



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



A influência de teleconexões e sistemas meteorológicos produtores de precipitação no semiárido nordestino

Jander Barbosa Monteiro¹

Doutor em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará - UFC e Mestre em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Ceará - UECE. Possui Graduação em Geografia pela Universidade Federal do Ceará - UFC. Atualmente é Professor Adjunto do Curso de Geografia da Universidade Estadual Vale do Acaraú - UVA e integra o quadro de docentes permanentes do Mestrado Acadêmico em Geografia - MAG da referida universidade. É Bolsista de Produtividade em Pesquisa, Estímulo à Interiorização e Inovação Tecnológica da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico - FUNCAP (Edital BPI 02/2020). Encontra-se vinculado ao Laboratório de Estudos Ambientais e Climáticos - LEAC da Universidade Estadual Vale do Acaraú, bem como ao Grupo de Pesquisa "Estudos Geográficos de Sistemas Ambientais e Climas Intrarregionais". Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Geografia Física, atuando principalmente nos seguintes temas: Desastres Naturais, Eventos Extremos, Risco e Vulnerabilidade.

Artigo recebido em 29/06/2021 e aceito em 21/02/2022

RESUMO

Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral-CE, Brasil; jander_monteiro@uvanet.br

semiárido nordestino é caracterizado pela presença de um alto fotoperíodo, insolação intra-anual intensa e chuvas escassas e irregulares concentradas em poucos meses do ano. Ademais, apresenta um complexo sistema climático que inclui mecanismos físicos diversos que interferem no regime climático da região. As secas recorrentes, em alguns momentos contrastam com volumes pluviométricos vultosos e concentrados e tal ocorrência de extremos climáticos pode ser explicada a partir da análise de padrões de teleconexão, bem como a influência significativa de alguns sistemas meteorológicos produtores de precipitação. Assim, buscou-se analisar essa interferência das principais teleconexões que influenciam na ocorrência (ou não) da precipitação no semiárido nordestino e identificar os sistemas meteorológicos mais importantes que produzem acumulados significativos nessa região. Foram realizadas consultas em bibliografias e sites especializados, análise de imagens de satélite (auxiliares na identificação de sistemas meteorológicos atuantes), além da confecção de conteúdo ilustrativo pertinente para a melhor compreensão de determinados mecanismos. Alguns padrões de teleconexão identificados no Atlântico Intertropical e Pacífico Tropical (em virtude do deslocamento de centros de ação e das anomalias de TSM) parecem exercer importante influência no regime de chuvas do Nordeste brasileiro, contribuindo para a atuação com maior ou menor expressividade de sistemas meteorológicos produtores de precipitação sobre a região semiárida, entre eles a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Contudo, outros sistemas meteorológicos também contribuem para a ocorrência de acumulados expressivos em diferentes porções do semiárido nordestino, em especial quando encontram condições atmosféricas favoráveis e/ou atuam conjuntamente com a ZCIT.

Palavras-chave: Teleconexões, Sistemas Meteorológicos, Semiárido.

The influence of teleconnections and meteorological systems producers of precipitation in the semi-arid northeast

ABSTRACT

The semi-arid northeast is characterized by the presence of a high photoperiod, intense intra-annual insolation and scarce and irregular rains concentrated in a few months of the year. In addition, it presents a complex climatic system that includes various physical mechanisms that interfere in the climatic regime of the region. Recurrent droughts at times contrast with large and concentrated rainfall volumes and such occurrence of climatic extremes can be explained by the analysis of teleconnection patterns, as well as the significant influence of some precipitation-producing meteorological systems. Thus, we sought to analyze this interference of the main teleconnections that influence the occurrence (or not) of precipitation in the semi-arid northeast and identify the most important meteorological systems that produce significant accumulated in this region. Consultations were performed in bibliographies and specialized sites, analysis of satellite images (auxiliaries in the identification of operating meteorological systems), and the preparation of illustrative content relevant to the better understanding of certain mechanisms. Some teleconnection patterns identified in the Intertropical Atlantic and Tropical Pacific (due to the displacement of action centers and TSM anomalies) seem to exert an important influence on the rainfall regime of northeastern Brazil, contributing to the performance with greater or lesser expressiveness of meteorological systems producing precipitation over the semiarid region, including the Intertropical Convergence Zone (ITCZ). However, other meteorological systems also contribute to the occurrence of expressive

accumulated in different parts of the northeastern semi-arid region, especially when they encounter favorable atmospheric conditions and/or work together with the ITCZ.

Keywords: Teleconnections, Meteorological Systems, Semi-arid.

Introdução

O semiárido nordestino apresenta peculiaridades quanto ao regime climático que já são amplamente mencionadas, difundidas e conhecidas, incluindo desde as chuvas escassas e irregulares ao longo do ano (Monteiro et al., 2021; Silva e Farias, 2021), além de um alto fotoperíodo e insolação intra-anual intensa, fatores estes que acabam por contribuir para o déficit hídrico na região (Linhares et al., 2021).

A peculiaridade das chuvas nessa porção semiárida do Nordeste Brasileiro (NEB) é condicionada por diversos fatores associados aos padrões de circulação atmosférica em escala global (Silva et al., 2020) que podem receber influência das Temperaturas de Superfície Marítima (TSMs), interferindo diretamente na qualidade da estação chuvosa (Rodrigues et al., 2021).

As TSMs representam uma das principais variáveis para análise do clima global (Souza Neto et al., 2021), sendo de fundamental importância compreender seu comportamento e variabilidade, no intuito de analisar, inclusive, o clima de determinadas regiões e localidades, uma vez que figuram como fenômenos de grande escala que impactam diretamente no tempo atmosférico (Barbosa et al., 2022). Tais anomalias de TSM são estudadas por muitos pesquisadores por causarem impactos distintos e originaram-se de maneiras diferentes (Silva et al., 2021)

As secas recorrentes por vezes contrastam com episódios pluviométricos vultosos e concentrados no tempo e espaço dessa região caracterizada pelo binômio seca-enchente, o qual permeia o imaginário nordestino (Monteiro e Zanella, 2019).

Tal variabilidade interanual e intra-anual intensa são explicadas a partir de um complexo sistema climático (Carmo e Lima, 2020) que, para ser compreendido, envolve ampla discussão e análises, muitas destas ainda em curso ou que não foram plenamente desvendadas. Acredita-se que tal variabilidade é, em partes, explicada a partir dos diversos sistemas meteorológicos e fenômenos atuantes nesta área (Moura et al., 2019, Santos et al., 2019). Procura-se, então, a partir dessa investigação, responder ao seguinte problema científico: quais as principais teleconexões que influenciam na produção de precipitação e os sistemas meteorológicos atuantes no semiárido nordestino?

Assim, objetivou-se aqui analisar a influência das principais teleconexões que interferem na ocorrência (ou não) de precipitação e os sistemas meteorológicos atuantes mais importantes que produzem acumulados significativos de chuva no semiárido nordestino, de forma objetiva e esclarecedora.

Foram realizadas consultas à bibliografias e sites especializados, tais como o sítio web da *National Oceanic Atmosphere Administration* (NOAA) e o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, seleção e análise de imagens de satélites para identificar a atuação de sistemas meteorológicos, além da confecção de conteúdo ilustrativo para melhor compreensão de alguns fenômenos que forneceram subsídios para o desenvolvimento de análises esclarecedoras sobre a atuação, característica e abrangência espaço-temporal de determinados sistemas meteorológicos e a influência de teleconexões nos diferentes tipos de tempo no semiárido nordestino.

Tal contribuição oferece bases teóricas e analíticas à estudantes, pesquisadores e interessados na temática, uma vez que tais discussões ainda intrigam inúmeros cientistas e a população em geral em tempos onde o cenário de emergência climática global parece apontar para uma maior ocorrência de episódios pluviométricos extremos de precipitação (Hiera et al., 2019; Alvino-Borba et al., 2020), em virtude de alterações significativas nas Temperaturas de Superfície Marítima – TSMs, no padrão de circulação atmosférica, entre outras variantes que acabam por interferir no sistema climático.

Afinal, compreender a dinâmica das precipitações representa uma ação de grande importância na proposição de estratégias de enfrentamento a eventos extremos como secas e inundações (Moraes e Abreu, 2021), fazendo frente aos desastres socionaturais associados.

O semiárido nordestino: breve caracterização climática e abrangência espacial

O clima semiárido ocorre, em grande parte, na região Nordeste do Brasil, embora inclua em seus domínios algumas localidades pertencentes à região Sudeste, na porção setentrional do Estado de Minas Gerais. Em termos de abrangência, passou por nova delimitação no ano de 2017 (Figura 1), ampliando a sua mancha para 1.262 municípios, com a inclusão de 73 novos (Sudene, 2017a) que passaram a integrar o semiárido brasileiro, a partir

de decisão do Conselho Deliberativo da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), em virtude de solicitações de estados e municípios, acolhidas pelo Governo Federal.



Figura 1. Delimitação do semiárido brasileiro. Fonte: Sudene (2017)

Esta readequação foi realizada mediante os seguintes critérios de inclusão: precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm, índice de aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50 e percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60 %, considerando todos os dias do ano (Sudene, 2017b).

Do ponto de vista físico-natural, observa-se na área de ocorrência do clima semiárido uma predominância da superfície sertaneja (ainda que ocorram formas de relevo relativamente mais elevadas pontilhando a paisagem), onde a presença da vegetação de caatinga (adaptada às condições de semiaridez) representa uma característica marcante do semiárido nordestino.

As temperaturas elevadas, geralmente superiores a 25°C e a pluviosidade escassa e irregular ditam a tônica desse clima que recebe influência de diversos fatores, que incluem desde o deslocamento no inverno das áreas de alta pressão para essa região (como dispersora de ventos, dificulta a chegada de umidade), o subafloramento de rochas impermeáveis (interferem no

armazenamento de água no solo para posterior fornecimento de umidade ao sistema), até a disposição de alguns relevos, barrando ventos úmidos do litoral (Torres e Machado, 2011).

Inclusive, Reboita et al. (2016), ao analisarem as causas da semiaridez do sertão nordestino, reiteram, além dos fatores supracitados, o importante papel exercido pelas células de circulação geral da atmosfera (as células de Walker e Hadley) que, em virtude de seus movimentos subsidentes que atuam sobre o sertão, acabam inibindo (ao menos em boa parte do ano) a convecção e reduzindo de forma significativa a formação de nuvens de chuva. Ademais, analisam o papel exercido pelo Planalto da Borborema que, apesar de não ser capaz de produzir a semiaridez no sertão nordestino, a subsidência favorecida por esse planalto no seu lado oeste se acopla com os ramos subsidentes das células de circulação de Walker e Hadley, contribuindo para a ocorrência de condições mais secas, em especial no inverno, quando a subsidência destas células é mais acentuada. Tal dinâmica destas células serão discutidas adiante.

Inclusive, as secas periódicas no semiárido nordestino, além das inundações que também possuem potencial deflagrador de danos materiais e humanos diversos quando ocorrem, acabam figurando, de forma recorrente, como verdadeiros desastres socionaturais na região.

Curiosamente, as secas geralmente desencadeiam maiores prejuízos econômicos, embora apresentem menores registros de perdas de vidas humanas em comparação com as inundações (Alvino-Borba, 2020).

Contudo, não caberia aqui nessa proposta adentrar em uma discussão que envolveria aspectos de cunho político, econômico e até social, visto que representaria um amplo debate que desviaria o foco principal do artigo (analisar a influência das teleconexões e sistemas meteorológicos na produção de precipitação no semiárido nordestino).

Os centros de ação e as massas de ar

Antes de adentrar a discussão acerca das teleconexões e sistemas meteorológicos produtores de chuva no Nordeste brasileiro, cabe compreender o importante papel dos centros de ação e atuação das massas de ar, visto que estes apresentam-se como mecanismos importantes para a posterior compreensão da produção dos diferentes tipos de tempo em uma perspectiva espaço-temporal na localidade em análise.

