



ASPECTOS GERAIS DOS CICLONES TROPICAIS E SUBTROPICAIS OCORRIDOS NA METAREA V ENTRE 2011 E 2022

Felipe Romão Sousa Correia^{1*}

Felipe Garcez de Queiroz^{2*}

Pamella Sampaio Nascimento Amaro^{3*}

RESUMO

O Serviço Meteorológico Marinho brasileiro (SMM) é responsável pela identificação, monitoramento e divulgação de informes a respeito de ciclones subtropicais ou tropicais na sua área marítima de jurisdição (METAREA V). Tais sistemas possuem potencial significativo para impactar as operações costeiras e marítimas em função das condições adversas de tempo e mar que podem ocasionar. Desta forma, o entendimento e acompanhamento de fenômenos desta natureza são fundamentais para a salvaguarda da vida humana no mar. Atualmente, o SMM produz relatórios pós-eventos, reunindo as principais características e o histórico destes tipos de ciclones. O objetivo deste trabalho é apresentar uma compilação dos aspectos gerais e estatísticos dos ciclones subtropicais e tropicais ocorridos na METAREA V no período entre 2011 e 2022, tomando como base os dados e os relatórios disponibilizados pelo SMM.

¹ Oficial do Quadro Técnico, Meteorologista e Mestre em Meteorologia pela UFRJ. Ajudante da Seção de Previsão do CHM. Email: romao@marinha.mil.br

² Praça Especializada, Graduando em Meteorologia pela UFRJ. Auxiliar da Seção de Previsão do CHM. Email: garcez.felipe@marinha.mil.br

³ Praça Especializada Graduanda em Meteorologia pela UFRJ. Auxiliar da Seção de Previsão do CHM. Email: pamella.amaro@marinha.mil.br

Palavras-chave: Ciclone subtropical; Ciclone tropical; Serviço Meteorológico Marinho.

Keywords: Subtropical cyclone; Tropical cyclone; Marine Meteorological Service.

ABSTRACT

The Brazilian Marine Meteorological Service (MMS) is responsible for identifying, monitoring and reporting on subtropical or tropical cyclones in its maritime area of jurisdiction (METAREA V). Such systems have significant potential to impact coastal and marine operations due to the adverse weather and sea conditions they may cause. In this way, understanding and monitoring phenomena of this nature are fundamental for safeguarding human life at sea. Currently, the MMS produces post-event reports, gathering the main characteristics and history of these types of cyclones. This work aims to present a compilation of the general and statistical aspects of the subtropical and tropical cyclones that occurred in METAREA V between 2011 and 2022, based on the data and reports provided by MMS.

1. INTRODUÇÃO

O Serviço Meteorológico Marinho brasileiro (SMM), operado pelo Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), da Marinha do Brasil (MB), é o setor cuja atribuição é produzir boletins e informes meteoceanográficos para a área marítima de responsabilidade do Brasil, conhecida como METAREA V (Figura 1). Tal região é delimitada pelos paralelos de 35°50'S e 7°N, pelo meridiano de 020°W a leste e pela linha de costa brasileira, a oeste. Com o intuito de dar maior detalhamento aos informes produzidos, a METAREA V foi subdividida em subáreas, a saber:

Costeiras: ALFA (A), BRAVO (B), CHARLIE (C), DELTA (D), ECHO (E), FOXTROT (F), GOLF (G) e HOTEL (H).

Oceânicas: SUL OCEÂNICA (S) e NORTE OCEÂNICA (N).

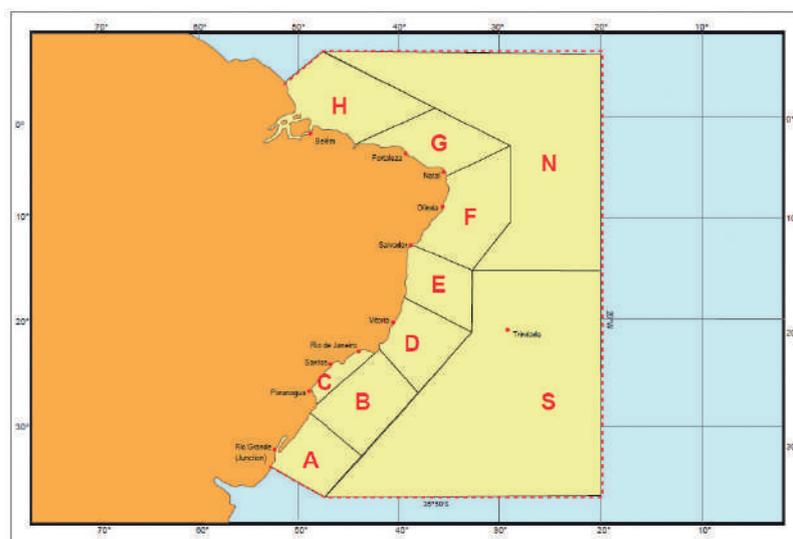


Figura 1 – Área marítima de responsabilidade brasileira para fins de emissão de informes e boletins meteoceanográficos e suas subdivisões. Fonte: NORMAM-19 (2022)



O SMM surgiu por força de atribuições legais, nacionais e internacionais, que serão discutidas com maiores detalhes nas seções a seguir. É válido ressaltar que o fornecimento de informes meteoceanográficos destina-se a embarcações de quaisquer bandeiras e para as mais diversas atividades fins, como: operações militares, tráfego comercial, atividades de esporte e recreio e transporte coletivo.

A necessidade do constante monitoramento das condições atmosféricas e oceânicas dá ao SMM um caráter ininterrupto de funcionamento. Com isso, logra-se alertar, sempre que necessário, a comunidade e as embarcações sobre os riscos envolvidos nas mais diversas atividades mediante a iminência ou ocorrência de fenômenos meteorológicos que podem ocasionar baixa visibilidade, rajadas de vento intenso, mar agitado e ressaca. Tais situações configuram avisos de mau tempo.

A maior parte dos avisos de mau tempo divulgados pelo SMM está relacionada a eventos de escala sinótica e, principalmente, à atuação de ciclones extratropicais, ou seja, centros de baixa pressão associados aos sistemas frontais. Esses fenômenos ocorrem durante todo o ano, com variações sazonais em seu deslocamento, atingindo latitudes menores durante o período do outono-inverno.

Contudo, há uma classe específica de avisos de mau tempo que são utilizados para alertar sobre a possibilidade de formação ou iminência de um ciclone com características subtropicais ou tropicais na METAREA V. Tais informes são denominados avisos de mau tempo especiais, ou simplesmente avisos especiais. Nestes

avisos constam a localização atual e posições prognosticadas para a evolução do ciclone, valor central da pressão atmosférica, subáreas afetadas e características de vento e mar associados, conforme preconizado pela NORMAM-19 (2022). A emissão dos avisos especiais ocorre em função da baixa frequência destes tipos de ciclones no oceano Atlântico Sul (Gozzo, 2014). Além disso, a MB como órgão oficial responsável, ao emitir o aviso especial, cumpre seu papel de ser referência nas informações oficiais sobre o fenômeno, contribuindo assim para que a mídia veicule matérias com dados precisos e para que não haja confusão destes com os sistemas frontais que são mais frequentes.

No intuito de fomentar estudos sobre a ocorrência de tais ciclones na METAREA V, bem como manter um registro histórico do monitoramento, o SMM disponibiliza relatórios pós-eventos relativos aos fenômenos ocorridos a partir de 2011. Estes documentos perfazem uma compilação das informações oficiais divulgadas pelo SMM, tais como avisos especiais, notas à imprensa, posicionamento e trajetória (provenientes da carta sinótica); e também de dados estimados e/ou observados de variáveis meteoceanográficas que caracterizem o ciclone, tais como pressão atmosférica, velocidade e direção do vento, altura de onda e temperatura da superfície do mar (TSM).

Além disso, é possível correlacionar tais informações com as fases do El Niño Oscilação Sul (ENOS), de modo a obter uma caracterização climatológica de sistemas subtropicais e tropicais. Com base nessa argumentação, o objetivo deste

trabalho é utilizar as informações dos relatórios pós-evento para compilar aspectos gerais e estatísticos dos ciclones subtropicais e tropicais ocorridos na METAREA V no período entre 2011 e 2022.

