

CICLONE EXTRATROPICAL DE OUTUBRO DE 2016: PROCESSOS ATMOSFÉRICOS DE FORMAÇÃO E IMPACTOS NO EXTREMO SUL DO BRASIL

Bruna Cavalcanti Gautério¹

Éder Leandro Bayer Maier²

Ulisses Rocha de Oliveira³

RESUMO

O trabalho analisou o ciclone extratropical no extremo sul do Brasil ocorrido entre os dias 24/10/2016 e 29/10/2016 abordando os processos de formação. A escolha deste evento se deu devido aos impactos gerados pelo mesmo. Esses eventos extremos ocorrem em intervalos de períodos regulares, seguindo um padrão espacial das condições atmosféricas. Sendo assim, investigar e compreender os padrões temporais e espaciais das condições atmosféricas torna-se fundamental para realizar uma previsão do estado momentâneo da atmosfera em determinado local. As análises abrangeram duas escalas espaciais, uma continental (América do Sul) e outra regional (extremo sul do Brasil). A evolução do sistema frontal foi identificada na banda 4 do satélite GOES. Já os dados meteorológicos do INMET possibilitaram as análises dos impactos do ciclone na precipitação e no vento. Os resultados mostraram a formação do sistema frontal no nordeste argentino, o estabelecimento do vórtice ciclônico em médias latitudes e a dissipação, de ambos, no Oceano Atlântico. A frente fria associada ao evento extremo foi responsável por causar danos materiais à população e deixar os mesmos sem energia elétrica. Os ventos atingiram $\cong 40$ km/h com rajadas de até 108 km/h. Essa intensidade do vento causou uma maré meteorológica na costa gaúcha danificando moradias.

Palavras-chave: clima subtropical; geotecnologias; eventos extremo.

CICLÓN EXTRATROPICAL DE OCTUBRE DE 2016: PROCEDIMIENTOS ATMOSFÉRICOS DE FORMACIÓN Y IMPACTOS EN EL EXTREMO SUR DE BRASIL.

RESUMEN

¹Graduanda em Geografia (bacharelado) na Universidade Federal do Rio Grande (FURG). Rua João Fernandes Cardoso, 347, Casa A, Parque São Pedro, Rio Grande (RS) CEP 96216-290; e-mail: gauteriobruna@gmail.com.

² Doutor em Geografia, professor na FURG; e-mail: edermaier@gmail.com.

³ Doutor em Geografia, professor na FURG; e-mail: ulisseslicke@yahoo.com.br.

El trabajo analizó el ciclón extratropical en el extremo sur de Brasil ocurrido entre los días 24/10/2016 y 29/10/2016, abordando los procesos de formación. La elección de este evento se dio debido a los impactos generados por el mismo. Estos eventos ocurren en intervalos de períodos regulares, siguiendo un patrón espacial de las condiciones atmosféricas. Investigar y comprender los patrones temporales y espaciales de las condiciones atmosféricas se vuelve fundamental para realizar una previsión del estado momentáneo de la atmósfera en determinado lugar. Los análisis abarcan dos escalas espaciales, una continental (América del Sur) y otra regional (extremo sur de Brasil). La evolución del sistema frontal fue identificada en la banda 4 del satélite GOES. Los datos meteorológicos del INMET posibilitaron los análisis de la precipitación y el viento. Los resultados mostraron la formación del sistema frontal en el nordeste argentino, el vórtice ciclónico en medias latitudes y sus disipaciones en el Océano Atlántico. El frente fría asociado al evento fue responsable de causar daños materiales a la población y dejar los mismos sin energía eléctrica. Los vientos alcanzaron $\cong 40$ km/h con ráfagas de hasta 108 km/h. Esta intensidad del viento causó una marea meteorológica en la costa dañando viviendas.

Palabras clave: clima subtropical; geotecnologías; eventos extremos.

1. INTRODUÇÃO

A dinâmica natural do planeta Terra mais os impactos ambientais negativos das atividades antrópicas estão alterando os climas globais (IPCC, 2007). Conseqüentemente, os climas brasileiros e os sistemas ambientais brasileiros também sofrem alterações como, por exemplo, aumento das temperaturas, secas e enchentes intensas e prolongadas, eventos extremos, etc (MARENGO *et al.*, 2006, p.19).

As mudanças ambientais e climáticas têm aumentado a vulnerabilidade e diminuído a resiliência socioambiental, porque progressivamente é diminuída a capacidade de suporte do sistema. Adicionalmente, no Brasil há carência de um planejamento ambiental mais eficaz, que vise à mitigação dos riscos, vulnerabilidade e maior eficiência da compensação frente a eventos extremos.

Nesse contexto, a investigação da dinâmica atmosférica dos eventos extremos pode contribuir para compreensão da formação e evolução dos fenômenos, especialmente os ciclones extratropicais. A partir da compreensão do sistema atmosférico é possível inferir subsídios que vise a diminuição dos

riscos ambientais, a compensação dos impactos dos eventos extremos e a adaptação dos usos dos recursos naturais de acordo com seus ciclos.

Os eventos intensos, e muitas vezes extremos, possuem a capacidade de transformar a paisagem em curto período de tempo, ultrapassando a capacidade de recomposição do sistema ambiental. Nos dias 27 e 28 de outubro de 2016 houve a ocorrência de um evento extremo no sul do Brasil, ocasionando impactos na zona costeira e áreas adjacentes. O objetivo deste trabalho foi de analisar os processos atmosféricos de formação deste evento extremo, visando contribuir na compreensão dos padrões temporais e espaciais da atmosfera como forma de prevenção a desastres naturais.

2. PROCESSOS ATMOSFÉRICOS DE FORMAÇÃO DE CICLONES EXTRATROPICAIS

As frontogêneses implicam em uma tendência para a formação de uma descontinuidade ou intensificação de uma zona de transição já existente, enquanto o termo frontólise indica o oposto. A frontogênese atmosférica é causada pelo campo de deformação do vento horizontal atuando em um pré-existente gradiente de temperatura horizontal (STONE, 1966, p.455).

