

***CIÊNCIA E NATUREA, VOL 42 (2020)***



## Previsão de Curto e Curtíssimo Prazo

# Estudo de impacto da assimilação dos dados da campanha Valeri no estado de Santa Catarina

Data assimilation impact using Valeri's campaign observations in Santa Catarina state

**Rute Costa Ferreira<sup>I</sup>**  
**Luciano Ritter Nolasco Junior<sup>II</sup>**  
**Dirceu Luis Herdies<sup>III</sup>**  
**Éder Paulo Vendrasco<sup>IV</sup>**  
**Fábio Luiz Rodrigues Diniz<sup>V</sup>**  
**Saulo Barros Costa<sup>VI</sup>**  
**Mário Francisco Leal de Quadro<sup>VII</sup>**  
**Diego Oliveira de Souza<sup>VIII</sup>**  
**Marília Guedes do Nascimento<sup>IX</sup>**  
**César Augustus Assis Beneti<sup>X</sup>**  
**Gabriel Bonow Munchow<sup>XI</sup>**  
**Ricardo Antonio Mollmann Junior<sup>XII</sup>**  
**Gabriel Luan Rodrigues<sup>XIII</sup>**  
**Arthur Muller<sup>XIV</sup>**  
**Rita de Cassia Alves<sup>XV</sup>**

<sup>I</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Cachoeira Paulista, Brasil. E-mail: ferreira.rutec@gmail.com.

<sup>II</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Cachoeira Paulista, Brasil. E-mail: lucianonritter@gmail.com.

<sup>III</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Cachoeira Paulista, Brasil. E-mail: dirceu.herdies@inpe.br.

<sup>IV</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Cachoeira Paulista, Brasil. E-mail: eder.vendrasco@inpe.br.

<sup>V</sup> Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, São José dos Campos, Brasil. E-mail: fabiolrdiniz@gmail.com.

<sup>VI</sup> Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, São José dos Campos, Brasil. E-mail: saulobc@gmail.com.

<sup>VII</sup> Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil. E-mail: mquadro@ifsc.edu.br.

<sup>VIII</sup> Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, São José dos Campos, Brasil. E-mail: diego.souza@cemaden.gov.br.

<sup>IX</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Cachoeira Paulista, Brasil. E-mail: maguenas@gmail.com.

X Sistema Meteorológico do Paraná, Curitiba, Brasil. E-mail: cesar.beneti@simepar.br.

XI Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. E-mail: gabrielbm@ufrgs.br.

XII Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. E-mail: mollmannr@gmail.com.

XIII Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil. E-mail: gabrielluanrodrigues@gmail.com.

XIV Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Florianópolis, Brasil. E-mail: arthurmuller91@gmail.com.

XV Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. E-mail: rita.cma@terra.com.br.

## RESUMO

O estado de Santa Catarina é frequentemente atingido por eventos extremos tais como chuva intensa, vendavais, granizo e eventualmente tornados. Assim, o objetivo do presente estudo foi verificar como o aumento da disponibilidade de observações pode melhorar a previsão de tais eventos através da assimilação destes dados. Desta forma, por meio de uma campanha realizada no oeste de Santa Catarina denominada Valeri, foram coletados dados de superfície e de radiossondagens que foram assimilados através do sistema GSI, gerando uma condição inicial atualizada para o modelo de previsão de tempo WRF. Para o experimento de superfície, foram assimiladas 84 novas observações de pressão de estações de superfície; e para o experimento de sondagem, foram assimilados 162 novos dados de temperatura, vento e umidade. Foi observada a melhora da condição inicial por meio da inserção dos dados locais de superfície e das radiossondagens coletadas nos experimentos realizados e comprovado a partir do resultado em impacto benéfico.

**Palavras-chave:** GSI; WRF; Experimento de Campo Valeri.

## ABSTRACT

The state of Santa Catarina is often hit by extreme events such as heavy rain, windstorms, hail and eventually tornadoes. Thus, the goal of the present study was to verify how the inclusion of a large number of observations could improve the prediction of such events. Thus, through a campaign carried out in the west of Santa Catarina, surface and radiosonde data were collected and assimilated through the GSI system. This process produced an updated initial condition to the weather prediction model WRF. The surface data assimilation had 84 new pressure observations. The radiosonde experiment had 162 observations of temperature, wind, and humidity assimilated. It was observed that the improvement of the initial condition through the insertion of the local surface and upper air data obtained during the campaign significantly improved the forecast in the conducted experiments.

**Keywords:** GSI; WRF; Field Experiment Valeri.

## 1 INTRODUÇÃO

O Estado de Santa Catarina (SC) é marcado pela ocorrência de eventos meteorológicos que causam grande dano à propriedade, setores produtivos, como agrícola e pecuarista, além da perda de vidas humanas. Estes eventos, cada vez mais frequentes nos últimos anos, estão associados a diversos desastres naturais, causados por chuvas intensas, ventos fortes e tornados, caracterizando este estado como o segundo estado brasileiro com maior número de desastres naturais (CEPED, 2012). Os principais fenômenos associados à chuva são as inundações, enchentes e alagamentos. As enchentes são aquelas em que há o aumento do nível dos rios, sem haver transbordamento. As inundações são definidas como a elevação do nível dos rios, mas com a ocorrência de transbordamento das águas. Enquanto que alagamentos são os acúmulos de água que ocorrem no momento da chuva em determinados locais (TOMINAGA et al., 2009).

De forma geral, a ocorrência de tempo severo na Região Sudeste da América do Sul (RSAS) está associada à ocorrência de Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), uma vez que a RSAS, região na qual o estado de Santa Catarina está inserido, é caracterizada por possuir os SCMs mais intensos do mundo. A ocorrência destes SCMs é normalmente associada à presença de um escoamento de componente norte em baixos níveis que transporta ar quente e úmido da Amazônia para a região, à presença de um centro de baixa pressão sobre a Planície do Chaco e à atuação de um cavado em níveis médios que é o responsável pelo suporte dinâmico do sistema em superfície (RIBEIRO e SELUCHI; 2018; RASMUSSEN e HOUZE, 2016). Além disso, pode estar associado à atuação do Jatos de Altos Níveis, responsável por uma circulação transversal aumentando a convergência em baixos níveis (RASMUSSEN e HOUZE, 2016; MOORE et al., 2003; UCCELLINI e JOHNSON, 1979), e à entrada de massas de ar frio de latitudes mais altas (MACHADO et al., 2014; SIQUEIRA e MACHADO, 2005; SIQUEIRA et al., 2004; MACHADO et al., 1998). Os sistemas citados anteriormente podem atuar simultaneamente ou isoladamente.