Os centros de ação podem ser compreendidos como extensas zonas de baixa ou alta pressão que dão origem aos movimentos da atmosfera, ou seja, acabam por interferir nos

fluxos de ventos predominantes e nos diferentes tipos de tempo (Mendonça e Danni-Oliveira, 2007). O deslocamento do ar se faz geralmente dos centros de ação positivos (alta pressão ou anticlonais) para os negativos (baixa pressão, ciclonaís ou depressionários) (Figura 2a). No hemisfério Sul, influenciados pela força de Coriolis, tais movimentos se dão do centro de ação positivo (Alta Pressão ou “A”) em direção ao centro de ação negativo (Baixa Pressão ou “B”), movendo-se para esquerda ao sair do centro anticlinal (Figura 2b).

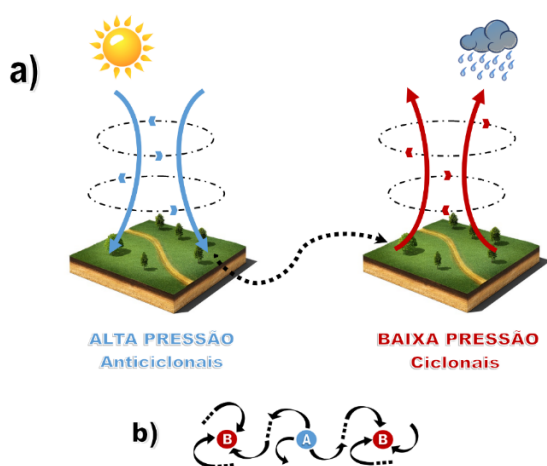


Figura 2. Circulação do ar entre os centros de ação no hemisfério Sul; a) Deslocamento entre os centros de ação b) Movimentos entre os centros de ação no hemisfério Sul. Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Os centros de ação atmosféricos apresentam movimentação sazonal, deslocando-se ao longo do ano, sobretudo devido à variação da radiação nos dois hemisférios. Na América do Sul, a dinâmica e a circulação são controladas pela interação de sete centros de ação, cinco deles positivos e dois negativos (Mendonça e Danni-Oliveira, 2007). São eles: o Anticiclone Subtropical do Atlântico Norte (ASAN) ou Anticiclone dos Açores, o Anticiclone da Amazônia (Doldrum), o Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul (ASAS), o Anticiclone Semifixo do Pacífico (Ilha de Páscoa), o Anticiclone Migratório Polar, a Depressão do Chaco e a Depressão dos 60° de Latitude Sul (Mar de Weddel) (Figura 3).

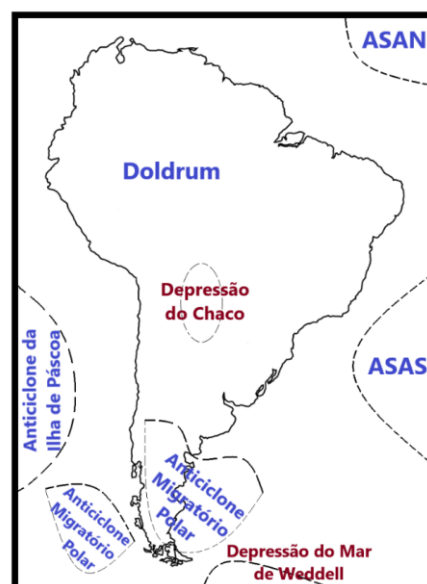


Figura 3. Principais Centros de Ação da América do Sul. Fonte: Elaborado pelo autor (2021); Baseado em Mendonça e Danni-Oliveira (2007)

Em termos de precipitação no Nordeste brasileiro, certamente alguns destes centros de ação apresentam um importante papel, uma vez que interagem com os ventos alísios de nordeste e sudeste, além de influenciar na incursão e/ou intensificação de determinados sistemas meteorológicos que desencadeiam chuvas no semiárido nordestino.

A título de exemplificação, pode-se considerar aqui que o deslocamento sazonal do ASAN e do ASAS interferem na incursão da ZCIT (Hiera et al., 2019) para posições mais ao Norte ou mais ao Sul. A ZCIT figura como o principal sistema meteorológico que ocasiona chuvas na porção setentrional do semiárido nordestino, como será detalhado mais adiante.

Inclusive, Cardoso (2019), constatou que a posição latitudinal do ASAS e do Anticiclone Semifixo do Pacífico (Ilha de Páscoa) influenciam no posicionamento da ZCIT, evidenciando um ciclo bem definido quando alcançam latitudes mais ao sul justamente nos meses de janeiro a março (este último representa o mês com maior deslocamento do ASAS, além de geralmente figurar como o mês mais chuvoso de muitas localidades inseridas na porção setentrional do semiárido nordestino).

É justamente o que Carpenedo e Ambrizzi (2020) também sugerem quando consideram que a ZCIT acompanha o deslocamento do ASAS, resultando em precipitações significativas nessa porção do Nordeste. Inclusive, o ASAS apresenta considerável influência sobre todos os climas da porção central, Sudeste, Sul e o Nordeste do Brasil (Mendonça e Danni-Oliveira, 2007).

O Anticiclone da Amazônia (Doldrum) também pode exercer influência considerável na produção e exportação de massas de ar, que em linhas gerais vai contribuir para a atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), outro sistema meteorológico que será detalhado a seguir e que desencadeia chuvas na porção mais meridional do semiárido nordestino (dependendo de flutuações na sua posição climatológica).

Ao mesmo tempo que atua como uma área de baixa pressão em relação ao Oceano Atlântico e que atrai, portanto, o ar úmido de nordeste dali proveniente (intensificando a umidade da região), o Anticiclone da Amazônia também contribui para a exportação de massas de ar. Mesmo com temperaturas elevadas na bacia amazônica, as modestas cotas altimétricas em relação às formas de relevo circundantes (Planalto das Guianas e Cordilheira dos Andes), associadas à divergência de alísios no interior do continente, contribuem para o transporte de massas de ar para latitudes mais altas, em especial no verão austral (Mendonça e Danni-Oliveira, 2007).

Assim, nota-se aqui a importância destes centros de ação nos deslocamentos de massas de ar, compreendidas como um grande corpo de ar, cujas propriedades físicas (temperatura, gradiente de temperatura e umidade) são mais ou menos uniformes por centenas de quilômetros, sendo que a natureza e o grau de uniformidade das suas características são determinados por fatores como: a natureza da área onde a massa de ar foi originada, a direção do movimento e as mudanças ocorridas com o deslocamento da massa de ar, além da própria idade da massa de ar (Barry e Chorley, 2013).

A temperatura e a umidade são as principais características de uma massa de ar que, ao se deslocar de suas regiões originárias, influencia na mudança de tempo das localidades por onde penetra (levando consigo as suas características originais) e, ao mesmo tempo, é influenciada (em virtude do padrão cambiante de temperatura e umidade observados nas regiões percorridas pela massa de ar).

O encontro de duas massas de ar com distintas características acaba por produzir uma zona de descontinuidade (térmica, anemométrica, barométrica, higrométrica etc.) no interior da atmosfera, o que é denominado (genericamente) de frente. Estas avançam sobre a superfície em forma de arco, cuja origem é um centro de alta pressão e a ponta do arco um centro de baixa pressão (Mendonça e Danni-Oliveira, 2007).

Considerando as Massas de Ar atuantes no Brasil e que podem apresentar maior ou menor interferência nos diferentes tipos de tempo no

semiárido nordestino, destacam-se as seguintes: Massa Equatorial do Atlântico Norte (mEan), Massa Equatorial do Atlântico Sul (mEas), Massa Tropical Atlântica (mTa) Massa Equatorial Continental (mEc) e a Massa Polar Atlântica (mPa) (Figura 4).

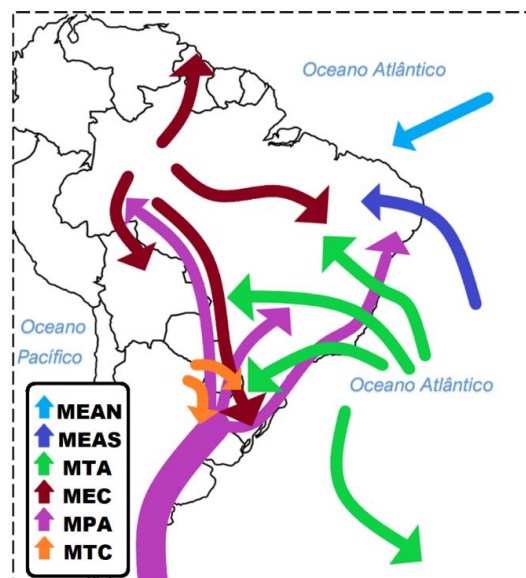


Figura 4. Massas de ar atuantes no território brasileiro e seus principais deslocamentos. Fonte: Elaborado pelo autor (2021), baseado em Monteiro (1968)

A Massa Equatorial do Atlântico Norte e Sul (mEan e mEas) são massas de ar quente e úmidas formadas nos Anticiclones Subtropical do Atlântico Norte (ASAN) e Semifixo do Atlântico Sul (ASAS), respectivamente. Ambas são atraídas para o continente em virtude da diferença de pressão entre as superfícies continental e oceânica, atuando nas porções Norte (mEan) e extremos Nordeste (mEas) da América do Sul (Mendonça e Danni-Oliveira, 2007).

A Massa Tropical Atlântica (mTa) é uma das principais massas de ar que atuam no Brasil. Juntamente com a mEas propicia os ventos de leste e alísios de sudeste. É originada no centro de altas pressões subtropicais do Atlântico, possuindo características de temperatura e umidade elevadas. Sua mais expressiva atuação se dá por meio de correntes de leste e nordeste no verão. Provoca considerável precipitação, em especial na zona litorânea (Mendonça e Danni-Oliveira, 2007; Torres e Machado, 2011).

A Massa Equatorial Continental (mEc), que apresenta altas temperaturas, origina-se de forma singular e curiosa, apresentando elevada umidade em virtude da considerável rede de drenagem coberta por uma densa floresta, além de ter sua atmosfera enriquecida com a umidade proveniente da ZCIT e da Massa Equatorial do

Atlântico Norte (mEan). Essa singularidade propicia um corredor importante de umidade, carregando-a para outras porções do Brasil (inclusive para parte do Nordeste Brasileiro, dependendo de flutuações na sua posição, em virtude das condições de tempo predominantes em determinado período).

A Massa Polar Atlântica (mPa) é fria e úmida por se formar no centro-sul da Patagônia. Ainda que sua atuação seja mais significativa em outras localidades da América do Sul e do Brasil, também pode exercer influência no Nordeste (em especial na fachada litorânea e áreas adjacentes), principalmente quando o seu centro migratório polar possui intensidade expressiva. Esse subramo da mPa que se desloca na fachada litorânea, quando se associa à mTa, acaba provocando chuvas importantes que predominam na porção leste do Brasil entre o final de verão e o inverno. Contudo, na medida em que avança para latitudes menores, tende a modificar suas características originárias.

A Massa Tropical Continental (mTc), quente e seca, notadamente não apresenta influência direta sobre os tipos de tempo no Nordeste brasileiro, uma vez que sua atuação fica mais restrita às porções meridionais no território brasileiro.

Teleconexões: perspectiva conceitual e influências no semiárido nordestino.

O termo teleconexão, que significa conexão à distância, é utilizado na Meteorologia para fazer referência às anomalias que ocorrem em uma determinada região e como estas podem estar relacionadas à outras que ocorrem em regiões remotas. Foi empregado pela primeira vez em um artigo de pesquisa climática publicado pelo meteorologista sueco Anders Angstrom (Cavalcanti e Ambrizzi, 2009).

Sabe-se que a circulação atmosférica possui grande variabilidade. Contudo, em se tratando de padrões de teleconexão, estes são também conhecidos como modos preferenciais de variabilidade de baixa frequência. Ainda que estes padrões persistam por semanas, meses, também podem se tornar dominantes por anos consecutivos, representando, desta forma, um padrão recorrente e persistente de uma determinada variável (a Temperatura de Superfície Marítima, por exemplo), em uma determinada localidade e que acaba por interferir no clima e no tempo de regiões distantes, podendo evidenciar um aspecto importante da variabilidade interanual e interdecenal da circulação atmosférica.

