverno e (e) primavera.



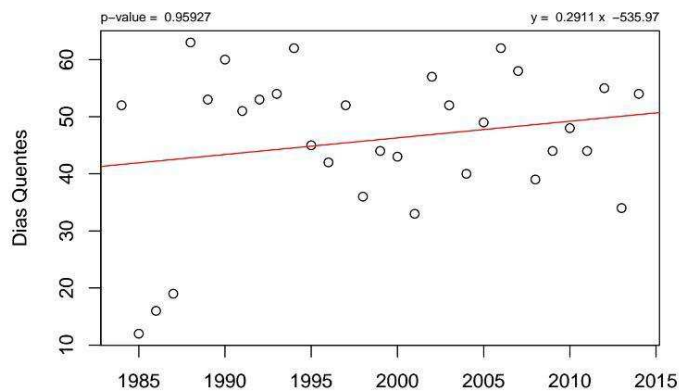
(a)



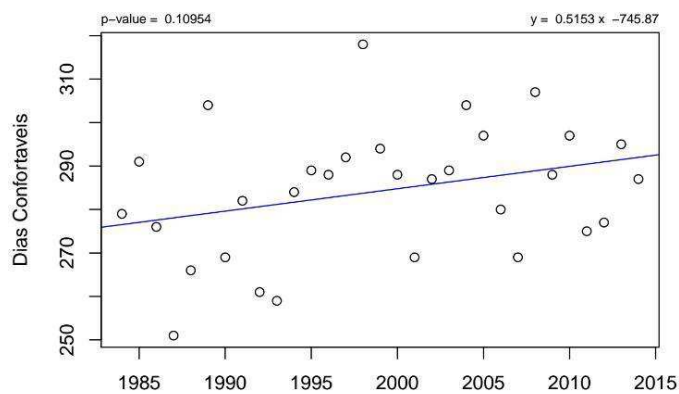
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 42 - Tendência temporal do UTCI às 12 UTC em Porto Alegre: (a) mínimos, (b) máximos, (c) dias de frios, (d) dias quentes e (e) dias confortáveis.

Similarmente, analisou-se à existência de tendências nas séries temporais do UTCI às 18 UTC, e também observou-se que na média anual (Figura 43a) há um aumento de 2,8°C, sendo estatisticamente significativo ( $p \leq 0,05$ ). Padrão que se repetiu em termos sazonais em todas as estações do ano (Figuras 43b a 43e): tendência positiva estatisticamente significativa ( $p \leq 0,05$ ), exceto no outono: aumentou em 3,2°C (no verão- Figura 43b), 2,1°C (no outono- figura 43c), 2,6°C (no inverno- Figura 43d) e 4,0°C (na primavera- Figura 43e).

Os extremos mínimos/máximos da série temporal do UTCI às 18 UTC (Figuras 44a e 44b), também apresentaram tendência positiva de 4,03°C e 3,0°C, respectivamente, sendo estatisticamente significativo ( $p \leq 0,05$ ) em ambos os casos.

Considerando as categorias do UTCI, às 18 UTC de toda a série temporal (30 anos), Figuras 44c a 44e, notou-se a existência de tendências negativas no número de dias frios (cerca de 16 dias) e tendência positivas no número de dias confortáveis (aproximadamente 36 dias) e número de dias quentes (por volta de 51 dias), sendo que em todas essas categorias foram estatisticamente significativa ao nível de pelo menos 90% ( $p \leq 0,1$ ). Analogamente ao encontrado às 12 UTC, Porto Alegre – RS não está se tornando mais confortável, mas sim menos fria.

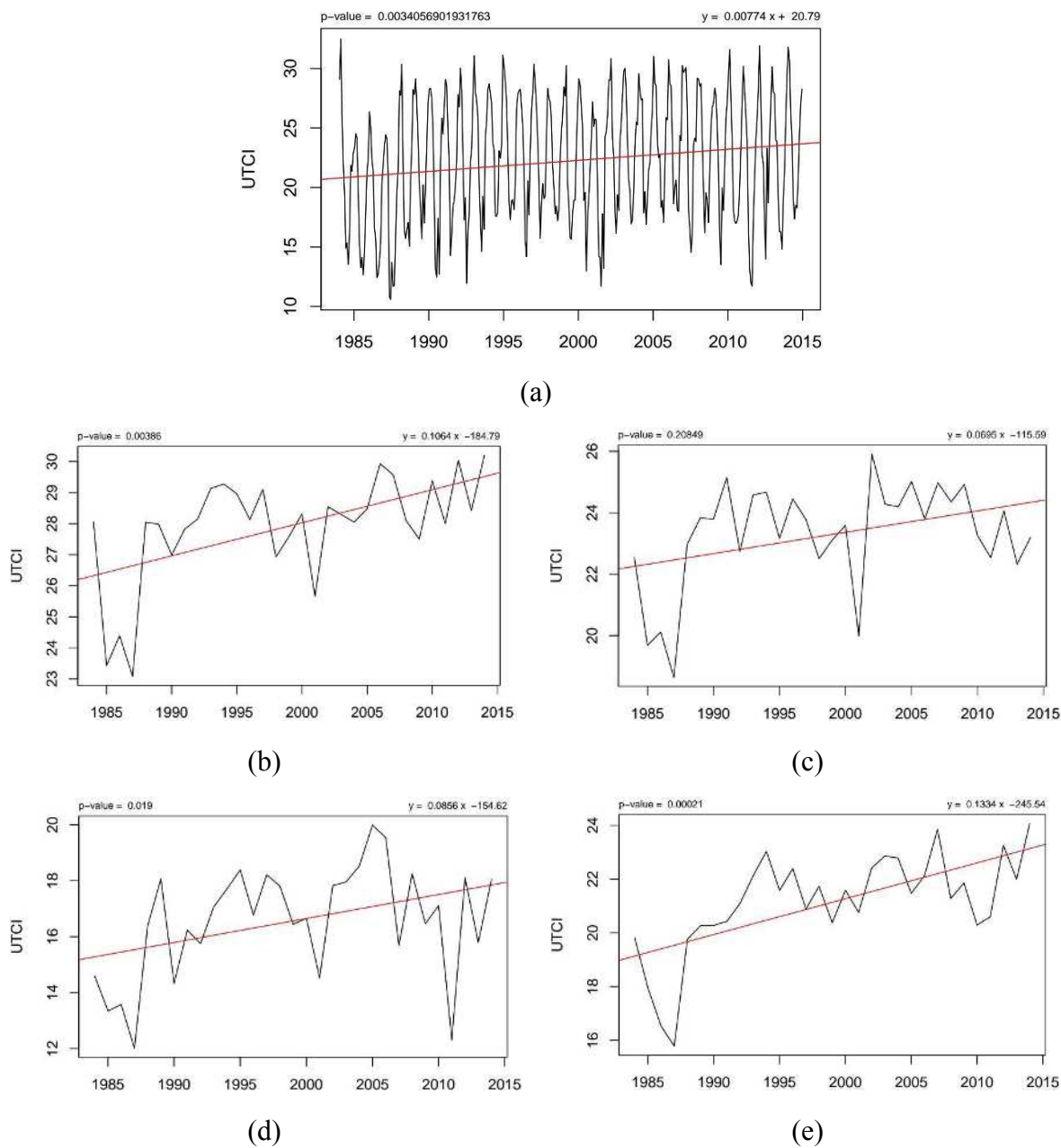
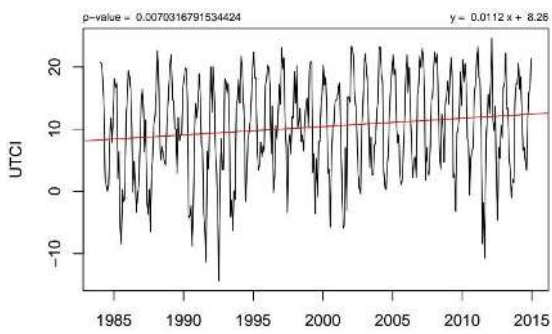
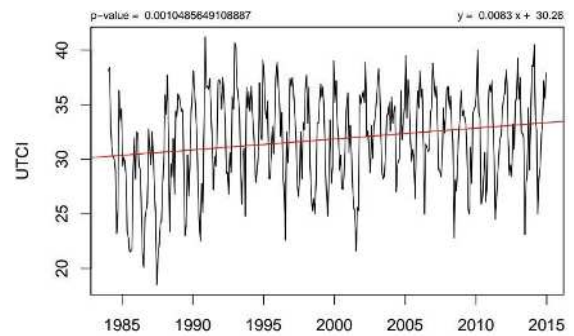


Figura 43 - Tendência temporal do UTCI às 18 UTC em Porto Alegre durante o período de: (a) anual; (b) verão; (c) outono, (d) inverno e (e) primavera.

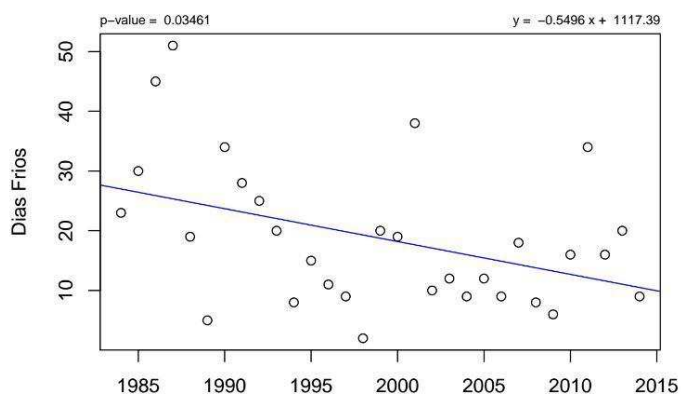




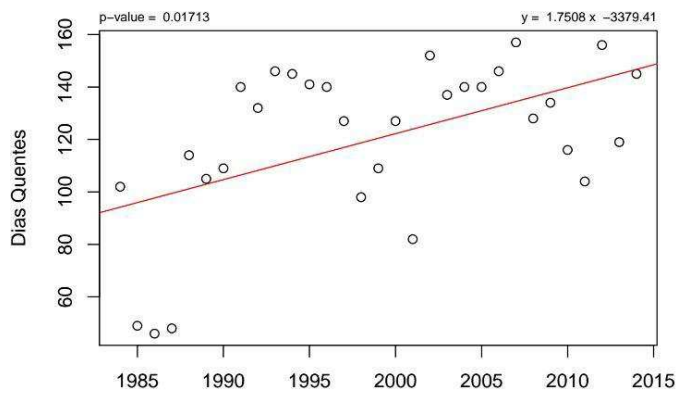
(a)



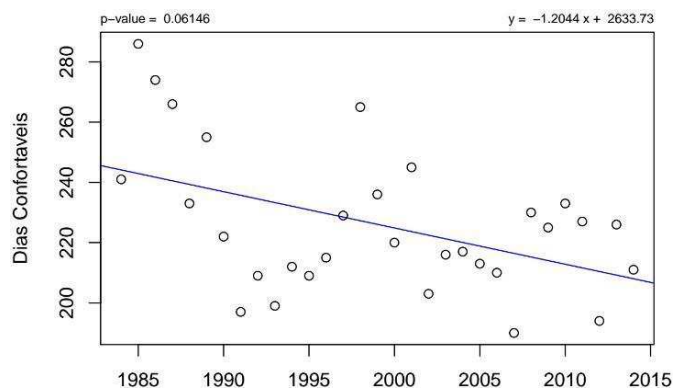
(b)



(c)



(c)



(d)

Figura 44 - Tendência temporal do UTCI às 18 UTC em Porto Alegre: (a) mínimos, (b) máximos, (c) dias quentes e (d) dias confortáveis.