Apesar das características gerais de ocorrência de SCMs sejam conhecidas, a atmosfera é regida por um comportamento não linear e caótico, o que torna extremamente complexa sua previsão. Lorenz (1963) utilizou um modelo determinístico para mostrar que a atmosfera não é previsível para um futuro distante, possuindo um limite de previsibilidade, sendo este limite de aproximadamente duas semanas. Este limite é imposto devido ao crescimento dos erros associados à grande dependência que o modelo possui com as condições iniciais e também as imperfeições da modelagem (REYNOLDS et al., 1994). Além disso, as tempestades mais destrutivas podem apresentar escala espacial da ordem de metros a poucos quilômetros e escala temporal em intervalos de algumas horas. Desta forma, os modelos de previsão numérica de tempo (PNT) possuem dificuldades em prever a precipitação relacionada a estas tempestades, em alguns casos sendo possível detectar a sua ocorrência apenas com algumas horas de antecedência. Com isso, uma condição inicial mais próxima do estado real da atmosfera pode levar à previsões do tempo mais acuradas e, portanto, a utilização da assimilação de dados em modelos de PNT torna-se extremamente relevante, uma vez que busca melhorar a condição inicial dos modelos por meio da correção da mesma utilizando as observações disponíveis.

A maior parte das observações meteorológicas convencionais são coletadas próximas à superfície terrestre. Contudo, é necessário observar e registrar as variáveis meteorológicas desde a superfície até o topo da troposfera, permitindo o acompanhamento dos fenômenos atmosféricos e a previsão dos seus efeitos à curtíssimo e médio prazo. Especificamente no caso da meteorologia, grande parte dos serviços operacionais de previsão de tempo não dispõem das ferramentas adequadas às realidades locais que permitam fazer previsão de altíssima resolução com acurácia, além de redes de dados observacionais com o adensamento espacial e a frequência temporal apropriados. Dessa forma, visando o aperfeiçoamento da previsão de tempo de curto prazo sobre a região de Santa Catarina, foi realizada uma campanha observacional no município de Chapecó denominada “Experimento de Campo Valeri Mirailovit Ilini”. Esse experimento, que contou com a participação de diversos Institutos de pesquisa, consistiu na coleta de dados com o objetivo de obter informações numa região do estado de Santa Catarina considerada de pouca densidade observacional. Foram coletados dados de radiossondagens, dados do radar meteorológico de Chapecó e dados de superfície.

O principal objetivo deste estudo foi analisar o impacto de novas observações em alta resolução temporal na porção oeste de Santa Catarina e demonstrar a sensibilidade da inclusão dessas informações no sistema de assimilação de dados e subsequente melhoria das previsões obtidas com o *Weather Research and Forecasting* (WRF). Deste modo, na seção 2 são descritos todos os dados utilizados, bem como horários das radiossondas da coleta de campo, área de estudo e modelagem atmosférica. Já na seção 3, é discutida a condição sinótica e sondagens durante parte do experimento e o impacto da assimilação dos dados das sondagens e da rede local de superfície do estado de SC. As conclusões e trabalhos em andamento são mostrados na seção 4.

## 2 METODOLOGIA

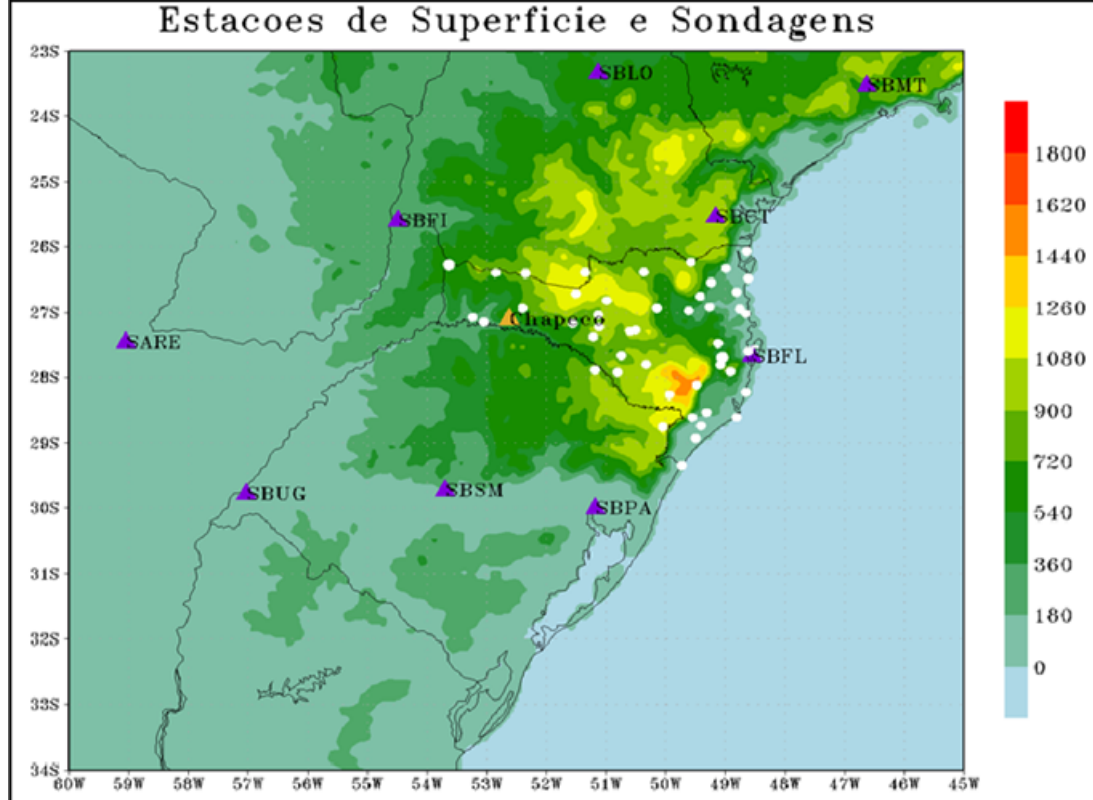
A campanha de campo Valeri Mirailovit Ilini foi realizada no município de Chapecó - SC (Figura 1) de 14 a 19 de novembro de 2017 visando a coleta de dados meteorológicos de superfície e altitude. A campanha contou com a participação de profissionais e estudantes da Defesa Civil do Estado de Santa Catarina, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). Para avaliar o impacto do uso dos dados obtidos durante a campanha na melhoria da previsão de tempo, foram realizados dois experimentos. O primeiro experimento foi realizado com o intuito de avaliar o impacto da assimilação dos dados de superfície. Ao passo que o segundo experimento foi feito para avaliar o ganho na assimilação de dados e na previsão do tempo quando inserido um novo ponto de lançamento de radiossondagem no estado de SC. Ambos experimentos foram configurados de maneira que fossem obtidas três análises distintas por meio do uso de: (i) apenas as observações consideradas como controle; (ii) as observações utilizadas em (i) com as

observações adicionais (sejam elas as observações de superfície ou a radiossondagem); e (iii) apenas as observações adicionais.

