

CLIMATOLOGIA DA ZONA DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL SOBRE O OCEANO ATLÂNTICO ATRAVÉS DE UM ALGORITMO BASEADO EM PRECIPITAÇÃO

Natan Chrysostomo de Oliveira Nogueira¹ (IC), Michelle Simões Reboita¹ (PQ)

¹Universidade Federal de Itajubá.

Palavras-chave: Intensidade. Largura. Posição Latitudinal.

Introdução

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é um sistema atmosférico de grande escala que se origina associada ao ramo ascendente da célula de Hadley (Asnani, 1993) e pode ser caracterizada através de diferentes campos atmosféricos como: convergência dos ventos alísios, região de mínimos na pressão atmosférica e na radiação de onda longa (ROL), com nuvens profundas e eventos de chuvas frequentes (Xie; Philander, 1994). A posição média anual da ZCIT no globo é ligeiramente ao norte do equador, porém, ao longo das estações do ano, a ZCIT exibe variabilidade espacial, migrando em direção ao hemisfério em que predomina o solstício de verão (Asnani, 1993; Xie; Philander, 1994).

Sobre o oceano Atlântico, poucos estudos abordam as características climatológicas da ZCIT. Ao longo da longitude de 27,5°W nessa bacia oceânica, a ZCIT exibe uma largura máxima (6°) entre outubro e novembro e uma largura mínima (3°) entre janeiro e março (Carvalho; Oyama, 2013) e dados observacionais de ROL mostraram que a banda é mais intensa na região central do oceano Atlântico do que perto da costa da América do Sul de julho a dezembro (Kousky, 1988).

A ZCIT no Atlântico também pode mostrar episódios de bandas duplas (Teodoro et al., 2019), ou seja, há uma banda secundária da ZCIT que se posiciona a sul da banda principal de nuvens e, segundo Teodoro et al. (2019), nos anos de 2010 a 2017 entre dezembro e abril, esses episódios são mais frequentes durante os meses de março e abril.

Embora existam estudos sobre a ZCIT, sua maioria possui uma perspectiva global, o que difere do presente estudo que se concentra em uma escala regional: o oceano Atlântico. Além disso, algumas metodologias para identificar a ZCIT não são muito simples de serem implementadas e/ou utilizam diferentes variáveis. Como a ZCIT sobre o oceano Atlântico afeta o clima e o tempo do Brasil, principalmente a costa do Norte e Nordeste, é importante entender suas principais características. Portanto, o principal objetivo deste estudo é apresentar a climatologia das principais características básicas da

ZCIT (posição, largura e intensidade), bem como da sua banda dupla, no período de 1997 a 2022 através da aplicação do algoritmo baseado em precipitação.

Metodologia

Dados

Os dados de precipitação diária de 1997 a 2022 utilizados neste estudo foram obtidos do *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP, Adler et al., 2017) do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Esses dados têm uma resolução horizontal de 1° × 1° e podem ser acessados em:

<https://www.ncei.noaa.gov/products/climate-data-records/precipitation-gpcp-daily>.

Os componentes horizontais do vento a 10 metros acima do nível do solo (zonal, u, e meridional, v) às 0000 Z foram obtidos da reanálise ERA5 (Hersbach et al., 2020). A ERA5 possui uma resolução horizontal de 0,25° × 0,25°, e os dados podem ser acessados através do *Climate Data Store* (CDS): <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview>.

Metodologia

O algoritmo desenvolvido e descrito em Nogueira et al. (2024) é uma adaptação da metodologia de Carvalho e Oyama (2013), os quais identificaram a ZCIT em uma única faixa longitudinal sobre o oceano Atlântico Tropical central. O algoritmo é escrito em Python, utilizando apenas dados diários de precipitação convertidos em pântadas e está disponível gratuitamente na plataforma GitHub: https://github.com/CATUnifei/ITCZ_code.

Resultados e discussão

Validação do Algoritmo

Antes de aplicar o algoritmo em qualquer estudo, é necessário avaliar seu desempenho. A validação foi realizada comparando os resultados do algoritmo com o mapa espacial de precipitação, vetores de vento a 10

metros de altura e imagens de satélite. Um exemplo é fornecido para a pênstada de 27 a 31 de outubro de 2022 (escolhida aleatoriamente; Figuras 1 e 2). Como as imagens de satélite não são fornecidas em pênstadas, mas em vários horários ao longo do dia, cinco imagens do satélite GOES-16 no canal visível foram selecionadas, uma para cada dia da pênstada, às 1200 UTC (Figura 2).

