



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

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



Sistemas atmosféricos associados a eventos de inundação costeira na Enseada de Tijucas - Santa Catarina

Elaine Cristina dos Santos¹, Jarbas Bonetti²

¹Doutoranda em Geografia - PPGE/UFSC, e-mail: elacristinasantos2@gmail.com; ²Professor Titular da Universidade Federal de Santa Catarina e Coordenador do Laboratório de Oceanografia Costeira da Coordenadoria Especial de Oceanografia/UFSC, Florianópolis (SC), e-mail: jarbas.bonetti@ufsc.br (autor correspondente).

Artigo recebido em 28/07/2020 e aceito em 02/08/2021

RESUMO

Sistemas costeiros semiabrigados, embora menos estudados que os setores voltados ao mar aberto, também são suscetíveis aos efeitos decorrentes da atuação dos eventos de maré de tempestade. A fim de contribuir com o avanço do conhecimento sobre quais são os principais sistemas atmosféricos associados às inundações costeiras em um desses ambientes, as condições meteorológicas e oceanográficas simultâneas à ocorrência de eventos registrados entre 2002 a 2020 na Enseada de Tijucas-SC foram investigadas neste trabalho. Para tal, foi efetuada a identificação dos sistemas atmosféricos atuantes no Atlântico Sul, suas localizações e tempo de atuação. Outras variáveis auxiliaram na caracterização dos eventos, como dados meteorológicos e maregráficos. Teleconexões como o El Niño-Oscilação Sul também foram relacionadas aos casos de inundação costeira identificados. O padrão atmosférico encontrado para a maioria dos casos é composto pela passagem de frente fria por Santa Catarina, desenvolvimento de ciclone extratropical e queda da pressão atmosférica para valores menores do que 1010 hPa de um a dois dias antecedentes ao evento. O padrão de formação dos ciclones encontrado em 70% dos eventos abarcava as latitudes entre 35°S e 42,5°S, com deslocamento destes sistemas para leste. 90% das inundações ocorreram durante maré alta e 70% em maré de sizígia. A maioria dos eventos ocorreu sob influência do El Niño-Oscilação Sul (fase La Niña), ainda que em alguns casos a fase de El Niño muito forte houvesse recém-finalizada.

Palavras-chave: Maré de tempestade. Ciclone extratropical. Eventos extremos. Suscetibilidade.

Atmospheric systems associated with coastal flooding events at Enseada de Tijucas - Santa Catarina

ABSTRACT

Semi-sheltered coastal systems, although less studied than open-sea coasts, are also susceptible to the effects of storm surge events. In order to contribute to the knowledge about the main atmospheric systems associated with coastal inundations in such environments, the meteorological and oceanographic conditions simultaneous to the events recorded from 2002 to 2020 at Enseada de Tijucas were investigated in this research. For this, the atmospheric systems operating in the South Atlantic, their locations and time of operation were described. Other variables, such as meteorological and tidal data, also helped to characterize the events. Teleconnections such as the El Niño-Southern Oscillation were also related to coastal inundations cases. The atmospheric pattern found for most events is composed by the passage of a cold front through Santa Catarina, the development of an extra-tropical cyclone and the drop in atmospheric pressure to values below 1010 hPa one to two days prior to the event. The cyclone formation pattern found in 70% of events covered latitudes between 35° S and 42.5° S, with the displacement of these systems to the east. 90% of the inundations occurred during high tide and 70% during spring tide. Most events were influenced by El Niño-South Oscillation (La Niña phase), although in some cases a very strong El Niño phase had just ended by the moment of the event.

Keywords: Storm surge. Extratropical cyclone. Extreme events. Susceptibility.

Introdução

As áreas suscetíveis à inundação causada pela sobrelevação do nível do mar de natureza meteorológica, *storm surge* (Carter, 1988;

Taborda e Dias, 1992; Gama et al., 1994) ou maré de tempestade (Rudorff et al., 2014), necessitam de planejamento específico devido aos impactos que estas inundações geram para a população,

atividades econômicas e infraestruturas situadas na zona costeira.

As tempestades costeiras possuem como principal centro de geração as zonas de baixa pressão atmosférica nos oceanos. Sua magnitude pode variar de acordo com o tamanho da pista, duração, intensidade e direção do vento (Carter, 1988), além de outras variáveis envolvidas, como o gradiente de pressão atmosférica, topografia local e as próprias características da tempestade: sua velocidade de trajetória e proximidade da costa (Rudorff et al., 2014).

Próximo à linha de costa, a sobrelevação causada pelas tempestades, habitualmente associadas a ocorrência de ondas grandes, pode ter seus efeitos amplificados em função do vento local e da maré astronômica. Dependendo da direção dos ventos e da configuração geomorfológica local estes podem promover o empilhamento de água contra a costa (Dias, 2007) devido ao transporte de Ekman, sendo este processo determinante na definição de seu potencial de impacto. Considerando a linha de costa da região Sul do Brasil, Truccolo (1998) exemplifica que ventos do quadrante sul promovem empilhamento de águas neste setor. O pior cenário de maré de tempestade pode ocorrer durante tempestades intensas associadas a marés de sizígia (Taborda e Dias, 1992; Dias, 2007; Rudorff et al., 2014), ou seja, o evento é amplificado pela soma da sobrelevação do nível do mar gerada pela tempestade (ondas + vento) com a maré astronômica.

Bonetti et al. (2018) apontam que o sul do Brasil está regularmente sobre influência de ciclones extratropicais, frentes frias e outros sistemas associados a tempestades. É durante a passagem destes sistemas intensos que ocorrem as marés de tempestade, afetando muitos municípios da zona costeira do estado de Santa Catarina (SC), na região Sul do Brasil (Krueger, 2011; Rudorff et al., 2014). De acordo com Truccolo (1998), as marés geradas pelos eventos meteorológicos podem ampliar em até um metro o nível do mar previsto na costa catarinense. Salles de Araujo (2020), ao analisar as flutuações do nível do mar no litoral de Santa Catarina a partir de estações maregráficas, alerta que estes eventos de sobrelevação marinha podem ultrapassar até 90% da maré astronômica prevista em casos extremos, recomendando a atenção das embarcações que navegam em estuários, baías e enseadas.

Neste cenário, a Enseada de Tijucas, localizada no setor central da costa de Santa Catarina, é suscetível a eventos de inundação

costeira associados a sistemas atmosféricos intensos, embora possa ser considerada um ambiente costeiro semiabrigado em relação à incidência de ondas oceânicas e aquelas geradas pelos ventos locais (Klein et al., 2016; Santos e Bonetti, 2018). Apesar de não estar diretamente exposta à ação de processos oceânicos, a área apresenta registros regulares, nas últimas duas décadas, de sobrelevação marinha e consequente transposição da água do mar para a planície costeira adjacente ocupada por população de baixa renda (Santos, 2018).

As relações entre eventos atmosféricos intensos e a ocorrência de maré de tempestade em áreas costeiras situadas nas regiões Sudeste e Sul do Brasil foram descritas por Campos et al. (2010), que caracterizaram os sistemas meteorológicos responsáveis pela sobrelevação do nível em Santos (São Paulo); Parise et al. (2009) que investigaram as condições atmosféricas na ocorrência de marés de tempestade na Praia do Cassino (Rio Grande do Sul); e Gautério et al. (2018), que analisaram os processos atmosféricos de formação do ciclone extratropical de outubro de 2016 e seus impactos no extremo sul do Brasil. Anomalias atmosféricas e teleconexões envolvendo a temática inundação também foram investigadas por alguns autores (Schossler et al., 2018; Machado et al., 2019). Para Santa Catarina, Krueger (2011) avaliou as condições meteorológicas e oceanográficas responsáveis pelas marés de tempestade que ocorreram de 2001 a 2010.

Apesar do interesse que a temática tem despertado no desenvolvimento de pesquisas científicas, poucos são os exemplos na literatura dedicados à avaliação da vulnerabilidade e à análise dos fatores que favorecem a ocorrência de sobrelevação do nível do mar em setores abrigados da incidência direta de ondas, podendo-se citar: Raji et al., 2013; Silveira e Bonetti, 2019; Da Lio e Tosi, 2019; Wang et al., 2021.

