

**Avaliação do índice de desconforto térmico humano e sensação térmica para as cinco regiões
brasileiras em período de El Niño Oscilação-Sul (ENOS)**

Fernanda Rodrigues Diniz¹, Clara Miho Narukawa Iwabe², Marina Piacenti da Silva²

¹ Bolsista FAPESP- Faculdade de Ciências- UNESP/Bauru

² Departamento de Física- Faculdade de Ciências- UNESP/Bauru

Resumo

O Brasil é um extenso país que possui cinco regiões administrativas com diferentes climas, decorrente principalmente das suas localizações geográficas. O fenômeno El Niño Oscilação Sul influencia no regime de temperatura e precipitação das regiões brasileiras, o que pode afetar diretamente na sensação térmica e desconforto térmico da população nestas regiões. Por esse motivo, o objetivo deste trabalho foi avaliar a sensação térmica e o índice de desconforto térmico humano (IDH) nas regiões Norte, Nordeste, Centro-oeste, Sudeste e Sul do Brasil para os períodos de anos com El Niño (2015/2016) e La Niña (2007/2008) em comparação com um ano sem ocorrência destes fenômenos (2013/2014). Foram utilizados dados mensais de temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento, obtidos de estações das capitais de cada estado brasileiro, através da rede de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As sensações térmicas e IDH foram calculados utilizando equações específicas. Para que fosse possível analisar cada região como um todo, foram calculadas as médias de IDH e sensação térmica dos valores obtidos das capitais dos estados que compõem cada região. Como estes fenômenos ocorreram em anos diferentes, as análises foram feitas para o intervalo dos meses coincidentes de atuação de El Niño, La Niña e ano neutro (agosto a junho). Os resultados foram analisados por meio de tabelas e gráficos comparando as diferenças de sensação térmica e índice de desconforto térmico entre os períodos de ENOS e ano neutro das cinco regiões brasileiras. A partir dos resultados pôde-se concluir que os fenômenos El Niño e La Niña influenciam nas sensações térmicas e IDHs das regiões brasileiras, sendo que em sua maioria, o El Niño faz com que a sensação térmica e o desconforto devido ao calor aumentem e a La Niña faz com que diminuam. Este estudo é importante uma vez que esses fenômenos ao influenciarem a sensação e o conforto térmico, atingem diretamente o bem-estar e a saúde da população brasileira.

Palavras chave: Desconforto Térmico Humano, El Niño Oscilação Sul, Sensação Térmica

Os autores deste trabalho são os únicos responsáveis por seu conteúdo e são os detentores dos direitos autorais e de reprodução. Este trabalho não reflete necessariamente o posicionamento oficial da Sociedade Brasileira de Biometeorologia (SBBiomet).

The authors of this paper are solely responsible for its content and are the owners of its copyright. This paper does not necessarily reflect the official position of the Brazilian Society of Biometeorology (SBBiomet).

DOI: 10.6084/m9.figshare.5181277

Introdução

O Brasil é um país de grande extensão territorial, e apresenta diferentes climas com distintas características regionais de norte a sul. Fenômenos meteorológicos e climáticos podem influenciar nas características climáticas das regiões brasileiras, como no aumento ou diminuição da temperatura e precipitação, sendo que a resposta a estes fenômenos é diferente em cada região. Um exemplo de fenômeno climático que influencia no regime de temperatura e precipitação no Brasil é o El Niño Oscilação-Sul (ENOS). Há muitos estudos que mostram os impactos causados pelo ENOS no território brasileiro, tanto na sua fase positiva (El Niño), quanto na sua fase negativa (La Niña) (Grimm et al, 1998; Sansigolo et al, 2000). A La Niña e o El Niño causam impactos opostos em diferentes regiões do Brasil. Estudos como de Sansigolo (2000) demonstram que em anos de La Niña o regime de precipitação aumenta no Nordeste brasileiro (NEB) e diminui na região Sul do Brasil, e o contrário acontece em anos de El Niño.