Os dados considerados como controle representam os dados de superfície tais como SYNOP, METAR, dados de bóias oceânicas e sondagens, os quais são provenientes do *Global Telecommunications System* (GTS). Estes dados contêm variáveis meteorológicas como pressão ao nível médio do mar, temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho e direção e velocidade do vento. A rede local de estações, representada na Figura 1 em pontos brancos, apresenta dados extras, que não fazem parte da rede GTS, de estações da Agência Nacional de Águas (ANA), de estações meteorológicas automáticas de superfícies do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) e do Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (SIMEPAR), assim como as radiossondas liberadas durante o experimento.

O período de lançamento das sondagens atmosféricas foi do dia 15 (00 UTC) ao dia 18 (00 UTC) de novembro de 2017, com frequência de 6 horas (00, 06, 12 e 18 UTC), exceto dia 16 quando a frequência foi ampliada para 3 horas. A maior frequência foi escolhida pela condição atmosférica pré-frontal. Assim, no total foram lançadas 18 radiossondas. Para realizar as medições do perfil vertical atmosférico de pressão, temperatura, umidade, direção e velocidade do vento, foi utilizado o sistema de radiossondagem DigiCORA<sup>®</sup>, da marca Vaisala, modelo MW41. A radiossonda utilizada foi do modelo RS41-SG, também da marca Vaisala. Esta possui sensor de temperatura, umidade e pressão atmosférica. A direção e velocidade do vento nos diferentes níveis da atmosfera é estimada a partir das coordenadas vertical e horizontal do balão em função do tempo obtidas por GPS (*Global Positioning System*).

Figura 1 – Área de estudo, com destaque para o município de Chapecó em triângulo laranja, demais posições das radiossondagens fixas em triângulos lilás. A rede de estações de superfície local é definida pela marcação de círculos em branco



A modelagem numérica da atmosfera foi realizada utilizando o modelo Weather Research and Forecasting (WRF – Skamarock et al., 2008) versão 3.9, com resolução horizontal de 8 km e 45 níveis verticais. A área de estudo é mostrada na Figura 1, centralizada no estado de SC. A configuração das parametrizações físicas utilizadas para o presente estudo no modelo WRF foi o esquema de radiação de onda longa e onda curta RRTMG (Rapid Radiative Transfer Model for GCMs) (IACONO et al., 2008). A convecção foi parametrizada através da parametrização cumulus com o esquema de Kain-Fritsch (BERG et al., 2013). Já a parametrização de microfísica utilizada foi a WSM6 (WRF Momento Único e esquema de 6 classes de hidrometeoros) (HONG e LIM, 2006). Como condição inicial e de fronteira foram utilizados os dados do modelo global Global Forecast System (GFS) do National Centers for Environmental Prediction (NCEP) com resolução horizontal de 0.25°.

Para a assimilação de dados, foi utilizado o Sistema de Modelagem Regional (SMR) VENDRASCO et al., 2016a), o qual usa o Gridpoint Statistical Interpolation (GSI) e método variacional em 3 dimensões (3DVAR), com dois outer loops e 25 inner loops cada outer loop, a fim de aceitar mais observações. Foi utilizada uma janela de assimilação de 1h e 30 min, centrada no tempo da análise. Maiores detalhes sobre o método podem ser encontrados em Hu et al., (2018) e Vendrasco et al., (2016a).

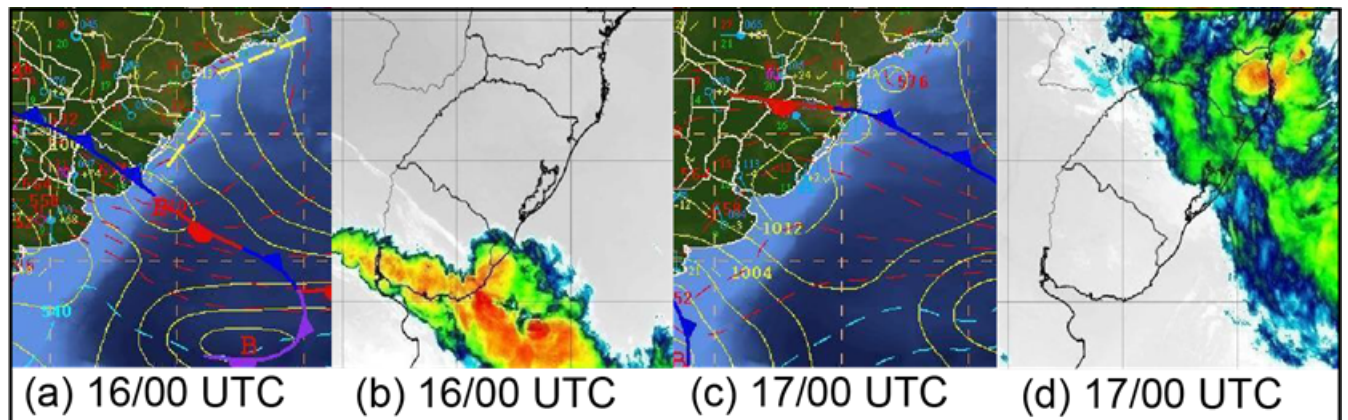
Para a avaliação das contribuições que as observações têm no sistema de assimilação utilizado para gerar as análises produzidas durante a campanha - o tão chamado impacto das observações - foi utilizada uma técnica robusta que estima o impacto de todas as observações utilizadas na análise em um procedimento único. A técnica utilizada aqui foi proposta por Todling (2013), a qual considera a diferença entre os quadrados dos resíduos observacionais com relação às análises e às estimativas iniciais ponderados pelo inverso da matriz de covariâncias dos erros

das próprias observações. Por definição, essa medida é adimensional, e uma vez obtida para todas as observações utilizadas no processo de análise, a mesma pode ser classificada de acordo com a necessidade, como por exemplo por tipos de observação, o qual será utilizado neste trabalho. Caso a diferença entre os quadrados dos resíduos resulte em um valor negativo, será equivalente a dizer que essa observação contribui benéficamente para a análise (impacto benéfico); já para o caso em que essa diferença resulte em um valor positivo, será equivalente a dizer que essa observação contribui maleficamente para a análise (impacto maléfico). Com isso podemos generalizar que essa medida é negativamente orientada. É importante lembrar que essa medida de impacto é obtida para cada uma das observações utilizadas no procedimento de análise na presença de todas as observações que foram utilizadas nesse processo.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entre os dias 16 e 17 de novembro de 2017 um sistema frontal atravessou os estados da região Sul do Brasil. À 00 UTC do dia 16 esse sistema estava localizado entre o Uruguai e o extremo sul do Rio Grande do Sul e avançava na direção nordeste (Figuras 2a e 2b). À 00 UTC do dia 17 ele posicionou-se entre os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul com sua extremidade oeste tendo adquirido características de frente quente (Figuras 2c e 2d).