Tais sistemas, que compreendem os trechos costeiros de baías, enseadas e lagunas, entre outras feições, são altamente propensos a ocorrência de inundação costeira devido às suas características geomorfológicas e à exposição simultânea aos agentes continentais, marinhos e atmosféricos (National Research Council, 2007; Nicholls et al., 2007).

A fim de contribuir com o avanço do conhecimento sobre quais são os principais sistemas atmosféricos associados às inundações costeiras registradas em um ambiente semiabrigado, este estudo tem como principal

objetivo caracterizar as condições meteorológicas e oceanográficas que atuaram durante os eventos de maré de tempestade registrados de 2002 a 2020 na Enseada de Tijucas.

Materiais e métodos

Efetuuou-se o levantamento dos registros de inundação costeira na Enseada de Tijucas, área do presente estudo (Figura 1), junto à Defesa Civil estadual e municipal, nos artigos dos jornais impressos Razão Tijuquense e Jornal de Tijucas, de 1998 a 2013, disponíveis no acervo da Biblioteca Pública de Santa Catarina (Florianópolis/SC) e na Biblioteca Pública Municipal Edmundo da Luz Pinto (Tijucas/SC), e em outros jornais disponíveis online e sites de notícias do município e região. Cada evento

identificado foi descrito sucintamente, como data, horário, locais atingidos e outras informações relevantes.

As variáveis atmosféricas empregadas (valores médios da pressão atmosférica ao nível da estação e direção do vento) provêm da estação meteorológica situada em Florianópolis/SC (código OMM: 83897), localizada a cerca de 50 km de distância da área de estudo. Os dados foram obtidos junto ao Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), disponíveis no portal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Foram utilizados dados de cinco dias antecedentes, do dia do evento e o dia posterior. Não há disponibilidade dos dados de direção de vento para os dias 12 e 13 de setembro de 2016.

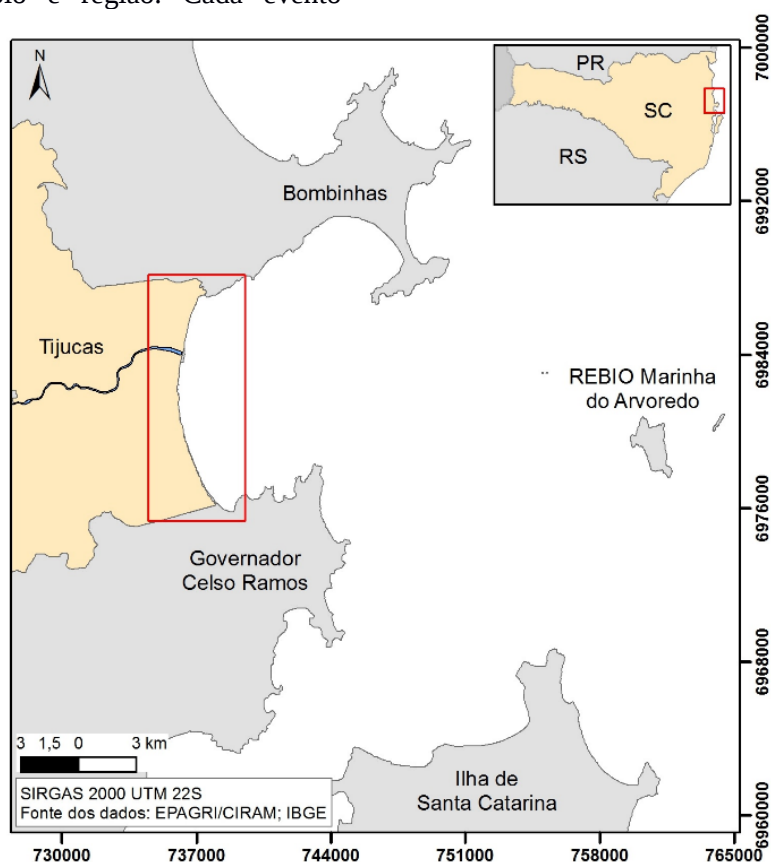


Figura 1. Localização da área de estudo. Fonte: Adaptado de Santos (2018).

As cartas sinóticas fornecidas pelo Centro de Hidrografia da Marinha – Marinha do Brasil (CHM) e as análises das mesmas para o horário 12Z, elaboradas pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC-INPE), foram georreferenciadas no Sistema de Informação Geográfica QGIS 3.10.6 para traçar de forma visual a análise sinótica e ilustrar o desenvolvimento dos sistemas atmosféricos identificados (Gautério et al., 2018).

Selecionou-se para a vetorização dos dados atmosféricos atuantes o período de cinco a três dias anteriores até o dia do evento de inundação, devido à presença de formação de frentes e de sistemas de baixa pressão. Os mapas da representação temporal dos sistemas atmosféricos atuantes foram confeccionados em escala de cinza, nos quais cores mais escuras (claras) representam proximidade (distanciamento) do dia da inundação. Os boletins de monitoramento e análise climática do CPTEC-

INPE auxiliaram na identificação do dia de formação dos ciclones.

Para identificar os sistemas atmosféricos dominantes nos eventos de inundação utilizou-se os padrões atmosféricos identificados por Machado et al. (2019) considerados favoráveis para a ocorrência de ressacas no litoral Sul e Sudeste do Brasil: I - presença de ciclone extratropical entre 30°S e 40°S e alta pressão na retaguarda; II - alta pressão pós-frontal com centro entre o litoral do Uruguai e da Argentina; III - alta pressão pós-frontal com centro sobre o Uruguai; IV - sistema de baixa pressão no continente. Comparou-se a evolução dos sistemas atmosféricos com os dados de uma estação meteorológica, possibilitando a identificação de fenômenos mais raros ou extremos (Bonetti, 1996; Mendonça e Danni-Oliveira, 2007).

Através da identificação da localização do desenvolvimento dos sistemas atmosféricos plotados e com o auxílio dos mapas de ciclones disponibilizados no portal do Grupo de Estudos Climáticos da Universidade de São Paulo (www.grec.iag.usp.br/data/ciclones_BRA.php), definiu-se a trajetória dos ciclones extratropicais que causaram inundação costeira a partir dos três padrões de trajetória propostos por Parise et al. (2009) em um estudo sobre eventos responsáveis por marés de tempestade na Praia do Cassino (Rio Grande do Sul): I - ciclogênese ao sul da Argentina com deslocamento para leste e trajetória entre 47.5°S e 57.5°S; II - ciclogênese ao sul do Uruguai com deslocamento para leste e trajetória entre 35°S e 42.5°S; III - ciclogênese ao sul do Uruguai com deslocamento para sudeste e trajetória entre 35°S e 57.5°S.

Utilizou-se, ainda, os dados de maré prevista da estação maregráfica localizada em Florianópolis, disponibilizados pela Diretoria de Hidrografia e Navegação – Marinha do Brasil (DHN). Para a maré observada há apenas dados para os eventos de 2016 e 2020 provenientes da estação maregráfica de Florianópolis, operada pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina/Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (EPAGRI/CIRAM). Conforme a identificação do dia e o horário previsto dos eventos, estes foram

classificados se ocorreram sob condição de maré alta ou baixa e se ocorreram durante maré de sizígia ou quadratura.

Para a análise da variação sazonal dos eventos de inundação, considerou-se primavera os meses de: setembro, outubro e novembro; verão: dezembro, janeiro e fevereiro; outono: março, abril e maio; e inverno: junho, julho e agosto (Machado et al., 2019). Para a variação interanual, os registros de inundação costeira foram comparados com os dados do Oceanic Niño Index (ONI), uma das medidas do El Niño-Oscilação Sul (ENOS), disponibilizados por National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2020), buscando associações entre as fases de El Niño e La Niña e a influência na quantidade de eventos extremos na Enseada de Tijucas.