O ENOS influencia nas condições meteorológicas e climáticas das regiões brasileiras variando a temperatura do ar, precipitação, umidade relativa e velocidade do vento. Estas variações podem provocar alterações nos processos fisiológicos dos seres humanos a partir de trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente, resultando em sensações de frio ou calor (Lamberts et al, 2011). Neste contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar o índice de desconforto térmico humano e a sensação térmica em anos de El Niño e La Niña das cinco regiões brasileiras. Comparando os índices destas duas fases (positivas e negativas) entre si e em relação a um ano neutro (sem ocorrência de El Niño ou La Niña) será possível verificar o impacto que o ENOS causa no conforto térmico destas regiões.

Metodologia

O período de ocorrência de El Niño escolhido foi de 2015/2016, por ser mais recente e considerado de forte intensidade, sendo atuante entre os meses de janeiro de 2015 a junho de 2016 de acordo com o Índice Niño de Oscilação (ONI) (NOAA, 2017). Evento de La Niña ocorrido em 2007/2008 que de acordo com o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) também foi de forte intensidade, com ONI abaixo de $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre os meses de agosto de 2007 a junho de 2008 e o ano neutro em 2013/2014, ano intermediário entre esses dois acontecimentos.

Para a análise da sensação térmica e do índice de desconforto térmico humano foram utilizados dados mensais das variáveis meteorológicas: temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento para os períodos de El Niño, La Niña e ano neutro. Estes dados foram obtidos de estações localizadas nas capitais de cada estado brasileiro, através da rede de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

As sensações térmicas (ST) relacionadas ao frio ou ao calor podem ser calculadas através da equação da Temperatura Equivalente de Wind Chill (T_{wc}), derivada por Falconer (1968) da equação estabelecida por Paul Siple.

$$T_{wc} = 33 + (10\sqrt{v} + 10,45 - v) \frac{T-33}{22} \quad (1)$$

Onde v é o módulo da velocidade do vento e T a temperatura do ar.

A sensação térmica sentida por humanos em determinado ambiente, de acordo com Fanger (1970) é descrita na Tabela 1.

Tabela 1- Critérios de Fanger para intervalos de temperatura em $^{\circ}\text{C}$

Critério Fanger	($^{\circ}\text{C}$)	Critério Fanger	($^{\circ}\text{C}$)	Critério Fanger	($^{\circ}\text{C}$)
Muito frio	<13	Ligeiramente frio	19-22	Quente moderado	28-31
Frio	13-16	Confortável	22-25	Quente	31-34
Frio moderado	16-19	Ligeiramente quente	25-28	Muito quente	>34

O Índice de desconforto térmico (IDH) é calculado pela equação descrita por Ono e Kawamura (1991), sendo T_a a temperatura do ar e T_d a temperatura de orvalho.

$$IDH = 0,99Ta + 0,36Td + 41,5 \quad (2)$$

No qual Td pode ser estimada utilizando as equações (3) e (4), onde a= 17,27 e b= 237,7 e UR é a umidade relativa percentual.

$$Td = \frac{b * a(Ta, UR)}{a - \alpha(Ta, UR)} \quad (3) \quad \alpha(Ta, UR) = \frac{a * Ta}{b + Ta} + \ln(UR) \quad (4)$$

A Tabela 2 descreve as faixas de valores do índice de desconforto humano (IDH) relativas às condições de conforto térmico (Ono & Kawamura, 1991).

Tabela 2- Índice de desconforto térmico humano relativo às condições de conforto térmico.

Intervalo do IDH	IDH > 80	75 > IDH > 80	60 > IDH > 75	55 > IDH > 60	IDH < 55
Efeito	Estresse devido ao calor	Desconfortável devido ao calor	Confortável	Desconfortável devido ao frio	Estresse devido ao frio

Para que fosse possível analisar cada região como um todo, foram calculadas as médias de IDH e sensação térmica dos valores obtidos das capitais dos estados que compõem de cada região. As análises foram feitas para os meses em comum de ocorrência do ENOS e ano neutro (agosto a junho). Os resultados foram expressos em tabelas e gráficos de séries temporais.