Alguns mecanismos favorecem as frontogêneses como, por exemplo, os campos de deformações horizontais, campos de cisalhamentos horizontais e/ou campos de dilatações verticais (VENDRASCO, 2004, p.1). Esse processo de formação ou intensificação de uma frente retrata as depressões de ondas frontais, ou ciclones, que se formam nos limites entre grandes “correntes de ar” com características muito diferentes: correntes de ar quentes e úmidas dos subtropicais com ar mais frio e seco das regiões polares (SILVA, 2004, p.765).

A depressão de média latitude em geral é associada à convergência de massas de ar contrastantes. Com isso a interface entre as massas de ar se desenvolve em forma de onda que compreende uma massa de ar quente entre ar frio e fresco modificado na frente e ar frio atrás (BARRY e CHORLEY, 2013, p.231).

O primeiro modelo conceitual de Bjerknes possuía duas regiões de convergência de massa posteriormente chamadas de frente fria e frente

quente. Neste, quando a frente fria se sobrepõe à frente quente é chamada de fase de oclusão (CAVALCANTI *et al.*, 2009, p.111).

Christopherson e Birkeland (2017, p.192) afirmam que a área de descontinuidade de uma massa de ar que avança é sua frente. A frente quente é a borda frontal do setor quente da onda. O limite frontal tem uma inclinação suave, de modo que os sistemas de nuvens associados à porção superior da frente anunciam sua aproximação por volta de 12 horas ou mais antes da chegada da frente superficial.

A frente fria possui a face inclinada da massa de ar frio que avança refletindo a sua tendência a cingir a superfície da terra, causada por sua maior densidade e características mais uniformes em comparação à massa de ar quente que ela desloca. Um ou dois dias antes da chegada de uma frente fria, nuvens *cirrus* altas aparecem.

A frente oclusa se forma quando uma frente fria alcança uma frente quente. As oclusões são classificadas como frias ou quentes, dependendo dos estados relativos das massas de ar à frente e atrás do setor quente. Por fim, há um estágio de dissipação que ocorre quando o seu mecanismo de ascensão é completamente eliminado da massa de ar quente, que era sua fonte de energia e umidade (CHRISTOPHERSON e BIRKELAND, 2017, p.201).

Os autores Barry e Chorley (2013, p.242) apontam que as principais zonas de desenvolvimento de ondas frontais são áreas que frequentemente estão baroclínicas, como resultado da confluência de fluxos de ar. Em determinadas ocasiões, quando efeitos da instabilidade baroclínica associam-se aos da costa leste dos continentes da América do Sul, a intensificação dos ciclones pode ser acelerada e mais acentuada (CAVALCANTI, *et al.*, 2009, p.115).

A formação e intensificação de ciclones na atmosfera se referem à ciclogênese, enquanto a ciclólise apresenta a maneira como esse sistema circulatório de baixa pressão, disposto em baixos níveis na superfície, se dissipa (REBOITA, 2008, p.8). Frequentemente, a costa entre o Uruguai e o sudeste do Brasil são afetados por esses sistemas que causam ventos fortes, precipitação e redução de temperatura e sendo consideradas áreas

ciclogênicas. As frentes e ciclones nessas áreas se formam em uma região chamada de frente polar, através do choque de duas massas de ar com propriedades térmicas distintas (REBOITA *et al.*, 2012, p.36).

Os ciclones extratropicais possuem um determinado tempo de duração (em média de 3 a 10 dias) e dentro desse tempo muitas forças atuam como, por exemplo, a força de Coriolis, que possui uma circulação no sentido horário (no hemisfério sul), a força do gradiente de pressão, que é responsável por locomover o sistema e a força friccional que atua com um mecanismo de desintensificação da energia do ciclone, como também, dos seus ventos (REBOITA, 2008, p.104).

A ciclogênese é o primeiro estágio de um ciclone extratropical. Ela consiste no desenvolvimento e fortalecimento de um centro de baixa pressão na frente polar, mas para que esse centro exista, é necessário que em altos níveis da troposfera haja uma área de divergência e em compensação em superfície exista uma área de convergência (CHRISTOPHERSON e BIRKELAND, 2017, p.202). Segundo Reboita (2008, p.16), a formação dos ciclones em superfície deve-se ao fato de que a divergência a leste dos cavados nos níveis superiores diminua a pressão na superfície.

Outros mecanismos também são importantes para explicar a formação desses ciclones extratropicais, como por exemplo, a instabilidade baroclínica. Ela está associada à presença de gradientes horizontais de temperatura. Os maiores gradientes estão situados nas médias latitudes, nas regiões ciclogênicas. Também é responsável por intensificar a circulação secundária, o movimento de rotação do ciclone e a intrusão de ar estratosférico na troposfera que tende a aumentar a vortacidade ciclônica (REBOITA, 2008, p.17).

Segundo Cavalcanti (2009, p.117), outra área, além da frente polar, está associada ao desenvolvimento e fortalecimento dos ciclones extratropicais: o leste da Cordilheira dos Andes no sudeste da América do Sul. A presença de locais montanhosos ocasiona perturbações no escoamento zonal de oeste

formando uma crista a barlavento e um cavado a sotavento nos Andes, fazendo com que a ciclogênese atue a leste e a sul das montanhas.

Segundo Gan (1992, p.7), a cordilheira dos Andes ainda intensifica o desenvolvimento dos ciclones extratropicais à medida que canaliza o ar quente e úmido, através de jatos de baixos níveis, oriundo do trópico para as latitudes médias e quando induz a vorticidade ciclônica a sotavento no momento em que os cavados em níveis superiores vindo do Pacífico cruzam os Andes desejando chegar ao Atlântico.