Considerando que o comportamento dos sistemas atmosféricos e oceânicos, no sul e sudeste do Brasil e no sudoeste do Atlântico Sul, podem apresentar respostas defasadas aos efeitos decorrentes das fases El Niño e La Niña (Lentini et al., 2001; Minuzzi et al., 2006; Soppa et al., 2011; Minaki e Montanher, 2019) e em alguns casos se estender para períodos após o seu término (Stuecker et al., 2017), também foram obtidas as características dos ENOS imediatamente anteriores às datas de ocorrência de cada evento de inundação.

Resultados

A partir do levantamento das notícias nos jornais locais e relatórios da Defesa Civil, dez eventos de inundação costeira foram registrados na Enseada de Tijucas no período de 2002 a 2020. Dentre estes, somente o evento de 2003 está registrado no Sistema Integrado de Informações sobre Desastres da Defesa Civil (S2ID), por meio de uma portaria que decreta situação de emergência no município de Tijucas. No geral, os registros encontrados nos jornais focam nas inundações que ocorreram na parte urbana de Tijucas, abordando pouco sobre as áreas de arrozal e pastagem situadas na zona central e sul da área de estudo, por exemplo, onde não há residências. A Figura 2 mostra alguns exemplos dos efeitos desses episódios.



Figura 2. Registros fotográficos dos eventos de (A) 17 de agosto de 2016 na área urbana; (B) 15 de setembro de 2016 na área urbana; 28 e 29 de outubro de 2016 na área urbana, com dique de areia parcialmente erodido (C), e área de arrozal (D). Fonte: VipSocial; TopElegance; Portal Galera Mix (2016).

O primeiro episódio de inundação costeira encontrado ocorreu no dia 2 de setembro de 2002 durante a madrugada. Verificou-se que a pressão atmosférica decaiu quatro dias antes do evento, chegando a 1008 hPa, conforme a Figura 3a, elevando-se posteriormente, devido ao deslocamento de uma frente fria por Santa Catarina três dias antes do evento, com ciclone extratropical associado situado no Oceano Atlântico Sul (O.A.) na altura do Uruguai. Um dia antes do evento houve uma pequena queda na pressão atmosférica, de 1018 para 1015 hPa. Os ventos passaram a ser, no geral, entre Sudeste a Sudoeste de três a um dia anterior ao evento. A evolução dos sistemas atmosféricos atuantes de 29 de agosto a 2 de setembro podem ser verificados na Figura 3b. A maré astronômica máxima prevista para a madrugada do dia 2 de setembro era de 0,65 m.

O segundo episódio foi registrado na noite de 25 de maio de 2003. A pressão atmosférica começou a decair cinco dias antes do evento, com a menor pressão registrada dois dias antes, 1004 hPa (Figura 3c), devido a passagem de uma frente fria por Santa Catarina com ciclone associado presente no O.A. na altura do Rio Grande do Sul. Um centro de baixa pressão secundário se formou neste mesmo dia ao sul do Uruguai. No dia 24 os

dois centros de baixa pressão se tornaram um único centro. Foram registrados ventos predominantemente de Noroeste um dia antes do evento. Houve a passagem de outra frente no dia do evento com sistema de baixa pressão associado. O avanço das frentes frias e sistemas de baixa pressão atuantes de 22 a 25 de maio podem ser consultados na Figura 3d. A maré máxima prevista era de 0,84 m para a noite do evento de inundação.

Na tarde do dia 27 de junho de 2006 ocorreu o terceiro evento, também registrado em outros setores do litoral norte catarinense. Houve queda da pressão atmosférica de dois a um dia antes do evento, de 1020 hPa para 1008 hPa (Figura 3e), devido a passagem de uma frente fria por Santa Catarina, elevando-se para 1022 no dia 27. A direção dos ventos registrados na estação meteorológica predominou entre Norte e Noroeste de três a dois dias anteriores, mudando para Oeste a Noroeste um dia antes.

Um sistema de baixa pressão (associado à frente) situado sobre o Uruguai dois dias antes do episódio de inundação se configurou como ciclone um dia antes, conforme pode ser visualizado na Figura 3f. A maré máxima prevista para o dia do evento era de 1,17 m.

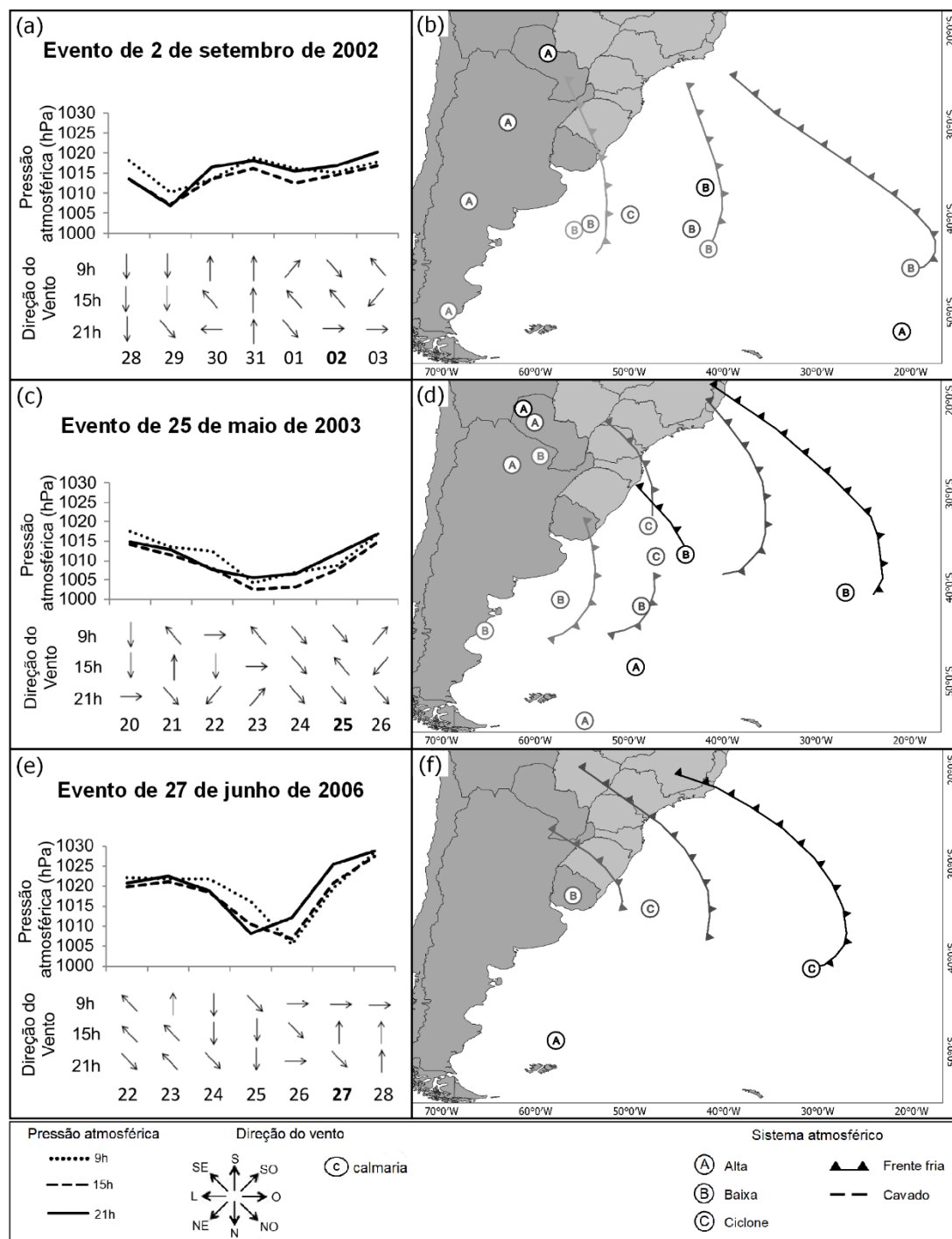


Figura 3. Variáveis atmosféricas e evolução dos sistemas atmosféricos dos eventos de 02/09/2002 (a, b); 25/05/2003 (c, d); 27/06/2006 (e, f), respectivamente.

