

O FENÔMENO EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL

(Versão corrigida pelo autor e publicada on-line em outubro de 2020.)

MARCUS VINÍCIUS MENDES*
Capitão-Tenente

SUMÁRIO

Introdução
Teleconexão em eventos El Niño Oscilação Sul
O Índice Oscilação Sul
Efeitos globais do fenômeno El Niño Oscilação Sul
Conclusão

INTRODUÇÃO

O fenômeno El Niño Oscilação Sul (Enos) é definido pelo aquecimento ou resfriamento das águas do Oceano Pacífico em sua porção equatorial, sendo dividido nas fases positiva (El Niño), negativa (La Niña) e neutra (anos sem a ocorrência de El Niño ou La Niña). As

fases positiva e negativa referem-se às anomalias na Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Pacífico Equatorial. Durante o El Niño, ocorrem anomalias positivas de TSM, sendo essas anomalias negativas na ocorrência da La Niña.

A medida de intensidade dos eventos Enos é calculada por meio de índices atmosféricos e oceânicos, como o Índice

* Hidrógrafo. Serve no Centro de Coordenação de Estudos da Marinha em São Paulo. Mestrando em Meteorologia no Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo. Comandou o Navio Balizador *Tenente Boanerges*.

de Oscilação Sul (IOS), os índices Niño (Niño 1+2, Niño 3.4, Niño 3, Niño 4), o Índice Niño Oceânico e o Índice Enos Multivariado. O IOS é calculado pela diferença de pressão atmosférica ao nível do mar entre duas estações distintas: Taiti e Darwin. Os índices Niño (Niño 1+2, Niño 3.4, Niño 3, Niño 4) são regiões retangulares do Oceano Pacífico onde ocorrem anomalias de TSM. O Índice Niño Oceânico é calculado na região do Niño 3.4, com uma média trimestral de anomalias. E o índice Enos multivariado é obtido pela função ortogonal empírica das variáveis de vento zonal e meridional, pressão ao nível médio do mar, TSM e radiação de onda longa.

O sinal mais proeminente na variabilidade climática interanual é a oscilação sul, que está associada a flutuações na pressão atmosférica ao nível do mar nos trópicos, chuvas de monção e circulação no inverno sobre a América do Norte e outras partes da região extratropical. Embora os meteorologistas tenham conhecimento da oscilação sul desde a década de 30, sua relação com o fenômeno oceânico El Niño não foi reconhecida até o final dos anos 60, e uma compreensão teórica destas relações só começou a surgir por volta dos anos 80 (RASMUSSEN; WALLACE, 1983).

A fase negativa da oscilação sul ocorre durante os episódios de El Niño e refere-se à situação em que a pressão atmosférica está abaixo da média no Taiti e acima da média em Darwin. Em contrapartida, a fase positiva da oscilação sul ocorre durante os episódios de La Niña e refere-se à situação quando a pressão atmosférica está acima da média no Taiti e abaixo da média em Darwin.

Gray *et al.* (1992) sugeriram que o ciclo Enos possa ser significativamente influenciado por tendências sutis na ativi-

dade convectiva tropical, que ocorrem em associação com a Oscilação Quase-Bianual (QBO) do vento zonal e anomalias de temperatura na estratosfera equatorial (GRAY; SHEAFFER; KNAFF, 1992).

A visão predominante do sinal climático atmosférico global associado ao El Niño Oscilação Sul é de uma resposta linear, porém, devido às assimetrias zonais das TSM climatológicas, mesmo pequenos desvios da temperatura do mar em relação ao seu valor climatológico podem provocar grandes desvios de precipitação na periferia da região de piscinas quentes do Pacífico Oeste; assim sendo, a componente não linear deve ser considerada (HOERLING; KUMAR; ZHONG, 1997).

