



Caracterização Climática de Ondas de Calor no Brasil Climatic Characterization of Heat Waves in Brazil

João Lucas Geirinhas¹; Ricardo Machado Trigo^{1,2}; Renata Libonati^{1,2,3} & Leonardo de Faria Peres^{1,2,4}

¹Universidade de Lisboa, Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências, Ed. C8, 1749-016, Campo Grande, Lisboa, Portugal

²Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Meteorologia,
Av. Athos da Silveira Ramos, 274, Bl. G, 21941-916, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

³Universidade de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia (ISA), 1349-017, Tapada da Ajuda, Lisboa, Portugal

⁴Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), Rua C do Aeroporto, 1749-077, Lisboa, Portugal
E-mails: fc42143@alunos.fc.ul.pt; rmltrigo@fc.ul.pt; renata.libonati@igeo.ufrj.br; leonardo.peres@igeo.ufrj.br

Recebido em: 27/09/2018 Aprovado em: 15/10/2018

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_3_333_350

Resumo

De acordo com a última geração de modelos climáticos, a probabilidade de ocorrência de grandes ondas de calor nas próximas décadas tende a subir de forma significativa. Atualmente existem inúmeros estudos relativos a esta problemática no Hemisfério Norte, particularmente para a Europa e para a América do Norte, devido aos seus impactos significativos em áreas como a saúde, economia e agricultura. Em relação ao Hemisfério Sul e especialmente ao Brasil, este problema apresenta-se como uma questão ainda pouco desenvolvida, apesar da sua enorme área geográfica e população potencialmente afetada. Com este trabalho pretende-se realizar um estudo diagnóstico das ondas de calor observadas em algumas das grandes cidades brasileiras, incluindo a sua frequência, distribuição sazonal e evolução temporal desde a década de 1960. Os resultados obtidos evidenciam a presença de uma tendência positiva na frequência e duração das ondas de calor a partir de 1980, particularmente para as cidades de São Paulo, Manaus e Recife. Brasília registrou maior número de ondas de calor nas últimas décadas, enquanto o Rio de Janeiro apresentou o menor número de eventos. Quanto à variabilidade sazonal os meses de Outono/Inverno foram aqueles em que se verificou maior número de ondas de calor.

Palavras-Chave: Ondas de Calor; Alterações Climáticas; Brasil

Abstract

According to the state-of-the-art global and circulation models the probability of occurrence of large heat waves in the following decades will increase significantly. Currently, due to their significant impacts in several socio-economic areas such as public health, energy production and consumption and agriculture, there are numerous studies for the Northern Hemisphere regions evaluating this problem. However, for the southern hemisphere and especially Brazil, a similar analysis is lacking, despite its huge geographical area and large population potentially affected. The main goal of this work is to provide a comprehensive diagnostic study of heat waves observed in several large Brazilian cities, including heat waves frequency, seasonal distribution and temporal evolution since the 1960s decade. In general, results indicate the presence of a positive trend in the frequency and duration of heat waves since the 1980s, with special emphasis to cities like São Paulo, Manaus and Recife. Brasília was the city that in the last decades recorded the highest number of heat waves while Rio de Janeiro was the city with the smallest number recorded. In respect to seasonal variability the Autumn/Winter months were the months with the largest number of heat waves recorded.

Keywords: Heat Waves; Climate Change; Brazil

1 Introdução

Historicamente o planeta, tem registrado a ocorrência de eventos extremos de calor desde finais do século XIX, sendo que a partir do século XXI estes episódios têm sido mais intensos com estabelecimento de novos recordes de temperatura e de duração (Fischer & Knutti, 2015). Segundo Kunkel *et al.* (1996), em 1995 a zona Norte dos Estados Unidos registrou um evento histórico de uma onda de calor (OC) com valores médios de temperatura do mês de Junho superiores a 38°C para a região. Em 2003 e 2010, a Europa central e ocidental foi atingida por intensas e prolongadas OCs, tendo sido registrado novos recordes máximos de temperatura (Barriopedro *et al.*, 2011; Schär *et al.*, 2004). Na região da América do Sul observou-se uma diminuição da frequência e intensidade de eventos extremos de frio em conjunto com um aumento, menos pronunciado, de eventos extremos de calor (Alexander *et al.*, 2006; Skansi *et al.*, 2013). Rusticucci (2012) verificou para a América do Sul, a presença, durante a segunda metade do século XX, de tendências positivas na frequência de ocorrência de extremos quentes relativamente à temperatura mínima em conjunto com a presença de tendências negativas na ocorrência de eventos extremos de frio. A evolução positiva dos valores de temperatura média anual na América do Sul é notória ao longo das últimas décadas (Alexander *et al.*, 2006; Skansi *et al.*, 2013; Soares *et al.*, 2017; Vincent *et al.*, 2005) e é compatível com o comportamento observado deste parâmetro para o Brasil desde 1960 (Marengo & Camargo, 2008).

Desde 1960 que se observa, na maior parte do Brasil, um aumento acentuado das temperaturas mínimas, aumento este acompanhado por um acréscimo, das temperaturas máximas (Marengo & Camargo, 2008). Desde 1901 até 2012 observaram-se no Centro e Sul do Brasil aumentos médios da temperatura da superfície na ordem dos 1,75 e 2,5°C (IPCC, 2014). Ricce *et al.* (2009) observaram, para o período de 1961-2008, a presença de tendências positivas da temperatura máxima anual, da temperatura média anual e da temperatura mínima anual para a região do Paraná, no sul do Brasil. Sansigolo & Kayano (2010) também obtiveram para o sul do Brasil tendências positivas significativas da tempe-

ratura mínima de cerca de 1,6 °C para o período de 1910-2010. A região do Nordeste Brasileiro, caracterizada por ter um clima árido e por historicamente ter sido afetada por grandes secas e períodos de intenso calor, tem registrado um aumento progressivo do número, da intensidade e da duração de eventos extremos de calor, nomeadamente a partir da década de 1990 (Moura, 2016). Estes valores mostraram-se comparáveis com os valores obtidos nos relatórios do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) para o período 1940-2000 e para a região da América do Sul (IPCC, 2014).

É de salientar que cidades com elevado nível de urbanização podem sofrer aumentos de temperatura resultantes de dois fatores totalmente distintos, porém ambos de natureza antropogênica. Por um lado o incremento da temperatura global por ação dos gases de efeito de estufa e por outro o desenvolvimento dos chamados fenômenos de ilha de calor urbano (ICU) em megacidades como o Rio de Janeiro e São Paulo (Lucena *et al.*, 2013; Peres *et al.*, 2018). De fato, estas cidades são caracterizadas por terem centros urbanos bastante desenvolvidos, que verificam com frequência, valores de temperatura mais elevados do que em regiões rurais (Lucena *et al.*, 2013; Peres *et al.*, 2018). O fenômeno ICU pode contribuir para a intensificação nas grandes cidades de episódios extremos de calor como as OCs, promovendo assim um excesso de mortalidade principalmente no seio da população mais idosa e vulnerável (Gouveia *et al.*, 2003; Son *et al.*, 2016)

Apesar de haver diferentes trabalhos que documentam a ocorrência de episódios extremos de calor na América do Sul (Bitencourt *et al.*, 2016; Ceccherini *et al.*, 2016; Cerne & Vera, 2011; Geirinhas *et al.*, 2017; Geirinhas *et al.*, 2018; Hannart *et al.*, 2015; Renom *et al.*, 2011; Rusticucci, 2012; Rusticucci *et al.*, 2016, 2017), o número de estudos ainda é relativamente pouco quando comparado com a Europa e a América do Norte. Neste contexto, o principal objetivo deste trabalho é caracterizar os episódios de OC que afetaram o território Brasileiro durante o período compreendido entre os anos de 1961 e de 2014. O presente trabalho centrar-se-á numa descrição estatística dos fenômenos de OC e da sua evolução ao longo deste período expondo-se

assim uma análise do nº de episódios registrados, das suas durações, da variabilidade interanual, da variabilidade sazonal e das tendências ao longo das 5 décadas consideradas.

2 Dados e Métodos

2.1 Dados Observacionais

Foram utilizados, para o período de 1961-2014, valores diários de temperatura máxima e mínima relativos a seis estações meteorológicas, estações estas correspondentes a seis das principais cidades: Rio de Janeiro (22,91°S 43,16°W) e São Paulo (23,54°S 46,61°W) na região Sudeste; Brasília (15,78°S 47,92°W) na região Centro-oeste; Porto Alegre (30,05°S 51,16°W) na região Sul; Manaus (3,10°S 60,01°W) na região Norte; e Recife (8,05°S 34,95°W) na região Nordeste. Os dados foram cedidos pelo INMET, salvo para a cidade do Rio de Janeiro, os quais foram cedidos pelo Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA). Procurou-se escolher seis pontos que cobrissem razoavelmente o território brasileiro e que correspondessem às maiores áreas urbanas do país. Além do controle de qualidade efetuado pelos órgãos gestores das estações meteorológicas, foram analisados os percentuais de dados faltantes por estação, os quais variaram entre 0,6 e 8,1%.

