



GERAÇÃO DE INFORMAÇÕES PARA SUBSIDIAR ESTUDOS EM PLANEJAMENTO DE INVESTIMENTOS PARA INFRAESTRUTURAS A PARTIR DOS DADOS DE PROJEÇÕES DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Relatório 5/8 - Plano de trabalho da metodologia e do serviço climático a ser fornecido para analisar o perigo selecionado no setor e na região de interesse

Priscila Tavares

Elaborado por: Priscila da Silva Tavares - priscilatavares@gmail.com

Essa publicação foi realizada por uma equipe formada por consultores independentes sob a coordenação da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável, por meio do projeto Ampliação dos Serviços Climáticos para Investimentos em Infraestrutura (CSI).

Este projeto foi pactuado no âmbito da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável, por meio da parceria entre o Ministério do Meio Ambiente do Brasil e a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ), no âmbito da Iniciativa Internacional para o Clima (IKI, sigla em alemão), do Ministério Federal do Meio Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear (BMU, sigla em alemão).

Participaram desse processo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a Empresa Eletrosul/ Eletrobrás e a Defesa Civil de Santa Catarina.

Todas as opiniões aqui expressas são de inteira responsabilidade dos autores, não refletindo necessariamente a posição da GIZ e do MMA. Este documento não foi submetido à revisão editorial.

EQUIPE TÉCNICA - MMA

Hugo do Valle Mendes (coordenação)
Adriana Brito da Silva
Jaqueline Leal Madruça

EQUIPE TÉCNICA - GIZ

Ana Carolina Câmara (coordenação)
Eduarda Silva Rodrigues de Freitas
Pablo Borges de Amorim

EQUIPE TÉCNICA - DEFESA CIVIL/ SANTA CATARINA

Flavio Rene Brea Victoria
Frederico Moraes Rudorff

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Chou Sin Chan

Ministério do Meio Ambiente

Esplanada dos Ministérios, Bloco B, Brasília/DF, CEP
70068-901
Telefone: + 55
61 2028-1206

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Sede da GIZ: Bonn e Eschborn
GIZ Agência Brasília
SCN Quadra 01 Bloco C Sala 1501
Ed. Brasília Trade Center - 70.711-902 Brasília/DF
T + 55-61-2101-2170
E giz-brasilien@giz.de
www.giz.de/brasil