2. CICLONES SUBTROPICAIS E TROPICAIS

2.1. Definição

De maneira geral, o termo “ciclone” é utilizado para identificar sistemas de baixa pressão atmosférica que, no hemisfério sul, são caracterizados pelo giro do vento no sentido horário no entorno destes sistemas. A caracterização das fases de ciclones depende do perfil vertical de temperatura encontrado a partir do núcleo do sistema em superfície.

Ciclones tropicais são caracterizados por núcleo quente e profundo em águas tropicais ou subtropicais (MATHIAS, 2012), não estão associados a sistemas frontais e possuem convecção profunda e organizada, além do vento apresentando circulação fechada na superfície fechada, em torno de um centro bem definido. Já os subtropicais possuem núcleo quente em baixos níveis da troposfera, sobrepostos por um núcleo mais frio na alta troposfera (GOZZO, 2014; DA ROCHA *et al.*, 2019; MATHIAS *et al.*, 2022). Os ciclones subtropicais apresentam ventos mais intensos a uma distância a cerca de 110 km do centro do sistema (NORMAM-19, 2022), campo de espessura menos simétrico, mais cisalhamento vertical do vento e atividade convectiva mais esparsa do que os ciclones tropicais.

Um ciclone subtropical ou tropical é classificado de acordo com a intensidade do vento como Depressão, quando a velocidade do vento próxima ao centro é igual ou inferior a 33 nós, e passa a ser denominado como Tempestade quando o vento atinge 34 nós de intensidade, recebendo um nome, conforme listagem prévia constante na NORMAM-19 (2022) para ciclogêneses dentro da METAREA V. No caso específico de Tempestades Tropicais (TT), quando o vento ultrapassa 64 nós, a TT passa a ser chamada de Furacão. Não há registros de Tempestades Subtropicais (TS) que tenham atingido ou superado 64 nós.

2.2. Identificação operacional

A detecção de centros de baixa pressão em ambiente operacional, ou seja, em serviços meteorológicos, é feita com base no campo de pressão ao nível médio do mar. Este campo é obtido a partir da análise de dados observados de estações e boias meteoceanográficas que resultam em isóbaras (linhas de igual valor de pressão atmosférica) nas cartas sinóticas de superfície, ou é proveniente de prognóstico de modelos numéricos de previsão do tempo para um horário especificado.

Contudo, para a classificação de ciclones subtropicais e tropicais devem ser analisadas ferramentas numéricas que auxiliem a identificação do perfil vertical de temperatura e da variação do vento ao redor do núcleo do ciclone.

Hart (2003) desenvolveu uma ferramenta conhecida como diagrama de fases, que utiliza prognósticos de modelos



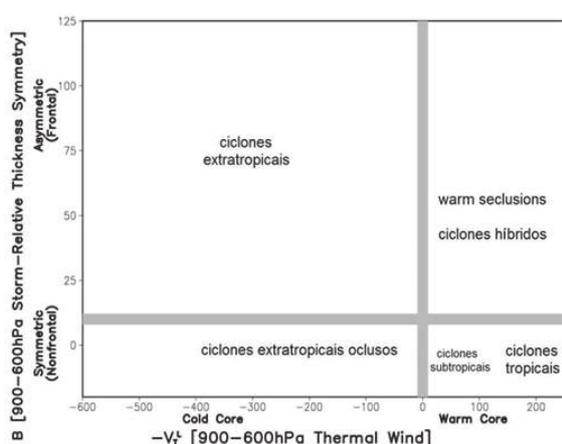
numéricos para avaliar o perfil vertical de temperatura e vento dos ciclones. Recentemente, os estudos de Mathias *et al.* (2022) apresentam exemplos de classificações de ciclones com base nos diagramas de fase para fins operacionais.

A Figura 2 indica os parâmetros necessários para definir a temperatura do núcleo e a simetria do campo de espessura do ciclone. Os parâmetros avaliados indicam a simetria do ciclone entre 600 e 900 hPa (B); o vento térmico em baixos níveis, representado pela camada entre 600 e 900 hPa ($-V_T^L$); e o vento térmico em altos níveis, representado pela camada entre 600 e 300 hPa ($-V_T^U$). É possível verificar que ciclones subtropicais devem possuir simetria vertical ($B \cong 0$), ou seja, apresentar barotropia na baixa troposfera, núcleo quente em baixos níveis ($-V_T^L > 0$) e frio em altos níveis ($-V_T^U < 0$). Ao passo que ciclones tropicais são caracterizados

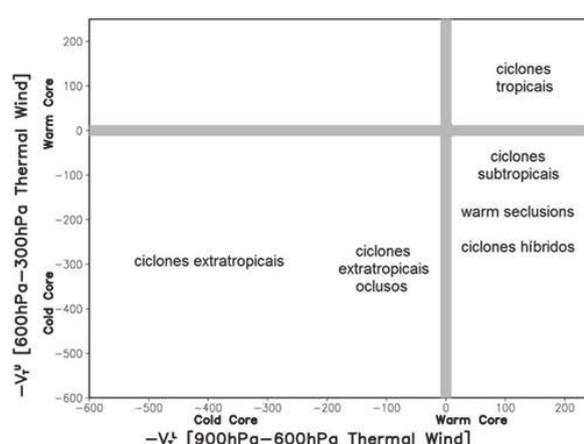
também por elevada barotropia ($B \cong 0$), mas possuem um núcleo quente que se estende por toda a troposfera ($-V_T^L > 0$ e $-V_T^U > 0$).

Para exemplificar a utilização operacional de tal ferramenta, são apresentados diagramas de fase disponibilizados pela *Florida State University* (FSU) para a TT Iba (Figura 3), ocorrida em março de 2019, e para a TS Yakecan (Figura 4), ocorrida em maio de 2022. Os diagramas de fase são aqueles definidos por Hart (2003) e apresentam a evolução temporal dos ciclones ao longo de seu ciclo de vida. O ciclone Iba inicia como um sistema simétrico (Fig. 3a) com núcleo quente e profundo (Fig. 3a e 3b).

Já o ciclone Yakecan ganha simetria ao longo do dia 17 (Fig. 4a), quando passa a ser classificado como subtropical, possuindo núcleo quente em baixos níveis e frio em altos níveis (Fig. 4a e 4b).



a)



b)

Figura 2 – Desenho esquemático de um diagrama de fases mostrando as possíveis classificações que um ciclone pode receber, utilizando os parâmetros (a) B e $-V_T^L$ e (b) $-V_T^L$ e $-V_T^U$. Fonte: Hart (2003), adaptado por Mathias (2012)

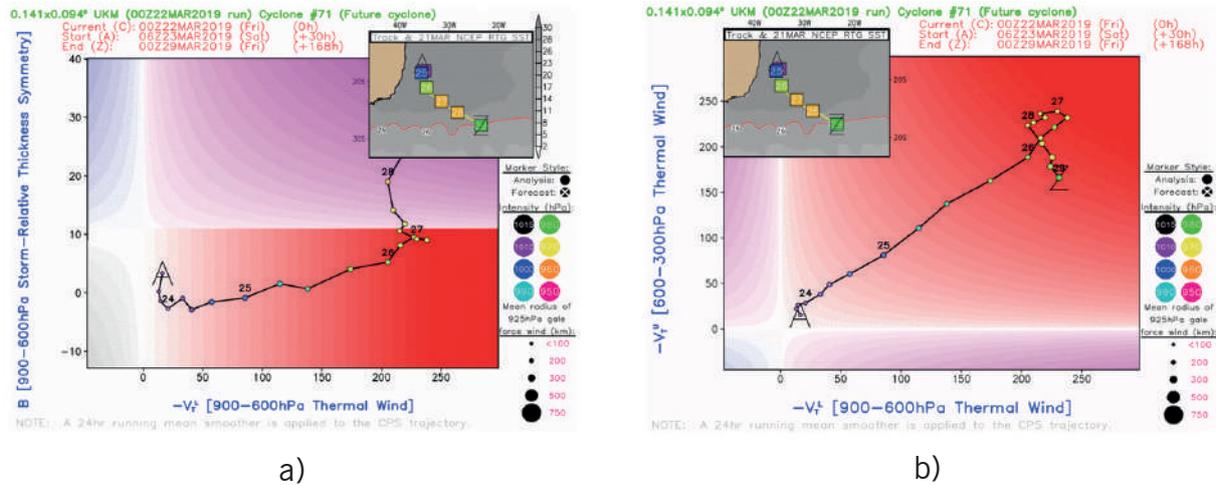


Figura 3 – Diagrama de fase de 00Z do dia 22MAR2019 do modelo numérico de previsão do tempo UKMET referente ao centro de baixa pressão associado ao ciclone tropical Iba com avaliação dos parâmetros (a) B e $-V_T^L$ e (b) $-V_T^L$ e $-V_T^U > 0$). Fonte: FSU