2.2 Índices Climáticos

A identificação de eventos extremos como as OC tem sido realizada através de índices que utilizam na sua maioria limiares de temperatura para a definição de OC. Assim a OC é definida como um período de tempo relativamente longo cujas temperaturas máximas e/ou mínimas excedem um dado limiar, sendo que muitas vezes este limiar é baseado em valores de percentil de temperatura (Fischer & Schär, 2010; Geirinhas *et al.*, 2017; Perkins & Alexander, 2013). Em termos de metodologia, adotou-se a utilização dos índices CTX90pct e CTN90pct que definem onda de calor como um período de 3 ou mais dias consecutivos caracterizados por temperaturas máximas (mínimas) diárias superiores ao valor climatológico (1961-2014) do percentil 90 das temperaturas máximas (mínimas). Tomando em

consideração o ciclo sazonal, o percentil 90 é assim calculado para dia do ano em questão, estando este centrado numa janela temporal de 15 dias. Esta abordagem para a definição de OC é semelhante à que Fischer & Schär (2010) utilizaram para a Europa e à que Geirinhas *et al.* (2017) utilizaram para o Brasil.

A análise completa das características das OC (nº anual de OC; nº anual de dias em OC; Duração das OCs), durante o período de 1961-2014, foi feita separadamente para os dois índices. Ambos foram calculados para o ano inteiro não havendo distinção entre OC de Verão e OC de Inverno. Foi aplicado o teste de Mann-Kendall modificado para um nível de significância de 5%, de forma a identificar o nível de significância estatística de todas as tendências e assim aferir a robustez de cada resultado obtido.

3 Resultados e Discussão

3.1 Variabilidade Interanual

Pela análise da Tabela 1, observa-se que as cidades de Brasília e Recife são as que apresentam, em média e em relação ao índice CTX90pct, valores mais elevados do nº anual de OC, com cerca de 4,6 e 4,0 OC/ano, respectivamente. Pelo contrário, em média, o menor nº anual verifica-se para a cidade do Rio de Janeiro, com cerca de 2,3 OC/ano. Salvo o caso do Rio de Janeiro, os valores médios para todas as cidades não são muito díspares entre si, situando-se numa gama de valores entre as 3-4 ocorrências por ano.

Relativamente à variabilidade do nº de OC anual ao longo do período temporal de análise (Tabela 1), Manaus e Recife são as cidades que apresentam maiores valores de desvio padrão, sendo que para tal contribuiu o grande contraste entre o nº de OC por ano registrado para o período 1961-90 e para o período 1991-2014 (Figura 1). Os menores valores de desvio padrão relativamente ao índice CTX90pct verificam-se para as cidades do Rio de Janeiro e de Porto Alegre. Observa-se que em todas as cidades o nº de anos com ocorrência de OC é largamente superior ao número de anos sem qualquer OC. As cidades com maior número de anos sem qualquer OC detectada são Manaus, Rio de Janeiro e São Paulo, somando, no total, 15, 11 e 10 anos, respectivamente.

Já Brasília, foi a cidade que registrou maior número de anos com OC observadas bem como maior número de anos consecutivos com ocorrência de OC. Durante a década de 1970, verifica-se que, em todas as cidades, registraram-se anos com um reduzido nº de OC e inclusive um nº significativo de anos sem qualquer registro de OC, sendo esta última situação mais visível no caso das cidades de Manaus, São Paulo e Recife (Figura 1). Este resultado está de acordo com os valores negativos, reportados pela NOAA, de anomalia de temperatura média anual para a década 1970 na América do Sul. Sansigolo & Kayano (2010) observaram para o sul do Brasil, durante a década de 1970 e nos períodos de Verão, valores médios da temperatura máxima diária reduzidos.

O recorde de maior nº anual de OC foi observado em Manaus no ano de 2010 com o registro de 19 períodos de OC, pelo que a cidade neste ano, segundo relatórios do INMET, experimentou períodos de temperatura recorde nunca antes atingida desde 1925 (Tabela 1; Figura 1). É importante salientar, no entanto, que durante o ano de 2010 a região da Amazônia registrou um evento de seca particularmente intenso resultando em baixos níveis de precipitação durante as estações de chuva e em elevadas temperaturas do ar (Marengo & Espinoza, 2016). De referir que, para este mesmo ano, todas as outras estações, salvo Porto Alegre, registraram um número anual de OC relativamente elevado, na ordem das 10-15 ocorrências, indicando que 2010 foi, realmente, um ano especialmente quente à escala de toda a América do Sul.

As cidades de São Paulo, Manaus e Recife registraram, em termos do nº anual de OC e para

ambos os índices, um acréscimo mais visível ao longo de 1961-2014, sendo este comportamento mais acentuado a partir do início do século XXI (Figura 1). Outros estudos verificam igualmente a presença de uma tendência positiva da temperatura relativamente a este período (Gouveia *et al.*, 2003; Moura, 2016). A partir do século XXI, destacam-se vários anos como 2006, 2010, e 2012 que, segundo dados da NOAA, foram anos bastante quentes na América do Sul (Figura 1). Em Brasília, com base no índice CTX90pct, os anos com maior número de OC foram os de 1963 e de 1973 e em Porto Alegre o ano de 2012 (Figura 1). Para a cidade do Rio de Janeiro e segundo o índice CTX90pct, os anos de 1966 e 2014 foram os anos com o maior nº de episódio de OC, somando, no total 6 eventos. Este valor é bastante baixo quando comparado com os obtidos para as restantes cidades. Recorrendo a uma análise semelhante utilizando o índice CTN90PCT, verifica-se, por comparação com o índice CTX90PCT, que Brasília continua a ser das cidades com maior número médio de OC anuais, cerca de 3,6, superada apenas por Porto Alegre e pelo Rio de Janeiro que registraram, em média, um número anual de OC de cerca 3,9 (Tabela 1). Pelo contrário, a cidade de Recife apresenta uma diferença acentuada no nº anual de OC obtidas com os dois índices, pois segundo o índice CTX90PCT corresponde a uma das cidades com maior nº médio anual de OC, mas segundo o índice CTN90PCT, corresponde à cidade com menor nº médio anual de OC, com cerca de 2,1 Recife e Manaus passam a ser as cidades com maior nº de anos sem registro de qualquer OC, ao contrário de Porto Alegre e do Rio de Janeiro onde em 87% e em 91% dos anos do período 1961-2014, foram registrados períodos de OC, respectivamente (Tabela 1). Por análise da Figura 1 ve-

Estação	Média (Desvio Padrão) nº anual de OC		% Anos (1961-2014) com OC		nº max. OC em um ano	
	CTX90pct	CTN90PCT	CTX90pct	CTN90PCT	CTX90pct	CTN90PCT
Manaus	3,9 (4,7)	3,4 (6,6)	69	50	19	29
Recife	4,0 (4,4)	2,1 (2,9)	85	65	16	13
Brasília	4,6 (3,1)	3,6 (3,7)	98	72	13	12
São Paulo	3,4 (3,1)	3,1 (2,8)	81	76	11	11
Rio de Janeiro	2,3 (1,7)	3,9 (3,3)	80	91	6	15
Porto Alegre	3,6 (2,8)	3,9 (2,4)	89	87	15	8

Tabela 1 Comparação entre índices de valores médios do nº anual de OC, desvio padrão do nº anual de OC, percentagem do nº de anos em relação ao período 1961-2014 com ocorrência de OC e valores máximos de OC registradas num só ano.

tifica-se que Manaus e Brasília sofrem um tremendo acréscimo do número de episódios por ano nomeadamente na viragem para o século XXI. Mais uma vez, o recorde de nº de OC por ano é observado para a cidade de Manaus no ano de 2014 com um total de 29 OC. De salientar que a cidade do Rio de Janeiro, após o ano de 2005, segue um comportamento diferente das restantes cidades, na medida em que regista uma diminuição do nº anual de OC registradas (Figura 1). Portanto este acréscimo do nº anual de OC ao longo do período de análise, nomeadamente após a década de 1980 é bem visível apenas para as cidades de Manaus, São Paulo e Recife e com menor clareza também em Brasília (Figura 1).

A Tabela 1 apresenta uma comparação entre as várias estatísticas estabelecidas com os dois índices usados. Verifica-se que o índice CTX90pct, apresenta relativamente ao índice CTN90pct, um maior nº médio anual de OC assim como uma maior percentagem de anos do período 1961-2014 com ocorrência de OC, com a exceção das cidades do Rio de Janeiro e de Porto Alegre. As maiores diferenças de resultados entre índices são constatadas para as cidades de Recife e Brasília o que parece evidenciar que, para estas cidades, se observaram, ao longo do período de análise, um maior número de períodos prolongados com anomalias significativas de temperatura máxima que anomalias significativas de temperatura mínima. No que toca a valores de desvio padrão, as diferenças entre índices são mais evidentes para as cidades de Manaus, Recife e Rio de Janeiro, sendo que, em relação ao índice CTN90pct, os valores mais elevados são observados para Manaus. No caso de Manaus tal diferença é explicada pelo fato do índice CTN90pct apresentar um aumento mais acentuado, do que o índice CTX90pct, do nº anual de OC registradas a partir de 2009 (Figura 1). A diferença do nº anual de OC entre o período pré e pós 2009 é bastante significativa.

