

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**ESTRESSE TÉRMICO EM TRABALHADORES EXPOSTOS AO AR LIVRE:  
PERSPECTIVAS PARA O SÉCULO XXI**

**Plínio Marcos Bernardo de Souza**

**Mai de 2017  
Itajubá (MG)**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**Plínio Marcos Bernardo de Souza**

**ESTRESSE TÉRMICO EM TRABALHADORES EXPOSTOS AO AR LIVRE:  
PERSPECTIVAS PARA O SÉCULO XXI**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Área de Concentração: Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Orientador: Dr. Marcelo de Paula Corrêa

Coorientador: Dr. Roger Rodrigues Torres

**Maio de 2017  
Itajubá (MG)**



Ministério da Educação  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
Criada pela Lei nº 10.435, de 24 de abril de 2002

**A N E X O I**  
**FOLHA DE JULGAMENTO DA BANCA EXAMINADORA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

Título da Dissertação: **“Estresse térmico em trabalhadores expostos ao ar livre: perspectivas para o século XXI”**

Autor: **Plínio Marcos Bernardo de Souza**

**JULGAMENTO**

Examinadores	Conceito	Rubrica
	A = Aprovado - R = Reprovado - I = Insuficiente	
2º	A	
3º	A	
4º	A	

**Observações:**

- (1) O Trabalho será considerado Aprovado se todos os Examinadores atribuírem conceito A.
- (2) O Trabalho será considerado Reprovado se forem atribuídos pelos menos 2 conceitos R.
- (3) O Trabalho será considerado Insuficiente (I) se for atribuído pelo menos um conceito R. Neste caso o candidato deverá apresentar novo trabalho. A banca deve definir como avaliar a nova versão da Dissertação.

**Este documento terá a validade de 30 (trinta) dias a contar da data da defesa da Dissertação.**

Resultado Final: Conceito: A, ou seja, Aprovado

Observações: —

Itajubá, 17 de Maio de 2017

Prof. Dr. Luiz Felipe Silva  
2º Examinador - UNIFEI

Prof. Dr. Roger Rodrigues Torres  
3º Examinador (Coorientador) - UNIFEI

Prof. Dr. Marcelo de Paula Corrêa  
4º Examinador (Orientador) - UNIFEI

Dedico este trabalho a meus amados pais Pedro  
Faria de Souza e Lourdes Mirian Bernardo de  
Souza

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus.

Aos meus pais, irmãos, tios e primos pelo amor, amizade, incentivo e ajuda.

À minha namorada Karen pelo companheirismo, apoio, atenção e amor.

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Marcelo de Paula Corrêa pelo apoio, comprometimento, confiança, conselhos e conhecimento transmitido.

Ao meu coorientador e também amigo Prof. Dr. Roger Rodrigues Torres por toda ajuda, paciência, atenção, dedicação e ensinamentos.

À Profa. Dra. Fabrina Bolzan Martins por ser a primeira pessoa a incentivar e colaborar para meu ingresso no mestrado.

Aos colegas e amigos do curso de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, em especial ao Caio, ao Júlio, à Mábele e à Natana, pela amizade e pela troca de experiência.

Aos demais professores, funcionários e colegas do IRN/UNIFEI.

À família do Futsal Masculino da UNIFEI pelos momentos de lazer, diversão e amizade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro.

À Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) pela utilização de instalações e equipamentos.

Aos colaboradores diretos e indiretos deste trabalho.

A todas as pessoas que estiveram ao meu lado até os dias de hoje.

*“A verdadeira viagem de descobrimento não consiste em procurar novas paisagens, mas em ter novos olhos.”*

*Marcel Proust*

## RESUMO

A qualidade ambiental, em especial o conforto térmico, é fundamental para manter um ambiente de trabalho saudável e adequado. Com o advento das mudanças climáticas, o trabalho ao ar livre poderá sofrer uma piora em sua qualidade, gerando problemas de saúde e diminuição do desempenho do trabalhador. Por essa razão, avaliar como as mudanças climáticas influenciarão o desempenho e a saúde de trabalhadores é de fundamental importância socioeconômica. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar a influência das mudanças climáticas sobre as condições de conforto e estresse térmico de trabalhadores expostos ao ar livre. Esse estudo foi realizado com base na avaliação de oito principais índices de estresse térmico baseados em simulações numéricas a partir de projeções de dados meteorológicos fornecidos por oito modelos climáticos pertencentes ao *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5). Foram utilizados os cinco cenários presentes no quinto relatório do IPCC (AR5): o *historical*, que baseia-se na representação do período presente (1979 – 2005); e os quatro cenários futuros de forçantes climáticas, denominados RCPs, baseados em estimativas de forçantes radiativas e de concentrações de CO<sub>2</sub> para as últimas décadas desse século (2071 – 2100). A partir dessas simulações foi realizada uma análise espacial e temporal dos índices de estresse térmico para a América do Sul, com base na média anual dos períodos analisados e na média dos oito modelos avaliados e, posteriormente, uma mais específica para as cinco regiões brasileiras (Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste). Os resultados obtidos mostram que as regiões da Amazônia Internacional, Argentina, Bolívia, Paraguai e Norte da Venezuela são as que possivelmente irão sofrer mais impactos decorrentes das mudanças climáticas, uma vez que são onde as projeções indicam maiores ocorrências das categorias de maior estresse térmico, podendo chegar a mais de 70 dias ano<sup>-1</sup> no final do século XXI. As projeções no Brasil apontam que as piores condições de estresse térmico são verificadas para o cenário RCP 8.5 na região Norte, onde verifica-se condições de elevado estresse térmico em 2100. Por fim, foi feito um estudo do impacto do estresse térmico sobre capacidade de trabalho de cortadores de cana-de-açúcar, do Brasil, no final do século XXI. Estima-se que estes trabalhadores deverão ter uma redução da sua capacidade de trabalho entre 25 a 50 % no final deste século. Assim, provavelmente trabalhadores expostos ao ar livre estarão sujeitos a piores condições de estresse térmico no final do século XXI, o que poderá causar impactos sobre a saúde e na capacidade de trabalho.

Palavras-chave: Mudanças climáticas, Sensação térmica, Conforto, Índices, IPCC

## ABSTRACT

Environmental quality, especially thermal comfort, is fundamental to maintaining a healthy and adequate work environment. With the advent of climate change, outdoor work may suffer a deterioration in its quality, generating health problems and diminishing worker performance. For this reason, assessing how climate change influences the performance and health of workers is of fundamental socioeconomic importance. In this context, the objective of this work is to evaluate the influence of climatic changes on the conditions of comfort and thermal stress of outdoor workers. This study was carried out based on the evaluation of the eight main thermal stress indexes based on numerical simulations from meteorological data projections provided by eight climatic models belonging to the Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5). The five scenarios presented in the fifth IPCC report (AR5) were used: historical, which is based on the representation of the present period (1979 – 2005); And the four future scenarios of climate forcing, called CPRs, based on estimates of radiative forcing and CO<sub>2</sub> concentrations for the last decades of this century (2071 – 2100). From these simulations, a spatial and temporal analysis of the thermal stress indices for South America was performed, based on the annual average of the analyzed periods and the average of the eight models evaluated, and later, a more specific one for the five Brazilian regions (South, Southeast, Midwest, North and Northeast). The results show that the regions of the International Amazon, Argentina, Bolivia, Paraguay and Northern Venezuela are the ones most likely to suffer the greatest impacts due to climate change, since they are where the projections indicate higher occurrences of greater thermal stress categories, and can reach more than 70 days year<sup>-1</sup> at the end of the 21st century. The projections in Brazil indicate that the worst thermal stress conditions are verified for the RCP 8.5 scenario in the North region, where there is a situation of elevated thermal stress in 2100. Finally, a study of the impact of thermal stress analysis the capacity of sugarcane cutters in Brazil at the end of the 21st century. It is estimated that these workers should have a reduction in their working capacity between 25 and 50% by the end of this century. Thus, outdoor workers are likely to be subjected to worse thermal stress conditions by the end of the 21st century, which can have an impact on health and the ability to work.

Key words: Climate change, Thermal sensation, Comfort, Indexes, IPCC

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Projeções de aumento da temperatura média global de acordo com os cenários futuros de forçantes climáticas RCP 2.6 e RCP 8.5 (Fonte: Adaptado de IPCC, 2014a) ..... 30
- Figura 2** - Divisão das cinco regiões do Brasil (Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste) utilizadas neste estudo ..... 46
- Figura 3** - Média anual de ocorrência, em números de dias por ano, das categorias de índices de estresse térmico, para os dados observados (OBS) e simulados (HIST), e viés associado, ambos para o período de 1979 a 2005. I) Índice TE; II) Índice DI; III) Índice H. As imagens com as letras a-e apresentam o estresse térmico calculado para os dados observados; as com as letras f-j o estresse térmico médio entre os oito modelos climáticos do CMIP5 (dados simulados); e as com letras de k-o o viés entre o estresse térmico simulado e observado. Como o índice TE apresenta categorias para estresse térmico relativo ao frio extremo e esse trabalho visa apenas a análise de estresse pelo calor (vide Tabela 4), alguns locais não estão coloridos ou a soma das categorias não resulta 365 dias. Nesses locais os valores de desconforto e estresse pelo frio foram descartados da análise. .... 48
- Figura 4** - Média anual de ocorrência, em números de dias por ano, das categorias de índices de estresse térmico, para os dados observados (OBS) e simulados (HIST), e viés associado, ambos para o período de 1979 a 2005. IV) Índice AT; V) Índice HI; VI) Índice TEV. As imagens com as letras a-e apresentam o estresse térmico calculado para os dados observados; as com as letras f-j o estresse térmico médio entre os oito modelos climáticos do CMIP5 (dados simulados); e as com letras de k-o o viés entre o estresse térmico simulado e observado. Como o índice TEV apresenta categorias para estresse térmico relativo ao frio extremo e esse trabalho visa apenas a análise de estresse pelo calor (vide Tabela 4), alguns locais não estão coloridos ou a soma das categorias não resulta 365 dias. Nesses locais os valores de desconforto e estresse pelo frio foram descartados da análise. .... 49
- Figura 5** - Média anual de ocorrência, em números de dias por ano, das categorias de índices de estresse térmico, para os dados observados (OBS) e simulados (HIST), e viés associado, ambos para o período de 1979 a 2005. VII) Índice ESI; VIII) Índice W. As imagens com as letras a-e apresentam o estresse térmico calculado para os dados observados; as com as letras f-j o estresse térmico médio entre os oito modelos climáticos do CMIP5 (dados simulados); e as com letras de k-o o viés entre o estresse térmico simulado e observado. .... 50
- Figura 6** - Projeções de ocorrência, em números de dias por ano, das categorias de índices de estresse térmico (2071 – 2100), para os quatro cenários RCPs. I) Índice TE; II) Índice DI; III)

Índice H. As imagens com as letras a-e, f-j, k-o e p-t mostram as projeções de estresse térmico para os cenários RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5, respectivamente. Para o índice TE, alguns locais da América do Sul, como a região Sul, não estão coloridos pois não apresentam valores apenas para as cinco categorias adotadas, mas também para as que foram excluídas. 55

**Figura 7** - Projeções de ocorrência, em números de dias por ano, das categorias de índices de estresse térmico (2071 – 2100), para os quatro cenários RCPs. IV) Índice AT; V) Índice HI; VI) Índice TEV. As imagens com as letras a-e, f-j, k-o e p-t mostram as projeções de estresse térmico para os cenários RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5, respectivamente. Para o índice TEV, alguns locais da América do Sul, como a região Sul, não estão coloridos pois não apresentam valores apenas para as cinco categorias adotadas, mas também para as que foram excluídas. .... 56

**Figura 8** - Projeções de ocorrência, em números de dias por ano, das categorias de índices de estresse térmico (2071 – 2100), para os quatro cenários RCPs. VII) Índice ESI; VIII) Índice W. As imagens com as letras a-e, f-j, k-o e p-t mostram as projeções de estresse térmico para os cenários RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5, respectivamente. .... 57

**Figura 9** - Projeções de ocorrência, em proporção de dias no ano, das categorias 3 e 4 de cada índice de estresse térmico e de cada modelo climático, para a região Norte do Brasil, até o final do século XXI, de acordo com os quatro cenários RCPs. O eixo x representa os anos do período de 2006 a 2100 e o eixo y representa os índices de estresse térmico de cada modelo 61

**Figura 10** - Projeções de ocorrência, em proporção de dias no ano, das categorias 3 e 4 de cada índice de estresse térmico e de cada modelo climático, para a região Centro-Oeste do Brasil, até o final do século XXI, de acordo com os quatro cenários RCPs. O eixo x representa os anos do período de 2006 a 2100 e o eixo y representa os índices de estresse térmico de cada modelo ..... 62

**Figura 11** - Projeções de ocorrência, em proporção de dias no ano, das categorias 3 e 4 de cada índice de estresse térmico e de cada modelo climático, para a região Nordeste do Brasil, até o final do século XXI, de acordo com os quatro cenários RCPs. O eixo x representa os anos do período de 2006 a 2100 e o eixo y representa os índices de estresse térmico de cada modelo ..... 63

**Figura 12** - Projeções de ocorrência, em proporção de dias no ano, das categorias 3 e 4 de cada índice de estresse térmico e de cada modelo climático, para a região Sudeste do Brasil, até o final do século XXI, de acordo com os quatro cenários RCPs. O eixo x representa os anos do período de 2006 a 2100 e o eixo y representa os índices de estresse térmico de cada modelo ..... 64

<b>Figura 13</b> - Projeções de ocorrência, em proporção de dias no ano, das categorias 3 e 4 de cada índice de estresse térmico e de cada modelo climático, para a região Sul do Brasil, até o final do século XXI, de acordo com os quatro cenários RCPs. O eixo x representa os anos do período de 2006 a 2100 e o eixo y representa os índices de estresse térmico de cada modelo	65
<b>Figura 14</b> - Projeções de ocorrência das categorias 3 e 4 dos índices de estresse térmico para a região Norte do Brasil, até o final do século XXI, com base nos quatro cenários RCPs .....	68
<b>Figura 15</b> - Projeções de ocorrência das categorias 3 e 4 dos índices de estresse térmico para a região Centro-Oeste do Brasil, até o final do século XXI, com base nos quatro cenários RCPs .....	69
<b>Figura 16</b> - Projeções de ocorrência das categorias 3 e 4 dos índices de estresse térmico para a região Nordeste do Brasil, até o final do século XXI, com base nos quatro cenários RCPs .	70
<b>Figura 17</b> - Projeções de ocorrência das categorias 3 e 4 dos índices de estresse térmico para a região Sudeste do Brasil, até o final do século XXI, com base nos quatro cenários RCPs ...	71
<b>Figura 18</b> - Projeções de ocorrência das categorias 3 e 4 dos índices de estresse térmico para a região Sul do Brasil, até o final do século XXI, com base nos quatro cenários RCPs .....	72
<b>Figura 19</b> - Estimativa da produção de cana-de-açúcar por estado em dezembro/2016 (CONAB, 2016).....	75
<b>Figura 20</b> - Mapeamento da cana-de-açúcar no Brasil (CONAB, 2016) .....	76

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Índices de estresse térmico utilizados neste estudo bem como suas referências....	25
<b>Tabela 2</b> - Lista dos modelos climáticos utilizados neste estudo, contendo o centro de pesquisa e a resolução horizontal (graus de latitude/longitude) aproximada .....	35
<b>Tabela 3</b> - Resumo dos índices de estresse térmico e as variáveis ambientais que cada um deles considera.....	36
<b>Tabela 4</b> - Sensação térmica e grau de estresse fisiológico para cada categoria do TE (FANGER, 1972).....	37
<b>Tabela 5</b> - Nível de desconforto gerado por cada categoria do DI (THOM, 1959).....	38
<b>Tabela 6</b> - Relação entre as categorias do índice H e a sensação térmica gerada por elas (ENVIRONMENT AND CLIMATE CHANGE CANADA, 2016) .....	38
<b>Tabela 7</b> - Grau de estresse térmico gerado por cada categoria do índice AT (ZHAO et al., 2015).....	39
<b>Tabela 8</b> - Categorias do HI e seus respectivos efeitos no corpo (NOAA, 2015) .....	40
<b>Tabela 9</b> - Estresse térmico proveniente de cada categoria do ESI (ZHAO et al., 2015).....	41
<b>Tabela 10</b> - Grau de estresse térmico gerado por cada categoria do índice W (ZHAO et al., 2015).....	42
<b>Tabela 11</b> - Categorias de cada índice de estresse térmico utilizadas nesse estudo .....	44
<b>Tabela 12</b> - Resumo das categorias de estresse térmico de cada índice que são predominantemente subestimadas (cor azul) ou superestimadas (cor vermelha), pela simulação dos oito modelos climáticos do CMIP5, no clima presente (1979 – 2005), nas regiões da América do Sul que apresentaram elevados valores de viés .....	53
<b>Tabela 13</b> - Resumo das categorias de cada índice de estresse térmico em que as projeções dos oito modelos climáticos do CMIP5 indicam, predominantemente, aumento (cor vermelha) ou diminuição (cor azul) no clima futuro (2071 – 2100) .....	58
<b>Tabela 14</b> - Média $\pm$ desvio padrão (Mediana), em % de dias ano <sup>-1</sup> de ocorrência das categorias 3 e 4, para as cinco regiões brasileiras e para os cenários RCPs, em 2100, considerando todos os índices e modelos climáticos.....	73

## LISTA DE ABREVEATUAS E SIGLAS

ABOM	<i>Australian Bureau of Meteorology</i>
AR	<i>Assessment Reports</i>
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
AT	<i>Apparent Temperature</i>
CAT0	Categoria 1
CAT1	Categoria 2
CAT2	Categoria 3
CAT3	Categoria 4
CAT4	Categoria 5
CDO	<i>Climate Data Operators</i>
CFC	Clorofluorcarbonos
CMIP5	<i>Coupled Model Intercomparison Project Phase 5</i>
CO	Contro-Oeste
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
DI	<i>Discomfort Index</i>
DKRZ	<i>Deutsche Klimarechenzentrum</i>
ENOS	El Niño Oscilação Sul
ESGF	<i>Earth System Grid Federation</i>
ESI	<i>Environmental Stress Index</i>
GEE	Gases de Efeito Estufa
GrADS	<i>Grid Analysis and Display System</i>
H	<i>Humidex Index</i>
HI	<i>Heat Index</i>
IBUTG	Índice de Bulbo Úmido Temperatura de Globo
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
NE	Nordeste
NHO	Norma de Higiene Ocupacional
NO	Norte
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
NR	Norma Regulamentadora

PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
RCPs	<i>Representative Concentration Pathways</i>
RS	Radiação Solar
SE	Sudeste
SU	Sul
TA	Temperatura do Ar
TE	Índice de Temperatura Efetiva
TEV	Índice de Temperatura Efetiva em função do Vento
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
UNICA	União da indústria de cana-de-açúcar
UR	Umidade Relativa
V	Velocidade do Vento
W	<i>Simplified WBGT</i>
WBG	<i>Wet Bulb Globe Thermometer</i>
WFDEI	<i>WATCH-Forcing-Data-ERA-Interim</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

$CH_4$	Metano
$CO_2$	Gás carbônico
$C_{RES}$	Perda de calor sensível pela respiração, por convecção
$C_{SK}$	Perda de calor sensível pela pele, através da convecção
$e_a$	Pressão de vapor de água
$E_{RES}$	Perda de calor latente pela respiração, através da evaporação
$E_{SK}$	Perda de calor latente pela pele, através da evaporação
$hur$	Umidade relativa do ar
$M$	Taxa metabólica de produção de calor
$N_2O$	Óxido nitroso
$O_3$	Ozônio
$PSurf$	Pressão em superfície
$Q_{air}$	Umidade específica
$Q_{RES}$	Taxa total de perda de calor pela respiração
$Q_{SK}$	Taxa total de perda de calor pela pele
$rsds$	Radiação solar
$R_{SK}$	Perda de calor sensível pela pele, por irradiação
$SWdown$	Radiação solar de onda curta
$T_{air}$	Temperatura do ar
$tas$	Temperatura do ar
$TD$	Temperatura do ponto de orvalho
$T_0$	Temperatura de referência
$uas$	Componente de velocidade zonal
$vas$	Componente de velocidade meridional
$W$	Trabalho mecânico desenvolvido pelo corpo
$Wind$	Velocidade do ar

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>20</b>
2.1 Conforto e estresse térmico.....	20
2.2 Índices de estresse térmico .....	24
2.3 Mudanças climáticas.....	25
2.4 O efeito das mudanças climáticas na saúde e na produtividade .....	31
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>34</b>
3.1 Descrição da região de estudo e dos dados utilizados .....	34
3.2 Estimativa do estresse térmico.....	36
3.2.1 Índice de Temperatura Efetiva / <i>Effective Temperature Index</i> (TE) .....	37
3.2.2 Índice de Desconforto / <i>Discomfort Index</i> (DI).....	37
3.2.3 Índice Humidex / <i>Humidex Index</i> (H).....	38
3.2.4 Temperatura Aparente / <i>Apparent Temperature</i> (AT).....	39
3.2.5 Índice de Calor / <i>Heat Index</i> (HI) .....	39
3.2.6 Índice de Temperatura Efetiva em função do Vento / <i>Effective Temperature according to the Wind</i> (TEV) .....	40
3.2.7 Índice de Estresse Ambiental / <i>Environmental Stress Index</i> (ESI).....	40
3.2.8 WBGT Simplificado / <i>Simplified WBGT</i> (W) .....	41
3.3 Descrição do método de pesquisa .....	42
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>47</b>
4.1 Simulação do estresse térmico observado e vieses associados .....	47
4.2. Projeções de estresse térmico para a América do Sul.....	54
4.3 Projeções de estresse térmico para o Brasil .....	60
4.4 Impacto do estresse térmico sobre a capacidade de trabalho de cortadores de cana-de-açúcar do Brasil no final do século XXI.....	74
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>79</b>
<b>6 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>82</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios o homem utiliza o ambiente ao ar livre como meio de sobrevivência e sustento. Com o desenvolvimento da tecnologia o homem deixou de trabalhar apenas no campo e passou, também, a laborar em ambientes fechados, tais como as indústrias e escritórios. Dessa forma, a busca pelo aumento da produtividade, tanto no ambiente externo quanto no interno, fez com que trabalhadores fossem, por vezes, submetidos a um processo acelerado e desumano de produção e, então, o homem passou a se deparar com novos problemas de saúde relacionados às atividades laborais. Esses problemas estão diretamente relacionados aos fatores ambientais de risco no ambiente de trabalho, tais como o calor, a vibração e o ruído (CHENG et al., 2012).

Dentre os fatores ambientais que mais prejudicam o trabalhador, a temperatura elevada é um dos principais, pois, atuando com outras variáveis, tais como a umidade e a radiação solar, pode causar redução da fertilidade masculina, exaustão, câimbras, diminuição do grau de concentração e da produtividade, fadiga, dor de cabeça e até morte (BATIZ et al., 2009; DJONGYANG; TCHINDA; NJOMO, 2010; LIDA, 2005). As diferentes relações entre a temperatura e outras variáveis ambientais, como vento, umidade relativa do ar e radiação solar, podem levar a situações cotidianas de estresse em locais de trabalho. Exposições a situações de estresse por longos períodos podem trazer maiores riscos à saúde humana.

No início do século XIX, pesquisadores começaram a estudar a sensação térmica em ambiente de trabalho e o que esta condição implicava para a saúde humana, visando proporcionar um local mais adequado para os trabalhadores (JUNIOR et al., 2012). Os principais parâmetros para se avaliar a sensação térmica e seus impactos sobre a saúde humana foram denominados de conforto térmico e estresse térmico. O primeiro ocorre quando o indivíduo sente-se bem e confortável no ambiente em que está inserido. Já o segundo, acontece quando há desconforto por exposição a condições adversas, e que podem trazer impactos negativos para a saúde (LAMBERTS, 2011).

Uma das maneiras de estimar o conforto/estresse térmico é por meio do uso de índices matemáticos (PALLOTTA; HERDIES; GONÇALVES, 2015). Estes índices foram desenvolvidos no início do século XX com o objetivo de estimar a sensação térmica das pessoas em determinados ambientes e o que ela poderia causar para a saúde (RUAS, 2001). Tal ferramenta depende de variáveis ambientais e fisiológicas, sendo que os índices mais simples são aqueles que consideram apenas as variáveis ambientais em seu cálculo, já que são mais fáceis de determinar e podem ser encontradas em estações coletoras de dados

meteorológicos (MORAN et al., 2001). As principais delas são a temperatura do ar, a umidade relativa, a radiação solar e a velocidade do vento (DJONGYANG; TCHINDA; NJOMO, 2010; LAMBERTS, 2011; RUAS, 2001). As variáveis fisiológicas estão relacionadas ao funcionamento do organismo (LAMBERTS, 2011) e são de difícil mensuração e imprecisas uma vez que variam de indivíduo para indivíduo (PALLOTTA; HERDIES; GONÇALVES, 2015). A atividade desempenhada (metabolismo) e a vestimenta utilizada são as principais delas (LAMBERTS, 2011). As variáveis ambientais e fisiológicas são importantes na determinação da sensação térmica, pois influenciam os mecanismos de troca térmica entre o corpo humano e o ambiente (LAMBERTS, 2011). A facilidade ou dificuldade da troca térmica é que causa a sensação de conforto ou estresse (desconforto) térmico.

As mudanças climáticas também podem influenciar o conforto e aumentar a possibilidade de estresse, uma vez que elas devem alterar a magnitude das variáveis ambientais, acarretando na mudança da sensação térmica. As mudanças climáticas são praticamente um consenso da comunidade científica internacional (PBMC, 2014). Elas já trazem e ainda poderão trazer maiores alterações nos padrões meteorológicos atuais, provocando, entre outras coisas, aumento de eventos climáticos extremos com consequentes impactos às populações (IPCC, 2014a). Em virtude dessas alterações, possivelmente os trabalhadores estarão expostos a ambientes de trabalho de pior qualidade. Por exemplo, atividades laborais em ambientes mais quentes e úmidos, ou mais frios e secos, acarretam maior probabilidade de desenvolvimento de problemas de saúde e diminuição de seus desempenhos. Isto é, fatores que estão diretamente relacionados às condições de conforto (KJELLSTROM; HOLMER; LEMKE, 2009).

Assim, conhecer como tais mudanças podem influenciar o desempenho e a saúde de trabalhadores expostos ao ar livre é de fundamental importância socioeconômica. Avanços nessa área do conhecimento podem oferecer uma contribuição importante para o entendimento da influência das mudanças climáticas em trabalhadores expostos e, assim, fornecer subsídios para medidas que visem diminuir este impacto.

Dada a problemática supracitada, este trabalho tem como objetivo geral avaliar a possível influência das mudanças climáticas sobre as condições de conforto e estresse térmico de trabalhadores expostos ao ar livre em diferentes localidades da América do Sul, para o século XXI. Os objetivos específicos são:

- Realizar um teste de sensibilidade de diferentes índices de estresse térmico disponíveis na literatura;

- Estimar o efeito das variações do estresse térmico sobre a capacidade de trabalho de um grupo específico de trabalhadores; e,
- Propor ações que visam mitigar os impactos dessas variações em condições climáticas desfavoráveis.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Conforto e estresse térmico

No início de sua existência, o homem procurou as cavernas para se abrigar do sol e da chuva. Intuitivamente, ele já aprendia a se proteger das agressões geradas pelo meio (RUAS, 1999). Em 400 a.C., Hipócrates já havia descrito qualitativamente as principais variáveis que influenciam no conforto térmico, sendo elas a temperatura, a umidade, o vento e a radiação solar (WEBB, 1959). Com o passar dos anos, devido aos agentes climáticos e novas condições decorrentes da Revolução Industrial, surgiram fatores ambientais de risco no ambiente de trabalho externo e interno, sendo um deles as elevadas temperaturas. Diante da preocupação sobre os agravos que as elevadas temperaturas poderiam causar nos trabalhadores, durante o século XVIII foram levantadas opiniões sobre a sensação térmica nos ambientes de trabalho, porém estas foram consideradas evasivas por não serem consideradas importantes (MONTEIRO; ALUCCI, 2007).