Posterior ao estágio de ciclogênese aparecem o estágio de oclusão e dissipação do ciclone extratropical. Normalmente a frente fria sobreleva em forma de cunha a frente quente e torna o sistema frontal ocluso/fechado. Com isso, podem ocorrer precipitações moderadas a forte as quais vão diminuindo a sua intensidade conforme a massa de ar quente é alavancada pela massa de ar frio. A ciclólise ocorre à medida que a massa de ar quente deixa de existir, inibindo então a fonte geradora de energia e umidade que sustentava o ciclone extratropical (CAVALCANTI, 2009, p.115).

2.1 OS CICLONES EXTRATROPICAIS NO EXTREMO SUL DO BRASIL

As porções continentais e costeiras no extremo sul do Brasil situam-se em médias latitudes, em uma área considerada de forte atividade ciclogênética (REBOITA, *et al.*, 2012, p.39) e foram atingidas pelo ciclone de outubro de 2016. A Planície Costeira do Rio Grande do Sul é banhada pelo Oceano Atlântico e sofre influência da dinâmica compreendida entre o Anticiclone Subtropical Atlântico, as passagens de massas polares e a depressão barométrica (FAVERA, *et al.*, 2012, p.41).

O regime de ventos é determinado pela interação do centro de alta pressão do anticiclone e a depressão barométrica argentina que resultam em um vento de quadrante L-NE (FAVERA, *et al.*, 2012, p.41). Nesta Planície Costeira destacam-se o sistema Patos-Mirim, extensos corpos hídricos que

influenciam no clima local, além de áreas urbanas como Rio Grande e Pelotas, balneários costeiros e atividades rurais.

O favorecimento para a formação de frentes e de ciclones extratropicais ocorre na frente polar com o choque entre duas massas de ar. Com isso, frequentemente, a costa sul/sudeste do Brasil e outra entre o Uruguai e o extremo sul do Brasil é afetada por esses sistemas que causam ventos fortes, precipitação e redução de temperatura (REBOITA *et al.*, 2012, p.44).

Em áreas de latitudes médias, como nesta porção costeira em questão, a precipitação de origem ciclônica compõe parte do total mensal ou anual. Porém os efeitos orográficos amplificam a frequência e a intensidade da precipitação. Os anos em que o evento *El Niño* ocorre há uma variabilidade maior de atividades ciclogênicas (REBOITA, 2008, p.44).

Segundo o INMET (2018) em meados de 1982/1983 houve a ocorrência de um forte *El Niño*, elevando as temperaturas da água do mar em 7°C acima do normal, ocasionando enchentes nos Estados do sul do Brasil. Oliveira e Satyamurty (1998, p.3) afirmaram que em 1997-98 houve a ocorrência do *El Niño* mais intenso do século passado.

Levando em consideração os últimos 50 anos, também se caracterizou este como o mais intenso segundo as anomalias da TSM na região Niño 3, acarretando em 50 mm de precipitação, além da normalidade, por mês, nas regiões sul do Brasil. Em 2015-16, o *El Niño* foi caracterizado como muito forte, estando atrás, historicamente, apenas dos ocorridos em 1982-83 e 1997-98 (FERREIRA *et al.*, 2017, p. 3).

O impacto dos ciclones extratropicais na costa uruguaia e sul brasileira é estudada desde o final do século passado. Trabalhos como os de Tozzi (2000) e Barletta (2002) e Machado (2016) caracterizam os ciclones do ponto de vista meteorológicos. Outros estudos como os de Esteves *et al* (2000) e Albuquerque *et al* (2013) analisam seus impactos na costa.

A alta intensidade de eventos meteorológicos gera ondas de tempestades que sobre-elevam o nível do mar devido a forte intensidade dos ventos que empilham as águas na costa litorânea e que modela o ambiente praial e a orla urbana (GOULART e CALLIARI, 2011, p.1). No entanto, também se faz necessário contemplar os impactos nos municípios costeiros e áreas adjacentes, além dos impactos na linha de costa.

A orla costeira é sujeita a mudanças e essa mudança é percebida a medida que sua ocupação atinge níveis mais elevados. As erosões que antes passavam despercebidas começam a se tornar importantes quando atreladas as questões socioeconômicas (MUEHE, 2006, p.5).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado considerando duas escalas, a primeira compreende as latitudes do sul da América Sul e a segunda escala, mais regional, abrangendo o extremo sul do Brasil e o Uruguai (Figura 1). As figuras do satélite GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellite*) do sensor da banda 4 realçada que foram adquiridas no site do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) se referem à América do Sul.

Através dessas figuras foi possível traçar a evolução do sistema frontal e do ciclone extratropical na janela temporal do dia 24 de outubro de 2016 até o dia 29 de outubro de 2016. As figuras foram extraídas em um período de 4 em 4 horas, sendo correspondentes a 00:00horas, 04:00horas, 08:00horas, 12:00horas, 16:00horas e 20:00horas, totalizando 6 imagens por dia. A vetorização da evolução dos sistemas sinóticos foi realizada com as imagens obtidas às 20 horas.

Para a aquisição dos dados meteorológicos de precipitação, direção, velocidade e ângulo do vento foi necessário acessar o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e realizar o *download* dos dados de 14 estações meteorológicas que compreendem os municípios de Bagé, Caçapava do Sul,

Camaquã, Canguçu, Dom Pedrito, Jaguarão, Mostardas, Porto Alegre, Rio Grande, Rio Pardo, Santa Maria, Barra do Chuí em Santa Vitória do Palmar, São Gabriel e no município de Rocha, no Uruguai. As variáveis meteorológicas foram coletadas de hora em hora, e correspondem ao período entre 24 e 29 de outubro de 2016.