As primeiras evidências de teleconexões globais se deram a partir de estudos que

analisavam dados de pressão em superfície no final do século XIX. Na década de 1920, Walker identificou três grandes oscilações atmosféricas: a Oscilação do Atlântico Norte (OAN), a Oscilação do Pacífico Norte (OPN) e a Oscilação do Sul (OS), com centros de ação nos trópicos do Hemisfério Sul. Nas décadas seguintes, inclusive, um maior número de trabalhos começaram a detalhar, de forma mais clara, o acoplamento entre oceano e atmosfera (Cavalcanti e Ambrizzi, 2009).

Teleconexões que ocorrem no Hemisfério Norte podem interferir na variabilidade de precipitação sobre o Nordeste do Brasil (NEB). Pesquisadores chegaram a relacionar tal variabilidade no NEB com a atividade ciclônica na região de Terra Nova e Groenlândia (região de um dos centros de ação da OAN), no período que corresponde ao inverno e primavera no Hemisfério Norte (consequentemente, verão e outono no Hemisfério Sul, período em que se verificam os acumulados mais expressivos no NEB).

Afinal, o outro centro dessa oscilação (OAN) acaba por influenciar na circulação da Alta Subtropical do Atlântico Norte (ASAN) que, por sua vez, pode interferir na intensidade dos alísios e, obviamente, na atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), o principal sistema meteorológico que desencadeia chuvas na porção setentrional do NEB. Cabe salientar também que o Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul (ASAS) exerce um importante papel, visto que em anos chuvosos tende a se deslocar para altitudes mais altas no Atlântico Sul.

Paulo Nobre (1984) identificou padrões de teleconexão que denominou de: Atlântico Norte-Leste (ANLA), que inclui a porção central do Atlântico Tropical e atinge a costa leste da Ásia; Pacífico Central-Leste EUA (PCLE), que inclui a porção central do Pacífico Equatorial e que atinge a costa leste da América do Norte; e uma terceira configuração denominada Padrão Cinturão Circumpolar (CCP) que constitui-se de alternâncias de centros de vorticidade positiva e negativa em torno da latitude de 50°N.

Acredita-se que a existência de tais configurações remotas interferem na ocorrência de anomalias de TSM no Atlântico Intertropical e, consequentemente, no posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (que acompanha as TSMs relativamente mais elevadas), influenciando, dessa forma, na variabilidade das chuvas no NEB (Santos et al., 2019), dependendo do padrão de configuração das TSMs, denominado por Xavier (2001) de Dipolo de TSM do Atlântico Tropical.

Tal padrão de configuração acaba por interferir, consequentemente, no posicionamento

dos ramos ascendentes e subsidentes da Célula de Hadley sobre essa porção intertropical (Figura 5).

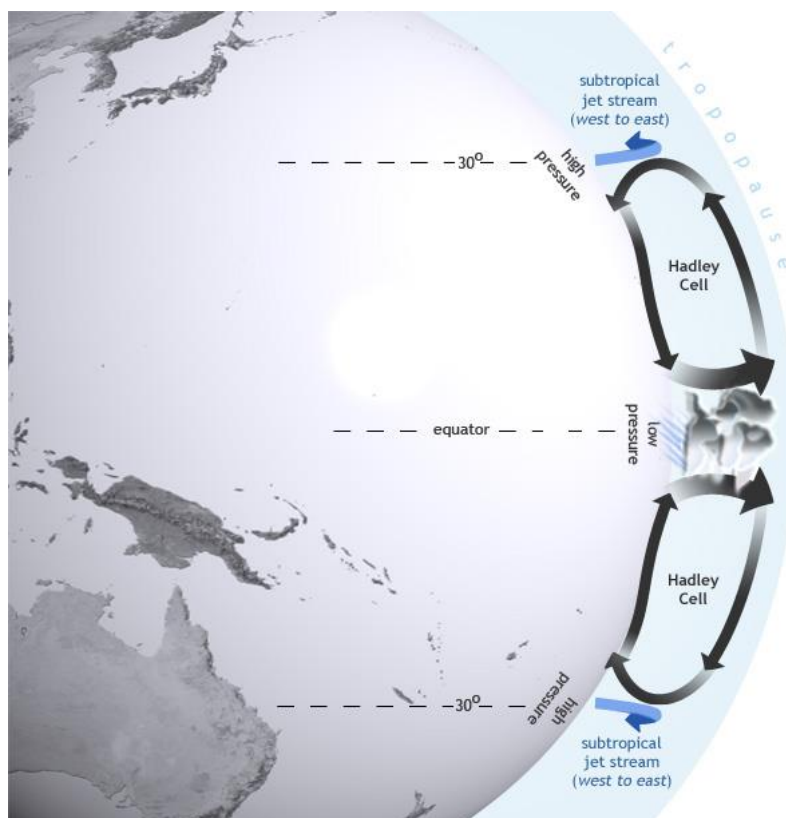


Figura 5. Perfil esquemático dos ramos ascendentes e descendentes da célula de Hadley. Fonte: NOAA (climate.gov)

O Dipolo de TSM pode ser compreendido como a diferença entre as anomalias normalizadas da bacia norte e da bacia sul do Atlântico. Quando ocorrem anomalias negativas no Atlântico Norte e positivas no Atlântico Sul (Figura 6a) de forma combinada, observa-se uma condição ideal para formação de nuvens de chuva e incursão meridional da ZCIT em direção ao NEB. Em um

cenário inverso, quando ocorrem anomalias positivas no Atlântico Norte e negativas no Atlântico Sul combinados (Figura 6b), observa-se um déficit de chuvas na porção setentrional do NEB, indicando acumulados abaixo da normal climatológica (Rodrigues et al., 2021), uma vez que a ZCIT é deslocada para posições mais setentrionais.

Dipolo do Atlântico

Anomalias positivas no Atlântico Sul e negativas no Norte combinados (+ CHUVA PARA O NORDESTE)



Dipolo Invertido

Anomalias positivas no Atlântico Norte e negativas no Sul combinados (- CHUVA PARA O NORDESTE)



Figura 6. Perfil esquemático de incursão da ZCIT representado em situações de observância de Dipolo do Atlântico e Dipolo Invertido, respectivamente. Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

Em se tratando de déficit de chuvas e acumulados acima da média no período que corresponde aos meses mais chuvosos (em virtude da atuação da ZCIT no NEB), um outro mecanismo físico envolvido no acoplamento oceano-atmosfera e que interfere nos acumulados acima ou abaixo da normal climatológica nesta região, caracterizado como um fenômeno de escala global, é o El Niño Oscilação Sul – ENOS.

O ENOS caracteriza-se como uma gangorra atmosférica ou onda estacionária de massa e pressão atmosféricas, a qual envolve trocas de ar entre a célula subtropical de alta pressão sobre o Pacífico Meridional e outra região de baixa pressão posicionada sobre o Pacífico Ocidental e na Indonésia. Tal oscilação é associada às fases de circulação de Walker (positivas ou negativas). Quando não está em evidência, observam-se condições de neutralidade (Barry e Chorley, 2013).

O El Niño consiste no aquecimento acima do normal (em média) das águas oceânicas da porção centro-leste do Pacífico Tropical (próximo à costa do Peru) e, em linhas gerais, observa-se nos meses de dezembro. Tal fenômeno, ainda que ocorra remotamente, acaba por influenciar em um déficit de chuvas na porção setentrional do NEB, principalmente quando apresenta forte intensidade, uma vez que interfere na circulação zonal da Célula de Walker.

Em episódios de El Niño, quando se observam anomalias quentes de TSM sobre o Pacífico, nota-se uma maior convecção nessa área (Central/Leste) que é de subsidência climatológica (Grimm, 2009). Consequentemente, a divergência em altos níveis no Pacífico Central/Leste e convergência sobre a porção setentrional do território brasileiro (incluindo aí o NEB), gera um ramo descendente da Célula de Walker, inibindo a atividade convectiva em diversas localidades inseridas no semiárido nordestino que são altamente dependentes dos acumulados de chuva associados à ZCIT, acarretando anos secos (Figura 7a).

No entanto, em anos de La Niña, quando as temperaturas desta mesma porção do Pacífico Tropical apresentam um resfriamento abaixo da média, geralmente observa-se um cenário mais favorável à ocorrência de chuvas na porção setentrional do NEB, principalmente se a La Niña for caracterizada como de forte intensidade, uma vez que nota-se novamente uma alteração na Célula de Walker e um ramo ascendente na porção setentrional do território brasileiro que acaba contribuindo para a atividade convectiva (Figura 7b).

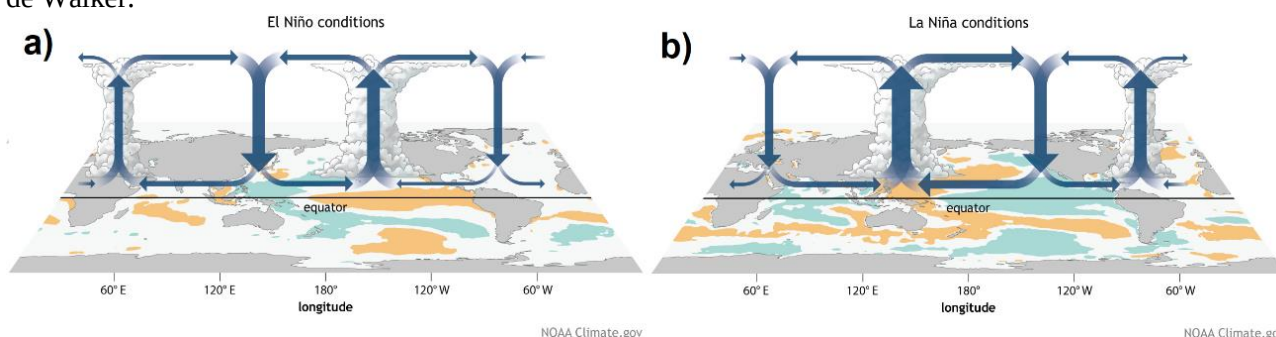


Figura 7 – Comportamento da Célula de Circulação Zonal de Walker em condições de El Niño e La Niña, respectivamente. Fonte: Adaptado de NOAA (2014), com ilustração realizada por Fiona Martin.

Barry e Chorley (2013) evidenciam, inclusive, a influência que o ENSO pode exercer sobre a ocorrência de secas no Nordeste do Brasil, uma vez que interferem no comportamento do sistema oceano-atmosfera no Atlântico. Afinal, o estabelecimento do centro convectivo de baixa pressão sobre a célula subtropical de alta pressão do Atlântico central e oriental e do escoamento geral dos ventos Alísios no Atlântico, acaba levando ao desenvolvimento de uma camada mais forte de inversão por subsidência, inclusive submetendo o Atlântico tropical ocidental a mais mistura oceânica, resultando em temperaturas relativamente menores na superfície do mar e,

consequentemente, interferindo na evaporação e convecção (também menores).

Cabe destacar que tais anomalias que ocorrem tanto no Oceano Pacífico, quanto no Atlântico, apresentam, além da variabilidade interanual, certa variação decenal a multidecenal, de acordo com Kayano e Andreoli (2009). No entanto, o entendimento dessa variabilidade ainda carece de maior investigação, visto que existem vários aspectos ainda desconhecidos.

A indisponibilidade de série longas de dados observacionais, bem como as limitações apresentadas pelos modelos são os principais fatores que dificultam um melhor entendimento de

tal variabilidade. É difícil, por exemplo, cravar que uma mudança de regime no padrão observado foi um evento único ou apenas uma variabilidade oceano-atmosfera de natureza oscilatória, fazendo com que seja comum a existência de duas vertentes na literatura com pontos de vistas divergentes sobre tal variabilidade.

Assim, ainda que tal variabilidade decenal e multidecenal seja explorada em alguns estudos, tal discussão ultrapassa os objetivos ora aqui estabelecidos, uma vez que traria análises pontuais a partir de observações de séries muito longas. Sugere-se uma revisão desses mecanismos em Kayano e Andreoli (2009).

Um outro mecanismo remoto importante e que pode ocasionar interferências pontuais nas chuvas do NEB, influenciando na variabilidade intrassazonal, é a Oscilação de Madden-Julian (OMJ), caracterizada como uma célula de circulação zonal direta no plano equatorial e que se propaga para leste em um período de 30 a 60 dias. Forma-se no Oceano Índico, tendo como fonte as anomalias positivas de TSM (Souza e Reboita, 2021), e possui essa “teleconexão”, uma vez que pode influenciar no tempo de localidades remotas, como é o caso do NEB. Propaga-se no verão austral, podendo interferir, desta forma, nas chuvas de pré-estação e no início da estação chuvosa no semiárido nordestino. Já no inverno, praticamente não exerce influência sobre o semiárido.