Yeh *et al.* (2009) sugeriram que a recente mudança de frequência do tipo de evento El Niño pode ser devida a causas antropogênicas. No entanto, as mudanças de frequência do tipo Enos observadas desde a década de 1990 fazem parte de um ciclo natural (MCPHADEN; LEE; MCCLURG, 2011; NEWMAN; SHIN; ALEXANDER, 2011; YEH *et al.*, 2009). Com relação às mudanças em outras características da variabilidade do Enos, existe uma grande dificuldade em separar o sinal antropogênico da variabilidade natural do sistema climático, já que o registro instrumental cobre um período inferior a 150 anos, que é muito breve para caracterizar com segurança o longo espaço de tempo, a magnitude e a duração do Enos, bem como esse período de 150 anos não foi suficiente para abordar adequadamente a questão de quais mecanismos podem estar impulsionando essas mudanças (TIMMERMANN; MCGREGOR; JIN, 2010). Estudos de modelagem sugerem que são necessários 500 anos para analisar toda a variação natural do Enos (WITTENBERG, 2009).

TELECONEXÃO EM EVENTOS EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL

O termo teleconexão refere-se a uma resposta atmosférica numa região remota, influenciada por uma forçante local.

O fenômeno Enos causa efeitos na variabilidade climática global, impactando na circulação geral atmosférica, produzindo alterações nas regiões tropicais e extratropicais. Diversos estudos no século XX empenharam-se em explicar as respostas remotas (teleconexão) oceânico-atmosféricas associadas às flutuações de TSM e à pressão ao nível do mar na região do Pacífico Equatorial, bem como a variabilidade espacial e temporal da precipitação através do globo, associadas ao Enos (DIAZ; HOERLING; EISCHEID, 2001).

O critério da pressão a nível do mar utilizado para correlacionar o Enos com a oscilação sul pode ser citado como o mais eficaz, atualmente, para definir a teleconexão dos eventos Enos. Estudos sobre a oscilação sul descrevem que suas diferenças de pressão estão associadas a anomalias climáticas marcantes em ambos os trópicos e subtropicais.

Kiladis e Van Loon descreveram que, durante a fase quente do Enos, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS) alteram suas direções rumo à região equatorial, aumentando, assim, as evidências das teleconexões do Enos (KILADIS; VAN LOON, 1988).

Duas características marcantes estão presentes na resposta de circulação da atmosfera ao Enos: uma elevação da superfície de 500 hPa em todas as longitudes em latitudes tropicais e subtropicais durante eventos quentes indicativos de um aquecimento troposférico e um trem de ondas regional que abrange o setor Pacífico-Americano. Este último consiste

na alternância de anomalias de baixa e alta pressão que seguem uma grande rota circular e exibem alguma simetria em relação ao equador. Durante os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, a teleconexão é mais forte no hemisfério norte e, durante os eventos quentes, é caracterizada por alta e baixa pressão aleutiana deslocada para o sudeste, sobre o Canadá, e por baixa pressão sobre o Golfo do México. Cerca de 25% da variação sazonal da altura de 500 hPa é explicada pelo Enos dentro desses centros de ação (DIAZ *et al.*, 2000).

Hoerling e Kumar (2000) mostraram as teleconexões relacionadas ao Enos por meio de duas perspectivas principais: resposta tropical devido a chuvas produzidas por nuvens *cumulonimbus* e a comunicação horizontal da presença do El Niño. A primeira perspectiva relaciona-se com o fato de essas nuvens serem os principais agentes de troca de calor da superfície terrestre, conectando, assim, a presença do El Niño com a atmosfera. A segunda perspectiva ocorre devido à sensibilidade atmosférica a alterações nas chuvas tropicais. Observações revelam que um trem de ondas alternando baixas e altas pressões segue uma rota na alta troposfera, emanando energia da região do Pacífico Equatorial (DIAZ *et al.*, 2000).

Padrões consistentes de teleconexão Enos/precipitação foram documentados por Stoeckenis (1981), Ropelewski e Halpert (1986, 1989 e 1989), Lau e Sheu (1988) e Kiladis e Diaz (1989). Eles utilizaram as técnicas de correlação, Funções Ortogonais Empíricas (FOE) da precipitação global, e estabeleceram relações importantes em uma escala global e local (DIAZ *et al.*, 2000).