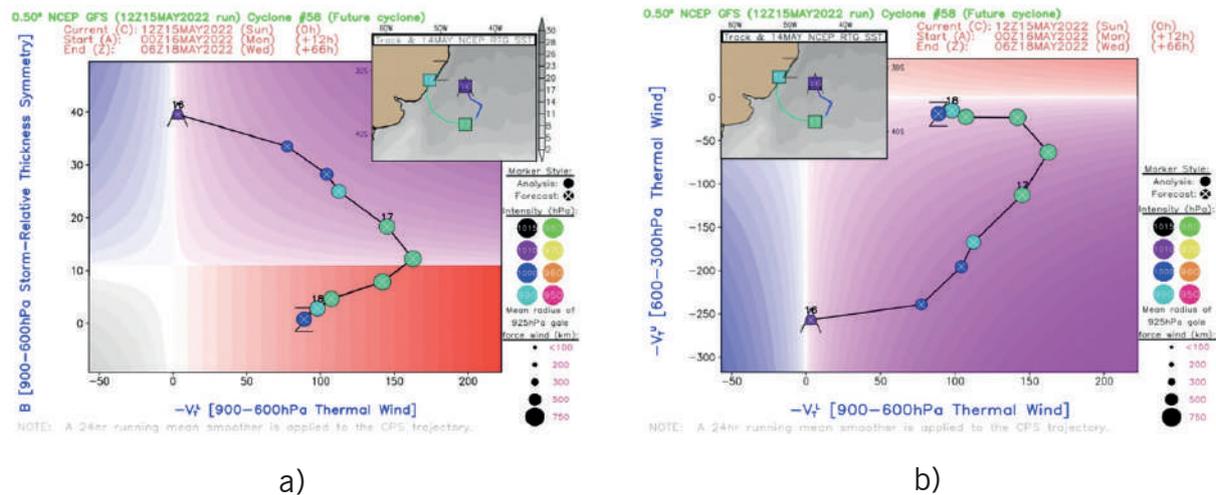


Figura 4 – Diagrama de fase de 12Z do dia 15MAI2022 do modelo numérico de previsão do tempo GFS referente ao centro de baixa pressão associado ao ciclone subtropical Yakecan com avaliação dos parâmetros (a) B e $-V_T^L$ e (b) $-V_T^L$ e $-V_T^U > 0$). Fonte: FSU

Após a identificação da natureza do sistema, a velocidade do vento no entorno do ciclone é estimada através de sensores encontrados a bordo de satélites de órbita polar, conhecidos como escaterômetros. Tais sensores estimam a velocidade e direção do vento com base na rugosidade da superfície do mar. Um exemplo da utilização prática dos escaterômetros pode ser visto através da passagem do satélite METOP-C que capturou a TS Raoni, em

junho de 2021 (Figura 5a). É possível notar que, no momento da passagem do satélite, Raoni apresentava ventos de cerca de 50 nós no setor sudoeste. Além dos escaterômetros, é comum utilizar estimativas da velocidade do vento oriundas de outro sensor satelital: o radiômetro. Um exemplo deste produto aparece na Figura 5b, onde são encontradas velocidades de aproximadamente 50 nós na área ALFA, na tarde do dia 29 de junho 2021, também associadas a TS Raoni.

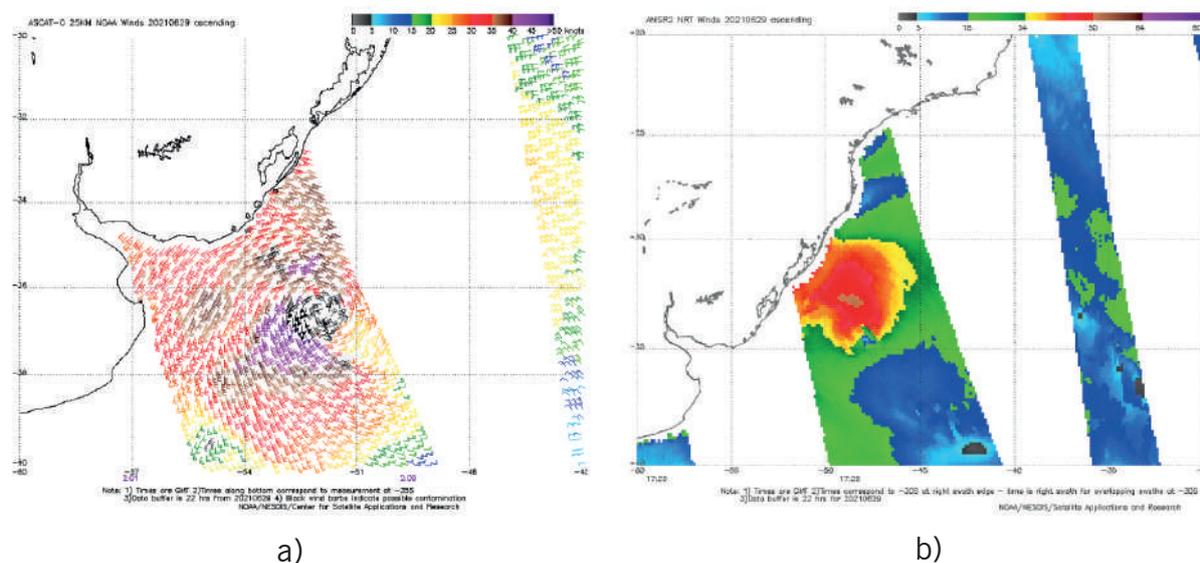


Figura 5 – (a) Estimativa de direção e intensidade do vento pelo escaterômetro ASCAT do satélite METOP-C às 02:00Z do dia 29 de Junho 2021 e (b) estimativa de intensidade do vento pelo radiômetro GCOMW1 do satélite AMSR-2 às 17:25Z do dia 29 de Junho 2021. Fonte: NESDIS/NOAA

3. SERVIÇO METEOROLÓGICO MARINHO BRASILEIRO

3.1. Atribuições legais

A existência de um serviço meteorológico voltado para regiões marítimas é uma das responsabilidades provenientes da assinatura conjunta de diversos países durante a Convenção Internacional para Salvaguarda da Vida Humana no Mar (SOLAS, 1974), sendo o Brasil um dos governos contratantes. Conforme as orientações no âmbito da Segurança da Navegação para serviços e avisos meteorológicos, o Brasil se compromete a manter um serviço meteorológico ininterrupto voltado à sua área marítima de jurisdição. As diretrizes específicas para manutenção e operação destes tipos de serviço constam no Manual de Serviços Meteorológicos

Marinhos da Organização Meteorológica Mundial (WMO-558, 2018).

O comprometimento internacional do Brasil refletiu-se em âmbito nacional através do Decreto Nacional nº. 92.610/1986, que promulga o Protocolo de 1978 relativo à SOLAS de 1974. Por conseguinte, a atribuição de gerenciar um serviço meteorológico marinho coube à Marinha do Brasil em função do Decreto Nacional nº. 7.092/1972, que já atribuía a esta Força Armada a “Supervisão, orientação, pesquisa e desenvolvimento das atividades concernentes à meteorologia marinha”. O Centro de Hidrografia da Marinha insere-se nesse contexto como órgão de operacionalização do SMM como subdelegação de competência da Diretoria de Hidrografia e Navegação, exercendo assim as atribuições relativas a representação da Autoridade Marítima Brasileira para a Segurança da Navegação.

3.2. Monitoramento de Ciclones Subtropicais e Tropicais

O advento do ciclone Catarina, ocorrido em março de 2004, quebrou o paradigma de que não ocorriam ciclones tropicais no oceano Atlântico Sul. Na época, não havia ainda procedimentos padronizados em relação às medidas que deveriam ser tomadas mediante um fenômeno dessa natureza, por parte do SMM. Contudo, foram emitidos, à época, avisos de vento, mar e ressaca que orientassem a população e embarcações sobre as condições adversas.