Somente no início do século XIX, na Europa, que os primeiros estudos relacionados ao conforto e ao estresse térmico passaram a ser desenvolvidos. Esses estudos foram motivados pelos frequentes acidentes e problemas de saúde entre os trabalhadores da indústria metalúrgica e têxtil, devido principalmente à exposição às altas temperaturas em ambientes de trabalho fechados (JUNIOR et al., 2012). Porém, métodos capazes de medir as variáveis e correlacioná-las com a sensação térmica das pessoas foram desenvolvidos apenas no início do século XX, impulsionado, em parte, pelo advento do sistema de ar condicionado, quando foi possível controlar o microclima do ambiente interno (FABBRI, 2015; MONTEIRO e ALUCCI, 2007). Desde então o conforto e o estresse térmico têm sido estudados em diferentes partes do mundo e em diferentes tipos de ambientes, sendo que o grande desafio é o de encontrar e ponderar as variáveis que os influenciam (RUAS, 1999).

De acordo com a organização Internacional para Padronização (do inglês, *International Organization for Standardization* – ISO) número 7730 e a Associação Americana de Engenheiros de Aquecedores, Refrigeradores e Ar Condicionado (do inglês, *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* – ASHRAE), o conforto térmico é definido como a condição da mente em que é expressa a satisfação com o ambiente térmico (ASHRAE, 2004; ISO 7730, 2005). No entanto, esta definição pode ser considerada ambígua, uma vez que deixa o significado de condição da mente e satisfação em aberto, já que um ambiente termicamente confortável para uma pessoa pode ser quente ou frio

para outra (CASTILLA et al., 2011). Assim, entende-se que a condição de conforto é aquela que proporciona o bem-estar para o maior número de pessoas possível (RUAS, 1999). Já a palavra estresse pode ser definida como o “conjunto de reações do organismo a agressões de ordem física, psíquica, infecciosa, e outras, capazes de perturbar a homeostase; estricção” (FERREIRA, 1975). Portanto, o termo estresse térmico pode ser entendido como o resultado do desequilíbrio do balanço térmico.

Na literatura, existe grande confusão quanto ao uso dos termos conforto e estresse térmico, uma vez que, embora as definições das palavras sejam diferentes, suas aplicações se fazem semelhantes. Como o desconforto é a “falta de conforto, o desconsolo, a aflição” (FERREIRA, 1975) pode-se dizer que as palavras estresse e desconforto podem ser interpretadas como sinônimas. Portanto, é possível afirmar que quando uma pessoa não está confortável ela pode sofrer estresse térmico, por menor e menos impactante que ele seja.

Assim, deve-se utilizar o termo conforto térmico quando o objetivo for analisar em quais condições o indivíduo sente-se termicamente bem. Quando o objetivo for o de identificar possíveis impactos à saúde deve-se utilizar o termo estresse térmico. Neste estudo, os termos em questão serão utilizados de acordo com as definições mencionadas.

Não existe um padrão absoluto para a sensação de conforto térmico, mas, no geral, ela ocorre quando a temperatura do corpo e a umidade da pele estão dentro de estreitas faixas de valores e quando o esforço fisiológico é minimizado (DJONGYANG; TCHINDA; NJOMO, 2010). Ruas (2001) é mais abrangente ao afirmar que a sensação de conforto ocorre quando há equilíbrio no balanço térmico. Todavia, quando o calor gerado pelo corpo é diferente do calor perdido pelo mesmo, o desconforto, ou seja, o estresse térmico ocorre.

O organismo humano é uma espécie de máquina térmica que dispõe de um sistema termorregulador que controla as variações térmicas internas (LAMBERTS, 2011). No processo metabólico, o homem produz energia a partir da queima de açúcares, gorduras e proteínas (LIDA, 2005). Essa energia é consumida na manutenção das funções vitais do organismo (metabolismo) e na realização de trabalho mecânico (atividade muscular), sendo a restante liberada para o meio na forma de calor através da respiração e pela pele (RUAS, 1999).

O ser humano é homeotérmico, isto é, um organismo cuja temperatura interna é praticamente constante, aproximadamente, 37 °C, podendo oscilar  $\pm 2$  °C (LIDA, 2005). Para que uma pessoa esteja em condições de conforto térmico, pequenas variações nessa temperatura interna são admitidas. Porém, para temperaturas fora dessa estreita faixa, há

estresse térmico que, em situações extremas, pode causar a morte (LAMBERTS, 2011; LIDA, 2005).

Assim, para que o corpo esteja em uma condição de equilíbrio térmico, ou seja, de conforto, a energia gerada não utilizada deve ser dissipada (RUAS, 1999). A equação que descreve o equilíbrio térmico entre o corpo humano e o ambiente é representada na equação 1 (LAMBERTS, 2011).

$$M - W = Q_{SK} + Q_{RES} \quad (1)$$

na qual:

- $M$  é a taxa metabólica de produção de calor ( $W m^{-2}$ );
- $W$  é o trabalho mecânico desenvolvido pelo corpo ( $W m^{-2}$ );
- $Q_{SK}$  é a taxa total de perda de calor pela pele ( $W m^{-2}$ ); e,
- $Q_{RES}$  é a taxa total de perda de calor pela respiração ( $W m^{-2}$ ).

As taxas de perda de calor pela pele ( $Q_{SK}$ ) e pela respiração ( $Q_{RES}$ ) podem ser expressas através dos mecanismos de troca térmica que permitem que elas ocorram, sendo os principais a evaporação, a convecção e a irradiação (RUAS, 1999).

A evaporação ocorre nos pulmões e na superfície da pele. Quando o corpo necessita regular sua temperatura interna, o organismo intensifica a atividade das glândulas sudoríparas, produzindo o suor que é então evaporado (RUAS, 1999). Não é a produção de suor que contribui para remover o calor do corpo, mas sim a sua evaporação. Segundo Lida (2005), a quantidade do calor eliminado pela evaporação depende, principalmente, da umidade relativa do ar (UR) e da velocidade do vento no ambiente. Quanto menor a UR, mais seco o ambiente está e, assim, a evaporação do suor é facilitada. A evaporação é quase nula em dias onde a umidade relativa estiver próxima da saturação, ou seja, UR ~ 100 %. A velocidade do vento atua de maneira a retirar a camada de ar saturada próxima à pele, substituindo por outras menos saturadas, favorecendo a evaporação do suor. Assim, quanto maior a velocidade do vento melhor é a remoção do calor do corpo e, portanto, maior a evaporação.

A convecção atua de maneira a retirar a camada de ar quente próxima à pele e substituí-la por uma camada mais fria, de forma que o ar saturado não se mantenha próximo à pele, aumentando a evaporação do suor. Este mecanismo de remoção de calor depende basicamente da temperatura do ar e da velocidade do vento (LAMBERTS, 2011). Quando a temperatura do ar é igual à da pele, não há troca térmica. Quando a temperatura do ar é maior que a da pele, o ar cede calor para o corpo. E quando o contrário acontece, ou seja, a

temperatura do ar é menor que a de pele, ocorre troca térmica, com o calor sendo transferido do corpo para o ar. A velocidade do vento atua da mesma maneira explicada para o mecanismo de evaporação; ou seja, retira a camada mais quente da superfície da pele trocando-a por outra mais fria, proporcionando o movimento de convecção.

Por fim, a irradiação é o processo pelo qual o corpo troca energia com os objetos ao seu redor. Desta maneira, ela depende da temperatura dos objetos próximos ao corpo. Assim, quando a temperatura dos objetos é maior que a temperatura do corpo, eles transferem energia (calor) para o corpo. Quando o contrário acontece, o corpo irradia calor para os objetos (LIDA, 2005).

Desta forma, diante da influência dos mecanismos de troca térmica apresentados sob a remoção de calor pelo corpo humano, a equação do equilíbrio térmico (1) pode ser reescrita de acordo com a equação 2 (LAMBERTS, 2011):

$$M - W = (C_{SK} + R_{SK} + E_{SK}) + (C_{RES} + E_{RES}) \quad (2)$$

na qual:

- $C_{SK}$  é a perda de calor sensível pela pele por convecção ( $W m^{-2}$ );
- $R_{SK}$  é a perda de calor sensível pela pele por irradiação ( $W m^{-2}$ );
- $E_{SK}$  é a perda de calor latente pela pele por evaporação ( $W m^{-2}$ );
- $C_{RES}$  é a perda de calor sensível pela respiração por convecção ( $W m^{-2}$ ); e,
- $E_{RES}$  é a perda de calor latente pela respiração por evaporação ( $W m^{-2}$ ).

De acordo com o exposto, pode-se afirmar que os mecanismos de troca térmica são afetados por fatores que, conseqüentemente, influenciam o conforto térmico. Segundo Ruas (2001), estes fatores podem ser de natureza ambiental e fisiológica (pessoal). Os de natureza ambiental são a temperatura e a umidade do ar, a velocidade do vento e a temperatura radiante média, e os de natureza fisiológica são a atividade desempenhada (metabolismo) e a vestimenta utilizada (DJONGYANG; TCHINDA; NJOMO, 2010; LAMBERTS, 2011; RUAS, 2001).

A atividade desempenhada por uma pessoa está relacionada à energia que o corpo utiliza para mantê-lo funcionando. Alta taxa metabólica associada a climas mais quentes e úmidos proporcionam estresse térmico mais severo, onde é necessário que haja dissipação do calor para que a sensação térmica se estabilize a níveis adequados. Por essa razão, a evaporação e a convecção são os mecanismos de troca térmica mais importantes. Já a vestimenta utilizada atua de maneira a dificultar a troca térmica entre o corpo e o meio, já que

ela funciona como uma barreira. Ela irá atuar nos principais mecanismos de troca térmica, ou seja, evaporação, convecção e radiação. Quanto maior a resistência térmica das roupas (roupas que propiciam maior isolamento), mais difícil será a troca térmica.

Assim, pode-se resumir que o conforto térmico é importante por três fatores (LAMBERTS, 2011):

- satisfação do ser humano em sentir-se termicamente confortável;
- elevação da performance humana (produtividade); e,
- conservação da energia, já que um ambiente confortável termicamente dispensa o uso de energia extra para torná-lo confortável.

## 2.2 Índices de estresse térmico

A mesma abordagem realizada na seção anterior também vale para esta. Como existe confusão na literatura entre os termos conforto térmico e estresse térmico, o mesmo se estende para seus respectivos índices. Há trabalhos que usam o mesmo índice, porém em um é considerado de conforto, enquanto em outro de estresse térmico (BUZAN et al., 2015; RANA et al., 2013; THOM, 1959; ZHAO et al., 2015).

Desta forma, de modo a empregar a expressão mais adequada para este estudo, optou-se por utilizar o termo índice de estresse térmico no lugar de índice de conforto térmico. Como o objetivo está em avaliar os impactos das mudanças climáticas sobre a sensação térmica e os consequentes impactos sobre a saúde e desempenho de trabalhadores expostos ao ar livre, conclui-se que tais índices estão relacionados ao estresse e não, simplesmente, ao conforto.

Cada um deles utiliza maneiras diferentes para determinar o estresse térmico, pois empregam variáveis e ponderações diferentes (CHEUNG; HART, 2014; MORAN et al., 2001). Cada índice possui suas especificidades, já que envolvem diferentes variáveis ambientais e alguns são válidos apenas para determinados intervalos de valores das variáveis que eles envolvem. Como já observado, existem índices que consideram apenas as variáveis ambientais em seu cálculo e outros que também consideram as variáveis fisiológicas. Os primeiros são de simples determinação já que as variáveis que eles utilizam são mais fáceis de serem mensuradas. Já os últimos são mais complexos, uma vez que também dependem do comportamento humano para sua obtenção. As variáveis ambientais mais utilizadas para o cálculo dos índices de estresse térmico são a temperatura e a umidade do ar, a velocidade do vento e a radiação solar, já que estas são as que possuem maior influência sobre os

mecanismos de troca térmica; por outro lado, as variáveis fisiológicas mais usadas são a atividade desempenhada pelo indivíduo e sua vestimenta.

A maior parte dos índices de estresse existentes é empregada para ambientes fechados embora haja uma relevante produção para ambientes externos (DJONGYANG; TCHINDA; NJOMO, 2010; MONTEIRO; ALUCCI, 2007). Isso acontece porque em ambientes fechados as condições climáticas internas são mais fáceis de serem controladas, principalmente através do uso de sistemas de condicionamento térmico (MONTEIRO; ALUCCI, 2010). Já em espaços abertos, há menor controle para condicionamento das variáveis climáticas (VILELA et al., 2014). De acordo com Monteiro e Alucci (2010), a falta de condicionamento traz certas especificidades, tais como: necessidade de consideração do ganho de radiação solar, importância da ação do vento, baixo controle das variáveis temperatura e umidade devido ao transporte de massas de ar causadas pelo vento e consideração das diferenças de indivíduos e atividades.

Alguns dos índices mais utilizados para ambientes externos, e utilizados nesse trabalho, dependem apenas de variáveis ambientais e são apresentados na tabela 1.

**Tabela 1** - Índices de estresse térmico utilizados neste estudo bem como suas referências

<b>Índice de Estresse Térmico</b>	<b>Referência</b>
Índice de Temperatura Efetiva/ <i>Effective Temperature Index (TE)</i>	Missenard (1937)
Índice de Desconforto/ <i>Discomfort Index (DI)</i>	Thom (1959)
Índice Humidex/ <i>Humidex Index (H)</i>	Masterton; Richardson (1979)
Temperatura Aparente/ <i>Apparent Temperature (AT)</i>	Steadman (1984)
Índice de Calor/ <i>Heat Index (HI)</i>	Rothfusz (1990)
Índice de Temperatura Efetiva em função do Vento/ <i>Effective Temperature according to the wind (TEV)</i>	Suping et al. (1992)
Índice de Estresse Ambiental/ <i>Environmental Stress Index (ESI)</i>	Moran et al. (2001)
WBGT Simplificado/ <i>Simplified WBGT (W)</i>	ABOM (2010)

O índice de estresse térmico é classificado em categorias estabelecidas de modo a inferir a sensação térmica experimentada por um indivíduo (DJONGYANG; TCHINDA; NJOMO, 2010). O Índice de Calor ainda traz possíveis agravos à saúde em função da sensação de desconforto experimentada.

### 2.3 Mudanças climáticas

A partir da Revolução Industrial, iniciada em 1760, o homem passou a utilizar a queima de combustíveis fósseis em grande escala para produzir trabalho mecânico para

movimentar máquinas e aumentar a produção industrial. No entanto, foi na década de 1980 que pesquisadores começaram a alertar a comunidade sobre a alta concentração de gases emitidos a partir da queima de combustíveis fósseis, os chamados Gases de Efeito Estufa (GEE). Os GEE vêm aumentando em concentração na atmosfera, causando o aquecimento do planeta (ARTAXO; COUTINHO, 2015). Esta descoberta passou a preocupar a população mundial e cientistas e governantes foram estimulados a pesquisar e discutir sobre o tema. O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (do inglês, *Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*) surgiu em 1988 com o objetivo de compilar as informações encontradas pelos cientistas de todo o mundo, proporcionando um maior entendimento sobre o assunto (MARENGO, 2014).

De acordo com o IPCC (2014a) as mudanças climáticas são definidas como

As mudanças no estado do clima que podem ser identificadas por alterações na média e/ou variabilidade de suas propriedades, e que persistem por um longo período de tempo, geralmente durante décadas ou mais tempo. Refere-se a qualquer mudança no clima, seja devido à variabilidade natural ou como resultado da atividade humana.

Já a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (do inglês, *United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC*) define mudanças climáticas como

Uma mudança de clima atribuível, direta ou indiretamente, à atividade humana que altera a composição da atmosfera global e seja adicional à variabilidade natural do clima observada ao longo de períodos comparáveis de tempo (UNFCCC, 1992).

As mudanças climáticas ocorrem tanto por causas naturais quanto humanas (antropogênicas). As causas naturais compreendem as variações das emissões de radiação solar, variações dos parâmetros orbitais terrestres, variações da composição da atmosfera e estrutura da superfície terrestre causadas por atividades vulcânicas e colisão de meteoritos e cometas, variações no El Niño Oscilação Sul (ENOS), variações na circulação termohalina, variações dos raios cósmicos e tectonismo (IPCC, 2014a; OLIVEIRA; VECCHIA, 2013).

Garcia et al. (2015) destacam que existem três causas naturais fundamentais para a ocorrência das mudanças climáticas:

1. Mudanças na atividade solar: altera a quantidade de radiação que a Terra recebe, podendo aumentar ou diminuir a temperatura do planeta;
2. Mudanças na órbita da Terra: altera a quantidade e a distribuição da energia solar recebida pela Terra. Essas mudanças são cíclicas e chamadas de Ciclos de Milankovitch;
3. Movimentação nas placas tectônicas: pode modificar oceanos e montanhas que acabam alterando o trajeto de correntes oceânicas e perturbando o fluxo atmosférico.

As causas humanas estão principalmente relacionadas ao aumento das emissões dos GEE, emissões de aerossóis e alteração do uso do solo (IPCC, 2014a; OLIVEIRA; VECCHIA, 2013).

Oliveira e Vecchia (2013) destacam que as atividades humanas, tais como a queima de combustíveis fósseis e desmatamento, resultam na emissão de quatro principais GEE: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e halocarbonos [gases que contêm cloro, flúor e bromo, como os clorofluorcarbonos (CFC)]. Outros GEE, como o vapor d'água e o ozônio (O<sub>3</sub>) também contribuem para a retenção de radiação infravermelha (radiação de onda longa) na atmosfera, sendo que o primeiro é considerado o principal responsável pelo efeito estufa (CONTI, 2005).

Todas as mudanças do clima, sejam elas naturais ou antrópicas, apresentam riscos para o sistema natural e humano. De acordo com o IPCC (2014a), há 95 % de confiança que o aquecimento global verificado nos últimos 50 anos está ocorrendo devido às atividades humanas, já que, entre outros motivos, elas ocorrem de forma mais acentuada e em uma escala de tempo menor que as mudanças naturais.

As alterações climáticas têm causado muitos impactos nos seres vivos, colocando-os sob diversos riscos. Para mostrar os principais impactos decorrentes das mudanças climáticas no planeta, o IPCC publica, desde 1990, relatórios de avaliação (do inglês, *Assessment Reports* – AR). Até hoje foram elaborados cinco relatórios, sendo o último deles o AR5, publicado em 2013/2014. O Brasil, através do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), realiza um estudo análogo ao IPCC, mas focado nos impactos decorrentes das mudanças climáticas sobre diferentes regiões brasileiras (PBMC, 2014).

Para estimar as projeções climáticas futuras e verificar os possíveis impactos que serão causados, os cientistas realizam projeções baseadas nas tendências de emissões de GEEs, mudanças socioeconômicas e tecnológicas, entre outras variáveis. Para produzir as projeções climáticas, os cenários são usados como entrada nos modelos climáticos de modo a fornecer inferências sobre as condições climáticas no futuro (VAN VUUREN et al., 2011). Isto permite que ações possam ser elaboradas e implantadas para combater os impactos que as mudanças climáticas podem causar.

No último relatório do IPCC, o AR5, foram estabelecidos quatro cenários futuros de forçantes climáticas, os chamados “Caminhos Representativos de Concentrações” (do inglês, *Representative Concentration Pathways* – RCPs), onde a palavra “representativos” refere-se aos muitos cenários possíveis incluídos em cada RCP e a palavra “caminhos” refere-se a trajetória que cada GEE faz para alcançar a concentração estabelecida (MOSS et al., 2010).

Os RCPs são conjuntos consistentes de projeções dos componentes da forçante radiativa (MOSS et al., 2010), que, *grosso modo*, são a medida de influência que um ou mais fatores têm de alterar o balanço de energia do sistema terra-atmosfera (AVILA, 2007). Os RCPs podem ser definidos de maneira mais simples, como um efeito das emissões de GEE sobre o balanço de radiação, medida em  $W m^{-2}$ , no futuro (CGEE, 2014). Eles são utilizados como dados de entrada para a modelagem climática (IPCC, 2014b). As forçantes radiativas são extensivamente usadas para quantificar as causas do aquecimento ou do resfriamento do sistema climático (FORSTER et al., 2013).

Cada RCP pode resultar de diferentes combinações econômicas, tecnológicas, demográficas, políticas, institucionais e de futuros (IPCC, 2014b). Eles dependem de como os GEE serão emitidos nos anos futuros (VAN VUUREN et al., 2011).

De acordo com Bernardino e Espírito Santo (2015), Moss et al. (2010) e Silveira et al. (2016), os quatro RCPs são:

- RCP 2.6: cenário de mitigação, onde o forçamento radiativo ficará em torno de  $3,0 W m^{-2}$  e a concentração de  $CO_2$  equivalente atingirá um pico de cerca de 490 ppm antes de 2100 e então declinará. Representa um cenário que tem como objetivo manter o aumento global da temperatura abaixo dos  $2 ^\circ C$  em comparação com temperaturas da era pré-industrial. De todos os RCPs, este é o menos pessimista. Seu comportamento é de aumento, seguido por declínio das emissões de GEE;

- RCP 4.5: cenário intermediário, onde o forçamento radiativo será aproximadamente de  $4,5 W m^{-2}$  e a concentração de  $CO_2$  equivalente ficará em torno de 650 ppm em 2100. Essa projeção é consistente com a estabilização da demanda energética mundial, programas de reflorestamento fortes e políticas climáticas rigorosas;

- RCP 6.0: cenário intermediário, onde o forçamento radiativo será de cerca de  $6,0 W m^{-2}$  e a concentração de  $CO_2$  equivalente em torno de 650 ppm em 2100. Juntamente com o RCP 8.5 são cenários que não incluem esforços adicionais na contenção de emissões de GEE. Seu comportamento é de estabilização até o final do século, não ultrapassando os valores mencionados de forçante radiativa e  $CO_2$  equivalente; e,

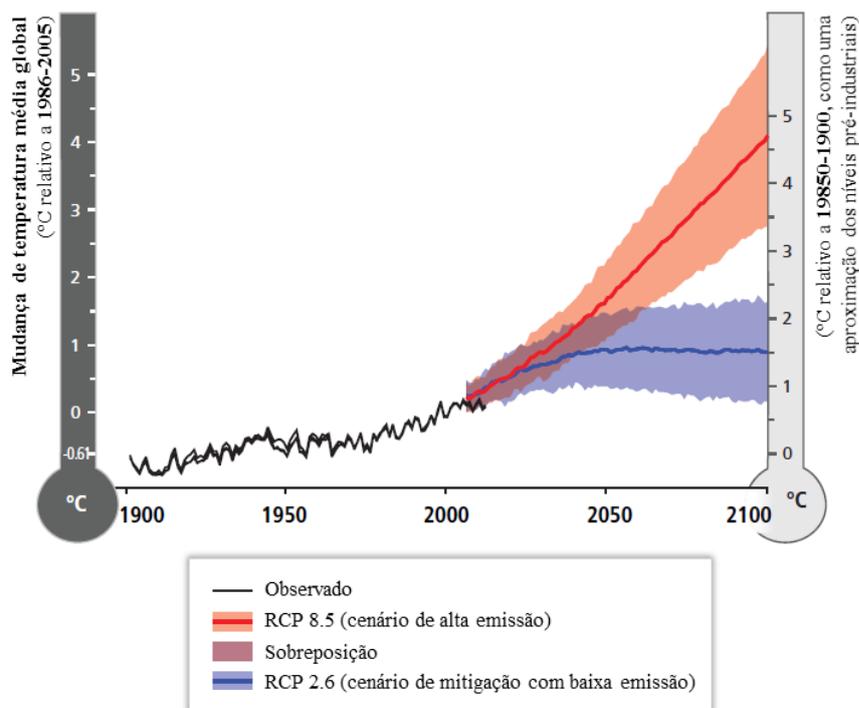
- RCP 8.5: cenário pessimista, onde o forçamento radiativo e a concentração de  $CO_2$  equivalente, em 2100, são maiores que  $8,5 W m^{-2}$  e 1.370 ppm, respectivamente. Seu comportamento é de elevação das emissões de  $CO_2$  durante o século em virtude do crescimento contínuo da população associada a um desenvolvimento tecnológico lento. Este cenário é considerado o mais pessimista para o século XXI em termos de emissões de GEE,

sendo consistente com a carência de políticas para reduzir as emissões e forte dependência de combustíveis fósseis.

Entretanto, apesar do avanço significativo na ciência, isto é, do maior entendimento dos processos físicos, químicos e biológicos no planeta, e na tecnologia em simulação computacional, os modelos climáticos ainda geram projeções com certo nível de incerteza. Essas incertezas envolvem sua estrutura, a variabilidade natural do sistema climático e os próprios cenários de emissões. Desse modo, as projeções podem sofrer sub ou superestimativas (PBMC, 2014). Para aumentar a confiabilidade dos modelos climáticos é realizada uma comparação entre seus resultados e as observações climáticas históricas (MEINSHAUSEN et al., 2011).

De acordo com as projeções do IPCC (2014a) presentes no AR5, alguns dos impactos que as mudanças climáticas podem causar são: o aumento da temperatura média global (podendo aumentar mais de 5 °C – figura 1) e do nível médio dos oceanos (podendo chegar a 0,82 m); mudanças nos regimes de precipitação; aumento de secas, chuvas intensas, ondas de calor, inundações; derretimento de geleiras e calotas polares; acidificação dos oceanos e branqueamento de recifes de corais; perda de terras úmidas litorâneas; extinção de espécies de fauna e flora; migração de animais; retração e savanização da Floresta Amazônica; diminuição da produtividade agrícola; aumento da propagação de doenças infecciosas; impactos na disponibilidade de água e abastecimento; perda da capacidade de trabalho e redução da produtividade de trabalhadores vulneráveis; impactos econômicos diversos e mortes. Segundo Sterner (2015), esses impactos serão muito mais sérios do que se acredita.

Eventos, tais como inundações, secas, perda de biodiversidade e erosão do solo, também existiam no passado. Porém, atualmente, devido às mudanças climáticas, estes eventos atingiram maiores escalas, velocidades e amplitudes (ARTAXO; COUTINHO, 2015). Em geral, os impactos mencionados são menores no cenário onde as projeções estabelecem menores aumentos de temperatura (RCP 2.6 - baixas emissões) e são maiores no cenário que projetam maiores aumentos temperatura (RCP 8.5 - altas emissões).



**Figura 1** - Projeções de aumento da temperatura média global de acordo com os cenários futuros de forçantes climáticas RCP 2.6 e RCP 8.5 (Fonte: Adaptado de IPCC, 2014a)

Os principais afetados pelos impactos das mudanças climáticas serão os países de clima quente e em desenvolvimento; assim como as populações marginalizadas (IPCC, 2014a). Além do IPCC, a preocupação com as mudanças climáticas fez com que fossem estabelecidas conferências, reuniões e tratados, como a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC, 1992) e o Protocolo de Quioto (MOREIRA; GIOMETTI, 2008), para discutir o tema e criar um tratado mundial de redução da queima de combustíveis fósseis (ARTAXO; COUTINHO, 2015).

Apesar do conhecimento de todos a respeito das mudanças climáticas e suas consequências, grande parte da sociedade civil ainda permanece alheia às discussões sobre esse assunto, o que mantém o distanciamento entre ciência, sociedade e decisões políticas (JACOBI; GRANDISOLI; TOLEDO, 2015). Assim, é necessário que a distância existente entre os envolvidos diminua a fim de que alternativas para combater as mudanças climáticas sejam melhor estabelecidas e implantadas, beneficiando todos os envolvidos, seres vivos e o meio ambiente.

Para isso é necessária a construção de alternativas que visem mitigar os impactos que atingem tanto a saúde humana quanto o meio ambiente (JACOBI; GRANDISOLI; TOLEDO, 2015). Segundo o IPCC (2014a), uma das alternativas seria reduzir o consumo de combustíveis fósseis. Porém isto não é uma tarefa fácil, visto que estes combustíveis não

renováveis produzem grande quantidade de energia comparada aos renováveis. Para tanto, é fundamental que ocorra mudança na tecnologia utilizada para implantar matrizes renováveis, tais como a energia solar e a eólica, a fim de uma utilização mais eficiente e inteligente dos recursos naturais (ARTAXO; COUTINHO, 2015). Essas mudanças, aliadas a ações bem elaboradas e implantadas, são ferramentas positivas para a possível diminuição dos impactos das mudanças climáticas, promovendo à saúde e o bem-estar dos seres humanos e do meio ambiente.

## **2.4 O efeito das mudanças climáticas na saúde e na produtividade**

O conforto térmico é um parâmetro essencial para manter um ambiente de trabalho saudável e produtivo (DJONGYANG; TCHINDA; NJOMO, 2010; TAYLOR; FULLER; LUTHER, 2008). Quando uma pessoa está em um ambiente termicamente desconfortável, ou seja, quando está sob estresse térmico, sua termorregulação fisiológica e psicológica é diretamente afetada, o que pode trazer muitos impactos (DEAR et al., 2013).