Resultados

A Tabela 3 apresenta as sensações térmicas e os critérios Fanger nos meses de El Niño e La Niña atuantes e ano neutro nas regiões brasileiras.

Tabela 3 – Sensação térmica dos períodos com El Niño e La Niña atuantes e ano neutro para as regiões do Brasil.

Região	Período	Sensação Térmica (°C)											
		AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	
Norte	El niño	28,9	29,7	29,7	29,4	28,4	28,1	28,0	28,1	28,1	28,6	28,3	
	La nina	27,5	27,9	28,9	29,1	27,1	26,7	26,7	26,9	27,3	27,2	27,2	
	Neutro	28,1	28,5	28,8	28,3	28,2	27,5	27,4	27,6	27,8	28,1	28,0	
Nordeste	El niño	26,2	27,0	27,3	27,9	28,0	28,2	27,4	27,7	27,3	26,8	26,2	
	La nina	23,8	24,1	25,1	26,0	26,6	26,7	27,3	27,1	26,5	25,9	24,5	
	Neutro	24,7	25,0	26,1	26,2	26,9	26,5	26,7	27,0	27,3	26,2	25,2	
Centro - Oeste	El niño	28,3	30,0	30,2	28,9	28,5	28,1	28,6	28,2	28,7	27,9	26,3	
	La nina	24,8	28,4	28,3	26,8	26,5	26,0	26,4	26,4	28,0	27,4	26,4	
	Neutro	27,0	28,8	28,6	28,3	27,9	28,1	27,9	27,9	28,1	27,3	26,8	
Sudeste	El niño	22,7	24,6	24,6	25,4	26,2	25,2	27,0	26,1	26,3	23,6	21,6	
	La nina	22,3	23,5	24,5	24,3	25,9	24,8	25,7	25,3	25,0	22,6	22,1	
	Neutro	22,1	22,9	23,1	24,3	25,3	27,0	27,2	25,8	24,7	23,2	22,7	
Sul	El niño	20,8	19,9	20,9	22,0	24,7	25,7	26,1	24,1	24,3	18,4	15,2	
	La nina	16,3	20,5	21,8	21,2	24,3	24,1	24,6	24,2	21,9	18,5	16,7	
	Neutro	16,2	18,8	20,1	22,3	25,0	26,3	26,3	23,9	22,0	19,0	17,9	

Legenda: Quente moderado Ligeiramente quente Confortável
 Ligeiramente frio Frio moderado

A região Norte brasileira apresentou maior sensação térmica no período de El Niño atuante, indicando durante todos os meses sensação quente moderado. Durante o período de La Niña atuante as sensações foram ligeiramente quentes em praticamente todos os meses, exceto em outubro e novembro que

as sensações foram quente moderado. Observa-se que em comparação com o ano neutro, as sensações em meses de El Niño são maiores do que as sensações em meses de La Niña.

Na região Nordeste em período de El Niño as sensações foram ligeiramente quentes em quase todos os meses, em dezembro e janeiro a sensação foi quente moderado. Já em período de La Niña as sensações térmicas foram mais baixas, sendo que nos meses de agosto, setembro e junho as sensações foram confortáveis e nos outros meses ligeiramente quente. Apesar de ser uma região ligeiramente quente nos dois períodos, a sensação térmica é maior em época de El Niño, provavelmente devido à seca que o mesmo causa nesta região. Menores sensações térmicas em anos de La Niña ocorrem provavelmente devido ao aumento do regime de precipitação neste período (Sansigolo et al, 2000).

No Centro-Oeste brasileiro, a sensação térmica da região com El Niño atuante foi ligeiramente quente em quase todos os meses. Em comparação com ano neutro, em período de El Niño as sensações são maiores em todos os meses. Já nos meses com La Niña atuante a sensação térmica da região variou de confortável a quente moderado.

A sensação térmica no Sudeste brasileiro de acordo com a Tabela 3 variou de ligeiramente frio a ligeiramente quente no período de El Niño. Apesar de nos meses com La Niña atuante e ano neutro as sensações térmicas possuírem a mesma variação do critério de Fanger, os valores médios das ST da região foram maiores no período de El Niño.