O ÍNDICE OSCILAÇÃO SUL

O Índice Oscilação Sul (IOS) é um índice obtido por meio das diferenças



A interação oceano-atmosfera é um fator para compreendermos o funcionamento das fases do Enos e suas consequências globais

observadas na pressão do nível do mar entre Taiti e Darwin, na Austrália. Walker e Bliss (1932, 1937) documentaram as características e a extensão desta oscilação de pressão e as nomearam como oscilação sul, observando que, quando a pressão é alta sobre o Pacífico, ela tende a ser baixa na região do Oceano Índico Oriental/Indonésia (KOUSKY; KAGANO; CALVALCANTI, 1984).

Existem dois centros de ação que afetam o índice de oscilação e que são utilizados como estações-base para o cálculo do índice de oscilação sul: a região de baixa pressão do Oceano Índico Leste próximo da Indonésia e a alta pressão no Pacífico Sul em sua região centro-leste. A diferença de pressão entre os dois centros principais de ação define as fases da oscilação sul.

A fase positiva da oscilação sul, em que o sistema de alta pressão e o de baixa pressão estão mais fortes que o normal, relaciona-se com uma atividade convectiva e com o fortalecimento da precipitação sobre a região da Indonésia, devido ao fato de os ventos alísios de sudeste estarem mais fortes que o normal.

A fase negativa da oscilação sul, em que o sistema de alta pressão e o de baixa pressão estão menos intensos que o normal, resulta numa baixa atividade convectiva na Indonésia e no norte da Austrália, devido ao enfraquecimento dos ventos alísios de sudeste.

O posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e da Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS) altera-se de acordo com a fase da oscilação sul: quando esta encontra-se na fase positiva (negativa), a ZCIT desloca-se mais ao norte (sul) de sua posição normal no Pacífico Oriental; no caso da ZCPS, a sua posição desloca-se para oeste (leste) de sua posição média durante a fase positiva (negativa) da oscilação sul.

Walker (1928b) considerou que a precipitação anômala no Nordeste brasileiro estava relacionada com a oscilação sul. Caviedes (1973) mostrou que o período de seca no Nordeste estava associado a eventos de El Niño (CAVIEDES, 1973; WALKER, 1928). Kousky *et al.* (1984) destacaram uma forte tendência de o El Niño ocorrer simultaneamente ou no

mesmo ano de seca no Nordeste brasileiro, sendo que o índice de oscilação sul mostra um relacionamento similar para as anomalias de precipitação brasileiras.

Kiladis e Van Loon (1988) usaram o IOS combinado com um índice de anomalias de TSM para o Pacífico Tropical Oriental (dentro de 4° de latitude do equador e de 160° W para a costa sul-americana) para definir um evento de El Niño e exigiram que a anomalia de TSM fosse positiva por pelo menos três estações e estivesse pelo menos 0,5° C acima da média, enquanto o IOS tinha que permanecer negativo e abaixo de -1,0 para a mesma duração. Eles forneceram uma lista de eventos quentes e frios de 1877 a 1982.

EFEITOS GLOBAIS DO FENÔMENO EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL

A componente oceânica do fenômeno (aquecimento das águas do Pacífico Equatorial), aliada à componente atmosférica (variações de pressão entre estações nos oceanos Pacífico e Índico), gera efeitos que podem ser observados em diversas regiões do planeta.

Quando a fase quente do Enos está ativa durante os meses de dezembro a fevereiro, anomalias positivas de precipitação ocorrem no centro-leste da África, no Uruguai, na Região Sul do Brasil, no sul do Paraguai e no nordeste da Argentina; anomalias negativas de precipitação são verificadas em grandes áreas do Pacífico Equatorial Central e em parte do Ocidental, em ambos os hemisférios, no norte da Austrália, na Indonésia, no norte da Região Nordeste do Brasil e no norte e no leste da Amazônia. Nos meses de junho a agosto, anomalias positivas de precipitação podem ser observadas no

Pacífico Equatorial Central, no noroeste dos Estados Unidos, na região central do Chile, no sul do Brasil e no Uruguai; anomalias negativas de precipitação são registradas na Índia, na Indonésia, no norte e centro-leste da Austrália, no norte da América do Sul e no leste da América Central.