Com as mudanças climáticas, pessoas expostas, como agricultores, garis, carteiros, trabalhadores da construção civil, entre outros, poderão estar sujeitas a ambientes de pior qualidade, o que provocará sensação de desconforto, podendo causar problema à sua saúde, capacidade de trabalho e produtividade (DEAR et al., 2013; DUNNE; STOUFFER; JOHN, 2013; IPCC, 2014a). Aqueles que desempenham suas funções dentro de ambientes urbanos sofrerão maior impacto que os que trabalham em ambientes rurais, devido, dentre outros motivos, a fenômenos como as “ilhas de calor” que elevam a temperatura das cidades por conta, principalmente, da pavimentação e da diminuição de vegetação, que alteram fluxos de radiação, circulação de vento, evaporação e escoamento hídrico (OLESON et al., 2013).

Kjellstrom, Holmer e Lemke (2009) relatam estudos mostrando que trabalhadores expostos ao calor intenso podem sofrer estresse/desconforto, diminuição da capacidade de trabalho e de tarefa mental e aumento do risco de acidentes. Batiz et al. (2009) citam que manifestações fisiológicas como dor de cabeça, fadiga, alteração sensorial, depressão intelectual, sono, perda de memória e descoordenação motora têm surgido com frequência em pessoas afetadas pelo aumento da temperatura. Lida (2005) mostra que quando o homem está exposto a altas temperaturas, a velocidade do trabalho diminui, as pausas se tornam mais frequentes, o grau de concentração diminui, o rendimento cai e a frequência de erros tende a aumentar significativamente a partir de 30 °C. Sterner (2015) diz que as mudanças climáticas certamente irão causar aumento de absenteísmos no trabalho. Outros impactos decorrentes do

desconforto térmico ainda podem ser considerados como elevação do ritmo cardíaco, aumento da sudorese, desidratação, aumento do tempo de reação, insolação e, em alguns casos, até a morte (WILSON; CRANDALL, 2011).

Óbitos relacionados ao trabalho ao ar livre têm sido relatados em diversos locais do mundo. Nos EUA um estudo identificou 423 mortes de trabalhadores agrícolas entre 1992 e 2006 (KJELLSTROM; HOLMER; LEMKE, 2009). Uma onda de calor matou 40.000 pessoas na Europa, a maioria idosas, em apenas algumas semanas de agosto de 2003 (GARCÍA-HERRERA et al., 2010), e dezenas de milhares durante todo o verão (ROBINE et al., 2008). Na França, muitas mortes no local de trabalho causadas por hipertermia foram identificadas durante essa mesma onda de calor de 2003 (LÉTARD; FLANDRE; LEPELTIER, 2004). Na Índia, onde as pessoas são mais regularmente submetidas a estresse térmico por altas temperaturas e umidade, a onda de calor causou 3.000 mortes nesse mesmo ano (DUNNE; STOUFFER; JOHN, 2013). Em 2010, na Rússia, aproximadamente 55.000 pessoas morreram no verão devido a onda de calor (BARRIOPEDRO et al., 2011). No Japão, entre 19 a 29 % dos casos de insolação ocorrem em trabalhadores (TANAKA, 2007).

Seppanen, Fisk e Faulkner (2004) citam estudos mostrando que trabalhadores de *call center* dos EUA, sujeitos a temperaturas superiores a 25 °C, têm sua produtividade diminuída em 2,2 % para cada °C de aumento. Os autores também mencionam que trabalhadores de indústria têxtil, quando sujeitos à temperatura de 32 °C, têm diminuição de 8 % em sua produtividade em relação ao seu desempenho sob aproximados 24 °C. No entanto, estudos relacionando trabalhadores que desempenham suas atividades ao ar livre e a perda de produtividade e da capacidade de trabalho ainda são escassos na literatura.

Leaman e Bordass (2001) mostram uma diferença pronunciada na produtividade entre trabalhadores que relataram seu ambiente de trabalho como sendo confortável termicamente e aqueles que disseram ser desconfortável. Os trabalhadores que relataram estar em um ambiente desconfortável tiveram produtividade 8,8 % abaixo do normal e aqueles presentes em um ambiente confortável aumentaram sua produtividade em 4 %.

Dunne, Stouffer e John (2013) afirmam que a capacidade de trabalho já foi reduzida em 10 % durante os períodos mais quentes e úmidos do ano e é provável que ela seja dobrada para 20% até 2050. Em seus estudos, eles modelaram os impactos das mudanças climáticas sobre a capacidade de trabalho até 2200 e os resultados mostram uma redução de 39% nos meses mais quentes e úmidos. Os autores afirmam que muitas áreas seriam incapazes de sustentar trabalho humano seguro com um estresse térmico além de qualquer experiência do mundo de hoje.

Um estudo realizado na Austrália durante 2013 e 2014 revelou que 77% dos trabalhadores entrevistados ficaram em casa ou tiveram seu desempenho no trabalho prejudicado, por pelo menos um dia, devido ao calor. Os pesquisadores chegaram à conclusão de que toda a força de trabalho da Austrália afetada pelo calor gerou uma perda econômica de, em média, US\$ 6.2 bilhões, o que correspondeu a 0,33-0,47 % do PIB do país no ano de 2014 (ZANDER et al., 2015). Já existem modelos climáticos que projetam aumento de 10 °C para algumas regiões do planeta, o que causariam danos de 10-30% no PIB mundial (HOPE, 2006).

Burke, Hsiang e Miguel (2015), realizaram um estudo relacionando à produtividade econômica com o aumento da temperatura decorrente das mudanças climáticas. Eles encontraram uma relação não linear entre essas duas variáveis, constatando que a temperatura ambiente de 13 °C é a que proporciona a máxima produtividade. Para valores acima ou abaixo desta temperatura a produtividade diminui. Assim, países com temperaturas mais elevadas, como é o caso do Brasil, certamente sofrem maior impacto na produtividade de seus trabalhadores.

Conforme apresentado, o aquecimento global poderá causar severos impactos à saúde e produtividade dos trabalhadores, trazendo grandes prejuízos para a economia (EPSTEIN; MORAN, 2006). Se houver redução das emissões de CO<sub>2</sub>, de forma a limitar a elevação de temperatura a 3 °C, o risco de estresse térmico e impacto na capacidade de trabalho irá reduzir, porém o efeito não será eliminado (DUNNE; STOUFFER; JOHN, 2013). Para que esses impactos sejam minimizados, é necessária adaptação baseada em medidas preventivas eficazes, como o planejamento urbano, adequações do local e na jornada de trabalho. Por exemplo, trabalhar no início da manhã e no final da tarde e mudanças na vestimenta utilizada pelo trabalhador (DUNNE; STOUFFER; JOHN, 2013). Essas ações talvez possam mitigar os efeitos das mudanças climáticas no ambiente de trabalho e, assim, promover a saúde e a produtividade dos trabalhadores expostos (KJELLSTROM, HOLMER; LEMKE, 2009).

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 Descrição da região de estudo e dos dados utilizados

As perspectivas de estresse térmico em trabalhadores expostos ao ar livre para o século XXI foram avaliadas através de simulações e projeções, baseadas em oito diferentes índices de estresse térmico e criadas a partir de oito modelos climáticos do Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados Fase 5 (do inglês, *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 – CMIP5*) fornecidos pelo Centro Alemão de Computação Climática (do alemão, *Deutsche Klimarechenzentrum – DKRZ*) e disponibilizados pela Federação do Sistema de Grade da Terra (do inglês, *Earth System Grid Federation – ESGF*). Tais conjuntos de modelos integraram o quinto relatório do IPCC (AR5) e contém dados das variáveis ambientais que foram necessárias para o cálculo dos índices de estresse térmico.

As simulações do clima presente, também chamado de clima observado (considerado neste estudo como o período de 1979 a 2005), são denominadas experimentos de controle, uma vez que é através delas que os modelos climáticos são testados e validados com dados observados existentes (MEINSHAUSEN et al., 2011; TORRES, 2014). No CMIP5 essas simulações são chamadas de *historical*.

Já as projeções realizadas para o clima futuro, considerado neste estudo como o período de 2071 a 2100, foram baseadas nos cenários RCPs 2.6, 4.5, 6.0 e 8.5 relativos às forçantes climáticas aproximadas no final do século XXI (MOSS et al., 2010).

Os dados observados utilizados neste estudo são provenientes da base de dados *WATCH-Forcing-Data-ERA-Interim – WFDEI*, que compreendem o período de 1979 a 2005 e possuem alta resolução espacial de 0,5° x 0,5° de latitude/longitude (ZHAO et al., 2015).

Para a escolha dos modelos pertencentes ao CMIP5, selecionou-se, no banco de dados do ESGF/DKRZ (disponível em <https://esgf-data.dkrz.de/search/cmip5-dkrz/>), dezessete modelos nos quais estavam presentes os dados necessários para os cálculos dos índices de estresse térmico. Após este procedimento, fez-se outra triagem, selecionando os que apresentaram dados de todas as variáveis ambientais necessárias para os cálculos dos índices escolhidos. Esta seleção implicou na escolha de oito modelos, que estão listados na tabela 2, juntamente com o centro de pesquisa que os desenvolve e a sua resolução horizontal aproximada (latitude/longitude).

Como as resoluções espaciais dos modelos variam de 1,1° a 3,8° de latitude/longitude, as variáveis empregadas foram interpoladas para uma grade de 1° x 1° de latitude/longitude, com o objetivo de comparar os resultados provenientes dos modelos analisados.

As variáveis ambientais utilizadas nas simulações e projeções provenientes do CMIP5 foram aquelas necessárias para o cálculo do estresse térmico: temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar e velocidade do vento, nomeadas pelo CMIP5 como tas, hur, rsds, uas (velocidade zonal) e vas (velocidade meridional), respectivamente.

**Tabela 2** - Lista dos modelos climáticos utilizados neste estudo, contendo o centro de pesquisa e a resolução horizontal (graus de latitude/longitude) aproximada

<b>Modelo</b>	<b>Centro de Pesquisa</b>	<b>Resolução horizontal</b>
CSIRO-Mk3.6.0 (CSI)	<i>Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization/Queensland Climate Change Centre of Excellence, Australia</i>	1,8° x 1,9°
GFDL-ESM2G (G2G)	<i>Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, National Oceanic and Atmospheric Administration</i>	2,0° x 2,5°
GFDL-ESM2M (G2M)	<i>Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, National Oceanic and Atmospheric Administration</i>	2,0° x 2,5°
IPSL-CM5A-LR (ILR)	<i>Institute Pierre-Simon Laplace, France</i>	1,9° x 3,8°
IPSL-CM5A-MR (IMR)	<i>Institute Pierre-Simon Laplace, France</i>	1,3° x 2,5°
MIROC5 (MI5)	<i>Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology</i>	1,4° x 1,4°
MIROC-ESM-CHEM (MIE)	<i>Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology</i>	2,8° x 2,8°
MRI-CGCM3 (MRI)	<i>Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency</i>	1,1° x 1,1°

Já as variáveis ambientais provenientes do WFDEI foram a temperatura do ar (Tair), radiação solar de onda curta (SWdown), velocidade do vento (Wind), umidade específica (Qair) e pressão em superfície (PSurf). Como a variável ambiental umidade relativa foi a única necessária para o cálculo dos índices de estresse térmico que não esteve presente na base de dados do WFDEI, utilizou-se as variáveis PSurf, Qair e Tair para estimá-la (equação 3 - TSONIS, 2007).

$$UR = 0,263 \cdot P_{Surf} \cdot Q_{air} \left[ e^{\frac{17,67(TA - T_0)}{T - 29,65}} \right]^{-1} \quad (3)$$

na qual:

- $UR$  é a umidade relativa (%);
- $P_{Surf}$  é a pressão em superfície (Pa);
- $Q_{air}$  é a umidade específica ( $\text{kg kg}^{-1}$ );
- $TA$  é a temperatura do ar (K); e,
- $T_0$  é a temperatura de referência (273,15 K).

Todas as variáveis utilizadas neste estudo, para ambos os bancos de dados, são médias diárias obtidas para cada um dos modelos e, conseqüentemente, utilizadas para cada uma das simulações e projeções realizadas. Estas foram calculadas para cada ponto de grade que cobre o continente sul-americano.

### 3.2 Estimativa do estresse térmico

Para estimar o estresse térmico em trabalhadores expostos ao ar livre foram selecionados os índices mais comumente utilizados e referenciados na literatura, apresentados na tabela 1. Optou-se por aqueles que consideram apenas variáveis ambientais para sua determinação, evitando os que utilizam variáveis fisiológicas, por serem, conforme já citado, imprecisos e de difícil mensuração. A tabela 3 apresenta um resumo das variáveis ambientais que cada um dos índices considera em seu cálculo.

**Tabela 3** - Resumo dos índices de estresse térmico e as variáveis ambientais que cada um deles considera

Índice	Variáveis Ambientais			
	TA	UR	RS	V
TE	X	X		
DI	X	X		
H	X	X		
AT	X	X		
HI	X	X		
TEV	X	X		X
ESI	X	X	X	
W	X	X		

Cada índice é descrito, de forma independente, nas seções seguintes.

### 3.2.1 Índice de Temperatura Efetiva / *Effective Temperature Index* (TE)

O TE foi proposto por Missenard em 1937 e é utilizado para avaliar o estresse térmico em ambientes abertos em condições de calor (PALLOTTA; HERDIES; GONÇALVES, 2015). Este índice é calculado através da equação 4 (MISSENARD, 1937):

$$TE (^{\circ}C) = TA - 0,4(TA - 10) \left(1 - \frac{UR}{100}\right) \quad (4)$$

na qual:

- $TA$  é a temperatura do ar ( $^{\circ}C$ ) e
- $UR$  é a umidade relativa (%).

O intervalo de valores do TE, bem como a sensação térmica e o grau de estresse fisiológico, é mostrado na tabela 4.

**Tabela 4** - Sensação térmica e grau de estresse fisiológico para cada categoria do TE (FANGER, 1972)

TE ( $^{\circ}C$ )	Sensação Térmica	Grau de estresse fisiológico
<13	Muito frio	Extremo estresse ao frio
13 a 16	Frio	Forte estresse ao frio
16 a 19	Frio moderado	Estresse moderado ao frio
19 a 22	Ligeiramente frio	Ligeiro estresse ao frio
22 a 25	Confortável	Nenhum estresse térmico
25 a 28	Ligeiramente quente	Ligeiro estresse ao calor
28 a 31	Quente moderado	Estresse moderado ao calor
31 a 34	Quente	Forte estresse ao calor
>34	Muito quente	Extremo estresse ao calor

### 3.2.2 Índice de Desconforto / *Discomfort Index* (DI)

O DI, também chamado de *Thermohygroscopic Index* (UNGER, 1999), foi desenvolvido por Thom em 1959. Este índice pode ser utilizado para determinar o conforto/estresse térmico em regiões tropicais, onde estudos deste tipo ainda são escassos (BALOGUN, I.; BALOGUN, A., 2014). Este índice é calculado de acordo com a equação 5:

$$DI (^{\circ}C) = TA - (0,55 - 0,0055UR)(TA - 14,5) \quad (5)$$

Segundo Thom (1959), o DI é classificado nas seis categorias listadas na tabela 5.

**Tabela 5** - Nível de desconforto gerado por cada categoria do DI (THOM, 1959)

DI (°C)	Nível de Desconforto
< 21	Sem desconforto
21 a 24	Menos de 50 % da população tem desconforto
24 a 27	Mais de 50 % da população tem desconforto
27 a 29	A maioria da população tem desconforto
29 a 32	Estresse severo
>32	Estado de emergência

### 3.2.3 Índice Humidex / *Humidex Index* (H)

O índice *Humidex* foi desenvolvido por meteorologistas canadenses para descrever a sensação térmica de uma pessoa, por meio da combinação entre a temperatura e umidade do ar (RANA et al., 2013). Este índice é utilizado para alertar a população sobre possíveis perigos relativos ao estresse térmico pelo calor (MONTEIRO; ALUCCI, 2007). O *Humidex Index* é calculado pela equação 6 (MASTERTON; RICHARDSON, 1979).

$$H = TA + \left(\frac{5}{9}\right) (e_a - 10) \quad (6)$$

na qual:

- $e_a$  é a pressão de vapor de água (hPa).

A  $e_a$  pode ser calculada através da equação 7 (ABOM, 2010).

$$e_a = 6,105 \times e^{(17,27.TA)/(237,7+TA)} \times \frac{UR}{100} \quad (7)$$

Desta forma, o H pode ser calculado de acordo com a equação 8:

$$H = TA + \left(\frac{5}{9}\right) \left[ \left( 6,105 \times e^{(17,27.TA)/(237,7+TA)} \times \frac{UR}{100} \right) - 10 \right] \quad (8)$$

Na tabela 6 encontra-se a relação entre as categorias do índice *Humidex* e a sensação térmica provocada por elas.

**Tabela 6** - Relação entre as categorias do índice H e a sensação térmica gerada por elas (ENVIRONMENT AND CLIMATE CHANGE CANADA, 2016)

H	Sensação térmica
< 20	Não há desconforto
20 a 30	Pouco desconforto
30 a 40	Algum desconforto
40 a 45	Grande desconforto
> 45	Extremo desconforto

### 3.2.4 Temperatura Aparente / *Apparent Temperature* (AT)

Este índice foi proposto por Steadman (1984) para medir sensações térmicas em ambientes quentes e úmidos e foi aplicado inicialmente nos EUA e na Austrália (ZHAO et al., 2015). O AT, dado pela equação 9, considera somente a temperatura e umidade relativa do ar, ignorando os efeitos do vento e da radiação (STEADMAN, 1984).

$$AT = 0,92TA + 0,22e_a - 1,3 \quad (9)$$

A  $e_a$  pode ser calculada em função da TA e da UR (equação 7). Assim, a equação do índice Temperatura Aparente pode ser reescrita conforme a equação 10:

$$AT = 0,92TA + 0,22 \left( 6,105 \times e^{(17,27.TA)/(237,7+TA)} \times \frac{UR}{100} \right) - 1,3 \quad (10)$$

Neste trabalho são utilizadas as categorias consideradas por Zhao et al. (2015), apresentadas na tabela 7.

**Tabela 7** - Grau de estresse térmico gerado por cada categoria do índice AT (ZHAO et al., 2015)

AT	Estresse térmico
< 28	Ausente
28 a 32	Leve
32 a 35	Moderado
35 a 40	Forte
> 40	Extremo

### 3.2.5 Índice de Calor / *Heat Index* (HI)

Este índice foi criado por Rothfus (1990) e é derivado da análise de regressão múltipla entre a TA e a UR a partir da primeira versão do índice *Apparent Temperature* proposto por Steadman em 1979 (BLAZEJCZYK et al., 2012). O HI é amplamente utilizado pela Administração Oceânica e Atmosférica dos EUA (do inglês, *National Oceanic and Atmospheric Administration* - NOAA) e é calculado através da equação 11 (BLAZEJCZYK et al., 2012; ROTHFUSZ, 1990).

$$\begin{aligned} HI (\text{°C}) &= -8,784695 + 1,61139411.TA + 2,338549.UR \\ &= -0,14611605.TA.UR - 1,2308094.10^{-2}TA^2 \\ &= -1,6424828.10^{-2}UR^2 + 2,211732.10^{-3}TA^2UR \\ &= +7,2546.10^{-4}TA.UR^2 - 3,582.10^{-6}TA^2UR^2 \end{aligned} \quad (11)$$

Segundo a NOAA (2015), este índice não deve ser utilizado para temperaturas abaixo de 27 °C e umidade relativa inferior a 40%.

A tabela 8 apresenta os intervalos de valores do HI, sua classificação e os efeitos causados no corpo.

**Tabela 8** - Categorias do HI e seus respectivos efeitos no corpo (NOAA, 2015)

<b>HI (°C)</b>	<b>Classificação</b>	<b>Efeitos causados no corpo</b>
27 a 32	Cuidado	Fadiga é possível com prolongada exposição e/ou atividade física
32 a 41	Extrema cautela	Insolação, câimbras ou exaustão é possível com exposição e/ou atividade física
41 a 54	Perigo	Câimbras ou exaustão pelo calor provavelmente, e insolação é possível com exposição prolongada e/ou atividade física
> 54	Extremo perigo	Insolação altamente possível

### 3.2.6 Índice de Temperatura Efetiva em função do Vento / *Effective Temperature according to the Wind (TEV)*

O TEV possui a mesma fundamentação teórica e aplicação que o TE, diferindo apenas por incluir a ação do vento (PALLOTTA; HERDIES; GONÇALVES, 2015). Este índice é calculado de acordo com a equação 12 (SUPING et al., 1992).

$$TEV (°C) = 37 - \frac{37 - TA}{\left[0,68 - 0,0014UR + \frac{1}{1,76 + 1,4V^{0,75}}\right]} - 0,29TA \left(1 - \frac{UR}{100}\right) \quad (12)$$

na qual:

- $V$  é a velocidade do vento ( $m\ s^{-1}$ ).

Segundo Pallotta, Herdies e Gonçalves (2015), o intervalo de valores do TEV, bem como a sensação térmica e o grau de estresse fisiológico para cada um desses intervalos é o mesmo do TE (tabela 4).

### 3.2.7 Índice de Estresse Ambiental / *Environmental Stress Index (ESI)*

O ESI (equação 13) foi desenvolvido por Moran et al. (2001) e é baseado na temperatura do ar, na umidade relativa do ar e na radiação solar:

$$ESI = 0,63TA - 0,03UR + 0,002RS + 0,0054(TA \cdot UR) - 0,073(0,1 + RS)^{-1} \quad (13)$$

na qual:

- $RS$  é a radiação solar ( $W\ m^{-2}$ ).

Moran et al. (2005) observaram uma alta correlação ( $R^2 \geq 0,920$ ) do ESI com o WBGT (do inglês, *Wet Bulb Globe Thermometer*), chamado no Brasil de Índice de Bulbo Úmido Temperatura de Globo – IBUTG, e afirmaram que o ESI pode o substituir, já que existe uma dificuldade em se mensurar a temperatura de globo (que indica o calor radiante no ambiente de estudo), variável esta necessária para determinação do IBUTG. Moran et al. (2001) destacam que o ESI possui a vantagem de envolver variáveis facilmente encontradas em estações meteorológicas. Brandão, Silva e Assireu (2013) dizem que sua aplicação, associada a ferramentas de informações geográficas, demonstra ser de grande utilidade para a avaliação dos riscos à saúde de trabalhadores, principalmente para aqueles que desempenham suas atividades ao ar livre.

Não há categorização do ESI, apenas uma associação entre seus valores e o risco à saúde que cada um deles causa (BRANDÃO, SILVA E ASSIREU, 2013). Como o objetivo maior para os índices é encontrar a sensação térmica que suas categorias geram, adotou-se as categorias do *Simplified WBGT* para o ESI, uma vez que ambos possuem relação com o WBGT (ABOM, 2010; MORAN et al., 2005). A tabela 9 apresenta as categorias do ESI.

**Tabela 9** - Estresse térmico proveniente de cada categoria do ESI (ZHAO et al., 2015)

ESI	Estresse térmico
< 28	Ausente
28 a 32	Leve
32 a 35	Moderado
35 a 40	Forte
> 40	Extremo

### 3.2.8 WBGT Simplificado / *Simplified WBGT* (W)

Este índice foi desenvolvido pela Agência de Meteorologia Australiana (do inglês, *Australian Bureau of Meteorology* - ABOM) como uma aproximação do WBGT (índice utilizado para medir ambientes quentes), já que este último considera em seu cálculo a temperatura de bulbo úmido, temperatura de bulbo seco e temperatura de globo, variáveis estas não disponíveis a maioria das estações meteorológicas (ZHAO et al., 2015). O *Simplified WBGT* (W) não leva em conta as variações na intensidade da radiação solar ou da velocidade do vento, e assume um nível moderadamente elevado de radiação em condições de

vento fraco (ABOM, 2010). Este índice foi escolhido neste estudo por ser amplamente utilizado (BUZAN et al., 2015).

O índice em questão pode ser calculado de acordo com a equação 14 (ABOM, 2010).

$$W = 0,567TA + 0,393e_a - 3,94 \quad (14)$$

A  $e_a$  pode ser calculada pela equação 7. Assim, a equação do *Simplified* WBGT pode ser reescrita conforme demonstrado na equação 15:

$$W = 0,567TA + 0,393 \left( 6,105 \times e^{(17,27.TA)/(237,7+TA)} \times \frac{UR}{100} \right) + 3,94 \quad (15)$$

O uso da aproximação do W pode levar a estimativas incorretas de estresse térmico, particularmente em condições de nebulosidade e vento (ABOM, 2010). Nestas condições, a aproximação é susceptível de conduzir a uma superestimação do estresse térmico. A aproximação também superestima condições à noite e no começo da manhã, quando o sol está baixo ou abaixo do horizonte.

A tabela 10 apresenta os intervalos de valores do W e as classes de estresse térmico relacionadas a ele.

**Tabela 10** - Grau de estresse térmico gerado por cada categoria do índice W (ZHAO et al., 2015)

W	Estresse térmico
< 28	Ausente
28 a 32	Leve
32 a 35	Moderado
35 a 40	Forte
> 40	Extremo

### 3.3 Descrição do método de pesquisa

Primeiramente, as variáveis ambientais provenientes das projeções CMIP5 foram agrupadas em um único arquivo utilizado para o cálculo dos índices de estresse térmico. Para manipular os dados e calcular os índices, foram utilizados o *software* CDO (do inglês, *Climate Data Operators*).

Em seguida, os índices de estresse térmico foram calculados para cada dia do ano dos períodos analisados. Então, os índices foram categorizados de acordo as faixas de valores que eles abrangem (vide Seção 3.2). Isso foi feito com o objetivo de conhecer o comportamento de cada categoria de cada índice até o final do século XXI, de modo a determinar se o número

de dias com estresse térmico está aumentando, diminuindo ou se mantendo constante com o passar dos anos.

Posteriormente, realizou-se um recorte dos dados para os períodos desejados (1979 – 2005 e 2071 – 2100, clima presente e clima futuro, respectivamente) e para a região avaliada (América do Sul).

Os índices apresentados na seção anterior são classificados em número de classes distintas. O TE, DI e TEV apresentam maior número de categorias de estresse do que outros índices. Por essa razão, foi necessário elaborar um critério para normalizar e reduzir as classificações de estresse em apenas cinco categorias equivalentes entre os índices. O critério utilizado foi considerar apenas as categorias que estão relacionadas ao conforto e/ou ao estresse devido ao calor. Portanto, as categorias relacionadas ao frio dos índices TE e TEV (tabela 4) foram excluídas e as categorias “sem desconforto” e “menos de 50 % da população tem desconforto” (tabela 5) do índice DI foram consideradas como uma só, ou seja, “sem desconforto”, já que podem indicar a mesma sensação térmica. Sendo assim, definiu-se CAT0 à CAT4 como categorias que representam condições de conforto ou baixo estresse térmico à alto estresse térmico, respectivamente. Para os índices TE e TEV, a soma da CAT0 a CAT4 para determinado ano não resulta em 365 dias, uma vez que há ocorrência de dias nas categorias excluídas. A categorização realizada para este estudo pode ser visualizada na tabela 11.