Por observação da Figura 1, verifica-se ao longo do período de estudo, entre os dois índices, algumas diferenças na evolução do nº anual de OC. Apenas São Paulo apresenta um comportamento semelhante dos valores obtidos por ambos os índices ao longo do período de análise. As maiores diferenças são observadas para as cidades de Recife,

de Brasília e do Rio de Janeiro. No caso de Recife, não há por parte do índice CTN90pct, um acréscimo claro do nº anual de OC após a viragem do século, como verificado com o índice CTX90pct, particularmente a partir do ano de 2003. Em Brasília observam-se valores muito baixos ou mesmo inexistentes do nº anual de OC por parte do índice CTN90pct durante quase toda a primeira metade do período, o que contrasta, claramente, com o observado para o índice CTX90pct. Já no caso do Rio de Janeiro, o índice CTN90pct apresenta, em comparação com o índice CTX90pct, maiores valores médios anuais de OC durante as últimas três décadas do século XX e durante os primeiros anos do século XXI.

3.2 Duração das Ondas de Calor

Uma análise completa dos tempos de duração de todas as OC evidencia que estas decrescem de forma exponencial com ambos os índices usados (Figura 2). Com base em ambos os índices observa-se para as 6 cidades que a duração mais frequente das OC é de 3 dias (Figura 2). Em todas as estações, com exceção de Brasília, o nº de OC com duração de 4 dias sofre uma redução de mais de 30% em comparação com o nº de OC com duração de 3 dias. Segundo o índice CTX90pct, Brasília, com o registro de 253 eventos, corresponde à cidade com maior número total de OC observado (Tabela 2). Manaus, com 214 OC registradas no total, apesar de não ser a cidade com maior nº de OC identificadas, é a cidade que regista maior número de episódios com duração de 3 dias (Tabela 2). Os eventos mais longos foram registrados nas cidades de São Paulo, Manaus e Recife, sendo que esta última registrou inclusive um evento com duração de 21 dias. Recife foi ainda a estação com maior número de OC observadas com duração superior a 6 dias (30 eventos), seguida pela cidade de Brasília (29 eventos). Já a cidade do Rio de Janeiro é a cidade com menos OC registradas sendo que não apresenta nenhum evento com duração superior a 6 dias. O episódio de duração máxima para a cidade do Rio de Janeiro fica-se pelos 6 dias, valor este que é bastante baixo quando comparado com os observados para cidades como Recife, Manaus e São Paulo.

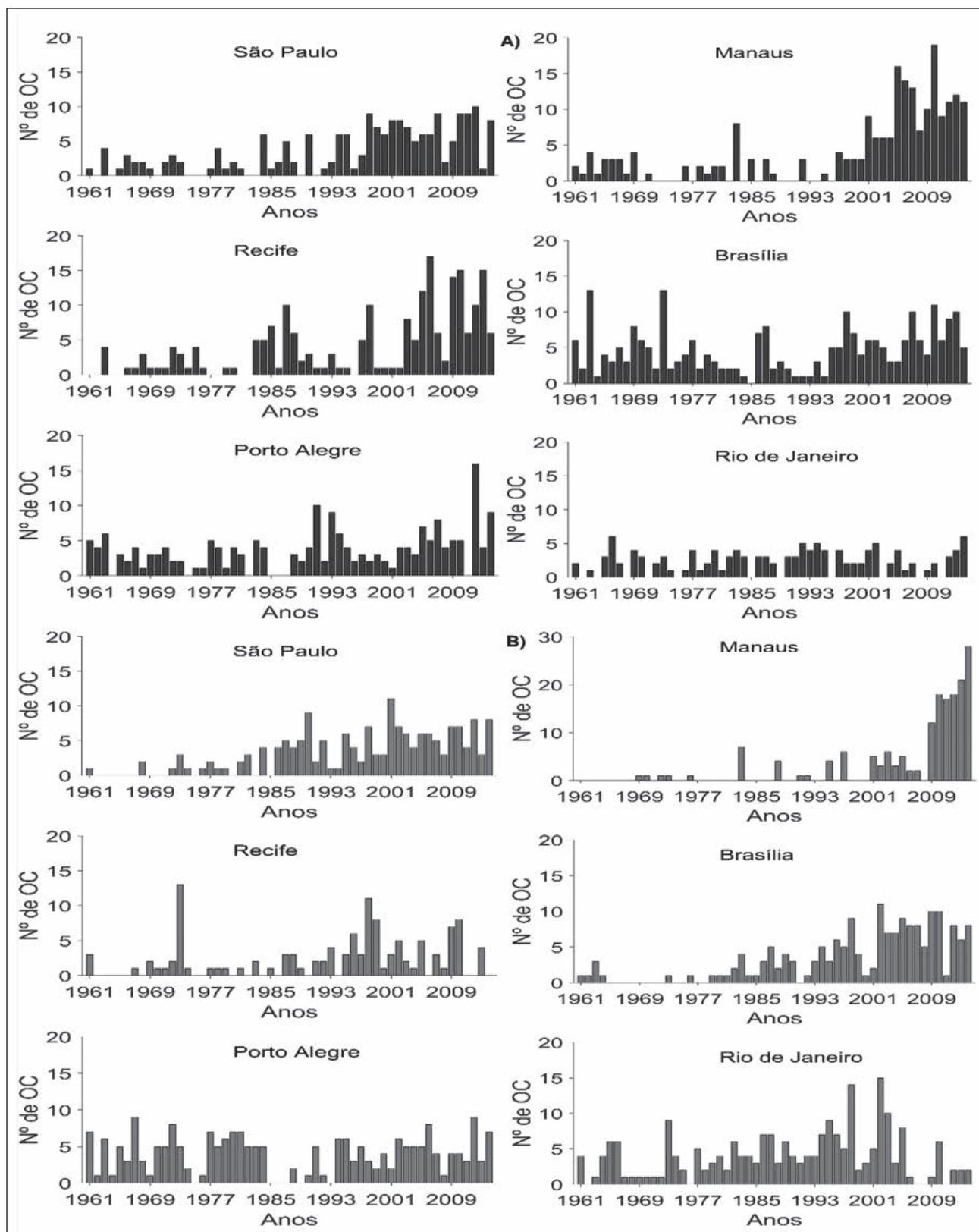


Figura 1 Número anual de OC para o índice CTX90pct (a) e para o índice CTN90pct (b).

Uma análise equivalente com o índice CTN90pct (Figura 2) permite verificar que a duração mais frequente de OC foi também de 3 dias. Neste caso, a cidade do Rio de Janeiro passa a ser a cidade que apresenta o valor mais elevado do nº total de OC bem como a cidade com maior nº de OC com duração de 3 dias, totalizando 116 eventos. A cidade com menor número total de OC registradas com este índice é Recife (116 eventos), sendo esta também a cidade com menor valor de eventos com duração de 3 dias. Porto Alegre, a par do Rio de Janeiro, passa a ser uma das cidades com maior número de OC com duração superior a 3 dias. Quanto à duração máxima, as cidades de Brasília e do Rio de Janeiro verificaram os eventos com maior duração, no valor de 23 e 24 dias respectivamente.

A série temporal do nº anual de dias em condições de OC para cada cidade resulta da conjunção da evolução do nº de OC registradas anualmente e da respectiva distribuição de duração da OC para a mesma cidade. Neste sentido, relativamente ao índice CTX90pct, Brasília, tendo sido a cidade com maior nº de OC registradas, bem como a cidade com maior nº de OC com duração superior a 3 dias (Tabela 2), registra, em média, o maior nº anual de dias em OC, cerca de 20,5 dias por ano (Tabela 3). Por análise da Tabela 3 observa-se que as cidades de Recife e Manaus, registram os segundos e terceiros maiores valores médios, com 17,6 e 16,6 dias em OC por ano, respectivamente. São Paulo e Porto Alegre, registram um número médio de dias em OC por ano semelhante, com 14,5 e 14,0 dias, respectivamente. Rio de Janeiro sendo a cidade com menos períodos de OC identificados com base neste índice e sendo também a cidade onde os eventos, em

média, tiveram uma duração inferior (Tabela 2), foi, conseqüentemente, a cidade que registrou uma média anual de dias em OC inferior, cerca de 7,8 dias por ano. Em termos de variabilidade do nº de dias anual em OC ao longo do período 1961-2014 e à semelhança do verificado para o nº anual de OC, Recife e Manaus segundo o índice CTX90pct são as cidades com maiores valores de desvio padrão do nº anual de dias em OC (Tabela 3). Para este parâmetro de variabilidade a cidade do Rio de Janeiro, volta, igualmente, a registrar os menores valores.

Analisando a Figura 3 e comparando-a com a Figura 1, observa-se, ao longo do período 1961-2014, um comportamento semelhante entre a evolução do nº anual de OC e a evolução do nº anual de dias em OC. Nesse sentido vale a pena salientar o fato da década de 1970 ter correspondido ao período onde se concentraram em todas as cidades, os anos com menor nº de dias em OC e, inclusive, os anos sem qualquer registro de OC. Com base no índice CTX90pct, o último terço do período de análise corresponde, com exceção da cidade Rio de Janeiro, a um período de aumento significativo do nº de dias anual em OC. Este aumento é mais distinto para os casos de São Paulo, Manaus e Recife, com esta última cidade a registrar, inclusive, no ano de 2010, o recorde de nº de dias em OC, somando um total de 88 dias segundo o índice CTX90pct. É interessante também verificar que, exceto em Brasília, os anos de ocorrência de maior nº dias de OC correspondem ao período recente compreendido entre 2010 e 2014.