Figura 2 – Recortes das cartas sinóticas de superfície e das imagens de satélite para o horário das 00 UTC dos dias 16 (a,b) e 17 (c,d) de novembro, respectivamente



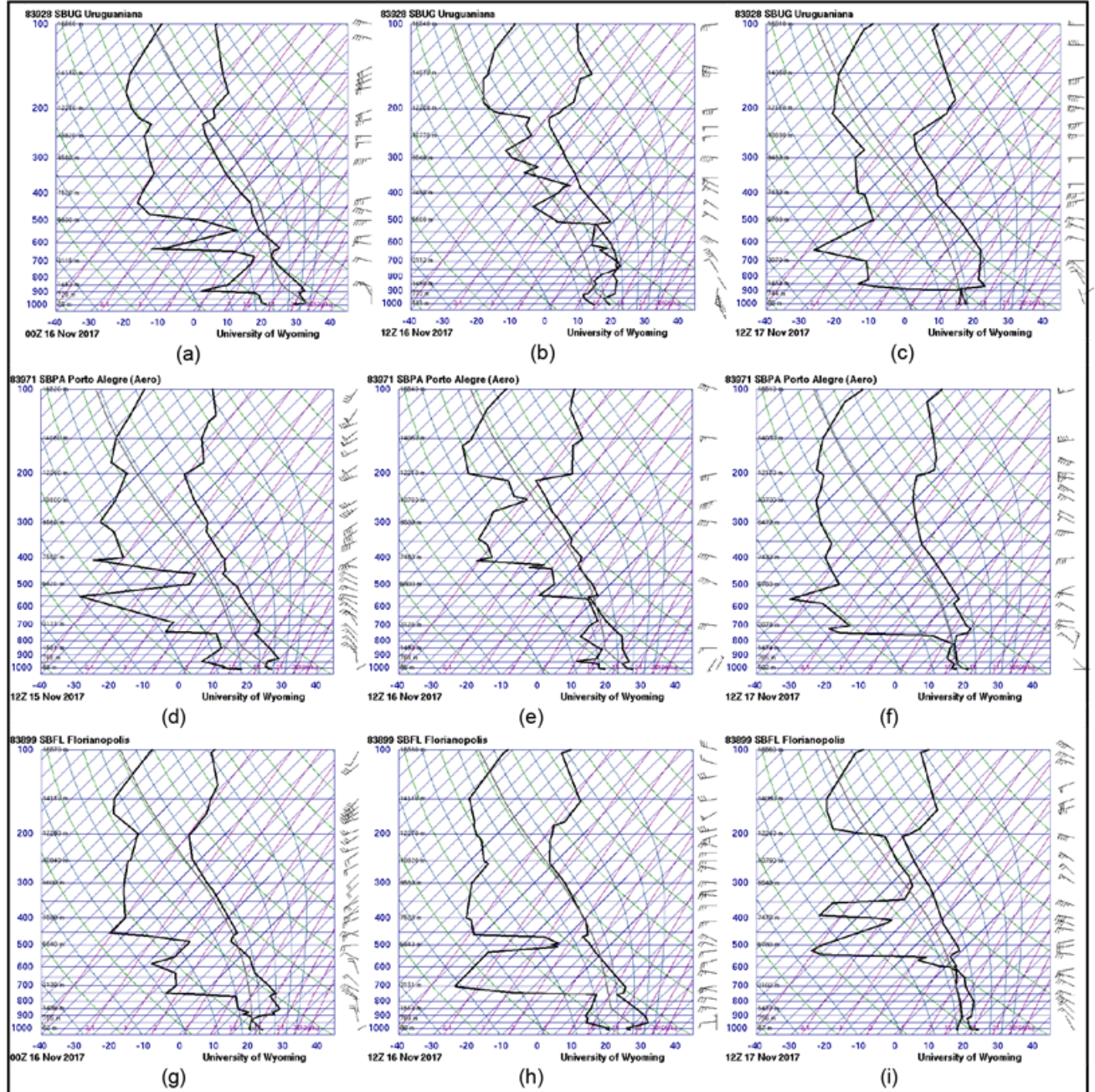
Fonte: CPTEC/INPE.

Através das radiossondagens em Uruguaiana, Porto Alegre e Florianópolis, estações que compõem a rede nacional de observação, também foi possível verificar a passagem do sistema frontal e confirmar suas características de instabilidade. As localizações das sondagens são mostradas na Figura 1, por SBUG, SBPA e SBFL, respectivamente. Às 00 UTC do dia 16 a radiossondagem de Uruguaiana, extremo oeste do Rio Grande do Sul, mostrava o parâmetro de severidade CAPE  $\approx 1000$  J/kg e índice de instabilidade de TT  $> 40$ , indicando possibilidade para convecção moderada, conforme Nascimento (2005). Além disso, havia uma forte inversão junto à superfície e uma camada média e superior mais seca (Figura 3a). Às 12 UTC o sistema já atuava



sobre o extremo sul do Brasil o que pode ser percebido pelo umedecimento da coluna atmosférica e estabilização atmosférica e mudança do vento próximo à superfície (Figura 3b). Às 12 UTC do dia 17 foi possível confirmar a presença do ar pós-frontal pelo ressecamento da camada média e superior, pela presença da inversão de subsidência e forte estabilidade atmosférica (Figura 3c). Por meio das radiossondagens em Porto Alegre, disponíveis somente no horário das 12 UTC, não foi possível identificar com antecedência a chegada do sistema frontal. A sondagem do dia 15 às 12 UTC mostrou uma camada quase inteiramente seca e ausência de instabilidade atmosférica (Figura 3d). Nos dias 16 e 17, também às 12 UTC, foi possível verificar a presença do sistema atuando sobre a região e a posterior atuação do ar pós-frontal (Figura 3e e 3f). As sondagens para Florianópolis estavam disponíveis à 00 e às 12 UTC no dia 16 e às 12 UTC no dia 17. Contudo, apesar da identificação da atuação do sistema sobre a região, não foi possível antecipar sua aproximação, ou seja, no momento da condição pré-frontal as sondagens apresentaram camada seca e baixos valores de instabilidade (Figura 3g, 3h e 3i).