**Tabela 11** - Categorias de cada índice de estresse térmico utilizadas nesse estudo

Índice	Categorização				
	CAT0	CAT1	CAT2	CAT3	CAT4
TE	Nenhum estresse térmico	Ligeiro estresse ao calor	Estresse moderado ao calor	Forte estresse ao calor	Extremo estresse ao calor
	22 a 25	25 a 28	28 a 31	31 a 34	> 34
DI	Sem desconforto	Mais de 50 % da população tem desconforto	A maioria da população tem desconforto	Estresse severo	Estado de emergência
	< 24	24 a 27	27 a 29	29 a 32	> 32
H	Sem desconforto	Pouco desconforto	Algum desconforto	Grande desconforto	Extremo desconforto
	< 20	20 a 30	30 a 40	40 a 45	> 45
AT	Estresse térmico ausente	Estresse térmico leve	Estresse térmico moderado	Estresse térmico forte	Estresse térmico extremo
	< 28	28 a 32	32 a 35	35 a 40	> 40
HI	Nenhum desconforto	Cuidado	Extrema cautela	Perigo	Extremo perigo
	< 27	27 a 32	32 a 41	41 a 54	> 54
TEV	Nenhum estresse térmico	Ligeiro estresse ao calor	Estresse moderado ao calor	Forte estresse ao calor	Extremo estresse ao calor
	22 a 25	25 a 28	28 a 31	31 a 34	> 34
ESI	Estresse térmico ausente	Estresse térmico leve	Estresse térmico moderado	Estresse térmico forte	Estresse térmico extremo
	< 28	28 a 32	32 a 35	35 a 40	> 40
W	Estresse térmico ausente	Estresse térmico leve	Estresse térmico moderado	Estresse térmico forte	Estresse térmico extremo
	< 28	28 a 32	32 a 35	35 a 40	> 40

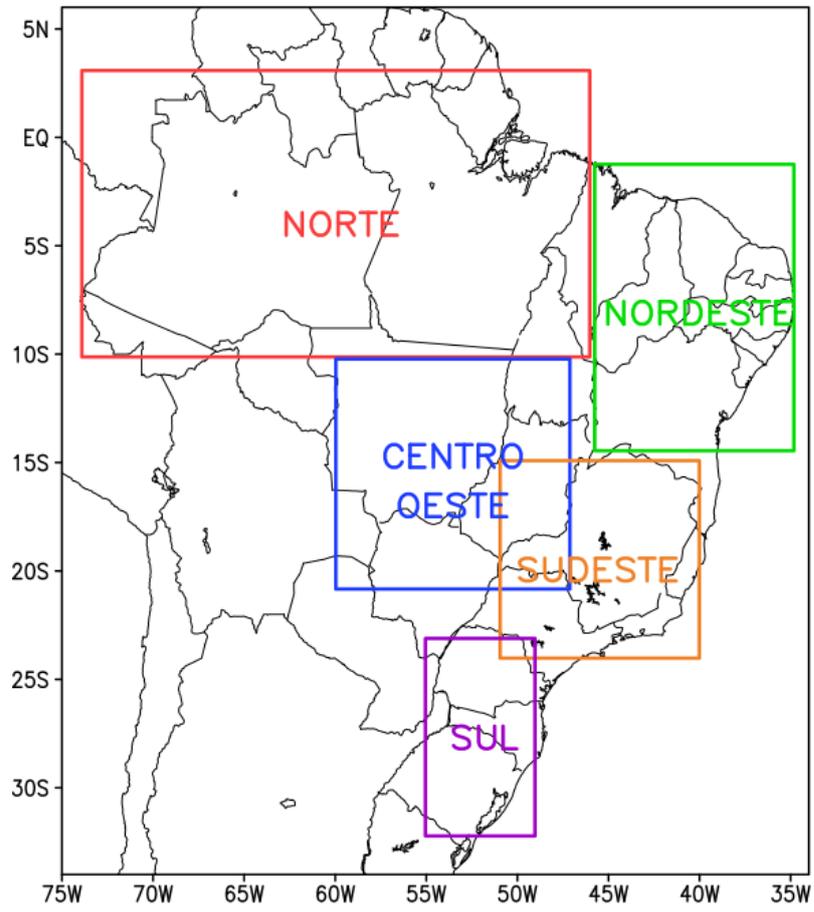
Com os índices categorizados a média anual dos dados diários foi calculada a fim de obter a categorização deles por ano analisado. Feito isso, foi possível calcular a média temporal do número de ocorrências das categorias de estresse térmico para cada um dos índices nos períodos estudados. Como esses dados foram calculados para cada um dos oito modelos avaliados, realizou-se uma média desses modelos a fim de se obter dados que representassem todos eles. O software *Grid Analysis and Display System*, conhecido como GrADS (disponível em <http://cola.gmu.edu/grads>) foi utilizado para gerar as figuras das simulações e projeções de estresse térmico.

A análise dos resultados foi dividida em etapas. A primeira consistiu da verificação do desempenho dos oito modelos climáticos ao simular o estresse térmico observado (1979 – 2005). Esse procedimento foi realizado para cada índice de estresse térmico e permitiu validar os modelos utilizados.

Na segunda etapa as projeções de estresse térmico de cada um dos índices foram estimadas de acordo com cada um dos cenários futuros de forçantes climáticas. A tendência dessas projeções foi estimada pela diferença entre as médias dos modelos para o período 2071 – 2100 e as do período 1979 – 2005.

Em seguida, na terceira etapa, foi realizada uma análise temporal (2006 – 2100) da ocorrência das categorias 3 e 4 dos índices de estresse térmico para as cinco regiões do Brasil (Sul - SU, Sudeste - SE, Centro-Oeste - CO, Norte - NO e Nordeste - NE), considerando os quatro cenários RCPs e todos os índices e modelos climáticos utilizados. Calculou-se o desvio padrão da ocorrência dessas duas categorias entre os índices e modelos climáticos a fim de verificar discrepâncias nas projeções fornecidas por eles. A figura 2 mostra as quadrículas que representam a divisão das cinco regiões do Brasil utilizadas neste estudo.

Por fim, na última etapa, foi feito um estudo sobre o impacto do estresse térmico sobre a capacidade de trabalho de cortadores de cana-de-açúcar do Brasil, no final de 2100, utilizando as projeções do índice ESI para o cenário mais pessimista, o RCP 8.5.



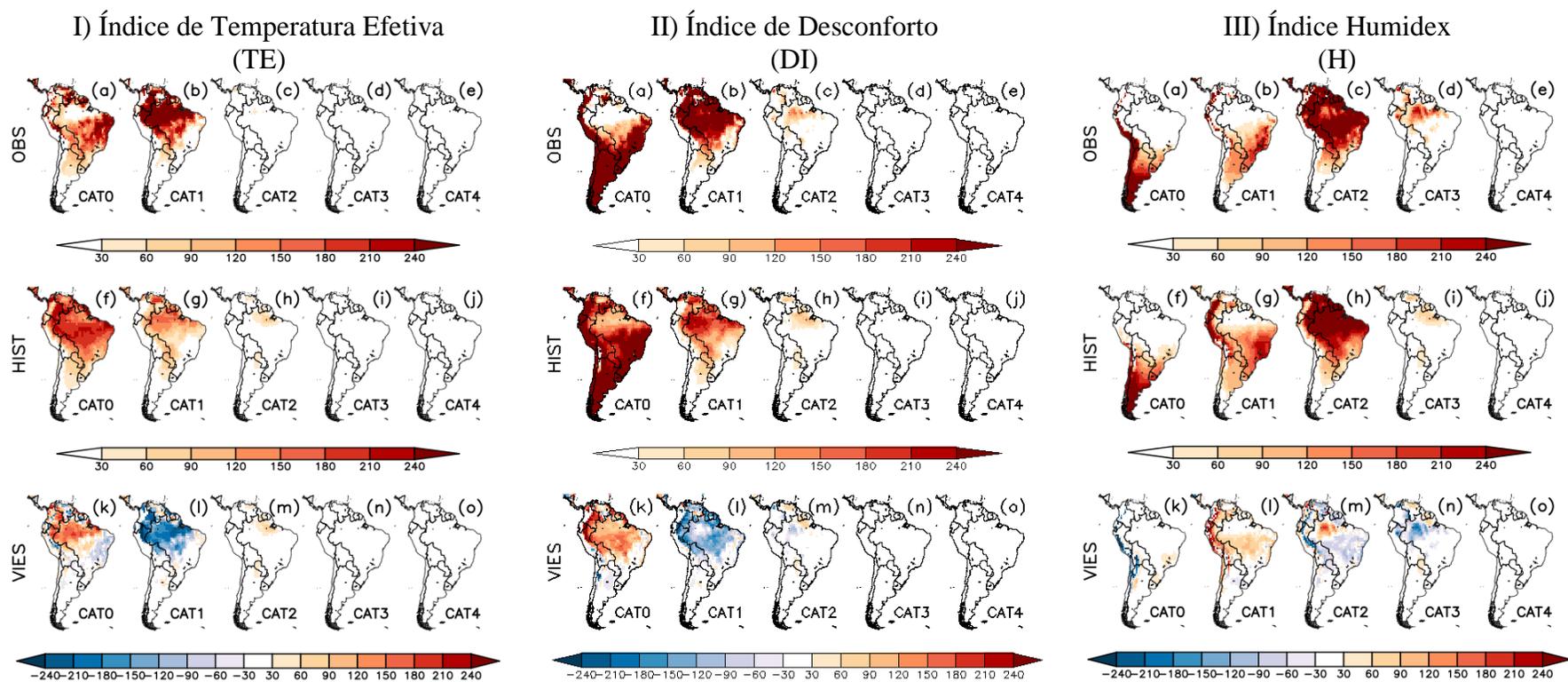
**Figura 2** - Divisão das cinco regiões do Brasil (Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste) utilizadas neste estudo

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

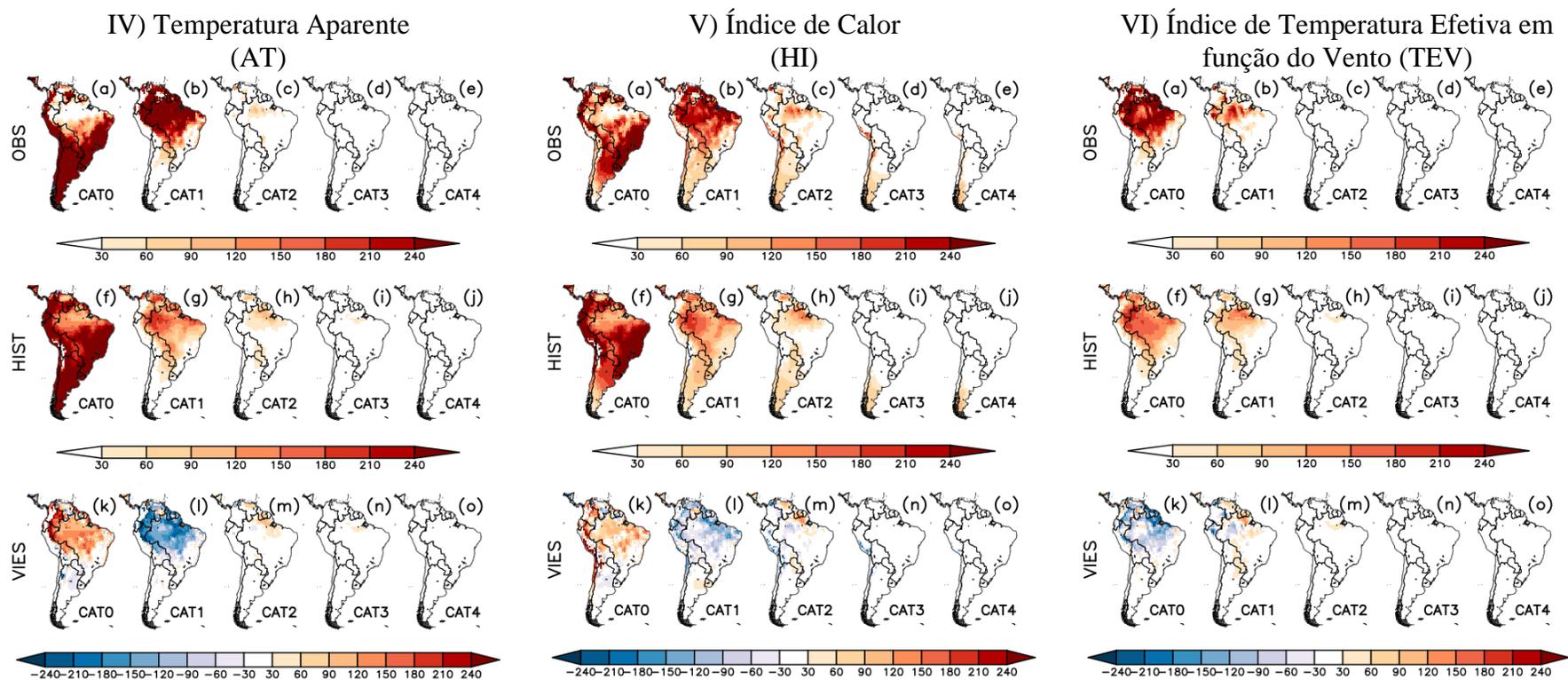
A fim de facilitar a interpretação e discussão dos resultados obtidos, este capítulo foi dividido em quatro seções. A primeira contém informações referentes ao desempenho dos modelos ao simular o estresse térmico observado (1979 – 2005). A segunda exibe as projeções de estresse térmico (2071 – 2100) realizadas para a América do Sul. A terceira mostra a análise temporal (2006 – 2100) de ocorrência das categorias 3 e 4 dos índices de estresse térmico feita para as cinco regiões do Brasil (Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste). E, por último, a quarta apresenta um estudo sobre o impacto do estresse térmico sobre a capacidade de trabalho de cortadores de cana-de-açúcar, do Brasil, no final do século XXI.

### **4.1 Simulação do estresse térmico observado e vieses associados**

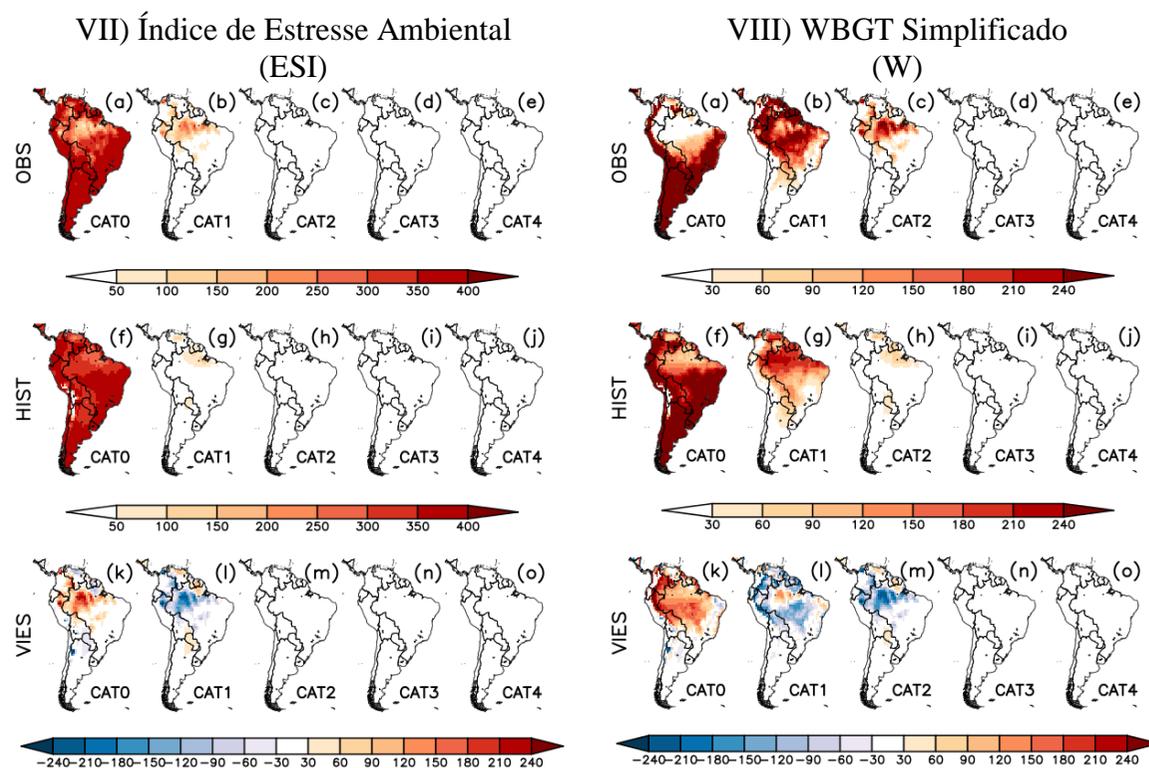
As figuras 3, 4 e 5 mostram a média da quantidade de dias no ano que ocorreram cada uma das categorias dos índices de estresse térmico para os dados observados e simulados, e o viés associado.



**Figura 3** - Média anual de ocorrência, em números de dias por ano, das categorias de índices de estresse térmico, para os dados observados (OBS) e simulados (HIST), e viés associado, ambos para o período de 1979 a 2005. I) Índice TE; II) Índice DI; III) Índice H. As imagens com as letras a-e apresentam o estresse térmico calculado para os dados observados; as com as letras f-j o estresse térmico médio entre os oito modelos climáticos do CMIP5 (dados simulados); e as com letras de k-o o viés entre o estresse térmico simulado e observado. Como o índice TE apresenta categorias para estresse térmico relativo ao frio extremo e esse trabalho visa apenas a análise de estresse pelo calor (vide Tabela 4), alguns locais não estão coloridos ou a soma das categorias não resulta 365 dias. Nesses locais os valores de desconforto e estresse pelo frio foram descartados da análise.



**Figura 4** - Média anual de ocorrência, em números de dias por ano, das categorias de índices de estresse térmico, para os dados observados (OBS) e simulados (HIST), e viés associado, ambos para o período de 1979 a 2005. IV) Índice AT; V) Índice HI; VI) Índice TEV. As imagens com as letras a-e apresentam o estresse térmico calculado para os dados observados; as com as letras f-j o estresse térmico médio entre os oito modelos climáticos do CMIP5 (dados simulados); e as com letras de k-o o viés entre o estresse térmico simulado e observado. Como o índice TEV apresenta categorias para estresse térmico relativo ao frio extremo e esse trabalho visa apenas a análise de estresse pelo calor (vide Tabela 4), alguns locais não estão coloridos ou a soma das categorias não resulta 365 dias. Nesses locais os valores de desconforto e estresse pelo frio foram descartados da análise.



**Figura 5** - Média anual de ocorrência, em números de dias por ano, das categorias de índices de estresse térmico, para os dados observados (OBS) e simulados (HIST), e viés associado, ambos para o período de 1979 a 2005. VII) Índice ESI; VIII) Índice W. As imagens com as letras a-e apresentam o estresse térmico calculado para os dados observados; as com as letras f-j o estresse térmico médio entre os oito modelos climáticos do CMIP5 (dados simulados); e as com letras de k-o o viés entre o estresse térmico simulado e observado.

Verifica-se para o clima presente que as categorias com maior ocorrência são as categorias 1 e 2, que indicam conforto e baixo estresse térmico, respectivamente. Essas condições condizem com o observado, visto que as mudanças climáticas ainda não afetaram de forma tão impactante as condições de conforto/estresse térmico dos trabalhadores expostos. Ao comparar os resultados obtidos da simulação com os dados observados, é possível verificar onde os modelos acertaram e erraram (vieses) ao simular o que foi verificado.

Os modelos acertaram nas regiões onde os vieses possuem valores baixos, ou seja, entre -30 a 30 dias no ano. As regiões em que verifica-se tal característica são, principalmente, porções da Bacia do Rio da Prata, e as regiões Sul e Leste da América do Sul.

Os resultados mostram predomínio de viés das condições de conforto térmico (CAT0) nas regiões Norte do Brasil e do Peru e Nordeste da Colômbia (figura 3-I-k). Isto é, os dados históricos dos modelos apresentam superestimativas de ocorrência da CAT0 em até 210 dias ano<sup>-1</sup>. Com relação a categoria ligeiro estresse ao calor (CAT1), a figura 3-I-l mostra subestimativa de ocorrências na região da Amazônia Internacional (região da América do Sul onde está localizada a Floresta Amazônia, que abrange nove países: Brasil, Bolívia, Peru, Equador, Colômbia, Venezuela, Guiana, Guiana Francesa e Suriname). Metade dos modelos mostram superestimativas e a outra metade subestimativas e apontam até 90 dias a mais e a menos, respectivamente, de condições de estresse moderado ao calor (CAT2) nas regiões Norte do Brasil e do Paraguai e em uma porção da região Norte da Argentina (figura 3-I-m). Apenas os índices H e HI apresentaram valores na categoria de forte estresse ao calor (CAT3), ocorrendo predomínio da subestimação, principalmente no Norte do Brasil, para o primeiro índice, e em parte da Cordilheira do Andes para o segundo. A categoria extremo estresse ao calor (CAT4) não apresenta ocorrência em nenhum índice. A seguir, são analisados alguns índices de forma individual.

De acordo com a Figura 3-III, a simulação do índice H acontece de modo mais satisfatório para as regiões Sul e em partes da região Norte da América do Sul. Para os dias sem desconforto (CAT0), a simulação subestima a observação na porção Central e Norte da Cordilheira dos Andes (predominância de ocorrência > -210 dias ano<sup>-1</sup>) e superestima em uma faixa a Oeste da Cordilheira e em partes do Sul e Sudeste do Brasil (30 a 60 dias ano<sup>-1</sup>) – figura 3-III-k. Para dias com pouco desconforto (CAT1) há domínio da superestimação na faixa Central do Brasil (~ 90 dias ano<sup>-1</sup>) e na região da Cordilheira dos Andes (ocorrência > 180 dias ano<sup>-1</sup>), conforme pode ser visto na figura 3-III-l. O comportamento espacial dos dias

com algum desconforto (CAT2) – figura 3-III-m – é de superestimação, principalmente na região da costa Noroeste da América do Sul e na Amazônia (60 a 90 dias ano<sup>-1</sup>); e, de subestimação para a região Central do Brasil, Norte da Cordilheira dos Andes, Guiana, Guiana Francesa, Suriname, Venezuela e em grande parte da Bolívia e do Paraguai, com ocorrência entre -60 a -90 dias ano<sup>-1</sup>. Percebe-se um domínio da subestimação (ocorrência > 150 dias ano<sup>-1</sup>) para dias com grande desconforto (CAT3), principalmente em partes das regiões Norte do Brasil, da Colômbia e do Peru (figura 3-III-n).

Observando o índice TEV (figura 4-VI) nota-se que os modelos climáticos simulam o estresse térmico de modo espacialmente mais satisfatório em partes da Amazônia Internacional e da região Centro-Oeste do Brasil (figuras 4-VI-k e 4-VI-l). Outras regiões como o Sul e Sudeste da América do Sul e Cordilheira dos Andes não apresentam dados para as cinco categorias definidas ou a soma delas não resulta 365 dias conforme explicado na seção 3.3. Para situações sem estresse térmico (CAT0) a simulação subestima a observação (figura 4-VI-k) em partes da Amazônia Internacional, com crescimento do viés da sua porção Sul para a Norte (de -90 para -240 dias ano<sup>-1</sup>). Já para dias com ligeiro estresse ao calor (CAT1) – figura 4-VI-l, ocorre superestimação em partes do Norte da América do Sul e da Bacia do Rio da Prata (predominância de viés entre 60 e 90 dias ano<sup>-1</sup>). As demais categorias não apresentam vieses relevantes.

A figura 5-VII mostra a distribuição espacial do índice ESI e aponta para menores diferenças entre observação e simulação para condições de ausência de estresse térmico (CAT0) e de estresse térmico leve (CAT1). Na primeira condição ocorre superestimação para as regiões Norte do Brasil e do Peru e em partes da Colômbia (figura 5-VII-k), com vieses de 180 a 240 dias ano<sup>-1</sup>; e na segunda ocorre subestimação nas mesmas regiões (figura 5-VII-l), com vieses da mesma magnitude.

Na figura 4-IV a simulação do índice AT é melhor para as regiões Sul e Leste da América do Sul (semelhante ao ocorrido para a maioria dos índices) e para a Cordilheira dos Andes (figuras 4-IV-k, 4-IV-l e 4-IV-m). Analisando a ocorrência de dias sem estresse térmico (CAT0), há prevalência da superestimação, principalmente, na Amazônia Internacional, onde vieses variam de 60 a mais de 240 dias ano<sup>-1</sup>. Comportamento espacial semelhante pode ser visto para dias com estresse térmico leve (CAT1), porém com subestimação. Para condições de estresse térmico moderado (CAT2), a simulação superestima a observação na porção mais ao Norte da América do Sul (30 a 90 dias ano<sup>-1</sup>).

Com a finalidade de resumir as informações descritas, a tabela 12 mostra, para as regiões que apresentaram valores elevados de viés na maioria das categorias de estresse térmico, ou seja, principalmente partes da Amazônia Internacional, da Cordilheira dos Andes e das regiões Nordeste e Centro-Oeste do Brasil, se a observação dessas categorias é predominantemente subestimada ou superestimada pela simulação dos modelos climáticos. Isso não significa que as simulações são totalmente subestimadas ou superestimadas para cada categoria, mas sim qual desses vieses são mais frequentes sobre as áreas descritas anteriormente. As outras regiões da América do Sul, como as regiões Sul e Leste da América do Sul, não estão contempladas na tabela 12 uma vez que nelas os valores de viés são baixos, indicando que há uma boa simulação do clima presente nessas regiões.

**Tabela 12** - Resumo das categorias de estresse térmico de cada índice que são predominantemente subestimadas (cor azul) ou superestimadas (cor vermelha), pela simulação dos oito modelos climáticos do CMIP5, no clima presente (1979 – 2005), nas regiões da América do Sul que apresentaram elevados valores de viés

Índice	CAT0	CAT1	CAT2	CAT3	CAT4
TE					
DI					
H					
AT					
HI					
TEV					
ESI					
W					

Para as categorias sem marcação (na cor branca), os valores de viés são baixos sobre partes da Amazônia Internacional, da Cordilheira dos Andes e das regiões Nordeste e Centro-Oeste do Brasil.

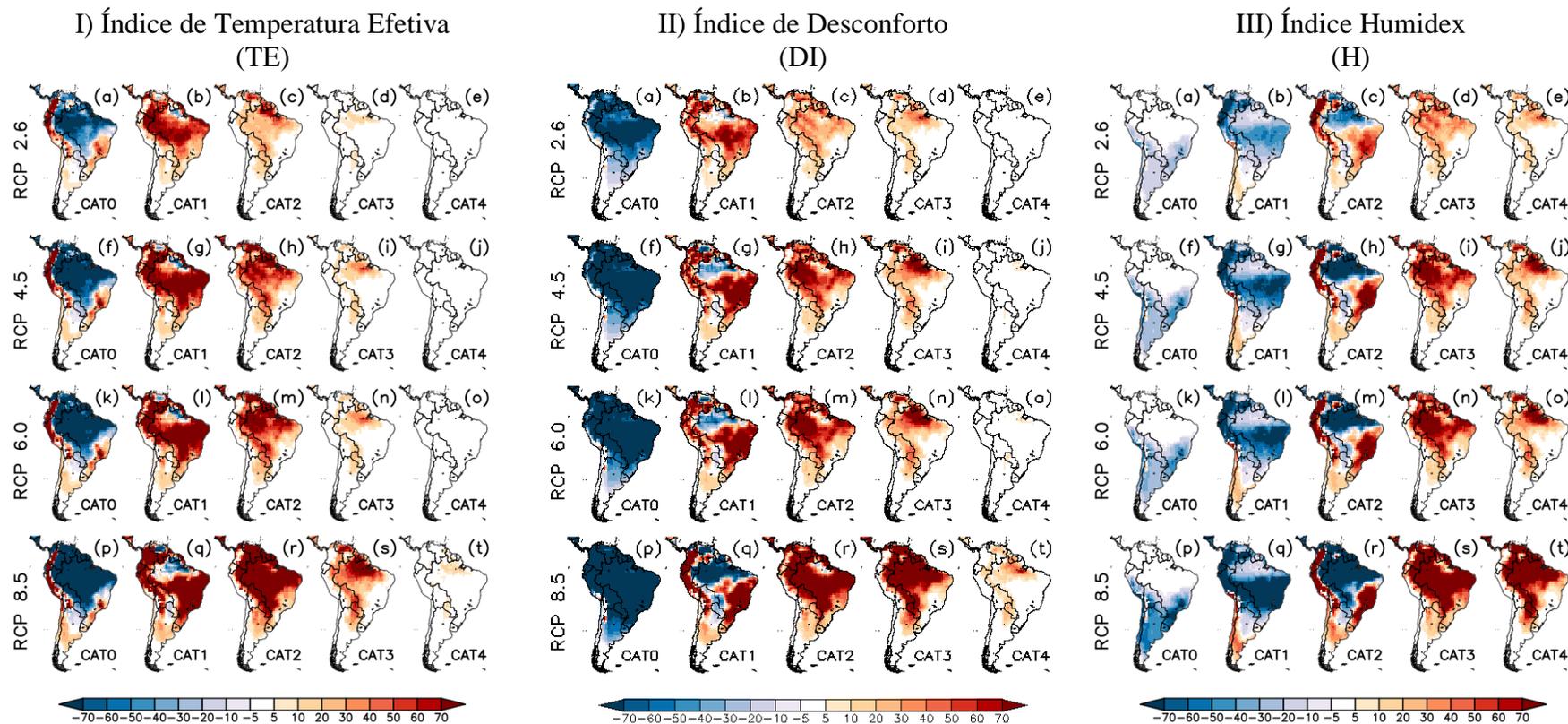
Para o clima presente, todos os índices apresentam informações para as categorias 0 e 1 e 75 % para a categoria 2. A categoria 3 está presente em apenas 25 % dos índices, enquanto a categoria 4 não é atingida por nenhum índice. A simulação superestima a observação em 75 % dos índices na CAT0; subestima em 75 % na CAT1; sub e superestima de forma igual na CAT2 (50 %); e subestima em 25 % na CAT3. Essas subestimativas e superestimativas apresentaram vieses ultrapassando  $-90$  e  $+90$  dias ano<sup>-1</sup>, respectivamente, em todos os índices.