Na região Sul durante o período de ocorrência de El Niño a sensação térmica variou entre frio e ligeiramente quente, o mesmo ocorreu no ano neutro. No entanto é nitidamente visível na Tabela 3 que os valores de ST para o período de El Niño foram substancialmente maiores em praticamente todos os meses em comparação com o período de La Niña e ano neutro. No período de La Niña a sensação térmica da região foi baixa variando de frio a ligeiramente frio durante os meses.

Os gráficos da Figura 1 apresentam os Índices de Desconforto térmico Humano (IDH) calculados para cada região.

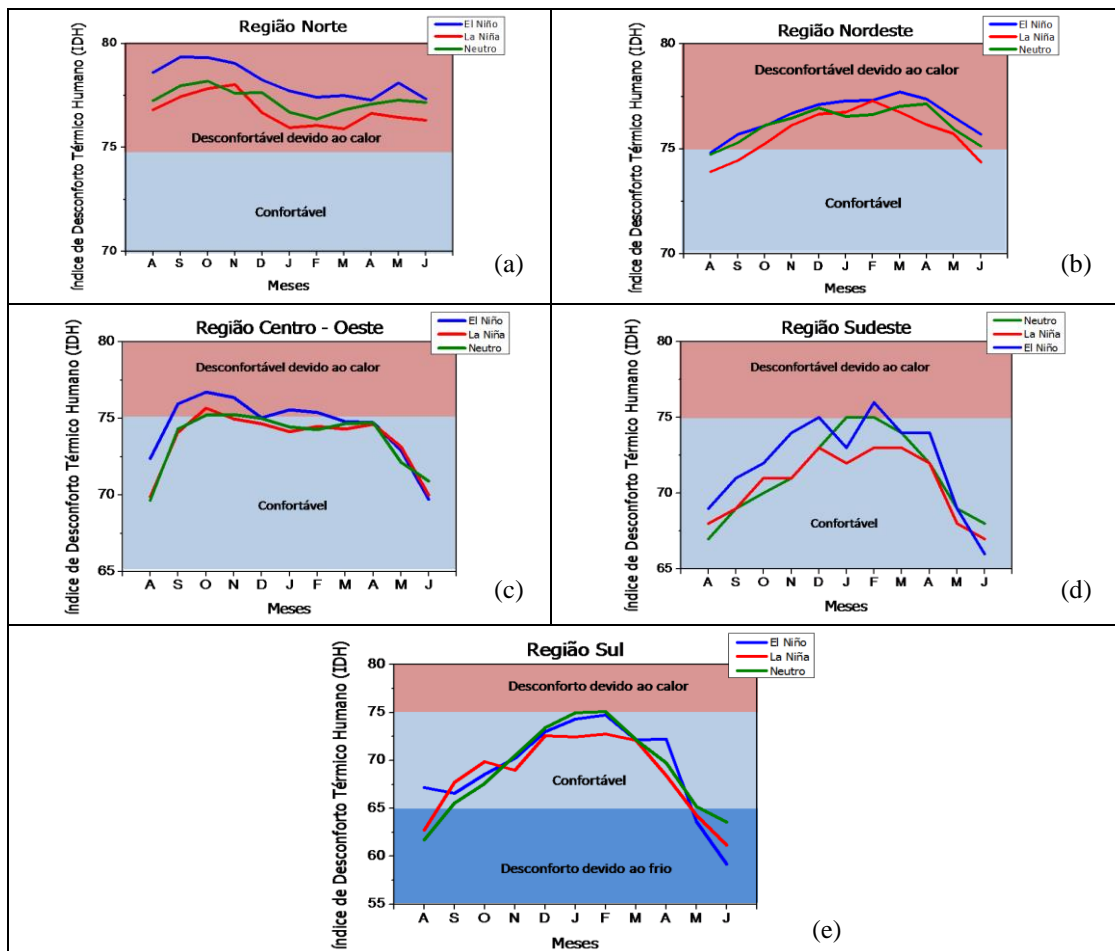


Figura 1: Índices de desconforto térmico em meses de atuação de El Niño (linha azul), La Niña (linha vermelha) e ano neutro (linha verde). Valores médios das regiões (a) Norte; (b) Nordeste; (c) Centro-Oeste; (d) Sudeste; (e) Sul.