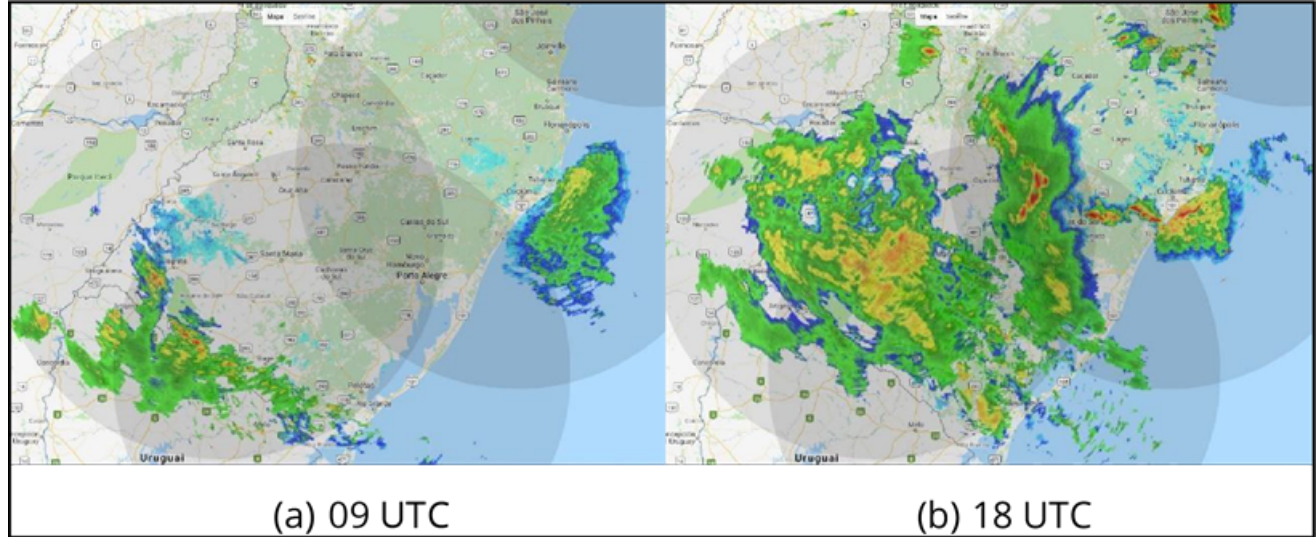
Figura 3 – Radiossondagens para os municípios: de Uruguaiana (RS) às 00 e 12 UTC do dia 16 (a,b), e para 12 UTC do dia 17 (c); de Porto Alegre (RS) às 12 UTC dos dias 15, 16 e 17 (d,e,f) respectivamente; e de Florianópolis (SC) às 00 e 12 UTC do dia 16 (g,h) e às 12 UTC do dia 17 (i) respectivamente



Fonte: University of Wyoming.

Os radares meteorológicos disponíveis para a região Sul do Brasil também foram capazes de acompanhar a passagem do sistema frontal pela região de interesse. Às 09 UTC do dia 16 o campo de refletividade dos radares de Santiago e Canguçu mostravam concentração de gotas de chuva no extremo sul do Rio Grande do Sul devido a chegada do sistema frontal (Figura 4a). Às 18 UTC do dia 16, as imagens dos radares de Santiago, Canguçu e Morro da Igreja mostravam intensa chuva em toda porção sul da região Sul do Brasil, inclusive sobre Chapecó (cidade onde foi realizado o experimento) e parte oeste de Santa Catarina (Figura 4b).

Figura 4 – Refletividade dos radares de Santiago, Canguçu e Morro da Igreja para o dia 16 de novembro em seus respectivos horários



Fonte: REDEMET.

### 3.1 Análise das sondagens do experimento

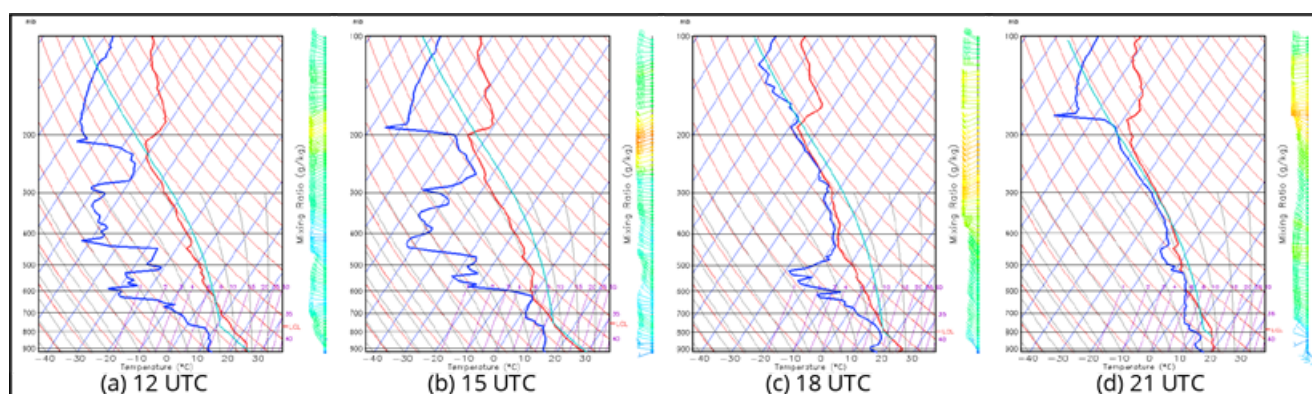
Conforme citado na seção 2, os lançamentos das radiossondagens iniciaram-se à 00 UTC do dia 15 com frequência de seis horas. A partir da 00 UTC do dia 16 a frequência de lançamentos foi aumentada para três horas até à 00 UTC do dia 17, tendo em vista a aproximação do sistema frontal e a melhor caracterização atmosférica durante a atuação do sistema. Dessa forma, foi possível obter informações da região antes, durante e após a passagem do sistema frontal.

Às 06 UTC do dia 16 a frente fria pôde ser observada entrando em território brasileiro sobre o extremo sul do estado do Rio Grande do Sul. As radiossondagens lançadas em Chapecó às 06 e às 09 UTC mostravam uma camada seca, ligeiramente estável e ausência de cisalhamento vertical do vento. Às 12 UTC, quando o sistema atuava sobre o norte do Rio Grande do Sul, mas ainda não tinha alcançado Santa Catarina (Figura 3b, 3e e 4a), a radiossondagem apresentou uma intensificação dos índices de instabilidade, desenvolvendo um cisalhamento unidirecional do vento e aumentando a intensidade do vento próximo a 200 hPa e também próximo à superfície (Figura 5a). Às 15 UTC a nebulosidade começou a adentrar Santa Catarina pelo setor oeste e os índices de instabilidade intensificaram demonstrando um ambiente mais favorável à ocorrência de tempestades intensas ( $CAPE > 2000 \text{ J/kg}$ ,  $LI = -5$ ,  $TT = 51$ ). Também houve aumento no cisalhamento do vento favorecendo também a ocorrência de tempestades intensas (Figura 5b).