### 4.3 Avaliação da resposta do UTCI em episódios de frio/calor

O impacto das mudanças climáticas na saúde, especialmente nos grupos vulneráveis, como, por exemplo, os idosos e as crianças tem sido cada vez mais preocupante. YU et al. (2012), realizaram uma pesquisa detalhada na literatura e identificaram, aumentos de 2-5% e de 1-2% na mortalidade para um incremento/diminuição de 1°C durante intervalos de temperatura quente/fria.

Conforme Guo et al. (2014), as pessoas tem a capacidade de se adaptar aos climas locais, no entanto, tanto as temperaturas frias quanto as quentes estão associadas ao aumento de risco de mortalidade. Esses autores realizaram uma pesquisa utilizando dados diários de mortalidade não acidental e condições climáticas (temperatura mínima e máxima, e umidade relativa do ar) em 306 comunidades de 12 países, incluindo o Brasil (18 cidades durante 1997-2011). Os resultados (GUO, e al. 2014) mostraram que, tanto as temperaturas frias quanto as quentes aumentaram o risco de mortalidade em diferentes países e zonas climáticas e, que os efeitos do frio foram atrasados e duraram muitos dias, enquanto os efeitos de calor apareceram rapidamente e não duraram muito.

Dessa forma, o monitoramento do índice de conforto térmico humano torna-se uma ferramenta importante no que tange não somente a previsão de tempo, mas as estratégias de saúde pública, especialmente no contexto das mudanças climáticas.

Nesse sentido e a fim de se verificar a resposta do UTCI no Brasil, buscou-se notícias na mídia e pesquisa científicas recentes que, ressaltassem a ocorrência de eventos extremos de frio/calor. Dessa forma, foram selecionados dois episódios distintos: onda de calor em fevereiro de 2014 e onda de frio em julho de 2013.

#### 4.3.1. Onda de calor em fevereiro de 2014

Em fevereiro de 2014, o calor foi destaque na mídia nacional. As elevadas temperaturas registradas em fevereiro de 2014, foram perceptíveis para uma ampla faixa da população, impactando negativamente em setores essenciais, como, por exemplo, saúde pública, infraestruturas de fornecimento de energia elétrica, água, agricultura, etc.

Especificamente na cidade de São Paulo, a secretaria de saúde da prefeitura municipal (Boletim CEInfo Análise, 2014), investigou os impactos das condições climáticas no período de dezembro de 2013 a fevereiro de 2014, como foco para a primeira quinzena de fevereiro, na elevação no número de óbitos na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

De acordo como o Boletim supracitado, no período de dezembro de 2013 a fevereiro de 2014, na RMSP foram registradas temperaturas elevadas (acima de 30°C), sendo que no final de janeiro até meados de fevereiro a umidade relativa do ar ficou abaixo de 30%. Entre os dias 02 e 15 de fevereiro, essas considerações ambientais se acentuaram e os dados do Programa de Aprimoramento das Informações de Mortalidade (PRO-AIM) mostraram que no mês de fevereiro de 2014 ocorreu a maior taxa de mortalidade da série (2001 a 2014): 49,64/100.000 habitantes. Nos três meses, houveram 17.414 óbitos, 1561 a mais do que registrado em 2012 e 2011. E nos primeiros quinze dias de fevereiro, o aumento foi de 743 mortes, em relação ao mesmo período os anos anteriores. Em termos diários, foram registrados mais de 200 óbitos/dia, destacando os dias 07 e 09, quando o número foi de 260/dia. Segundo o estudo, o que causou tantas mortes na RMSP foi uma onda de calor, com características semelhantes as que ocorrem em outros países, mas que ainda não havia sido reportada na cidade de São Paulo.

Com base nessa pesquisa, foi calculado o UTCI no horário das 18 UTC para o dia 09/02/2014 (15 horas, horário local, quando normalmente ocorre a temperatura máxima do dia) para todo o Brasil, conforme Figura 45. Observa-se que, em praticamente todo o país, havia desconforto térmico, sendo que a classificação do UTCI é de moderado estresse por calor (MEC). Na cidade de São Paulo – SP, o desconforto térmico foi ainda maior, com a classificação de FEC (forte estresse por calor), indicando assim, uma total coerência com a percepção da população e, consequentemente com os fatos repercutidos na imprensa.

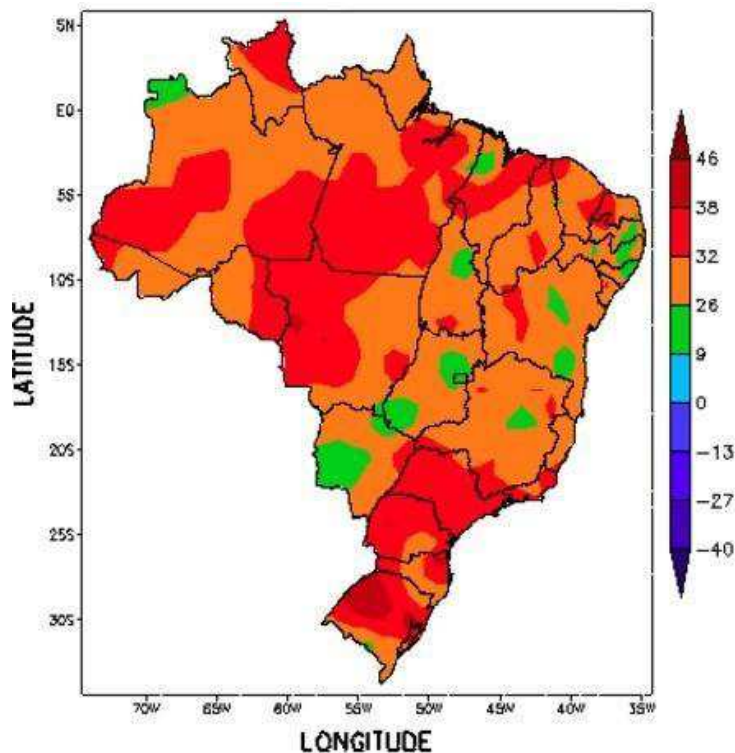


Figura 45 - UTCI observado às 18 UTC no dia 09 de fevereiro de 2014.

Adicionalmente a distribuição espacial do UTCI no dia 09 de fevereiro de 2014, elaborou-se a distribuição do índice durante todo o mês de fevereiro de 2014 pontualmente para a cidade de São Paulo-SP, Figura 46. Observou-se que, em praticamente toda a primeira quinzena do mês de fevereiro de 2014, o UTCI foi superior a  $26,0^{\circ}\text{C}$ , permanecendo na classificação de MEC ( $26,0^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} \leq 32,0^{\circ}\text{C}$ ). Adicionalmente, verificou-se que, nos primeiros nove dias (exceto o dia 06), o nível de desconforto térmico foi ainda maior, quando o UTCI ficou acima de  $32,0^{\circ}\text{C}$ , passando para a classificação de forte estresse por calor (FEC,  $32,0^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} \leq 38,0^{\circ}\text{C}$ ), ressaltando que a escala de classificação só tem mais dois níveis: FMEC ( $38,0^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} \leq 46,0^{\circ}\text{C}$ ) e ECC ( $\text{UTCI} > 46,0^{\circ}\text{C}$ ).

Além dos elevados valores do UTCI, verificou-se que a temperatura do ar foi superior a  $33,0^{\circ}\text{C}$  (pelo menos  $5^{\circ}\text{C}$  acima de normal climatológica 1991-1990 – INMET, 2009), a umidade relativa do ar ficou abaixo de 30% no período da tarde (com pico inferior de 24% no dia 01, sendo que a média climatológica é de 74% - INMET, 2009) e o vento manteve-se inferior a 3,0 m/s (condizendo como a climatologia do mês – INMET, 2009). Complementarmente, analisou-se os valores do UTCI em janeiro do 2014, sendo observado que desde o dia 20/01/2014 o índice ficou acima de  $26,0^{\circ}\text{C}$ , fora da faixa de conforto térmico ( $9,0^{\circ}\text{C} \leq \text{UTCI} < 26,0^{\circ}\text{C}$ ), e recebendo a classificação de MEC.

Como isso, verificou-se um total de vinte e seis dias consecutivos (20/01/2014 a 14/02/2014), nos quais o UTCI permaneceu fora da faixa de conforto térmico (ficando na categoria de moderado estresse por calor, MEC) e durante quase nove dias consecutivos (01 a 05, e 07 a 09/02/2014) manteve-se na categoria de forte estresse por calor, FEC ( $32,0^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} \leq 38,0^{\circ}\text{C}$ ). Tais categorias de desconforto térmico (graus de estresse por calor), segundo o UTCI geram implicações fisiológicas, como, por exemplo, ocorrência de sudorese e mudanças instantâneas na temperatura da pele. (Quadro 1, BLAZEJCZYK et al., 2013).

Logo, os resultados supracitados do UTCI são compatíveis aos obtidos no Boletim CEInfo Análise (2014). Podendo-se assim, verificar que a condição de desconforto térmico do UTCI (níveis de estresse térmico por calor) reflete a condição real experimentado pela população, sugerindo até mesmo, danos à saúde e a ocorrência de óbitos na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

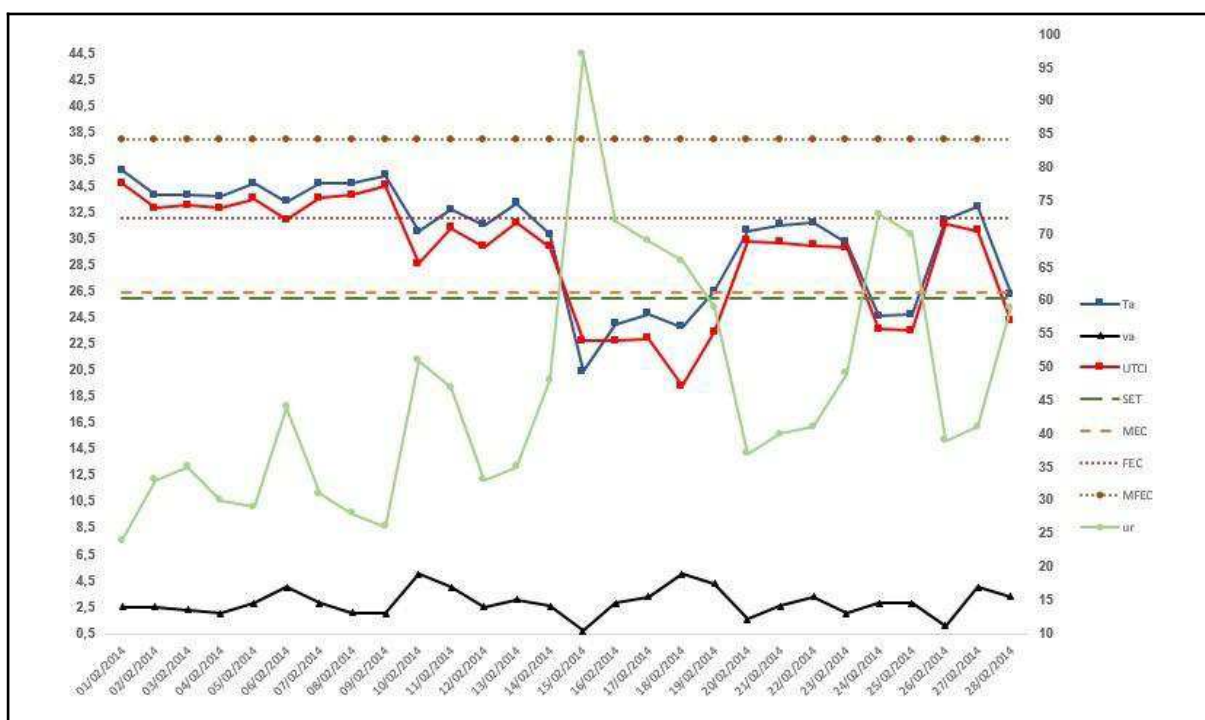


Figura 46 - UTCI às 18 UTC na cidade de São Paulo – SP em fevereiro de 2014.