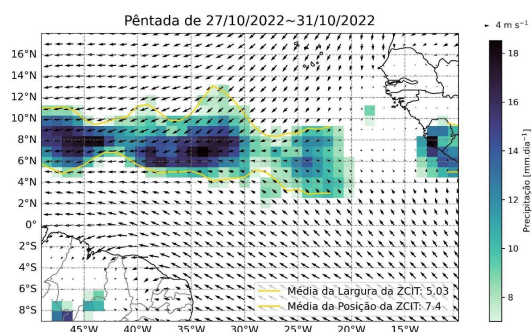


Figura 1 – Precipitação média do GPCP superior a 7 mm/dia (colorido), intensidade e direção do vento a 10 m (m/s, setas pretas) e a posição da ZCIT para a pênstada de 27 a 31 de outubro de 2022.

Na Figura 1, a banda com precipitação superior a 7 mm/dia está posicionada entre 5° a 10°N e 50° a 20°W, coincidindo com a região onde os ventos alísios convergem (setas maiores apontando para o sul e encontrando setas menores) e com a região de máxima nebulosidade mostrada nas imagens de satélite (Figura 2). O resultado do algoritmo é representado pelas duas linhas amarelas delimitando o limite inicial (Li) e limite final (Lf) da ZCIT (Figura 1). O algoritmo captura bem a localização da chuva e não mostra informações entre as longitudes 20° a 13°W, onde não há precipitação e os ventos também são fracos (Figura 1). Com Li e Lf, a largura da ZCIT pode ser estimada em aproximadamente 5° (~ 500 km), consistente com as imagens de satélite e também com outros estudos (Khrgian, 1977; Carvalho; Oyama, 2013).

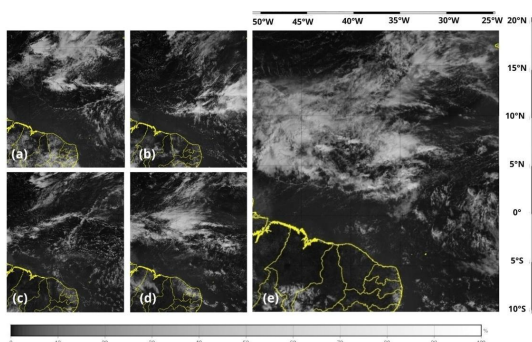


Figura 2 – Imagem de satélite GOES-16 do canal visível 02

(0,64 microns) para os dias (a) 27, (b) 28, (c) 29, (d) 30 e (e) 31 de outubro de 2022 às 1200 UTC. Fonte: <https://satellite.cptec.inpe.br> adaptado pelos autores.

Climatologia Sazonal

No outono (MAM), a ZCIT atinge sua posição mais a sul na maior parte do oceano Atlântico Tropical, com uma posição média de 1,4°N (Figura 3b) e, no setor ocidental do domínio, está localizada entre 2°N (limite inicial - Li) e 4°S (Limite final - Lf), afetando diretamente as regiões Norte e Nordeste do Brasil. A banda secundária também ocupa sua posição mais a sul em MAM no setor ocidental do domínio (Li = 2°S, Lf = 5°S e média = 3,5°S) (Figura 3b). A largura média da ZCIT e da banda secundária é de 4,14° e 2,44° (Figuras 4a e 4b), respectivamente, sendo a ZCIT mais larga do que nas outras estações a oeste de 40°W. A intensidade da ZCIT e da banda secundária é de aproximadamente 11,1 mm/dia e 10,0 mm/dia (precipitação média entre Li e Lf, Figuras 4c e 4d). Especialmente, em MAM, a precipitação apresenta volumes mais altos a oeste de 30°W, perto das regiões Norte e Nordeste do Brasil, o que está de acordo com Kousky (1988).