Às 18 UTC, a atmosfera continuava condicionalmente instável ( $CAPE > 200 \text{ J/kg}$ ,  $LI = -7$ ,  $TT = 55$ ), com fortes ventos acima de 400 hPa e uma camada entre 700 e 500 hPa mais seca entre duas camadas extremamente úmidas, elementos que compõem condições favoráveis ao desenvolvimento de tempestades severas (Figura 5c). Às 21 UTC o sistema frontal havia perdido intensidade, os índices de instabilidade diminuíram seus valores, toda a camada estava muito úmida e o escoamento junto a superfície era predominantemente de sul (Figura 5d). Assim, a atmosfera manteve-se úmida e com condição instável durante todo o tempo de presença da

nebulosidade, que começou a se dissipar por volta das 06 UTC do dia 17, quando o sistema frontal já se afastava da região.

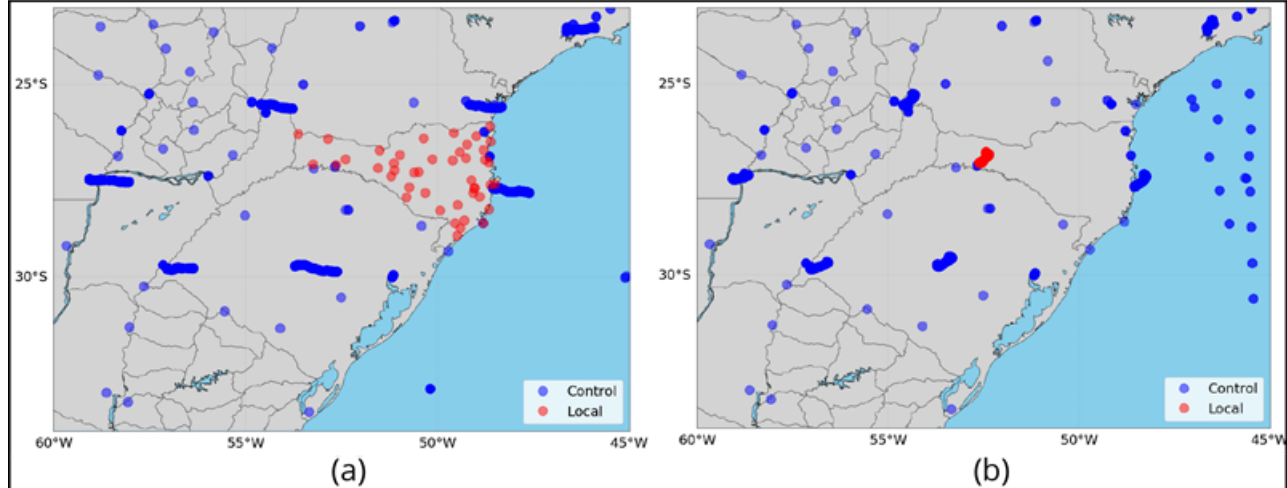
Figura 5 – Radiossondagens em Chapecó no dia 16 de novembro de 2017 em seus respectivos horários



### 3.2 Impacto das observações na previsão do tempo

O primeiro experimento foi realizado adicionando apenas dados da rede local de superfície aos dados do GTS à 00 UTC de 26 de outubro de 2017. Na Figura 6a, os círculos em azul representam os dados disponibilizados para a assimilação do GTS. Em vermelho, é representada a rede local de dados de superfície, conforme descrito na seção 2. Já o segundo experimento foi realizado com dados de radiossonda das 12 UTC do dia 16 de novembro de 2017 (Figura 6b – em vermelho), com lançamento na região Oeste de SC, durante o Experimento de Campo Valeri. Os dados observacionais foram provenientes do GTS para esse caso e compreendem medições de superfície e também de altos níveis, onde as medições de altos níveis são provenientes de outras radiossondas e também de aeronaves. As variáveis contidas nestes dados são as mesmas que são utilizadas em superfície, mas em diversos níveis da atmosfera.

Figura 6 – Área de estudo com a distribuição espacial das observações disponíveis nos arquivos distribuídos operacionalmente para assimilação de dados (círculos azuis) e (a) as observações adicionadas sobre o estado de Santa Catarina (círculos vermelhos) à 00 UTC de 26 de outubro de 2017 e (b) as observações da radiossonda adicionada na região Oeste de Santa Catarina (círculos vermelhos) às 12 UTC de 16 de novembro de 2017



O número de observações assimiladas por experimento cada experimento da Figura acima é mostrado na Tabela 1. O primeiro experimento com a rede local buscou assimilar apenas a variável de pressão em superfície com intuito de representar a queda de pressão associada a instabilidades que precederam o dia do experimento. Como o enfoque do presente trabalho são as condições atmosféricas durante o período da campanha Valeri, não foram mostradas as imagens de satélite e cartas sinóticas para tal caso. Para tal caso, foram assimiladas mais 84 observações após a adição da rede local de superfície.

Já para o experimento mostrado na Figura 6.b, foram assimilados ao menos 162 novos dados de temperatura, vento (u,v) e umidade. Lembrando que esse número pode estar relacionado a hipótese de que, ao se assimilar uma única observação, pode fazer com que outras observações passem a ser utilizadas no processo de análise, que antes foram rejeitadas.

Tabela 1 – Número de observações assimiladas separadas por variável meteorológica em cada experimento

Experimento	Pressão*	Temperatura	Vento	Umidade
26/10 - 00Z - GTS	142	285	1020	142
26/10 - 00Z - GTS + ps*	226	285	1020	142
16/11 - 12Z - GTS	178	417	1862	193
16/11 - 12Z - GTS + sondagem	178	579	2182	355