Analisando a Tabela 3, em termos médios e com base no índice CTN90pct, Manaus aparece como a cidade com o maior nº médio anual de dias

Estação	Total OC registradas (Max. Duração)		OC de 3 dias		OC de 4-6 dias		OC > 6 dias	
	CTX90	CTN90	CTX90	CTN90	CTX90	CTN90	CTX90	CTN90
Manaus	214 (18)	186 (20)	112	67	84	77	18	48
Recife	209 (21)	116 (7)	99	73	80	42	30	1
Brasília	253 (15)	197 (23)	106	107	118	75	29	15
São Paulo	187 (18)	169 (12)	94	84	77	76	16	9
Rio de Janeiro	127 (6)	216 (24)	90	116	37	80	0	20
Porto Alegre	195 (9)	210 (18)	108	102	74	87	13	21

Tabela 2 Comparação entre dados retornados por ambos os índices para a duração das Ondas de Calor registradas.

em OC, cerca de 18 dias. Recife é a cidade onde se registram os menores valores, ao contrário do verificado com o índice CTX90pct, estando esse contraste associado ao observado na altura da análise do nº anual de OC. Segundo o índice CTN90pct, e à semelhança do verificado para o nº anual de OC, Porto Alegre e o Rio de Janeiro voltam a ser as cidades com maior nº médio de dias anual em regime de OC. Tal indica, que nesta região os períodos de OC promovidos por anomalias de temperaturas mínimas são mais comuns que os períodos associados a valores anômalos de temperaturas máximas (Tabela 3). No que toca à variabilidade dos valores do nº de dias anual em OC, à semelhança do verificado para o nº anual de OC, Manaus volta a ser a cidade com maiores valores de desvio padrão e Recife com os menores valores (Tabela 3).

Comparando com a evolução ao longo do período de análise do nº anual de OC, em todas as cidades (Figura 1), o comportamento anual do nº de dias em OC (Figura 3) é bastante semelhante, pelo que, Manaus registra, com base no índice CTN90pct, valores extremamente elevados a partir de 2009 atingindo em 2014 o máximo do nº de dias em OC num só ano, com a observação, de 191 dias em condições de calor extremo. No entanto é necessário salientar a diferença nos anos de ocorrência do máximo de dias em OC com base no índice CTN90pct relativamente aos observado para o índice CTX90pct (Tabela 3), sendo estes últimos dominados por eventos ocorridos desde 2010.

3.3 Variabilidade Sazonal

Para ambos os índices, por análise da Figura 4 e da Tabela 4, verifica-se que o nº de OC observadas em todas as seis cidades no total do período de análise, varia relativamente pouco de mês para mês. Não se observa assim, um grande contraste de valores entre as estações de Verão e Inverno como porventura seria de esperar tendo em conta as expectativas que temos associadas ao termo OC. Mesmo assim observa-se que os meses de Outono/Inverno foram os meses em que se registraram, em média, maior nº de OC. Agosto foi o mês que presenciou maior nº de OC com ambos os índices, ainda que para o índice CTX90pct os meses de Janeiro e de Março

apresentem igualmente valores bastante elevados. Os meses com menor nº de OC foram os meses de Primavera seguidos pelos meses de Verão (Figura 4). Relativamente ao índice CTX90pct, observa-se que é durante o mês de dezembro que se registram menos episódios de OC. Já no que diz respeito ao índice CTN90pct o correspondente mínimo é observado durante o mês de novembro.

De acordo com a Tabela 4 a cidade de São Paulo registra, para ambos os índices, maior nº de OC durante o período de Verão (DJF) enquanto que o menor número de episódios é observado durante a Primavera (SON). Para esta cidade o mês de agosto apresenta-se como aquele onde se verificam valores bastante elevados do nº de OC (Figura 5), estando este comportamento mais acentuado para os resultados obtidos com o índice CTX90pct. O mês de janeiro apresenta-se como o mês com maior nº de OC observado segundo o índice CTN90pct. Os meses de outubro, novembro, maio, junho e julho são os meses com menor registro de episódios de OC com ambos os índices.

No que toca à cidade de Manaus, verifica-se durante todos os meses um maior nº de OC tendo por base o índice CTX90pct, sendo que os meses com maior registro se concentram no período de Outono (MAM) para ambos os índices. Para o índice CTN90pct há igualmente o registro de um nº elevado de OC durante o Verão (DJF), com 31,3% do total de eventos identificados a ocorrerem durante este período (Tabela 4). Para o índice CTN90pct os meses de Primavera (SON) e Inverno (JJA) são aqueles onde se registram bastante menos períodos de OC (Figura 5).

De acordo com o índice CTX90pct, Recife registra maior nº de OC durante os meses de Verão nomeadamente durante dezembro e janeiro. Pelo contrário, valores mais baixos do número de OC são observados no Inverno, particularmente durante o mês de junho. Em relação ao índice CTN90pct são registrados mais eventos de OC durante a Primavera e menos episódios durante os meses de Inverno (Tabela 4).

Para a cidade de Brasília e com base no índice CTX90pct, são registrados mais períodos de OC

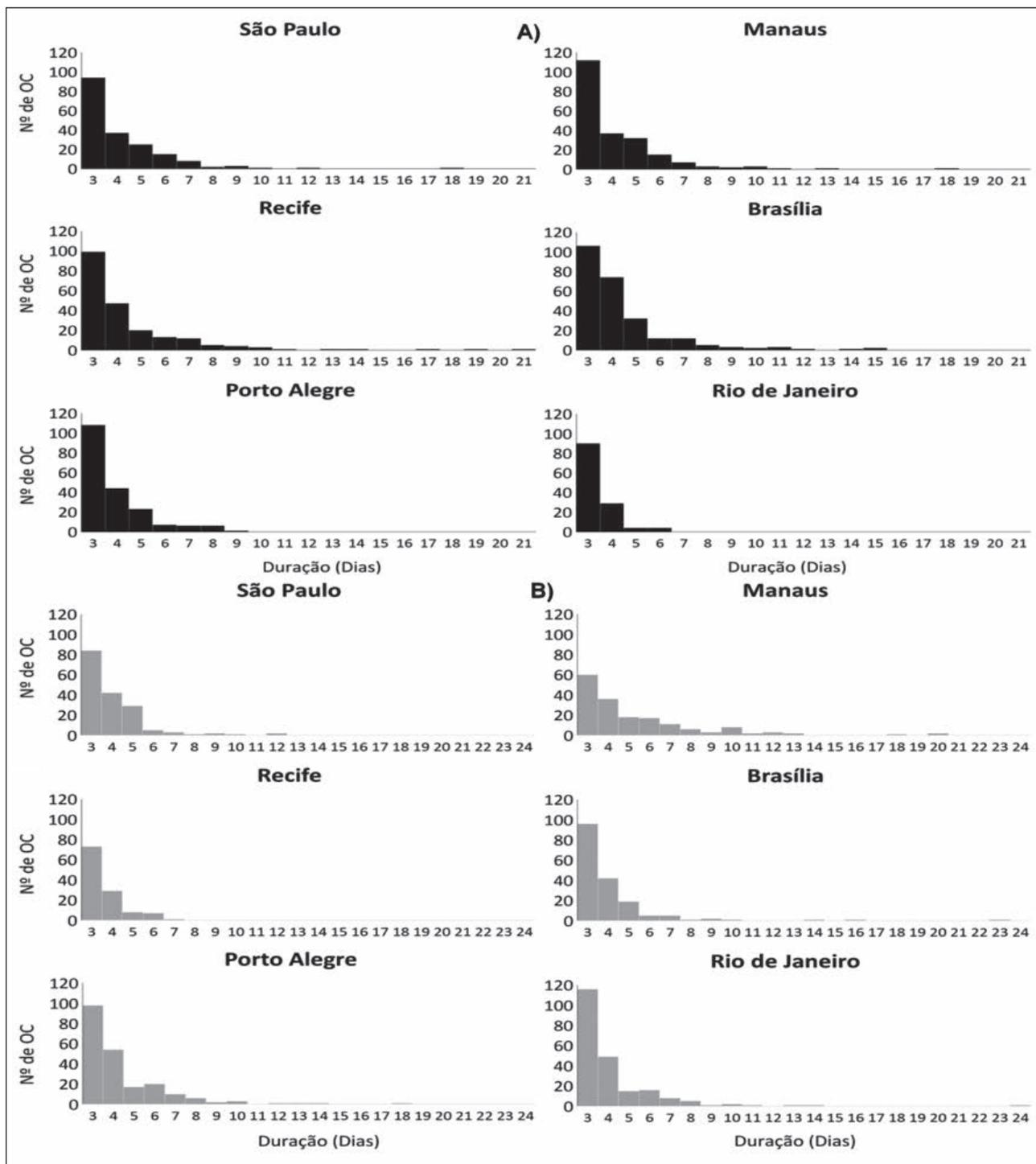


Figura 2 Histograma de duração dos episódios de OC registrados para o índice CTX90pct (a) e para o índice CTN90pct (b).