Nos meses de inverno (JJA), a ZCIT migra para norte, posicionando-se em uma média de cerca de 7,4° (Figura 3c). A banda secundária também migra para norte (posição média de 1,4°N), mas não exibe um padrão zonal como a ZCIT (Figura 3c). A largura média da ZCIT e da banda secundária é de aproximadamente 4,4° e 2,6° (Figuras 4a e 4b), respectivamente, enquanto que a precipitação média é de 11,6 e 10,7 mm/dia (Figuras 4c e 4d).

Na primavera (SON), sua posição média, considerando todo o Atlântico, é de 8°N (Figura 3d). A banda secundária também se posiciona mais a norte (5,5°N). No entanto, no setor ocidental do Atlântico, a banda secundária apresenta uma inclinação para sudoeste, afetando partes das regiões Norte e Nordeste do Brasil (Figura 3d). A largura média da ZCIT e da banda secundária é de aproximadamente 4,6° e 3,2° (Figuras 4a e 4b), respectivamente. A intensidade da ZCIT e da banda secundária são 11,0 e 10,3 mm/dia, respectivamente (Figuras 4c e 4d).

Na estação do verão (DJF), a ZCIT e a banda secundária começam a migrar para sul, com posições médias de 2,7°N e 1,7°S, respectivamente (Figura 3a). Durante esta estação, a banda secundária não consegue se configurar a leste de 25°W (Figura 3a). A largura média da ZCIT e da banda secundária é de 3,5° e 2,2°, respectivamente (Figuras 4a e 4b), enquanto a intensidade é de 10,6 e 10,1 mm/dia, respectivamente (Figuras 4c e 4d). Além disso, em DJF, na longitude de 27,5°W, a largura da ZCIT de 3° se alinha com o estudo de referência

(Carvalho; Oyama, 2013).

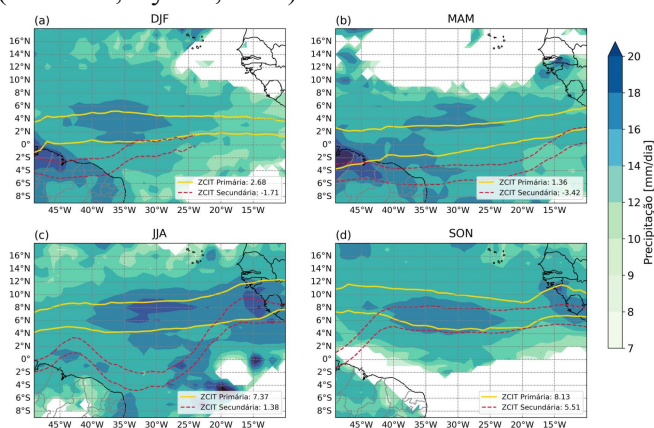


Figura 3 – Climatologia sazonal de 1997 a 2022 referente à posição da ZCIT (linhas contínuas amarelas) e da ZCIT secundária (linhas tracejadas vermelhas) para cada longitude, bem como o padrão espacial da precipitação > 7 mm/dia (colorido).

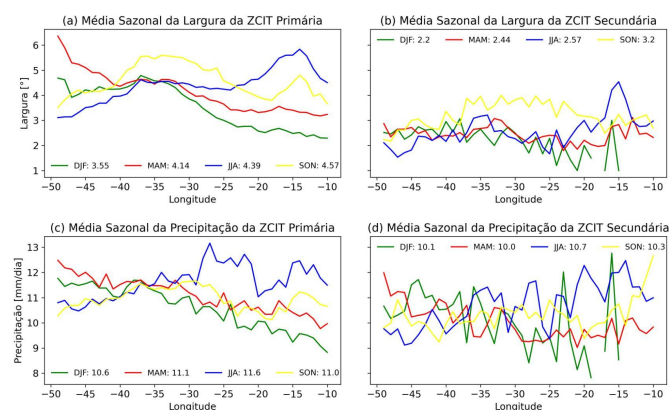


Figura 4 – Climatologia sazonal de 1997 a 2022 da largura (em graus) e precipitação (mm/dia) da (a,c) ZCIT e da (b,d) ZCIT secundária para cada longitude.