Mais tarde, em maio de 2008, aconteceu no Rio de Janeiro/RJ o Encontro Internacional de Ciclones do Atlântico Sul, onde pesquisadores nacionais e internacionais uniram-se ao setor operacional para ampliar conhecimentos sobre o assunto, trazendo ferramentas que auxiliassem a previsão de ciclones. Neste evento foi apresentado o conceito de Diagrama de Fases, já discutido neste trabalho como de suma importância para avaliar a natureza do ciclone.

Em março de 2010, o oceano Atlântico Sul apresentou condições dinâmicas e termodinâmicas favoráveis à ocorrência do ciclone Anita. O ciclone recebeu este nome em homenagem à Anita Garibaldi, em função de sua formação próxima ao litoral de Santa Catarina, cidade natal da líder revolucionária.

Fruto da necessidade de identificar e monitorar a gênese e evolução de ciclones subtropicais e tropicais, além de padronizar os critérios para atribuição de nomes às tempestades, surge a publicação

naval NORMAM-19 (Normas da Autoridade Marítima para as Atividades de Meteorologia Marítima). Tal documentação dita, dentre outros assuntos, as diretrizes que orientam as ações que devem ser tomadas em relação a ciclones tropicais e subtropicais na METAREA V, bem como os nomes de origem indígena que devem ser atribuídos aos sistemas que atingirem a classificação de tempestade. Portanto, foi estabelecido que a nomenclatura oficial é de responsabilidade da MB, em função de sua jurisdição sobre a METAREA V. Além disso, conforme já mencionado, a adoção de um nome facilita a divulgação de informações sobre o sistema tanto pelo SMM quanto nos veículos de mídia.

O detalhamento dos procedimentos operacionais para monitoramento de ciclones subtropicais e tropicais na METAREA V pelo SMM está definido em 5 etapas, como ilustrado no fluxograma da Figura 6. A identificação de ciclones ocorre com base nos prognósticos de modelos numéricos globais e regionais de previsão do tempo, de fonte externa ou processados pelo CHM. Em seguida, avalia-se as características do tipo de núcleo do ciclone com auxílio dos diagramas de fase e as condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento do sistema, como o campo de TSM e os padrões da dinâmica troposférica. Ainda nesta etapa, verifica-se se há persistência nas previsões subsequentes dos modelos numéricos, mantendo o sistema com características subtropicais ou tropicais. De modo a equalizar a informação divulgada, são realizados contatos laterais com centros meteorológicos operacionais nacionais, a



Figura 6 – Fluxograma de ações a serem tomadas pelo SMM mediante iminência ou prognóstico de formação de sistemas subtropicais ou tropicais na METAREA V

exemplo do Centro Integrado de Meteorologia Aeronáutica (CIMAER), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); e internacionais, a exemplo do *Weather Prediction Center* (WPC) e do *National Hurricane Center* (NHC). Ato contínuo, a divulgação ocorre por meio da emissão do aviso especial, da plotagem do sistema na carta sinótica e do detalhamento das informações técnicas nas notas à imprensa.

4. METODOLOGIA E DADOS

4.1. Relatórios pós-eventos e fonte de dados

Os relatórios pós-eventos gerados pelo SMM foram utilizados como fonte para o presente estudo. Tais documentos utilizam como base dados e informações de origem interna, sendo estes gerados pelo SMM (cartas sinóticas, avisos de mau tempo, trajetória estimada e notas oficiais conjunta à imprensa), e externa, como imagens de satélite de órbita polar e geostacionários, ferramentas operacionais derivadas de modelos numéricos

de previsão do tempo (diagramas de fase), estimativas de sensores satelitais para obtenção da direção e velocidade do vento, altura da onda e TSM.

A documentação dos relatórios pós-evento apresenta uma estrutura uniforme que permite identificar as principais características de cada ciclone, possibilitando a comparação entre eles. Podem ser observados os seguintes elementos:

- Ficha-resumo – classificação alcançada; período de atuação e duração com base nas cartas sinóticas do SMM; emissão do primeiro aviso de mau tempo especial; subáreas afetadas da METAREA V; direção média de deslocamento e estimativa/observação do vento máximo e da maior altura de onda.

- Análise sinótica – configuração sinótica antes, durante e logo após o decaimento do sistema, com base no sequenciamento das cartas sinóticas produzidas pelo SMM e, eventualmente, em imagens de satélites e diagramas de fase de modelos numéricos de previsão do tempo.

- Avisos de mau tempo emitidos – número, data de emissão, classificação informativa e validade do(s) aviso(s) especial(is) emitido(s).

- Notas oficiais à imprensa – relação de notas oficiais à imprensa emitidas em parceria com o CIMAER, INMET e INPE, que servem como instrumento de divulgação dos avisos especiais em decorrência da formação de ciclones subtropicais e tropicais na METAREA V, evidenciando os estados que foram alertados.

- Trajetória estimada – coordenadas geográficas da posição dos sistemas, com intervalos de 12 horas, durante o período de atuação, com base na informação da carta sinótica.

- Dados observados – registros feitos por estações meteorológicas de superfície, de aeródromo, boias meteorológicas ou reportes de navios, que estivessem localizados próximo a trajetória do ciclone e permitissem sua avaliação.

- Dados estimados – estimativas obtidas por sensores a bordo de satélites em órbita polar, tais como escatêrometros, radiômetros e altímetros, que indicam a velocidade e direção do vento e a altura da onda, respectivamente, além de TSM obtida por interpolação otimizada. Nesta seção, para os ciclones Arani, Bapo e Cari, em substituição aos altímetros, foram utilizados dados da reanálise ERA5 (HERBASCH *et al.*, 2018) para caracterizar o estado do mar.

4.2. Metodologia

Dados dos relatórios pós-evento foram analisados com foco em métricas estatísticas, de forma a evidenciar as características tanto do monitoramento do SMM quanto dos fenômenos meteorológicos. Os aspectos avaliados foram frequência de

ocorrência, ambiente sinótico no momento da formação, trajetória preferencial, mínimo de pressão atmosférica, máximos de velocidade do vento e altura das ondas e, por fim, relação com as fases positiva, negativa e neutra do ENOS.

5. ANÁLISE DE RESULTADOS

5.1. Características gerais

Conforme informações disponibilizadas pelo SMM, no período de 2011 a 2022 contabilizou-se a ocorrência de 5 Depressões Subtropicais (DS), 14 Tempestades Subtropicais (TS) e 1 Tempestade Tropical (TT) na METAREA V. Os respectivos períodos de atuação, duração em horas e a emissão do primeiro aviso especial constam na Tabela 1. As datas de cada evento foram compiladas tomando-se por base sua identificação na carta sinótica. A duração destes eventos variou entre 12 horas (DS#01-2014), sendo este o ciclone mais curto, até 132 horas (TS Potira), sendo este o mais longo. Cada evento durou em média 2 dias e 6 horas (54 horas).

Outra informação que consta na Tabela 1 é a data de emissão do primeiro aviso de mau tempo especial pelo SMM. Até 2016, devido a constantes mudanças de procedimentos, não havia um padrão do momento da emissão do aviso de mau tempo especial. A partir da TS Guará, em 2017, os avisos passaram a ser divulgados com antecedência a formação do sistema, inclusive este em sua fase de DS. Não se obteve registro de aviso especial em decorrência da DS#01-2016.



A TS Yakecan apresentou a emissão mais antecipada, com 56 horas de antecedência, seguida pela TS Kurumí (47 horas) e pela TS Oquirá (45 horas). A divulgação antecipada dos avisos especiais reflete diretamente a maior habilidade na previsão de tais sistemas e, por conseguinte, a maior confiabilidade na representação

das características sinóticas destes pelos modelos numéricos de previsão do tempo.

De modo a obter-se uma análise climatológica da ocorrência dos eventos, os dados da Tabela 1 foram usados para confeccionar as Figuras 7 e 8, que representam as frequências mensal e anual das perturbações atmosféricas, respectivamente.