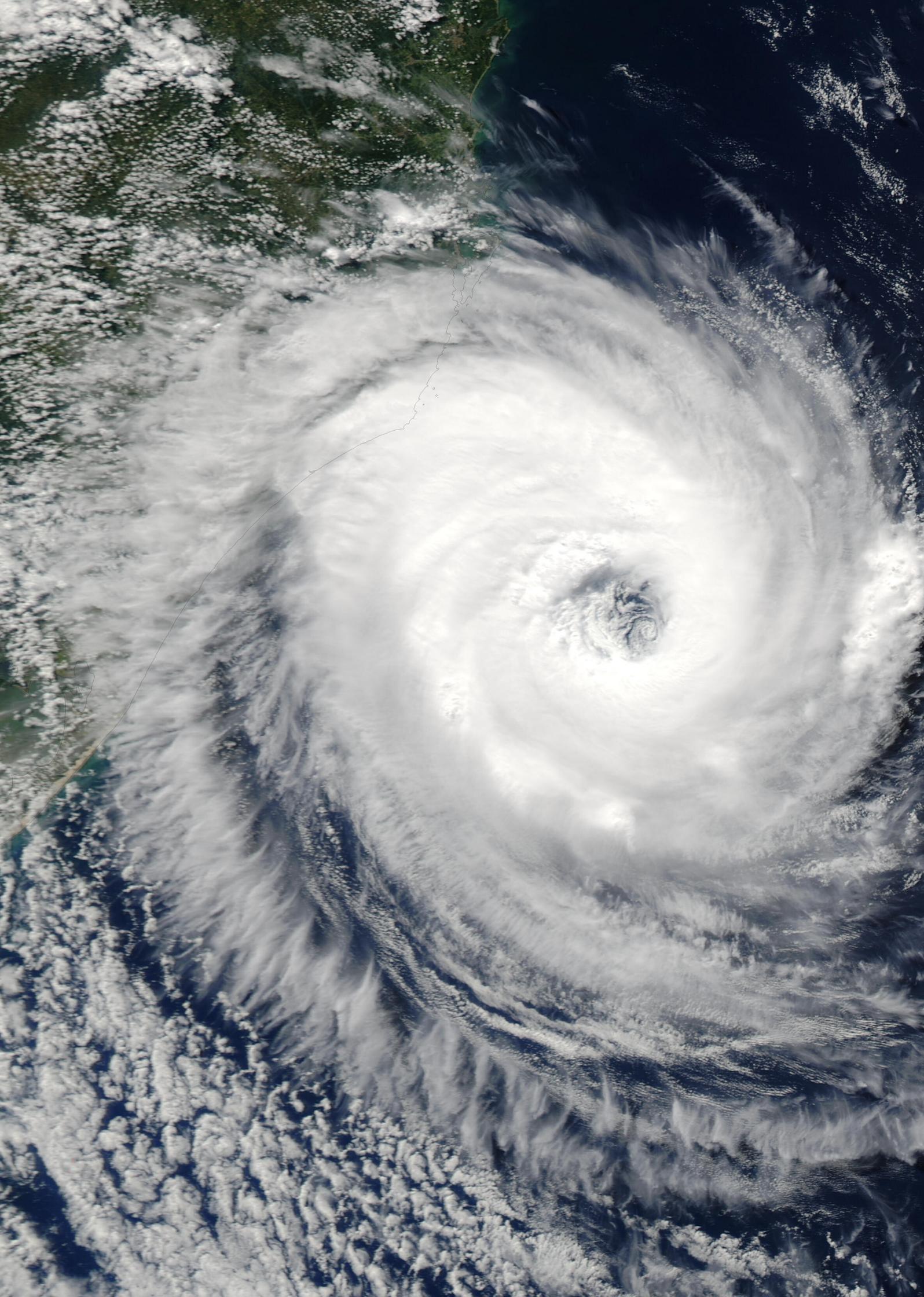
A encargo de:

Ministério Federal do Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear (BMU) da Alemanha

BMU Bonn:
Robert-Schuman-Platz 3
53175 Bonn, Alemanha
T +49 (0) 228 99 305-0

Diretora de Projeto:

Ana Carolina Câmara
T +55 61 9 99 89 71 71
T +55 61 2101 2098
E ana-carolina.camara@giz.de



SUMÁRIO

| | |
|-----------------------------|----|
| LISTA DE TABELAS | 4 |
| RESUMO | 5 |
| 1. CONTEXTO | 5 |
| 1.1 Objetivo | 7 |
| 2. METODOLOGIA | 7 |
| 2.1. PRODUTO 6 | 8 |
| 2.2. PRODUTO 7 | 10 |
| 2.3. PRODUTO 8 | 12 |
| 3. CRONOGRAMA DE ATIVIDADES | 13 |
| 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 14 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 15 |

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Índices de instabilidade atmosférica. _____ 9

Tabela 3.1. Cronograma de atividades. _____ 13

RESUMO

Reuniões entre o Ministério do Meio Ambiente (MMA) e a Secretaria de Estado de Planejamento de Santa Catarina (SPC-SC), detectaram demandas de serviços climáticos em setores chaves, especificamente, nos setores portuários e de linhas de transmissão em SC. Estes setores foram destacados por sofrerem perdas importantes em suas infraestruturas devido a eventos severos no Estado. Com intuito de avaliar a problemática destes perigos, propõe-se neste plano de trabalho, a criação de índices para detectar tempo severo na região, a partir dos casos apresentados pelo setor portuário, especificamente o Porto de Itajaí, e validados a partir de reanálises meteorológicas. Propõe-se também, a realização do segundo downscaling do modelo Eta-HadGEM2-ES em altíssima resolução espacial, para gerar projeções do clima futuro (2011 a 2040) a partir do cenário RCP8.5. Estas projeções serão utilizadas para o cálculo dos indicadores de tempo severo, com o objetivo de avaliar a probabilidade de ocorrência destes eventos em cenários climáticos futuros, de forma a inferir as possíveis modificações na intensidade, frequência e localização.