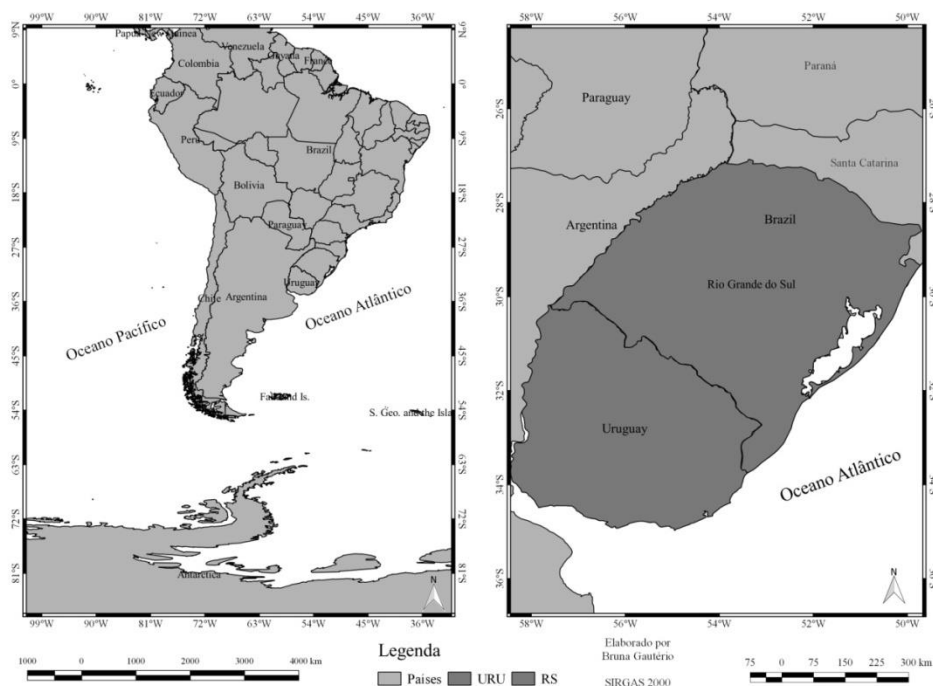


Figura 1: Área de estudo. Fonte: própria do autor, 2018.

O processamento dos dados e *layout* das produções cartográficas foi realizado no *software* QGIS 2.18.16. Os dados de precipitação foram salvos sem extensão CSV (*Comma-Separated Values*), que possibilitou gerar um arquivo vetorial shp (*shapefile*) do tipo pontos. Esse shp de informações pontuais permitiu que o estilo do vetor, denominado de Graduado, no QGIS, fosse aplicado. Dentro dessa graduação que somente pode ser realizada com dados numéricos, foi aplicado o método Size.

A classificação por esse método foi padrão do *software*, com os limites de classes (5) e modo de representação (intervalos iguais) apresentados automaticamente pelo programa. Com isso, se gerou um produto cartográfico que indica a simbologia do ponto proporcional ao seu valor atribuído, tendo

uma melhor visualização espacial da intensidade do evento ocorrida em cada estação meteorológica.

Os dados de vento (direção e intensidade) foram convertidos em componentes meridionais e zonais do vento usando funções seno e cosseno do ângulo do vento multiplicado pela intensidade, conforme mostra a Figura 2. Posteriormente, foi identificada a máxima intensidade da rajada do vento para cada dia do período entre 24 e 29 de outubro. Os dados foram importados para o QGIS, em extensão csv e transformada em arquivo vetorial pontual. O uso do complemento denominado de *Vector Field Renderer* permitiu a visualização dos vetores do vento.

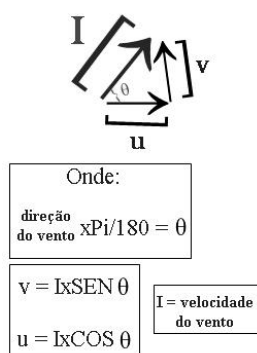


Figura 2: Fórmula utilizada para obter os vetores de vento. Fonte: própria do autor, 2018.

A escala dos vetores foi configurada usando a intensidade de 2 m/s. Com isso, se obteve mapas do dia 24/10/2016 até o dia 29/10/2016 com as informações de velocidade média do vento e rajada máxima diária sobrepostas para todas as estações.

As imagens GOES adquiridas estavam dispostas em extensões jpg. (*Joint Photographics Experts Group*) e foram transformadas para a extensão tiff. (*Tagged Image File Format*). Após realizou-se o georreferenciamento das 36 imagens tiff. a fim de vetorizar o desenvolvimento, intensificação e dissipação da frente fria e do ciclone extratropical. Esse processo de vetorização ocorreu em todas as imagens correspondente as 20 horas de cada dia.

Os vetores de linhas foram criados para cada dia do evento, exceto para o dia 29/10/2016, pois a vetorização se deu através da dedução, sendo assim

impossível identificar com precisão nas últimas 24 horas onde exatamente o ciclone se encontraria na imagem. Com isso, se obteve vetorização da frente fria do dia 24/10/2016 ao dia 28/10/2016, a vetorização do vórtice ciclônico no dia 27/10/2016 e a dissipação do mesmo no dia 28/10/2016.

A coleta de dados de reanálise de temperatura ocorreu através da parceria do NCEP (*National Centers for Environmental Prediction*) com o NCAR (*National Center for Atmospheric Research*) de 1979 até 2017 compreendendo 466 meses. O tratamento desses dados foi realizado no *software* matlab. Com isso, foi calculada a anomalia da temperatura para o mês de outubro do ano de 2016. Então, foi estipulada a média referente a todo período coletado, sendo extraída apenas a informação de anomalia para o mês estudado neste trabalho. O resultado final proporcionou uma figura com isolinhas de mesma magnitude de temperatura, onde as cores representam a discrepância da temperatura pelas dimensões latitudinais e longitudinais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 EVOLUÇÃO E DESLOCAMENTO DO SISTEMA

A América do Sul abriga uma zona de latitude média que é caracterizada como uma região de formação de frentes e ciclones, devido, não somente, a convergência de ventos oriundos das altas latitudes e subtropicais (REBOITA *et al.*, 2012, p.34).