#### 4.3.2. Onda de frio em julho de 2013

Em julho de 2013, o frio foi destaque na imprensa nacional. De acordo como o Boletim Agoclimatológico mensal de julho do INMET (INMET, 2013), no período de 22 a 26 de julho de 2013, uma onda de frio atuou sobre a Região Sul do Brasil. Devido à atuação

desse sistema, houve inclusive queda de neve nos três estados da região, sendo que não nevada na capital do Paraná há pelo menos 38 anos.

Silveira (2016), estudou a relação entre as ondas de frio em São Joaquim (SC) e a saúde como fator dependente da qualidade de vida, no período de 1984 a 2013. O autor verificou a ocorrência de 105 onda de frio no período, com média anual de aproximadamente três por três. Além disso, foi observado a diminuição no número de ondas de frio (pelo menos uma) quando comparadas as décadas de 1980 e 2010.

A partir desses resultados, elaborou-se o UTCI às 12 UTC do dia 23 de julho de 2013 no Brasil, Figura 47. Notou-se que, em grande parte das Regiões Sudeste (exceto em São Paulo), Centro-oeste (exceto no Mato Grosso do Sul, e no sul do Mato Grosso e Goiás) e Nordeste (com exceção do Maranhão e Piauí), não houve desconforto térmico, classificado como SET.

Por outro lado, houve desconforto térmico por frio na Região Sul, em São Paulo, Mato Grosso do Sul, sul dos Estados do Mato Grosso e de Goiás e até mesmo no sudoeste de Rondonia, indicando assim a ocorrência do fenômeno friagem (HAMILTON e TARIFA, 1972). Notou-se ainda que ocorreram três faixas de desconforto: LEF (leve desconforto térmico por frio,  $0,0^{\circ}\text{C} \leq \text{UTCI} < 9,0^{\circ}\text{C}$ ), MEF (moderado estresse por frio,  $0,0^{\circ}\text{C} \geq \text{UTCI} > -13,0^{\circ}\text{C}$ ) e FEC (forte estresse por frio,  $-13,0^{\circ}\text{C} \geq \text{UTCI} > -27,0^{\circ}\text{C}$ ). Esse resultado, indicando assim, uma total coerência com a percepção da população e, consequentemente com os fatos repercutidos na imprensa.

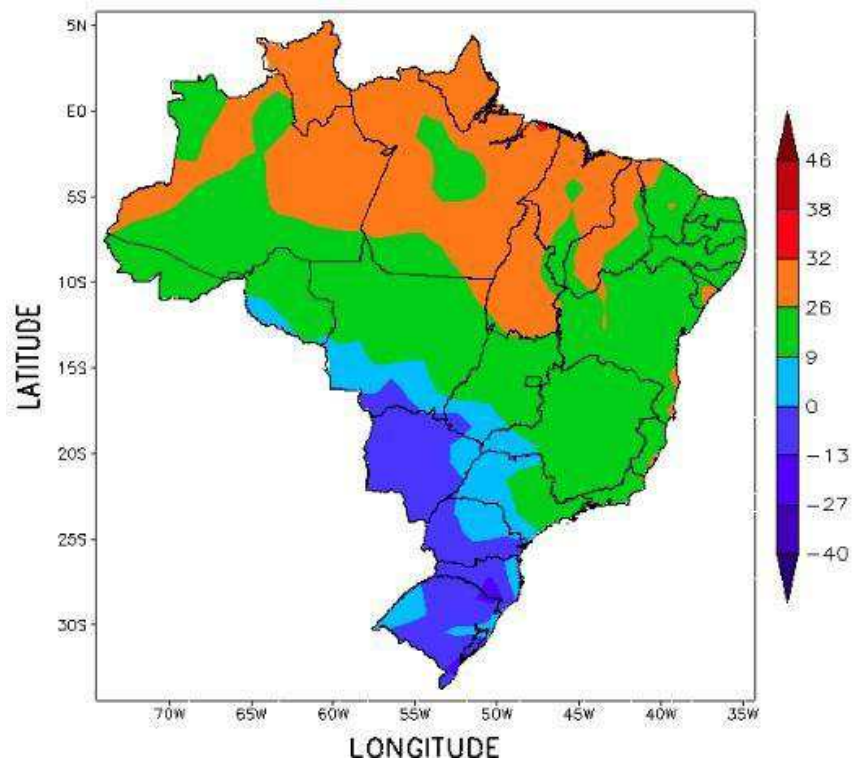


Figura 47 - UTCI observado às 12 UTC no dia 23 de julho de 2014.

Objetivando analisar o comportamento pontualmente do UTCI, foi elaborado os valores diários do índice no mês de julho de 2013 para a cidade de São Joaquim (SC). A Figura 48, ilustra o comportamento do UTCI às 12 UTC no mês de fevereiro de 2013 e as respectivas classificações de SET (sem estresse térmico) e LEF (leve estresse por calor,  $0,0^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} < 9,0^{\circ}\text{C}$ ), MEF (moderado estresse por frio,  $0,0^{\circ}\text{C} \geq \text{UTCI} > -13,0^{\circ}\text{C}$ ), FEF (forte estresse por frio,  $-13,0^{\circ}\text{C} \geq \text{UTCI} > -27,0^{\circ}\text{C}$ ), MFEF (muito forte estresse por frio,  $-27,0^{\circ}\text{C} \geq \text{UTCI} > -40,0^{\circ}\text{C}$ ), bem como as demais variáveis ambientais: temperatura do ar ( $T_a$ ), umidade relativa do ar ( $ur$ ) e velocidade do vento ( $va$ ).

Notou-se que, nos quatro primeiros dias do mês tanto o UTCI, quanto as demais variáveis ambientais (exceto umidade relativa do ar) tiveram uma grande variação. No dia 1º, a classificação era MEF, passando para LEF no dia 2, conforme a temperatura elevou-se  $2^{\circ}\text{C}$  graus. No dia 3, a temperatura continuou aumentando, a umidade relativa do ar também aumento, mas o que chama a atenção é o vento, que às 12 UTC foi de 12 m/s, fator que contribuiu para o UTCI atingisse o valor de  $-14,6^{\circ}\text{C}$ , sendo classificado como FEF. No dia seguinte (dia 4), como a temperatura continuou subindo, a umidade relativa do ar diminuiu um pouco, assim como o vento foi fraco, o UTCI passou para a classificação de LEF. Entre os dias 05 e 08, o UTCI permaneceu na faixa de sem estresse térmico (SET). Sendo que o maior

número de dias consecutivos nos quais o índice permaneceu abaixo da faixa de conforto térmico ocorreu na segunda quinzena do mês (entre os dias 15 e 27/07/2013), quando a temperatura do ar foi menor do que 12,0°C . Nesse nível de desconforto por frio, já ocorrem respostas fisiológicas do organismo humano, segundo indicado no Quadro 2, a exemplo, de atingir o mínimo local nas temperaturas das mãos, sendo necessário o uso de luvas para elevar a temperatura.

Porém, nos dias 22 a 26/07/2013, dias que coincidem como a Onda de frio relatada pela imprensa, a classificação do estresse térmico por frio mudou de LEF para MEF (moderado estresse por frio). Nível de desconforto térmico no qual as respostas fisiológicas do organismo são mais expressivas, como, por exemplo, ocorrer vasoconstrução, a temperatura da face ficar menor do que 15°C (sensação de dor) e diminuição da temperatura da pele. Além disso, o dia 23/04/2013 foi o mais crítico, quando UTCI atingiu o valor de -16,3°C, sendo classificado de FEC (forte estresse por frio), quando  $T_a$  foi de -4,2°C, a intensidade do vento de 4 m/s e a umidade relativa do ar de 90%. Nesse nível de estresse por frio, as repostas fisiológicas são ainda mais acentuadas, dentre elas, diminuição da temperatura da face (menor do que 7°C), o que provoca a sensação de dormência e aumento da temperatura central da pelo. Ressaltando que só há mais dois níveis de desconforto por frio: MFEC (muito forte estresse por frio) e EEF (extremo estresse por frio). Nos quais, a resposta fisiológica mais intensa é o congelamento da pele.

Obervou-se ainda que, na maioria dos dias, o UTCI segue as variações da temperatura do ar ( $T_a$ ). No entanto, na quase totalidade do período o UTCI é menor do que  $T_a$ . Os maiores distanciamento entre UTCI e  $T_a$  ocorreram quando,  $T_a$  foi positivo (acima de 0°C), o vento se intensificou e a umidade relativa do ar também foi elevada. Por outro lado, quando houve uma diminuição da intensidade do vento e da umidade relativa do ar, mas  $T_a$  permaneceu acima de 0°C, UTCI apresentou-se maior do que  $T_a$ .

Como isso, verificou-se um total de dezoito dias consecutivos (15/07/2013 a 27/07/2013), nos quais o UTCI permaneceu abaixo da faixa de conforto térmico (variando nas categorias de leve, moderado e forte estresse por frio), sendo que menor valor do UTCI ocorreu no dia 23/07/2013 (-16,3°C).

Portanto, os resultados supracitados do UTCI são compatíveis aos informes da imprensa e como os boletins publicados pelo INMET (2013). Verificando-se que a condição de desconforto térmico do UTCI (níveis de estresse térmico por frio) reflete a condição real



experimentado pela população, sugerindo até mesmo, danos à saúde e a ocorrência de óbitos na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

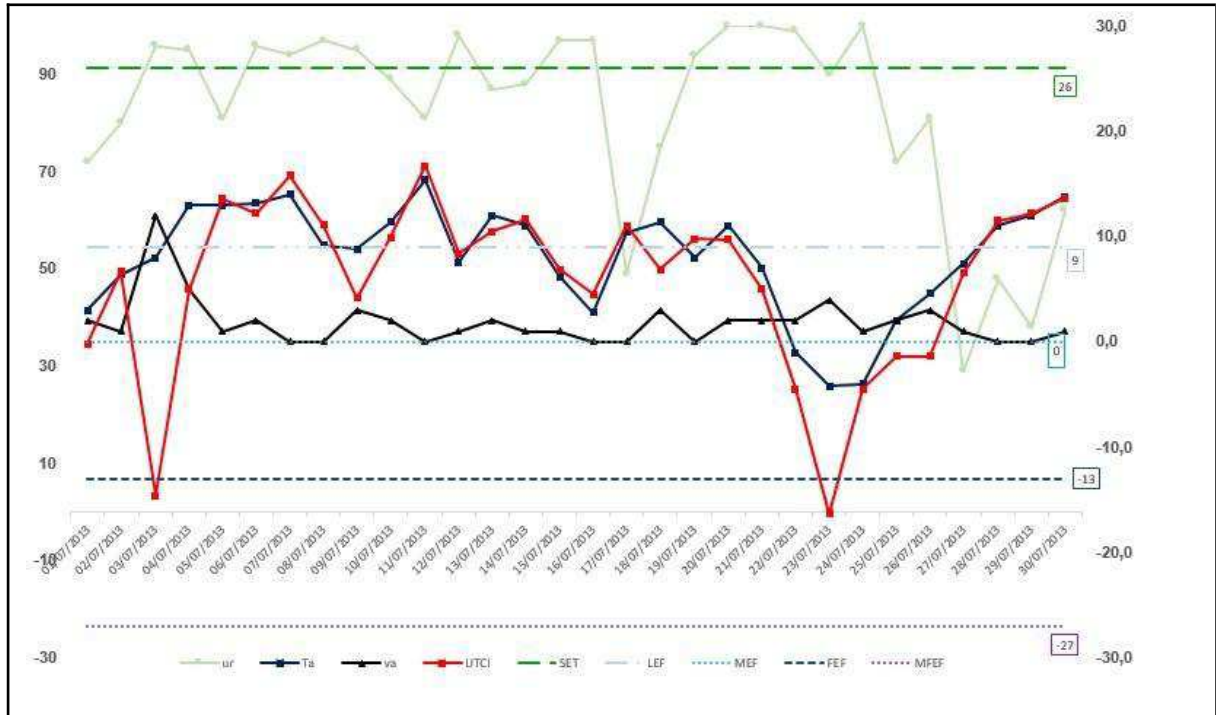


Figura 48 - UTCI às 12 UTC na cidade de São Joaquim - SC em julho de 2014.