Estação	Média nºdias anual em OC		Desvio Padrão nºdias anual em OC		nºmáx. de dias por ano em OC registrado (Ano da ocorrência)	
	CTX90pct	CTN90pct	CTX90pct	CTN90pct	CTX90pct	CTN90pct
Manaus	16,6	18,1	21,0	39,0	74 (2010)	191 (2014)
Recife	17,6	7,7	22,6	10,8	88 (2010)	48 (1973)
Brasília	20,5	14,1	15,9	17,2	76 (1963)	80 (1998)
São Paulo	14,5	12,5	14,1	12,7	50 (2014)	47 (2001)
Rio de Janeiro	7,8	16,7	6,1	16,6	26(2014)	97(1998)
Porto Alegre	14,0	16,1	12,3	11,4	69 (2012)	58 (1972/2012)

Tabela 3 Comparação entre os dois índices e para as várias estações, de valores médios e de desvio padrão do nº anual de dias em OC bem como de valores máximos de dias por ano em regime de OC.

durante o Outono, particularmente durante o mês de março. Por outro lado, o maior nº de OC com base no índice CTN90pct é observado durante os meses de Inverno, nomeadamente durante o mês de agosto (Figura 5 e Tabela 4).

A cidade com o ciclo sazonal mais contrastante corresponde a Porto Alegre, uma vez que apresenta maior nº de OC durante o período de Inverno, sendo que tal fato é observado para ambos os índices (Figura 5 e Tabela 4), e menor nº de OC para o índice CTX90pct durante o Verão, no mês de dezembro.

Finalmente em relação à cidade do Rio de Janeiro, é de referir a particularidade de ser a única cidade em que todos os meses há a identificação de maior nº de OC por parte do índice CTN90pct do que por parte do índice CTX90pct (Figura 5). De igual forma é interessante observar-se que a cidade do Rio de Janeiro (a par com Manaus) registra uma evolução mais díspar dos valores calculados entre os dois índices. Em média, é durante a Primavera e especialmente durante o mês de novembro, que, para ambos os índices, se registraram menos episódios de OC. É ainda interessante verificar que o número de OC detectado com base no índice CTX90pct varia menos ao longo do ano que o correspondente ciclo calculado com base no índice CTN90pct.

3.4 Tendências

No que diz respeito ao nº anual de dias em OC, os valores de tendência foram calculados em relação a três períodos distintos, a saber, o período 1961-2014 que corresponde ao período total de análise, o

período de 1961-1980 e o período de 1980-2014. A escolha destes dois subperíodos (1961-1980; 1980-2014) foi feita com base nos estudos que mostram que na maioria das regiões do globo, se tem verificado um acréscimo mais acentuado das temperaturas a partir da década de 1980 (IPCC, 2014). Soares *et al.* (2017) verificaram durante o período de 1975-2004 um aumento significativo da temperatura à superfície em grande parte da América do Sul e em particular na região central do Brasil. Outros estudos aplicados ao continente sul americano apontam igualmente para um aumento da intensidade e frequência de eventos de OC's particularmente durante os últimos 10 anos (Ceccherini *et al.*, 2016). Por outro lado, a pertinência da escolha destes subperíodos pode ser também suportada por observação da evolução do nº anual de OC (Figura 1) bem como do nº anual de dias em OC (Figura 3), onde é possível verificar um aparente acréscimo dos valores referentes a estes parâmetros a partir dos anos 1980.

De referir que serão apresentados, em relação ao nº anual de dias em OC, valores de tendência calculados com base na definição e identificação de episódio de OC segundo os dois índices aqui utilizados. No cálculo e análise das tendências de duração dos episódios de OC, por forma a não prolongar em demasia o presente estudo, optou-se pela definição e identificação de período de OC tendo como base a aplicação exclusiva do índice CTX90pct.

a) Número de dias em onda de Calor:

Período 1961-2014: As tendências do número anual de dias em OC relativamente ao período

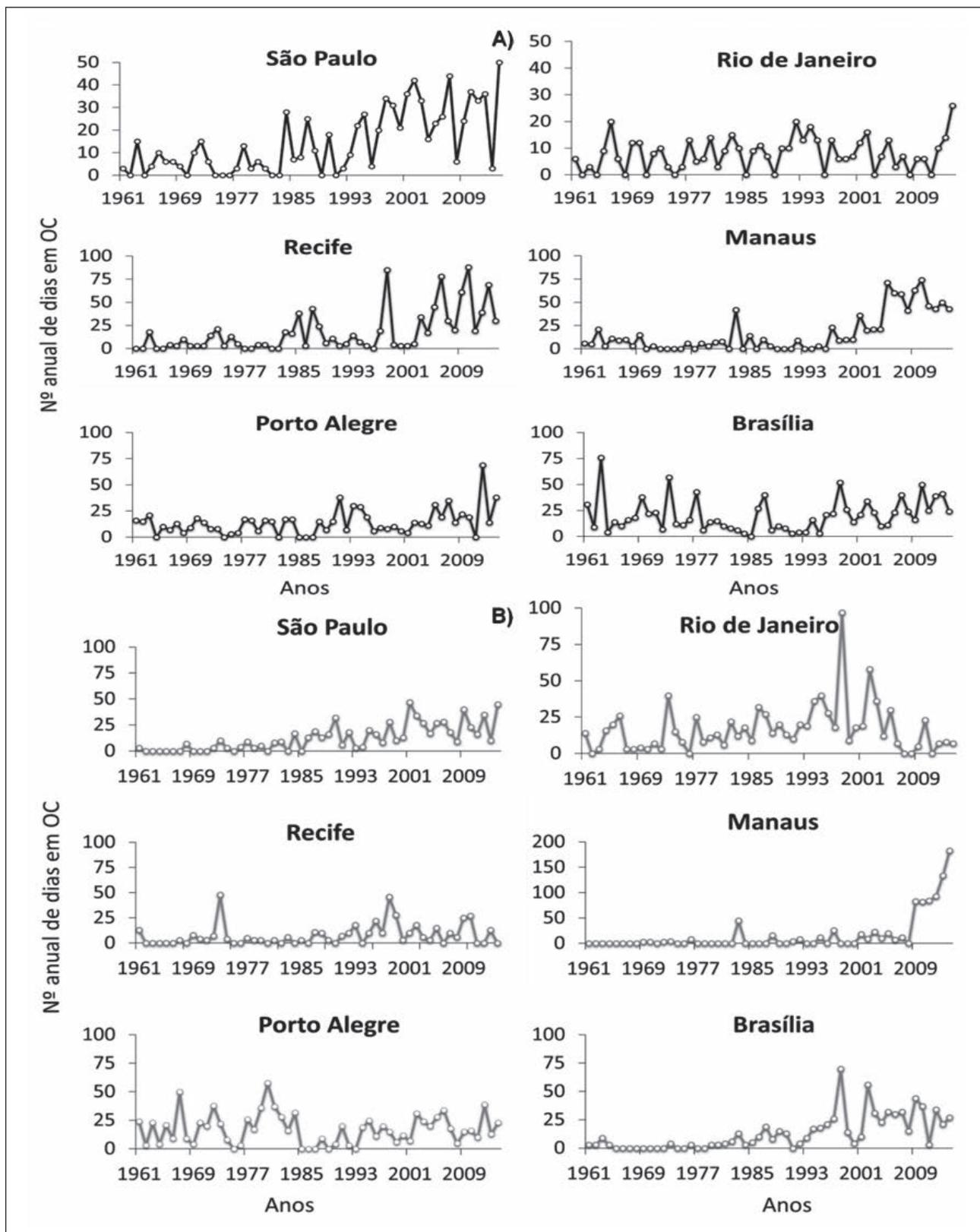


Figura 3 Número anual de dias em Ondas de Calor para o índice CTX90pct (a) e para o índice CTN90pct (b).

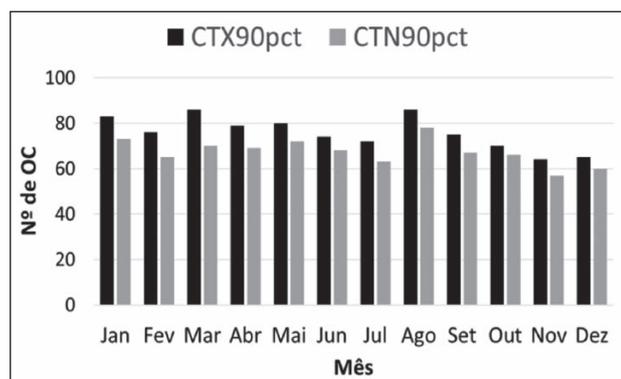


Figura 4 Número total de Ondas de Calor registradas em cada mês ao longo de todas as estações e para ambos os índices (preto - CTX90pct; Cinza - CTN90pct).

