



MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO
INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET
Eixo Monumental, Via S1, Sudoeste, Brasília/DF. CEP: 70680-900
Fones: (61) 2102-4700 / fax: (61) 2102-4701
<http://www.inmet.gov.br>

Nota meteorológica

Análise preliminar do evento ocorrido em São Francisco de Paula-RS na manhã do dia 12/03/2017

Essa nota tem como objetivo fazer uma análise preliminar das principais variáveis meteorológicas associadas ao fenômeno de tempo severo, ocorrido em São Francisco de Paula - RS, aproximadamente, às 8 horas (horário local) do dia 12/03/2017.

Inicialmente, as imagens de satélite (canal de vapor d'água realçado do dia 11/03/2017 às 23:45 UTC - Figura 1a) evidenciavam atividade convectiva no sul do Rio Grande do Sul. Às 05:45 UTC (2:45 horas – horário local), observou-se a intensificação da atividade convectiva sobre o centrossul do Rio Grande do Sul, devido à formação de uma frente fria no sul do Estado (Figura 1b e 2b). Entre às 08:45 e 11:45 UTC (Figuras 1c a 1d), ocorreu forte aumento da atividade convectiva (temperatura no topo das nuvens abaixo de -70°C) junto com o avanço do sistema frontal sobre o centro-leste do Rio Grande do Sul (Figura 2c). Posteriormente, às 14:45 UTC (Figura 1e), houve um enfraquecimento da instabilidade e o deslocamento do sistema para a divisa do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Finalmente, às 17:45 UTC (Figuras 1f e 2d), o sistema atuava sobre grande parte do Estado de Santa Catarina.

Sobre o nordeste do Rio Grande do Sul, nas vizinhanças do município de São Francisco de Paula, observou-se que, no horário da tempestade (aproximadamente 11 UTC - 8 horas, horário local), ocorreu o alinhamento das instabilidades atmosféricas, desde o noroeste do Rio Grande do Sul até o Oceano Atlântico.

Na sequência de imagens do Radar Meteorológico, localizado no Morro da Igreja - SC, (Figuras 3a a 3e), destacam-se as áreas em tons avermelhado, nas quais a refletividade do radar foi mais intensa, possibilitando assim, visualizar o deslocamento do sistema convectivo sobre a região do município

de São Francisco de Paula. Essa configuração permaneceu por aproximadamente 15 minutos (Figuras 3b a 3d). Às 11:05 UTC (8:05 horas - horário local), notou-se com maior nitidez a organização das células de tempestades, momentos antes de atingir a região em análise. Em especial, às 11:15 UTC (8:15 horas - horário local), observou-se a mudança na curvatura da banda de maior refletividade (acima de 45 dBZ), que passava sobre a região e estende-se desde o norte/noroeste até o sul/sudeste do município. Por fim, às 11:20 UTC (8:20 horas - horário local), o sistema já havia avançado para nordeste e na imagem do radar (Figura 3e), uma menor refletividade pode ser observada sobre São Francisco de Paula-RS.