## **5 OPERACIONALIDADE E PREVISIBILIDADE DO UTCI NO ÂMBITO SERVIÇO METEOROLÓGICO NACIONAL (INMET)**

Conforme mostrado nas seções anteriores, o UTCI conseguiu representar a diversidade dos padrões climáticos existente no Brasil. Nesse contexto, a utilização do índice como uma ferramenta adicional na previsão do tempo âmbito do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) é viável. Além disso, o UTCI será o primeiro índice de conforto térmico operacional no país, auxiliando no monitoramento e previsibilidade de eventos extremos de calor/frio. Como isso, o Brasil (INMET) estará na vanguarda das ferramentas de monitoramento ambiental, seguindo o exemplo de Portugal e da Alemanha.

Para tornar o UTCI operacional, faz-se necessário a elaboração de um conjunto de scripts computacionais que permitam a implementação da metodologia do índice ao modelo numérico de previsão do tempo COSMO (do inglês, *Consortium for Small-scale Modeling*), para a resolução de 7 km.

A metodologia utilizada nessa pesquisa buscou a utilização de ferramentas computacionais gratuitas, tais como sistema operacional Linux CentOS7 (do inglês, *Community Enterprise Operating System*), banco de dados Postgres, do software estatístico R e do visualizador de campos numéricos GRADS (do inglês, *Grid Analysis and Display System*). Tais ferramentas apresentaram-se viáveis para a implementação operacional em centros meteorológicos que operam modelos numéricos.

Nesse estudo, foram seguidos os seguintes passos:

1. Obtenção de dados CSV (do inglês, *Comma-separated values*) dados observacionais das estações do INMET ou grib (dados modelados) das variáveis  $T_a$ ,  $rH$ , e  $v_a$  (temperatura do ar, umidade relativa e velocidade média do vento), bem como, seu respectivos horários de observação;
2. Cálculo do UTCI por meio de programa FORTRAN em ambiente Linux;
3. Inserção das séries observacionais em banco de dados Postgres para posteriores cálculos estatísticos no software R;

4. Espacialização dos dados pelo método de krigagem (THOMPSON, 1992) utilizando o software Grads.

A metodologia proposta foi aplicada a dados do modelo COSMO operacional no Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Foram avaliados dois casos distintos: desconforto térmico por calor, nas Regiões Sul e Sudeste, ocorrido no dia 09/02/2014; e desconforto térmico por frio nas mesmas regiões, registrado no dia 23/07/2013.

A análise da resposta do UTCI realizou-se por meio da previsão numérica para 24 horas do modelo COSMO 7km. Para fins de comparação, em ambos os casos analisados, foram capturados os dados do modelo nas coordenadas correspondentes a cada uma das 211 estações convencionais utilizadas nesse estudo. Esse procedimento, apesar de diminuir a resolução do modelo numérico, foi realizado para manter compatível a densidade observacional entre o dado observado e o dado previsto, na interpolação no software GRADS.

Na Figura 49 encontram-se os mapas do UTCI observado e previsto no dia 09/02/2014 às 18 UTC. Observa-se que o UTCI previsto (Figura 49a) consegue representar o padrão ocorrido (Figura 49b) em grande parte do Brasil, especialmente nas Regiões Sul e Sudeste. No entanto, o sinal foi oposto no Mato Grosso do Sul, extremo norte do Amazonas, leste do Amapá e na Ilha do Marajó – PA. Tal comportamento pode ser devido à divergências na previsibilidade das variáveis ambientais, especialmente da velocidade média do vento.

No evento de frio, caso do dia 23/07/2013 (Figuras 50a e 50b), notou-se um comportamento similar ao verificado na evento de calor: o UTCI previsto consegue captar o padrão do UTCI observado em grande parte do centrossul e oeste do Brasil. Porém, no interior da Região Nordeste, o UTCI previsto é oposto ao sinal do observado. Na porção leste da Região Norte, o índice previsto e o observado coincidem com a condição de desconforto térmico por calor, divergindo apenas no nível de classificação do estresse térmico. O UTCI superestima o UTCI observado, ou seja, o modelo prevê um nível de desconforto maior do que o ocorrido. Diferenças entre as variáveis ambientais ( $T_a$ ,  $rH$  e  $V_a$ ), influenciam diretamente nesses resultados, especialmente a estimativa da velocidade média do vento.

Tais análises mostram que é possível implementar o UTCI como uma ferramenta de monitoramento e previsibilidade de eventos extremos de calor e frio.

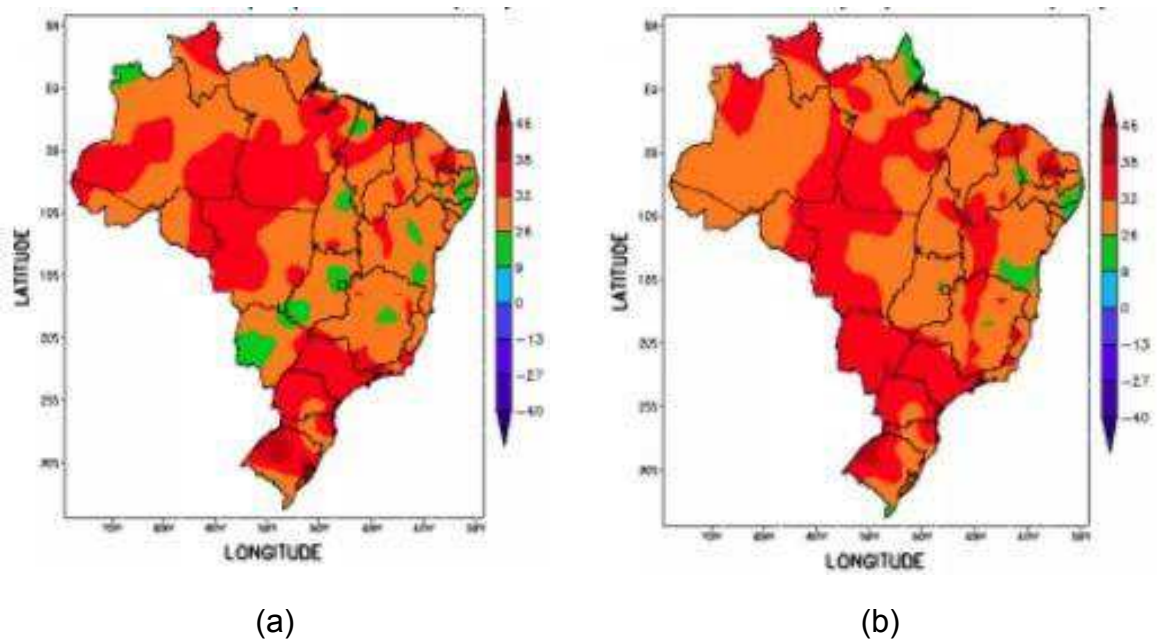


Figura 49 - UTCI às 18 UTC no dia 09 de fevereiro de 2014: (a) observado e (b) previsto pelo modelo COSMO.

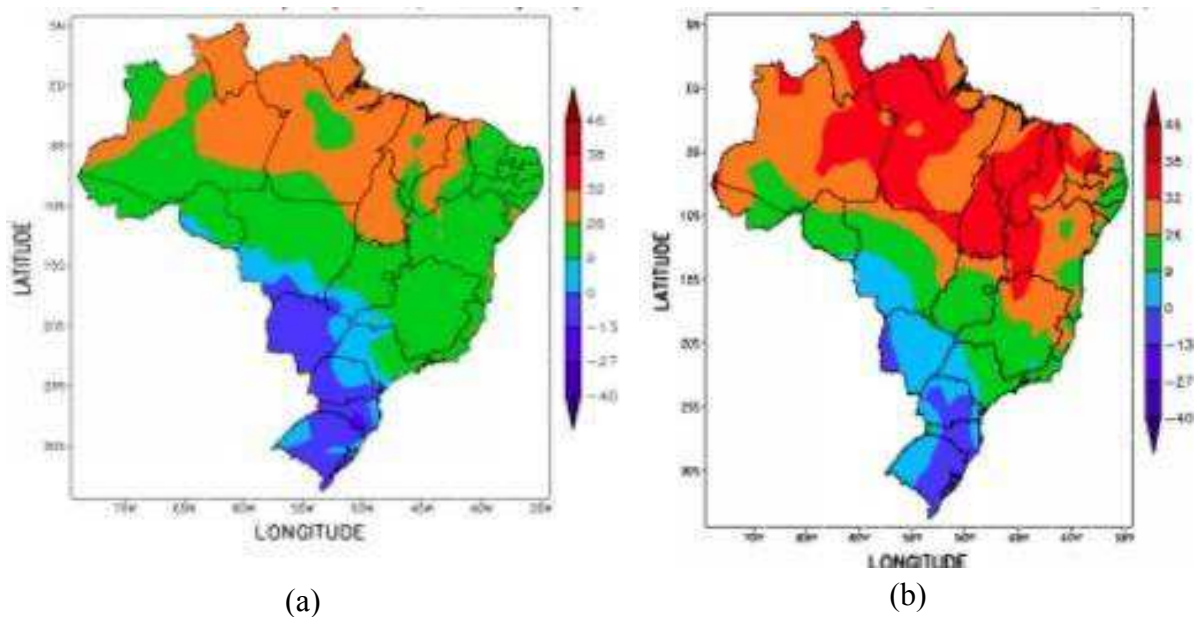


Figura 50 - UTCI às 12 UTC no dia 23 de julho de 2013: (a) observado e (b) previsto pelo modelo COSMO.

## 6 CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos nesse trabalho e nas discussões realizadas, chegou-se as seguintes conclusões referentes ao monitoramento do conforto térmico humano através do Índice termoclimático universal (UTCI) no Brasil:

1. A climatologia horária do UTCI assemelha-se mais as características espaciais e sazonais da climatologia da temperatura do ar do que a velocidade do vento e à umidade relativa do ar;
2. O índice conseguiu reproduzir as variações sazonais dos níveis de conforto/desconforto térmico que ocorrem em todo o território nacional, sendo que no inverno às 12 UTC ocorreram os menores valores e a maior abrangência espacial de desconforto por frio; enquanto que no verão às 18 UTC verificou-se os maiores valores e também a maior abrangência espacial do desconforto por calor;
3. Em relação às tendências temporais nas séries do UTCI, cerca de 90% das estações meteorológicas utilizadas, apresentaram tendência positiva no UTCI médio, máximo e mínimo no período de 1984 a 2014 às 18 UTC. Os aumentos no UTCI médio variam de 0,3 a 6,4°C, sendo que nas Regiões Norte, Nordeste e no Estado do Mato Grosso, verificou-se a maior uniformidade na distribuição espacial das tendências, bem como os maiores níveis de aumento, variando entre 2,4 a 4,4°C;
4. Nas estações de referência, verificou-se que em todo o ano, o UTCI nos horários das 12 e 18 UTC apresentou-se maior do que a temperatura do ar em Manaus – AM e Salvador – BA; enquanto que em Brasília – DF, São Paulo – SP e Porto Alegre – RS, ocorreu o inverso, ou seja, UTCI menor do que a temperatura do ar. Em Salvador - BA e Manaus – AM (localidades situadas a norte de 15°S), o desconforto térmico por calor ocorreu durante praticamente todo o ano.
5. A cidade de Manaus - AM, apresentou desconforto por calor nos dois horários analisados, como valores médios do UTCI de 28,5°C e 32,0°C. As manhãs têm se

tornado mais quente e desconfortáveis, sendo observado aumento de aproximadamente 101 dias no número de dias quentes. Sazonalmente, houve aumento de 3,8°C e 4,4°C no inverno às 12 e 18, respectivamente. Adicionalmente, notou-se que tanto os valores médios quanto os máximos do UTCI, nos dois horários (12 e 18 UTC), apresentaram aumentos superiores a 3,0°C.