Algumas pesquisas já evidenciaram que a OMJ acaba por interferir no sistema de monções das Américas, além de desempenhar importante papel na variabilidade do clima em escala subzonal. A modulação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) pela OMJ e a possibilidade de a mesma influenciar no ENOS apresentam-se como exemplos de interferência (Kayano et al., 2009)

Madden e Julian (1972), por meio de análise espectral cruzada nas variáveis de radiossonda na ilha de Cantão, identificaram forte coerência entre pressão à superfície, vento zonal e temperaturas em vários níveis para um intervalo de tempo longo, tornando-se máxima entre 41 e 53 dias. Analisando os ângulos de fases, concluíram que as oscilações resultavam de uma propagação para leste de uma célula zonal direta no plano equatorial.

Assim, no Hemisfério Leste (entre 0° E e 180°E), a OMJ tem forte acoplamento com a convecção cúmulo e propaga-se lentamente (Figura 8). Já no Hemisfério Oeste não se observa um acoplamento com a convecção e a propagação é mais rápida (Kayano et al., 2009).

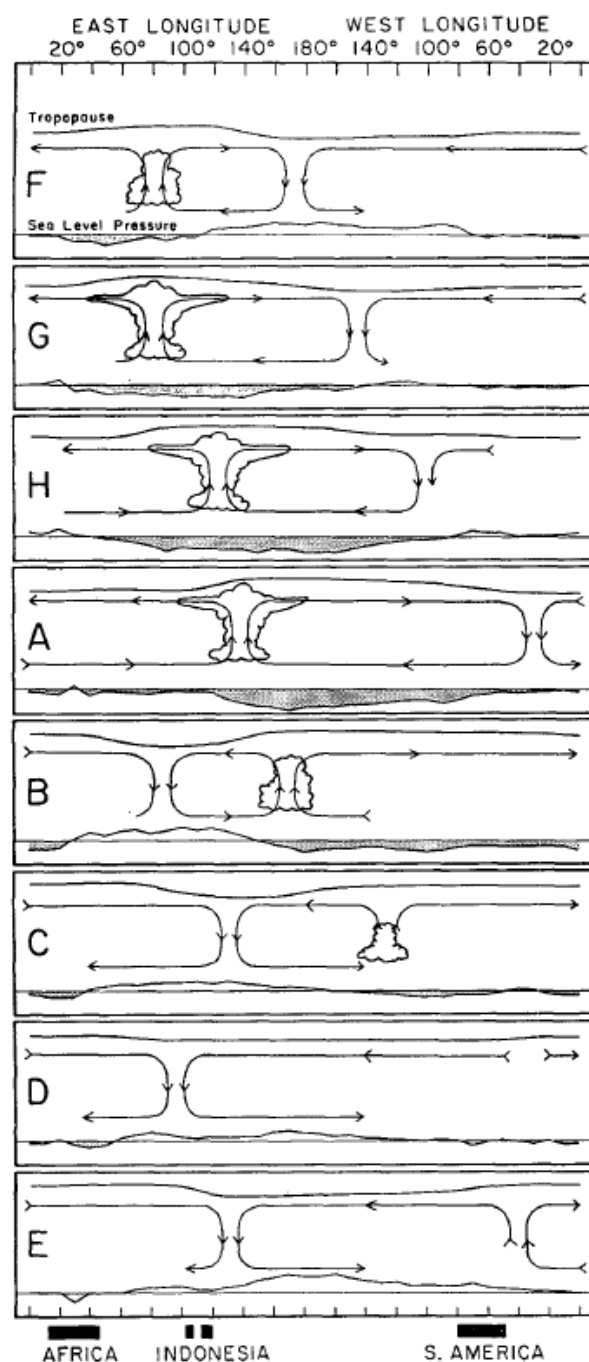


Figura 8. Esquema da representação das variações espaço-temporais de distúrbios associados à OMJ. Fonte: Madden e Julian (1972)

Assim, se observamos sua direção de propagação, bem como suas fases, é possível notar certa influência na ocorrência (ou não) de precipitação no NEB, em especial no período entre novembro-março, quando sistemas meteorológicos importantes ocasionam acumulados significativos no período de pré-estação chuvosa e no período chuvoso no semiárido nordestino. Nota-se um destaque para as fases 2, 8 e 1 da OMJ para acumulados significativos na porção semiárida do Nordeste, enquanto nas fases 3, 4, 6 e, principalmente, na fase 5, observa-se uma

tendência para déficits de precipitação em diversas localidades situadas no semiárido (Figura 9).

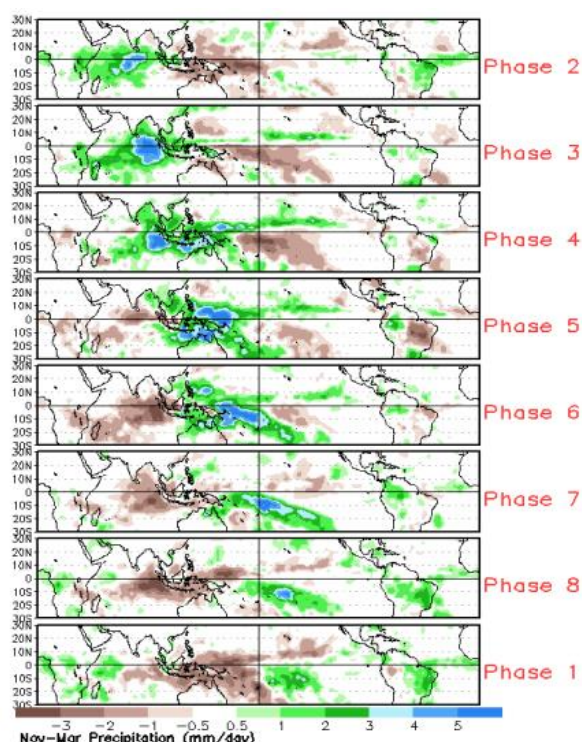


Figura 9. Fases da Oscilação Madden-Julian, considerando o período novembro-março. Fonte: CPC/NOAA (2020)

Além das teleconexões, também podem ocorrer processos e feições de mesoescala que acabam por interferir na formação de sistemas meteorológicos importantes que trazem consigo acumulados de precipitação significativos em algumas porções do NEB. Contudo, optou-se aqui por não adentrar tal discussão, visto que traria uma profundidade demasiadamente longa para um artigo em periódico científico. Assim, apenas serão explorados aqueles sistemas meteorológicos indutores de precipitação mais importantes para o NEB, destacando sua ocorrência em uma perspectiva espaço-temporal, suas principais características, entre outras informações relevantes.

Sistemas meteorológicos produtores de precipitação no semiárido nordestino

A Zona de Convergência Intertropical – ZCIT

A tendência dos sistemas de ventos Alísios dos dois hemisférios convergirem no Cavado Equatorial (baixa pressão) foi designada, em meados da década de 1940, como Zona de Convergência Intertropical (Barry e Chorley, 2013). Tal sistema meteorológico se apresenta como o mais importante mecanismo produtor de precipitação em grande parte do Nordeste

brasileiro, incluindo aí aquelas áreas sob influência do clima semiárido.

A ZCIT, localizada nos ramos ascendentes das Células de Hadley do Norte e do Sul, apresenta uma feição predominantemente oceânica e é visível em imagens de satélite como uma faixa de nuvens convectivas ao longo da região equatorial (Figura 10). No entanto, sua posição e intensidade é bastante variável, podendo ocorrer flutuações em um curto espaço de tempo. Tal feição acompanha as águas superficiais relativamente mais quentes na porção em que atua, fazendo com que pequenas alterações nas TSMs interfiram na incursão da ZCIT.

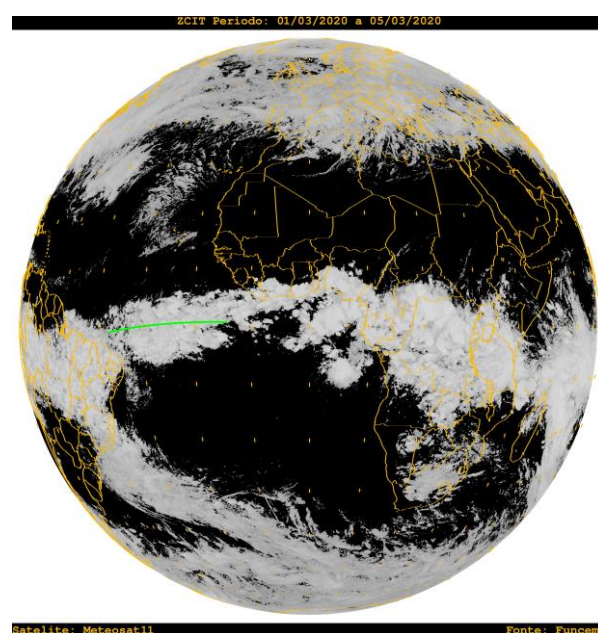


Figura 10. Posicionamento médio da ZCIT entre 01/03/2020 e 05/03/2020. Fonte: FUNCEME (a partir de imagens do Satélite Meteosat 11)

Quando sua incursão atinge posições mais meridionais, pode desencadear acumulados significativos para o semiárido nordestino. Do contrário, se a ZCIT fica posicionada mais ao norte (o que ocorre notadamente no segundo semestre do ano), observa-se um ramo subsidente da célula de Hadley sobre o semiárido nordestino, o que inibe a convecção e formação de nuvens de chuva nesse período.

Considerando sua migração sazonal na região do Atlântico Equatorial, já que é justamente essa “porção” da ZCIT que potencialmente desencadeia precipitações no semiárido nordestino, a mesma realiza incursões entre 14° N (entre agosto e setembro) até cerca de 2°S durante os meses de março e abril, podendo atingir até 5°S em anos mais chuvosos (Melo et al., 2009), em virtude de fatores que ocasionam o fortalecimento ou enfraquecimento dos Alísios de Nordeste e Sudeste. Tais fatores são preponderantes na determinação

de quão abundante serão as chuvas no Nordeste brasileiro, em especial nas localidades que se encontram sob influência do clima semiárido.

É justamente sobre o verão e o outono que se verificam os maiores acumulados de precipitação na porção norte do NEB a partir da atuação da ZCIT, incluindo os estados do Maranhão, Piauí, norte e sul do Ceará e os interiores da Paraíba e Rio Grande do Norte (Santos et al., 2019). Nesse mesmo período, também pode ocorrer a atuação dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs), que geralmente desencadeiam acumulados significativos, em especial quando atuam de forma conjunta com a ZCIT.

Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis – VCANs

Os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) são sistemas meteorológicos que também desencadeiam importantes acumulados para o semiárido nordestino, em especial no período que corresponde à pré-estação chuvosa.

Caracterizados como sistemas meteorológicos que se originam na alta troposfera e com tempo de vida de vários dias, são quase estacionários (com deslocamento relativamente lento para oeste ou leste), apresentando movimentos ascendentes na periferia e subsidentes no centro (frio). No Brasil, atuam com maior frequência entre dezembro e fevereiro, com destaque para o mês de janeiro (Ferreira et al., 2009).

Em imagens de satélite, os VCANs apresentam um formato que lembra uma vírgula invertida, em virtude da nebulosidade que ocorre em sua periferia, já que o seu centro não apresenta formação de nuvens de chuva. Inclusive, a nebulosidade mais acentuada observa-se na direção de deslocamento do VCAN.

Os VCANs geralmente desencadeiam acumulados de chuva importantes no semiárido nordestino quando apresentam um posicionamento favorável, preferencialmente quando seu centro se encontra mais posicionado sob o Oceano Atlântico (Figura 11) e, conseqüentemente, sua periferia adentrando o continente. Por vezes, o seu centro também se posiciona em parte do NEB, inibindo a formação de nuvens de chuva, mas podendo trazer, ainda assim, alguns acumulados em localidades do semiárido nordestino que estejam sob a influência da periferia do vórtice.