O quarto evento registrado ocorreu na manhã do dia 1 de novembro de 2010. A pressão atmosférica permaneceu abaixo dos 1013 hPa até dois dias antes do episódio de inundação, conforme Figura 4a, chegando a 1006 hPa, devido a passagem de uma frente fria por Santa Catarina um dia antes do evento, com sistema de baixa pressão associado, voltando a se elevar um dia antes. Os ventos dos dias 31 de outubro e 1 de

novembro eram predominantes do quadrante Sudeste. O sistema de baixa pressão associado se formou no extremo sul da Argentina quatro dias antes do evento de inundação, que se configurou como ciclone no O.A. um dia antes na altura do Rio da Prata, conforme a Figura 4b, de 29 de outubro a 1 de novembro de 2010. O evento ocorreu durante maré de quadratura e a maré

máxima prevista para a manhã do dia 1 de novembro era de 0,93 m

O quinto evento ocorreu dia 26 de outubro de 2011. A pressão atmosférica começou a decair três dias antes do evento, chegando a 1005 hPa um dia antes (Figura 4c), queda associada ao deslocamento de uma frente pelo litoral de Santa Catarina no dia do evento. A frente fria possuía sistema de baixa pressão associado no litoral do Rio Grande do Sul que passou a ciclone no dia do evento (Figura 4d). Os ventos, que eram predominantes de Noroeste a Nordeste passaram para Sudeste no dia da inundação. A maré máxima prevista para o dia do evento era de 1,4 m.

Na tarde do dia 17 de agosto de 2016 ocorreu o sexto episódio de inundação costeira registrado. A pressão atmosférica decaiu até dois dias antes do evento, ficando em torno de 1008 hPa, posteriormente voltou a se elevar (Figura 4e). Os ventos registrados foram de Noroeste a Nordeste de dois dias até a tarde do evento, passando para Sul a Sudeste à noite e no dia seguinte ao evento.

Houve a passagem de duas frentes, uma no dia 16 no O.A na altura de Santa Catarina e outra no dia 17 pelo Rio Grande do Sul, com sistemas de baixa pressão/ciclone associados situados a sudeste do Uruguai sobre o oceano. A maré prevista para a tarde do dia 17 de agosto era de 1,2 m e para este mesmo horário a maré observada foi de 1,21 m, segundo observações da Epagri/Ciram. A maré de sizígia ocorreu um dia depois do evento, 18 de agosto. O avanço das frentes e a localização do ciclone podem ser verificados na Figura 4f, referente ao período de 15 a 17 de agosto de 2016.

O sétimo episódio ocorreu dia 15 de setembro de 2016 e também foi registrado em outros setores costeiros de Santa Catarina, como Porto Belo e Balneário Camboriú. Segundo informações da Epagri/Ciram, este evento ocorreu devido à somatória do pico máximo da maré astronômica, por volta das 14 h, e ventos de quadrante sul a sudeste com intensidade de 30 a 40 km/h, que atingiu diversos setores do litoral catarinense.

Houve a passagem de uma frente fria por Santa Catarina entre os dias 13 e 14 de setembro, fazendo com que a pressão atmosférica decaísse

para 1004 hPa, conforme Figura 4g, com ciclone associado que se formou dois dias antes do evento situado a sudeste do Uruguai sobre o oceano. Os ventos um dia antes do evento e no dia predominaram dos quadrantes Sudoeste e Sudeste. A maré prevista para o dia 15 de setembro era de 1,2 m e para o horário das 14 h a maré observada foi de 1,62 m, segundo observações da Epagri/Ciram. A maré de sizígia ocorreu no dia do evento. A evolução dos sistemas atmosféricos atuantes entre os dias 13 a 15 de setembro de 2016 pode ser verificada na Figura 4h.

O oitavo registro (Figura 6), que afetou mais áreas quando comparado com os de 2016, consiste em dois eventos tratados aqui conjuntamente por terem ocorrido sob o mesmo sistema atmosférico. Os eventos ocorridos na tarde do dia 28 de outubro e madrugada do dia 29 de outubro de 2016, foram registrados também nos municípios vizinhos, como Florianópolis, Bombinhas, Itapema, Porto Belo e outras cidades do litoral norte de Santa Catarina. Devido ao deslocamento de uma frente fria por Santa Catarina no dia 27 de setembro, a pressão atmosférica decaiu chegando a 1003 hPa (Figura 5a). O ciclone associado se formou próximo ao Uruguai no oceano. Foram registrados ventos de Nordeste antes, e Sudoeste a Sudeste nos dias dos eventos.

A maré prevista para o dia 28 de outubro às 13 h era de 1,1 m e para o horário das 14 h a maré observada foi de 1,6 m, já para o dia 29 de outubro, a previsão para a 1 h era de 1,2 m, porém a maré observada para este mesmo horário foi de 1,75 m, segundo observações da Epagri/Ciram. A maré de sizígia ocorreu dois dias depois do evento, em 30 de outubro. A localização do ciclone atuante nos dias 28 de outubro e 29 de outubro de 2016 pode ser verificada na Figura 5b.

O nono evento de inundação registrado na Enseada de Tijucas ocorreu dia 4 de abril de 2020, por volta da 1 h, e também atingiu diversos setores costeiros catarinenses. No dia 3 de abril houve a passagem de uma frente fria por Santa Catarina com ciclone associado localizado no litoral do Rio Grande do Sul, com decaimento da pressão atmosférica para 1004 hPa (Figura 5c). Ventos de Oeste foram registrados antes e de Sudeste a Sudoeste no dia do evento.