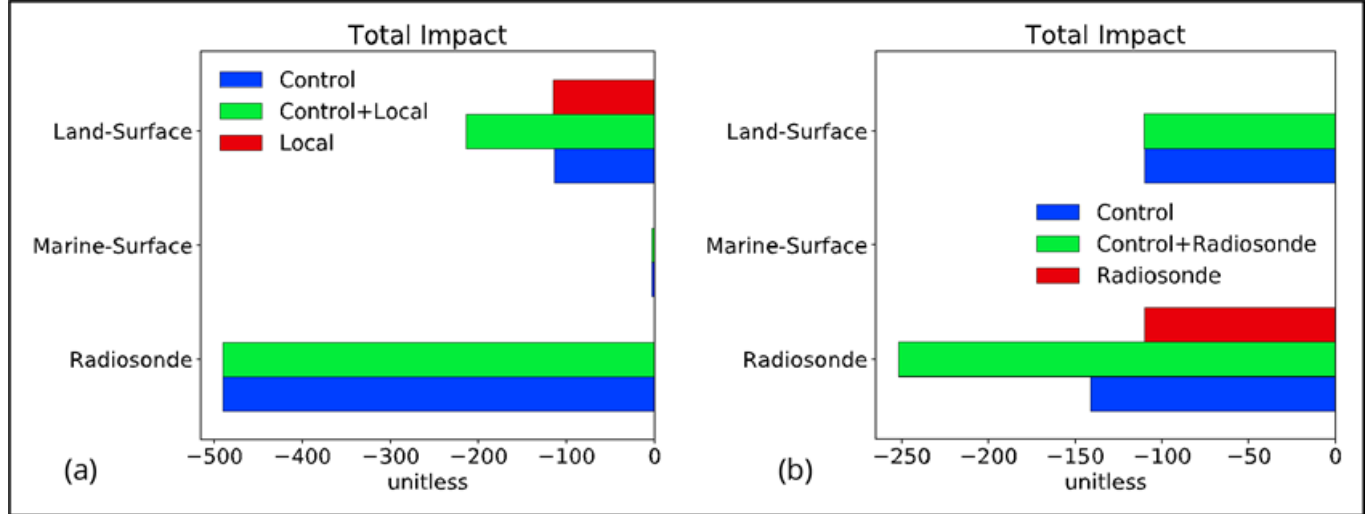
\* Pressão em superfície (ps)

O diagnóstico espacial também mostrou um grande impacto da assimilação da radiossondagem no primeiro instante. A estimativa inicial apresentou diferenças significativas sobre a posição de lançamento das radiossondagem que, numa primeira verificação, parecem

estar relacionadas simplesmente à inclusão dos dados da sondagem pelo processo de assimilação. O impacto da assimilação de dados, mesmo quando o sistema ainda estava distante de Santa Catarina, pôde ser observado sobre o oceano, Uruguai, Argentina e Paraguai (figura não mostrada). Esse resultado mostra a importância dos dados na região do experimento não apenas para o estado de Santa Catarina, mas também para todo o domínio analisado.

Para quantificar o impacto das radiossondas na previsão do tempo, foi utilizada a técnica proposta por Todling (2013) que é capaz de fornecer uma unidade adimensional que indica a contribuição de cada uma das observações utilizadas no processo de assimilação na análise final. Foram realizados dois tipos de experimentos, porém cada um deles contou com três combinações de conjuntos observacionais para gerar as análises: (i) observações consideradas controle (barras azuis); (ii) observações consideradas controle e adição das observações consideradas locais (barras verdes); e apenas as observações consideradas locais (barras vermelhas). A Figura 7a mostra os resultados para o experimento com observações de superfície e a Figura 7b mostra o impacto da inclusão da radiossonda de Chapecó. Por meio dessa medida, quanto mais negativo o valor obtido, maior o impacto benéfico do conjunto de dados. As barras azuis representam o impacto da assimilação dos dados do GTS (controle), as vermelhas representam o impacto apenas dos dados locais assimilados, como estações de superfície e sondagens de Chapecó (Figuras 7a e 7b, respectivamente). As barras em verde mostram o impacto da assimilação dos dados locais em conjunto com o GTS. Quando apenas dados locais de superfície terrestre são assimilados (Figura 7a; vermelho), o impacto obtido apresenta magnitude semelhante ao experimento quando apenas os dados disponíveis no GTS são utilizados (Figura 7a; azul). A grande vantagem se configura pelo ganho em assimilar os dois conjuntos concomitantemente como mostrado pela barra verde, já que nesse caso não há radiossondagens adicionadas ao conjunto de dados locais, o aumento do impacto é restrito em níveis mais baixos da atmosfera. Para o experimento adicionando os dados locais da radiossondagem de Chapecó, apresentado na Figura 7b, o benefício em se combinar o dado local ao controle do GTS é mostrado de maneira análoga à Figura 7a, porém dessa vez mostrando impactos em diversos níveis da atmosfera.

Figura 7 – Plotagens em barras para cada sistema de observação avaliado nos experimentos Control (azul), Control+Local (verde) e Local (vermelho), realizados para obter (a) o impacto das estações de superfície sobre SC e (b) o impacto da radiossonda sobre o Oeste do Estado. O impacto total das observações tem unidade adimensional



Diversos trabalhos confirmaram o ganho em se assimilar dados de trabalhos de campo como os desenvolvidos pelo projeto CHUVA (Vendrasco et al., 2016b), e também dados que auxiliem na previsão de sistemas convectivos, como assimilação de dados de radar (Ferreira et al., 2017), entre outros. Assim verifica-se que a inclusão de informações, aliada à rede já existente tem um impacto substancial nas análises e previsões sobre o Estado de SC.

#### 4 CONCLUSÕES

O presente estudo demonstrou a importância da campanha de campo Valeri Mirailovit Ilin que ocorreu entre os dias 14 e 19 de novembro de 2017 sobre a porção oeste do estado de Santa Catarina. Em meio aos vários objetivos desse experimento, este estudo procurou analisar o impacto da assimilação de observações de superfície e radiossondagens na previsão do tempo na região.

A alta frequência dos lançamentos de radiossondagem permitiu melhorar o acompanhamento e desenvolvimento do sistema frontal que atuava na região. Além disso, as radiossondagens liberadas durante o experimento foram úteis para detectar e antecipar a previsão da passagem da frente. No dia 16, às 12 UTC, quando a frente fria ainda não atuava sobre Santa Catarina, os índices de instabilidade das sondagens já evidenciavam a formação de instabilidade associado a aproximação do sistema frontal. Às 15 UTC quando o sistema alcançou a fronteira sul do estado os índices de instabilidade mostraram alta instabilidade para formação de tempestades. Desta forma, já pôde-se notar um dos impactos do lançamento das radiossondagens na região oeste de SC.

A utilização do modelo WRF com alta resolução espacial e temporal permitiu descrever detalhadamente a atuação do sistema frontal sobre a região e maximizar as informações geradas pelo experimento. Por meio dos dois experimentos realizados, foi possível conduzir uma discussão sobre a importância da assimilação de dados na região. Os dados de radiossondagens coletados durante a campanha se mostraram de grande relevância na simulação dos casos. Foi observado

que a inclusão da radiossondagem no processo de assimilação de dados teve significativa melhoria na representação do caso.