A média do Índice de desconforto térmico humano (IDH) na região Norte compreendeu os valores de 75 a 80, mostrando desconforto devido ao calor ao longo de todo o período, independentemente da ocorrência de ENOS. O IDH foi maior com El Niño atuante, chegando a ultrapassar 80 nos estados do Amazonas e Roraima na primavera e verão, indicando estresse devido ao calor (figura não apresentada).

Na região Nordeste o IDH variou entre 75-80 (desconfortável devido ao calor), sendo os menores valores observados nos meses de inverno no ano de La Niña. No ano de La Niña, os valores de IDH nos meses de inverno foram menores que 75, indicando que o inverno com La Niña atuante é confortável nesta região.

Na região Centro-oeste o IDH para os meses de La Niña atuante e ano neutro foram muito próximos compreendendo entre 65 e 75, o que indica que o período foi confortável. No entanto, o IDH com El Niño atuante (75-80) chegou a indicar desconforto devido ao calor em alguns meses.

A região Sudeste é considerada uma região de transição do ENOS, pois não há um comportamento definido no regime de temperatura e precipitação nestes períodos (Grimm, 1998). No entanto, o IDH médio para a região (Figura 1d) demonstra que durante a maior parte do ENOS atuante e ano neutro a sensação foi de conforto térmico, sendo que para o período de El Niño o conforto foi menor, chegando a obter sensação de desconforto devido ao calor (75-80) no mês de fevereiro.

Na região Sul o IDH médio variou entre 60 e 75, indicando meses confortáveis e de desconforto devido ao frio durante os três eventos. O IDH durante o período de La Niña atuante foi menor comparado ao período de El Niño e ano neutro, como é observado na Figura 1e.

Conclusão

A partir dos resultados foi possível observar que as regiões brasileiras possuem comportamentos diferentes com relação à sensação térmica e ao desconforto térmico. Possivelmente essas diferenças são devido à localização geográfica (principalmente a latitude), a continentalidade, maritimidade, altitude e as ilhas de calor urbano. Os fenômenos climáticos El Niño e La Niña podem intensificar ou diminuir a sensação térmica e o desconforto das pessoas. Neste estudo, na maioria das regiões brasileiras em meses com El Niño atuante a sensação térmica aumentou e o índice de desconforto térmico indicou desconforto devido ao calor, o contrário foi observado nos meses de ocorrência de La Niña, nos quais as sensações térmicas e o IDH indicaram um período confortável. O comportamento da sensação térmica foi semelhante ao índice de desconforto térmico, o que é possível perceber que para maiores sensações térmicas o desconforto devido ao calor também tende a aumentar.

Referências

- Fanger O (1970) Thermal Comfort - Analysis and Application in Environmental Engineering. Copenhagen, pp. 244.
- Grimm AM, Ferraz SET (1998) Sudeste do Brasil: Uma região de transição no impacto de eventos extremos da Oscilação Sul Parte I: El niño. Congresso Brasileiro de Meteorologia.
- Lamberts R, Xavier AA et al (2011) Conforto térmico e stress térmico. Laboratório de Eficiência Energética e Edificações, UFSC.
- NOAA (2017) Cold and Warm Episodes by Season. Disponível em: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>. Acessado em: 03/04/2017.
- Ono HSP, Kawamura T (1991) Sensible Climates in Monsoon Asia. International Journal of Biometeorology, Vol. 35, nº XX, pp. 39-47.
- Sansigolo AC, Diniz GB et al (2000) Influência do eventos El niño e La niña no regime de precipitação de Pelotas, RS. Revista Brasileira de Meteorologia, v.15, n.1, 69-75.