Com isso, a evolução do sistema frontal (Figura 3), no dia 24/10/16, começou a atuar no sul da Argentina e a sudeste do Chile. Neste dia também se pode observar através das imagens de satélite analisadas a passagem de um Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM) gerando precipitação dias antes da formação do ciclone extratropical na costa do Rio Grande do Sul.

Parte da precipitação registrada ao longo dos dias analisados (Figura 4) está associada à passagem deste CCM no dia 24, que atingiu a parte continental interior do Estado do RS. Entretanto a outra parte está associada ao ciclone extratropical que resultou em chuva na porção costeira do RS e no Uruguai.

O sistema frontal avançou no território argentino no dia 25/10/16 seguindo seu percurso em direção a terras uruguaias e brasileiras. No dia 26/10/16 a frente fria atingiu 4 países, sendo eles o nordeste do Chile, o norte e nordeste da Argentina, o nordeste do Uruguai e os extremos leste e sul do Brasil, conforme aponta a Figura 3.

O dia 26 precede o evento extratropical que atinge o litoral sul do Brasil. Dentro de 24 horas a frente já ultrapassou os Estados do sul do Brasil e se encaminhou para sudeste, no dia 27/10/16. Nesse mesmo dia ocorre a formação do vórtice ciclônico na costa do Rio Grande do Sul resultando no ciclone extratropical propriamente dito com seu giro horário, ocasionando então uma série de impactos socioambientais relacionadas fortemente relacionadas ao vento forte atuante, sobretudo no litoral.

Aproximadamente 24 horas após a passagem do sistema frontal e da atuação do vórtice ciclônico, o sistema frontal segue adentrando o território brasileiro e atingindo praticamente o centro-oeste e o sudeste, no dia 28/10/16. Nesse dia, as figuras do sensor do satélite mostram a formação de uma Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sendo responsável por ocasionar as precipitações em latitudes tropicais.

Além disso, há o deslocamento do vórtice ciclônico para leste e a desintensificação do mesmo no Oceano Atlântico, criando então uma pista de vento que atuou constantemente no extremo sul do Brasil. Esse cenário foi o responsável por empilhar águas na costa sul do Brasil, formando uma maré meteorológica positiva com a influência do crescimento abrupto das ondas e que em poucas horas atingiram cerca de 5 metros de altura (OLIVEIRA, *et al.*, 2017, p.263).

No dia 29/10/16 o sistema frontal não se mostrava aparente nas imagens de satélite, com isso detectou-se que a frente entrou em processo de frontólise, dissipando-se e deixando de atuar em território brasileiro. Assim como o sistema de baixa pressão, que se situava nas latitudes do município de Rio Grande entrou em processo de ciclólise perdendo energia e deixando de existir.

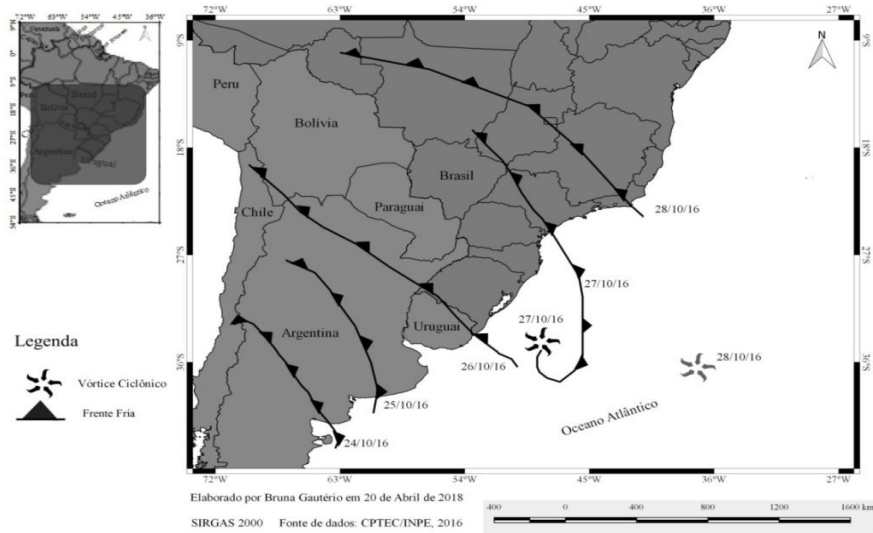
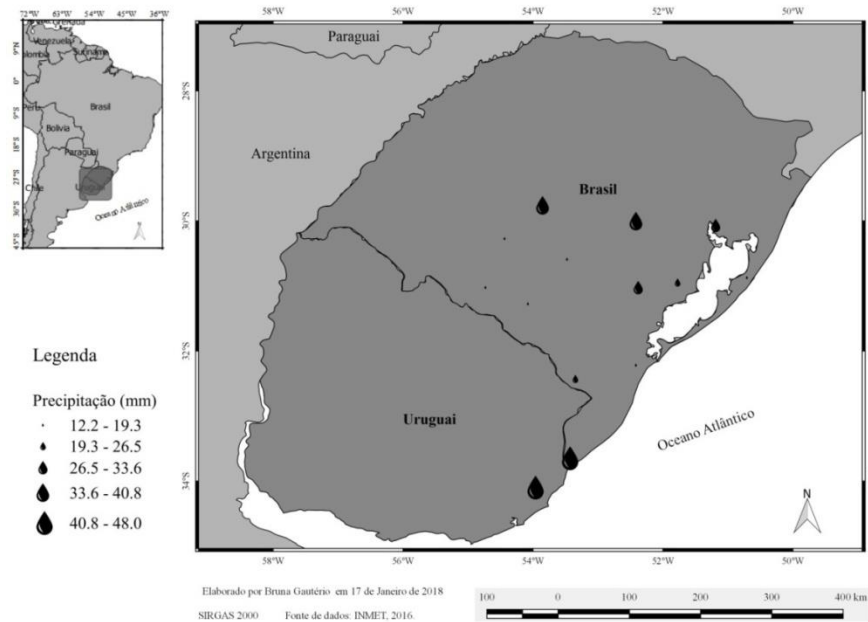


Figura 3: Evolução do sistema frontal e formação do ciclone extratropical. Fonte: própria do



autor, 2018.