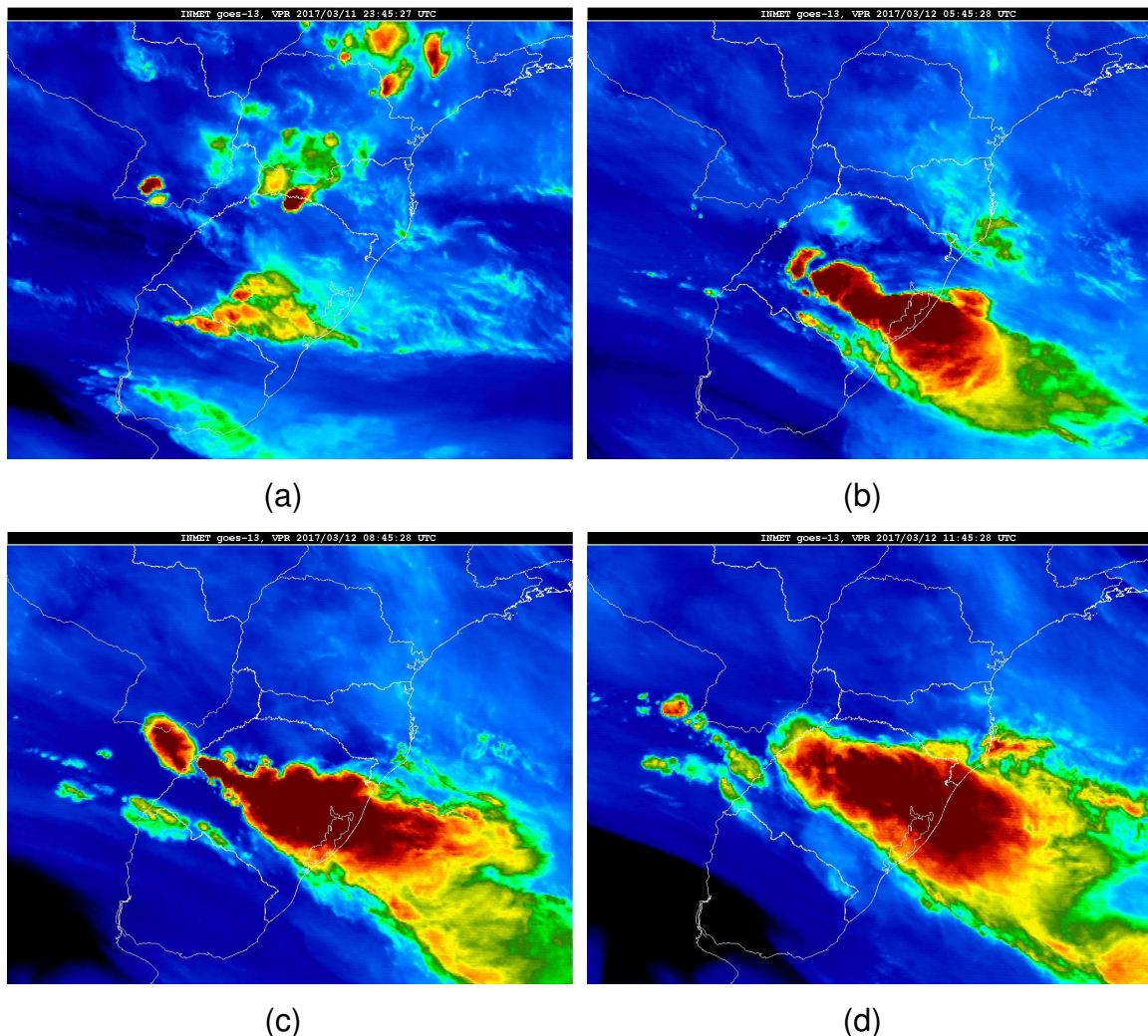
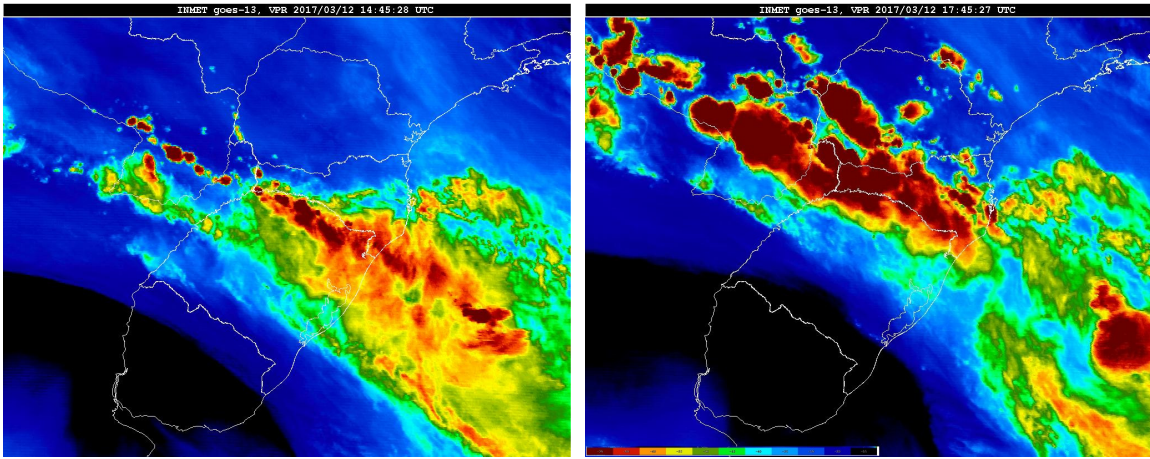