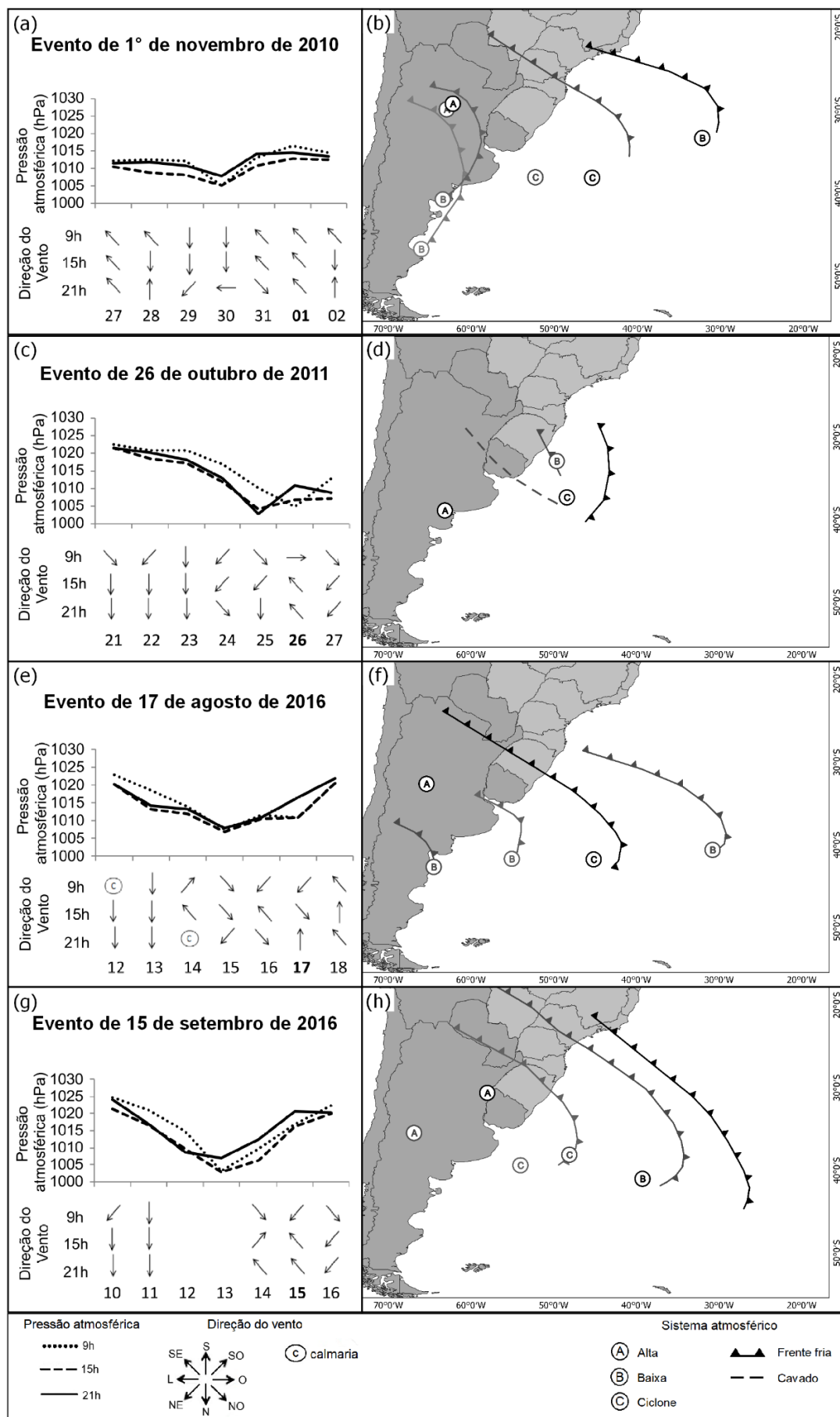


Figura 4. Variáveis atmosféricas e evolução dos sistemas atmosféricos dos eventos de 01/10/2010 (a, b); 26/10/2011 (c, d); 17/08/2016 (e, f), 15/09/2016 (g, h), respectivamente.

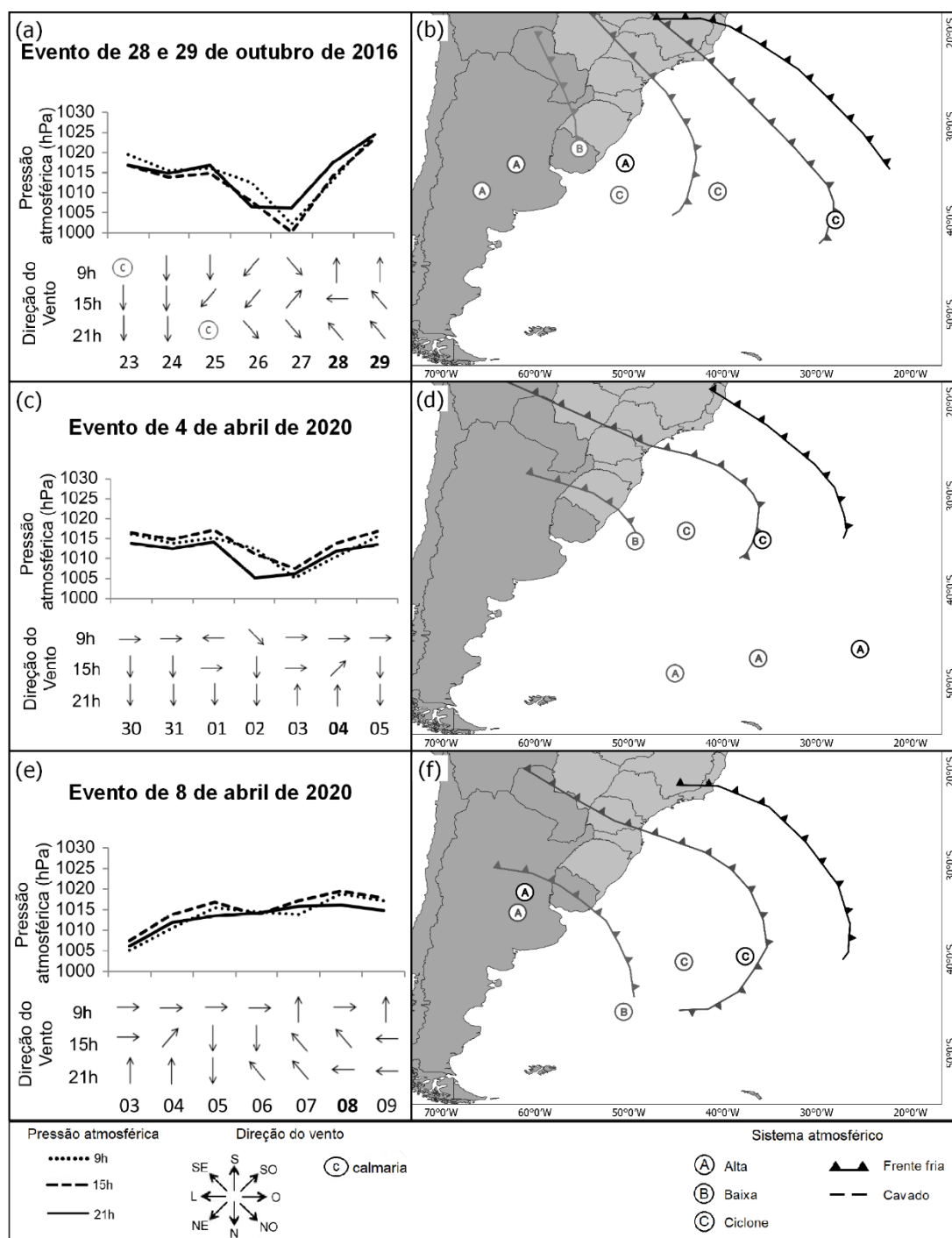


Figura 5. Variáveis atmosféricas e evolução dos sistemas atmosféricos dos eventos de 28 e 29/10/2016 (a, b); 04/04/2020 (c, d); 08/04/2020 (e, f), respectivamente.

A maré prevista para o horário do evento era de 1,2 m, entretanto a maré observada para às 2 h foi de 1,75 m. A maré de sizígia ocorreu dia 7 de abril. A evolução dos sistemas atmosféricos atuantes entre os dias 2 a 4 de abril de 2020 pode ser verificada na Figura 5d.

Na tarde do dia 8 de abril de 2020 ocorreu o décimo e último evento registrado até abril de 2020, que atingiu outras cidades, como Florianópolis e Itajaí. A pressão atmosférica decaiu dois dias antes para 1012 hPa e no dia do

evento estava 1019 hPa (Figura 5e). Houve a passagem de uma frente fria por Santa Catarina um dia antes do evento, com ciclone associado situado a sudeste do Uruguai sobre o oceano (Figura 5f). Ventos de Sudeste foram registrados no dia do evento. A maré máxima prevista era de 1,3 m para o horário das 14 h 53 min, entretanto, a maré observada foi de 1,65 m às 15 h. A maré de sizígia durante perigeu ocorreu um dia antes do evento.



Figura 6. Vista para o setor norte da área de estudo após evento de inundação costeira (situado na margem esquerda do Rio Tijucas). Fonte: Jornal Razão Tijuquense (2016).

A síntese dos resultados obtidos pode ser verificada na Tabela 1.

O padrão atmosférico encontrado para a maioria dos casos é composto pela passagem de frente por SC, o desenvolvimento de ciclone extratropical e a queda da pressão atmosférica

para valores menores do que 1010 hPa de dois a um dia antecedente ao evento. Em alguns casos, os ventos predominaram de Sudoeste, Oeste ou Noroeste antes e no dia do evento, ocorrendo igualmente registros de ventos soprando de SE.

Tabela 1. Compilação dos resultados encontrados referentes às características meteorológicas e oceanográficas dos eventos de inundação costeira registrados na Ensedade Tijucas/SC.

Data do evento	Menor pressão atmosférica*	Valor médio da menor pressão atmosférica (hPa)	Ventos atuantes antes / no dia	Passagem de frente fria por SC*	Presença de ciclone*	Maré no dia
02/09/2002	-4 e -1	1008 e 1015	SO a SE / O a NO	-3	-2	Quadratura/baixa
25/05/2003	-2	1004	NO	-2	-2	Quadratura/alta
27/06/2006	-1	1008	O a NO	-1	-1	Sizígia/alta
01/11/2010	-2	1006	SE	-1	-1	Quadratura/alta
26/10/2011	-1	1005	NO a NE / SE	0	0	Sizígia/alta
17/08/2016	-2	1008	NO a NE	-1	0	Sizígia/alta
15/09/2016	-2	1004	SO a SE	-1	-2	Sizígia/alta
28 e 29/10/2016	-1	1003	NO / S a SE	-1	-1	Sizígia/alta
04/04/2020	-1	1006	O / S a SO	-1	-1	Sizígia/alta
08/04/2020	-2	1014	SE	-1	-1	Sizígia/alta

* Quantidade de dias antecedentes ao evento de inundação.