do de 1961-2014 e para as diferentes cidades, são apresentadas na Tabela 5. Numa primeira análise, verifica-se, em relação a ambos os índices, que os valores de tendência, para este período, indicam-nos um aumento do nº de dias em OC para todas as cidades, salvo para Porto Alegre, onde há um registro de uma pequena tendência negativa segundo o índice CTN90pct. As tendências obtidas por aplicação do índice CTX90pct para definição e identificação de períodos de OC, apresentam maior número de valores estatisticamente significativos que os resultados obtidos por via da utilização do índice CTN90pct. Observa-se assim, relativamente ao índice CTX90pct que, salvo Brasília e Rio de Janeiro, todas as cidades registraram tendências positivas estatisticamente significativas. Já com base no índice CTN90pct, apenas São Paulo e Brasília apresentam valores de tendência estatisticamente significativos o que nos indica uma evolução não tão pronunciada

das temperaturas mínimas neste período, por comparação com as temperaturas máximas. Segundo o índice CTX90pct, Manaus e Recife apresentam-se como as cidades com maiores valores de tendência significativos, ao registrarem, respectivamente, um aumento 7.9 e 7.4 dias por década em regime de OC, sendo que ambos os valores são estatisticamente significativos. Em relação a estas duas cidades, o índice CTN90pct retorna valores de tendência positivos, contudo, estatisticamente não significativos, sendo que Manaus é, de todas as cidades, aquela que registra maior tendência, apresentando um valor superior a 12 dias por década. Contudo é de notar que este valor para a cidade de Manaus apesar de ser bastante elevado é estatisticamente não significativo, sendo que tal deve-se à grande variabilidade da série do nº de dias anual em OC ao longo do período de análise. Esta grande variabilidade é explicada pelo grande contraste de valores deste parâmetro observado antes e após o ano de 2009 (Figura 3). Já a cidade Recife, ao contrário dos resultados obtidos com o índice CTX90pct, registra uma tendência positiva bastante baixa e estatisticamente não significativa, de aproximadamente 1,5 dias por década. São Paulo apresenta valores de tendência positivos e significativos para ambos os índices, no entanto, é com base no índice CTX90pct que se registram os maiores valores. A cidade do Rio de Janeiro apresenta valores de tendência iguais e não significativos para ambos os índices (0,7 dias por década). A cidade de Brasília, por aplicação do índice CTN90pct apresenta valores de tendência positivos mais elevados (6 dias por década). Por fim, Porto Alegre apresenta um acréscimo

	CTX90pct				CTN90pct			
	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON
Manaus	21,9	30,5	25,8	21,8	31,3	32,8	16,4	19,5
Recife	31,3	24,6	20,2	23,9	23,7	24,7	19,3	32,3
Brasília	24,4	26,8	24,9	23,9	21,8	23,2	28,5	26,5
São Paulo	27,2	26,6	24,1	22,1	29,1	24,3	25,0	21,6
Rio de Janeiro	23,3	25,0	28,4	23,3	23,7	28,4	25,4	22,5
Porto Alegre	18,2	29,2	29,8	22,8	21,8	26,2	31,8	20,2
Média	24,4	27,1	25,5	23,0	26,5	26,6	24,4	23,8

Tabela 4 Percentagens, para cada cidade, para ambos os índices e em relação ao nº total, do nº de eventos de OC registrados em cada estação do ano.

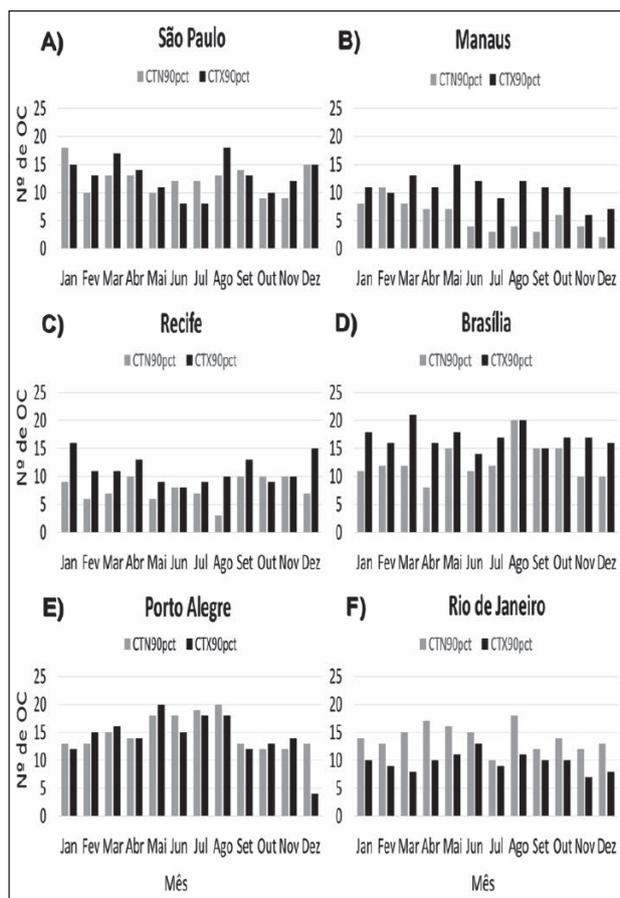


Figura 5 Número total de Ondas de Calor registradas em cada mês para ambos os índices (CTX90pct - preto; CTN90pct - cinza) e relativamente às diferentes cidades.

positivo apenas relativamente ao índice CTX90pct, pois em relação ao índice CTN90pct, há o registro, estatisticamente não significativo, de uma tendência negativa do nº de dias em OC (aproximadamente 0,1 dias por década).

Período 1961-1980: Por análise da Tabela 5, observa-se que, para ambos os índices, não são obtidos valores de tendência do nº de dias de OC estatisticamente significativos. Em relação ao índice CTX90pct são observados em geral valores negativos salvo para as cidades de Recife e Rio de Janeiro que registram aumentos muito pouco pronunciados (0,7 e 1,4 dias por década respectivamente). Em termos de tendências negativas, Manaus e Brasília são as cidades que registram maiores valores, já as cidades de São Paulo e Porto Alegre, verificam valores relativamente baixos. No que toca à análise do nº de dias anual em OC por aplicação do índice CTN90pct

observa-se uma tendência positiva generalizada, situação bastante distinta à obtida com base no índice CTX90pct. De fato com exceção da cidade de Brasília, todas as outras cidades registram aumentos do nº de dias em OC, com os valores mais intensos a serem registrados na cidade de Porto Alegre. Por outro lado, as cidades de Manaus e do Rio de Janeiro, mostram-se como sendo as cidades onde o aumento do nº de dias anual em OC é mais baixo.

Período 1981-2014: Por análise dos valores de tendência obtidos para o período 1981-2014 (Tabela 5), verifica-se que o aumento generalizado do nº de dias em OC registrado para o período de 1961-2014 expresso na maioria das cidades e para ambos os índices é explicado pelos valores de tendência positivos relativamente elevados registrados para o segundo subperíodo de 1981-2014. Assim por simples comparação com os valores obtidos para o período de 1961-1980, observa-se um panorama totalmente diferente, onde o crescimento do nº de dias anual em OC encontra-se presente de forma mais significativa. Durante este período, ambos os índices evidenciam para todas as cidades valores de tendências positivos, muitos deles estatisticamente significativos. É de salientar o caso de Manaus que se apresenta como a cidade que, durante este subperíodo, sofre o maior aumento do nº de dias em OC, independentemente do índice considerado. Estes resultados estão de acordo com alguma literatura recente sobre a evolução dos eventos de OC para determinadas regiões específicas do Brasil e em relação às últimas décadas. Assim, Almeida *et al.* (2017) registraram igualmente para a região da Amazônia e para o período de 1980-2014 valores positivos e significativos de tendência das temperaturas máximas e mínimas. Estes valores excepcionalmente elevados de eventos de OC registrados desde a década de 1980 e especialmente para os anos de 2005 e de 2010 relativamente à cidade de Manaus, estão, por outro lado, relacionados com a ocorrência de episódios extremos de seca registrados durante estes anos e para esta região do Brasil em específico (Marengo e Espinoza, 2016; Panisset *et al.*, 2017). A cidade de Recife em relação ao índice CTX90pct e em relação a este sub-período sofreu, logo a seguir a Manaus, o segundo maior aumento do nº de dias anual em OC. Moura (2016) verificou também para o Nordeste Brasileiro um aumento do

	CTX90pct			CTN90pct		
	1961-2014	1961-1980	1981-2014	1961-2014	1961-1980	1981-2014
Manaus	7,9	-3,7	16,0	12,2	0,7	25,5
Recife	7,4	0,7	11,3	1,5	1,1	1,9
Brasília	1,0	-4,4	7,3	6,0	-0,8	7,2
São Paulo	5,4	-0,1	8,0	5,3	1,9	5,9
Rio de Janeiro	0,7	1,4	0,2	0,7	1,4	0,2
Porto Alegre	2,6	-1,3	5,1	-0,1	6,8	2,0

Tabela 5 Valores de tendência do nº de dias em OC para ambos os índices, relativamente às várias estações e aos vários períodos considerados. Em negrito são representados os valores positivos e estatisticamente significativos, todos os outros valores de tendência positivos e negativos não são estatisticamente significativos.

número e da intensidade de anomalias positivas da temperatura à superfície. No caso de Brasília foram obtidos resultados semelhantes entre índices, registrando valores positivos e significativos de cerca de 7 dias por década. Mais a sul, a cidade de São Paulo registra, igualmente, tendências positivas estatisticamente significativas e ligeiramente mais elevadas para o índice CTX90pct. A cidade de Porto Alegre, presenciou um aumento bastante pronunciado e significativo do nº de dias anual em OC durante o período 1981-2014 com base no índice CTX90pct, em contraste com o período 1961-1980 onde são obtidos valores de tendência negativos. Finalmente a cidade do Rio de Janeiro é aquela que não apresenta grandes variações dos valores tendência entre índices e entre períodos de análise, apresentando, mais uma vez, valores positivos de tendência pouco pronunciados e estatisticamente não significativos.

b) Duração dos eventos de onda de Calor:

O estudo da evolução ao longo do período de 1961-2014 das durações dos eventos de OC relativos a cada cidade foi feito com base na análise do registro de ocorrência de eventos classificados de acordo com o grau de severidade, sendo este por sua vez, definido com base na duração temporal dos episódios de OC. Este registro pode ser observado por análise da Figura 6, onde, para cada cidade são representados o nº de OC registrados com duração de 3-6 dias (eventos moderados), de 6-10 dias (eventos graves) e duração superior a 10 dias (eventos extremos) relativos às décadas desde 1960.