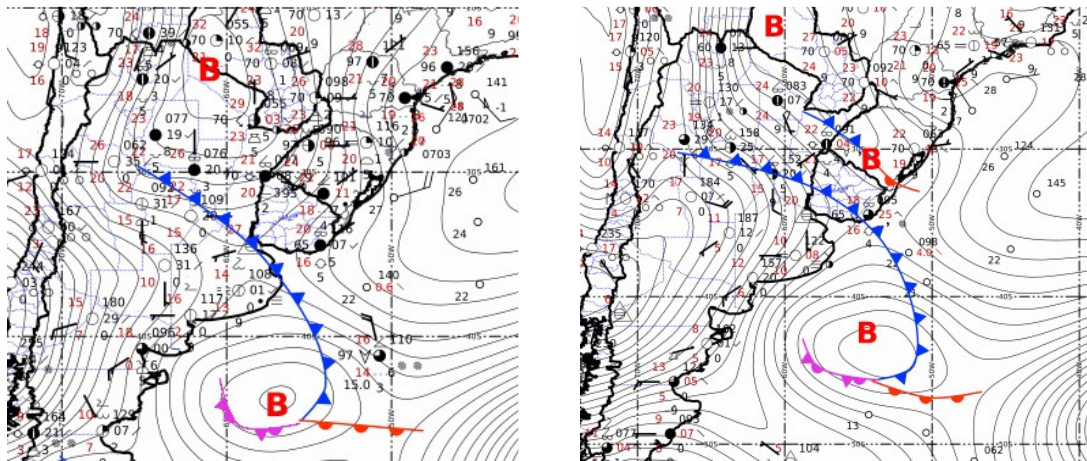
Figura 1 - Imagens de satélite: (a) no dia 11/03/2017 às 23:45 UTC (21 horas); e no dia 12/03/2017 às (b) 05:45 UTC, (c) 08:45 UTC, (c) 11:45 UTC, (c)14:45 UTC e (d) 17:45 UTC.



(e)

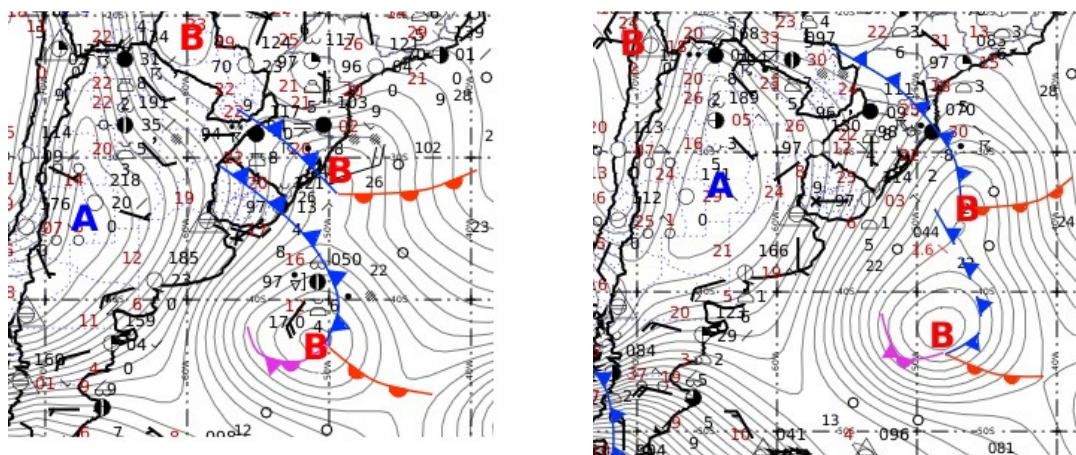
(f)

Figura 1 – Continuação.