6. A cidade de Salvador – BA, é desconfortável na média dos horários das 12 e 18 UTC (27,6°C e 28,0°C). As manhãs são mais quentes, com aumento de 130 dias no número de dias quentes. Os invernos apresentaram maior tendência de aumento, cerca de 3,5°C nos dois horários, além disso os máximos do UTCI na série aumentaram mais de 2,2°C;
7. Em São Paulo - SP, a média dos maiores valores do UTCI ocorre às 18 UTC em fevereiro (25,7°C), representando assim um condição de conforto térmico; porém, as tendências temporais mostraram que as manhãs tem se tornado mais quente (cerca de 12 dias) e desconfortáveis (aproximadamente 4 dias), visto que verificou-se tendências positivas no UTCI médio anual (0,7°C), nos máximos (1,0°C), sazonalmente isso também foi observado no inverno (1,6°C) e na primavera (1,1°C), enquanto que há tendência negativa no número de dias frios (cerca de 8 dias). Além disso, observou-se ainda que, às 12 UTC quantitativamente o inverno tem se tornado mais quente: 1,6°C e os máximos do UTCI aumentaram 1,0°C ao longo da série temporal (30 anos).
8. Os maiores valores médios do UTCI em Brasília, DF, ocorrem às 18UTC no início da primavera (setembro: 24,5°C e outubro: 24,6°C), sendo classificados segundo o UTCI como sem estresse térmico; entretanto, as tendências temporais evidenciam que os invernos tem se tornado mais quentes, cerca de 1,5°C nos dois horários; as manhãs tem se tornado menos frias (cerca de 5 dias), visto que verificou-se tendências positivas no UTCI médio anual (1,2°C), nos mínimos (0,8°C) e nos máximos (0,9°C); Além disso, observou-se ainda que, às 18 UTC quantitativamente os mínimos/máximos do UTCI aumentaram 1,4°C e 1,0°C, respectivamente ao longo da série temporal (30 anos), com isso há tendência positiva no número de dias quentes (cerca de 31 dias);
9. Os menores valores médios do UTCI às 12 UTC em Porto Alegre, RS, ocorreram no inverno (11,0°C – julho), enquanto que os maiores valores médios foram observados no verão (28,5°C – janeiro e fevereiro), ocorrendo assim desconforto térmico por calor; Em termos de tendências temporais, as tardes de invernos tem se tornado mais

quentes, cerca de 2,6°C (18 UTC) com diminuição de 16 dias considerados frios; as manhãs tem se tornado menos frias (cerca de 24 dias), visto que verificou-se tendências positivas no UTCI médio anual (1,8°C), nos mínimos (3,7°C) e nos máximos (0,7°C); Além disso, observou-se ainda que, às 18 UTC quantitativamente os mínimos/máximos do UTCI aumentaram 4,0°C e 3,0°C, respectivamente ao longo da série temporal;

10. Em episódios extremos de frio/calor ocorridos recentemente no Brasil, o UTCI apresentou uma resposta satisfatória no que se refere a reproduzir os níveis de conforto/desconforto térmico;
11. A operacionalização do UTCI no âmbito do serviço meteorológico nacional (INMET) é possível, tornando-se uma ferramenta adicional no tocante a previsibilidade e monitorante de eventos extremos de frio/calor. Sendo viabilizada a partir de rotinas computacionais que congregam os dados proveniente do modelo numérico Cosmo e os das estações meteorológicas da rede do referido Instituto.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA EUROPEIA DE AMBIENTE – AEA. Sinais AEA, **Viver num clima em mudança**. Luxemburgo, 2015.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's Climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. V 22, No 6, p711-728, 2014.
- ANDRADE, T. et al. Thermal Comfort and Urban Climate in a Tropical City - Salvador/Brazil. TECBAHIA: **Revista Baiana de Tecnologia**, Salvador, v.17, n.3, p. 34-45, set./dez. 2002.
- ANDRADE, H. O Clima Urbano – Natureza, Escalas de Análise e Aplicabilidade. **Revista Finisterra**, Lisboa, n XL, 2005.
- ANDRADE, K. M. Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul. INPE-14056-TDI/1067. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) -INPE, São José dos Campos, 2005.
- ANDRADE, T. et al. Conforto Térmico em Biblioteca no Trópico Úmido. ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8.; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 2005. Maceió. **Anais...** Maceió, 2005.
- ASSIS, E.S. Métodos Preditivos da Climatologia como subsídios ao Planejamento Urbano: aplicação em conforto térmico. **Terra Livre**, Vol. 1, n. 20, p.145-158, 2003.
- ANSI/ASHRAE Standard 55 – 1992. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. **American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineer**



- s, Inc. Atlanta, USA, 1992.
- ARAGÃO, M.R. DA.; MENDES, M.C.D.; CAVALCANTI, I.F.A. Observational study of a rainy january in northeast Brasil semi-arid region: synoptic and mesoscale charecteristics. **Q.J.R. Meteorol. Soc.**133 : 1127-1141, 2007.
- BARBIRATO, G.M.; SOUZA, L.C.L.; TORRES, S.C. **Clima e Cidade – a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos**. Maceió: EDUFAL, 2007.
- BARBOSA, P. H. D.; COSTA, A. C.L. da.; CUNHA, A.C.da.; SILVA JUNIOR, J.de A. Variabilidade de elementos meteorológicos e de conforto térmico em diferentes ambiente na Amazônia Brasileira. **Revista Brasileira de Climatologia**, V. 17 – JUL/DEZ, Ano 11, 2015.
- BATISTA, R. J. R. **Climatologia e previsão climatológica, via modelo RegCM3, de índices de conforto térmico para a região metropolitana de São Paulo**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Astronominia, Geofífica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo-USP, 115f, São Paulo, 2012.
- BLAZEJCZYK, K.; JENDRITZKY, G.; BRÖDE, P.; FIALA, D.; HAVENITH, G.; EPSTEIN, Y.; PSIKUTA, A.; KAMPMANN, B. An Introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI). **Geographia Polonica**, 86, 1, 5-10. <http://dx.doi.org/10.7163/GPol.2013.1>, 2013.
- BLAZEJCZYK, K. Distribution of Universal Thermal Climate Index (UTCI) in Warson. **Geographia Polonica**, Varia, Poland on Maps, 86, 1, 2013.
- BLAZEJCZYK K., EPSTEIN Y., JENDRITZKY G., STAIGER H., TINZ B. Comparison of UTCI to selected thermal indices. **International Journal Biometeorological**, 56, 515-535,2012.
- BEZERRA, P.T.C.; LEITÃO, M.M.V.B.; AZEVEDO, P.V. Ilhas de calor e desconforto térmico no semiárido brasileiro: um estudo de caso na cidade de Petrolina-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, V.06, N.03, p.427-441, 2013 .
- BIDEGAIN, M.; PODESTÁ, G.P. ENSO-related climate variability ´ on precipitation and temperature in southeastern South America (Uruguay). Abstract presented in The Sixth Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography. Santiago, Chile April, 2000,
- BRITO, R. S. **Estudo do clima urbano da cidade de Campina Grande, Paraíba**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, UFCG, Campina Grande/PB, 2007.

- BRÖDE P., BLAZEJCZYK, K., FIALA D., HAVENITH, G., HOLMÉR, I., JENDRITZKY G., KUKLANE, K., KAMPMANN B. The Universal Thermal Climate Index (UTCI) compared to ergonomics standards for assessing the thermal environment. **Industrial Health**. 51, 16-24, 2013.
- BRÖDE, P., FIALA, D., BŁAŻEJCZYK, K., HOLMÉR, I., JENDRITZKY, G., KAMPMANN, B., TINZ, B., HAVENITH, G. Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). **International Journal Biometeorological**. 56, 481-494, 2012.
- BRÖDE, P.; KRÜGER, E.L.; ROSSI, F.A.; FIALA, D. Predicting urban outdoor thermal comfort by the Universal Thermal Climate Index UTCI- a case in southern Brazil. **International Journal Biometeorological**. V. 56, N.3, 471-480, 2012. DOI 10.1007/s00484-011-0452-3.
- CALDAS, J. São Joaquim decreta situação de emergência devido a frio intenso. G1, RBSTV, Santa Catarina, 22 de jul. 2013. Disponível em : <http://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/2013/07/sao-joaquim-decreta-situacao-de-emergencia-devido-frio-intenso.html>. Acessado em janeiro de 2017.
- Calor de fevereiro em São Paulo é recorde histórico. Disponível em <http://www.diarioregional.com.br/2014/02/10/calor-de-fevereiro-em-sao-paulo-e-recorde-historico/>. Acessado em janeiro de 2017.
- Calor leva a novo recorde histórico de consumo de energia no Brasil. Disponível em: <http://noticias.r7.com/brasil/calor-leva-a-novo-recorde-historico-de-consumo-de-energia-no-brasil-06022014>. Acessado em janeiro de 2017.
- CARDOSO, N.K.R.; Lima, F.U.F.; Assis, S.V. Avaliação horário do índice de desconforto. XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia CBMET, Fortaleza, 2004.
- CARMO, J.P. DE A; SILVA, P.D.D'.O. Percepção do conforto térmico no bairro Jardim Claret, Rio Claro-SP. **Revista Geográfica de América Central Número Especial EGAL**, Costa Rica II Semestre, pp. 1-13, 2001.
- CARTALIS, C.; SYNODINOU, A.; PROEDROU, M.; TSANGRASSOULIS, A.; SANTAMOURIS, M. Modifications in energy demand in urban areas as a result of climate changes: an assessment for the southeast Mediterranean region. **Journal of Energy Conversion and Management**, 42 (14), 1647–1656, 2001.
- CASCIOLI, C.S. ; PESSANHA, A. O conforto térmico em Rosana-SP. **Anais**. XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Viçosa-MG, v. 1, p.1.13, UFV, 2009.

- CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. Climatology of South American cold fronts. In: VII International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, **American Meteorological Society**. Wellington, New Zealand, 2003.
- CERNE, S.B.; POSSIA, N.E. Evolution of South American high pressure systems during late summer 1997. **Meteorol Appl.** 11, 329-341, 2004
- CHANDLER, TONY J. Urban climatology and its relevance to urban design. Geneva : **Secretariat of the World Meteorological Organization**, 1976.
- CHEN, X.L.; ZHAO, H.M.; LI, P. X.; YIN, Z. Y. Remote Sensing Image-Based Analysis of the Relationship Between Urban Heat Island and Land Use/Cover Changes. **Remote Sensing of Environment**, 2006.
- Commission for Thermal Physiology of the International Union of Physiological Sciences (IUPS Thermal Commission). Glossary terms physiology. Third edition. **Japanese J Physiol** 2001; 51(2):245-80.
- CONTI, J. B. **Clima e Meio Ambiente**. São Paulo: Atual, 1998.
- CORREIA, E.N.; RUIZ, M.A.; CANTÓN, M.A. Morfología forestal y confort térmico em “cidades oásis” de zonas áridas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.10, n.4, p.119-137, ISSN 1678-8621, 2010.
- COSTA, A. C. L. DA, et al. Variações termo-higrométricas e influências de processo de expansão urbana em cidade equatorial de médio porte, **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research médium**, v. 4 n. 2, p. 615-632, 2013b.
- COSTA, L.R. da.; COSTA, A.C.L da.; SILVA JUNIOR, A. da.; PORTELA, B.T.T.; ABREU, J.R. m  
Monitoramento do conforto térmico em cidades de grande porte como diferentes localizações na Amazônia Brasileira. **Anais**, In.: XXIII Seminário de Iniciação Científica da UFPA, Belém-PA, 2012. Disponível em: <http://www.pibic.ufpa.br/docportal/71.pdf>. Acessado em maio de 2017.
- COSTA, J.R.S.; BEZERRA, I.M.; SILVA, F.M. Conforto térmico na cidade de Natal e Ceará-Mirim-RN utilizando os métodos de ITU e WCI. **Revista Okara: Geografia em debate**, v.3, n.2, p.223-334, ISSN: 1982-3878, João Pessoa-PB, 2009.
- CRESSMAN, G. P. An Operational Objective Analysis System. Washington, D.C.: U.S. **Weather Bureau**, 1959.
- DEB, C.; A. R. The significance of Physiological Equivalent Temperature (PET) in outdoor thermal comfort studies. **International Journal of Engineering Science and**

- Techonology**, Vol. 2(7), 2825-2828, 2010.
- DEE D. P. et al. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**. vol. 137, Issue 656, pg 553–597 - Part A, 2011.
- DEOSTHALI, V. Assessment of Impact of Urbanization on Climate: an application of bioclimatic index. **Atmospheric Environment**, v. 33, n. 24/25, p. 4125-4133, 1999
- DUARTE, D.H.S.; SERRA, G.G. Padrões de Ocupação do Solo e Microclimas Urbanos na Região de Clima Tropical Continental Brasileira: correlações e propostas de um indicador. **Revista Ambiente Construído**. Porto Alegre/RS. V. 3, n 2, 2003.
- EMMANUEL, R. Assesment of Impact of Land Cover Changes on Urban Bioclimate: the Case of Colombo, Sri Lanka. **Architectural Science Review**, v. 46:2, p.151-158, DOI: 10.1080/00038628.2003.9696978, 2011.
- EMMANUEL, R. Historic thermal comfort trends induced by urbanization in Colombo, Sri Lanka. PLEA 2004 – **Annals-** The 21<sup>st</sup> Conference on Passive and Low Energy Architecture. Eindhoven, The Netherlands, 19 - 22 September 2004.
- Especialistas explicam calor extremo deste verão no Brasil. Disponível em: <http://g1.globo.com/natureza/noticia/2013/07/onda-de-frio-leva-neve-mais-de-cem-cidades-do-sul-do-pais.html>. Acessado em janeiro 2017.
- FAN, H.; SAILOR, D. Modeling the Impacts of Anthropogenic Heating on the Urban Climate of Philadelphia: A Comparison of Implementations in Two PBL Schemes. **Atmospheric Environment**, n 39 2005.
- FANGER, P. O. Thermal Comfort – Analysis and applications in Environmental Engineering. **McGraw-Hill Book Company**. USA, 1970.
- FIALA D., HAVENITH G., BRÖDE P., KAMPMANN B., JENDRITZKY G. UTCI-Fiala multi-node model of human heat transfer and temperature regulation. **Int J Biometeorol**.56, 429-441, 2012.
- FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Clima da Amazônia, Climanálise-Boletim de Monitoramento e Análise Climática, v. 10, 2006.  
(<http://mtcm15.sid.inpe.br/col/cptec.inpe.br/walmeida/2004/12.15.15.11/doc/fish.html>)  
Acesso em 12 de janeiro de 2015.
- FREITAS, C. R. de.; GRIGORIEVA, E. A.; A comparison and appraisal of a comprehensive range of human thermal climate indices. **Int J Biometeorol**.61, 487-512, 2017.

- FROEHLICH, D.; MATZARAKIS, A. Estimation of human-biometeorological conditions in south west Germany for the assessment of mitigation and adaptation potential. ICUC9. **Annals**, 9th International Conference on Urban Climate jointly with 12th Symposium on the Urban Environment. MeteoFrance, Toulouse-France, 2015. Disponível em: <http://www.meteo.fr/icuc9/>. Acessado em novembro de 2015.
- FROTA, ANÉSIA B.; SCHIFFER, SUELI R. Manual de Conforto Térmico. 2. ed. São Paulo: **Studio Nobel**, 1995.
- FROTA, A.B ; SCHIFFER, S.R. Manual de conforto térmico. **Livraria Nobel**, São Paulo, 1988.
- GARTLAND, L. Ilhas de Calor – como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- GARREAUD, R. D. Cold air incursions over subtropical South America: mean structure and dynamics. **Mon. Weather Rev.** 128: 2544–2559, 2000.
- GILES S, B. D.; BALAFOUTIS S, C. H. The Greek heatwaves of 1987 and 1988. **International Journal of Climatology**, v.10, n.1, p.505–517, 1990.
- GIRIDHARAN, R.; LAU, S.S.Y.; GANESAN, S. ; GIVONI, B. Urban design factors influencing urban heat island intensity in high rise high density environments of Hong Kong. **Building and Environment** 42, 3669–3684, 2007a.
- GRIMMOND, C.S.B.; ROTH, M.; OKE, T.R.; AU, Y.C.; BEST, M.; CARMICHAEL, G.; CLEUGH, H.; DABBERDT, W; EMMANUEL, R.; FREITAS, E.; FORTUNIAK, K.; HANNA, S.; KLEIN, P.; KALKSTEIN, L.S.; LIU, C.H.; NICKSON, A.; PEARLMUTTER, D.; SAILOR, D.; VOOGT, J. Climate and More Sustainable Cities: Climate information for improved planning and management of Cities. (Producers/Capabilities Perspective). **Procedia Environmental Sciences**, p. 247-274, 2010.
- GOBO, J. P. A.; GALVANI, E. Zoneamento do Conforto Térmico humano para o Rio Grande do Sul: uma análise a partir do estudo de anos-padrões. In: IV CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ESTUDIOS TERRITORIALES Y AMBIENTALES. **Anais**, São Paulo, 2014. Disponível em <http://6cieta.org/arquivos-anais/eixo5/Joao%20Paulo%20Assis%20Gobo.%20Emerson%20Galvani.pdf>. Acessado em maio de 2017.

- GOBO, J. P. A. **Regionalização climática do Rio Grande do Sul com base no zoneamento do conforto térmico**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo-USP, 184f, São Paulo-SP, 2013.
- GOLDREICH, Y. Urban climate studies in Israel – A review. **Atmospheric Environment**, Oxford, v.29, n.1, p.467-478, 1995.
- GIVONI, B. *Climate Considerations in Building and Urban Design*. **John Wiley & Sons**, USA, 1998.
- GLA, Greater London Authority (GLA). London urban heat island (LUHI): **A summary for decision makers**. UK, 2006. <[http://www.london.gov.uk/mayor/environmnet/climate\\_change/](http://www.london.gov.uk/mayor/environmnet/climate_change/)>.
- GONÇALVES, N. M. S. Impactos Pluviais e Desorganização do Espaço Urbano em Salvador. In: MENDONÇA, F.; MONTEIRO, C.A. de F. (orgs). *Clima Urbano*. São Paulo: Contexto, 2003.
- GOUVEIA, M.L. Cenários de impacto das propriedades de superfície sobre o conforto térmico humano na cidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo-USP, 87f, São Paulo, 2007.
- GOUVÊA, T.C. Avaliação do conforto térmico: uma experiência na indústria da confecção, Dissertação de M.Sc., UNICAMP, São Paulo, SP, Brasil, 2004.
- GUO, Y., GASPARRINI A., ARMSTRONG B., Li S, TAWATSUPA B., TOBIAS A., LAVIGNE E., SOUZA, Z. S. C. M., LEONE M., PAN X., TONG S., TIAN L., KIM H., HASHIZUME M., HONDA Y., GUO, Y.L., WU, C.F., PUNNASIRI K., YI, S.M., MICHELOZZI P, SALDIVA, P.H., WILLIAMS, G. Global variation in the effects of ambient temperature on mortality: a systematic evaluation. **Epidemiology**, Nov ;25(6):781-9, 2014.
- HAMILTON, M; TARIFA, J. Synoptic aspects of a polar outbreak leading to frost in tropical Brazil, July 1972. **Mon. Weather Rev.** 106: 1545–1556, 1978.
- HAVENITH G., FIALA D., BŁAZEJCZYK K., RICHARDS M., BRÖDE P., HOLMÉR I., RINTAMAKI H., BENSHABAT Y., JENDRITZKY G., 2012: The UTCI-clothing model. *International Journal Biometeorological*, 56, 461-470, 2012.
- HASSID, S.; SANTAMOURIS, M.; PAPANIKOLAOU, N.; LINARDI, A.; KLITSIKAS, N.; GEORGAKIS, C.; ASSIMAKOPOULOS, D.N. The effect of the Athens heat island on air conditioning load. **Journal of Energy and Buildings**, 32 (2), 131–141, 2000.

- HOFFMAN J.A.J.; NUNEZ, S.E.; VARGAS, W. Temperature, humidity and precipitation variations in Argentina and the adjacent sub-Antarctic region during the present century. **Meteorologische Zeitschrift** 6: 3–11, 1997.
- HÖPPE, P. Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. **Energy and Buildings**, 34,661-665, 2002.
- HÖPPE, P. The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment, **Int J. Biometeorol.**, 43, 71-75,1987.
- HOUGHTEN, F. C.; Yaglou, C.P. Determining lines of equal comfort. **ASHVE Transactions**, 29, p. 163-169, 1923.
- HOREL, J.D.; HAHMANN, A.N.; GEISLER, J.E. An investigation of the annual cycle of convective activity over the tropical Americas. **Journal of Climate**, 2(11), 1388 - 1403, 1989;
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Arranjos populacionais e concentrações urbanas no Brasil**. Coordenação de Geografia, 2ª ed., Rio de Janeiro, 2016. Disponível em : <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv99700.pdf> . Acessado em : julho de 2017.
- INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO 7730. Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Genebra, 1994.
- ICHINOSE, T.; SHIMODOZONO, K.; HANAKI, K. Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo. **Atmospheric Environment**, Oxford, v.33, n.1, p.3897-3909, 1999.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990**. 2ª ed. Brasília, 2009.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Boletim Agroclimatológico Mensal**, n. 07, v 48, 2013. [http://www.inmet.gov.br/portal/arq/upload/BOLETIM-AGRO\\_MENSAL\\_201307.pdf](http://www.inmet.gov.br/portal/arq/upload/BOLETIM-AGRO_MENSAL_201307.pdf).
- JAUREGUI, E. Urban bioclimatology in developing countries. **Experientia**, 49 (11): 964-968. doi:10.1007/BF02125643., 1993.
- JENDRITZKY, G., DE DEAR, R., HAVENITH, G. UTCI--why another thermal index? **International Journal of Biometeorology**, 56 (3): 421-428. doi: 10.1007/s00484-011-0513-7., 2012.