Anomalias de temperatura também são registradas durante a fase quente do Enos nos meses de junho a agosto, e anomalias positivas de temperatura podem ser observadas nos extremos norte e oeste da América do Sul e nas regiões Sudeste e Sul e em partes das regiões Centro-Oeste e Nordeste do Brasil. Entre dezembro e fevereiro, anomalias positivas de temperatura são identificadas no Pacífico Equatorial, sudeste da Austrália, centro-leste da Ásia, noroeste e nordeste da América do Norte e na Região Sudeste do Brasil; por outro lado, anomalias negativas de temperatura podem ser verificadas na região sul dos Estados Unidos.

Quando a fase fria do Enos está de dezembro a fevereiro, anomalias positivas de precipitação ocorrem no Pacífico Tropical Oeste (região da Indonésia e do norte da Austrália), em parte do Pacífico Tropical Central, no norte e leste da Amazônia, no norte da região nordeste e sudeste da África; anomalias negativas de precipitação são verificadas no Pacífico Central e Oriental e no sul dos Estados Unidos. Nos meses de junho a agosto, há anomalias positivas de precipitação na Índia, na Indonésia, no sul da Austrália, na América Central e no norte da América do Sul; anomalias negativas de precipitação podem ser observadas no centro-oeste e em partes do norte/noroeste da África, no Pacífico Equatorial Central, sul do Brasil, nordeste da Argentina e sul do Paraguai.

Anomalias de temperatura também são observadas durante a fase fria do Enos, de

junho a agosto, sendo as anomalias positivas no norte e nordeste da Austrália e em latitudes subtropicais do Pacífico Central. Quando ocorrem de dezembro a fevereiro, anomalias positivas de temperatura são identificadas no sul dos Estados Unidos; por outro lado, anomalias negativas de temperatura podem ser verificadas no centro-oeste e sudeste da África, centro-leste da Ásia, noroeste da América do Norte, sudeste do Brasil e Pacífico Equatorial Central e Oriental.

As fases do Enos atuam de forma distinta nas regiões brasileiras. Durante o El Niño, na Região Norte há a ocorrência de anomalias negativas de precipitação, aumentando a incidência de incêndios florestais; na Região Nordeste, também ocorrem anomalias negativas de precipitação; na Região Sudeste, registraram-se anomalias positivas de temperatura; na Região Centro-Oeste, não houve um padrão característico a ser destacado, somente anomalias de temperatura e precipitação em diferentes regiões; e na Região Sul foram documentadas anomalias positivas de precipitação e aumento da temperatura média.

Durante a La Niña, na Região Norte ocorre o aumento da vazão de alguns rios, além de uma tendência de precipitação elevada no norte e leste da Amazônia; na Região Nordeste, ocorre precipitação acima da média na região semiárida, porém é necessário levar em consideração as condições da TSM no Atlântico Tropical Sul; na Região Centro-Oeste, não houve

um padrão característico a ser destacado; na Região Sudeste, foram observadas anomalias negativas de temperatura; e na Região Sul houve anomalias negativas de precipitação.

CONCLUSÃO

O fenômeno Enos é responsável por uma redistribuição global em larga escala de calor no sistema oceano-atmosfera. Seus valores anômalos causam desvios nas médias de temperatura e precipitação da climatologia mensal, sazonal e anual em diversas partes do mundo.

As características desse fenômeno influenciam a fauna e a flora e, consequentemente, a população humana. As variações nos padrões de temperatura e precipitação provocam consequências em atividades humanas como agricultura, pesca e geração de energia elétrica, entre outras. Cabe ressaltar a importância do estudo conjunto entre diversas áreas de conhecimento com o intuito de relacionar os efeitos

As anomalias climáticas do Enos provocam alterações como inundações ou secas prolongadas, influenciando de forma negativa a economia e a saúde da população das áreas afetadas

do El Niño e da La Niña nessas áreas, minimizando suas consequências.

A interação oceano-atmosfera é um fator fundamental para compreendermos o funcionamento das fases do Enos e suas consequências globais, contudo o mecanismo que desencadeia o fenômeno ainda não é conhecido.

O Enos é um modo global de variabilidade de tempo e clima, e seus efeitos vêm acompanhados de eventos extremos de secas e inundações em diversas par-

tes do globo. As mudanças climáticas associadas ao Enos são provocadas por alterações nas forçantes locais e afetam a dinâmica e a termodinâmica da atmosfera terrestre.