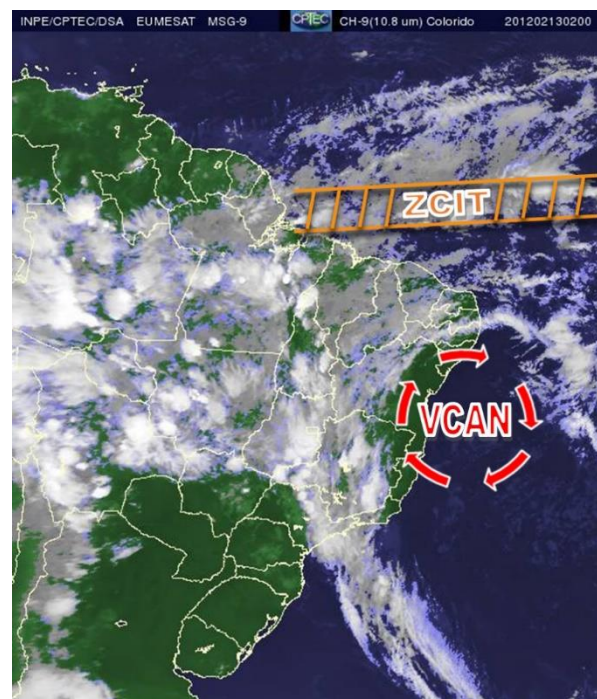


Figura 11. VCAN em posição favorável à ocorrência de precipitação no semiárido nordestino. Fonte: Editado pelo autor (2021), a partir de Imagem do METEOSAT 9/ EUMETSAT (CPTEC/INPE).

Os mecanismos responsáveis pela gênese dos VCANs tropicais não são devidamente conhecidos (Reboita et al., 2017). Porém, acredita-se aqui que a maioria destes se formam, conforme apontam Ferreira et al. (2009), devido à intensificação da crista associada à Alta da Bolívia (AB).

Inclusive, também é possível identificar que o VCAN possui uma interação importante com outros sistemas: uma Frente Fria – FF que se desloca das latitudes médias da América do Sul para os trópicos, a própria Alta da Bolívia – AB e a Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS.

Afinal, antes de se formar o VCAN, observa-se um Cavado em Altos Níveis (CAN) sobre o Nordeste brasileiro. O avanço da Frente Fria (FF) aparentemente colabora para a intensificação da crista que estaria associada à circulação da Alta da Bolívia (um anticiclone que ocorre na alta troposfera durante o verão em virtude da liberação de calor na superfície terrestre sobre o altiplano boliviano) e, esta intensificação geraria maior difluência em torno do cavado (CAN), fortalecendo-o e contribuindo para que o mesmo adquira uma circulação fechada, formando-se assim o VCAN. Esse processo de formação, denominado de clássica por Kousky e Gan (1981) representa, em linhas gerais, a gênese da maioria dos VCANs.

Curiosamente, após o VCAN formado, esses três sistemas (VCAN, AB e FF) contribuem para a formação de um corredor de umidade que oferece a condição ideal para a configuração da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que será mencionada adiante.

Distúrbios Ondulatórios de Leste - DOLs

Os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs), também denominados Ondas de Leste,

são perturbações que se deslocam de leste para oeste (Figura 12) com os ventos alísios que, por sua vez, encontram-se associados às Altas Subtropicais do Oceano Atlântico Norte e Sul (Gomes, 2012). Tal deslocamento ocorre desde a costa da África e traz acumulados importantes para o Nordeste brasileiro, em especial na Zona da Mata, que se estende desde o Recôncavo Baiano até o litoral do Rio Grande do Norte (Ferreira e Mello, 2005).

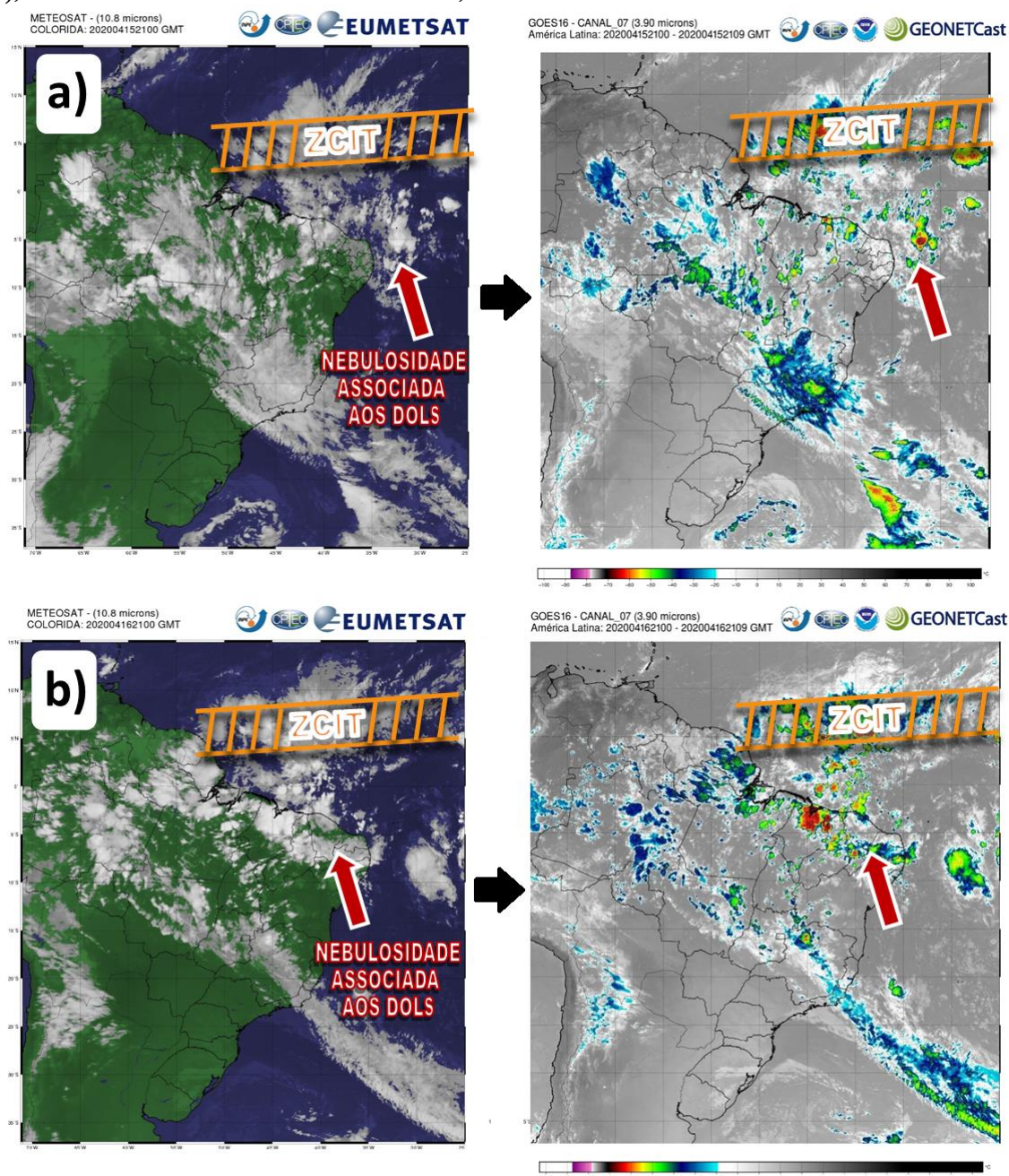


Figura 12. DOLs em atuação no Oceano Atlântico e no semiárido nordestino, respectivamente. a) Nuvens associadas aos DOLs no Oceano Atlântico (Dia 15/04/2020 – 21:00h GMT); b) Nuvens associadas aos DOLs em atuação no semiárido nordestino, com acumulados expressivos (Dia 16/04/2020 – 21:00h GMT). Fonte: Editado pelo autor (2021) a partir de Imagens do METEOSAT 9/ EUMETSAT e GOES 16 (CPTEC/INPE).

Caetano (2011) identificou ao menos cinco tipos de sistemas que estariam relacionados à

origem dos DOLs. São eles: os conglomerados convectivos provenientes da costa oeste da África;

nebulosidade originada e desenvolvida a partir da influência de VCANs; nebulosidade originada sobre o Oceano Atlântico; nebulosidade proveniente da ZCIT; e até mesmo em virtude de nebulosidade originada próximo à costa devido à convecção local e interações com as brisas, ventos alísios ou sistemas frontais do Hemisfério Sul.

Embora seja um sistema meteorológico de grande relevância na produção de acumulados significativos para a costa leste do Nordeste

brasileiro no inverno austral, os DOLs, que possuem duração de poucos dias, eventualmente ocasionam chuvas na porção semiárida nordestina, o que foi evidenciado por Gomes (2012) ao estudar os mecanismos físicos e dinâmicos do ciclo de vida dos DOLs, identificando desde a sua gênese, até a sua dissipação (Figura 13) em uma série histórica de mais de vinte anos.

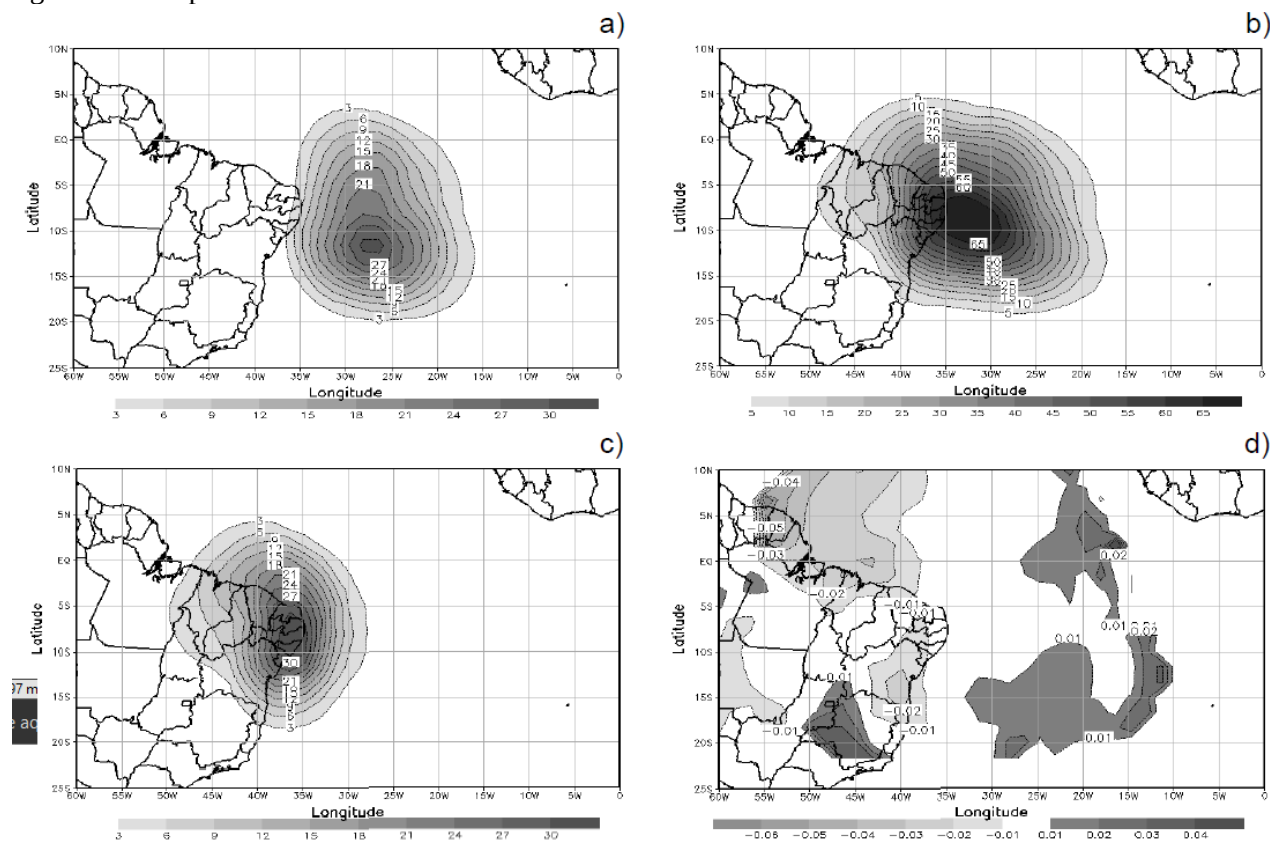


Figura 13. Ciclo de vida dos DOLs, com regiões preferenciais de formação, trajetória, dissipação e taxa de crescimento/decaimento (período de 1989-2009). a) Densidade de gênese por unidade de área ($\sim 10^3 \text{ km}^2$). b) Densidade de trajetória por unidade de área ($\sim 10^3 \text{ km}^2$). c) Densidade de dissipação por unidade de área ($\sim 10^3 \text{ km}^2$). d) Taxa de crescimento e decaimento por unidade de dia. Fonte: Gomes (2012)

Assim, em se tratando da sua influência na produção de chuva em localidades encravadas no semiárido, ainda que os acumulados mais expressivos sejam verificados no litoral nordestino, tais perturbações não devem ser ignoradas e são climatologicamente importantes, visto que também carregam umidade para estas áreas com características mais secas quando as condições oceânicas e atmosféricas encontram-se favoráveis, especialmente nos meses de junho, julho e agosto.

Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) pode ser compreendida como uma banda de nebulosidade semiestacionária com orientação noroeste-sudeste que se estende desde a Amazônia até o Sudeste brasileiro e, com certa frequência, até o Atlântico Subtropical.

Sua presença é bem observada durante o verão, com o pico da estação chuvosa entre dezembro e fevereiro (Carvalho e Jones, 2009), quando geralmente desencadeia episódios pluviométricos vultosos, em especial na região Sudeste do Brasil.

Acontece que a umidade transportada do Oceano Atlântico Tropical para a região Norte do Brasil, em especial na primavera (quando os

Alísios de Nordeste se intensificam e transportam mais umidade), conjuntamente com a evapotranspiração da floresta Amazônica, além de contribuir para a precipitação na região Norte do Brasil, também colabora no transporte dessa umidade para o Sudeste/Sul do Brasil em virtude dos ventos à leste da Cordilheira dos Andes: os Jatos de Baixos Níveis (Santos e Reboita, 2018).

Inclusive, na região Sudeste, além da umidade proveniente da Amazônia, observa-se também outra fonte de umidade, o oceano Atlântico Sul, já que durante o período chuvoso na região, o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) posiciona-se mais a leste e propicia o transporte de ar úmido do oceano para o continente (Reboita et al., 2019).

A condição para a formação desse corredor de umidade envolve outros sistemas. O anticiclone em altos níveis, conhecido como Alta da Bolívia (gerado a partir da liberação de calor latente), um cavado entre o Nordeste do Brasil e o Oceano Atlântico (que pode eventualmente fechar-se, formando um VCAN), além da presença de uma Frente Fria no oceano Atlântico Sul, parecem influenciar na configuração ideal da ZCAS (Figura 14).

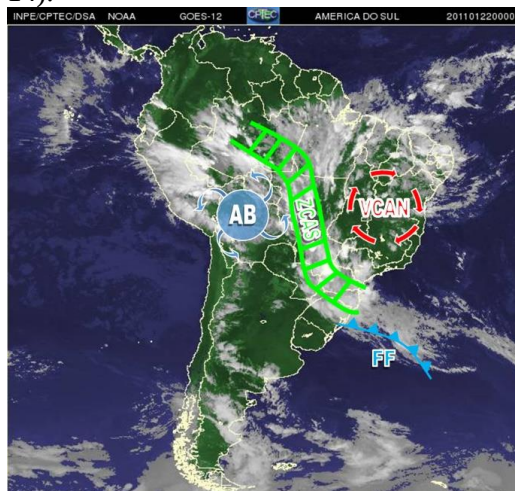


Figura 14. Padrão de configuração predominante da ZCAS. Fonte: Editado pelo autor (2021) a partir de Imagens do GOES 12 (CPTEC/INPE)

Porém, nem todos os episódios de ZCAS apresentam a mesma configuração (Silva et al., 2019). Algumas flutuações, em termos de abrangência espacial, podem ocorrer, contribuindo para que a ZCAS se desloque em direção ao semiárido nordestino, principalmente nas porções centro-meridionais do Nordeste brasileiro, desencadeando acumulados no semiárido baiano (em grande parte), mas podendo adentrar outras porções do semiárido nordestino (Figura 15).

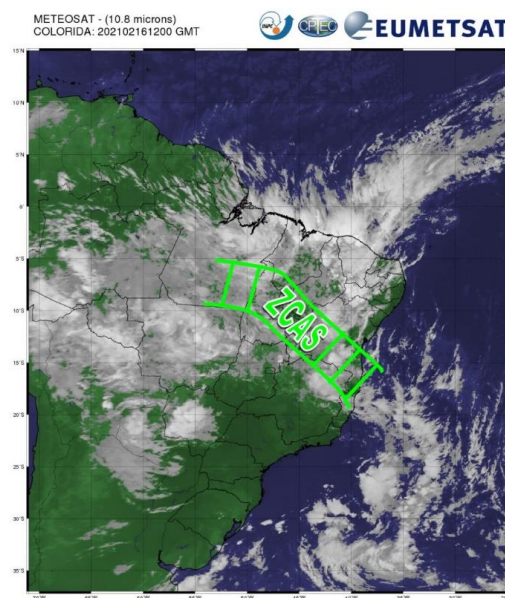


Figura 15. ZCAS posicionada em porção mais setentrional, desencadeando chuvas em parte do semiárido nordestino. Fonte: Editado pelo autor (2021) a partir de Imagens do METEOSAT 9/EUMETSAT (CPTEC/INPE)

Além da presença bem definida da Alta da Bolívia (AB) e do cavado no Nordeste, cabe salientar que, em termos meteorológicos, para que esse corredor de umidade seja considerado ZCAS, ele também deve obedecer a outros critérios mais específicos (vide Escobar e Matoso, 2018) como persistir por, no mínimo, quatro dias consecutivos (Ferreira et al., 2004). Afinal, se a sua permanência é inferior a quatro dias ou, mesmo que persista por mais dias, o canal de umidade não é muito organizado, observa-se apenas a ocorrência do que é denominado pelos meteorologistas de Zona de Convergência de Umidade (ZCOU).

Complexos Convectivos de Mesoescala – CCMs

Os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs) são aglomerados de nuvens cúmulos-nimbos cobertas por uma densa camada de cirros que apresentam características peculiares, especialmente quando visualizadas em uma sequência de imagens de satélites que acabam evidenciando o seu crescimento explosivo.

Geralmente provocam chuvas fortes e de curta duração, em virtude de condições locais favoráveis como relevo, temperatura, pressão etc. (Ferreira e Mello, 2005) e podem produzir precipitação contínua sobre regiões que excedem a 100 km de extensão em escala horizontal (Passos et al., 2019). Seu ciclo de vida é variável, durando em média 16 horas. Porém, existem análises e

relatos de CCMs que obtiveram duração de até 40 horas (Silva Dias et al., 2009).

Maddox (1980) estabeleceu os critérios originais para classificação de um CCM, considerando o tamanho do sistema (em torno de 100.000 km²), sua temperatura (cobertura de nuvens com temperaturas no infravermelho menores que -32°C), o formato (circular com excentricidade maior que 0,7) e o tempo de vida (superior a seis horas). Caso não ocorra todas essas características, o sistema pode ser classificado,

genericamente, como Sistema Convectivo de Mesoescala (SCM), já que o CCM se trata de uma categoria extrema dos SCMs.

Entre a formação do sistema e a sua dissipação, três estágios podem ser considerados: gênese, maturidade e dissipação (Figura 16). A gênese do CCM geralmente ocorre no final de tarde e início da noite, quando as primeiras células convectivas se desenvolvem em virtude de condições locais favoráveis (representa o momento com máxima ocorrência de células convectivas).

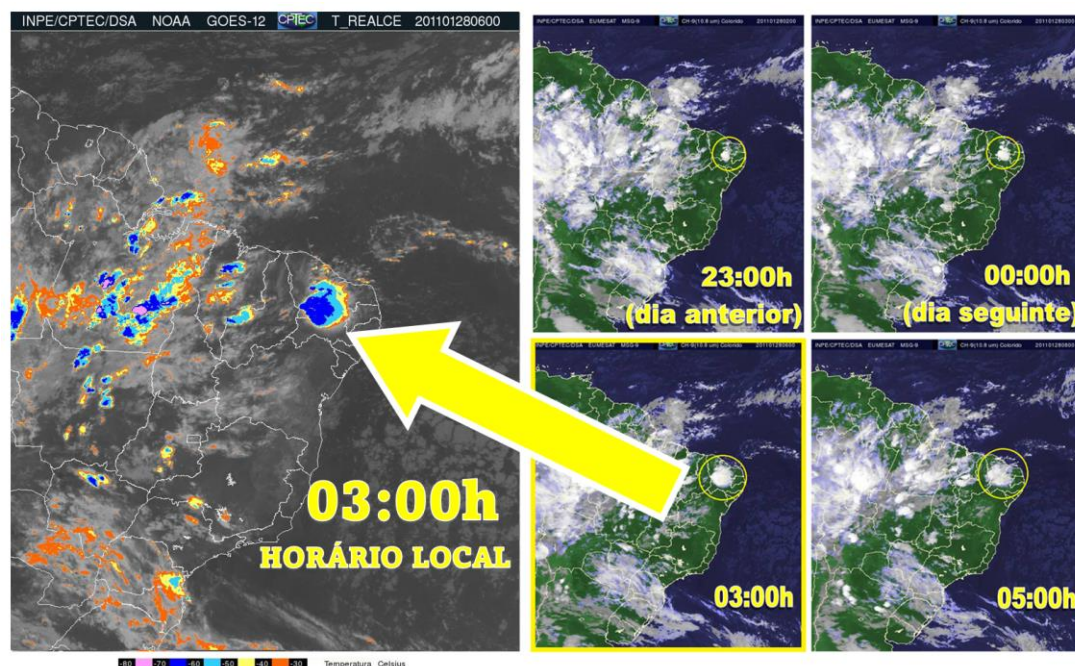


Figura 16. Imagens de satélite que evidenciam a formação/evolução de um CCM atuando sobre o semiárido nordestino, de acordo com o horário local. Fonte: Editado pelo autor (2021) a partir de Imagens do GOES 12 e METEOSAT 9/EUMETSAT (CPTEC/INPE)

O estágio maduro do CCM geralmente ocorre durante a madrugada, quando alcança a maior área de cobertura de nuvens convectivas. Na dissipação do sistema, o fluxo de calor e umidade é reduzido por conta da ocorrência de mecanismos físicos variados que podem contribuir para interromper ou modificar o suprimento de combustível para a manutenção do sistema (Silva Dias et al., 2009).

Linhas de Instabilidades (LIs) e Sistemas de Brisa

As Linhas de Instabilidade e os Sistemas de Brisa são aqui tratados de forma conjunta em virtude da interação que possuem. As Linhas de Instabilidade (Figura 17) são bandas de nuvens (normalmente do tipo cumulus) organizadas em forma de linha (Ferreira e Mello, 2005) e que ocasionam chuvas geralmente no final da tarde e início de noite, quando a convecção é máxima e estas nuvens estão em maior número.

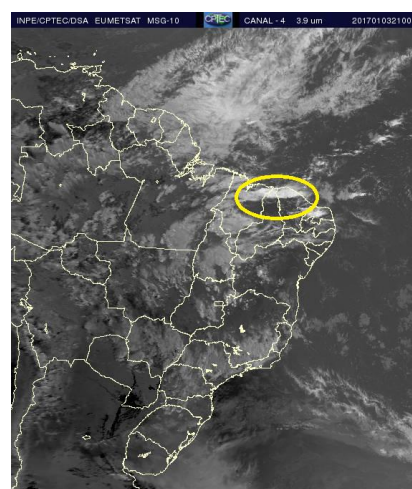


Figura 17 – Linhas de Instabilidade atuando sobre a costa do Estado do Ceará e porção mais interiorana, no semiárido cearense. Fonte: Editado pelo autor (2021) a partir de Imagem do METEOSAT 9/EUMETSAT (CPTEC/INPE).

Já os sistemas de brisa estão relacionados à interação resultante do aquecimento diferencial entre a superfície terrestre e aquática que ocorre em porções litorâneas, permitindo uma alteração diurna importante no regime de ventos que, por sua vez, colaboram para o transporte de umidade nestas porções oceânicas e do continente.