Por análise da Figura 6 é possível verificar-se para as cidades de São Paulo, Manaus e Recife, um aumento relativamente significativo ao longo do período de análise, nomeadamente a partir da década de 1980, do número total de eventos classificados como moderados e como graves. Durante as décadas de 1960 e 1970, o nº de eventos graves registrados para estas três cidades, é bastante reduzido ou mesmo nulo, sendo que é durante o período 2001-2010 que há o registro do maior número de eventos com uma duração compreendida entre os 6-10 dias. De notar que, para a cidade de São Paulo, eventos tidos como extremos são registrados apenas a partir da viragem do século. Posto isto, é razoável afirmar que para as cidades de São Paulo, Recife e Manaus há um apreciável aumento da duração temporal dos episódios de OC nomeadamente a partir dos anos 1980.

Em contraste com este comportamento, a cidade de Brasília não registra um aumento da duração dos eventos de OC ao longo do período de análise, na medida em que o nº de eventos classificados como graves não sofre grandes flutuações. Eventos extremos são registrados em todas as décadas consideradas com exceção da década de 1980. A cidade do Rio de Janeiro segue sensivelmente o mesmo comportamento, sendo que a par da cidade de Porto Alegre, não é registrado qualquer episódio extremo com duração superior a 10 dias. Em relação ainda à cidade do Rio de Janeiro, no que diz respeito ao registro de eventos moderados e graves, não se observa a presença de um acréscimo acentuado como o descrito anteriormente para as cidades de São Paulo, Manaus e Recife. De referir apenas que, eventos tidos como graves, são observados, para a cidade do

Rio de Janeiro, apenas a partir da década de 1980, com o registro em média de 1 episódio por década com este grau de severidade. Nesse sentido, parece razoável afirmar-se que não há indícios de uma evolução concreta, quer de aumento, quer de diminuição, da duração dos eventos de OC para as cidades de Brasília e do Rio de Janeiro. A cidade de Porto Alegre registra eventos graves em todas as décadas, salvo durante a década de 1960, tendo sido registrada uma apreciável tendência de aumento do número de eventos graves desde a década de 1980.

4 Conclusões

No presente trabalho, procurou-se sistematizar as características climáticas das ondas de calor para 6 cidades brasileiras inseridas em meio urbano, no que diz respeito à duração, às tendências e à variabilidade inter-anual e sazonal ao longo de um período extenso de 54 anos (1961-2014). Os resultados obtidos no que diz respeito às variabilidades inter-anuais e sazonais, mostraram-se dependentes das definições de OC utilizadas, que se basearam na identificação de anomalias diárias da temperatura máxima (índice CTX90pct) e de anomalias diárias da temperatura mínima (índice CTN90pct). Tal evidencia que, relativamente ao período de estudo, houve uma evolução distinta dos eventos extremos de temperaturas máximas e mínimas ao longo do território Brasileiro. Em termos de variabilidade inter-anual, em geral a cidade de Brasília (Rio de Janeiro) mostrou-se como sendo a cidade que registrou em termos médios anuais, maior (menor) nº de ondas de calor bem como maior (menor) nº de dias anual em regime de OC. No que diz respeito à variabilidade sazonal, não há o registro de um grande contraste do nº de OC registradas entre as estações de verão e inverno como porventura seria de esperar tendo em conta as expectativas que se têm associadas ao termo de OC. Contudo os meses de Outono/Inverno foram os meses em que se verificou em média maior nº de OC. Uma análise sistemática da evolução dos vários parâmetros das OC evidenciam a presença de tendências positivas significativas na frequência e duração das OC a partir da década de 1980 em todo o Brasil, destacando-se neste ponto as cidades de São Paulo, Recife e Manaus, sendo que é nesta última

que se registrou um maior contraste entre o reduzido nº de OC observado durante o século XX e o elevado nº de OC observado após o fim deste século.

Futuramente, será interessante não só replicar o presente estudo, utilizando outros índices de OC que levem em conta outras variáveis meteorológicas, mas também expandir a análise realizada no presente trabalho para outras estações meteorológicas, incluindo zonas não urbanas, visto que as seis estações usadas não são manifestamente suficientes para traduzir todos os sub-climas observados no Brasil.

A maioria dos cenários climáticos para o futuro apontam para o aumento da temperatura média global, dos eventos extremos como OCs, secas, fogos florestais, cheias, e dos níveis de poluição atmosférica. Assim, é absolutamente necessário perceber e estabelecer com maior rigor a ponte entre estes eventos extremos, nomeadamente a forma como ocorrem, e os possíveis impactos que deles poderão advir para a sociedade. Sabe-se atualmente que os riscos não serão iguais para todos e sim mais efetivos para as populações mais desfavorecidas bem como para as comunidades inseridas em países subdesenvolvidos (IPCC, 2014). Portanto, o presente estudo pode ser utilizado numa perspectiva futura, como apoio ao desenvolvimento de sistemas de alerta de episódios extremos de temperatura, para diagnóstico de simulações de controle de modelos de circulação geral ou de área limitada e para avaliação de cenários futuros do clima e dos principais impactos na vida humana que deles poderão advir.

5 Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pela FAPERJ (E-26/200.636/2016 & E-26/210.904/2015), e pelo Projeto BrFLAS, com recursos FAPESP-FCT (1389/2014 & 2015/01389-4). RLibonati foi financiada pelo Instituto Serrapilheira (Serra-1708-15159).

6 Referências

Alexander, L.V.; Zhang, X.; Peterson, T.C.; Caesar, J.; Gleason, B.; Klein Tank, A.M.G.; Haylock, M.; Collins, D.; Trewin, B.; Rahimzadeh, F.; Tagipour, A.; Rupa Kumar, K.; Revadekar, J.; Griffiths, G.; Vincent, L.; Stephen-

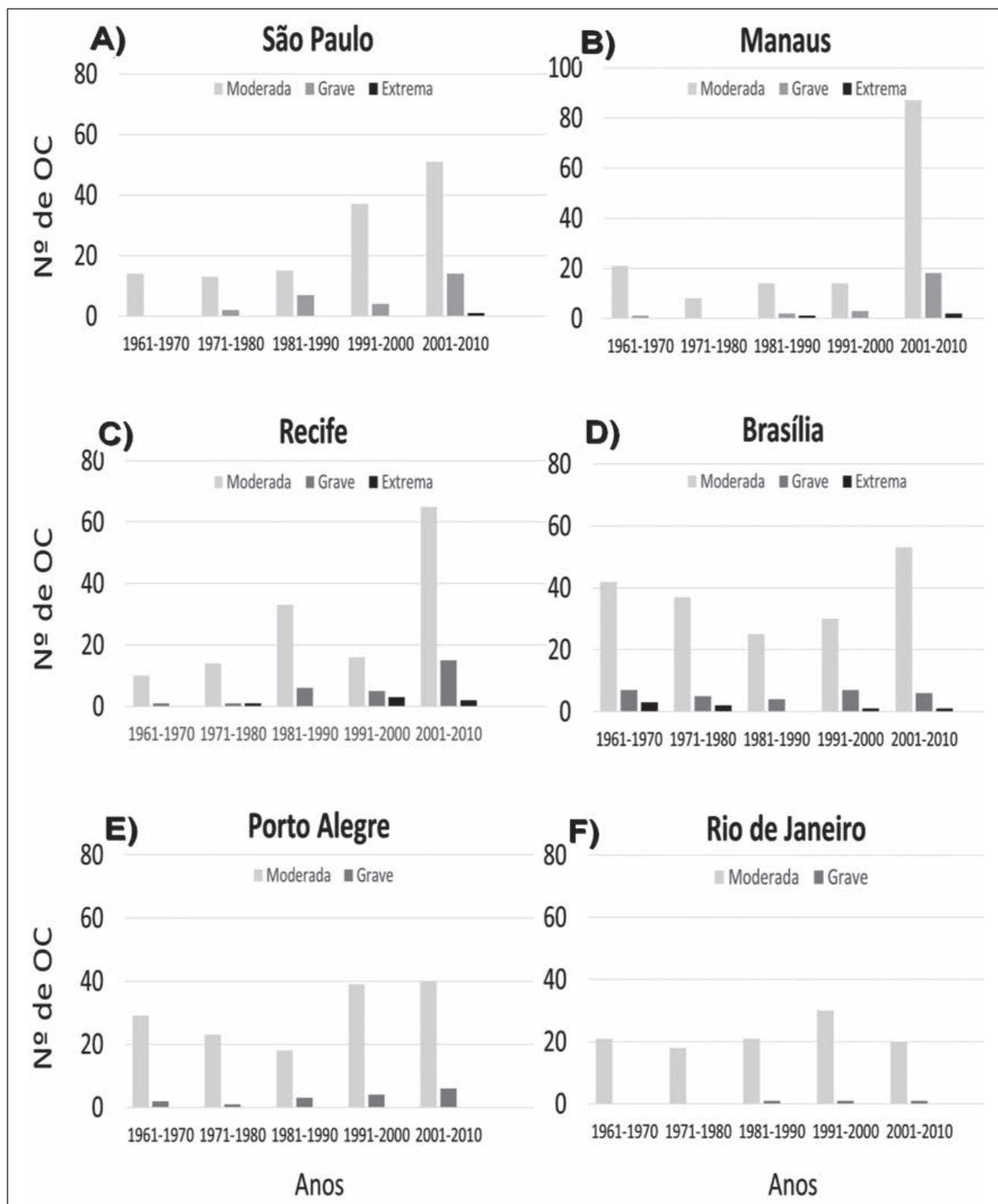


Figura 6 Distribuição para cada cidade e para as décadas de 60, 70, 80, 90, 2000-2010 e 2010-2014 do nº de ondas de calor tidas como moderadas (cinza claro), graves (cinza escuro) e extremas (preto). Valores resultantes da aplicação exclusiva do índice CTX90pct