O presente estudo demonstrou a importância da realização de campanhas de campo que permitam a obtenção de um número maior de observações, possibilitando um detalhamento maior dos fenômenos meteorológicos, bem como avaliações e simulações de modelos numéricos mais precisas. Além disso, visto que o experimento de campo ocorreu em um local onde praticamente não existem informações de ar superior, a execução da campanha permitiu observar que a inclusão de um novo ponto de lançamento de sondagens no local da campanha é de grande relevância para uma melhor previsão do tempo na região, podendo melhorar significativamente a previsão de eventos extremos.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi executado com recursos do Sistema Integrado de Ferramentas de Análise e Previsão Hidrometeorológica de Santa Catarina – SIFAP-SC. Os autores agradecem: CAPES, CNPq, projetos e bolsas de todos os envolvidos. Ao Programa PROEX (Auxílio 0549/2018 processo 23038.000721/2018-25) da Pós-graduação em Meteorologia do INPE (PGMET). Agradecimento especial ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) e do Centro Integrado de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CIGERD), em nome do MSc. Frederico de Moraes Rudorff, Gerente de Alerta da Secretaria de Estado de Defesa Civil/SC, pelo apoio durante o desenvolvimento do Experimento de Coleta de Dados Meteorológicos em Chapecó, SC.

## REFERÊNCIAS

BERG, L.K.; GUSTAFSON JR, W.I.; KASSIANOV, E.I.; DENG, L.; Evaluation of a modified scheme for shallow convection: Implementation of CuP and case studies. **Monthly Weather Review**, v. 141, n. 1, p. 134-147, 2013.

CEPED - CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES. Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010: volume Brasil. **Relatórios Técnicos**, p. 94, 2012.

FERREIRA, R.C.; HERDIES, D.L.; VENDRASCO, E.P.; BENETI, C.A.A.; BISCARO, T.S. Impacto da Assimilação de Dados de Radar em Sistemas Convectivos de Mesoescala: Um Estudo de Caso. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 3, p. 447-458. 2017.

HONG, S.Y.; LIM, J.O.J. The WRF single-moment 6-class microphysics scheme (WSM6). **Journal of the Korean Meteorological Society**. v. 42, p. 129–151, 2006.

HU, M., GE, G., ZHOU, C., STARK, D., SHAO, H., NEWMAN, K., BECK, J., ZHANG, X., 2018. Grid-point Statistical Interpolation (GSI) User's Guide Version 3.7. **Developmental Testbed Center**. Available at <http://www.dtcenter.org/com-GSI/users/docs/index.php>, 149 pp.



IACONO, M.J.; DELAMERE, J.S.; MLAWER E.J.; SHEPHARD, M.W.; CLOUGH, S.A.; COLLINS, W.D. Radiative forcing by long-lived greenhouse gases: Calculations with the AER radiative transfer models. **Journal of Geophysical Research**. v. **113**, 2008.

MACHADO, L.A.T.; Silva Dias, M.A.; MORALES, C.; FISCH, G.; VILA, D.; ALBRECHT, R.; GOODMAN, S.J.; CALHEIROS, A.J.; BISCARO, T.; KUMMEROW, C.; COHEN, J.; FITZJARRALD, D.; NASCIMENTO, E.L.; SAKAMOTO, M.S.; CUNNINGHAM, C.; CHABOUREAU, J.P.; PETERSEN, W.A.; ADAMS, D.K.; BALDINI, L.; ANGELIS, C.F.; SAPUCCI, L.F.; SALIO, P.; BARBOSA, H.M.; LANDULFO, E.; SOUZA, R.A.; BLAKESLEE, R.J.; BAILEY, J.; FREITAS, S.; LIMA, W.F.; TOKAY, A. The CHUVA project: How does convection vary across Brazil? **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 95, n. 9, p. 1365–1380, 2014.

MACHADO, L.A.T.; ROSSOW, W.B.; GUEDES, R.L.; WALKER, A.W. Life Cycle Variations of Mesoscale Convective Systems over the Americas. **Monthly Weather Review**, v. 126, n. 6, p. 1630–1654, 1998.

NASCIMENTO, E.D.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.

LORENZ, E.N. Deterministic Nonperiodic Flow. **Journal of the Atmospheric Sciences**. v. 20. p. 130-141, 1963.

MOORE, J. T.; GLASS, F.H.; GRAVES, C.E.; ROCHETTE, S.M.; SINGER, M.J. The Environment of Warm-Season Elevated Thunderstorms Associated with Heavy Rainfall over the Central United States. **Weather and Forecasting**, v. 18, n. 5, p. 861–878, 2003.

RASMUSSEN, K.L.; HOUZE, R.A. Convective Initiation near the Andes in Subtropical South America. **Monthly Weather Review**, v. 144, p. 2351–2374, 2016.

RIBEIRO, B.Z.; SELUCHI, M.E. A climatology of quasi-linear convective systems and associated synoptic-scale environments in southern Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 39, n. 2, p. 857–877, 2018.

REYNOLDS, C.A.; WEBSTER, P.J.; KALNAY, E. Random Error Growth in NMC's Global Forecasts. **Monthly Weather Review**. v. 122, p. 1281-1305, 1994.

SIQUEIRA, J.R.; MACHADO, L.A.T. Influence of the frontal systems on the day-to-day convection variability over South America. **Journal of Climate**, v. 17, n. 9, p. 1754–1766, 2004.

SIQUEIRA, J.R.; ROSSOW, W.B.; MACHADO, L.A.T.; PEARL, C. Structural Characteristics of Convective Systems over South America Related to Cold-Frontal Incursions. **Monthly Weather Review**, v. 133, n. 5, p. 1045–1064, 2005.

SKAMAROCK, W.C.; KLEMP, J.B.; DUDHIA, J.; GILL, D.O.; BARKER, D.M.; DUDA, M.G.; HUANG, X.; WANG, W.; POWERS, J.G. **A description of the advanced research WRF version 3**. National Center for Atmospheric Research, 2008. 125 p. NCAR TECHNICAL NOTE.

TODLING, R. Comparing two approaches for assessing observation impact. **Monthly Weather Review**, v. 141, n. 5, p. 1484–1505, 2013.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Orgs.) **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. 1 ed/2º reimpressão. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 196 p.

UCCELLINI, L. W.; JOHNSON, D. R. The Coupling of Upper and Lower Tropospheric Jet Streaks and Implications for the Development of Severe Convective Storms. **Monthly Weather Review**, v. 107, n. 6, p. 682–703, 1979.

VENDRASCO, E.P.; SAPUCCI, L.F.; KHAMIS, E.G.; MATTOS, J. G. Z.; AVANÇO, L.A.; BAÑOS, I. H.; CAMPOS, T.L.O.B.C.; GONÇALVES, L.G.G.. SISTEMA DE MODELAGEM REGIONAL (SMR), VERSÃO 2.0(OLÍMPICA) - Relatório técnico, 2016a. Disponível em <http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3MC4LHH>.

VENDRASCO, E.P.; SUN J.; HERDIES D.L.; ANGELIS, C.F. Constraining a 3DVAR Radar Data Assimilation System with Large-Scale Analysis to Improve Short-Range Precipitation Forecasts **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 55, p. 673–690. 2016b.