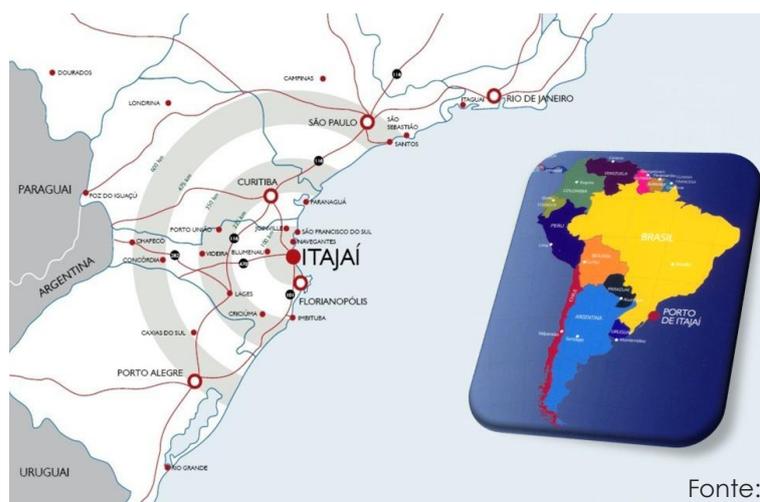
1. CONTEXTO

A partir de reuniões entre o Ministério do Meio Ambiente (MMA) e a Secretaria de Estado de Planejamento de Santa Catarina (SPC-SC), foi demonstrado o interesse dessa secretaria em engajar-se ao Projeto de Aprimoramento dos Serviços Climáticos para Investimentos em Infraestrutura (*Enhancing Climate Services for Infrastructure Investments - CSI*). Foi considerado que a parceria poderá ajudá-los a atingir as metas institucionais no contexto da agenda de adaptação à mudança do clima. Uma oficina foi organizada em abril de 2018 para identificar as possíveis demandas de serviços climáticos dos setores portuário e de linhas de transmissão de Santa Catarina visando investimentos na infraestrutura e considerando as mudanças do clima. Ambos setores enviaram uma lista de eventos em que suas infraestruturas sofreram prejuízos e danos devido a extremos meteorológicos, tais como: rajadas de vento, chuvas intensas e tornados. Identificou-se que grande parte dos danos causados - estruturais ou não - ao Porto de Itajaí por tempestades severas foram

associadas as passagens de frentes frias e sistemas pré-frontais, as quais deflagraram, na região do Porto e proximidades, inundações, deslizamentos, aumento da correnteza do rio Itajaí-Açu, assoreamento, etc.

O Porto de Itajaí localiza-se no leste de SC (Figura 1.1), mais precisamente na mesorregião do Vale do Itajaí que é considerada no Estado uma das mais vulneráveis aos desastres naturais associados a eventos meteorológicos extremos (Escobar et al., 2016). Devido as características topográficas do Vale do Itajaí, tais como a presença de serras ao sul e a oeste, assim como pequenas elevações junto ao Oceano Atlântico, os ventos de quadrante leste, oriundos do mar, facilitam a convergência de umidade no interior do vale, intensificando assim os sistemas na região e provocando conseqüentemente a ocorrência chuvas intensas. Outro fator é que a localização de SC entre as latitudes médias e subtropicais permite que, tanto as frentes frias e os sistemas pré-frontais, as massas de ar tropical influenciem frequentemente esta região (Seluchi et al., 2017). Além disto, a presença dos jatos de altos (Escobar, 2009) e baixos níveis (Salio et al., 2007) e a proximidade relativa do Oceano Atlântico, completam um quadro meteorológico propício para a ocorrência de tempestades severas. Conforme Severo (1994), grande parte dos eventos de chuvas intensas na região são provocados principalmente pela passagem de sistemas frontais e segundo relatado pelos parceiros do Porto de Itajaí os principais causadores de danos estruturais e econômicos ao porto.