Este conhecido fenômeno ocorre da seguinte forma: enquanto que, durante o dia, a área continental aquece mais rapidamente que a superfície do oceano mais próximo, fazendo com

que a pressão sobre o continente seja mais baixa em comparação à superfície oceânica, tornando essa área continental receptora de ventos e desencadeando a brisa marítima (quando os ventos se deslocam do oceano para o continente), no período noturno ocorre o inverso (quando o continente perde mais calor para o oceano), provocando um deslocamento dos ventos do continente para o oceano, ocasionando a brisa terrestre (Figura 18).



Figura 18. Brisas Marítima e Terrestre, respectivamente.

Considerando a precipitação ocasionada em virtude da atuação de brisas marítimas e terrestres, geralmente observa-se, em zonas litorâneas, um máximo de precipitação no período noturno até o início da manhã (entre 21h e 9h local) em virtude da convergência entre o fluxo médio de ar próximo à superfície (procedente do oceano) e o fluxo superficial do continente para o mar devido à atuação da brisa terrestre. No entanto, em localidades que distam entre 150 e 300 km das porções litorâneas (adentrando o continente), o máximo de precipitação ocorre geralmente entre 15h e 21h local, associado com a brisa marítima (Kousky, 1980 e Teixeira, 2008).

Inclusive, observa-se uma importante interação das brisas marítimas com as Linhas de Instabilidade, pois estes últimos possuem uma escala temporal associada à variabilidade diurna (brisa marítima e aquecimento terrestre). A máxima atividade convectiva pode ser observada nas imagens de satélite do final da tarde (21:00h GMT). Essa convecção que se encontra associada à brisa marítima pode adentrar o continente quando o escoamento médio em 850hPa é perpendicular à costa e as Linhas de Instabilidade não se propagam quando o escoamento é paralelo à costa (Kousky, 1980 e Cohen et al., 2009).

Assim, é possível que essas linhas de cúmulos-nimbos estejam associadas à circulação da brisa marítima. Esta pode contribuir para que precipitações ocorram em porções mais interioranas (adentrando o semiárido nordestino) ou, ao menos, colaborar para que Linhas de

Instabilidade possam ser deslocadas para porções mais continentais. De qualquer forma, por se tratar de sistemas que atuam em porções mais costeiras ou próximo do litoral, apresentam apenas uma atuação mais significativa em localidades do semiárido que também margeiam o litoral nordestino.

Vale salientar também que a ZCIT tem um papel fundamental na intensificação de Linhas de Instabilidade (LIs). Cohen et al. (2009), a partir de análises de diversos estudos sobre a Climatologia das LIs, afirmam que as LIs tendem a ficar mais extensas entre fevereiro e junho, atingindo seu maior valor no mês de abril. Já em termos de intensidade, as LIs mais fortes ocorrem entre janeiro e março. Nos períodos de inverno e primavera, o desenvolvimento se dá em longitudes mais a oeste, ao norte do equador.

Ou seja, essa variabilidade sazonal das LIs tem forte relação com o deslocamento da ZCIT (também sazonal), evidenciando, dessa forma, como a circulação de grande escala também pode exercer importante influência na circulação local.

Frentes Frias - FF

As Frentes Frias são bandas de nuvens organizadas que se formam na área de confluência entre uma massa de ar frio (mais densa) com uma massa de ar quente (menos densa). Ao penetrar por baixo da massa de ar quente, a massa de ar frio faz com que o ar quente e úmido suba, formando nuvens de chuva (Ferreira e Mello, 2005).

Tais sistemas frontais costumam afetar o tempo sobre a América do Sul durante todo o ano e são identificadas com certa facilidade em imagens de satélite. Apesar de serem constantemente associadas às geadas e friagens que ocorrem no Sudeste e Sul do Brasil, também podem alcançar latitudes mais baixas, adentrando a Amazônia e o Nordeste brasileiro (em especial na porção centro-sul da Bahia e litoral leste adjacente), mas também desencadeando chuvas na porção semiárida (Figura 19).

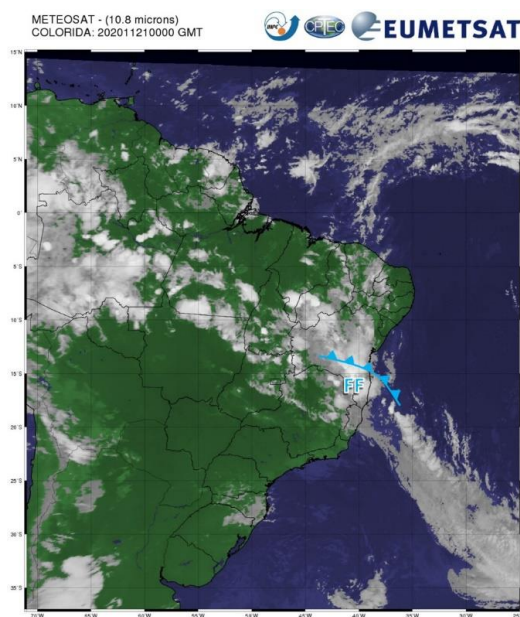


Figura 19. Frente Fria atuando em parte do semiárido nordestino. Fonte: Editado pelo autor (2021) a partir de Imagem do METEOSAT 9/EUMETSAT (CPTEC/INPE).

Quando avançam para o Norte no verão, por vezes interagem com o ar úmido e quente tropical, desencadeando convecção profunda (Cavalcanti e Kousky, 2009). Sua atuação no Nordeste se dá, em especial, entre os meses de novembro e janeiro.

Os critérios para identificação destes sistemas frontais geralmente consideram o aumento de pressão, queda de temperatura e mudança na componente meridional do vento em 925 hPa (Cavalcanti e Kousky, 2009).

Conclusões

Em termos de influência dos padrões de teleconexões na ocorrência (ou não) de precipitação no semiárido nordestino, diversos estudos sugerem que o El Niño Oscilação Sul (ENOS) exerce um importante papel e, nesse sentido, as secas acabam sendo recorrentes em anos de El Niño (notadamente naqueles de moderada e forte intensidade), enquanto em anos

de La Niña, as chuvas seriam mais representativas em grande parte do semiárido nordestino.

Ainda que o papel do ENOS seja relevante, uma vez que interfere nos ramos ascendentes e subsidentes da Célula de Walker, há que se considerar que as anomalias de TSM do Atlântico Tropical parecem exercer uma maior influência sobre essa porção do Nordeste brasileiro.

Assim, as análises realizadas sob o Atlântico Intertropical, a partir das anomalias de TSM e deslocamento dos Anticiclones do Atlântico Norte (ASAN) e Atlântico Sul (ASAS), parecem oferecer informações pertinentes, figurando assim como importantes preditores para o período chuvoso do Nordeste brasileiro, em especial nas porções mais setentrionais.

Contudo, cabe mencionar, em termos probabilísticos, as limitações de previsão em anos considerados neutros (tanto para o ENOS, quanto para o Dipolo de TSM do Atlântico), o que acaba representando um grande desafio para os especialistas e órgãos responsáveis por realizar as previsões para o período chuvoso nestas áreas sob influência do clima semiárido.

Existem outros sistemas meteorológicos (VCANs DOLs, ZCAS, LIs, CCMs etc.) que também contribuem para alguns acumulados importantes no semiárido nordestino, os quais atuam com maior ou menor expressão em determinadas localidades e períodos, em virtudes de diversos fatores que foram aqui considerados, sempre procurando evidenciar condições favoráveis ou não (por vezes incluindo análises a partir de imagens de satélites) para atuação de tais sistemas.

Inclusive, quando se verificam condições atmosféricas favoráveis para uma atuação conjunta de dois ou mais sistemas meteorológicos, estes geralmente ocasionam acumulados bastante expressivos, configurando verdadeiros eventos de chuva extrema.

Em se tratando de extremos para essa porção semiárida do Nordeste brasileiro, o cenário divulgado pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), em seu último relatório especial (pautado em estudos divulgados a partir do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – IPCC), é desanimador para as próximas décadas, apontando para déficits (em linhas gerais) no volume precipitado, tanto no verão (DJF), quanto no inverno (JJA), períodos em que os sistemas meteorológicos aqui mencionados atuam com maior expressividade.

No entanto, o próprio relatório também alerta que há fortes indícios de que as características dos Episódios de El Niño e La Niña estão mudando nas últimas décadas e que o

aumento da temperatura sobre o Atlântico Tropical pode ocasionar alterações no regime de precipitação, criando efeitos de retroalimentação ainda desconhecidos. Tais mudanças podem contribuir para uma maior recorrência de episódios pluviométricos concentrados e pontuais.

Por fim, deve-se ressaltar que o terreno amplo e ainda desconhecido das influências de teleconexões nos diferentes tipos de tempo e atuação de sistemas meteorológicos no semiárido nordestino, fazem com que as análises aqui desenvolvidas não se esgotem, muito menos figurem como discussões e afirmações perfeitamente esclarecidas e superadas, em virtude das escolhas realizadas e interferências elencadas nesse estudo.

Referências

- Alvino-Borba, A., Guerra, P. M., Moreira, L. A. G., Sacht, H. M., Almeida, J. A., Mata-Lima, H., 2020. Brazilian Journal of Development [Online] 9. Disponível: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/17562/14251>. Acesso: 20 fev. 2022
- Barbosa, J. P. M., Campos, A. B. de, Santos, V. M. N. dos, 2022. Revista Geografia (Londrina) [Online] 31. Disponível: <https://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/44112>. Acesso: 20 fev. 2022
- Barry, R. G., Chorley, R. J., 2013. Atmosfera, Tempo e Clima. Editora Bookman
- Cavalcanti, I., Ambrizzi, T., 2009. Teleconexões e suas influências no Brasil. In: Cavalcanti, I. F. de A., Ferreira, N. J.; Silva, M. G. A. J. da, Silva Dias, M. A. F. da (org). Tempo e Clima no Brasil. Editora Oficina de Textos
- Cavalcanti, I., Kousky, V. E., 2009. Frentes Frias sobre o Brasil. In: Cavalcanti, I. F. de A., Ferreira, N. J., Silva, M. G. A. J. da, Silva Dias, M. A. F. da (org). Tempo e Clima no Brasil. Editora Oficina de Textos.
- Caetano, J.M.V, 2011. Análise das Ondas de Leste sobre a Costa Leste do Nordeste do Brasil para o período entre 1999 e 2009 (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Cardoso, L. K. da S., 2019. Aspectos climáticos das posições da Zona de Convergência Intertropical e dos Anticiclones Semipermanentes do Atlântico Sul e do Pacífico Sul: relações com regimes de chuva no Nordeste do Brasil (Dissertação de Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil.
- Carmo, M. V. N. S. do, Lima, C. H. R., 2020. Caracterização espaço-temporal das secas no Nordeste a partir da análise do índice SPI. Revista Brasileira de Meteorologia [Online] 35. Disponível: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/hPHsZ8hcKnzbnvVzSpqtsnn/abstract/?lang=pt#>. Acesso: 20 fev. 2022.
- Carpenedo, C. B., Ambrizzi, T., 2020. Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul associado ao Modo Anular Sul e impactos climáticos no Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia [Online] 35. Disponível: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/DgpCSLppxxYyxWCVLX5sBZM/?lang=pt&format=pdf>. Acesso: 29. Jun.2021
- Carvalho, L. M. V. de, Jones, C., 2009. Zona de Convergência do Atlântico Sul. In: Cavalcanti, I. F. de A., Ferreira, N. J., Silva, M. G. A. J. da, Silva Dias, M. A. F. da (org). Tempo e Clima no Brasil. Editora Oficina de Textos..
- CPC/NOAA. Climate Prediction Center / National Oceanic Atmosphere Administration, 2020. Madden-Julian Oscillation: Recent Evolution, Current Status and Predictions. Disponível: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/mjoupdate.pdf>. Acesso: 23. out. 2020.
- Cohen, J., Cavalcanti, I. F. A., Braga, R. H. M., Santos Neto, L., 2009. Linhas de Instabilidade na Costa N-NE da América do Sul. In: Cavalcanti, I. F. de A., Ferreira, N. J., Silva, M. G. A. J. da, Silva Dias, M. A. F. da (org). Tempo e Clima no Brasil. Editora Oficina de Textos.
- Escobar, G.C.J, Matoso, V., 2018. Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS): definição prática segundo uma visão operacional. Anais do XX Congresso Brasileiro de Meteorologia, Maceió, AL, Brasil.
- Ferreira, N. J., Ramírez, M. V., Gan, M. A., 2009. Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis que atuam na vizinhança do Nordeste do Brasil. In: Cavalcanti, I. F. de A., Ferreira, N. J., Silva, M. G. A. J. da, Silva Dias, M. A. F. da (org). Tempo e Clima no Brasil. Editora Oficina de Textos.
- Ferreira, A. G., Mello, N. G. da Silva, 2005. Principais Sistemas Atmosféricos atuantes sobre a Região Nordeste do Brasil e a influência dos Oceanos Pacíficos e Atlântico no clima da Região. Revista Brasileira de Climatologia [Online] 1. Disponível: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25215/16909>. Acesso: 29 jun. 2021.
- Ferreira, N. J., Sanches, M., Silva Dias, M. A. F., 2004. Composição da zona de convergência do Atlântico Sul em períodos de El Niño e La Niña. Revista Brasileira de Meteorologia [Online] 19.