As anomalias climáticas do Enos provocam alterações como inundações ou secas prolongadas, influenciando de forma negativa a economia e a saúde da população das áreas afetadas. Os meteorologistas não conseguem modificar a ocorrência desses eventos anômalos, entretanto podem minimizar seus efeitos

com as crescentes melhorias na qualidade das previsões meteorológicas.

Outros fenômenos devem ser analisados em conjunto com o Enos, como, por exemplo, a Oscilação de Madden Julian, com o propósito de aprimorar a previsão a longo prazo. Estudos mostram que as anomalias de precipitação e temperatura durante eventos Enos podem ser fortalecidas ou enfraquecidas quando ocorrem simultaneamente com a Oscilação de Madden Julian, sobretudo durante o verão austral (SHIMIZU; AMBRIZZI, 2016).

📁 CLASSIFICAÇÃO PARA ÍNDICE REMISSIVO:
<ATIVIDADES MARINHEIRAS>; Meteorologia; Previsão;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAVIEDES, C. *A climatic profile of the north Chilean desert at latitude 20 south* [s.l.]. *Coastal deserts, their natural and human environments*: Tucson, University of Arizona Press, 1973.
- DIAZ, H. F. *et al.* *El Niño and the Southern Oscillation: Multiscale Variability and Global and Regional Impacts* [s.l.]. Cambridge University Press, 2000.
- DIAZ, H. F.; HOERLING, M. P.; EISCHEID, J. K. “ENSO Variability, Teleconnections and Climate Change climate variability; El Nino-Southern Oscillation (Enso); teleconnections”. *International journal of climatology : a journal of the Royal Meteorological Society*, v. 21, n. Part 15, p. 1.845-1.862, 2001.
- GRAY, W. M.; SHEAFFER, J. D.; KNAFF, J. A. “Influence of the stratospheric QBO on Enso variability”. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. Ser. II, v. 70, n. 5, p. 975-995, 1992.
- HOERLING, M. P.; KUMAR, A.; ZHONG, M. “El Niño, La Niña, and the nonlinearity of their teleconnections”. *Journal of Climate*, v. 10, n. 8, p. 1.769-1.786, 1997.
- KILADIS, G. N.; VAN LOON, H. “The Southern Oscillation. Part VII: Meteorological Anomalies over the Indian and Pacific Sectors Associated with the Extremes of the Oscillation”. *Monthly Weather Review*, 1988. Disponível em: <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0493%281988%29116%3C0120%3ATSOPVM%3E2.0.CO%3B2>.
- KOUSKY, V. E.; KAGANO, M. T.; CAVALCANTI, I. F. A. “A review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies”. *Tellus A*, v. 36 A, n. 5, p. 490-504, 1984.

- MCPHADEN, M. J.; LEE, T.; MCCLURG, D. "El Niño and its relationship to changing background conditions in the tropical Pacific Ocean". *Geophysical Research Letters*, 2011.
- NEWMAN, M.; SHIN, S. I.; ALEXANDER, M. A. "Natural variation in Enso flavors". *Geophysical Research Letters*, 2011.
- RASMUSSEN, E. M.; WALLACE, J. M. "Meteorological aspects of the El Niño/Southern Oscillation". *Science*, 1983.
- SHIMIZU, M. H.; AMBRIZZI, T. "MJO influence on ENSO effects in precipitation and temperature over South America". *Theoretical and applied climatology*, v. 124, n. 1-2, p. 291-301, 2016.
- TIMMERMANN, A.; MCGREGOR, S.; JIN, F. F. "Wind effects on past and future regional sea level trends in the southern Indo-Pacific". *Journal of Climate*, v. 23, n. 16, p. 4.429-4.437, 2010.
- TRENBERTH, K. E. *et al.* "Progress during Toga in understanding and modeling global teleconnections associated with tropical sea surface temperatures". *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 1998.
- WALKER, G. World weather. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 54, n. 226, p. 79-87, 1928.
- WITTENBERG, A. T. "Are historical records sufficient to constrain Enso simulations?". *Geophysical Research Letters*, 2009.
- YEH, S. W. *et al.* El Niño in a changing climate. *Nature*, v. 461, n. 7263, p. 511–514, 2009.