De acordo com os resultados apresentados, os modelos climáticos são capazes de simular o estresse térmico observado sendo, portanto, válidos para realizar as projeções de estresse térmico até 2100. Esses modelos apresentam elevado desempenho em simular o estresse térmico observado em locais onde os vieses são menores, ou seja, principalmente sobre porções da Bacia do Rio da Prata, e sobre as regiões Sul e Leste da América do Sul. Apesar da magnitude elevada do viés em algumas regiões, principalmente na Amazônia

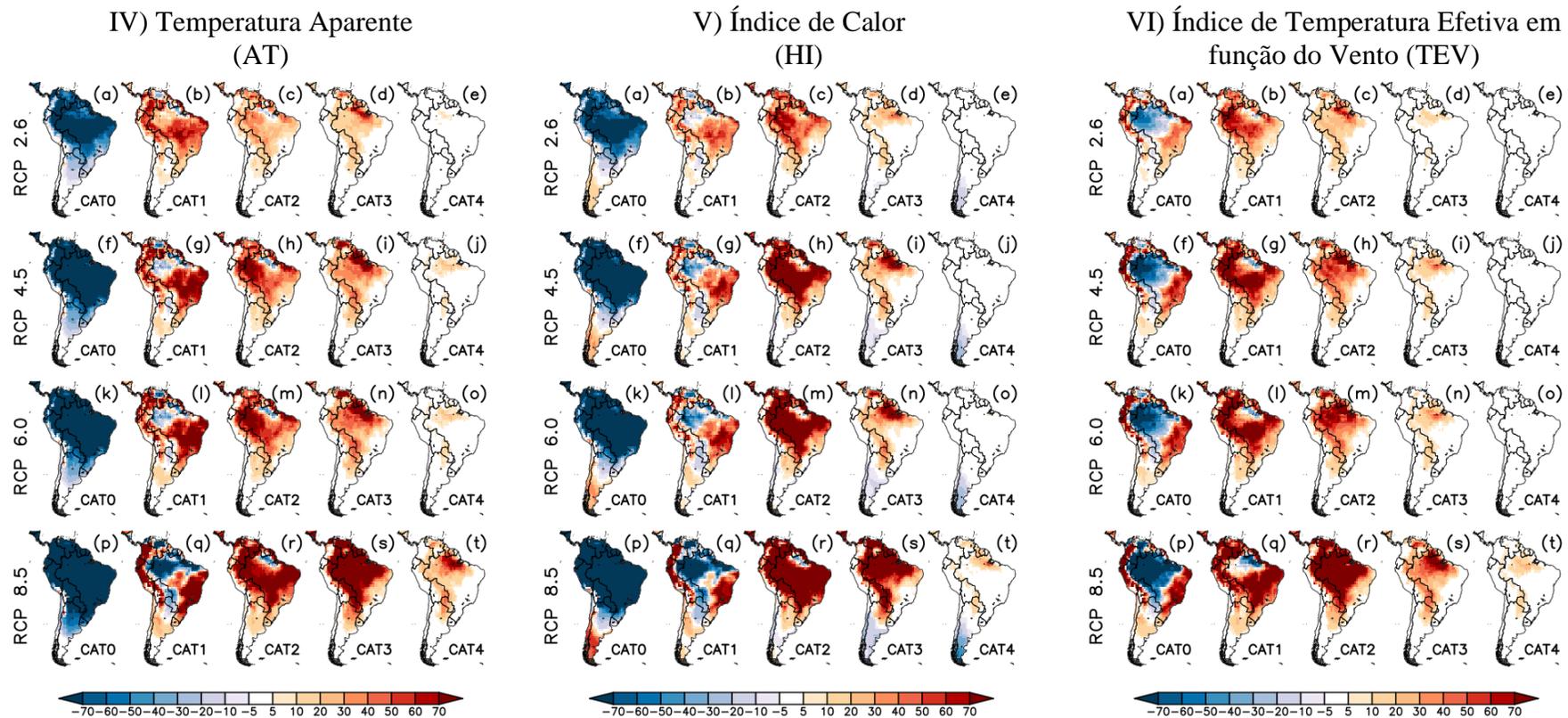
Internacional, Cordilheira dos Andes e nas regiões Nordeste e Centro-Oeste do Brasil (podendo chegar a  $\sim -220$  e  $+220$  dias ano<sup>-1</sup>), as simulações dos modelos climáticos mostraram-se capazes de representar o estresse térmico observado dos índices avaliados, uma vez que o comportamento espacial em ambos é semelhante.

## **4.2. Projeções de estresse térmico para a América do Sul**

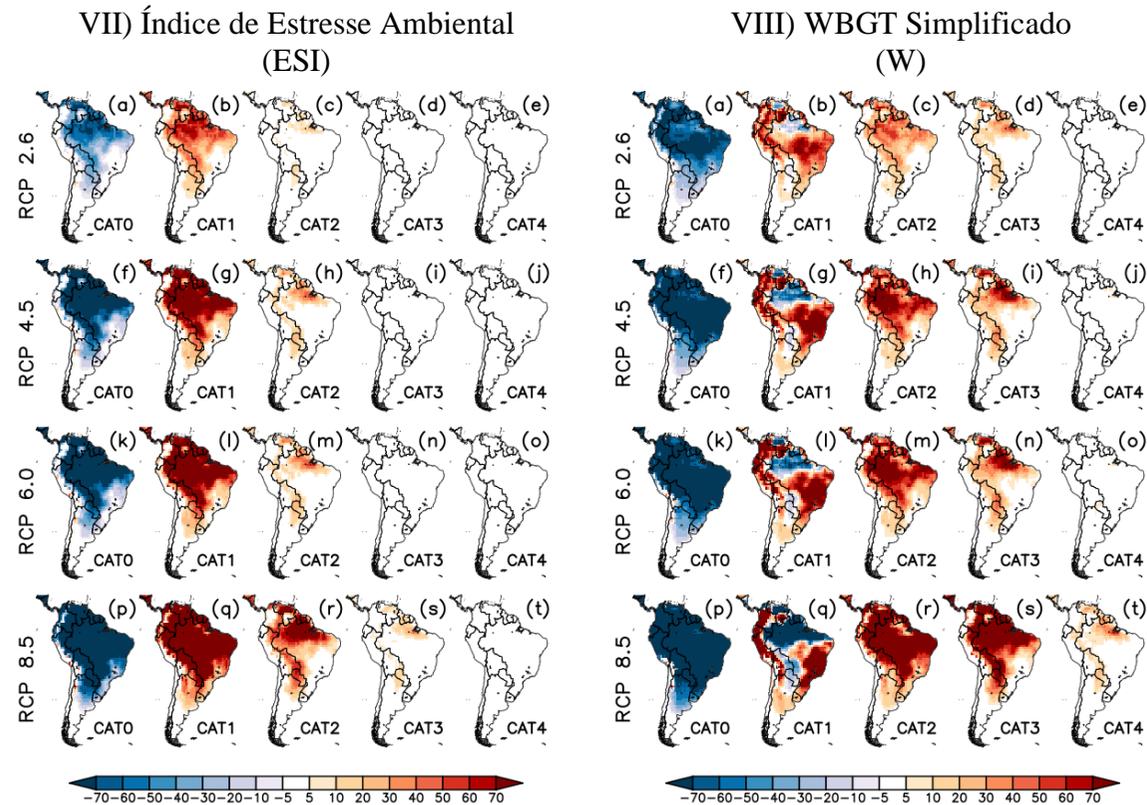
As figuras 6, 7 e 8 mostram a anomalia de dias de ocorrência de cada uma das categorias dos índices de estresse térmico, para os diferentes cenários avaliados, no clima futuro (período entre 2071 e 2100).



**Figura 6** - Projeções de ocorrência, em números de dias por ano, das categorias de índices de estresse térmico (2071 – 2100), para os quatro cenários RCPs. I) Índice TE; II) Índice DI; III) Índice H. As imagens com as letras a-e, f-j, k-o e p-t mostram as projeções de estresse térmico para os cenários RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5, respectivamente. Para o índice TE, alguns locais da América do Sul, como a região Sul, não estão coloridos pois não apresentam valores apenas para as cinco categorias adotadas, mas também para as que foram excluídas



**Figura 7** - Projeções de ocorrência, em números de dias por ano, das categorias de índices de estresse térmico (2071 – 2100), para os quatro cenários RCPs. IV) Índice AT; V) Índice HI; VI) Índice TEV. As imagens com as letras a-e, f-j, k-o e p-t mostram as projeções de estresse térmico para os cenários RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5, respectivamente. Para o índice TEV, alguns locais da América do Sul, como a região Sul, não estão coloridos pois não apresentam valores apenas para as cinco categorias adotadas, mas também para as que foram excluídas.



**Figura 8** - Projeções de ocorrência, em números de dias por ano, das categorias de índices de estresse térmico (2071 – 2100), para os quatro cenários RCPs. VII) Índice ESI; VIII) Índice W. As imagens com as letras a-e, f-j, k-o e p-t mostram as projeções de estresse térmico para os cenários RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5, respectivamente.

Como forma de resumir as informações apresentadas nas figuras 6 a 8, a tabela 13 mostra as características das projeções dos índices de estresse até o final do século XXI, de acordo com os quatro cenários futuros de mudanças climáticas. Categorias de alguns índices existem projeções tanto de aumento quanto de diminuição de ocorrência, porém, com a finalidade de sintetizar as informações, a tabela contém apenas a característica de projeção mais frequente para cada uma delas.

**Tabela 13** - Resumo das categorias de cada índice de estresse térmico em que as projeções dos oito modelos climáticos do CMIP5 indicam, predominantemente, aumento (cor vermelha) ou diminuição (cor azul) no clima futuro (2071 – 2100)

Índice	CAT0				CAT1				CAT2				CAT3				CAT4			
	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5
TE																	SD	SD	SD	
DI																	SD			
H																				
AT																				
HI																				
TEV																				
ESI													SD	SD	SD		SD	SD	SD	SD
W																	SD	SD	SD	

Para as categorias sem marcação, projeções de aumento ou diminuição de suas ocorrências são desprezíveis e acontecem em uma pequena fração da região de estudo. SD = sem dados.

A tabela 13 mostra concordância entre os índices quanto ao resultado das projeções. Isto é, todos os outros índices mostram diminuição de ocorrência de situações de conforto (CAT0) e aumento de ocorrência de situações de estresse térmico (CAT1, CAT2, CAT3 e CAT4), com exceção do índice H para a CAT1 (todos os cenários) e para a CAT2 (cenário RCP 8.5).

A diminuição de situações de CAT0 ocorre, principalmente, na Amazônia Internacional, Centro-Oeste do Brasil, Paraguai, Norte da Venezuela e em partes da Argentina, Bolívia e Peru, com diminuição de mais de 70 dias ano<sup>-1</sup> para a maior parte dessas áreas. Os índices TE, HI e TEV, além de apresentar projeções de diminuição da CAT0, também apresentam projeções de aumento de ocorrência dessa categoria, principalmente para o Sudeste e Sul da América do Sul e Cordilheira dos Andes, com frequência de mais de 70 dias no ano para essas regiões.

Com exceção do índice H, o aumento de mais de 70 dias de leve estresse térmico (CAT1) no ano são verificados para todos os outros índices, principalmente, para grande parte do Leste, Sul e Sudeste da região de estudo, Centro-Oeste do Brasil e Cordilheira dos Andes. Para as demais regiões (Amazônia Internacional, Paraguai, Norte da Venezuela e partes da Argentina e Bolívia) esses índices projetam diminuição dessa categoria em mais de 70 dias ano<sup>-1</sup> para o cenário RCP 8.5.

Projeta-se que haja predomínio da ocorrência das condições de médio estresse térmico (CAT2) em todos os índices e todos os RCPs, exceto para o índice H no RCP 8.5. Os índices TE, DI, TEV, ESI e W, apresentam tendência de aumento de mais de 70 dias no ano para toda a América do Sul. Os índices AT e HI seguem este mesmo padrão, exceto em parte da região da Norte do Brasil, que indica diminuição média entre 50 e 60 dias ano<sup>-1</sup> para o RCP 8.5. O índice H tende a diminuir a ocorrência da CAT2 na Amazônia Internacional, parte da Argentina, Bolívia, Centro-Oeste do Brasil e Paraguai em mais de 70 dias ano<sup>-1</sup>, principalmente no cenário RCP 8.5. Para este mesmo índice as projeções são de aumento no Norte da Cordilheira dos Andes, Sul e Sudeste do Brasil, Região Central da Argentina e no Uruguai, com ocorrências maiores que 70 dias ano<sup>-1</sup>.

Dias com estresse térmico elevado (CAT3) tendem a aumentar em todos os índices e cenários. Todos os índices projetam aumento dessa categoria para a Amazônia Internacional, Paraguai, Norte da Venezuela e partes da Argentina, Bolívia e Peru em mais de 70 dias ano<sup>-1</sup>.

Por fim, situações de estresse térmico extremo (CAT4) podem ocorrer com frequência caso o cenário RCP 8.5 seja observado no fim desse século. Esse aumento tende a ocorrer nas mesmas regiões citadas para a CAT3, porém em uma frequência média de 30 a 40 dias ano<sup>-1</sup>, com exceção, novamente, do H, onde as projeções atingem maior abrangência espacial e valores mais elevados (mais de 70 dias ano<sup>-1</sup>).

Para a CAT4, o índice AT no RCP 2.6; o DI no RCP 4.5 e RCP 6.0; e o HI e TEV no RCP 2.6, RCP 4.5 e RCP 6.0 não apresentam projeções de aumento ou diminuição de suas ocorrências relevantes, uma vez que são de pequenas magnitudes e ocorrem em uma pequena fração da região de estudo.

O índice H apresenta maior discrepância em relação aos demais. O índice ESI também diverge dos outros na frequência de ocorrência das categorias de estresse, já que sua distribuição ocorre apenas para as três primeiras categorias, não indicando assim condições de estresse extremas. Os demais índices são semelhantes em termos de frequência de ocorrência das categorias.

As projeções atingem maiores áreas e frequências quanto maior a forçante radiativa dos cenários. Assim, o cenário RCP 8.5 é o que gera piores condições de estresse térmico, seguido pelo RCP 6.0, RCP 4.5 e RCP 2.6, respectivamente. As regiões da Amazônia Internacional, Argentina, Bolívia, Paraguai e Norte da Venezuela são as que possivelmente irão sofrer maiores impactos decorrentes das mudanças climáticas, uma vez que são onde as projeções indicam maior ocorrência das categorias 2, 3 e 4.

Portanto, trabalhadores expostos ao ar livre possivelmente estarão sujeitos a piores condições de estresse, principalmente no verão. Regiões da América do Sul onde se concentram a maior parte da população tendem a experimentar mais dias com estresse térmico leve a elevado no ano.

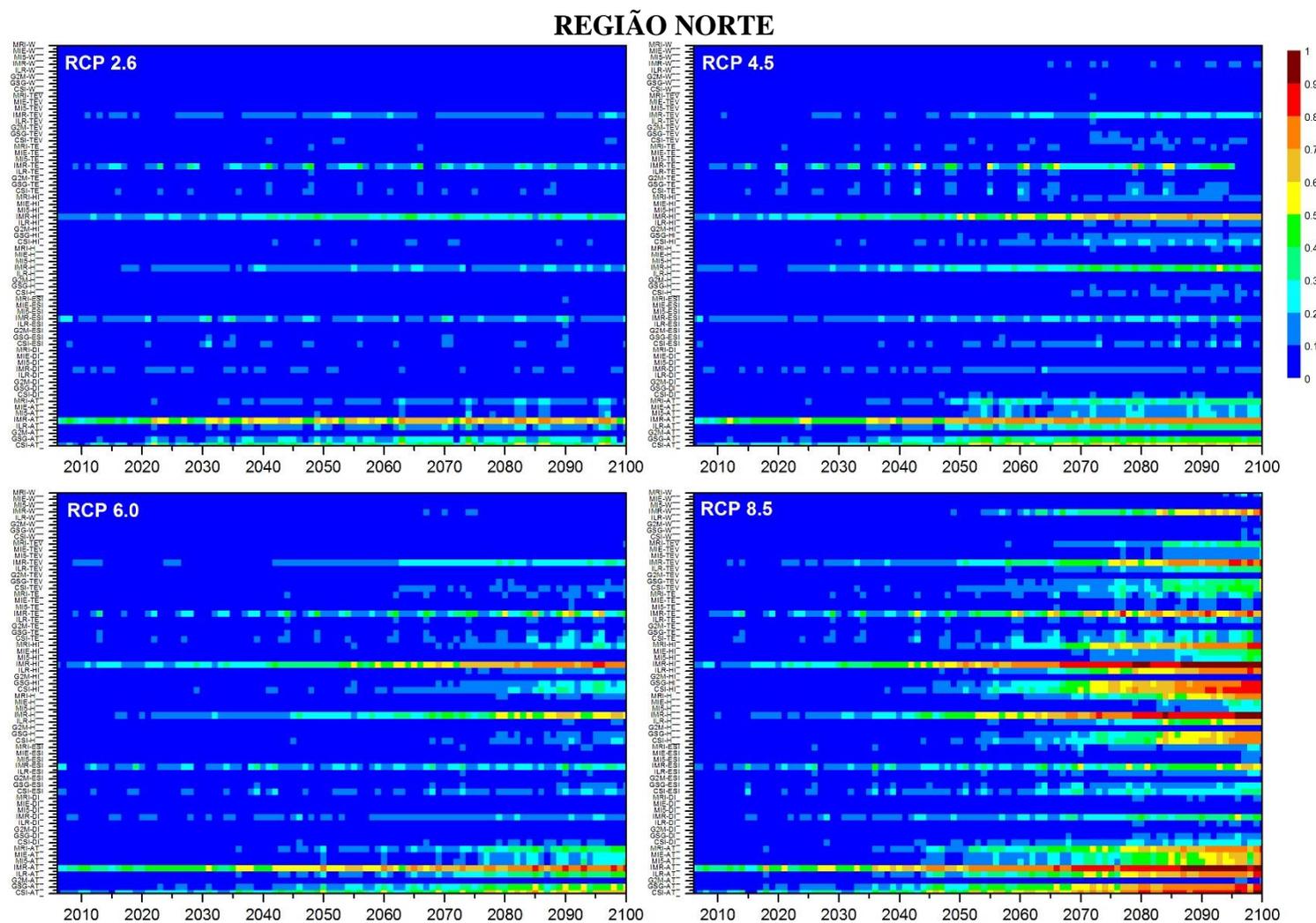
É importante ressaltar alguns erros associados às simulações e projeções das categorias dos índices de estresse térmico. São eles:

- Os índices AT, DI e HI podem acumular erros na estimativa do estresse térmico em locais que não sejam quentes e úmidos, sub ou superestimando a sensação térmica nessas regiões (BALOGUN, I.; BALOGUN, A., 2014; NOAA, 2015; ZHAO et al., 2015);
- Existem incertezas com relação às projeções, incluindo sensibilidade climática, padrões de aquecimento do clima, emissões de CO<sub>2</sub>, distribuições populacionais futuras e mudanças tecnológicas e sociais (DUNNE, STOUFFER e JOHN, 2013); e,
- Dificuldade dos modelos em gerar dados confiáveis para regiões com condições climáticas mais complexas e, portanto, difíceis de se representar, como a Amazônia Internacional e a Cordilheira dos Andes, regiões estas que apresentaram os maiores vieses. Isto pode ocorrer, entre outros fatores, devido a resolução espacial ainda grosseira dos modelos (TORRES, 2014).

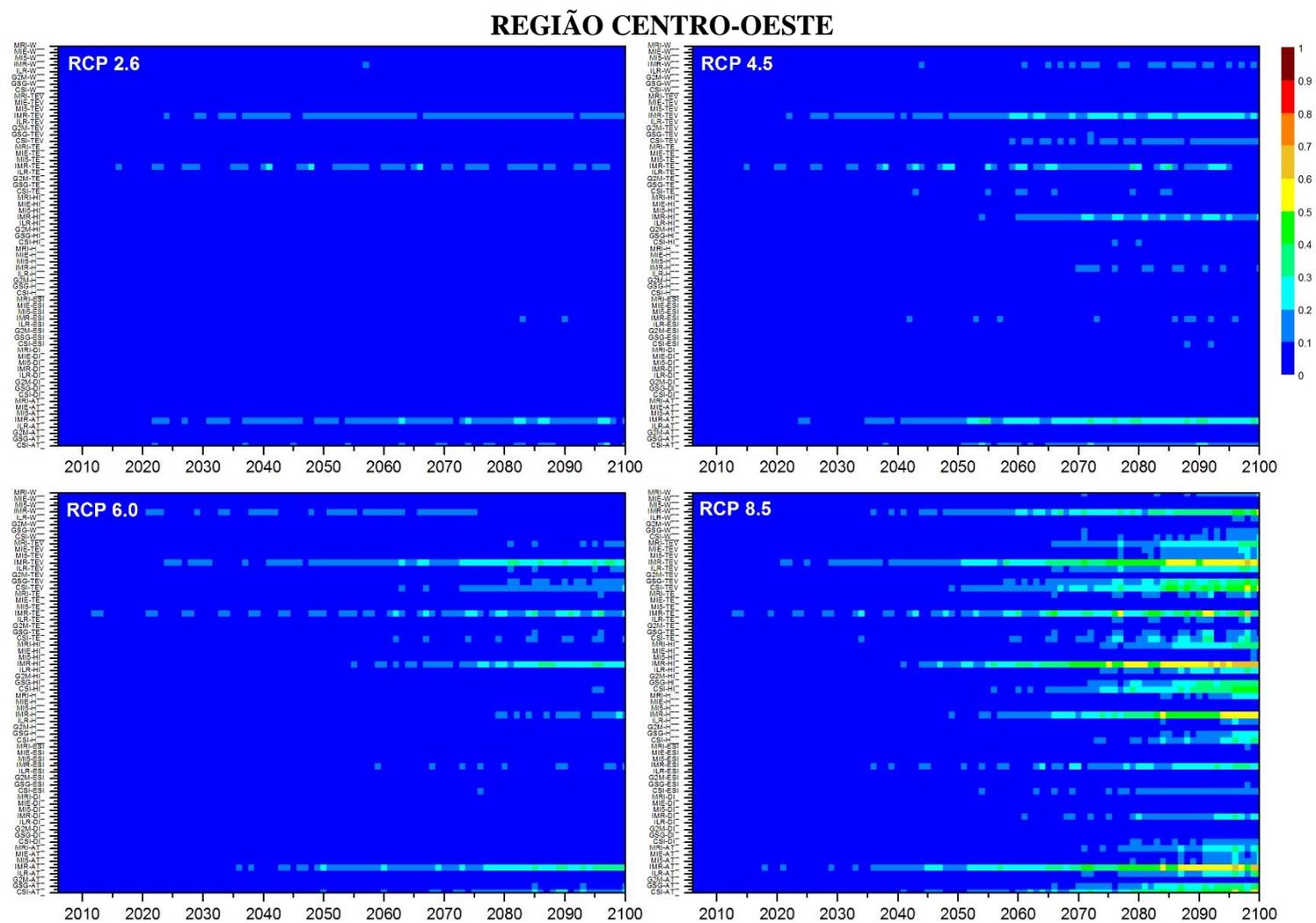
### **4.3 Projeções de estresse térmico para o Brasil**

Nesta seção avaliam-se as perspectivas de ocorrência de situações de estresse térmico no período de 2006 – 2100, para as cinco regiões do Brasil. Para tanto, são avaliados os percentuais de ocorrência das categorias dos índices que causam mais impactos nos trabalhadores expostos ao ar livre, CAT3 e CAT4.

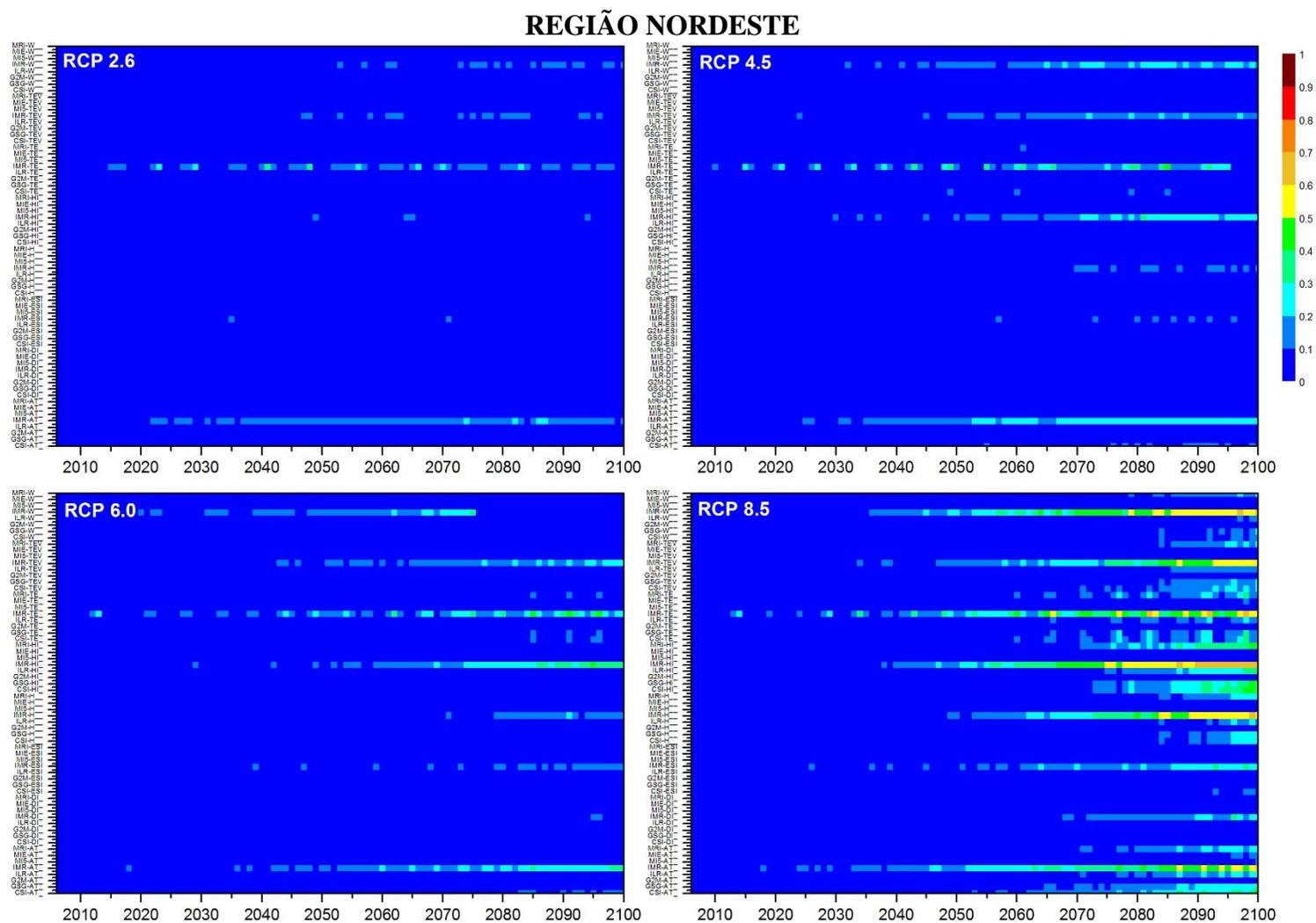
As figuras 9 a 13 apresentam as projeções das proporções de ocorrência das categorias 3 e 4 até o final de 2100 para cada índice, cada modelo, cada cenário e para cada uma das regiões brasileiras.