Tabela 1 – Período de atuação, duração em horas e emissão do primeiro aviso especial das depressões subtropicais, tempestades subtropicais e da tempestade tropical ocorridas na METAREA V entre 2011 e 2022. Fonte: CHM/MB

Ciclone	Início	Fim	Duração (horas)	Aviso especial
TS Arani	14MAR2011 (12Z)	17MAR2011 (00Z)	60	15MAR2011 (15:00Z)
DS#01-2014	20FEV2014 (12Z)	21FEV2014 (00Z)	12	20FEV2014 (11:30Z)
DS#02-2014	27MAR2014 (12Z)	29MAR2014 (00Z)	36	27MAR2014 (14:30Z)
DS#01-2015	23JAN2015 (12Z)	24JAN2015 (12Z)	24	23JAN2015 (13:20Z)
TS Bapo	05FEV2015 (12Z)	08FEV2015 (00Z)	60	06FEV2015 (15:30Z)
TS Cari	10MAR2015 (12Z)	13MAR2015 (00Z)	60	11MAR2015 (02:00Z)
DS#01-2016	05JAN2016 (12Z)	07JAN2016 (00Z)	36	---
TS Deni	15NOV2016 (12Z)	16NOV2016 (12Z)	24	16NOV2016 (02:30Z)
TS Eçaí	05DEZ2016 (00Z)	06DEZ2016 (12Z)	36	04DEZ2016 (23:45Z)
TS Guará	09DEZ2017 (12Z)	11DEZ2017 (00Z)	36	08DEZ2017 (16:00Z)
TT Iba	23MAR2019 (12Z)	28MAR2019 (00Z)	108	21MAR2019 (20:00Z)
TS Jaguar	20MAI2019 (00Z)	22MAI2019 (00Z)	48	20MAI2019 (04:00Z)
TS Kurumí	23JAN2020 (12Z)	25JAN2020 (00Z)	36	21JAN2020 (13:00Z)
TS Mani	25OUT2020 (12Z)	27OUT2020 (12Z)	48	24OUT2020 (15:00Z)
TS Oquirá	27DEZ2020 (12Z)	30DEZ2020 (12Z)	72	25DEZ2020 (15:00Z)
DS#01-2021	14FEV2021 (12Z)	17FEV2021 (00Z)	60	14FEV2021 (14:00Z)
TS Potira	19ABR2021 (12Z)	25ABR2021 (00Z)	132	18ABR2021 (16:00Z)
TS Raoni	29JUN2021 (00Z)	01JUL2021 (12Z)	60	28JUN2021 (17:00Z)
TS Ubá	10DEZ2021 (00Z)	13DEZ2021 (00Z)	72	09DEZ2021 (16:00Z)
TS Yakecan	17MAI2022 (00Z)	19MAI2022 (12Z)	60	14MAI2022 (16:00Z)

A análise da Figura 7 permite identificar que os meses de maior frequência desses tipos de fenômenos são março e dezembro, sendo que o mês de dezembro possui a maior frequência de tempestades subtropicais enquanto que em março aparecem os três tipos de fenômenos estudados. Para o período do ano entre os meses de julho e setembro, não se observou a gênese dos referidos ciclones. Ou seja, os meses com os menores valores médios de TSM no sudoeste do oceano Atlântico Sul foram os meses sem ocorrência de sistemas subtropicais. E, embora valores altos de TSM sejam uma importante condição para a formação de ciclones tropicais (GRAY, 1979), esta condição não é um consenso para ciclones subtropicais.

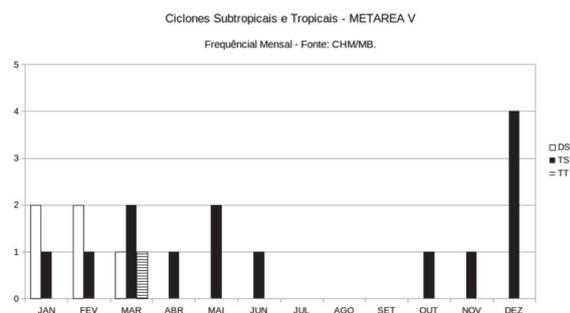


Figura 7 – Frequência mensal de ciclones tropicais e subtropicais na METAREA V entre 2011 e 2022 classificados pelo SMM, onde DS – Depressão Subtropical, TS – Tempestade Subtropical e TT – Tempestade Tropical. Fonte: CHM/MB

Conforme pode ser visualizado na Figura 8, 2021 foi o ano de maior ocorrência de sistemas subtropicais, com total de 4 eventos, sendo 1 DS e 3 TS, seguido pelo ano de 2020, com ocorrência de 3 TS. Avaliando a série temporal de ocorrências anuais, é perceptível um crescimento do

número de eventos. Contudo, a quantidade de dados não é suficiente para discutir alguma tendência climática. Além disso, o maior número de ferramentas operacionais e de critérios de classificação objetiva também permitiu mais classificações destes eventos na METAREA V.

As seções a seguir apresentam análises referentes apenas aos sistemas que atingiram a categoria de tempestade (ventos estimados ou observados acima de 33 nós).

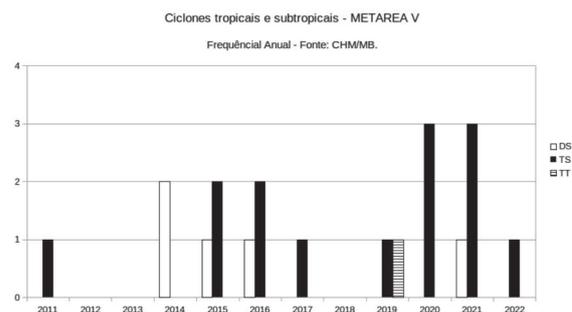


Figura 8 – Frequência anual de ciclones sub tropicais e tropicais na METAREA V entre 2011 e 2022 classificados pelo SMM, onde DS – Depressão Subtropical, TS – Tempestade Subtropical e TT – Tempestade Tropical. Fonte: CHM/MB

5.2. Ambiente sinótico de origem

Foram documentados, com base nas cartas sinóticas do SMM, os sistemas atmosféricos precursores das tempestades subtropicais e tropical. Considerou-se o fenômeno que aparecia no local de formação do ciclone na carta sinótica imediatamente anterior a formação deste. Os resultados contabilizados estão presentes na Tabela 2.



Tabela 2 – Sistema sinótico percussor das tempestades subtropicais e da tempestade tropical ocorridas na METAREA V entre 2011 e 2022. Fonte: CHM/MB

Baixa pressão	Cavado	Ciclone extratropical	Seclusão quente
Cari (MAR2015) Eçaí (DEZ2016) Iba (MAR2019) Kurumí (JAN2020) Oquirá (DEZ2020) Potira (ABR2021)	Bapo (FEV2015) Deni (NOV2016) Guará (DEZ2017) Jaguar (MAI2019) Mani (OUT2020)	Arani (MAR2011) Ubá (DEZ2021) Yakecan (MAI2022)	Raoni (JUN2021)

Nota-se que 5 TS (cerca de 33% do total) tiveram sua origem em sistemas de baixa pressão presentes na atmosfera, ou seja, ciclones apresentando apenas o mínimo de pressão atmosférica em torno de um núcleo com isóbara fechada e giro horário do vento. Nesta classe, encontra-se também a TT Iba.

Cavados atmosféricos (prolongamento de sistemas de baixa pressão) foram responsáveis por um terço da origem das TS entre 2011 e 2022 na METAREA V. Nesta classe encontra-se a TS Jaguar que ocorreu fora do período primavera-verão, quando ocorreram a maioria das tempestades.

A parcela menor restante das TS é originária de ciclones extratropicais. Nestes casos, ocorreu o processo de transição de fase, onde um sistema de baixa pressão, que inicialmente possuía núcleo frio, aprisionou ar quente em seu interior, dando origem a uma seclusão quente. A região do oceano Atlântico Sudoeste possui condições favoráveis a este processo, conforme mostram Oliveira (2019) e Mathias *et al.* (2022). A TS Raoni foi um dos casos cuja seclusão quente promoveu a simetria vertical, originando um sistema híbrido subtropical. Nos casos da TS Arani, Ubá e

Yakecan, sugere-se que a baixa oclusa associada ao sistema frontal fez uma rápida transição para núcleo quente, ganhando simetria vertical, em um intervalo menor do que 12 horas, espaço de tempo em que as cartas sinóticas são divulgadas.

5.3. Trajetória

A Tabela 3 representa um resumo das informações das trajetórias das tempestades subtropicais e da tempestade tropical ocorridas na METAREA V entre 2011 e 2022. De acordo com a Tabela 3, a formação e deslocamento dos ciclones ocorreram nas subáreas ALFA, BRAVO, CHARLIE, DELTA, ECHO e SUL OCEÂNICA, abrangendo assim somente a porção sul da METAREA V. O deslocamento médio preferencial dos sistemas é para sudeste, a exceção das TS Raoni e Yakecan, que apresentaram deslocamento para nordeste. É interessante destacar que ambos os sistemas se formaram em águas mais frias e se dissiparam sobre águas mais quentes (figuras de TSM não apresentadas), indicando que o ambiente marítimo aquecido não foi um fator preponderante para a manutenção da atividade convectiva. Em relação à distância de formação da costa, a

TS Arani e a TS Jaguar formaram-se mais próximo do litoral, a cerca de 100 e 111 km, respectivamente e a TS Oquira e a TS

Yakecan formaram-se com o maior afastamento, a cerca de 1186 e 928 km, respectivamente.