Figura 4: Precipitação acumulada referente aos 6 dias de análise. Fonte: INMET, 2016; própria do autor, 2018.

4.2 REGIME DE VENTOS NO EXTREMO SUL DO BRASIL

O vento foi a variável responsável por contribuir no avanço do sistema frontal, na distribuição da precipitação, no empilhamento das águas na costa e na formação do ciclone extratropical. Anterior a passagem do sistema frontal compreendido na janela temporal estudada, no dia 24/10/2016, havia outra frente fria sobre o estado do Paraná (PR) responsável por causar avarias em

muitos municípios do RS como alagamentos, precipitações de granizo e famílias desabrigadas.

Por isso, no dia 24/10/2016 (Figura 6 A), o cenário dos ventos provenientes do sentido nordeste foi gerado após a passagem deste sistema frontal anterior. Assim como, a rajada máxima do dia assumiu um sentido oposto devido a influência da passagem da frente e a consequente mudança das condições sinóticas do vento, como mostra a Figura 5.

No dia 25/10/2016 (Figura 6 B), o vento de nordeste é influenciado pelo atual sistema frontal e adquire rajadas paralelas a ele. O padrão das características do vento após a passagem da frente fria (anterior ao dia 24) não muda, mas conta com a presença dos jatos de baixos níveis que atribui mais uma característica de umidade amazônica.

Os vetores de velocidade média e rajada máxima do dia 26/10/2016 (Figura 6 C) ainda possuem, no litoral, uma predominância do vento nordeste, mas os vetores do interior do Estado começam a mudar de direção. Este cenário passa a sofrer alteração devido a aproximação do sistema frontal estabelecido sobre o Uruguai e que adentra o estado do Rio Grande do Sul.

Através disso a direção do quadrante leste começa a predominar sob esses ventos do interior do continente gaúcho. O sistema frontal atuou sobre o Rio Grande do Sul e avançou para nordeste em um período de 24 horas e com deslocamento aproximado de 400 a 500 km, modificando o padrão, estabelecido até então, da direção e intensidade do vento.

No dia 27/10/2016 (Figura 6 D) a média da velocidade do vento aumenta significativamente juntamente com a rajada máxima diária. Esse aumento é decorrente da formação do ciclone extratropical no Oceano Atlântico, próximo à costa do RS. A predominância da direção sudoeste dos ventos coincide com o giro horário do ciclone extratropical. As rajadas máximas atingiram cerca de 108 km/h nas estações meteorológicas da Barra do Chuí e no município de Rio Grande no horário compreendido entre as 16 e 20 horas.

As velocidades médias deste dia 27/10/2016 atingiram a marca de aproximadamente 40 km/h, como observado na estação da Barra do Chuí. As

rajadas foram consideradas como moderadas a fortes, segundo a Companhia Estadual de Energia Elétrica do Rio Grande do Sul – CEEE (2016).

Decretou-se situação de emergência para o Estado, deixando mais de 130 mil clientes sem energia elétrica. Além da CEEE, outras companhias, como a AES Sul Distribuidora de energia e Rio Grande Energia (RGE), deixaram mais de 35 mil clientes sem eletricidade.

O forte vento de sul foi o responsável por derrubar árvores, destelhar casas, desabrigar famílias e derrubar estruturas em diferentes municípios do estado do RS e também do Uruguai, conforme mostra a Figura 5. Segundo a Rádio Gaúcha (2016), mais de 100 moradias da orla urbana de Santa Vitória do Palmar (RS) foram danificadas devido ao grande empilhamento das águas na costa do RS, caso ocorrido nos dias 27 e 28 de outubro de 2016 (Figura 6 E).

Referente a esse dia os vetores de velocidades destacam médias menos intensas no interior do Estado, mas prosseguiram consideravelmente moderadas ao largo do litoral, devido ao afastamento do ciclone extratropical para leste. Este afastamento do ciclone não estagnou as fortes rajadas na costa.

Esse evento acarretou em uma rápida subida da energia das ondas, na sobre-elevação da maré, a ocorrência de uma forte deriva litorânea e inundações em diferentes Balneários do Estado. Sobre o impacto desse evento na costa, alguns trabalhos foram realizados em diferentes pontos da costa oceânica do estudo, dentre os quais o Oliveira et al (2017); Simões (2018); Martelo e Nicolodi (2018); Tabajara et al (2018) e Albuquerque et al (2018).

O forte impacto deste evento na costa do extremo sul do Brasil pode ser atribuído à localização de formação do ciclone extratropical. Sua ocorrência foi próxima ao litoral sul do Rio Grande do Sul e o centro de baixa pressão com ventos convergentes propagou ondas oceânicas e elevação da maré no extremo sul do Brasil, propagando-se para norte.

Segundo Reboita (2008, p.107), na primavera a área de localização de formação de ciclones e maior densidade dos mesmos se encontra na região da

desembocadura do rio da Prata no Uruguai, e não no extremo sul do Brasil. Com isso, a combinação da elevação da maré e altas ondas favorecem a retirada de sedimento das dunas frontais. Os Balneários que se encontram em mar aberto e que não possuem quebra mar, ficam mais propensos as ações das ondas intensas.