- Disponível:
www.rbmet.org.br/port/revista/revista_dl.php?id_artigo=45&id...153. Acesso: 13 dez. 2020
- Gomes, H. B., 2012. Distúrbios Ondulatórios de Leste no Nordeste Brasileiro: Climatologia e Modelagem Numérica (Tese de Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.
- Grimm, A. M., 2009. Variabilidade interanual do clima no Brasil. In: Cavalcanti, I. F. de A., Ferreira, N. J., Silva, M. G. A. J. da, Silva Dias, M. A. F. da (org). Tempo e Clima no Brasil. Editora Oficina de Textos.
- Hiera, M. D, Lima Júnior, A. F., Zanella, M. E., 2019. Tendência da precipitação no Estado do Ceará. Revista Brasileira de Climatologia [Online] 24. Disponível: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/54207/38779>. Acesso: 20 fev. 2022.
- Kayano, M. T., Andreoli, R. V., 2009. Variabilidade decenal a multidecenal. In: Cavalcanti, I. F. de A., Ferreira, N. J., Silva, M. G. A. J. da, Silva Dias, M. A. F. da (org). Tempo e Clima no Brasil. Editora Oficina de Textos.
- Kayano, M. T., Jones, C., Dias, P. L. da S., 2009. Variabilidade intrassazonal. In: Cavalcanti, I. F. de A., Ferreira, N. J., Silva, M. G. A. J. da, Silva Dias, M. A. F. da (org). Tempo e Clima no Brasil. Editora Oficina de Textos.
- Kousky, V. E, 1980. Diurnal rainfall variation in the Northeast Brazil. Monthly Weather Review [Online] 108. Disponível: https://journals.ametsoc.org/view/journals/mwr/108/4/1520-0493_1980_108_0488_drvinb_2_0_co_2.xml. Acesso: 22 mar. 2021.
- Kousky, V.E.; Gan, M. A., 1981. Upper Tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. Tellus [Online] 33. Disponível: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3402/tellusa.v33i6.10775>. Acesso: 29 jun. 2021.
- Linhares, L. I. M., Ximenes, A. V. S. F. M., Monteiro, J. B., 2021. Secas e políticas públicas no semiárido brasileiro: um debate oportuno acerca do binômio combate a seca x convivência com o semiárido. Geopauta [Online] 5. Disponível: <https://periodicos2.uesb.br/index.php/geo/article/view/9233/6278>. Acesso: 15 fev. 2022.
- Madden, R. A.; Julian, P. R., 1972. Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40-50 day period. Journal of the Atmospheric Sciences [Online] 29. Disponível: https://journals.ametsoc.org/view/journals/atsc/29/6/1520-0469_1972_029_1109_dogscc_2_0_co_2.xml. Acesso: 21 mar. 2021
- Maddox, R. A., 1980. Mesoscale Convective Complexes. Bulletin of the American Meteorological Society [Online] 61. Disponível: <https://www.jstor.org/stable/26221473>. Acesso: 20 mar. 2021
- Mello, A. B. C. de, Cavalcanti, I. F. de A., Souza, P. P., 2009. Zona de Convergência Intertropical do Atlântico. In: Cavalcanti, I. F. de A., Ferreira, N. J., Silva, M. G. A. J. da, Silva Dias, M. A. F. da (org). Tempo e Clima no Brasil. Editora Oficina de Textos.
- Mendonça, F., Danni-oliveira, I. M., 2007. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. Editora Oficina de Textos.
- Monteiro, C. A. de F., 1968. Clima. Editora IBGE.
- Monteiro, J. B., Zanella, M. E., 2019. Eventos Extremos no estado do Ceará, Brasil: uma análise estatística de episódios pluviométricos no mês de março de 2019. Geotextos [online]. Disponível: <https://periodicos.ufbs.br/index.php/geotextos/article/view/32093/20222>. Acesso: 15 fev. 2022.
- Monteiro, J. B., Zanella, M. E., Pinheiro, D. R. de C., 2021. A contribuição da técnica dos quantis na identificação de extremos de chuva e de uma metodologia para detectar situações de desastre natural no semiárido cearense. Revista Geografias [online] 17. Disponível: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografia/article/view/36790/29249>. Acesso: 15 fev. 2022.
- Moraes, R. C. de S., Abreu, L. P. de, 2021. Análise Espacial da variabilidade de precipitação na bacia hidrográfica do rio Parnaíba, Nordeste de Brasil. Revista da Academia de Ciências do Piauí [Online] 2. Disponível: <https://periodicos.ufpi.br/index.php/acipi/article/view/902/811>. Acesso: 20 fev. 2022.
- Moura, M. S. B, Espínola Sobrinho, J, Silva, T. G. F. da, Souza, W. M. de, 2019. Aspectos meteorológicos do semiárido brasileiro. In: Ximenes, L. F., Silva, M. S. L. da, Brito, L. T. de L., 2019. Tecnologias de convivência com o semiárido brasileiro. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil.
- NOAA. National Oceanic Atmosphere Administration, 2014. The Walker Circulation: ENSO's atmospheric buddy. ENSO Blog. Disponível: <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/walker-circulation-ensos-atmospheric-buddy>. Acesso: 07 out 2020.
- Nobre, P., 1984. Fonte de calor nos trópicos e escoamentos anômalos de larga escala associados com anomalias de precipitação no Nordeste do Brasil (Dissertação de Mestrado),

- Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, São José dos Campos, SP, Brasil.
- Passos, R. B. dos, Preisser, G. B., Reboita, M. S., Mattos, E. V., 2019. Revista Terrae Didática [Online] 15. Disponível: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/td/article/view/8653308/19327>. Acesso: 20 fev. 2022.
- Reboita, M.S., Campos, B. de, Santos, T., Gan, M. A., Carvalho, V. S. B., 2017. Análise sinótica e numérica de um VCAN no Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Geografia Física [Online], 10. Disponível: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233969>. Acesso: 16 mar. 2021.
- Reboita, M.S., Rocha, R.P., Oliveira, D.M., 2019. Key Features and Adverse Weather of the Named Subtropical Cyclones over the Southwestern South Atlantic Ocean. Atmosphere [Online] 10. Disponível: <https://www.mdpi.com/2073-4433/10/1/6>. Acesso: 28 mar. 2021.
- Reboita, M.S., Rodrigues, M., Armando, R.P., Freitas, C., Martins, D., Miller, G., 2016. Causas da semi-aridez do sertão nordestino. Revista Brasileira de Climatologia [Online] 19. Disponível: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/42091>. Acesso: 25 mar. 2021.
- Rodrigues, B.D., Coutinho, M. D. L., Sakamoto, M. S., Jacinto, L. V., 2021. Uma análise sobre as chuvas no Ceará baseada nos eventos de El Niño, La Niña e no Dipolo de Servain durante a estação chuvosa. Revista Brasileira de Climatologia [Online] 28. Disponível: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/76238/43620>. Acesso: 15 fev. 2022.
- Santos, D.F., Reboita, M.S., 2018. Jatos de baixos níveis a leste dos andes: comparação entre duas reanálises. Revista Brasileira de Climatologia [Online] 22. Disponível: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/47595>. Acesso: 04 abr. 2021.
- Santos, S. R. Q. dos, Cunha, A. P. M. do A., Ribeiro-Neto, G. G., 2019. Avaliação de dados de precipitação para o monitoramento do padrão espaço-temporal da seca no nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Climatologia 25. Disponível: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/62018/38884>. Acesso: 15 fev. 2022.
- Silva Dias, M. A. F. da, Rozante, J. R., Machado, L. A., 2009. Complexos Convectivos de Mesoescala na América do Sul. In: Cavalcanti, I. F. de A., Ferreira, N. J., Silva, M. G. A. J. da, Silva Dias, M. A. F. da (org). Tempo e Clima no Brasil. Editora Oficina de Textos.
- Silva, D. F. da, Souza Neto, P. F. de, Silva, S. D. da., Lima, M. J. da S., Cavalcante, I. B. da S., Oliveira, S. T. de, Mendonça, H. da S., Batista, B. A., Rocha, L. H. dos S., Almeida, H. R. R. de C., Pereira, M. P. S., Araújo, L. E. de, 2021. Identificação das causas climáticas dos eventos extremos e dos impactos dos ENOS Canônico e Modoki nas macrorregiões de Alagoas. Revista Brasileira de Geografia Física [Online] 14. Disponível: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/245189/39004>. Acesso: 16 fev. 2022.
- Silva, F. F., Santos, F. de A. dos, Santos, J. M. dos, 2020. Índice de Anomalia de Chuva (IAC) aplicado ao estudo das precipitações no município de Caridade, Ceará, Brasil. Revista Brasileira de Climatologia [Online] 27. Disponível: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/74274/41377>. Acesso: 15 fev. 2022.
- Silva, G. de A., Farias, C. W. L. de A., 2021. Análise espaço-temporal da vegetação no semiárido do Nordeste brasileiro utilizando parâmetros biofísicos. Revista Semiárido de Visu [Online] 9. Disponível: <https://revistas.ifsertao-pe.edu.br/index.php/rsdv/article/view/232/318>. Acesso: 20 fev. 2022.
- Silva, J. P. R., Reboita, M. S., Escobar, G. C. J., 2019. Caracterização da Zona de Convergência do Atlântico Sul em campos atmosféricos recentes. Revista Brasileira de Climatologia [online] 25. Disponível: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/64101/39277>. Acesso: 15 fev. 2022.
- Souza, C. A. de, Reboita, M. S., 2021. Ferramenta para o monitoramento dos padrões de teleconexão na América do Sul. Revista Terrae Didática [Online] 17. Disponível: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/td/article/view/8663474/26388>. Acesso: 20 fev. 2022.
- Souza Neto, P. F. de, Silva, D. F. da, Almeida, H. R. R. C., 2021. Análise da Variabilidade Climática dos Oceanos Atlântico e Pacífico. Revista Brasileira de Geografia Física [Online] 14. Disponível: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/245182>. Acesso: 16 fev. 2022.
- SUDENE. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, 2017a. Resolução nº 115, de 23 de novembro de 2017. Conselho Deliberativo da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 26-27, 23 nov.
- SUDENE. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, 2017b. Conselho Deliberativo.

- Resolução nº 107, de 27 de julho de 2017. Estabelece critérios técnicos e científicos para delimitação do Semiárido Brasileiro e procedimentos para revisão de sua abrangência. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 48, 27 jul.
- Teixeira, R. F. B., 2008. O fenômeno da brisa e sua relação com a chuva sobre Fortaleza-CE.
- Revista Brasileira de Meteorologia [Online] 23. Disponível: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/8MvPrVN8MQn7bVK5kzvsX3d/abstract/?lang=pt>. Acesso: 23 jun. 2021
- Torres, F. T. P., Machado, P. J. de O., 2011. Introdução à Climatologia. Editora Cengage Learning
- Xavier, T. de M. B. S., 2001. Tempo de chuva: estudos climáticos e de previsão para o Ceará e Nordeste setentrional. ABC Editora.