Tabela 3 – Subáreas da METAREA V afetadas, direção média de deslocamento e distância de formação da costa (km) das tempestades subtropicais e da tempestade tropical ocorridas na METAREA V entre 2011 e 2022. Fonte: CHM/MB

Ciclone	Subáreas da METAREA V	Deslocamento médio	Distância da costa (km)
Arani	DELTA e SUL OCEÂNICA	SE	100
Bapo	ALFA, BRAVO, CHARLIE e SUL OCEÂNICA	S/SE	123
Cari	ALFA, BRAVO e SUL OCEÂNICA	SE	370
Deni	BRAVO, CHARLIE	SE	120
Eçaí	BRAVO e SUL OCEÂNICA	E	445
Guará	DELTA e SUL OCEÂNICA	SE	250
Iba	DELTA, ECHO e SUL OCEÂNICA	S	180
Jaguar	DELTA e SUL OCEÂNICA	SE	111
Kurumí	BRAVO e SUL OCEÂNICA	SW	853
Mani	DELTA	SE	169
Oquira	SUL OCEÂNICA	SW/SE	928
Potira	BRAVO, DELTA e SUL OCEÂNICA	E	553
Raoni	ALFA e BRAVO	NE	248
Ubá	SUL OCEÂNICA	SE	903
Yakecan	ALFA, BRAVO e SUL OCEÂNICA	NE	1186

A avaliação das trajetórias dos ciclones, conforme apresentada na Figura 9, a seguir, permite identificar que todos eles apresentaram tanto a ciclogênese quanto a ciclólise em algum ponto sobre a região marítima. Ademais, constatou-se que não houve passagem sobre a porção continental. A TS Raoni (2021) e a TS Yakecan (2022) foram os sistemas que se formaram mais ao sul, deslocando-se para nordeste em média. Já a TT Iba (2019) foi o ciclone que se formou mais ao norte, em um ambiente marítimo propício à sua natureza tropical, com águas superficiais do mar aquecidas, tendo deslocado-se para sul. A TS Yakecan (2022) percorreu a maior trajetória, com deslocamento de cerca de 2745 km durante as 60 horas que esteve classificada como ciclone subtropical.

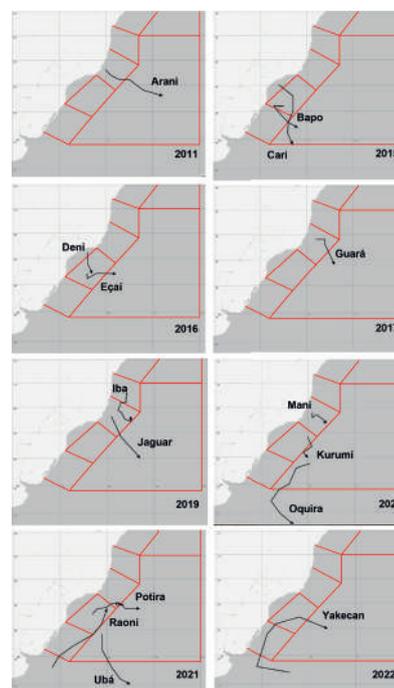


Figura 9 – Trajetórias das tempestades subtropicais e da tempestade tropical classificadas pelo SMM agrupadas por ano de ocorrência. O contorno vermelho representa as subáreas da METAREA V, conforme visto na Figura 1. Fonte: CHM/MB



5.4. Máximos observados

O grau de severidade dos ciclones subtropicais e tropicais pode ser avaliado pela ordem de grandeza das variáveis meteorológicas associadas a eles. Especificamente a velocidade do vento e a altura da onda refletem o impacto que tais fenômenos causam em seus deslocamentos. A Tabela 4 apresenta uma compilação com os valores máximos de vento e a maior altura de onda associados. Tais valores foram obtidos conforme disponibilidade de dados, sendo estimativas provenientes de sensores satelitais, como escaterômetros, radiômetros e altímetros, ou registros feitos por alguma estação terrestre, em observações para fins aeronáuticos (METAR), ou por boia meteoceanográfica.

A TT Iba mostrou-se como o fenômeno de maior grau de severidade, apresentando as maiores velocidades do vento associadas, tendo atingido 60 nós no início da madrugada do dia 25 de março de 2019, valor este obtido pelo radiômetro GCOMW1 a bordo do satélite AMSR-2. O ciclone também apresentou a maior altura de onda associada, com 8,5 metros de altura significativa no início da manhã do dia 27 de março de 2019, estimada pelo altímetro AltiKa a bordo do satélite SARAL.

A TS Cari foi o ciclone de menor intensidade do vento, com 35 nós durante a

tarde do dia 10 de março 2015, estimado pelo radiômetro GCOMW1 a bordo do satélite AMSR-2. O mesmo ciclone também apresentou a menor altura de onda associada, com 4,3 metros de altura significativa no final da manhã do dia 11 de março de 2015, estimada pelos dados da reanálise ERA5/ECMWF. Foram utilizados dados da reanálise para caracterizar as ondas durante o evento devido à falta de estimativas satelitais e boias meteoceanográficas em sua região de ocorrência. O mesmo aplicou-se às TS Arani e TS Bapo.

Cabe destacar que apenas a TS Mani teve o valor máximo da intensidade do vento registrado por uma estação meteorológica. De acordo com a Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica (REDEMET), a estação meteorológica localizada na plataforma P-25 Albacora (SBLB), distante cerca de 160 km do litoral norte do estado do Rio de Janeiro, registrou no início da manhã do dia 25 de outubro 2021 vento sustentado de 44 nós.

Em paralelo, apenas a TS Eçaí teve as maiores alturas de onda associadas registradas por uma boia meteoceanográfica. De acordo com os dados do Programa Nacional de Boias (PNBOIA) da MB, a boia de Santos, distante cerca de 210 km do litoral do estado de São Paulo, registrou altura significativa de 8,2 metros no final da noite do dia 4 de dezembro de 2016.



Tabela 4 – Vento máximo e maior altura de onda associados aos ciclones (valores em negrito), data-hora de ocorrência e origem da informação. Fonte: CHM/MB

Ciclone	Vento máximo (nós)	Maior altura de onda (metros)
Arani	45 15MAR2011 (20:42Z) WindSAT	4,6 16MAR2011 (19:00Z) ERA-5 (ECMWF)
Bapo	50 06FEV2015 (16:28Z) GCOMW1 (AMSR-2)	5,0 07FEV2015 (02:00Z) ERA-5 (ECMWF)
Cari	35 10MAR2015 (16:28Z) GCOMW1 (AMSR-2)	4,3 11MAR2015 (14:00Z) ERA-5 (ECMWF)
Deni	40 16NOV2016 (00:54Z) ASCAT (METOP-B)	7,8 16NOV2016 (11:33Z) JASON3
Eçaí	40 05DEZ2016 (00:07Z) ASCAT (METOP-A)	8,2 05DEZ2016 (02:00Z) PNBOIA – Santos
Guará	45 10DEZ2017 (02:50Z) GCOMW1 (AMSR-2)	5,9 11DEZ2017 (00:30Z) Sentinel-3
Iba	60 25MAR2019 (03:54Z) GCOMW1 (AMSR-2)	8,5 27MAR2019 (08:48Z) AltiKa (SARAL)
Jaguar	45 20MAI2019 (03:10Z) GCOMW1 (AMSR-2)	4,6 20MAI2019 (20:09Z) AltiKa (SARAL)
Kurumí	45 23JAN2020 (16:06Z) GCOMW1 (AMSR-2)	5,4 24JAN2020 (01:03Z) Sentinel-3
Mani	44 25OUT2020 (10:19Z) METAR (SBLB/REDEMETS)	5,2 27OUT2020 (05:13Z) JASON-3
Oqueira	40 28DEZ2020 (03:35Z) GCOMW1 (AMSR-2)	4,9 28DEZ2020 (12:30Z) Sentinel-3
Potira	45 21ABR2021 (22:21Z) ASCAT (METOP-A)	8,2 20ABR2021 (07:33Z) JASON3
Raoni	50 29JUN2021 (02:00Z) ASCAT (METOP-C)	7,3 29JUN2021 (17:46Z) JASON3
Ubá	40 10DEZ2021 (01:14Z) ASCAT (METOP-B)	4,7 10DEZ2021 (12:33Z) Sentinel-3
Yakecan	55 18MAI2022 (04:13Z) GCOMW1 (AMSR-2)	7,3 17MAI2022 (18:20Z) CryoSat