Figura 5: Impactos do ciclone de outubro de 2016 no extremo sul do Brasil. A) Danos a rede elétrica e árvores no centro de Rio Grande. Foto: G1. B) Inundação no balneário Cassino, Rio Grande, no dia 27 de outubro. Foto: Lauro Calliari. C) Área urbana do balneário Cassino inundada no dia 28 de outubro. Foto: Ulisses Oliveira D) Ação de ondas de alta energia no Balneário do Hermenegildo, Santa Vitória do Palmar, no dia 28 de outubro. Foto: Arafat Mustafa. E) Danificação a edificação no balneário do Hermenegildo no dia 28 de outubro. Foto: Reinaldo Cardoso. F) Orla urbana do balneário do Hermenegildo danificada pelo evento de alta energia em 28 de outubro de 2016. Foto: Reinaldo Cardoso.

Posterior a mudança de direção dos ventos nos quadrantes nordeste (estágio inicial), leste, sul/sudeste (estágios intermediários) os vetores de vento assumem uma direção nordeste (estágio final) no dia 29/10/2016 (Figura 6 F). Nesse dia, a frente fria não atua mais sobre os Estados do sul do Brasil (processo de frontólise) e nem o ciclone no Oceano Atlântico (processo de ciclólise). Os ventos assumem velocidades médias e rajadas de menor

intensidade e retornam para um cenário comumente encontrado após a passagem de um sistema frontal em latitudes médias.

A Figura 7 mostra maior amplitude térmica no sentido norte sul no mês de outubro de 2016, quando compara-se as anomalias da temperatura tropical e subtropical. Conseqüentemente, o gradiente de temperatura na região ciclogênica era maior do que o normal, favorecendo a intensificação dos ventos ciclônicos que são mecanismos que buscam estabelecer um equilíbrio térmico na atmosfera. Adicionalmente essa maior amplitude térmica pode ter deslocado para norte o ciclone, se estabelecendo em latitudes que compreendem o município do Rio Grande.

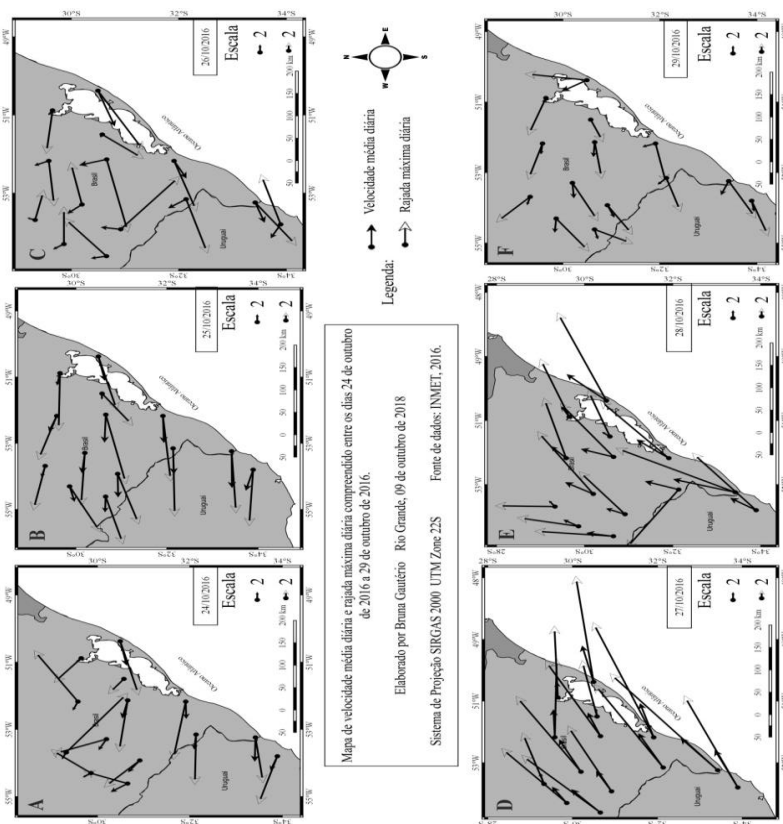


Figura 6: Cenário do regime de ventos do dia 24/10/2016 ao dia 29/10/2016 com a velocidade média do dia e a rajada máxima diária. Fonte: INMET 2016; própria do autor, 2018.

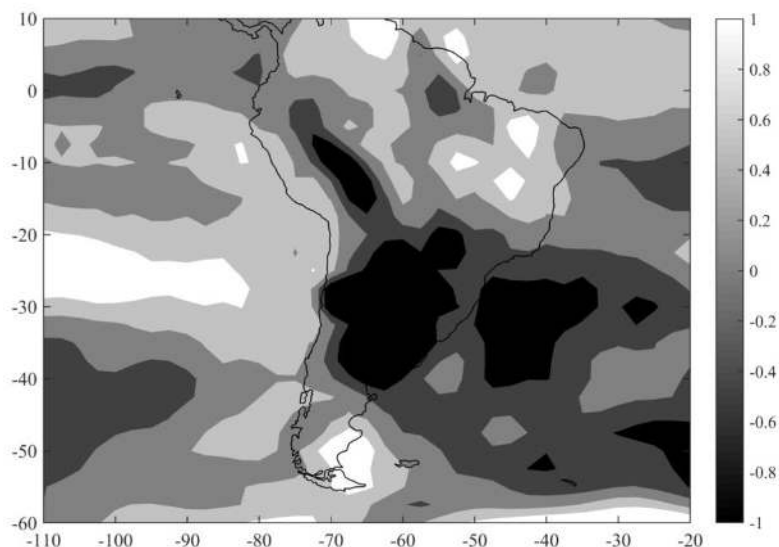


Figura 7: Anomalia do gradiente de temperatura bpara o mês de outubro de 2016. Fonte: NCEP/NCAR, 2018; própria do autor, 2018.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A evolução do sistema frontal pode ser considerada normal dentro do padrão de deslocamento da frontogênese (400 – 500 km por dia). A formação do ciclone extratropical no dia 27/10/2016 ocorreu em latitudes médias (32º S e 52º O) na costa do Rio Grande do Sul. Este gerou intensos ventos de aproximadamente 40 km/h e fortes rajadas de até 108 km/h.