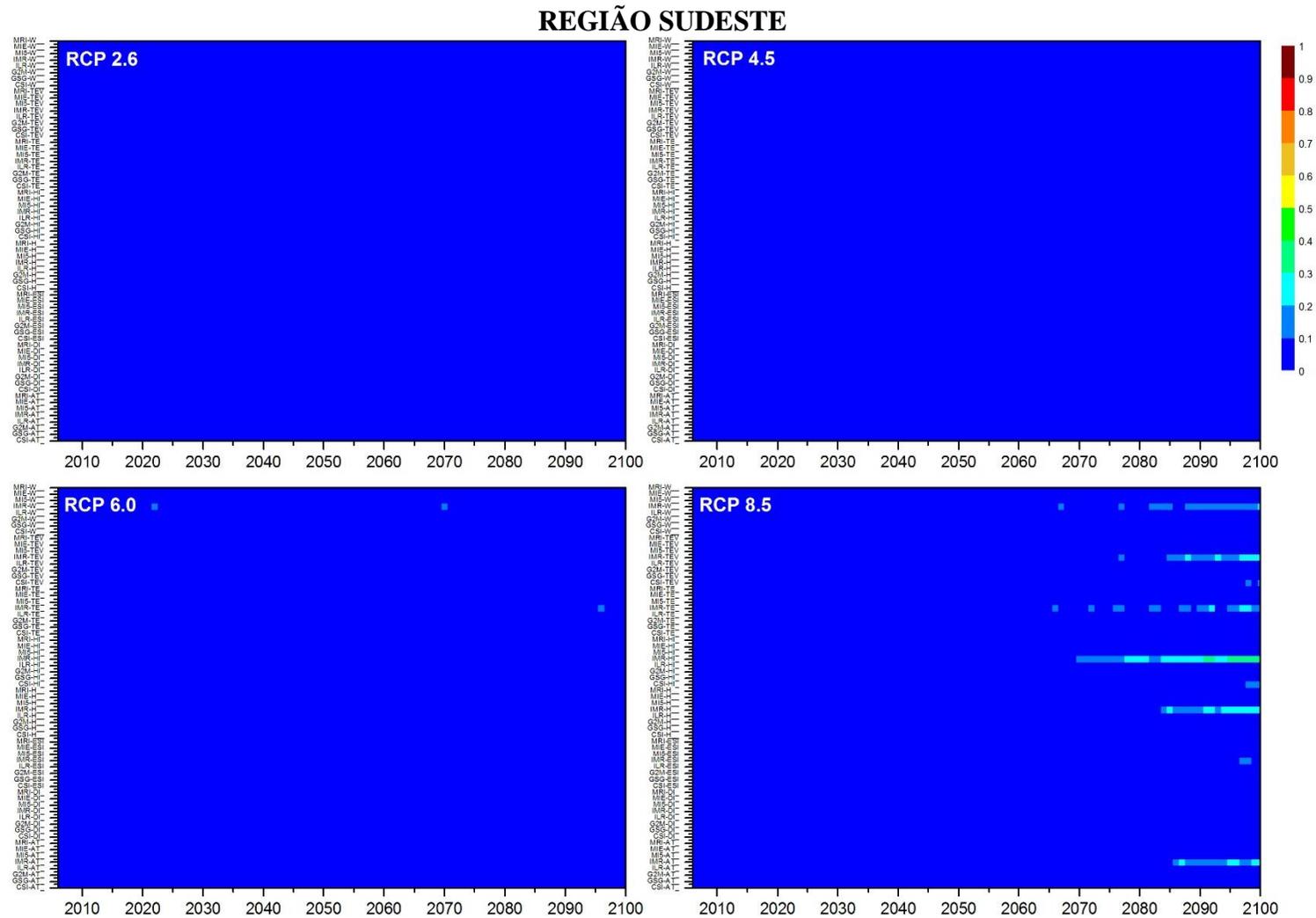
**Figura 9** - Projeções de ocorrência, em proporção de dias no ano, das categorias 3 e 4 de cada índice de estresse térmico e de cada modelo climático, para a região Norte do Brasil, até o final do século XXI, de acordo com os quatro cenários RCPs. O eixo x representa os anos do período de 2006 a 2100 e o eixo y representa os índices de estresse térmico de cada modelo



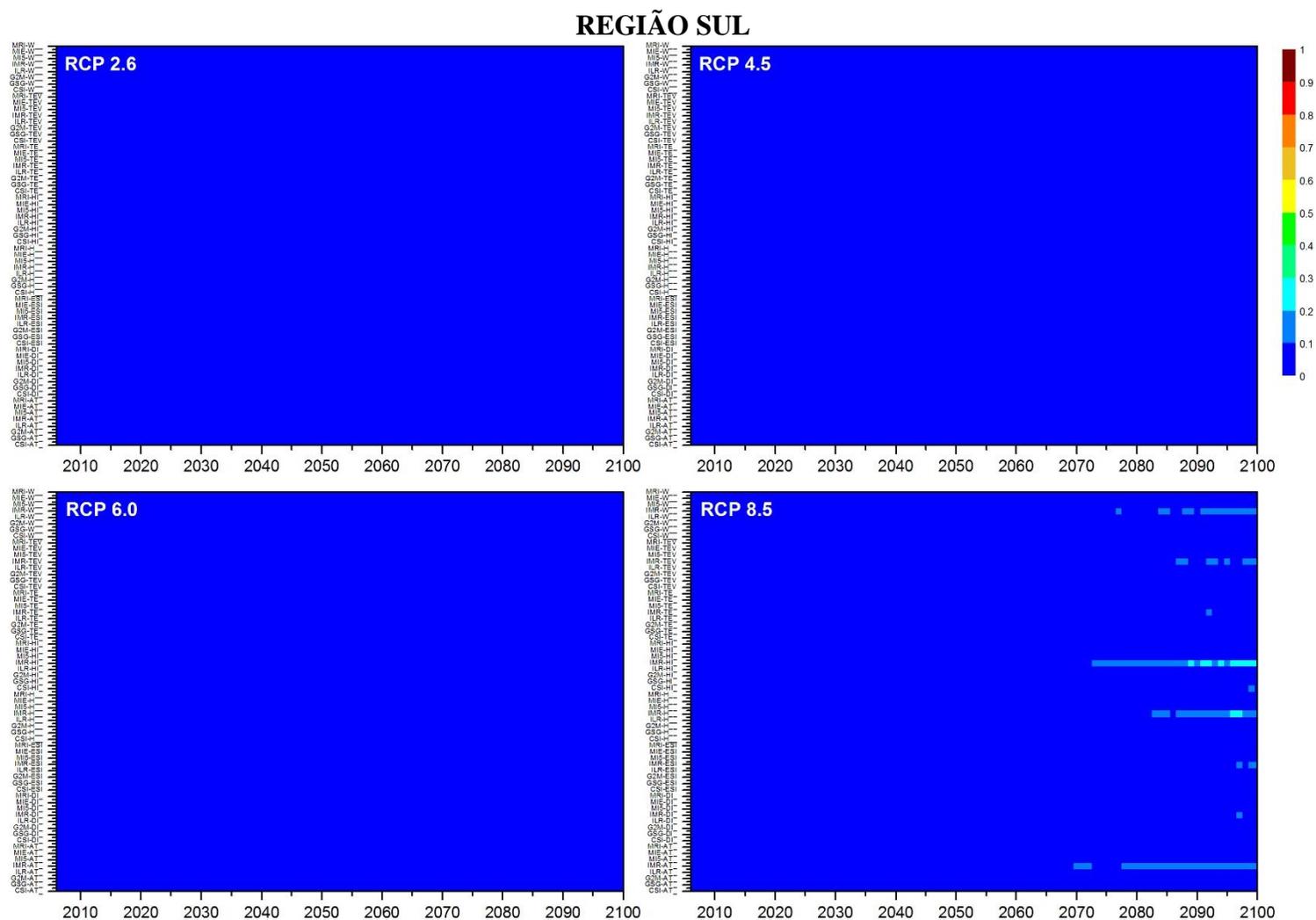
**Figura 10** - Projeções de ocorrência, em proporção de dias no ano, das categorias 3 e 4 de cada índice de estresse térmico e de cada modelo climático, para a região Centro-Oeste do Brasil, até o final do século XXI, de acordo com os quatro cenários RCPs. O eixo x representa os anos do período de 2006 a 2100 e o eixo y representa os índices de estresse térmico de cada modelo



**Figura 11** - Projeções de ocorrência, em proporção de dias no ano, das categorias 3 e 4 de cada índice de estresse térmico e de cada modelo climático, para a região Nordeste do Brasil, até o final do século XXI, de acordo com os quatro cenários RCPs. O eixo x representa os anos do período de 2006 a 2100 e o eixo y representa os índices de estresse térmico de cada modelo



**Figura 12** - Projeções de ocorrência, em proporção de dias no ano, das categorias 3 e 4 de cada índice de estresse térmico e de cada modelo climático, para a região Sudeste do Brasil, até o final do século XXI, de acordo com os quatro cenários RCPs. O eixo x representa os anos do período de 2006 a 2100 e o eixo y representa os índices de estresse térmico de cada modelo



**Figura 13** - Projeções de ocorrência, em proporção de dias no ano, das categorias 3 e 4 de cada índice de estresse térmico e de cada modelo climático, para a região Sul do Brasil, até o final do século XXI, de acordo com os quatro cenários RCPs. O eixo x representa os anos do período de 2006 a 2100 e o eixo y representa os índices de estresse térmico de cada modelo

As figuras 9 a 13 mostram comportamento semelhante, porém de magnitude diferente, entre as projeções para as diferentes regiões do país. As regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste apresentam maior tendência de aumento das condições de estresse térmico até o fim do século XXI para quaisquer RCPs. Por outro lado, Sul e Sudeste, só apresentam aumento das situações de estresse térmico para o RCP 8.5.

A variabilidade entre os índices e modelos aumenta das regiões próximas ao equador para áreas mais austrais do país. O mesmo ocorre de RCPs maiores para os menores. Também é possível perceber que a quantidade de dias com ocorrência das categorias mencionadas aumenta no decorrer do século XXI, com crescimento mais acentuado principalmente a partir do ano 2050 para as regiões NO, CO e NE. Para as outras regiões, esse crescimento acontece a partir de 2070.

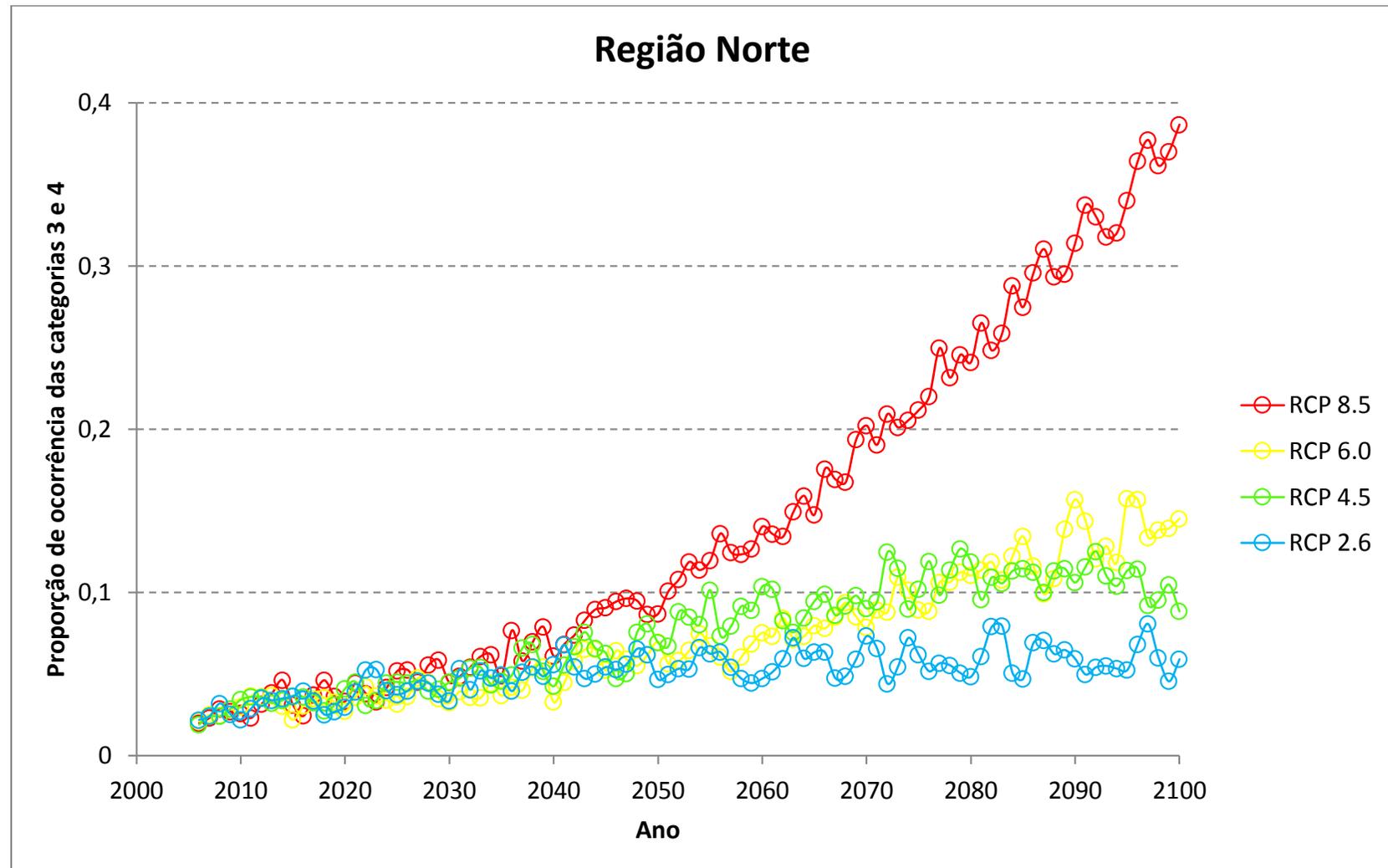
Em todas as regiões brasileiras, os índices que indicam condições mais agravantes de estresse térmico no final do século XXI são: HI, H, AT, TE, TEV e W. Quanto aos modelos, tem-se IPSL-CM5A-MR, CSIRO-Mk3.6.0, GFDL-ESM2G e IPSL-CM5A-LR, nesta ordem. Os índices que indicam condições menos agravantes são o ESI e o DI e os modelos são o G2M, MI5 e MIE.

Na região NO nota-se aumentos consideráveis de ocorrência das piores condições de estresse térmico em todo o período de tempo estudado e em todos os cenários climáticos. O modelo IPSL-CM5A-MR, indica ocorrência da CAT3 e CAT4, em média, de 20 a 30 % dos dias de 2100 para o cenário RCP 2.6. Analisando as projeções do RCP 8.5 verifica-se que esse mesmo modelo indica ocorrência dessas categorias podendo chegar a mais de 90 % dos dias de 2100 para cinco dos oito índices estudados.

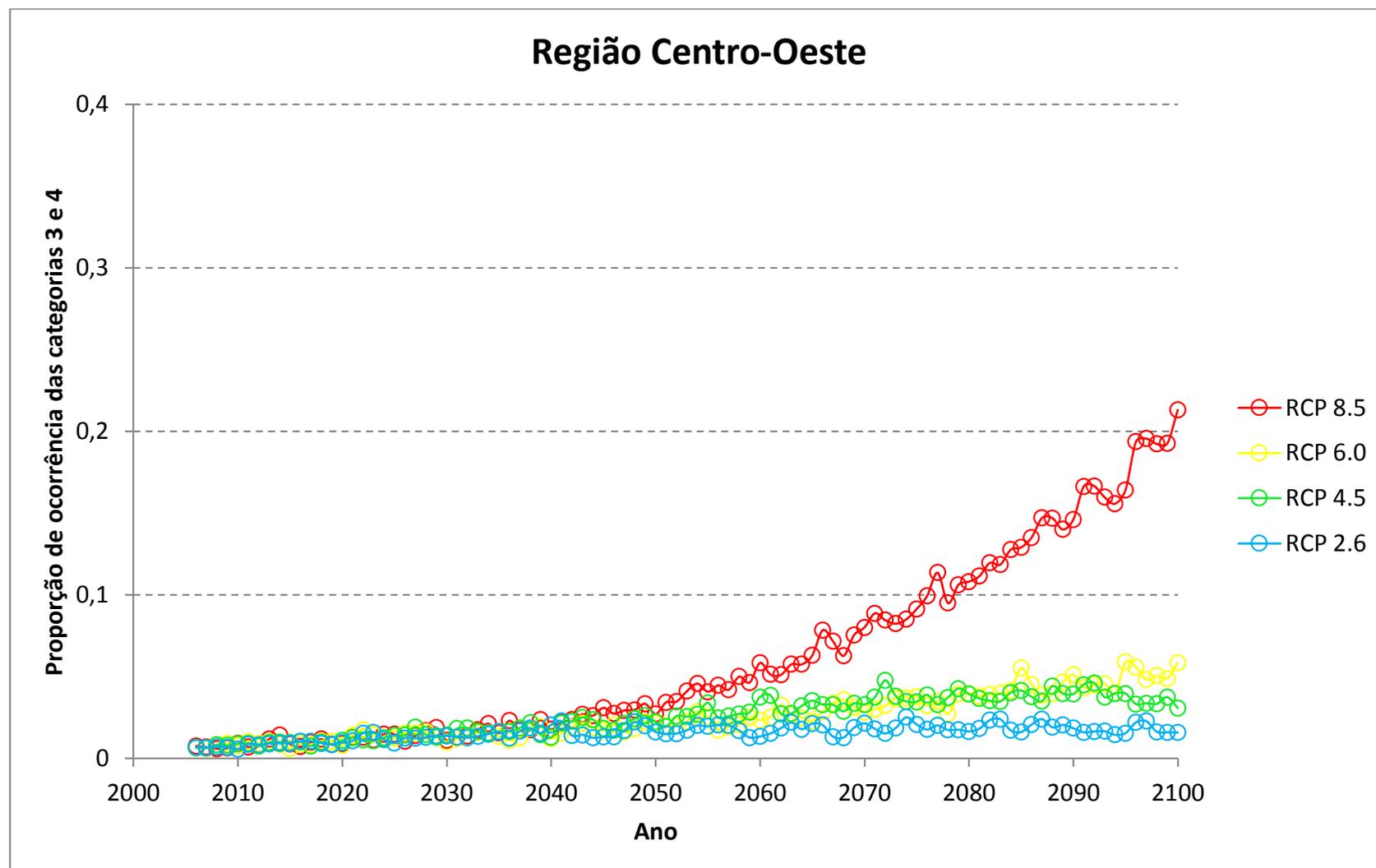
Nas regiões CO e NE é possível observar semelhanças nas ocorrências das piores condições de estresse. O cenário RCP 8.5 projeta, considerando os modelos que indicam condições mais agravantes de estresse térmico, mais de 30 % de dias no final deste século com ocorrências das categorias avaliadas, podendo chegar a 70 % dos dias do ano. Já os outros cenários indicam mais de 20 % de episódios dessas categorias a partir de 2070, principalmente para o RCP 6.0, considerando apenas o modelo IMR.

As regiões SE e SU, apresentam, para a maioria dos índices e dos modelos, menos de 10 % dos dias de 2100 com condições de estresse térmico mais impactantes, considerando todos os RCPs. Para a região SE as projeções são mais impactantes do que para a região SU. Analisando o modelo que gera resultados mais discrepantes, o IPSL-CM5A-MR, a ocorrência dessas condições pode chegar a 30 % na primeira região e a 40 % na última de acordo com o

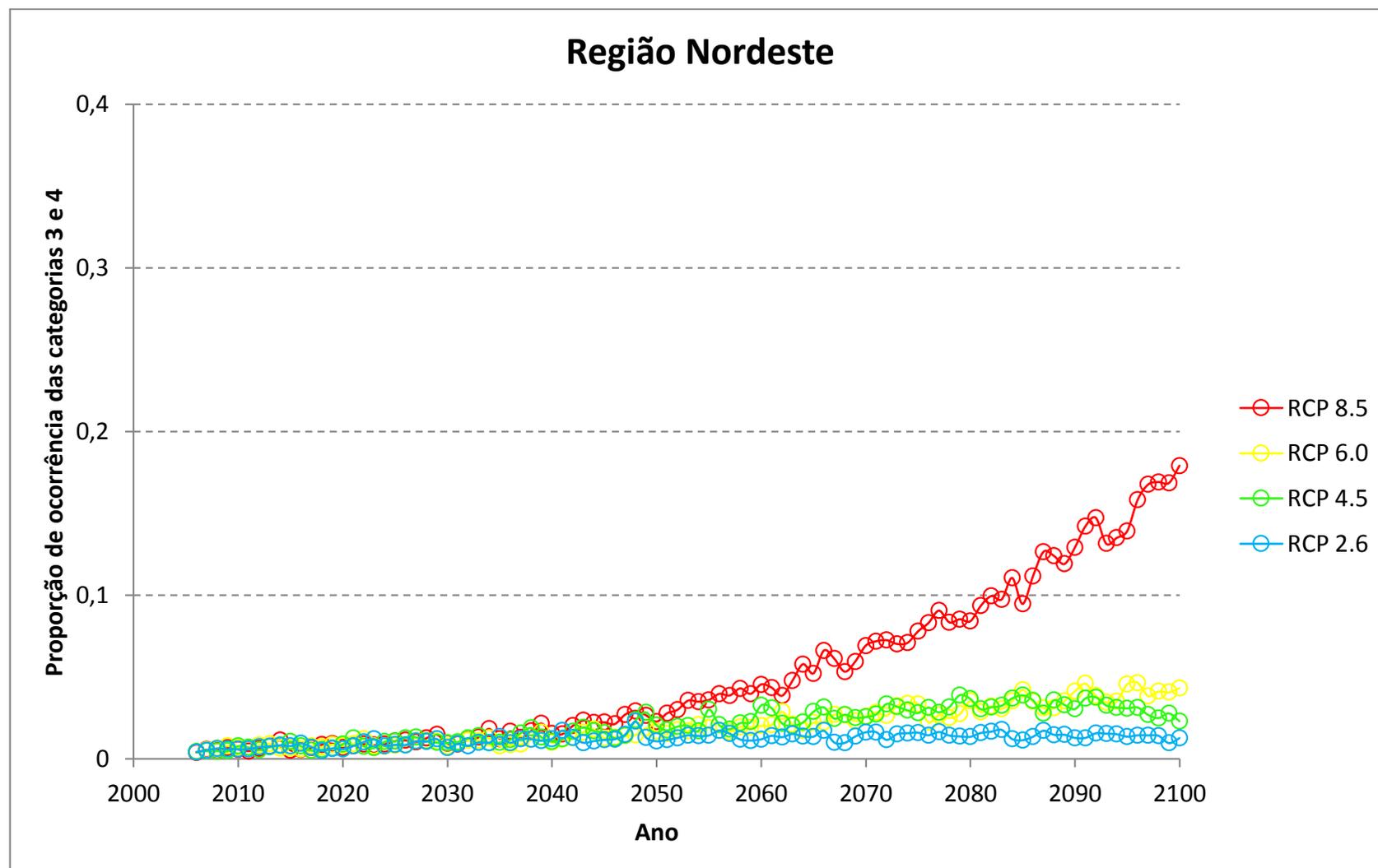
RCP 8.5. As figuras 14 a 18 mostram os resultados das projeções de ocorrência das categorias 3 e 4 com base na média dos oito índices e dos oito modelos.



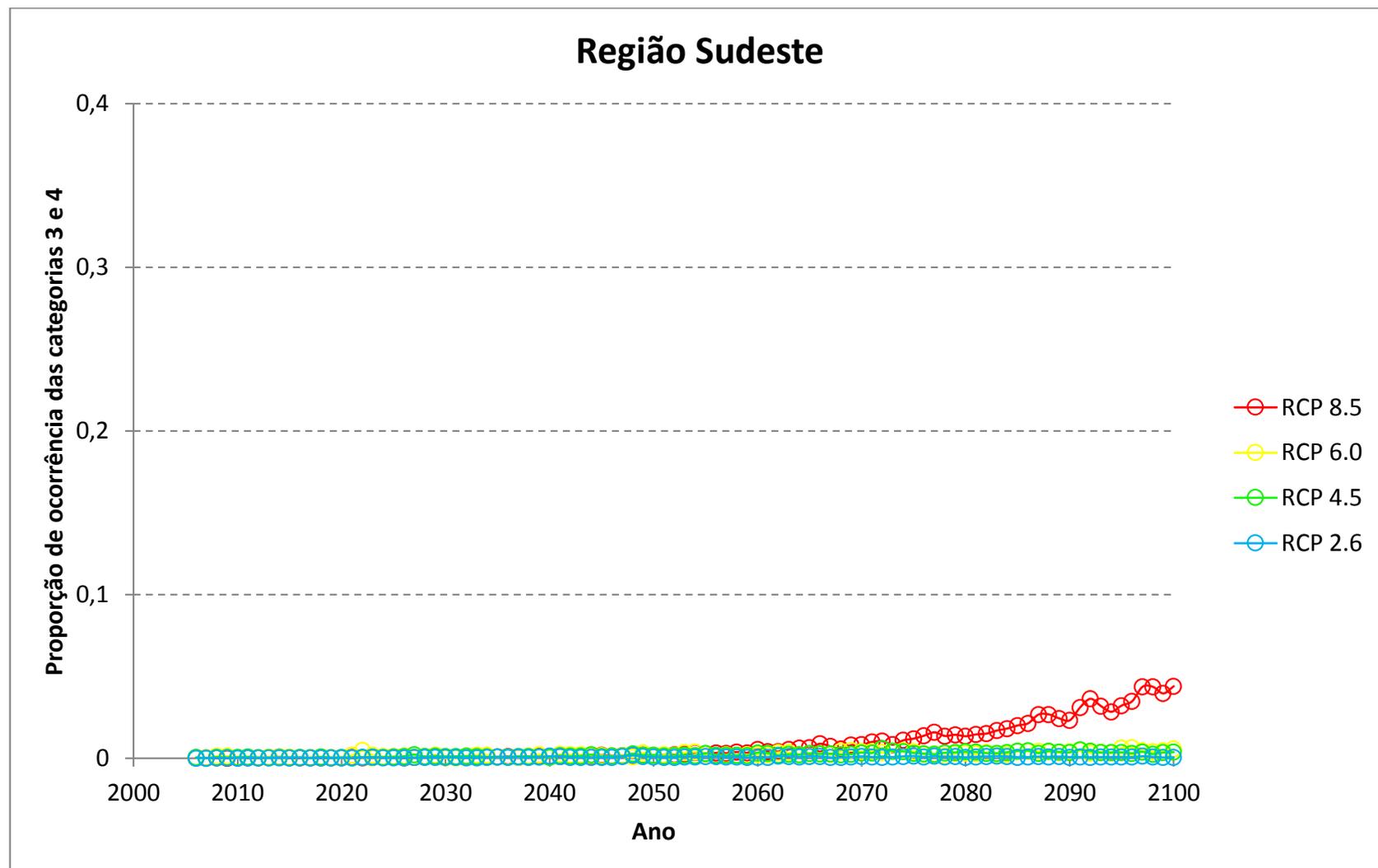
**Figura 14** - Projeções de ocorrência das categorias 3 e 4 dos índices de estresse térmico para a região Norte do Brasil, até o final do século XXI, com base nos quatro cenários RCPs



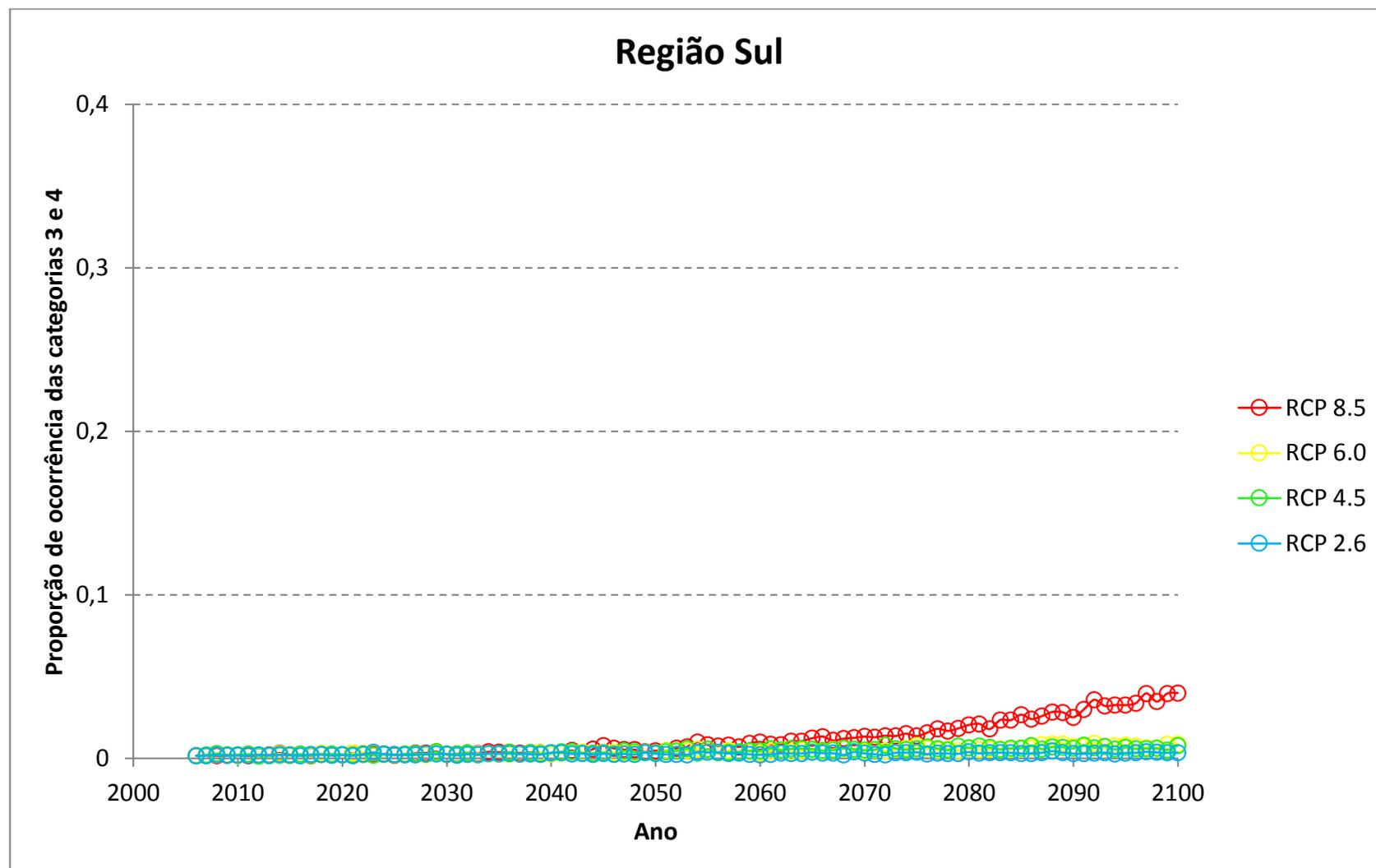
**Figura 15** - Projeções de ocorrência das categorias 3 e 4 dos índices de estresse térmico para a região Centro-Oeste do Brasil, até o final do século XXI, com base nos quatro cenários RCPs



**Figura 16** - Projeções de ocorrência das categorias 3 e 4 dos índices de estresse térmico para a região Nordeste do Brasil, até o final do século XXI, com base nos quatro cenários RCPs



**Figura 17** - Projeções de ocorrência das categorias 3 e 4 dos índices de estresse térmico para a região Sudeste do Brasil, até o final do século XXI, com base nos quatro cenários RCPs



**Figura 18** - Projeções de ocorrência das categorias 3 e 4 dos índices de estresse térmico para a região Sul do Brasil, até o final do século XXI, com base nos quatro cenários RCPs

Analisando as figuras anteriores, verifica-se que as situações mais impactantes para os trabalhadores ao ar livre no Brasil são observadas para a região Norte, já que os resultados apontam um aumento de quase 40 % das ocorrências de elevado estresse térmico (RCP 8.5) ao final do século XXI, enquanto as regiões Centro-Oeste, Nordeste, Sudeste e Sul apresentam aumento dessas ocorrências em 20 %, 19 %, 7 % e 5 %, respectivamente. As situações de estresse térmico só passam a ser observadas com mais ocorrência a partir da metade do século.