- JENDRITZKY, G., TINZ, B. The thermal environment of the human being on the global scale. **Glo Health Action**, 2, doi: 10.3402/gha.v2i0.2005, 2009.
- JOHANSSON, E., THORSSON, S., EMMANUEL, R., KRÜGER, E. Instruments and methods in outdoor thermal comfort studies – The need for standardization. **Urban Climate** 10 (2014), 346-366. Elsevier.
- JOHANSSON, E. **Urban design and its consequences on the environment, comfort and energy consumption of buildings**, PhD Tesis at Lund University, Sweden, 2001.
- JONSSON, P.; BENNET, C.; ELIASSON, I. ; LINDGREEN, E. S. Suspended Particulate Matter and its Relations to the Urban Climate in Dar es Salaam, Tanzania. **Atmospheric Environment**, n 38, 2004.
- JURCA, J. **Classificações climáticas: variações temporo-espaciais e suas aplicações nos livros didáticos e como subsídio ao zoneamento agroclimático**. Dissertação. – Univ. Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, Brasil, 100 p., 2005.
- JUSUF, S. K.; WONG, N.H.; HAGE, E.; ANGGOR, R.; HONG, Y. The influence of land use on the urban heat island in Singapore. **Habitat International** 31, 232–242, 2007.
- KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISLER, R.; COLLINS, W.; DEAVEN, D.; GANDIN, L.; IREDELL, M.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J.; ZHU, Y.; LEETMAA, A.; REYNOLDS, R.; CHELLIAH, M.; EBISUZAKI, W.; JONOWIAK, J.; MO, K.C.; ROPELEWSKI, C.; WANG, J. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, 77, 437-470, 1996.
- KAKON, A.N; MISHIMA, N.; KOJIMA, S. Simulation of the urban thermal comfort in a high density tropical city : Analysis of the proposed urban construction rules for Dhaka, Bangladesh. **Building Simulation** v.2, 291-305, 2009. DOI 101007/s112273-009-9321-y.
- KENDALL, M. G. **Rank correlation measures**. Charles Griffin: London, U.K, 1975.p.220.
- KOLOKOTRONI, M.; GIANNITSARIS, I.; WATKINS, R.. The effect of the London heat island and building summer cooling demand and night ventilation strategies. **Solar Energy** 80 (4), 383–392, 2006.
- KOLOKOTRONI, M.; GIRIDHARAN, R. Urban heat island intensity in London: An investigation of the impact of physical characteristics on changes in outdoor air temperature during summer. **Solar Energy** 82, 986–998, 2008.
- KÖPPEN, W. Das geographische System der Klimate, 1936.



- KOUSKY, V.E. . Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. **Rev. Bras. Meteorol.** 3: 217–231, 1988.
- KOUSKY VE. Frontal Influences on Northeast Brasil. **Monthly Weather Review**, 107: 1140-1153, 1979.
- KRÜGER, E.L.; DRACH, P. ; BRÖDE, P. Outdoor comfort study in Rio de Janeiro: site-related context effects on reported thermal sensation. *International Journal of Biometeorology*, v. 61, p. 463-475, 2017.
- KRÜGER, E.; EMMANUEL, R.; BRÖDE, P.; FIALA, D. Predicting outdoor thermal sensation from two field studies in Curitiba, Brazil and Glasgow, UK using the Universal Thermal Climate Index (UTCI). In: WINDSOR CONFERENCE 2012 - The changing context of comfort in an unpredictable world, 2012, Windsor, Reino Unido. **Conference program**. Londres, Reino Unido: NCEUB, v. 1. p. 1-12, 2012.
- LAMBERTS, R. ; XAVIER, A. A DE P. ; GOULART, S. ; DE VICCHI, R. Conforto e stress térmico. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2014. Disponível em <http://www.labee.ufsc.br/>. Acessado em 29/10/2015.
- LAZAR, R.; PODESSER, A. An urban climate analysis of Graz and its significance for urban planning in the Tributary Valleys East of Grazy (Austria). **Atmospheric Environment**, n.33, 1999.
- LIMA, G. L. F.; OLIVEIRA, A. G. DE; PEDRINI, A.; ARAUJO, V.M. D.. Índices de Conforto Térmico: Revisão e Proposta para o Clima Quente e Úmido de Natal-RN. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2005,. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2005. 1 CD-ROM.
- LYRA, D.S.F.M. **Aplicabilidade de índices de conforto térmico : um estudo de caso em Salvador-BA**. Dissertação de Mestrado Dissertação de Mestrado. Engenharia Ambiental Urbana, Universidade Federal da Bahia ,132f, Salvador-BA, 2007.
- LUCIO, P.S.; SILVA, A.M. ; SERRANO, A.I. Changes in occurrences of temperature extremes in continental Portugal : a stochastic approach. **Meteorol. Appl.**, 17 :404-418, 2010.
- LUPO, A. R.; NOCERA, J. J.; BOSART, L. F.; HOFFMAN, E. G.; KNIGHT, D. J. South America Cold Surges: Types, Composites, and Case Studies. **Monthly Weather Review**, v. 129, p 1021-1041, 2001.

- MAIA, J.A. **Uma análise do conforto térmico e suas relações meteorológicas na cidade de São Paulo**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo-USP, 136f, São Paulo-SP, 2002.
- MANN, H. B. Econometrica. **The econometric society**, v.13, n.3, p.245-259, 1945.
- MARENGO, J.A. e CAMARGO, C. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960–2002. **International Journal of Climatology**, V.28, p. 893–904. 2008.
- MARENGO, J.; CORNEJO, A.; SATYAMURTY, P.; NOBRE, C. Cold surges in Tropical and Extratropical South America: The Strong Event in June 1994. **Monthly Weather Review**. American Meteorological Society, v.125, p.2759-2786, 1997.
- MARTINI, A.; BIONDI, D.; BATISTA, A.C.; ZAMPRONI, K. A periodicidade diária do índice de conforto térmico na arborização de ruas de Curitiba-PR. **Scientia Plena**, V.9, N.5, 2013. Disponível em: <http://www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/1360>. Acessado em: Novembro de 2015.
- MARTINS, A. M. Q. **Conforto térmico na Indústria do papel**. Dissertação de Mestrado. Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacional. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto-Portugal, 53f, Porto-Portugal, 2011.
- MARTINEZ-TEJADA, A.; GARGIA-CUETO, O.R. A comparative simple method for human bioclimatic conditions applied to seasonally hot/warm cities of Mexico. **Atmósfera**, v. 15, 55-66, 2002.
- MATHER, J.R. **Climatology Fundamentals and Applications**. New York, **McGraw-Hill**, 1974. 412p. The chapters Basic Climatic Elements, Climate, Clothing and Human Comfort, as well as Climate and Architecture are useful, although the latter is largely based on Olgyay.
- MATTOS, T. Onda de frio mata sete pessoas em São Paulo. Especial para o Estado, O Estado de S. Paulo, São Paulo, 27 de jul. 2013. Disponível em: <http://sao-paulo.estadao.com.br/noticias/geral,onda-de-frio-mata-sete-pessoas-em-sao-paulo-imp-,1057801>. Acessado em janeiro de 2017.
- MATTOS, F.L. Os dezoito casos mais intensos de friagem na Amazônia no período 1975-2009 **Anais do Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2010.
- MAYER, H., HÖPPE, P. Thermal comfort of man in different urban environments, **Theor.Appl. Clim.** 38: 43–49, 1987.
- MCGREGOR, G. R. Special issue: Universal Thermal Climate Index (UTCI). **International Journal of Biometeorology**, 56, 419. DOI 10.1007/s00484-012-0546-6, 2012.

- MENDONÇA, F., DANNI-OLIVEIRA, I.M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. Oficina de Textos, São Paulo, 2007.
- MENDONÇA, F. O Estudo do Clima Urbano no Brasil. In: Mendonça, F.; Monteiro, C.A. de F. (orgs). Clima Urbano. São Paulo: Contexto, 2003.
- MANN, H.B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica** 13, 245-259. 1945
- MONTEIRO, C.A. de F. **Teoria e clima urbano**. Série Teses e Monografias, São Paulo:USP/Igeog, n 25, 1976.
- MONTEIRO, L.M. **Modelos preditivos de conforto térmico : quantificação de relações entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para a avaliação e projeto de espaços abertos**. Tese de Doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo-USP, 382f, São Paulo-SP, 2008.
- MONTEIRO, L.M & ALUCCI, M.P. Índices de conforto térmico em espaços abertos parte 1 : revisão histórica. **Anais**, In : ENCA-ELACAC, Maceió-AL, 2005a.
- MORABITO, M.; CRISCI, A.; MORIONDO, M.; FRANCESCONI, P.; TROMBI, G.; BINDI, M.; GENSINI, G.F.; ORLANDINI, S. Air temperature-related human health outcomes : current impact and estimations of future risks in Central Italy. **Sci. Total Environment**, dec 15, 441 :28-40, 2012.
- NAVI, A.; SOUZA, D.M.; NERY, J.T. Análise do conforto térmico no município de ourinhos-SP. **Anais**, IX Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, Fortaleza-CE, 2010.
- NEDEALCOV, M.; NEDEALCOV, Z. Evaluation of thermal comfort degree in canicular days –record for the republic of Moldava’s territory. **Present environment and sustainable development**. V.6, no.1, 2012.
- NETO, J. L. **História da Climatologia no Brasil: gênese e paradigmas do clima como fenômeno geográfico**. Cadernos Geográficos. Florianópolis/SC. n 7, 2004.
- NINCE, P.C.C.; MUSIS, C.R.; BIUDES, M.S.; NOGUEIRA, J.S.; NOGUEIRA, M.C.J.A. Usos dos índices PET e UTCI na avaliação do conforto térmico no campus da UFMT em Cuiabá-MT. **Revista eletrônica em gestão, educação e tecnologia ambiental (REGET-UFSM)**. V.9, 2026-2036, 2013. DOI:10.5902/223611707707.
- NERY, J. et al. Primeira aproximação para estudo de clima urbano em Salvador. In ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4, 1997. Salvador. **Anais...** FAUFBA / LACAM; ANTAC, 1997.

- NÓBREGA, R.S., VITAL, L.A.B. Influência da urbanização sobre o microclima de Recife e formação de ilha de calor, Recife/PE, n.03, p. 151-156, 2010.
- Nove capitais bateram recordes de calor em fevereiro. Disponível em: <http://noticias.r7.com/brasil/calor-leva-a-novo-recorde-historico-de-consumo-de-energia-no-brasil-06022014>. Acessado em janeiro de 2017.
- OLIVEIRA, L.M.F.; JÚNIOR, T.Y.; FERREIRA, E.; CARVALHO, L.G.; SILVA, M.P. Zoneamento bioclimático da região sudeste do Brasil para o conforto térmico animal e humano. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v.26, n.3, p.823-831, 2006.
- OLIVEIRA, M.C.F.; SOUZA, P.F.S.; FERREIRA, M.A.V.; BARRETO, P.N.; FERREIRA, A.N.; ABREU, J.R. Climatologia e índice de conforto térmico em Belém-PA. **Anais, XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Fortaleza-CE, 2004.
- OLIVEIRA, I. M. D. A Cidade de Curitiba e a Poluição do Ar – Implicações de seus atributos urbanos e geocológicos na dispersão de poluentes em período de inverno. In: MENDONÇA, F. **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.
- OLIVEIRA, PAULO MARCOS PAIVA. **Cidade Adequada ao Clima. A forma urbana como instrumento de controle do clima urbano**. Brasília, Ed. UnB (textos universitários), 1988.
- OLGYAY, V. **Clima Y Arquitectura en Colômbia**. Universidade del Valle, Cali, Colômbia, 1968.
- OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. Second Edition. Routledge London & New York. 1987.
- OKE, T.R., 1987. **Boundary Layer Climates**. Methuen, USA. McGregor, G.R.; Nieuwolt, S. **Tropical Climatology**. John Wiley & Sons, New York, 1998.
- OKE, T.R. Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. IOM Report, *TD*. in press, **World Meteorological Organization, Geneva**, 2004.
- Onda de frio leva neve a mais de cem cidades do Sul do país. Disponível em: <http://g1.globo.com/natureza/noticia/2013/07/onda-de-frio-leva-neve-mais-de-cem-cidades-do-sul-do-pais.html>. Acessado em: janeiro de 2017.
- Onda de frio no Brasil. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/meio-ambiente/ultimas-noticias/redacao/2013/07/24/sensacao-termica-chega-a-zero-grau-em-sao-paulo-nesta-tarde-de-quarta.htm>. Acessado em: janeiro de 2017.
- ONO, H. S. P.; KAWAMURA, T.. Sensible Climates in Monsoon Asia. **International Journal of Biometeorology**, Vol. 35, nº XX, pp. 39-47, 1991.