A maioria das inundações ocorreram durante maré de sizígia e alta. O evento de 2002 apresentou parte de suas características diferentes em relação a maioria dos padrões encontrados, pois a menor pressão atmosférica (abaixo de 1010 hPa) ocorreu quatro dias antes da inundação e a passagem da frente fria por SC ocorreu três dias antes, assim como foi o único evento registrado durante maré baixa e de quadratura. Outros eventos que se diferenciaram, porém menos, em

relação à maioria foram os de 2011 e 8 de abril de 2020, no qual o primeiro apresentou passagem de frente fria por SC e a presença de ciclone no dia da maré de tempestade e o último, pressão atmosférica acima de 1010 hPa e ocorreu durante perigeu.

Os períodos de ocorrência das fases El Niño e La Niña durante o intervalo aqui investigado podem ser visualizados na Tabela 2.

Tabela 2. El Niño e La Niña atuantes durante e antes dos eventos de inundação costeira registrados na Enseada de Tijucas/SC.

Data do evento	ENOS vigente no evento	Intensidade do fenômeno	Estágio do ENOS vigente	ENOS anterior ao evento
02/09/2002	El Niño	Moderada	Meio	Fase neutra
25/05/2003	Fase neutra	-	Início	El Niño moderado
27/06/2006	Fase neutra	-	Meio	La Niña fraca
01/11/2010	La Niña	Forte	Meio	El Niño moderado
26/10/2011	La Niña	Moderada	Meio	La Niña forte
17/08/2016	La Niña	Fraca	Início	El Niño muito forte
15/09/2016	La Niña	Fraca	Início	El Niño muito forte
28 e 29/10/2016	La Niña	Fraca	Início	El Niño muito forte
04/04/2020	Fase neutra	-	Início	El Niño fraco
08/04/2020	Fase neutra	-	Início	El Niño fraco

Discussão

Em trabalho semelhante ao aqui apresentado, Machado et al. (2019) avaliaram as condições atmosféricas associadas aos eventos de ressaca no litoral Sul e Sudeste brasileiro durante o El Niño 2015/2016 e identificaram quatro padrões atmosféricos que favoreceram os eventos de ressaca, dos quais seis dos doze casos para o litoral Sul e Sudeste brasileiro ocorreram no padrão atmosférico II: alta pressão pós-frontal com centro entre o litoral do Uruguai e da Argentina, ocasionando a sobrelevação do nível do mar devido ao transporte de Ekman.

Em relação a presença de ciclone no trabalho referido anteriormente, três casos foram classificados como padrão I: presença de ciclone extratropical entre 30°S e 40°S, havendo um sistema de alta pressão atuando próximo ao Rio Grande do Sul, ao Uruguai e à Argentina na retaguarda do ciclone, gerando uma pista de vento que propiciou os episódios de sobrelevação do mar. Entretanto, para o presente trabalho todos os dez eventos de inundação costeira registrados na Enseada de Tijucas estavam relacionados à passagem de frentes frias com sistemas de baixa pressão/ciclone associados atuando no oeste do Atlântico Sul. A maioria dos sistemas de alta

pressão pós-frontal estavam se formando ou se formavam sobre o continente. A Enseada de Tijucas se mostrou suscetível aos eventos de inundação costeira gerados pela passagem de frente fria com ciclone extratropical associado, o que corrobora com Rudorff et al. (2014) para os registros em Santa Catarina.

A passagem de frentes por Santa Catarina ocorreu em 70% dos eventos de dois a um dia antes, enquanto que os ciclones se desenvolviam na sua maior parte de dois a um dia antes do evento a partir de sistemas de baixa pressão anteriormente atuantes. Comparando os registros da estação meteorológica com o desenvolvimento dos sistemas a partir das cartas sinóticas, percebeu-se que a passagem de frentes esteve relacionada à pressão atmosférica e a direção dos ventos. No geral, a pressão atmosférica iniciava o decaimento de dois a um dia antes, por conta da iminente passagem das frentes, voltado a se elevar no dia do episódio de inundação, assim como a presença de ventos predominando de Noroeste, Oeste ou Sudoeste foram registrados até um dia antes na maioria dos casos.

Os resultados concordam com os obtidos por Campos et al. (2010), ao tratarem do tempo de

resposta da passagem de frentes frias e a ocorrência de maré de tempestade em Santos/SP. Os autores observaram que nos momentos em que ocorreram a sobrelevação máxima do nível do mar, a frente já havia passado pela área afetada entre um e dois dias. Para o período entre a formação do ciclone e a elevação máxima da maré de tempestade, Parise et al. (2009) mostraram que 39% dos eventos por eles investigados precisaram de ao menos 24 horas da ação do vento, para que ocorra a transferência do momento da atmosfera para o oceano, conforme mencionado pelos autores.

A partir da identificação da localização do desenvolvimento dos sistemas atmosféricos plotados, possibilitou-se definir a trajetória dos ciclones extratropicais que causaram inundações costeiras. A formação dos ciclones ocorreu em diferentes setores do Atlântico Sul, no geral entre o Rio Grande do Sul até o Golfo de São Matias (Argentina), e se deslocavam majoritariamente para leste com trajetória entre 35°S e 42.5°S, concordando com o padrão de trajetória II de Parise et al. (2009), considerado por eles a trajetória responsável pelos impactos mais nocivos na Praia do Cassino, devido ao ciclone extratropical estar mais próximo do litoral. Os casos de 2006, 2011 e setembro de 2016 se enquadraram no padrão III.

No trabalho de Gan e Rao (1991) sobre ciclogênese na América do Sul, a maior frequência de ciclones ocorreu em maio, com distribuição sazonal (em ordem decrescente) registrada durante inverno, outono e primavera. Krueger (2011) também encontrou um maior número de ressacas associadas a ciclogênese no mês de maio para Santa Catarina, assim como a maior frequência ocorrendo nos meses de outono e inverno. Além disso, Machado et al. (2019) registraram a maior frequência de ressacas responsáveis pelo aumento do nível do mar o litoral Sul e Sudeste do Brasil no outono, inverno e primavera.

Contudo, os casos aqui estudados foram registrados entre os meses de abril a novembro, não abarcando os meses de verão, não tendo havido um mês preferencial. Contabilizando os eventos por sazonalidade, cinco deles ocorreram na primavera, três no outono e dois no inverno. Diferentemente dos autores supracitados, no trabalho em questão houve uma maior ocorrência dos eventos na primavera, sendo que dois destes eventos podem ter se desenvolvido por influência da fase muito forte de El Niño em 2015/2016 atuante anteriormente.

Quanto aos eventos ocorrerem durante maré alta ou baixa, o evento de 2002 foi o único que não ocorreu durante maré alta. Em relação à maré de sizígia ou quadratura, somente os episódios de 2002, 2003 e 2010 ocorreram durante maré de quadratura, ou seja, 70% dos eventos estavam sob influência da maré de sizígia. Resultados semelhantes foram encontrados por Krueger (2011) e Machado et al. (2019), nos quais 73% e 75% dos eventos, respectivamente, ocorreram em maré de sizígia. Taborda e Dias (1992), Dias (2007) e Rudorff et al. (2014) consideram que o pior cenário para a ocorrência da maré de tempestade seria durante tempestades intensas associadas a marés de sizígia. O evento de 2002 que ocorreu durante maré de quadratura e baixa-mar esteve sob influência de tempo maior em relação aos outros casos de sistema de baixa pressão atuando durante cinco dias entre no O.A. entre o Uruguai e o Rio Grande do Sul. O evento de 8 de abril de 2020 aconteceu durante o perigeu.