5.5. TSM

A análise dos valores de TSM na região de formação de ciclones é importante para avaliar a contribuição do oceano na atividade convectiva dos sistemas meteorológicos, através da liberação de

calor latente do processo de evaporação que contribui para a formação de nuvens de chuva. A Tabela 5 apresenta o valor médio da TSM e o sinal da anomalia na região de formação do ciclone durante seu período de atuação. É possível notar que há ciclones subtropicais formando-se



tanto em ambientes relativamente frios, como foi o caso da TS Raoni (16,5°C), quanto em ambientes de águas quentes, como é o caso das TS Arani, Bapo, Cari e Jaguar (26,5°C). Por outro lado, não há um padrão no sinal de anomalia, existindo ciclones formando-se tanto em águas anormalmente aquecidas ou menos resfriadas (sinal positivo) quanto em águas anormalmente resfriadas ou menos aquecidas (sinal negativo), embora, no caso das duas tempestades que se formaram com TSM inferior a 20°C, o sinal de anomalia é positivo.

Ainda em relação a Tabela 5, dos três ciclones que se formaram fora do período primavera-verão, apenas a TS Jaguar apresentou valores elevados de TSM, equivalentes ao limiar para a formação de ciclones tropicais, tendo sido

observado 26,5°C e águas anormalmente quentes na sua região de formação. Já a TS Raoni e a TS Yakecan apresentaram, respectivamente, valores de 16,5 e 18,5°C e águas também anormalmente quentes. O contraste significativo de valores de TSM entre estes ciclones subtropicais corrobora as diferentes condições sinóticas que os originaram.

O mínimo observado de TSM em relação aos sistemas ocorreu durante a TS Raoni. A Figura 10 apresenta a distribuição horizontal dos valores médios de TSM (hachurado) e anomalias (isolinhas) no período de 28 de junho a 1^o de julho de 2021. Mesmo a trajetória da TS Raoni levando o sistema para latitudes menores e, por conseguinte, de águas mais quentes, tal fato não foi suficiente para manter a convecção do sistema organizada.

Tabela 5 – TSM e sinal da anomalia de TSM na região de formação das tempestades subtropicais e da tempestade tropical ocorridas na METAREA V entre 2011 e 2022. Fonte: OISST/NOAA

Ciclone	Ocorrência	TSM (°C)	Sinal da anomalia de TSM
Arani	MAR2011	26,5	-
Bapo	FEV2015	26,5	+
Cari	MAR2015	26,5	+
Deni	NOV2016	22,5	-
Eçaí	DEZ2016	22,5	-
Guará	DEZ2017	25	-
Iba	MAR2019	29	+
Jaguar	MAI2019	26,5	+
Kurumí	JAN2020	25,5	-
Mani	OUT2020	25	+
Oquira	DEZ2020	23	+
Potira	ABR2021	25,5	+
Raoni	JUN2021	16,5	+
Ubá	DEZ2021	20,5	-
Yakecan	MAI2022	18,5	+

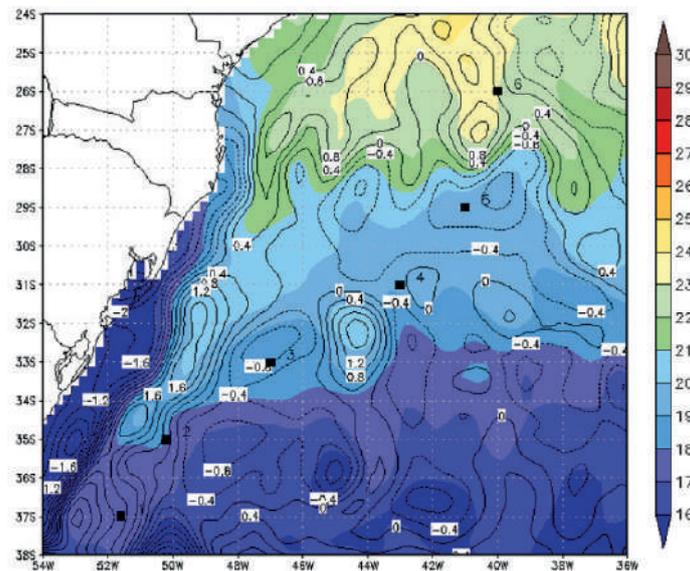


Figura 10 – Médias de TSM (hachurado) e sua anomalia (isolinhas) no período de 28JUN A 01JUL2021. Os pontos correspondem às posições centrais da TS Raoni nos seguintes dias: 1 – 29JUN (00Z); 2 – 29JUN (12Z); 3 – 30JUN (00Z); 4 – 30JUN (12Z); 5 – 01JUL (00Z); 6 – 01JUL (12Z). Fonte: OISST/NOAA

No único caso de ciclone tropical (TT Iba) registrado na METAREA V no período de estudo, verificou-se valores de 29,0°C na região de formação do sistema, com anomalias positivas de cerca de 1,0°C, conforme pode ser visto na Figura

11. O valor encontrado é superior ao limiar de 26,5°C necessário para a formação de ciclones tropicais, evidenciando que a região apresentava água superficial suficientemente quente para a gênese deste tipo de fenômeno.

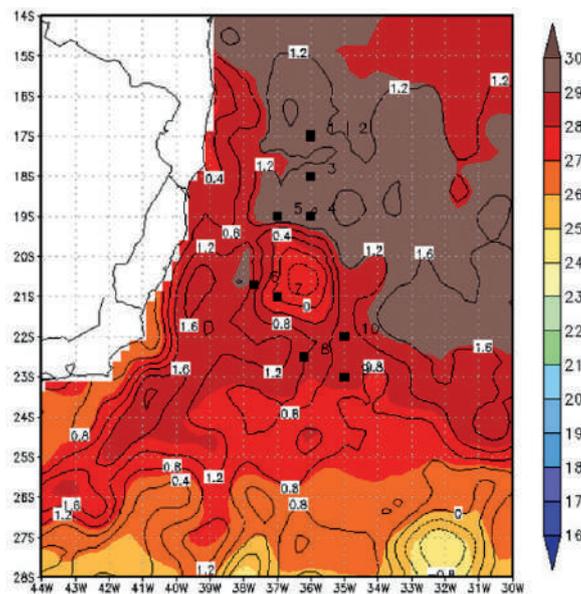


Figura 11 – Médias de TSM (hachurado) e sua anomalia (isolinhas) no período de 22 a 28MAR2019. Os pontos correspondem às posições centrais da TT Iba nos seguintes dias: 1 – 23MAR (12Z); 2 – 24MAR (00Z); 3 – 24MAR (12Z); 4 – 25MAR (00Z); 5 – 25MAR (12Z); 6 – 26MAR (00Z); 7 – 26MAR (12Z); 8 – 27MAR (00Z); 9 – 27MAR (12Z); 10 – 28MAR (00Z). Fonte: OISST/NOAA



5.6. Influência do ENOS

Avaliou-se o sinal do Índice Niño Oceânico (INO), de modo a verificar sua fase durante a ocorrência das tempestades subtropicais e da tempestade tropical. Este índice consiste na média de 3 meses das anomalias de TSM na região *Niño* 3.4 (05°N–05°S e 120°W–170°W) e é representativo do modo de variabilidade climática interanual conhecido como *El Niño* Oscilação Sul (ENOS).

De acordo com a Tabela 6, dos 15 eventos, a maioria (9) ocorreu em fases negativas do ENOS, ou seja, durante episódios de *La Niña*, onde o oceano Pacífico central está mais resfriado que a média. Apenas 4 eventos ocorreram durante episódios de *El Niño*, quando o oceano Pacífico central está anormalmente aquecido, e 2 durante a fase neutra, ou seja, quando os valores de TSM encontram-se dentro da média climatológica. O episódio de *El Niño* mais intenso dentre os eventos selecionados foi observado durante março de 2019, mês de ocorrência da TT Iba. Já os de *La Niña* aconteceram no último trimestre de 2020, com ocorrência da TS Mani (outubro) e TS Oquirá (dezembro).