- PADILHA, C. K. **Estagnação de massa de ar quente e seco sobre a Região Central do Brasil**, 2005, 139p., Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos-SP, 2005.
- PAPPENBERGER, F.; JENDRITZKY, G.; STAIGER, H.; DUTRA, E.; GIUSEPPE, F.; RICHARDSON, D.S.; CLOKE, H.L. Global forecasting of thermal health hazards: the skill of probabilistic predictions of the Universal Thermal Climate Index (UTCI). **International Journal Biometeorological**, 59, 311-323, 2015. DOI 10.1007/S00484-014-0843-3.
- PETALAS, K.V. **Estudo da sensação térmica e definição de limites de conforto para espaços abertos na cidade de Fortaleza, CE**, Tese de D.Sc., Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Program de Pós-Graduação em Engenharia Civil : Saneamento Ambiental, Fortaleza-CE. Disponível em [http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/501/browse?type=title&sort\\_by=1&order=ASC&rpp=20&etal=-1&null=&offset=37](http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/501/browse?type=title&sort_by=1&order=ASC&rpp=20&etal=-1&null=&offset=37). Acessado em março de 2017.
- PONGRACZ, R., BARTHOLY, J., DEZSO, Z. Remotely sensed thermal information applied urban climate analyses. **Advances in Space Research**, v. 37, p. 2191-2196, 2006.
- PSIKUTA A., FIALA D., LASCHEWSKI G., JENDRITZKY G., RICHARDS M., BLAZEJCZYK K., MEKJAVIC I., RINTAMÄKI H., DE DEAR R, HAVENITH G., 2012: Validation of the Fiala multi-node thermophysiological model for UTCI application. **International Journal Biometeorological**, 56, 443-460, 2012.
- RICARTE, R.M.D. 2012, **Climatologia de eventos de friagem no sul da região Amazônica**, Tese de D.Sc., INPE, São José dos Campos, SP, Brasil (sid.inpe.br/mtc-m19/2012/12.04.18.19-TDI).  
Rio de Janeiro bate recordes de calor. Disponível em: <http://ultimosegundo.ig.com.br/brasil/2014-02-10/rio-de-janeiro-bate-novo-recorde-de-calor.html>. Acessado em janeiro de 2017.
- RAO, B.V.; LIMA, M.C.; FRSNCHITO, S.H. Seasonal and internnual variations of rainfall over eastern northeast Brazil. **J. Clim**, V.6, P.1754-63, 1993.
- RAO, B.V.; FRANCHITO, S.H.; SANTOS, C.M.E.; GAN, M.A. Na update on the rainfall characteristics of Brazil: seasonal variations and trends in 1979-2011. **International Journal of Climatology**. 36 (1):291-302, 2016.

- RUSTICUCCI, M.; BARRUCAND, M. Climatologia de temperaturas extremas en la Argentina. Consistencia de datos. Relacion entre la temperatura media estacional y la ocurrencia de extremos. **Meteorologica**, 26: 69–84, 2001.
- RUSTICUCCI, M.; BARRUCAND, M. Observed trends and changes in temperature extremes in Argentina. **Journal of Climate**, 17: 4099–4107, 2004.
- ROOBA, S.M. Effect urbanization and industrialization processes on outdoor thermal human comfort in Egypt. **Atmospheric and Climate Sciences**. V. 1, p. 100-102, 2011.
- ROSENZWEIG, C., SOLECKI, W.D., PARSHALL, L., CHOPPING, G.P., GOLDBERG, R. Characterizing the urban heat island in current and future climates in New Jersey. **Environmental Hazards**, n. 06, p. 51-62, 2005.
- RUAS, A.C. **Sistematização da avaliação de conforto térmico em ambientes edificados e sua aplicação num software**, Tese de D.Sc., UNICAMP, São Paulo, SP, Brasil, 2002.
- RUIZ, M. A.; CORREA, E.N. Confort térmico em espacios abiertos. Comparación de modelos y su aplicabilidade em ciudades de zonas áridas. **Advances em Energias Renovables y Medio Ambiente (ASADES)**. V13, 2009. Impreso em la Argentina. ISSN 0329-5184.
- ROLIM, G.S.; CAMARGO, M.P.B.; LANIA, D.G.; MORAES, J.F.L. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. – *Bragantia* 4, 711–720, 2007.
- ROSSI, F. A.; KRÜGER, E. L.; BRÖDE, P. Definição de faixas de conforto e desconforto térmico para espaços abertos em Curitiba, PR, com o índice UTCI. *Ambiente Construído*, vol. 12 no. 1 Porto Alegre Jan/mar. 2012. On-line version ISSN 1678-8621.
- SALATI, E. e MARQUES, J. Climatology of the Amazon region. In *The Amazon - Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*. Sioli, H. (ed.). Dr. W. Junk Publishers, 763 p. 1984;
- SALVIANO, M.F.; GROppo, J.D.; PELLEGRINO, G.Q. Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 31(1), 64-73, 2016.
- SANTAMOURIS, M.; PAPANIKOLAOU, N.; LIVADA, I.; KORONAKIS, I.; GEORGAKIS, C.; ARGIRIOU, A.; ASSIMAKOPOULOS, D.N. On the impact of urban climate to the energy consumption of buildings. *Solar Energy*, 70 (3), 201–216, 2001b.

- SANTAMOURIS, M.; PARAPONIARIS, K.; MIHALAKAKOU, P. Estimating the ecological footprint of the heat island effect over Athens, Greece. *Climatic Change* 80 (3/4), 265–276, 2007a.
- SANTAMOURIS, M. Heat Island Research in Europe – The State of the Art, *Advances in Building Energy Research (ABER)*, 1 (1), pp. 123– 150, Earthscan, 2007b.
- SANTOS, J.S.; MELO, B.C.B.; ARAUJO, L.E.; MELO, E.E.C. Caracterização do campo térmico urbano e suas relações com o uso e ocupação do solo no campos central da UFPB. *Revista Brasileira de Geografia Física*, V.03, p.445-462, 2011.
- SANTOS, D.N. ; SILVA, V.P.R da. ; SOUZA, F.A.S. ; SILVA, R.A. Estudo de alguns cenários climáticos para o Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.5,0.492-500, 2010.
- SARDO, J.; PITZ, J.W.; HILLESHEIM, W.T.; PITZ, I.W.; NEVES, L.O. Análise do índice de sensação térmica para a cidade de Rio do Sul-SC. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, v. 9, n.17, p.154, Goiânia-GO, 2003.
- SATYAMURTY P. ; MATTOS L.F.; NOBRE, C.A.; SILVA, D.P.L. Tropics - South America. In : *Meteorology of the Southern Hemisphere*, Ed. Kauly, D. J. and Vincent, D. G., Meteorological Monograph. **American Meteorological Society, Boston**, 119-139, 1998.
- SERRA A. B.; RATISBONA L. As ondas de frio na Bacia Amazônica. Serviço de Meteorologia-Ministério da Agricultura, Rio de Janeiro, 1941.
- SILVA, V.P.R.; AZEVEDO, P.V.; BRITO, R.S.; CAMPOS, J.H.B.C. Evaluating the urban climate of a typically tropical city of northeastern Brazil. **Environ Monit Assess..** 2010 DOI 10.1007/s10661-008-0726-3.
- SILVA, V.P.R. On climate variability in Northeast of Brazil. *Journal of Arid Environments*, Cambridge, v.58, n.1, p.575-596, 2004.
- SILVA, V.P.R.; AZEVEDO, P.V.; SILVA, B.B. Assessment of the Human Discomfort Level and Urban Heat Island Using Automatic Weather Station Data. **Annals**, In: Conference Urban Climate, Lisbon, 2006.
- SODOUDI, S.; SHAHMOHAMADI, P.; VOLLACK, K.; CUBASCH, U.; CHE-ANI, A.I. Mitingating the Urban Heat Island Effect in Magacity Tehran. **Hidawi Publishing Corporation, Advances in Meteorology**. Article ID 547974, 19 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/547974>, V. 2014.

- SILVA, V.P.R.; AZEVEDO, P.V.; BRITO, R.S.; CAMPOS, J.H.B.C. Evaluating the urban climate of a typically tropical city of northeastern Brazil. **Environ Monit Assess**. DOI 10.1007/s10661-008-0726-3, 2010.
- SILVA, V.P.R.; AZEVEDO, P.V.; SILVA, B.B. Assessment of the Human Discomfort Level and Urban Heat Island Using Automatic Weather Station Data. **Annals**, In: Conference Urban Climate, Lisbon, 2006.
- SOBREIRA, L.C. ; LEDER, S.M. ; SILVA, F. A. G.; ROSA, P.R.O. Expansão urbana e variações mesoclimáticas em João Pessoa/PB. **Ambiente Construído**. v.11, p. 125-138, 2011.
- SUPING, Z.; GUANGLIN, M.; YANWEN, W.; JI, L. Study of the relationships between weather conditions and the marathon race, and of meteorotropic effects on distance runners. **International Journal of Biometeorology**, 36, 63-68, 1992.
- THOM, E.C. The discomfort index. **Weatherwise**, v-12, p 57-60, 1959.
- THOMPSON, S.K. Sampling. New York, Wiley-Interscience Publication, 1992. 343p.
- TSELEPIDAKI, I. ; SANTAMOURIS, M. ; MOUSTRIS, C. ; POULOPOULOU, G. Analysis of the summer discomfort index in Athens, Greece, for cooling purposes. **Energy and Buildings**. V. 18, n.1, 51-56, 1992.
- URBAN, A.; KYSELY, J. Comparison of UTCI with other thermal indices in the assessment of heat and cold effects on cardiovascular mortality in the Czech Republic. **International Journal Environment Research and Public Health**. V.11, 952-967, 2014. DOI 10.3390/ijerph110100952.
- VAREJÃO-SILVA, M.A. **Meteorologia e climatologia**. Versão Digital 2. Recife-PE, MARÇO DE 2006. Disponível em :[http://www.icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA\\_E\\_CLIMATOLOGIA\\_VD2\\_Mar\\_2006.pdf](http://www.icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf) . Acessado em maio de 2017.
- VATANI, J.; GOLBABAIEI, F.; DEHGHAN, S.F.; YOUSEFI, A. Applicability of Universal Thermal Climate Index (UTCI) in occupational heat stress assessment: a case study in brick industries. **Industrial Health**. V..54, 14-19, 2016.
- VECCHI, R. de. Condições de conforto térmico e aceitabilidade da velocidade do ar em salas de aula com ventiladores de teto para o clima de Florianópolis/SC. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 142f, Florianópolis/SC, 2011.



- YOUSIF, T.; TAHIR, H. M.M. Application of Thom's thermal discomfort index in Khartoum State, Sudan. **Journal of forest products & Industries**, V.2(5), 36-38, 2013. ISSN 2325-4513.
- YU, W.; MENGERSEN, K.; WANG, X.; YE, X.; GUO, Y.; PAN, X.; TONG, S. Daily average temperature and mortality among the elderly : a meta-analysis and systematic review of epidemiological evidence. **International Journal Biometeorological**, 56 (4), 569-81, 2012.
- WALLACE, J.M e HOBBS P.V. Atmospheric Science: An Introductory Survey. Academic Press, Inc, London, 467 pp, 1977.
- WEIHS P., STAIGER H., TINZ B., BATCHVAROVA E., RIEDER H., VUILLEUMIER L., MATURILLI M., JENDRITZKY G., 2012: The uncertainty of UTCI due to uncertainties in the determination of radiation fluxes derived from measured and observed meteorological data. **International Journal Biometeorological**, 56, 537-555, 2012.