- son, D.B.; Burn, J.; Aguilar, E.; Brunet, M.; Taylor M.; New M.; Zhai P.; Rusticucci M. & Vazquez-Aguirre J.L. 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, 111(D5).
- Almeida, C.T.; Oliveira-Júnior, J.F.; Delgado, R.C.; Cubo, P. & Ramos, M.C. 2017. Spatiotemporal rainfall and temperature trends throughout the Brazilian Legal Amazon; 1973-2013. *International Journal of Climatology*, 37(4): 2013-2026.
- Barriopedro, D.; Fischer, E.M.; Luterbacher, J.; Trigo, R.M. & García-Herrera, R. 2011. The Hot Summer of 2010: Redrawing the Temperature Record Map of Europe. *Science*, 332(6026): 220-224.
- Bitencourt, D.P.; Fuentes, M.V.; Maia, P.A.; Amorim, F.T.; Bitencourt, D.P.; Fuentes, M.V.; Maia, P.A. & Amorim, F.T. 2016. Frequência, Duração, Abrangência Espacial e Intensidades das Ondas de Calor no Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 31(4): 506-517.
- Ceccherini, G.; Russo, S.; Amezttoy, I.; Patricia Romero, C. & Carmona-Moreno, C. 2016. Magnitude and frequency of heat and cold waves in recent decades: The case of South America. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(3): 821-831.
- Cerne, S.B. & Vera, C.S. 2011. Influence of the intraseasonal variability on heat waves in subtropical South America. *Climate Dynamics*, 36(11-12): 2265-2277.
- Fischer, E.M. & Knutti, R. 2015. Anthropogenic contribution to global occurrence of heavy-precipitation and high-temperature extremes. *Nature Climate Change*, 5: 560-564.
- Fischer, E.M. & Schär, C. 2010. Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves. *Nature Geoscience*, 3(6): 398-403.
- Geirinhas, J.L.; Trigo, R.M.; Libonati, R.; Castro, L.C.O.; Sousa, P.M.; Coelho, C.A.S.; Peres, L.F.; Magalhães M.A. F.M. 2018. Characterizing the atmospheric conditions during the 2010 heatwave in Rio de Janeiro marked by excessive mortality rates. *Science of The Total Environment*, 650(2019): 796-808.
- Geirinhas, J.L.; Trigo, R.M.; Libonati, R.; Coelho, C.A.S. & Palmeira, A.C. 2017. Climatic and synoptic characterization of heat waves in Brazil. *International Journal of Climatology*, 38: 1760-1776.
- Gouveia, N.; Hajat, S. & Armstrong, B. 2003. Socioeconomic differentials in the temperature-mortality relationship in São Paulo, Brazil. *International Journal of Epidemiology*, 32(3): 390-397.
- Hannart, A.; Vera, C.; Otto, F.E.L. & Cerne, B. 2015. Causal influence of anthropogenic forcings on the argentinian heat wave of december 2013. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(12): S41-S45.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Kunkel, K.E.; Changnon, S.A.; Reinke, B.C. & Arritt, R.W. 1996. The July 1995 Heat Wave in the Midwest: A Climatic Perspective and Critical Weather Factors., 77(7): 1507-1518.
- Lucena, A.J.; Rotunno Filho, O.C.; França, J.R.; Peres, L. & Xavier, L.N.R. 2013. Urban climate and clues of heat island events in the metropolitan area of Rio de Janeiro. *Theoretical and Applied Climatology*, 111: 497-511.
- Marengo, J.A. & Camargo, C.C. 2008. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960-2002. *International Journal of Climatology*, 28(7): 893-904.
- Marengo, J.A. & Espinoza, J.C. 2016. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: Causes, trends and impacts. *International Journal of Climatology*, 36(3): 1033-1050.
- Moura, M.O. 2016. Anomalies of Extreme Air Temperatures in Fortaleza, CE, Brazil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8(6): 1588-1600.
- Panisset, J.S.; Libonati, R.; Gouveia, C.M.P.; Machado-Silva, F.; França, D.A.; França, J.R.A. & Peres L.F. 2017. Contrasting patterns of most extreme drought episodes of 2005, 2010 and 2015 in the Amazon Basin. *International Journal of Climatology*, 38(2): 1096-1104.
- Peres, L.F.; Lucena, A.J.; Rotunno Filho, O.C. & França, J.R. 2018. The urban heat island in Rio de Janeiro, Brazil, in the last 30 years using remote sensing data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 64: 104-116.
- Perkins, S.E. & Alexander, L.V. 2013. On the Measurement of Heat Waves. *Journal of Climate*, 26(13): 4500-4517.
- Renom, M.; Rusticucci, M. & Barreiro, M. 2011. Multidecadal changes in the relationship between extreme temperature events in Uruguay and the general atmospheric circulation. *Climate Dynamics*, 37(11-12): 2471-2480.
- Ricce, W.S.; Caramori, P.H.; Morais, H.; Silva D.A.B. & Ataide, L.T. 2009. Análise de tendências na temperatura e precipitação em Londrina, Estado do Paraná. In: XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia - 22 a 25 de Setembro de 2009 - Belo Horizonte -MG.
- Rusticucci, M. 2012. Observed and simulated variability of extreme temperature events over South America. *Atmospheric Research*, 106: 1-17.
- Rusticucci, M.; Kyselý, J.; Almeida, G. & Lhotka, O. 2016. Long-term variability of heat waves in Argentina and recurrence probability of the severe 2008 heat wave in Buenos Aires. *Theoretical and Applied Climatology*, 124(3-4): 679-689.
- Rusticucci, M.; Barrucand, M. & Collazo, S. 2017. Temperature extremes in the Argentina central region and their monthly relationship with the mean circulation and ENSO phases. *International Journal of Climatology*, 37(6): 3003-3017.
- Sansigolo, C.A. & Kayano, M.T. 2010. Trends of seasonal maximum and minimum temperatures and precipitation in Southern Brazil for the 1913-2006 period. *Theoretical and Applied Climatology*, 101(1): 209-216.
- Schär, C.; Vidale, P.L.; Lüthi, D.; Frei, C.; Häberli, C.; Liniger, M.A. & Appenzeller, C. 2004. The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, 427(6972): 332-336.
- Skansi, M.; Brunet, M.; Sigró, J.; Aguilar, E.; Arevalo Groening, J.A.; Bentancur, O.J.; Castellón Geier, Y.R.; Correa Amaya, R.L.; Jácome, H.; Malheiros Ramos, A.; Oria Rojas, C.; Pasten, A.M.; Sallons Mitro, S.; Villaroel Jiménez, C.; Martínez, R.; Alexander, L.V. & Jones, P.D. 2013. Warming and wetting signals emerging from analysis of changes in climate extreme indices over South America. *Global and Planetary Change*, 100: 295-307.

Caracterização Climática de Ondas de Calor no Brasil

João Lucas Geirinhas; Ricardo Machado Trigo; Renata Libonati & Leonardo de Faria Peres

- Soares, D.D.B.; Lee, H. & Loikith, P.C. 2017. Can significant trends be detected in surface air temperature and precipitation over South America in recent decades? *International Journal of Climatology*, 1493: 1483–1493.
- Son, J.; Gouveia, N.; Bravo, M.A.; Freitas, C.U. & Bell, M.L. 2016. The Impact of temperature on mortality in a subtropical city: effects of cold, heat, and heat waves in São Paulo, Brazil. *International Journal of Biometeorology*, 60: 113-121.
- Vincent, L.A.; Peterson, T.C.; Barros, V.R.; Marino, M.B.; Rusticucci, M.; Carrasco, G.; Ramirez, E.; Alves, L.M.; Ambrizzi, T.; Berlato, M.A.; Grimm, A.M.; Marengo, J.A.; Molion, L.; Moncunill, D.F.; Rebello, E.; Anunciação, Y.M.T.; Quintana, J.; Santos, J.L.; Baez, J.; Coronel, G.; Garcia, J.; Trebejo, I.; Bidegain, M.; Haylock, M.R. & Karoly, D. 2005. Observed Trends in Indices of Daily Temperature Extremes in South America 1960–2000. *Journal of Climate*, 18(23): 5011–5023.