A frequência sazonal da ZCIT secundária em várias longitudes é representada na Figura 5. Entre 50°W e 42°W, a banda secundária exibe uma frequência mais alta tanto em DJF quanto em MAM, enquanto a leste, em 15°W, é mais frequente entre JJA e SON. A oeste de 30°W, em média, a banda secundária ocorre com mais frequência em MAM, concordando com Teodoro et al. (2019), os quais se concentraram apenas em DJF e MAM. Considerando toda a bacia do Atlântico, os eventos de ZCIT secundária são ligeiramente mais prevalentes em MAM (2 eventos) em comparação com outras estações.

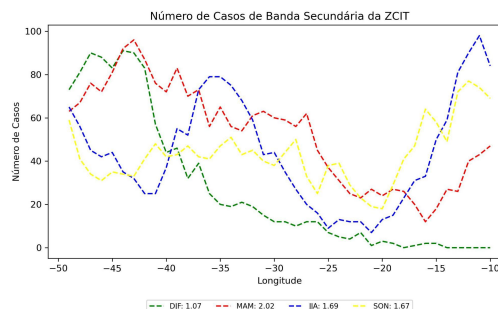


Figura 5 – Frequência sazonal da ZCIT secundária de 1997 a 2022.

Climatologia Mensal

Ambas as bandas da ZCIT alcançam sua posição mais a norte no mês de setembro. A ZCIT mostra uma posição média de 9,6°N, enquanto que a banda secundária, 7,2°N (Figura 6a). Calculando a diferença entre as posições médias das duas bandas, verifica-se que elas estão distantes por 2,4°. Considerando tanto Li quanto Lf, a posição mais a sul da ZCIT ocorre em março, com Li em cerca de 2,1°N, Lf em aproximadamente 1,6°S e uma posição média de aproximadamente 0,24°N. No entanto, analisando apenas Lf, a posição mais a sul ocorre tanto em março quanto em abril. Aplicando os mesmos critérios de Li e Lf, a ZCIT secundária tem sua posição mais a sul em fevereiro, com Li em aproximadamente 3,3°S, Lf em cerca de 5,2°S e uma posição média de 4,3°S (Figura 6a). Mas, considerando apenas Lf, a posição mais a sul ocorre entre fevereiro e abril. Durante esse período do ano, as duas bandas estão distantes por aproximadamente 4,54°, alinhando-se com o valor climatológico de 4° de dezembro a maio obtido por Teodoro et al. (2019). O ciclo anual da posição da ZCIT é consistente com o estudo de Hastenrath (1991) que mostrou a posição da ZCIT nos setores oeste e leste do oceano Atlântico Tropical usando várias variáveis atmosféricas.

A ZCIT tem uma largura maior em agosto e setembro (~4,7°) e uma largura menor em janeiro (~3,4°), enquanto que a banda secundária também exibe uma largura maior em setembro (~3,3°) e uma largura menor em fevereiro (~1,9°) (Figura 6b). Os valores obtidos para a ZCIT são consistentes com a média global para o Hemisfério Sul, que é de aproximadamente 3° (~300 km) (Khrgian, 1977).

A intensidade da ZCIT é maior em junho (~11,8 mm/dia) e menor em março (~10,5 mm/dia), enquanto que a ZCIT secundária exibe sua maior intensidade em agosto (~11 mm/dia) e menor intensidade também em março (~9,7 mm/dia) (Figura 6c). Esses resultados estão alinhados com aqueles obtidos por Carvalho e Oyama

(2013) para o Atlântico tropical central. Xie e Philander (1994) também destacaram que em julho-agosto, a precipitação na ZCIT é consideravelmente mais forte do que em março-abril, e esse fortalecimento pode estar associado à abundância de fortes distúrbios de ondas de leste que propagam para oeste, ajudando a desencadear a convecção sobre o oceano.