Figura 2.1.
Localização do Porto de Itajaí.



Fonte:

Devido o papel da barreira topográfica como agente intensificador dos sistemas de tempo severo no leste de SC, além de que ventos intensos e chuvas

acumuladas muito acima do normal podem ser melhor capturados por modelos atmosféricos em alta resolução espacial, espera-se que o uso de projeções do Eta, com resolução de 5 km, represente uma melhora na reprodução do clima na região e aumente a confiabilidade das análises nas etapas posteriores do projeto.

Com base nos casos apresentados pelos parceiros do Porto de Itajaí, bem como a identificação das causas dos eventos de tempo severo e consequências na infraestrutura, construiu-se a metodologia descrita neste plano de trabalho com intuito de analisar os perigos destacados pelo setor no estado de Santa Catarina.

1.1 Objetivo

Cumprir o quinto produto do Projeto CSI – Ampliação dos Serviços Climáticos em investimentos de Infraestruturas /PN: 16.9025.4-003.00, termo de referência: Geração de informações, a partir dos dados de projeções de mudanças climáticas, para subsidiar estudos em planejamento de investimentos para infraestruturas. O produto consiste do plano de trabalho do serviço climático a ser fornecido para analisar o perigo selecionado pelo Porto de Itajaí-SC.

2. METODOLOGIA

A metodologia que será utilizada para a execução deste serviço climático está dividida de acordo com os produtos solicitados, conforme mostrado nos itens a seguir: 1) descrição do objetivo e etapas para realização do produto 6, o qual descreve os casos selecionados para a avaliação de valores típicos de tempo severo e índices de instabilidade atmosférica; 2) descrição do objetivo e etapas para realização do produto 7, o qual se baseia na geração do downscaling do modelo Eta5km-SC forçado pelo modelo Eta20km-HadGEM2-ES RCP8.5 para o período de 2011 a 2040; 3) descrição do objetivo e etapas para realização do produto 8, sendo este baseado no cálculo e análise dos índices de instabilidade atmosférica em projeções do clima futuro (RCP4.5 e RCP8.5), nas resoluções de 5 km (forçado pelo Eta 20km-HadGEM2-

ES) e 20 km (forçado pelo HadGEM2-ES, MIROC5 e CanESM2), com o intuito de avaliar o risco climático às infraestruturas destacadas pelos parceiros do Porto de Itajaí.

2.1. PRODUTO 6

O Produto 6 consiste em um relatório contendo os Índices de Instabilidade Atmosférica (IIA) calculados a partir de reanálises meteorológicas, identificando os valores típicos e limiares dos eventos de tempestades severas ocasionados por passagens de frentes frias e sistemas pré-frontais. O objetivo deste produto é, a partir dos casos selecionados pelos parceiros do Porto de Itajaí e pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), identificar as condições atmosféricas favoráveis a formação de tempo severo associado a passagens de frentes frias e sistemas pré-frontais, com potencial para causar danos ao porto.

A execução deste produto será realizada em duas etapas, sendo estas: 1) avaliação e seleção dos casos com danos a infraestrutura e/ou interrupção das atividades portuária, conforme relato dos parceiros do Porto de Itajaí e; 2) cálculo e ajuste dos IIA como forma de detecção de tempo severo e as condições atmosféricas associadas. Na etapa 2, para os casos listados na etapa 1, os índices serão calculados a partir das reanálises meteorológicas do *Climate Forecast System Reanalysis – CFSR*, desenvolvidas pelo *National Center Environmental Prediction* (NCEP) (Saha et al., 2010). Esses dados possuem resolução horizontal espectral T382L64, com arquivos disponíveis aos usuários na resolução de 0.5° (50 km), para o período a partir de 1979 até anos mais recentes, na frequência temporal de 6 em 6 horas. As reanálises, de modo geral, são reconstruções da estrutura observada tridimensional da atmosfera usando modelagem e observação (Ambrizzi et al., 2018), ou seja, são os dados mais próximos das condições reais. Os IIA, calculados a partir das reanálises, serão ajustados para refletir a quantidade e intensidade dos eventos de tempestades severas observados.