Os impactos ambientais no extremo sul do Brasil foram causados sobretudo pelo vento do dia 27/10/2016, visto que a precipitação acumulada dos 6 dias não foi de grande intensidade, sendo \cong 12 mm de precipitação para o município de Rio Grande, com máximo de \cong 48 mm no Uruguai. Os fortes ventos da formação ciclônica destelharam casas, derrubaram árvores, deixando muitas pessoas desabrigadas e sem energia elétrica, no interior do RS e ocasionaram fortes ondas junto a costa.

No dia 28 de outubro de 2016, a atuação do ciclone permaneceu forte no litoral do RS causando um evento extremo de alta energia de onda, através dos intensos ventos gerados, responsáveis por propagarem ondas de alta energia, erodindo então o ambiente praial e danificando moradias localizadas em orlas

urbanas. Com a dissipação do sistema frontal e do ciclone no dia 29, o vento nordeste predomina e o evento extremo cessa sua atuação.

A localização de formação do ciclone extratropical e sua intensidade foram os principais motivos que geraram os impactos sócioambientais tanto no interior do Rio Grande do Sul, quanto na porção litorânea. Ressalta-se que na primavera a área de maior densidade ciclogênética é na região da desembocadura do rio da Prata no Uruguai. Porém, a formação a atividade ciclogênética de outubro de 2016 aconteceu nas latitudes que coincidiram com o extremo sul do Rio Grande do Sul. A anomalia do gradiente de temperatura também levanta a hipótese de que os ventos se intensificaram para proporcionar um ambiente térmico atmosférico equilibrado.

6. BIBLIOGRAFIA

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosfera, Tempo e Clima**. 9 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

CAVALCANTI, I. F. *et al.* **Tempo e Clima do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

CEEE. **Relatório de Evento que Tenha Gerado Interrupção em Situação de Emergência – ISE**. 2016. Disponível em: <http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Archives/Upload/REL_2016-021_93660.pdf> Acesso em: 10 fev. 2018.

CHRISTOPHERSON, R. W.; BIRKELAND, G. H. **Geossistemas: Uma Introdução à Geografia Física**. 9 ed. Porto Alegre: Bookman, 2017.

FAVERA, A. C. D., *et al.* Potencial Eólico no Rio Grande do Sul – Distribuição Estatística dos Ventos na Região Central do Estado. **Revista de Geografia Acadêmica**, v. 6, n. 1, 2012, p. 38-51.

FERREIRA, L. G. B., *et al.* **Fenômeno *El Niño* de 2015/2016 e seus Impactos nas Chuvas do Paraná**. INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Londrina. Boletins do IAPA, 2017, p. 1-13.

GAN, M. A. **Ciclogêneses e Ciclones Sobre a América do Sul**. Tese (Doutorado em Meteorologia) – INPE, São José dos Campos, São Paulo, 1992.

GAÚCHA, ZH. **Após Dois Dias Maré Baixa no Hermenegildo, Onde Cerca de 80 Casas Foram Danificadas.** 2016. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2016/10/apos-dois-dias-mare-baixa-no-hermenegildo-onde-cerca-de-80-casas-foram-danificadas-8070298.html>>. Acesso 10 fev. 2018.

GOULART, E. S.; CALLIARI, L. J. **Morfodinâmica da Zona de Arrebentação na Praia do Cassino em Eventos de Maré Meteorológica.** Resumo expandido da Revista Abequa, 2011.

IPCC. **ClimateChange: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2007.

MARENCO, J.A. **Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade: Caracterização do Clima Atual e Definições das Alterações Climáticas para o Território Brasileiro ao longo do Século XXI.** Editora Estação Gráfica. Brasília, 2006.

MUEHE, D. **Erosão e Progradação no Litoral Brasileiro.** Brasília: MMA, 2006.

OLIVEIRA, G .S.; SATYAMURTY, P. **O El Niño de 1997/98: evolução e impactos no Brasil.** IN: X CONGRESSO BRASILEIRO de METEOROLOGIA. Campos de Jordão, 1998.

OLIVEIRA, U. R. et al. **Impactos do ciclone extratropical de outubro de 2016 sobre localidades costeiras do litoral médio e sul do Rio Grande do Sul.** In: ENCONTRO NACIONAL DE GERENCIAMENTO COSTEIRO, 2017, Rio Grande. Encontro Nacional de Gerenciamento Costeiro, p. 263-264, 2017.

REBOITA, M. S. **Ciclones Extratropicais Sobre o Atlântico Sul: Simulação Climática e Experimentos de Sensibilidade.** Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

REBOITA, M. S. *et al.* Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. **Revista Terra e Didática**, vol. 8, n. 1, 2012, p. 34-50.

VENDRASCO, E. P. **Climatologia de Frontogêneses Usando a Equação Frontogenética de Petterssen**. In: XIII COGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, Fortaleza, 2004, p. 1-5.

SILVA, M. E. S. **Distúrbios Tropicais**. In: II SEMINÁRIO DE PESQUISA EM GEOGRAFIA FÍSICA – Programa de Pós-graduação em Geografia Física – USP, 11 a 12 dez, 2004, p. 762-776.

STONE, P. H. **Frontogenesis by Horizontal Wind Deformation Fields**. JAS, Vol 23, No 5, 1966, 455-465 p.

VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J. Planície Costeira do Rio Grande do Sul: Gênese e Paisagem Atual. **Notas Técnicas**, Porto Alegre, v. 8, 1995, 14 p.

Recebido em 19 de outubro de 2018. Aceito em 07 de dezembro de 2018.