Tabela 6 – Valores mensais do Índice Niño Oceânico (INO) para os meses das tempestades subtropicais e da tempestade tropical ocorridas na METAREA V entre 2011 e 2022. Fonte: CPC/NCEP/NOAA

Ciclone	Período	INO	Fase do ENOS
Arani	MAR2011	-0,9	La niña
Bapo	FEV2015	0,5	El niño
Cari	MAR2015	0,5	El niño
Deni	NOV2016	-0,7	La niña
Eçaí	DEZ2016	-0,6	La niña
Guará	DEZ2017	-1,0	La niña
Iba	MAR2019	0,7	El niño
Jaguar	MAI2019	0,5	El niño
Kurumí	JAN2020	0,5	Neutra
Mani	OUT2020	-1,2	La niña
Oquirá	DEZ2020	-1,2	La niña
Potira	ABR2021	-0,7	La niña
Raoni	JUN2021	-0,4	Neutra
Ubá	DEZ2021	-1,0	La niña
Yakecan	MAI2022	-1,0	La niña

De maneira similar ao comportamento da TSM, nota-se que há ocorrência dos eventos tanto na fase negativa quanto na positiva e neutra do ENOS. Desta forma, não foi possível estabelecer uma relação direta entre a ciclogênese subtropical, na METAREA V, com os eventos de ENOS.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram apresentadas compilações estatísticas sobre a ocorrência de ciclones subtropicais e tropicais na METAREA V,

realizadas pelo SMM, com base no período de 2011 a 2022. Os resultados apontam para uma clara evolução nos procedimentos operacionais de monitoramento de tais eventos, destacando-se a maior disponibilidade de dados de escaterômetros, que são fundamentais para estimar a velocidade do vento e, por conseguinte, classificá-los; e dos diagramas de fase de modelos numéricos de previsão do tempo, que permitem avaliar o perfil térmico vertical. Observa-se também um ganho de expertise em tal prática operacional refletido através da maior antecedência de emissão do primeiro aviso especial.

Contabilizou-se a ocorrência de 20 eventos, sendo 1 TT, 14 TS e 5 DS, com duração variando de 12 a 132 horas. Os meses de março e dezembro apresentaram maior atividade de fenômenos desta natureza, com 4 eventos em cada mês. O ambiente sinótico que deu origem ao maior número de tempestades foi aquele onde havia um sistema de baixa pressão simples (não extratropical). A maior parte das tempestades tem deslocamento médio preferencial para sudeste e origina-se sobre a porção sul da METAREA V, com atuação mais frequente sobre as subáreas BRAVO e SUL OCEÂNICA.

A TT Iba foi o único ciclone tropical registrado no período, com velocidade do vento de 60 nós e ondas de 8,5 metros de altura significativa. A TS Yakecan apresentou a maior intensidade do vento dentre as tempestades subtropicais, com estimativa de 55 nós, ao passo que a TS Eçaí e a TS Potira apresentaram as maiores alturas de onda, com valores de 8,2 metros em ambas.

Em relação a TSM, a TT Iba formou-se sobre águas anormalmente aquecidas, com valores absolutos de até 29,0°C. Contudo, não há um padrão no sinal de anomalia e dos valores absolutos quando se trata de TS, existindo ciclones formando-se tanto em águas anormalmente aquecidas quanto em águas anormalmente resfriadas (sinal negativo). A inserção de ar quente em baixos níveis, no caso de ciclones subtropicais, servem para caracterizá-lo e diferenciá-lo dos demais tipos existentes na natureza. Sugere-se que estudos mais aprofundados investiguem a contribuição da advecção de ar quente e de fluxos verticais locais de calor sensível na formação e manutenção de ciclones subtropicais, em acréscimo a liberação de calor latente observada no aquecimento superficial da água do mar.

Notou-se ainda que tempestades subtropicais se formam nas fases negativa, neutra e positiva do ENOS, sem preferência significativa (apesar de maior frequência em episódios frios). Com isso, não há indícios para afirmar categoricamente que a ciclogênese subtropical é favorecida pela fase do ENOS vigente.

O advento da conceituação de ciclones subtropicais, aliado à operacionalização de ferramentas numéricas que avaliem o sistema permite que períodos pretéritos sejam revisitados, de modo a verificar se a ocorrência de sistemas de baixa pressão (frontais ou não), não mereciam obter a classificação subtropical. Desta forma, ter-se-ia um panorama maior a respeito da climatologia de tais fenômenos no Atlântico Sul.

Por fim, o maior registro oriundos de estimativas satelitais de máximos de



velocidade do vento e altura de onda, associados aos ciclones subtropicais e tropicais, denota a escassez da observação meteoceanográfica *in loco* na METAREA V. Sugere-se que sejam criadas rotinas

operacionais de identificação rápida dos valores de pressão atmosférica, velocidade do vento e altura de onda estimados de modo a viabilizar tomadas de decisões cada vez mais rápidas por parte do previsor.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Decreto nº 92.610, de 02 de maio de 1986. Promulga o Protocolo de 1978 relativo à Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar de 1974. Diário Oficial da União, Brasília, p. 6379, 05 mai. 1986. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/1985-1987/d92610.htm>. Acesso em: 26 Abr. 2023.

_____. Decreto nº 7.092, de 02 de fevereiro de 1972. Inclui nas atribuições dos Ministérios da Marinha e da Aeronáutica, as atividades de meteorologia marítima e aeronáutica, respectivamente, e dá outras providências. Diário Oficial da União: Seção 1, Brasília, p. 1034, 03 fev. 1972. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1970-1979/decreto-70092-2-fevereiro-1972-418665-publicacaooriginal-1-pe.html>>. Acesso em: 26 Abr. 2023.

DA ROCHA, R. *et al.* *Subtropical cyclones over the oceanic basins: a review. Annals of the New York Academy of Sciences.* v. 1436, p. 138-156, Jan. 2019.

DHN - DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. Normas da Autoridade Marítima para as Atividades de Meteorologia Marítima - NORMAM-19 (2ª Rev), 2022. Niterói, 2022. Disponível em <<https://www.marinha.mil.br/dhn/sites/www.marinha.mil.br/dhn/files/normam/NORMAM-19-DHN-2a-Rev-2022.pdf>>. Acesso em: 12 de abril de 2023.

GOZZO, L. F. *Ciclones Subtropicais sobre o Sudoeste do Atlântico Sul: Climatologia e Fontes de Umidade.* 2014. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

GRAY, W. M. *Hurricanes: their formation, structure, and likely role in the tropical cyclone. Meteorology over the Tropical Oceans.* D. B. Shaw, Ed., Roy. Meteor. Soc., 155-218, 1979.

HART, R. E. *A Cyclone Phase Space Derived from Thermal Wind and Thermal Asymmetry. Monthly Weather Review,* v. 131, p. 585-616, 2003.



HERSBACH, H. *et al.* ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), 2018.

HULME, A.; MARTIN, J. *Synoptic- and Frontal-Scale Influences on Tropical Transition Events in the Atlantic Basin. Part I: A Six-Case Survey.* *Monthly Weather Review*, v. 137, p. 3605-3625, 2009.

IMO – INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. *International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974/1988, Londres, Inglaterra, 01/11/1974.* Disponível em: <<https://www.ccaimo.mar.mil.br/ccaimo/solas>>. Acesso em: 27 Abr. 2023.

MATHIAS, R. S. B. *et al.* Análise de dois ciclones extratropicais de desenvolvimento explosivo no Atlântico Sul utilizando o modelo conceitual de Shapiro-Keyser. *Anais Hidrográficos*, v. 78, p. 151-173, 2022.

MATHIAS, R. S. B. Análise e Classificação de Ciclones Utilizando Diagramas de Fase: Conceitos e Aplicação em Previsão de Tempo Operacional. 2012. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

OLIVEIRA, J. T. *Extratropical Transition of Subtropical Cyclones Over Southwestern Atlantic Ocean.* 2019. Tese (Doutorado), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2019.

WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. *Manual on Marine Meteorological Services - WMO-Nº. 558, Annex VI to the WMO Technical Regulations* (Ed. 2012, atualizada em 2018). Genebra, Suíça, 2012. Disponível em: <https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=9784#.Y4J4gHbMLIU>. Acesso em: 15 Fev. 2023.