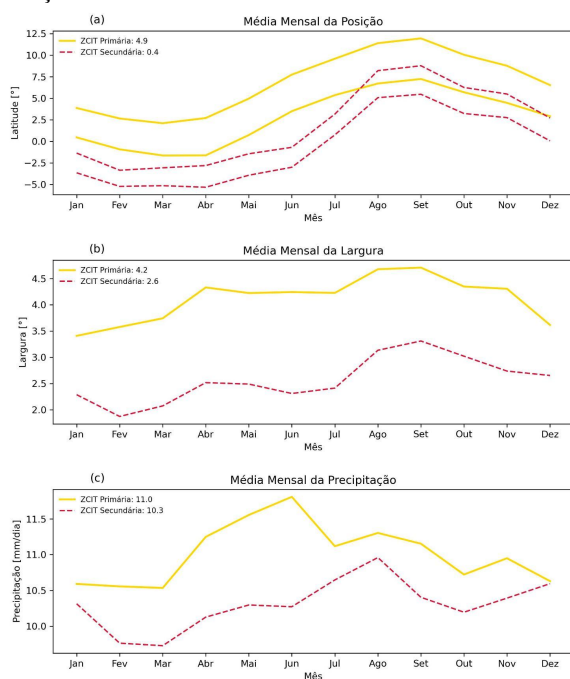


Figura 6 – Ciclo anual da (a) posição (graus de latitude), (b) largura (graus) e (c) intensidade (mm/dia) da ZCIT (linhas contínuas amarelas) e da ZCIT secundária (linhas tracejadas vermelhas) de 1997 a 2022.

Conclusões

Como a ZCIT é um dos sistemas de precipitação em larga escala que influencia significativamente o clima das regiões tropicais costeiras, o principal objetivo deste estudo foi apresentar a climatologia das principais características da ZCIT e da sua banda dupla (posição, largura e intensidade) de 1997 a 2022. O algoritmo baseado em precipitação identifica os limites iniciais (Li) e finais (Lf) das bandas, fornecendo informações para o cálculo da posição média, largura e intensidade de ambas. Em MAM, a ZCIT alcança sua posição mais a sul na maior parte do oceano Atlântico, com uma posição média de 1,4°N. A ZCIT mostra uma largura maior (~4,7°) em agosto e setembro e uma intensidade maior (~11,8 mm/dia) em junho. Sobre a banda dupla, localiza-se a sul da ZCIT com uma distância média que chega a aproximadamente 4,5° (considerando a posição média de ambas as bandas) entre fevereiro e abril. A

oeste de 30°W, a banda secundária ocorre com mais frequência em MAM e tem uma posição média em 1°S, afetando diretamente as regiões do Norte e Nordeste do Brasil. A ZCIT secundária mostra uma largura maior (~3,3°) em setembro e uma intensidade maior (~11 mm/dia) em agosto.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos centros que disponibilizaram os dados usados no estudo e à UNIFEI pelo suporte financeiro.

Referências

- ADLER, R.F. et al. Global precipitation: Means, variations and trends during the satellite era (1979–2014). **Surveys in Geophysics**, v. 38, p. 679-699, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10712-017-9416-4>.
- ASNANI, G.C. **Tropical meteorology**. Indian Institute of Tropical Meteorology: Pune, 1993.
- CARVALHO, M.A.V.; OYAMA, M.D. Atlantic Intertropical Convergence Zone width and intensity variability: observational aspects. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, p. 305-316, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862013000300007>.
- HASTENRATH, S. **Climate dynamics of the tropics**. Springer Science & Business Media, 1991.
- HERSBACH, H. et al. The ERA5 global reanalysis. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 146, n. 730, p. 1999-2049, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/qj.3803>.
- KHRGIAN, A. **Physical meteorology**. In: Danilina, I.P. Meteorology and climatology - Boston, MA: G.K. Cap. 1, p. 1-18, 1977.
- KOUSKY, V.E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 3, n. 1, p. 217-231, 1988.
- NOGUEIRA, N.C.O. et al. Assessment of the Intertropical Convergence Zone over the Atlantic Ocean through an Algorithm Based on Precipitation. **Journal of Atmospheric Science Research**, v. 7, n. 1, p. 59-73, 2024. DOI: <https://doi.org/10.30564/jasr.v7i1.6188>.
- TEODORO, T.A., REBOITA, M.S., ESCOBAR, G.C.J. Characterization of the double band of the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) over the Atlantic Ocean. **Yearbook of the Institute of Geosciences**, v. 42, n. 2, p. 282–298, 2019. DOI: https://doi.org/10.11137/2019_2_282_298.
- XIE, S.; PHILANDER, S.G.H. A coupled ocean-atmosphere model of relevance to the ITCZ in the eastern Pacific. **Tellus A**, v. 46, n. 4, p. 340-350, 1994. DOI: <https://doi.org/10.3402/tellusa.v46i4.15484>.