A tabela 14 apresenta um sumário da situação de estresse térmicos no ano 2100, a partir dos dados apresentados nas figuras 14 a 18.

**Tabela 14** - Média  $\pm$  desvio padrão (Mediana), em % de dias ano<sup>-1</sup> de ocorrência das categorias 3 e 4, para as cinco regiões brasileiras e para os cenários RCPs, em 2100, considerando todos os índices e modelos climáticos

Regiões do Brasil	Cenários			
	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5
	Média $\pm$ Desvio Padrão (Mediana) em % de dias ano <sup>-1</sup> para o ano 2100			
NO	5,9 $\pm$ 10,3 (2,1)	8,8 $\pm$ 15,2 (1,9)	14,5 $\pm$ 19,3 (8,4)	38,7 $\pm$ 31,9 (25,8)
CO	1,6 $\pm$ 2,8 (0,6)	3,1 $\pm$ 5,0 (1,1)	5,9 $\pm$ 8,5 (1,8)	21,3 $\pm$ 19,2 (16,2)
NE	1,3 $\pm$ 2,7 (1,1)	2,3 $\pm$ 4,9 (0,3)	4,3 $\pm$ 7,4 (1,1)	17,9 $\pm$ 18,0 (12,5)
SE	0,1 $\pm$ 0,2 (0,0)	0,4 $\pm$ 0,7 (0,0)	0,6 $\pm$ 1,4 (0,0)	4,4 $\pm$ 7,3 (1,4)
SU	0,4 $\pm$ 0,8 (0,0)	0,8 $\pm$ 1,2 (0,2)	0,9 $\pm$ 1,6 (0,1)	4,0 $\pm$ 5,0 (2,6)

Os valores elevados do desvio-padrão observados na tabela 14 mostram a variabilidade elevada entre os índices e, principalmente, os modelos utilizados. Os piores cenários, além de apresentarem as maiores probabilidades de ocorrência das categorias 3 e 4, também apresentam maiores desvios-padrões. Essa discrepância se deve à dificuldade para se fazer projeções climáticas para as regiões tropicais e subtropicais, conforme apontado na seção 4.1. De qualquer modo, a mediana das projeções aponta para uma quantidade significativa de modelos e índices que corroboram a hipótese do aumento significativo de condições de estresse térmico nas regiões NO, CO e NE do país. O pior cenário climático, RCP 8.5, pode incrementar o número de ocorrências das categorias de estresse em mais de ¼ dos dias do ano nessas regiões.

As regiões brasileiras mais populosas, SE, NE e SU (IBGE, 2010), apresentam menores projeções de ocorrências das piores condições de estresse térmico. Isso é um fator

positivo visto que são nessas regiões que certamente estão concentrados os maiores números de trabalhadores expostos ao ar livre. Já as outras duas regiões, apresentam condições agravantes de estresse térmico até o final deste século, o que implicará em impactos às condições de saúde e trabalho, assim como à economia regional.

Ressalta-se, que esta análise para as regiões do Brasil, levou em consideração as categorias 3 e 4 de grande estresse térmico. A categoria 2 também pode causar desconfortos consideráveis nos trabalhadores expostos e pode ocorrer com frequência no Brasil. Portanto, é possível afirmar que as condições de desconforto e estresse térmico a que os trabalhadores expostos ao ar livre estarão sujeitos até o final deste século, podem ser ainda mais impactantes do que as aqui apresentadas. Nesse estudo, os esforços foram concentrados nas condições que impactam diretamente a saúde. Porém, as situações de menores impactos podem estar relacionadas à diminuição da eficiência laboral e da produtividade e não deve ser descartada de estudos futuros e relacionados, de modo interdisciplinar, com áreas da economia e saúde pública.

#### **4.4 Impacto do estresse térmico sobre a capacidade de trabalho de cortadores de cana-de-açúcar do Brasil no final do século XXI**

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, tendo grande importância para o agronegócio brasileiro (CONAB, 2016). A área colhida na safra 2016/2017 no Brasil deve ser de 9.110,9 mil hectares, com um aumento de 5,3 % em relação à safra anterior (CONAB, 2016).

A agroindústria canavieira mostra-se muito favorável devido ao elevado preço do petróleo, esgotamento das jazidas e conscientização das pessoas em relação aos danos causados ao meio ambiente por esta fonte de combustível fóssil (CONAB, 2016). Neste sentido, a cana-de-açúcar torna-se uma das grandes alternativas para o setor de biocombustíveis, com tendência a ser ainda mais cultivada.

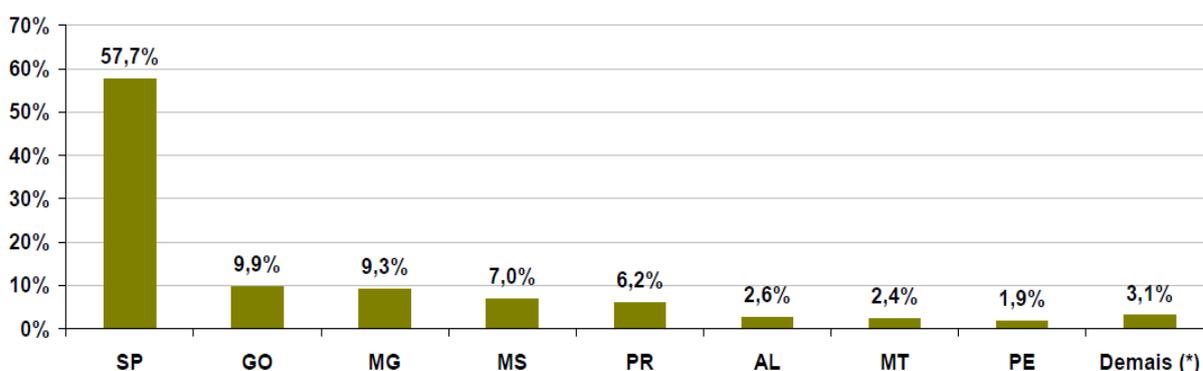
Mesmo com a expansão da mecanização, ao contrário do que se possa imaginar, a mão de obra humana no corte da cana tem crescido nos últimos anos (LUZ et al., 2014), passando de 335 mil trabalhadores em 2007 (JUTTEL, 2008) para 500 mil em 2010 (UNICA, 2013). Segundo Vilela et al. (2014), a mecanização está longe de eliminar a mão de obra humana, uma vez que a primeira colheita deve ser feita de modo manual para não prejudicar a rebrota das mudas, além de existir áreas em que não se pode utilizar máquinas, devido a elevada declividade e irregularidades no terreno.

O trabalho dos cortadores de cana é caracterizado por intenso ritmo e extensa jornada de trabalho, pagamento por produção, decréscimo real dos valores dos salários e descumprimento dos direitos trabalhistas (VILELA et al. 2014). Além disso, esses trabalhadores alimentam-se mal, bebem pouco líquido durante a jornada de trabalho, são transportados de maneira inadequada e descansam apenas poucos minutos após alimentar-se (BITENCOURT, RUAS e MAIA, 2012).

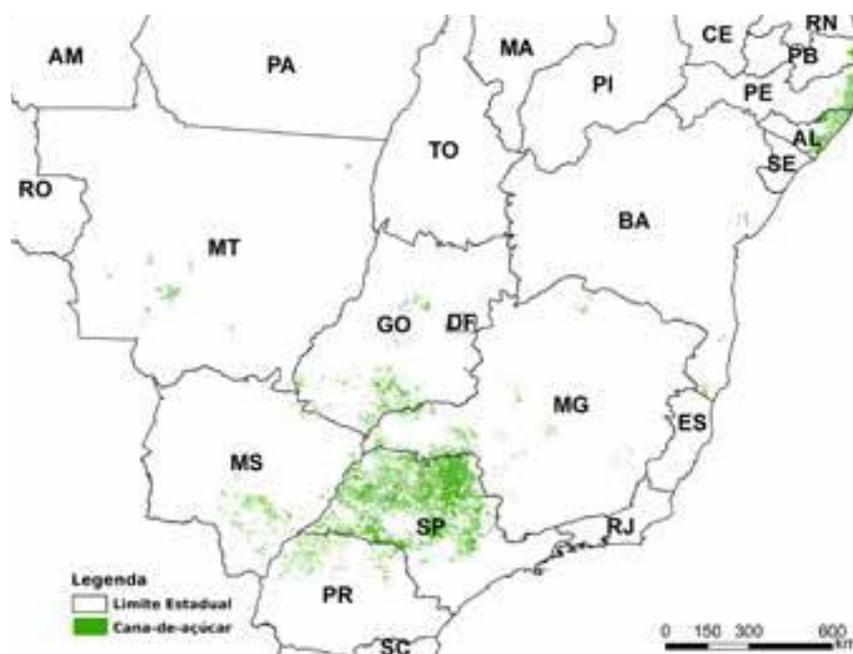
Outro fator agravante para a saúde dos cortadores de cana-de-açúcar são as vestimentas que utilizam, uma vez que dificultam as trocas térmicas entre o corpo e o meio ambiente, fazendo com que o calor gerado não seja dissipado, resultando em sobrecarga térmica (BITENCOURT, RUAS e MAIA, 2012). Vilela et al. (2014) afirmam que trabalhadores utilizando roupas leves levam 90 minutos para elevar em 1,5 °C sua temperatura corporal enquanto se o mesmo trabalhador utilizar uma roupa impermeável e sintética, esse tempo cai para 20 minutos.

O trabalho em zonas rurais é considerado relevante em termos de exposição ao calor, já que é realizado em ambientes externos, possui grande volume de trabalho e elevada carga horária (SCHENKER, ORENSTEIN e SAMUELS, 2002). Brandão, Silva e Assireu (2013) afirmam que as mudanças climáticas têm gerado grandes preocupações acerca da saúde dos trabalhadores rurais e a exposição ao calor, comprovando a importância de se estudar essa relação.

As figuras 19 e 20 mostram que o estado de São Paulo é o maior produtor nacional de cana-de-açúcar, com quase 60 % da safra, e é, portanto, o estado que emprega o maior número de trabalhadores nessa área.



**Figura 19** - Estimativa da produção de cana-de-açúcar por estado em dezembro/2016 (CONAB, 2016)



**Figura 20** - Mapeamento da cana-de-açúcar no Brasil (CONAB, 2016)

Devido a essa cultura ter grande importância no cenário econômico nacional e empregar muitos trabalhadores, os cortadores de cana foram escolhidos para avaliar a capacidade de trabalho no final do século XXI, de acordo com as projeções do índice ESI para o cenário RCP 8.5.

O índice ESI foi escolhido pois possui alta correlação com o WBGT/IBUTG (MORAN et al., 2005), já que as normas internacionais e brasileiras relacionam determinados tipos de atividade com este último. Para esta investigação pressupõe-se que os cortadores de cana-de-açúcar exercem suas atividades o tempo todo ao ar livre, fato comumente observado na jornada desses trabalhadores (BITENCOURT, RUAS e MAIA, 2012).

Tanto os valores simulados quanto os observados, mostram que não há condição de estresse térmico ( $ESI < 28$  unidades) no clima presente (figura 5-VII), de acordo com a categorização adotada para este índice. Porém, as projeções para este século indicam que esses trabalhadores passariam a experimentar uma condição de estresse térmico leve ( $28 < ESI < 32$  unidades) com base nas projeções climáticas do cenário RCP 8.5 (figura 8-VII).

O cortador de cana-de-açúcar possui uma taxa metabólica de  $425 \text{ Kcal h}^{-1}$  durante sua atividade de trabalho, segundo a Norma de Higiene Ocupacional nº 06 (NHO06) (FUNDACENTRO, 2002). Por essa razão, sua atividade é considerada pesada de acordo com a Norma Regulamentadora nº 15 (NR15) (BRASIL, 1978). Segundo esta última norma, para que o cortador de cana-de-açúcar possa trabalhar de maneira contínua, sem descanso, o valor máximo de IBUTG que ele pode estar sujeito é de até  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Porém, no clima presente, os

cortadores de cana já experimentam valores do IBUTG entre 26,0 a 27,9 °C (BRANDÃO, SILVA e ASSIREU, 2013; VILELA et al. 2014). Nessas condições, de acordo com as recomendações da NR 15, estes trabalhadores deveriam permanecer 30 minutos trabalhando e 30 descansando em sombra, a cada hora trabalhada. Porém, não é isso que se percebe, uma vez que os cortadores de cana-de-açúcar trabalham sem descanso, motivados pelo pagamento por produção e pela queda dos preços da tonelada de cana cortada (VILELA et al. 2014).

Em uma situação de valores do índice ESI entre 28 e 30 unidades, conforme previsto nas projeções, a NR 15 recomenda descansos de 45 minutos em sombra, a cada 15 minutos de atividade laboral. Se os valores de ESI forem maiores que 30 unidades, os trabalhadores não poderão exercer suas atividades sem a adoção de medidas adequadas de controle, tais como o resfriamento e a ventilação que não são aplicáveis nesse tipo de atividade (VILELA et al., 2014). Portanto, em um cenário de forte aquecimento do planeta, esse grupo específico de trabalhador encontrará dificuldade de exercer sua atividade.

Kjellstrom (2000) define a capacidade de trabalho como a percentagem de uma hora de trabalho que um trabalhador pode realizar sua atividade pretendida. Se não for necessário tempo de repouso, sua capacidade de trabalho é de 100 % em uma hora de trabalho. Se for necessário 25% de tempo de descanso, a capacidade de trabalho é de 75% (KJELLSTROM; HOLMER; LEMKE, 2009). Usando esta abordagem, a NR 15 pode ser usada para estimar a perda de capacidade de trabalho em ocupações expostas ao calor para cada hora do dia. Assim, estima-se que a capacidade de trabalho do cortador de cana-de-açúcar, que já é de 50 % atualmente, caia para 25 % na melhor das hipóteses, e para 0 % no pior cenário. Assim, quaisquer que sejam os cenários futuros, há indícios de importante perda da capacidade de trabalho até o final deste século.

Segundo Kjellstrom, Lemke e Hyat (2011), a ação mais efetiva a ser adotada para este fim é a redução da produção de calor pelo corpo humano, através de períodos de descanso maiores e mais prolongados durante a jornada de trabalho. Entretanto, isso faria a produtividade dos cortadores de cana diminuir, sendo necessário empregar mais trabalhadores para manter a produtividade (VILELA et al., 2014).

Assim, pode-se dizer que as mudanças climáticas não só afetarão os cortadores de cana-de-açúcar, atividade aqui analisada, mas todos os tipos de trabalho que expõem os trabalhadores a exercerem suas atividades ao ar livre, o que fará sua capacidade de trabalho diminuir, afetando assim sua renda e a economia brasileira.

Os resultados das projeções levam em consideração as médias diárias das variáveis ambientais considerando todos os períodos do ano, ou seja, valores extremos das variáveis ambientais a que os trabalhadores podem estar sujeitos durante o dia e nos meses mais quentes em que eles trabalham são suavizados pela média. Desta forma, pode-se dizer que os resultados aqui apresentados tendem a ser mais agravantes nos períodos mais quentes do dia e do ano.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conforto térmico é fundamental para manter um ambiente de trabalho adequado e produtivo. Quando um indivíduo não está termicamente confortável, ele passa a sofrer estresse térmico, que pode trazer consequências para sua saúde. As mudanças climáticas podem afetar o conforto e aumentar a possibilidade de estresse, uma vez que elas devem alterar a magnitude das variáveis ambientais, como temperatura e umidade relativa do ar. Por esta razão, este trabalho teve como objetivo avaliar a possível influência das mudanças climáticas sobre as condições de conforto e estresse térmico de trabalhadores expostos ao ar livre, em diferentes localidades da América do Sul, para o século XXI. Essa avaliação pode fornecer subsídios para que ações de mitigação e/ou adaptação possam ser adotadas visando promover e preservar a saúde desses trabalhadores frente aos impactos que as mudanças climáticas podem causar.

As perspectivas de estresse térmico em trabalhadores expostos ao ar livre para o século XXI foram avaliadas por meio de simulações e projeções baseadas em oito índices de estresse térmico mais comumente utilizados e referenciados na literatura, e determinadas a partir de variáveis ambientais projetadas por oito modelos climáticos do CMIP5. As simulações foram realizadas para o período de 1979 a 2005 e as projeções, baseadas nos cenários RCPs 2.6, 4.5, 6.0 e 8.5, para todo os anos até 2100.

As variáveis ambientais utilizadas foram a temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento. As médias diárias foram obtidas para cada um dos modelos e, conseqüentemente, utilizadas nas simulações e projeções realizadas.

Os índices de estresse térmico foram categorizados de acordo com suas faixas de valores. Com os índices categorizados calculou-se a média temporal do número de ocorrências das categorias de estresse térmico para cada um dos índices nos períodos estudados.

Assim, quatro análises foram realizadas. A primeira consistiu da verificação do desempenho dos oito modelos climáticos ao simular o estresse térmico observado (1979 – 2005). Na segunda as projeções de estresse térmico de cada um dos índices foram estimadas de acordo com cada um dos cenários futuros de forçantes climáticas. Na terceira foi realizada a análise temporal (2006 – 2100) da ocorrência das categorias 3 e 4, que indicam elevado estresse térmico, para as cinco regiões do Brasil. Na última análise foi feito um estudo sobre o impacto do estresse térmico sobre a capacidade de trabalho de cortadores de cana-de-açúcar

do Brasil, no final de 2100, utilizando as projeções do índice ESI para o cenário mais pessimista, o RCP 8.5.

Os modelos climáticos se apresentaram capazes de simular o estresse térmico observado tendo melhor desempenho sobre porções da Bacia do Rio da Prata, e sobre as regiões Sul e Leste da América do Sul. Nessas localidades os vieses entre modelo e observação foram inferiores a 90 dias ano<sup>-1</sup>, resultado considerado bom comparado aos encontrados para as outras regiões da América do Sul. Apesar da magnitude elevada do viés em algumas regiões, principalmente na Amazônia Internacional, na Cordilheira dos Andes e nas regiões Nordeste e Centro-Oeste do Brasil, as simulações dos modelos climáticos mostraram-se capazes de representar o estresse térmico observado dos índices avaliados, uma vez que o comportamento espacial em ambos foi semelhante.

As regiões da Amazônia Internacional, Argentina, Bolívia, Paraguai e da Venezuela são as que possivelmente irão sofrer mais impactos decorrentes das mudanças climáticas, uma vez que foram onde as projeções indicaram maior aumento de ocorrência das categorias 2, 3 e 4, chegando a mais de 70 dias ano<sup>-1</sup> no final do século XXI. O cenário RCP 8.5 foi o que gerou piores condições de estresse térmico, seguido pelo RCP 6.0, RCP 4.5 e RCP 2.6, respectivamente.

Os resultados de ocorrência de elevado estresse térmico foram analisados pela soma das categorias 3 e 4. Nesse caso, as condições de estresse térmico mais impactantes no Brasil foram verificadas para o cenário RCP 8.5, na região NO, onde verificou-se um aumento de aproximadamente 40 % de dias com situações agravantes de estresse térmico no final do século XXI. Já as condições menos impactantes foram verificadas para o cenário RCP 2.6 na região SE, onde as categorias 3 e 4 de estresse térmico não mostraram aumento significativo até o fim deste século.

Estima-se que a capacidade de trabalho do cortador de cana-de-açúcar do Brasil deva cair pela metade até 2100 na melhor das hipóteses. No pior cenário, pode não haver condições ambientais para trabalhos dessa natureza, o que implica em um grave problema socioeconômico no final do século XXI.

Os resultados obtidos nesse trabalho mostram que o aquecimento global poderá causar severos impactos à saúde e capacidade de trabalho dos trabalhadores expostos ao ar livre, trazendo grandes prejuízos para a economia (EPSTEIN; MORAN, 2006). As projeções indicam condições preocupantes para esses trabalhadores, uma vez que situações de estresse térmico podem gerar impactos para a saúde. Para que esses impactos sejam minimizados são

necessárias ações que visem sua mitigação e, principalmente, adaptação a eles. Uma das alternativas para a mitigação seria reduzir o consumo de combustíveis fósseis (IPCC, 2014a), porém isto não é fácil já que os seus substitutos, os combustíveis renováveis, não produzem grande quantidade de energia comparado aos primeiros. Assim, a adaptação é a principal ação a ser implementada e deve ser baseada em medidas preventivas eficazes, como o planejamento urbano, adequações do local e na jornada de trabalho (por exemplo, trabalhar no início da manhã e no final da tarde) e mudança da vestimenta utilizada pelo trabalhador (DUNNE; STOUFFER; JOHN, 2013). Essas ações talvez possam amenizar os efeitos das mudanças climáticas no ambiente de trabalho e, assim, promover a saúde e a produtividade dos trabalhadores expostos (KJELLSTROM, HOLMER; LEMKE, 2009). Para tanto, é necessário que os tomadores de decisão, como o governo e os empresários, implantem essas ações visando promover a saúde e o bem-estar do trabalhador.

Como sugestões para trabalhos futuros recomenda-se:

- avaliar, até o final do século XXI, as condições de estresse térmico de trabalhadores expostos ao ar livre através do uso de índices que também considerem variáveis fisiológicas e não somente variáveis ambientais; e,
- estimar, para o mesmo período de tempo, a perda de produtividade desses trabalhadores devido as mudanças climáticas.

## 6 REFERÊNCIAS

- ABOM – Australian Bureau of Meteorology. **Thermal comfort observation: About the approximation to the WBGT used by the Bureau of Meteorology**. 2010. Disponível em: <[http://www.bom.gov.au/info/thermal\\_stress/](http://www.bom.gov.au/info/thermal_stress/)>. Acesso em: 05 maio 2016.
- ARTAXO, P.; COUTINHO, S. M. V. Complexidade científica das mudanças climáticas e os acordos internacionais. In: JACOBI, P. R.; GRANDISOLI, E.; COUTINHO, S. M. V.; MAIA, R. A.; TOLEDO, R. F. (Org.). **Temas atuais em mudanças climáticas: para os ensinos fundamental e médio**. São Paulo: IEE - USP, 2015. parte I, cap. 1. Disponível em: <[http://www.incline.iag.usp.br/data/arquivos\\_download/TEMAS\\_ATUAIS\\_EM\\_MUDANCAS\\_CLIMATICAS\\_on-line.pdf](http://www.incline.iag.usp.br/data/arquivos_download/TEMAS_ATUAIS_EM_MUDANCAS_CLIMATICAS_on-line.pdf)>. Acesso em: 12 jan. 2016.
- ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Thermal environmental conditions for human occupancy**. Standard 55. 2004. Disponível em: <[http://www.almasesepahan.com/fh/download/ASHRAE\\_Thermal\\_Comfort\\_Standard.pdf](http://www.almasesepahan.com/fh/download/ASHRAE_Thermal_Comfort_Standard.pdf)>. Acesso em: 28 jan. 2016.
- AVILA, A. M. H. Uma síntese do quarto relatório do IPCC. **Revista Multiciência**, Campinas, n. 8, p. 163-168, 2007. Disponível em: <[https://www.multiciencia.unicamp.br/artigos\\_08/r01\\_8.pdf](https://www.multiciencia.unicamp.br/artigos_08/r01_8.pdf)>. Acesso em: 21 jan. 2016.
- BALOGUN, I. A.; BALOGUN, A. A. Urban heat island and bioclimatological conditions in a hot-humid tropical city: the example of Akure, Nigeria. **Die Erde - Journal of the Geographical Society of Berlin**, Berlim, v. 145, n. 1-2, p. 3-15, 2014. Disponível em: <<http://www.die-erde.org/index.php/die-erde/article/view/97>>. Acesso em: 22 fev. 2016.
- BARRIOPEDRO, D.; FISCHER, E.; LUTERBACHER, J.; TRIGO, R.; GARCÍA-HERRERA, R. The Hot Summer of 2010: Redrawing the Temperature Record Map of Europe. **Science**, Washington, v. 332, n. 6026, p. 220–224, 2011. Disponível em: <<http://science.sciencemag.org/content/332/6026/220/tab-pdf>>. Acesso em: 09 fev. 2017.
- BATIZ, E. C.; GOEDERT, J.; MORSCH, J. J.; JUNIOR, P. K.; VENSKE, R. Avaliação do conforto térmico no aprendizado: estudo de caso sobre influência na atenção e memória. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 19, n. 3, p. 477-488, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/prod/v19n3/06.pdf>>. Acesso em: 27 jan. 2016.
- BERNARDINO, M.; ESPIRITO SANTO, F. **Identificação de metodologias para a definição de cenários climáticos no contexto das alterações climáticas no sector do turismo**. Lisboa, LNEC e IPMA, 2015. Projeto AdaPT AC:T, v0. Disponível em: <[http://adapt-act.lnec.pt/pdfs/AdaPT\\_ACT-Task1-02-Estado\\_da\\_arte\\_cen%C3%A1rios\\_clima\\_v00.pdf](http://adapt-act.lnec.pt/pdfs/AdaPT_ACT-Task1-02-Estado_da_arte_cen%C3%A1rios_clima_v00.pdf)>. Acesso em: 16 mar. 2017.
- BITENCOURT, D. P.; RUAS, A. C.; MAIA, P. A. Análise da contribuição das variáveis meteorológicas no estresse térmico associada à morte de cortadores de cana-de-açúcar. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 1, p. 65-74, 2012. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-311X2012000100007](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2012000100007)>. Acesso em: 27 mar. 2017.