Os IIA serão usados por serem ferramentas que fornecem indicativo da intensidade da tempestade (Nascimento et al., 2005). Na estimativa destes índices são considerados a formação de um ambiente propício a tempestades

e tempos severos, tais como: a energia disponível para o sistema, o cisalhamento vertical do vento para sustentar a severidade da tempestade, e os movimentos ascendentes do ar, que atuam como um mecanismo de formação destas tempestades. Alguns dos IIA e os parâmetros convectivos selecionados para análise seguem na Tabela 2.1. Mais informações acerca dos IIA podem ser encontradas em Nascimento et al. (2005).

Tabela 2.1. Índices de instabilidade atmosférica.

| Sigla | Descrição do índice de instabilidade |
|------------|---|
| CAPE | Energia potencial Convectiva Disponível, representa a energia potencial que a parcela tem (por kg de ar) ou a energia que seria gasta se a parcela fosse levantada após o NCL por convecção. Classifica a convecção como fraca, moderada ou forte (Houze, 1993). |
| CINE | Energia de inibição convectiva. Pode ser classificada em: cumulus de bom tempo; possível formação de algumas tempestades; linhas de instabilidades fortes com tempestades; forte inversão, sem probabilidade de desenvolvimento de tempestades. Mais informações podem ser obtidas em Houze (1993). |
| LI | Índice de levantamento associado a tempestade. Classifica a atmosfera como: sem tempestades, com tempestades, com tempestades severas (Galway, 1956). |
| DNRV e NRV | O denominador do número de Richardson volumétrico (DNRV; <i>bulk Richardson number shear</i>), bem como o número do Richardson volumétrico (NRV), são parâmetros de cisalhamento úteis em previsão convectiva severa, dados por Weisman & Klemp (1982) e Stensrud et al. (1997). |
| HELI | Helicidade Relativa de Tempestades: considerando que as variações da velocidade do vento com a altura são essenciais para manter e intensificar as tempestades, além de ser a fonte primária para os tornados, o índice HELI aponta se o ambiente está favorável a desenvolver tempestades com correntes ascendentes com rotação. Este índice classifica: tempestade; possível super-célula; possível super-célula com tornado. Mais informações sobre este índice podem ser obtidas em Davies-Jones et al. (1990). |
| IEH | Índice de Energia-Helicidade: este índice combina em um único parâmetro adimensional, quantidades cinemáticas (associadas com cisalhamento vertical do vento ou HR) com quantidades termodinâmicas (associadas à flutuabilidade). Mais informações sobre este índice podem ser obtidas em Hart & Drotky (1991), e Davies (1993). |
| SUP | Parâmetro de supercélula (SUP): índice adimensional que combina valores de CAPE_MI, HR3K e DNRV normalizados por limiares subjetivos para destacar ambientes propícios ao desenvolvimento de tempestades severas (particularmente, supercélulas) (Thompson et al., 2003). |

Fonte: Adaptado de Nascimento et al. (2005).

Na identificação frontal serão adotados critérios objetivos semelhantes aos definidos por Andrade (2005), Foss (2016), Escobar et al. (2016) e Seluchi et al. (2017). Serão incluídas também algumas condições atmosféricas para agregar aos indicadores e adequar a detecção de tempo severo, tais como: temperatura à superfície nas últimas 3 horas, intensidade do vento máximo, direção do vento, convergência de umidade, jatos de baixos e altos níveis, geopotencial mínimo em diferentes níveis, entre outras.