Durante as marés de tempestade, o nível do mar pode aumentar até 1 m na costa catarinense (Truccolo, 1998). No que se refere à maré observada, apenas os eventos de 2016 e 2020 possuem registros. Os episódios de 15 de setembro, 28 e 29 de outubro de 2016 e 4 e 8 de abril de 2020, a maré prevista era de 1,2 m, 1,1 m, 1,2 m, 1,2 m, 1,3 m, contudo a observada foi de 1,6 m, 1,6 m, 1,75 m, 1,75 m, 1,65 m, respectivamente, havendo uma diferença de 35 a 55 cm no nível da água gerada pelo efeito dos sistemas atmosféricos atuantes, porém este valor pode ser ainda maior na Enseada de Tijucas, visto que estes eventos podem ser amplificados em locais rasos e mares semifechados (Carter, 1988) e o marégrafo não está situado na área atingida. Este último ponto limitante pode estar atrelado ao registro obtido no evento de 17 de agosto de 2016, no qual a maré prevista e a observada foram 1,2 m.

Dos três eventos consecutivos ocorridos em 2016, o que resultou na maior área afetada na Enseada de Tijucas foi o da madrugada do dia 29 de outubro de 2016, provavelmente os eventos sucessivos não possibilitaram ao ambiente tempo suficiente para se recuperar. Pensando em um cenário pessimista de mudanças climáticas, no qual há o aumento da frequência ou das áreas preferencialmente atingidas por esses eventos intensos, a suscetibilidade da Enseada aos episódios de inundação costeira pode vir a aumentar.

Quanto aos fenômenos El Niño (EN) e La Niña (LN), Reboita et al. (2015) verificaram que

não há diferença entre a quantidade de ciclogêneses em anos neutros, de EN e de LN, porém as áreas preferenciais para o desenvolvimento destes sistemas se modificam, havendo um aumento em anos de El Niño na ocorrência de ciclones entre 30° e 60°S e diminuição entre 60° e 70°S. Para o presente trabalho, 5 dos 10 eventos de inundação estudados ocorreram durante LN, contudo destes cinco, três (eventos de 2016) foram logo após EN muito forte de julho/2015 a maio/2016 que havia recém-finalizado.

Exemplos da influência deste ENOS muito forte podem ser encontrados no episódio de inundação de outubro de 2016 abordado por Schossler et al. (2018) e em Stuecker et al. (2017), que investigaram a baixa extensão do gelo marinho antártico registrado em novembro/dezembro de 2016 associado em parte aos efeitos estendidos do EN muito forte

2015/2016 permitidos pela LN fraca subsequente. Eventos de ENOS muito fortes podem afetar consideravelmente a dinâmica atmosférica, como no Sudeste do Brasil. Minuzzi et al. (2006) avaliaram que o período chuvoso no Sudeste brasileiro tardou em terminar após eventos muito fortes de EN de 1982/1983 e 1997/1998. Com a modificação nas áreas preferenciais de ciclogênese, os períodos de El Niño possibilitam o aumento da instabilidade atmosférica e ciclogênese nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, afetando as áreas costeiras adjacentes (Machado et al., 2019).

Os sistemas atmosféricos responsáveis pelos casos de inundação costeira na Enseada de Tijucas, o tempo de resposta da área afetada pelos sistemas, o padrão de deslocamento dos ciclones e o ENOS atuante durante os eventos podem ser consultados na Tabela 3:

Tabela 3. Sistemas atmosféricos atuantes nos eventos de inundação costeira na Enseada de Tijucas/SC.

Data do evento	Sistemas atmosféricos	Tempo de resposta*	Padrão de deslocamento**	ENOS vigente
02/09/2002	FF + C	< 2,5	2	El Niño
25/05/2003	FF + C	> 2	2	Neutro
27/06/2006	FF + C	< 1	3	Neutro
01/11/2010	FF + C	> 0,5	2	La Niña
26/10/2011	FF + C	> 0,5	3	La Niña
17/08/2016	FF + C	< 1	2	La Niña
15/09/2016	FF + C	< 2	3	La Niña
28 e 29/10/2016	FF + C	< 1	2	La Niña
04/04/2020	FF + C	< 0,5	2	Neutro
08/04/2020	FF + C	< 1	2	Neutro

FF = Frente fria; C = Ciclone. *Quantidade de dias de passagem de frente por SC/formação de ciclone antecedente ao dia do evento. **Com base nos padrões de Parise et al. (2009).

Considerações finais

Sistemas costeiros semiabrigados, embora menos estudados que os setores voltados ao mar aberto, também são suscetíveis aos efeitos decorrentes da atuação de eventos de maré de tempestade. As condições meteorológicas e oceanográficas associadas à ocorrência de inundação costeira na Enseada de Tijucas, registradas de 2002 a 2020, foram investigadas neste trabalho através da identificação dos sistemas atmosféricos atuantes no Atlântico Sul, considerando suas localizações e tempo de atuação. Outras variáveis auxiliaram na caracterização dos eventos, como dados de estações meteorológica e maregráfica. Teleconexões, como o ENOS, também foram

relacionadas aos casos de inundação costeira identificados.

Os resultados obtidos permitiram que se confirmasse que o litoral de Santa Catarina é suscetível a ocorrência de maré de tempestade durante a atuação de sistemas atmosféricos intensos, como ciclones extratropicais e frente frias. Foram registrados dez eventos de inundação costeira na Enseada de Tijucas, de 2002 a 2020, e todos estiveram relacionados à passagem de frentes frias por Santa Catarina com um ciclone extratropical associado, diferenciando-se de outros registros para o Sul do Brasil, nos quais não houve necessariamente a atuação destes dois sistemas simultaneamente.

Para a Enseada de Tijucas, o padrão encontrado para a maioria dos casos investigados e os sistemas atmosféricos atuantes mostra que a passagem das frentes frias ocorreu de um a dois dias antes da inundação, havendo queda da pressão atmosférica para valores menores do que 1010 hPa e a formação de ciclone extratropical de um a dois dias antes do evento. Tais ciclones se formaram no Atlântico Sul, entre 30°S e 40°S de latitude, com deslocamento para leste.

A ocorrência de ventos de sudoeste, oeste e nordeste imediatamente anteriores ao evento foi predominante. Ventos de sudeste foram igualmente registrados, em vários casos, sobretudo durante e logo após a inundação. Deve-se destacar, contudo, que a estação meteorológica utilizada não está localizada área investigada, podendo tal fato ter afetado estes registros.

As marés altas, sobretudo associadas à condição de sizígia, foram as mais frequentes nos eventos de inundação identificados. Entretanto, verificou-se igualmente a situação de maré de quadratura, associada à atuação de um sistema de baixa pressão no oceano com maior duração, como exemplificado pelo caso de 2002. O incremento da maré prevista em 35-55 cm pode vir a ser ainda maior na Enseada devido às suas características morfológicas, pois o marégrafo disponível não estava localizado na área de estudo.

As três inundações registradas em 2016, com diferença de aproximadamente um mês entre os eventos, podem ter sido influenciadas por efeitos defasados de resposta à fase de El Niño muito forte de 2015/2016 possibilitadas pela La Niña fraca subsequente. Isso reforça a necessidade de investigações sobre o ENOS e suas consequências para o litoral sul do Brasil.

A identificação dos padrões atmosféricos aqui descritos, quando associados aos períodos de marés de sizígia, pode ser um subsídio aos órgãos competentes para a tomada de decisão visando o alerta, à comunidade local, sobre a possível ocorrência de inundação.