BLAZEJCZYK, K.; EPSTEIN, Y.; JENDRITZKY, G.; STAIGER, H.; TINZ, B. Comparison of UTCI to selected thermal indices. **International Journal of Biometeorology**, Nova York, v. 56, n. 3, p. 515-535, 2012. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3337419/>>. Acesso em: 23 fev. 2016.

BRANDÃO, L. V.; SILVA, L. P.; ASSIREU, A. T. Uso do índice de stress ambiental (IEA) para mapear regiões críticas quanto a exposição ao calor no estado de São Paulo: estudo de caso relacionado aos cortadores de cana-de-açúcar. **Hygeia**, Uberlândia, v. 9, n. 16, p. 67-73, 2013. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/hygeia/article/view/20961/12453>>. Acesso em: 18 jan. 2016.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria n.º 3.214, de 08 de junho de 1978. **Norma Regulamentadora NR 15: atividades e operações insalubres**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 6 jun. 1978. Disponível em: <<http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr15.htm>>. Acesso em: 29 mar. 2017.

BURKE, M.; HSIANG, S. M.; MIGUEL, E. Global non-linear effect of temperature on economic production. **Nature**, Londres, v. 527, p. 235-239, 2015. Disponível em: <<http://www.nature.com/nature/journal/v527/n7577/pdf/nature15725.pdf>>. Acesso em: 26 jan. 2016.

BUZAN, J. R.; OLESON, K.; HUBER, M. Implementation and comparison of a suite of heat stress metrics within the Community Land Model version 4.5. **Geoscientific Model Development**, Munique, v. 8, n. 2, p. 151-170, 2015. Disponível em: <<http://www.geosci-model-dev.net/8/151/2015/gmd-8-151-2015.pdf>>. Acesso em: 21 abr. 2016.

CASTILLA, M.; ÁLVAREZ, J. D.; BERENGUEL, M.; RODRÍGUEZ, F.; GUSMÁN, J. L.; PÉREZ, M. A comparison of thermal comfort predictive control strategies. **Energy and Buildings**, Lausana, v. 43, n. 10, p. 2737-2746, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811002799>>. Acesso em: 28 jan. 2016.

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Estudos relativos às mudanças climáticas e recursos hídricos para embasar o plano nacional de adaptação às mudanças no clima**: Eixo 1 – cenários de mudanças para estudos de adaptação no setor de recursos hídricos. Fortaleza, 2014. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Documents/2-Cen%C3%A1rios%20de%20Mudan%C3%A7a%20Clim%C3%A1ticas%20para%20Adapta%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2017.

CHENG, V.; NG, E.; CHAN, C.; GIVONI, B. Outdoor thermal comfort study in a sub-tropical climate: a longitudinal study based in Hong Kong. **International Journal of Biometeorology**, Nova York, v. 56, n. 1, p. 43-56, 2012. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00484-010-0396-z>>. Acesso em: 10 fev. 2016.

CHEUNG, C. S. C.; HART, M. A. Climate change and thermal comfort in Hong Kong. **International Journal of Biometeorology**, Nova York, v. 58, n. 2, p. 137-148, 2014. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00484-012-0608-9>>. Acesso em: 04 fev. 2016.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar 2016/2017**. Terceiro levantamento, Brasília, v. 3, n. 3, p. 1-74, 2016.

Disponível em:

<[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_12\\_20\\_11\\_25\\_12\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_-3o\\_lev\\_-\\_16-17.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_12_20_11_25_12_boletim_cana_portugues_-3o_lev_-_16-17.pdf)>. Acesso em: 27 mar. 2017.

CONTI, J. B. Considerações sobre as mudanças climáticas globais. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 16, p. 70-75, 2005. Disponível em:

<<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47286>>. Acesso em: 09 mar. 2016.

DEAR, R. J.; AKIMOTO, T.; ARENS, E. A.; BRAGER, G.; CANDIDO, C.; CHEONG, K. W. D.; LI, B.; NISHIHARA, N.; SEKHAR, S. C.; TANABE, S.; TOFTUM, J.; ZHANG, H.; ZHU, Y. Progress in thermal comfort research over the last twenty years. **Indoor Air**, Singapura, v. 23, p. 442-461, 2013. Disponível em:

<<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ina.12046/epdf>>. Acesso em: 26 jan. 2016.

DUNNE, J. P.; STOUFFER, R. J.; JOHN, J. G. Reductions in labour capacity from heat stress under climate warming. **Nature Climate Change**, Londres, v. 3, n. 6, p. 563-566, 2013.

Disponível em: <<http://www.nature.com/nclimate/journal/v3/n6/full/nclimate1827.html>>.

Acesso em: 18 mar. 2017.

DJONGYANG, N.; TCHINDA, R.; NJOMO, D. Thermal comfort: A review paper.

**Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S.l.], v. 14, n. 3, p. 2626-2640, 2010.

Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032110002200>>.

Acesso em: 10 ago. 2015.

ENVIRONMENT AND CLIMATE CHANGE CANADA. **Spring and summer weather hazards: humidex table**. Toronto: Department of National Defence, 2016. Disponível em:

<<http://www.ec.gc.ca/meteo-weather/default.asp?lang=En&n=6C5D4990-1#humidex>>.

Acesso em: 23 fev. 2016.

EPSTEIN, Y.; MORAN, D. S. Thermal comfort and the heat stress indices. **Industrial Health**, Kawasaki, v. 44, p. 388-398, 2006. Disponível em:

<[https://www.jstage.jst.go.jp/article/indhealth/44/3/44\\_3\\_388/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/indhealth/44/3/44_3_388/_pdf)>. Acesso em: 25 jan. 2016.

FABBRI, K. **Indoor thermal comfort perception: a questionnaire approach focusing in children**. Gewerbestrasse: Springer, 2015. part I, cap. 2. Disponível em:

<<https://books.google.com.br/books?id=Qj8PCgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=ptBR#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: 29 jan. 2016.

FANGER, P. O. **Thermal comfort**. Nova York: McGraw Hill, 1972.

FERREIRA, A. B. H. Novo Dicionário da Língua Portuguesa. Rio de Janeiro: **Nova Fronteira**, 1975.

FORSTER, P. M.; ANDREWS, T.; GOOD, P.; GREGORY, J. M.; JACKSON, L. S.; M. ZELINKA. Evaluating adjusted forcing and model spread for historical and future scenarios in the CMIP5 generation of climate models. **Journal of Geophysical Research**, Hoboken, v. 118, p. 1139-1150, 2013. Disponível em:

<<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jgrd.50174/pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2016.

FUNDACENTRO – Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho. **NHO 06: avaliação da exposição ocupacional ao calor** [GIAMPAOLI, E.; SAAD, I. F. S. D.; CUNHA, I. A. (eds.)]. São Paulo, 46 pp., 2002. Disponível em: <<http://www.fundacentro.gov.br/biblioteca/normas-de-higiene-ocupacional/publicacao/detalhe/2013/3/nho-06-avaliacao-da-exposicao-ocupacional-ao-calor>>. Acesso em: 28 mar. 2017.

GARCÍA-HERRERA, R.; DIAZ, J.; TRIGO, R. M.; LUTERBACHER, J.; FISCHER, E. M. A Review of the European Summer Heat Wave of 2003. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, [S.l.], v. 40, p. 267-306, 2010. Disponível em: <[http://idlcc.fc.ul.pt/pdf/Garcia\\_Herrera\\_heatwave\\_2010.pdf](http://idlcc.fc.ul.pt/pdf/Garcia_Herrera_heatwave_2010.pdf)>. Acesso em: 09 fev. 2017.

GARCIA, S.; JÚNIOR, F. W. C.; CHIESSI, C. M.; BACCI, D. L. C. O clima do passado face ao presente. In: JACOBI, P. R.; GRANDISOLI, E.; COUTINHO, S. M. V.; MAIA, R. A.; TOLEDO, R. F. (Org.). **Temas atuais em mudanças climáticas: para os ensinamentos fundamental e médio**. São Paulo: IEE - USP, 2015. parte I, cap. 4. Disponível em: <[http://www.incline.iag.usp.br/data/arquivos\\_download/TEMAS\\_ATUAIS\\_EM\\_MUDANCAS\\_CLIMATICAS\\_on-line.pdf](http://www.incline.iag.usp.br/data/arquivos_download/TEMAS_ATUAIS_EM_MUDANCAS_CLIMATICAS_on-line.pdf)>. Acesso em: 12 jan. 2016.

HOPE, C. The Marginal Impact of CO<sub>2</sub> from PAGE2002: An Integrated Assessment Model Incorporating the IPCC's Five Reasons for Concern. **The Integrated Assessment Journal**, [S.l.], v. 6, n. 1, p. 19-56, 2006. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Chris\\_Hope2/publication/228783460\\_The\\_marginal\\_impact\\_of\\_CO2\\_from\\_PAGE2002\\_An\\_integrated\\_assessment\\_model\\_incorporating\\_the\\_IPCCs\\_five\\_reasons\\_for\\_concern/links/00b495333e8b1172d4000000/The-marginal-impact-of-CO2-from-PAGE2002-An-integrated-assessment-model-incorporating-the-IPCCs-five-reasons-for-concern.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Chris_Hope2/publication/228783460_The_marginal_impact_of_CO2_from_PAGE2002_An_integrated_assessment_model_incorporating_the_IPCCs_five_reasons_for_concern/links/00b495333e8b1172d4000000/The-marginal-impact-of-CO2-from-PAGE2002-An-integrated-assessment-model-incorporating-the-IPCCs-five-reasons-for-concern.pdf)>. Acesso em: 21 mar. 2017.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Séries históricas e estatísticas: população presente e residente**. 2010. Disponível em: <<http://serieestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?no=10&op=0&vcodigo=CD90&t=populacao-presente-residente>>. Acesso em: 09 abr. 2017.

IPCC - Intergovernmental Panel in Climate Change. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Summary for policymakers. Contribuição do Grupo de Trabalho II para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas [FIELD, C. B.; BARROS, V. R.; DOKKEN, D. J.; MACH, K. J.; MASTRANDREA, M. D.; BILIR, T. E.; CHATTERJEE, M.; EBI, K. L.; ESTRADA, Y. O.; GENOVA, R. C.; GIRMA, B.; KISSEL, E. S.; LEVY, A. N.; MACCRACKEN, S.; MASTRANDREA, P. R.; WHITE, L. L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom e New York, NY, USA, 32 pp., 2014a. Disponível em: <[https://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WG2AR5\\_SPM\\_FINAL.pdf](https://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WG2AR5_SPM_FINAL.pdf)>. Acesso em: 20 jan. 2016.

IPCC - Intergovernmental Panel in Climate Change. **Scenario process for AR5: Representative Concentration Pathways (RCPs)**. 2014b. Disponível em: <[http://sedac.ipcc-data.org/ddc/ar5\\_scenario\\_process/RCPs.html](http://sedac.ipcc-data.org/ddc/ar5_scenario_process/RCPs.html)>. Acesso em: 21 jan. 2016.

ISO 7730. **Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria**. 2005. Disponível em:

<[http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=39155](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=39155)>. Acesso em: 28 jan. 2016.

JACOBI, P. R.; GRANDISOLI, E.; TOLEDO, R. F. Aprendizagem social, mudanças climáticas e sustentabilidade. In: JACOBI, P. R.; GRANDISOLI, E.; COUTINHO, S. M. V.; MAIA, R. A.; TOLEDO, R. F. (Org.). **Temas atuais em mudanças climáticas: para os ensinos fundamental e médio**. São Paulo: IEE - USP, 2015. parte I, cap. 2. Disponível em: <[http://www.incline.iag.usp.br/data/arquivos\\_download/TEMAS\\_ATUAIS\\_EM\\_MUDANCAS\\_CLIMATICAS\\_on-line.pdf](http://www.incline.iag.usp.br/data/arquivos_download/TEMAS_ATUAIS_EM_MUDANCAS_CLIMATICAS_on-line.pdf)>. Acesso em: 12 jan. 2016.

JUNIOR, J. A. S.; COSTA, A. C. L.; PEZZUTI, J. C. B.; COSTA, R. F.; GALBRAITH, D. Análise da distribuição espacial do conforto térmico na cidade de Belém, PA no período menos chuvoso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 5, n. 2, p. 218-232, 2012. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/viewFile/280/277>>. Acesso em: 29 jan. 2016.

JUTTEL, L. P. Esforço físico excessivo busca aumento de renda. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 60, p. 6-7, 2008. Disponível em: <[http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252008000400003&script=sci\\_arttext](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252008000400003&script=sci_arttext)>. Acesso em: 28 mar. 2017.

KJELLSTROM, T. Climate change, heat exposure and labour productivity. **Epidemiology**, [S.l.], v. 11, n. 4, p. S144, 2000. Disponível em: <[http://journals.lww.com/epidem/Fulltext/2000/07000/Climate\\_change,\\_heat\\_exposure\\_and\\_labour.380.aspx](http://journals.lww.com/epidem/Fulltext/2000/07000/Climate_change,_heat_exposure_and_labour.380.aspx)>. Acesso em: 26 mar. 2017.

KJELLSTROM, T.; LEMKE, B.; HYAT, O. Increased workplace heat exposure due to climate change: a potential threat to occupational health, worker productivity and local economic development. **Asian-Pacific Newsletter on Occupational Health and Safety**, Helsinki, v. 18, n. 1, p. 5-11, 2011.

KJELLSTROM, T.; HOLMER, I.; LEMKE, B. Workplace heat stress, health and productivity - an increasing challenge for low and middle-income countries during climate change. **Global Health Action**, Umeå, v. 2, 2009. Disponível em: <<http://www.globalhealthaction.net/index.php/gha/article/view/2047>>. Acesso em: 02 set. 2015.

LAMBERTS, R. **Conforto e Stress Térmico**. Universidade Federal de Santa Catarina – Centro Tecnológico – Departamento de Engenharia Civil. 2011. Disponível em: <[http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4200\\_apostila%202011.pdf\\_2.pdf](http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4200_apostila%202011.pdf_2.pdf)>. Acesso em: 01 fev. 2015.

LEAMAN, A.; BORDASS, B. Assessing building performance in use 4: the Probe occupant surveys and their implications. **Building Research and Information**, Londres, v. 29, n. 1, p. 129-143, 2001. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09613210010008045>>. Acesso em: 27 jan. 2016.

LÉTARD, V.; FLANDRE, H.; LEPELTIER, S. (Comp.). **La France et les Français face à la canicule: les leçons d'une crise**: Rapport d'information n° 195 (2003-2004) fait au nom de la mission commune d'information, déposé le 3 février 2004. Paris: Le Sénat de La République Française, 2004. 391 p. Disponível em: <<http://www.senat.fr/rap/r03-195/r03-195.html>>. Acesso em: 27 jan. 2016.

LIDA, I. **Ergonomia: Projeto e Produção**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005. cap. 16, p. 491-522.

LUZ, V. G.; ZANGIROLANI, L. T. O.; VILELA, R. A. G.; CORRÊA-FILHO, H. R. Consumo alimentar e condições de trabalho no corte manual de cana de açúcar no Estado de São Paulo. **Saúde e Sociedade**, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 1316-1328, 2014. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/sausoc/v23n4/0104-1290-sausoc-23-4-1316.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2017.

MARENGO, J. A. O futuro clima do Brasil. **Revista USP**, São Paulo, n. 103, p. 25-32, 2014. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/99280>>. Acesso em: 20 jan. 2016.

MASTERTON, J. M.; RICHARDSON, F. A. “**Humidex: a method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity**”. Environment Canada, CLI 1-79. Downsview: Atmospheric Environmental Service, Ontário, 1979.

MEINSHAUSEN, M.; SMITH, S. J.; CALVIN, K.; DANIEL, J. S.; KAINUMA, M. L. T.; LAMARQUE, J-F.; MATSUMOTO, K.; MONTZKA, S. A.; RAPER, S. C. B.; RIAHI, K.; THOMSON, A.; VELDEERS, G. J. M.; VAN VUUREN, D. P. The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. **Climatic Change**, Heidelberg, v. 109, n. 1, p. 213-241, 2011. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s10584-011-0156-z>>. Acesso em: 21 jan. 2016.

MISSENARD A. 1937. **L’Homme et le climat**. Paris: Librairie Plon. 270 pp.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Índices de conforto térmico em espaços urbanos abertos. **Fórum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável**, Belo Horizonte, v. 4, n. 1, p. 1-40, 2010. Disponível em: <[http://www.forumpatrimonio.com.br/seer/index.php/forum\\_patrimonio/article/view/4](http://www.forumpatrimonio.com.br/seer/index.php/forum_patrimonio/article/view/4)>. Acesso em: 04 fev. 2016.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Questões teóricas de conforto térmico em espaços abertos: consideração histórica, discussão do estado da arte e proposição de classificação de modelos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 43-58, 2007. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3741>>. Acesso em: 29 jan. 2016.

MORAN, D. S.; PANDOLF, K. B.; EPSTEIN, Y.; HELED, Y.; SHAPIRO, Y.; GONZALEZ, R. R. Validation of the environmental stress index (ESI) for physiological variables. **Elsevier Ergonomics Book Series**, [S.l.], v. 3, p. 495-501, 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1572347X05800771>>. Acesso em: 05 fev. 2016.

MORAN, D. S.; PANDOLF, K. B.; SHAPIRO, Y.; HELED, Y.; SHANI, Y.; MATHEW, W. T.; GONZALEZ, R. R. An environmental stress index (ESI) as a substitute for the wet bulb

globe temperature (WBGT). **Journal of Thermal Biology**, Oxford, v. 26, n. 4-5, p. 427-431, 2001. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306456501000559>>. Acesso em: 05 fev. 2016.

MOREIRA, H. M.; GIOMETTI, A. B. R. O Protocolo de Quioto e as possibilidades de inserção do Brasil no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo por meio de projetos em energia limpa. **Contexto Internacional**, Rio de Janeiro, v. 30, n. 1, p. 9-47, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cint/v30n1/01.pdf>>. Acesso em: 08 mar. 2016.

MOSS, R. H.; EDMONDS, J. A.; HIBBARD, K. A.; MANNING, M. R.; ROSE, S. K.; VAN VUUREN, D. P.; CARTER, T. R.; EMORI, S.; KAINUMA, M.; KRAM, T.; MEEHL, G. A.; MITCHELL, J. F. B.; NAKICENOVIC, N.; RIAHI, K.; SMITH, S. J.; STOUFFER, R. J.; THOMSON, A. M.; WEYANT, J. P.; WILBANKS, T. J. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**, Londres, v. 463, n. 11, p. 747-756, 2010.

Disponível em:

<[https://www.researchgate.net/publication/41422439\\_The\\_Next\\_Generation\\_of\\_Scenarios\\_for\\_Climate\\_Change\\_Research\\_and\\_Assessment](https://www.researchgate.net/publication/41422439_The_Next_Generation_of_Scenarios_for_Climate_Change_Research_and_Assessment)>. Acesso em: 21 jan. 2016.

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. **What is the heat index?**

Amarillo: National Weather Service Weather Forecast Office, 2015. Disponível em:

<<http://www.srh.noaa.gov/ama/?n=heatindex>>. Acesso em: 17 fev. 2016.

OLESON, K. W.; MONAGHAN, A.; WILHELMI, O.; BARLAGE, M.; BRUNSELL, N.; FEDDEMA, J.; HU, L.; STEINHOFF, D. F. Interactions between urbanization, heat stress, and climate change. **Climatic Change**, Heidelberg, v. 129, n. 3, p. 525-541, 2013. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s10584-013-0936-8>>. Acesso em: 09 fev. 2017.

OLIVEIRA, M. J.; VECCHIA, F. A. S. Mudanças Climáticas. In: CALIJURI, M. C.; CUNHA, D. G. F. (Org.). **Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologias e Gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. cap. 16.

PALLOTTA, M.; HERDIES, D. L.; GONÇALVES, L. G. G. Estudo das condições de tempo e conforto térmico no desempenho esportivo aplicado à maratona na cidade do Rio de Janeiro.

**Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 223-240, 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v30n2/0102-7786-rbmet-30-02-00223.pdf>>. Acesso em: 04 fev. 2016.

PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Base científica das mudanças climáticas**. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas

[AMBRIZZI, T.; ARAUJO, M. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 464 pp., 2014. Disponível em:

<[http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/RAN1\\_completo\\_vol1.pdf](http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/RAN1_completo_vol1.pdf)>. Acesso em: 20 jan. 2016.

RANA, R.; KUSY, B.; JURDAK, R.; WALL, J.; HU, W. Feasibility analysis of using humidex as an indoor thermal comfort predictor. **Energy and Buildings**, Lausana, v. 64, p. 17-25, 2013. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813002557>>. Acesso em: 11 fev. 2016.

ROBINE, J. M.; CHEUNG, S. L. K.; ROY, S. L.; VAN OYEN, H.; GRIFFITHS, C.; MICHEL, J. P.; HERRMANN, F. R. Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. **Comptes Rendus Biologies**, Paris, v. 331, n. 2, p. 171-178, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631069107003770>>. Acesso em: 09 fev. 2017.

ROTHFUSZ, L. P. **The Heat Index “Equation”**. National Weather Service (NWS) Technical Attachment (SR 90-23). 1990. Disponível em: <[http://www.srh.noaa.gov/images/ffc/pdf/ta\\_htindx.PDF](http://www.srh.noaa.gov/images/ffc/pdf/ta_htindx.PDF)>. Acesso em: 19 abr. 2016.

RUAS, A. C. **Avaliação de conforto térmico: contribuição à aplicação prática das normas internacionais**. 2001. 77 p. Dissertação de Mestrado-Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001. Disponível em: <<http://www.fundacentro.gov.br/biblioteca/biblioteca-digital/publicacao/detalhe/2011/7/avaliacao-de-conforto-termico-contribuicao-a-aplicacao-pratica-das-normas-internacionais>>. Acesso em: 02 fev. 2016.

RUAS, A. C. **Conforto térmico nos ambientes de trabalho**. São Paulo: FUNDACENTRO, 1999. 96 p. Disponível em: <<http://www.fundacentro.gov.br/biblioteca/biblioteca-digital/publicacao/detalhe/2011/6/conforto-termico-nos-ambientes-de-trabalho>>. Acesso em: 29 jan. 2016.

SCHENKER, M. B.; ORENSTEIN, M. R.; SAMUELS, S. J. Use of protective equipment among California farmers. **American Journal of Industrial Medicine**, v. 42, n. 5, p. 455-464, 2002. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12382259>>. Acesso em: 27 mar. 2017.

SEPPANEN, O.; FISK, W. J.; FAULKNER, D. **Control of the temperature for healthy and productivity in offices**. University of California - Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. 2004. Disponível em: <[https://eaei.lbl.gov/sites/all/files/lbnl-55448\\_0.pdf](https://eaei.lbl.gov/sites/all/files/lbnl-55448_0.pdf)>. Acesso em: 26 jan. 2016.

SILVEIRA, C. S.; FILHO, F. A. S.; MARTINS, E. S. P. R.; OLIVEIRA, J. L.; COSTA, A. C.; NOBREGA, M. T.; SOUZA, S. A.; SILVA, R. F. V. Mudanças climáticas na bacia do rio São Francisco: Uma análise para precipitação e temperatura. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 416-428, 2016. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbrh/v21n2/2318-0331-rbrh-21-2-416.pdf>>. Acesso em 16 mar. 2017.

STEADMAN, R. G. A universal scale of apparent temperature. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, [S.l.], v. 23, p. 1674-1687, 1984. Disponível em: <[http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0450\(1984\)023%3C1674:AUSOAT%3E2.0.CO%3B2](http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0450(1984)023%3C1674:AUSOAT%3E2.0.CO%3B2)>. Acesso em: 14 abr. 2016.

STERNER, T. Higher costs of climate change. **Nature**, Londres, v. 527, n. 7577, p. 177-178, 2015. Disponível em:

<<http://www.nature.com/nature/journal/v527/n7577/full/nature15643.html>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

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**, Nova York, v. 36, n. 2, p. 63-68, 1992. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF01208915#page-4>>. Acesso em: 09 mar. 2016.

TANAKA, M. Heat stress standard for hot work environments in Japan. **Industrial Health**, Kawasaki, v. 45, n. 1, p. 85-90, 2007. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17284879>>. Acesso em: 27 jan. 2016.

TAYLOR, P.; FULLER, R. J.; LUTHER, M. B. Energy use and thermal comfort in a rammed earth office building. **Energy and Buildings**, Lausana, v. 40, p. 793-800, 2008. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/245196953\\_Energy\\_use\\_and\\_thermal\\_comfort\\_in\\_a\\_rammed\\_earth\\_office\\_building](https://www.researchgate.net/publication/245196953_Energy_use_and_thermal_comfort_in_a_rammed_earth_office_building)>. Acesso em: 25 jan. 2016.

THOM, E. C. 1959. The Discomfort Index. **Weatherwise**, Philadelphia, v. 12, n. 2, p. 57-60, 1959. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00431672.1959.9926960>>. Acesso em: 26 fev. 2016.

TORRES, R. R. **Análise de incertezas em projeções de mudanças climáticas na América do Sul**. 2014. 239 p. Dissertação de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2014. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3FHR358>>. Acesso em: 02 ago. 2016.

TSONIS, A. A. **An introduction to atmospheric thermodynamics**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 185 p. Disponível em: <<https://www.cambridge.org/core/books/an-introduction-to-atmospheric-thermodynamics/CE41FAD800F16284992D653F9AA7D622>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change. **Article 1: Definitions**. Nações Unidas, 33 pp., 1992. Disponível em: <[https://unfccc.int/files/essential\\_background/background\\_publications\\_htmlpdf/application/pdf/conveng.pdf](https://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/conveng.pdf)>. Acesso em: 20 jan. 2016.

UNGER, J. Comparisons of urban and rural bioclimatological conditions in the case of a central-European city. **International Journal of Biometeorology**, Nova York, v. 43, n. 3, p. 139-144, 1999. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s004840050129>>. Acesso em: 22 fev. 2016.

UNICA – União da indústria de cana-de-açúcar. **Documentos – fotos**. São Paulo: UNICA, 2013. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/documentos.php>>. Acesso em: 27 mar. 2017.

VAN VUUREN, D. P.; EDMONDS, J.; KAINUMA, M.; RIAHI, K.; THOMSON, A.; HIBBARD, K.; HURTT, G. C.; KRAM, T.; KREY, V.; LAMARQUE, J-F.; MASUI, T.; MEINSHAUSEN, M.; NAKICENOVIC, N.; SMITH, S. J.; ROSE, S. K. The representative

concentration pathways: an overview. **Climatic Change**, Heidelberg, v. 109, n. 1, p. 5-31, 2011. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10584-011-0148-z#/page-1>>. Acesso em: 21 jan. 2016.

VILELA, R. A. G.; SANTOS, S. A.; SILVA, A. J. N.; ALMEIDA, I. M. Experiência de vigilância no setor canavieiro: desafios para interromper a “maratona” perigosa dos canaviais. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 12, p. 4659-4668, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1413-812320141912.12912014>>. Acesso em: 29 mar. 2017.

ZANDER, K. K.; BOTZEN, W. J. W.; OPPERMAN, E.; KJELLSTROM, T.; GARNETT, S. T. Heat stress causes substantial labour productivity loss in Australia. **Nature Climate Change**, Londres, v. 5, n. 7, p. 647-651, 2015. Disponível em: <<http://www.nature.com/nclimate/journal/v5/n7/full/nclimate2623.html>>. Acesso em: 21 mar. 2017.

ZHAO, Y.; DUCHARNE, A.; SULTAN, B.; BRACONNOT, P.; VAUTARD, R. Estimating heat stress from climate-based indicators: present-day biases and future spreads in the CMIP5 global climate model ensemble. **Environmental Research Letters**, [S.l.], v. 10, n. 8, p. 1-12, 2015. Disponível em: <<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/10/8/084013>>. Acesso em: 13 abr. 2016.

WEBB, C. G. An analysis of some observations of thermal comfort in an equatorial climate. **British Journal of Industrial Medicine**, Londres, v. 16, n. 4, p. 297-310, 1959. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1037969/pdf/brjindmed00212-0043.pdf>>. Acesso em: 29 jan. 2016.

WILSON, T. E.; CRANDALL, C. G. Effect of Thermal Stress on Cardiac Function. **Exercise and sport sciences reviews**, [S.l.], v. 39, n. 1, p. 12-17, 2011. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21088607>>. Acesso em: 16 mar. 2017.