Ao relacionar a ocorrência dos casos de danos relatados pelos parceiros do Porto de Itajaí, com informações meteorológicas para compor as condições do fenômeno atmosférico, é possível indicar as condições meteorológicas

favoráveis ao perigo. Portanto, espera-se nesta etapa verificar os limiares dos indicadores que capturam os fenômenos indicados, a partir dos casos listados. A calibração dos limiares dos indicadores de tempo severo associados a frentes frias e sistemas pré-frontais será realizada tomando como base a avaliação da detecção dos eventos utilizando dados de reanálises. Neste caso, as métricas utilizadas para calibrar o índice terão como base os limiares identificados nos casos listados. A validação destes índices será feita em parceria com a EPAGRI, os quais realizarão a contagem destes eventos, durante todo o período da reanálise. Como medida de performance, serão utilizados índices estatísticos categóricos, como por exemplo o índice ETS (*"Equitable Threat Score"*), definido em Mesinger e Black (1992).

Com a realização do Produto 6, espera-se identificar as condições atmosféricas favoráveis à ocorrência de tempo severo associada a frentes frias e sistemas pré-frontais, com potencial para causar danos a infraestrutura e/ou interrupção das atividades operacionais do Porto de Itajaí-SC. Além disso, neste produto, estes índices serão calibrados de forma a melhor capturar as condições atmosféricas associadas a estes danos e aprimorar a metodologia de execução do Produto 8, cujos IIA serão aplicados a cenários de mudanças climáticas, conforme descrito na seção 2.3.

2.2. PRODUTO 7

O Produto 7 consiste em um relatório contendo a descrição da integração do modelo Eta5km-SC forçado pelo modelo Eta20km-HadGEM2-ES RCP8.5 para o período de 2011 a 2040. Algumas figuras serão geradas para ilustrar a distribuição espacial de temperatura e precipitação a cada 5 anos para o período de 2011 a 2040. O objetivo deste produto é demonstrar a geração de cenários de mudança do clima em altíssima resolução, a partir do modelo Eta5km-SC forçado pelo modelo Eta20km-HadGEM2-ES RCP8.5 para o período de 2011 a 2040.

Técnicas de regionalização dinâmica (*downscaling* dinâmico) através do uso dos modelos climáticos globais do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel On Climate Changes - IPCC*) têm se mostrado como uma ferramenta importante quando se pretende avaliar

os impactos das mudanças climáticas em escala regional. Modelos regionais admitem resoluções horizontais da ordem de dezenas de quilômetros e, conseqüentemente, permitem simulações explícitas dos processos de mesoescala, com melhor representação das características da paisagem, como por exemplo regiões de vale-montanha, linhas costeiras, áreas urbanas, podendo assim fornecer resultados mais refinados.

Na elaboração da Terceira Comunicação Brasileira da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (MCTI, 2016) foram usadas simulações multidecenais, na grade regular horizontal de 20 km x 20 km, a partir do aninhamento do Modelo Regional Eta em três modelos climáticos globais do CMIP5 (*Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*) (Chou et al., 2014a e 2014b). Lyra et al. (2017) realizaram um segundo aninhamento do Eta na grade regular horizontal de 5 km x 5 km, sobre o sudeste do Brasil, a partir das simulações geradas por Chou et al. (2014a, 2014b). As rodadas em altíssima resolução aprimoraram as simulações do clima presente, bem como os valores da distribuição de frequência de eventos extremos de chuva e temperatura. Por apresentarem resoluções mais altas, estas simulações são as mais indicadas para uso em estudos de impactos das mudanças climáticas tais como abordados pelo Projeto CSI, que tem como foco avaliação dos impactos no Porto de Itajaí-SC. Além dos mais, grande parte dos extremos de chuva que ocorrem no Vale do Itajaí (localidade do Porto) estão associados a passagens de Sistemas Frontais (Severo, 1994) os quais são intensificados por causa da topografia da região. Sendo assim, integrações do modelo em mais alta resolução horizontal propiciará resultados mais refinados para região de estudo. Portanto, será realizado o segundo downscaling dinâmico do modelo Eta a partir das condições de contorno lateral do modelo Eta-HadGEM2-ES na resolução de 20 km. O modelo será configurado com a resolução horizontal de 5 km e com o domínio cobrindo todo estado de Santa Catarina e grande parte dos estados do Paraná e Rio Grande do Sul. Serão realizadas projeções do clima futuro (2011 a 2040) utilizando o cenário RCP8.5, conforme as projeções dos níveis de CO₂ indicados pelo Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (IPCC-AR5, 2013).