Referências

- Bonetti, J. Sensoriamento remoto aplicado à análise de ambientes costeiros impactados - avaliação metodológica: Baixada Santista. 1996. 260p. + Anexo. Tese (Doutorado) - Departamento de Geografia-FFLCH, São Paulo, 1996.
- Bonetti, J., Rudorff, F. M., Campos, A. V., Serafim, M. B., 2018. Geoindicator-based assessment of Santa Catarina (Brazil) sandy beaches susceptibility to erosion. *SI: Management Strategies for Coastal Erosion Problems. Ocean & Coastal Management* 156, 198-208.
- Campos, R. M., Camargo, R., Harari, J., 2010. Caracterização de eventos extremos do nível do mar em Santos e sua correspondência com as reanálises do modelo do NCEP no sudoeste do Atlântico Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia* [online] 25. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862010000200003>. Acesso: 15 jun. 2020
- Carter, R.W.G., 1988. Coastal environments: an introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines. Academic Press, London, UK, 617p
- Da Lio, C., Tosi, L., 2019. Vulnerability to relative sea-level rise in the Po river delta (Italy). *Estuarine Coastal Shelf Science* [online] 228. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106379>. Acesso: 02 jul. 2020
- Dias, J.M.A., 2007. Sobre elevação do nível do mar de índole meteorológica. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, Glossário sobre as zonas costeiras. *Revista de Gestão Costeira Integrada*. Disponível: <http://www.aprh.pt/rgci/glossario/sobreelevacao.html>. Acesso: 15 jun. 2020
- Gan, M. A.; Rao, B. V., 1991. Surface cyclogenesis over South America. *Monthly Weather Review* 119, 293-302
- Gama, C., Dias, J.M.A., Ferreira, Ó., Taborda, R., 1994. Analysis of storm surge in Portugal, between June 1986 and May 1988. *Proceedings of Littoral* 94, 381-387
- Gautério, B.C., Maier, É.L.B., Oliveira, U.R. de., 2018. Ciclone extratropical de outubro de 2016: processos atmosféricos de formação e impactos no extremo sul do Brasil. *Cadernos do Núcleo de Análises Urbanas* 10, 22-28
- Klein, A.H.F., Short, A.D., Bonetti, J., 2016. Santa Catarina Beach Systems. Chapter 17. In: Short, A.D., Klein, A.H.F. (Eds.). *Brazilian Beach Systems*. Sydney: Springer, 465-506. Disponível: <http://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-30394-9>. Acesso: 16 jul. 2020
- Krueger, J. Análise dos parâmetros meteorológicos e oceanográficos dos eventos de ressaca, ocorridos entre 2001 e 2010, no Estado de Santa Catarina. 2011. 77 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Curso de Oceanografia, UNIVALI, Itajaí, 2011

- Lentini, C.A.D., Podestá, G.G., Campos, E.J.D., Olson, D.B., 2001. Sea surface temperature anomalies on the Western South Atlantic from 1982 to 1994. *Continental Shelf Research* [online] 21. Disponível: [https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(00\)00077-7](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(00)00077-7). Acesso: 24 jul. 2020
- Machado, J.P., Miranda, G.S.B., Gozzo, L.F., Custodio, M.S., 2019. Condições Atmosféricas Associadas a Eventos de Ressaca no Litoral Sul e do Sudeste do Brasil durante o El Niño 2015/2016. *Revista Brasileira de Meteorologia* [online] 34. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786344067>. Acesso: 14 jun. 2020
- Mendonça, F., Danni-Oliveira, I.M. *Climatologia: noções básicas e climas do Brasil*. São Paulo: Oficina de Texto, 2007, 206 p
- Minaki, C., Montanher, O.C., 2019. Influência do El Niño-Oscilação Sul na precipitação em Maringá-PR, no período de 1980 a 2016. *Caminhos de Geografia* [online] 20. Disponível: <https://doi.org/10.14393/RCG206941220>. Acesso: 19 jul. 2020
- Minuzzi, R.B., Sediya, G.C., Costa, J.M.N., Vianello, R.L., 2006. Influência do fenômeno climático El Niño no período chuvoso da região Sudeste do Brasil. *Geografia (Londrina)* [online] 15. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5433/2447-1747.2006v15n2p5>. Acesso: 19 jul. 2020
- National Research Council, 2007. *Mitigating shore erosion along sheltered coasts*. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Disponível: <https://doi.org/10.17226/11764>. Acesso: 02 jul. 2020
- Nicholls, R.J., Wong, P.P., Burkett, V.R., Codignotto, J., Hay, J.E., McLean, R.F., Ragoonaden, S., Woodroffe, C.D., 2007. Coastal systems and low-lying areas. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK. Disponível: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415379>. Acesso: 02 jul. 2020
- Parise, C.K., Calliari, L.J., Krusche, N., 2009. Extreme storm surges in the south of Brazil: atmospheric conditions and shore erosion. *Brazilian Journal of Oceanography* 57, p.175-188
- Raji, O., Niazi, S., Snoussi, M., Dezileau, L., Khouakhi, A., 2013. Vulnerability assessment of a lagoon to sea level rise and storm events: Nador lagoon (NE Morocco). *Journal of Coastal Research* [online] 65. Disponível: <https://doi.org/10.2112/si65-136.1>. Acesso: 02 jul. 2020
- Reboita, M.S., Rocha, R.P., Ambrizzi, T., Gouveia, C.D., 2015. Trend and teleconnection patterns in the climatology of extratropical cyclones over the Southern Hemisphere. *Climate Dynamics* [online] 45. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1007/s00382-014-2447-3>. Acesso: 17 jun. 2020
- Rudorff, F.D.M., Bonetti Filho, J., Moreno, D.A., Oliveira, C.A.F., Murara, P.G. *Maré de tempestade*. Capítulo 12. In: Herrmann, Maria Lúcia de Paula (Org.). *Atlas de desastres naturais do estado de Santa Catarina*. Florianópolis, SC. SEA/DGED, 2014, 151-154
- Salles de Araujo, C. E. 2020. Análise das flutuações do nível do mar no litoral de Santa Catarina. *Agropecuária Catarinense*, [online] 33. Disponível: <https://doi.org/10.52945/rac.v33i1.535>. Acesso em: 2 ago. 2021
- Santos, E.C. Análise da suscetibilidade e da vulnerabilidade costeira de um sistema semiabrigado a eventos extremos: Enseada de Tijucas - Santa Catarina. 2018. 100p. Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Geografia, Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018
- Santos, E.C., Bonetti, J. 2018. Análise da taxa de variação da linha de costa da Enseada de Tijucas (SC) em diferentes escalas temporais como indicadora de suscetibilidade costeira. *Quaternary and Environmental Geosciences* [online] 9. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/abequa.v9i2.53650>. Acesso: 17 jun. 2020
- Schossler, V., Aquino, F., Reis, P., Simões, J., 2018. Anomalias da circulação atmosférica antártica na primavera de 2016 como indutoras de uma ciclogênese explosiva no Rio Grande do Sul. *Revista de Geografia* 8, 54-64
- Silveira, Y.G., Bonetti, J., 2019. Assessment of the physical vulnerability to erosion and flooding in a sheltered coastal sector: Florianópolis Bay, Brazil. *Journal of Coastal Conservation* [online] 23. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s11852-018-0659-0>. Acesso: 02 jul. 2020

- Soppa, M.A., Souza, R.B., Pezzi, L.P., 2011. Variabilidade das anomalias de temperatura da superfície do mar no Oceano Atlântico Sudoeste e sua relação com o fenômeno El Nino-Oscilação Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia* [online] 26. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862011000300005>. Acesso: 19 jul. 2020
- Stuecker, M.F., Bitz, C.M., Armour, K.C., 2017. Conditions leading to the unprecedented low Antarctic sea ice extent during the 2016 austral spring season. *Geophysical Research Letters* [online] 44. Disponível: <https://doi.org/10.1002/2017GL074691>. Acesso: 18 jul. 2020
- Taborda, R., Dias, J.M.A., 1992. Análise da sobreelevação do nível do mar de origem meteorológica durante os temporais de Fevereiro/Março de 1978 e Dezembro de 1981. *Geonovas* 1, 89-97
- Truccolo, E. C. Maré meteorológica e forçantes atmosféricas locais em São Francisco do Sul - SC. 1998. 100 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998
- Wang, S., Mu, L., Qi, M., Yu, Z., Yao, Z., Zhao, E. 2021. Quantitative risk assessment of storm surge using GIS techniques and open data: A case study of Daya Bay Zone, China. *Journal of Environmental Management* [online] 289. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112514>. Acesso: 02 ago. 2021.