A partir das simulações e projeções, serão obtidas as médias climatológicas, distribuição de frequência e indicadores de instabilidade nas

regiões de interesse. Ao final, as tendências dos indicadores mostrarão de forma consolidada as mudanças dos eventos com potencial para causar danos às infraestruturas no setor selecionado. Com a execução do Produto 7 espera-se gerar dados que representem melhor as condições climáticas de Santa Catarina, de forma a fornecer maior confiabilidade as etapas seguintes do projeto (Produto 8). Sendo assim, os dados gerados neste produto servirão como base ao Produto 8, descrito na seção seguinte.

2.3. PRODUTO 8

O Produto 8 consiste em um relatório contendo a análise dos IIA para as principais áreas de interesse em Santa Catarina a partir dos resultados do Eta-20km forçado pelo modelo HadGEM2-ES, MIROC5 e CanESM2, e do Eta-5km forçado pelo HadGEM2-ES, ambos considerando o baseline, RCP4.5 e RCP8.5. O objetivo deste produto é identificar os efeitos das mudanças climáticas sobre a ocorrência de fenômenos climáticos com potencial para causar danos ao Porto de Itajaí-SC (tais como frentes frias e passagens pré-frontais), a partir dos resultados do Eta-20km forçado pelo modelo HadGEM2-ES, MIROC5 e CanESM2, e do Eta-5km forçado pelo HadGEM2-ES, ambos considerando o baseline, RCP4.5 e RCP8.5. Este produto visa também avaliar mudanças na frequência, intensidade e localização destes eventos em cenários de clima futuro, de forma a apoiar o planejamento das infraestruturas, bem como fornecer informações para subsidiar medidas de adaptação para redução de danos.

Este produto abordará três importantes questões, associadas ao risco climático às infraestruturas, sendo estas:

- 1) Em cenários futuros, haverá tendência de alteração na frequência de eventos de tempo severo (associados a frente-frias e passagens pré-frontais) com potencial para causar danos ao Porto de Itajaí?
- 2) Estes eventos tendem a se tornarem mais intensos?
- 3) Haverá alteração nos locais de ocorrência destes eventos? Regiões que atualmente não são afetadas por eventos de tempo severo poderão se tornar mais vulneráveis à ocorrência destes?

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das atividades supramencionadas, espera-se prover uma completa avaliação das tendências de ocorrência de tempo severo na região de Santa Catarina, em cenários de clima futuro. Mais especificamente, serão avaliadas as mudanças nas condições atmosféricas favoráveis à ocorrência de tempestades severas associadas a frentes frias e passagens pré-frontais na região, sendo estes os eventos identificados como aqueles causadores de danos às infraestruturas e/ou interrupção das atividades operacionais do Porto de Itajaí.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMBRIZZI, T.; REBOITA, M. S.; ROCHA, R. P.; LLOPART, M. The state-of-the-art and fundamental aspects of regional climate modeling in South America. **Annals of the New York Academy of Sciences**, 2018. DOI: 10.1111/nyas.13932

ANDRADE, K. M. **Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul**. 2005. 185 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, São José dos Campos, 2005.

CHOU, S. C.; LYRA, A. A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; et al. Assessment of climate change over South America under RCP 4.5 and 8.5 downscaling scenarios. **American Journal of Climate Change**, v. 3, p. 512-527, 2014a. DOI: 10.4236/ajcc.2014.35043

CHOU, S. C.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J. F.; TAVARES, P. S.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; CHAGAS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G.; NOBRE, P.; MARENGO, J. Evaluation of the Eta simulations nested in three global climate models. **American Journal of Climate Change**, v. 3, n. 05, p. 438, 2014b. doi: 10.4236/ajcc.2014.35039

DAVIES, J. M. Hourly helicity, instability, and EHI in forecasting supercell tornadoes. In: Preprints, 17th Conf. Severe Local Storms, EUA, **Amer. Meteor. Soc.**, p. 107-111, 1993.

DAVIES-JONES, R.; BURGESS, D.; FOSTER, M.D. Test of helicity as a tornado forecast parameter. In: Preprints, 16th Conf. Severe Local Storms, Kananaskis Park, Canadá, **Amer. Met. Soc.**, p. 588-592, 1990.

ESCOBAR, G. C. J.; SELUCHI, M. E.; ANDRADE, K. Classificação sinótica de frentes frias associadas a chuvas extremas no leste de Santa Catarina (SC). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.31. n. 4(suppl), 649-661, 2016. DOI: 10.1590/0102-778632120150095

ESCOBAR G. Jatos de Altos Níveis, In: IRACEMA F.A. CAVALCANTI; NELSON J. FERREIRA, MARIA JUSTI DA SILVA; MARIA ASSUNÇÃO S. DIAS (Org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, 2009.

GALWAY, J. G. The lifted index as a predictor of latent instability. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, v. 43, p. 528-529, 1956.

HART, J. A.; DOROTKY, W. The SHARP workstation v1.50 users guide. National Weather Service, NOAA, U.S. Department of Commerce, 30 pp., 1991.

HOUZE, R. A. **Cloud Dynamics**. Academic Press, 573 pp.,1993.

IPCC-AR5. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [STOCKER, T.F.; QIN, D.; PLATTNER, G. K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S.K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P.M. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p. 2013.

LYRA, A. A.; TAVARES, P. S.; CHOU, S. C.; SUEIRO, G.; DERECZYNSKI, C.; SONDERMAN, M.; SILVA, A.; MARENGO, J.; GIAROLLA, A. Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the non-hydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution. **Theoretical and Applied Climatology**, p. 1-20, 2017. doi: 10.1007/s00704-017-2067-z

MCTI. **Terceira Comunicação Nacional do Brasil para a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as mudanças climáticas** – Volume II. Brasília, Brasil, 2016.

MESINGER, Fedor; BLACK, Thomas L. On the impact on forecast accuracy of the step-mountain (eta) vs. sigma coordinate. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 50, n. 1-3, p. 47-60, 1992.

NASCIMENTO, E. L. Previsão de tempestades severas utilizando-se parâmetros convectivos e modelos de mesoescala: uma estratégia operacional adotável no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 1, p. 121-140, 2005.

SAHA, S. et al. The NCEP climate forecast system reanalysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 91, p. 1015-1057, 2010.

SALIO, P.; NICOLINI, M.; ZIPSER, E.J. Mesoscale convective systems over southeastern South America and their relationship with the South American low-level jet. **Monthly Weather Review**, v. 135, n. 4, p. 1290-1309, 2007.

SELUCHI, M.; BEU, CÁSSIA; ANDRADE, K. M. Características das Frentes Frias Causadoras de Chuvas Intensas no Leste de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 1, 25-37, 2017. DOI:10.1590/0102-778632120150095

SEVERO, D. L. **Estudo de casos de chuvas intensas no estado de Santa Catarina**. 1994. 97p. 1994. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1994.

STENSRUD, D. J.; CORTINAS, J. V.; BROOKS, H. E. Discriminating between tornadic and non-tornadic thunderstorms using mesoscale model output. **Wea. Forecasting**, v. 12, p. 613-632, 1997.

THOMPSON, R. L., EDWARDS, R., HART, J. A., ELMORE, K. L., MARKOWSKI, P. Close proximity soundings within supercell environments obtained from the Rapid Update Cycle. **Wea. Forecasting**, v. 18, p. 1243-1261, 2003.

WEISMAN, M., KLEMP, J. B. The dependence of numerically-simulated convective storms on vertical wind shear and buoyancy. **Mon. Wea. Rev.**, v. 110, p. 504-520, 1982.