(a)

(b)



(c)

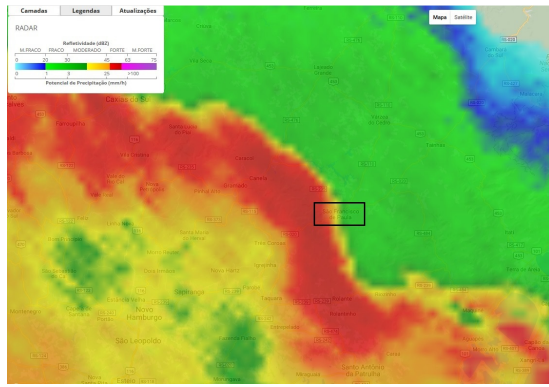
(d)

Figura 2- cartas sinóticas de superfície: (a) 11/03/2016 às 23 UTC (21 horas), (b), (c) e (d) do dia 12/03/2017 às 06, 12 e 18 UTC, respectivamente.

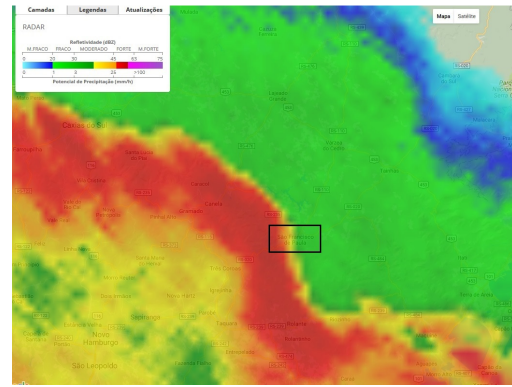
A Figura 4 contém os dados da estação meteorológica automática do INMET em Canela - RS (estação meteorológica da rede do Instituto, mais

próxima de São Francisco de Paula – RS, 36 Km). Observa-se que, desde às 00 UTC (21 horas – horário local do dia 11/03/2017) a velocidade do vento já estava acima de 10 m/s (~36 km/h). A partir das 04 UTC (01 hora - horário local do dia 12/03/2017), houve uma intensificação das rajadas de vento, ficando essas acima de 12 m/s (~43 km/h), enquanto que a direção do vento passou do quadrante nordeste para noroeste. Entre às 10 e 12 UTC (7 e 9 horas, horário local do dia 12/03/2017) observou-se variações significativas na direção do vento: passando do quadrante noroeste para sudoeste, e novamente, retornando para o quadrante noroeste. Às 11 UTC foi registrada a máxima rajada de vento do dia de 18,5 m/s (~ 66 km/h), que segundo a Escala Beaufort^{i,ii} corresponde a um vento de grau 8, cuja designação é de muito forte. Além das variações no vento (intensidade e direção), observou-se um abaixamento da pressão atmosférica, sendo a máxima variação em 24 horas de 8 hPa (às 11 UTC: 922,6 hPa do dia 11/03 e 914,6 hPa no dia 12/03/2017).

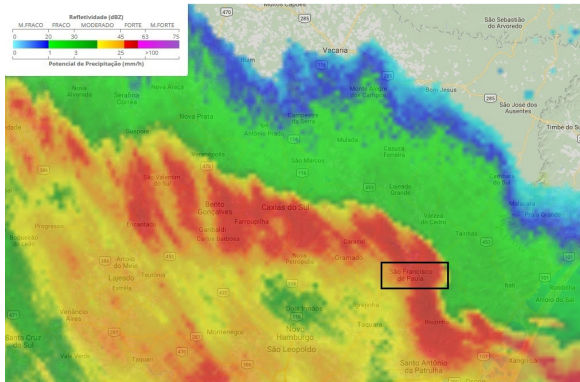
Nas demais estações meteorológicas automáticas do INMET, localizadas no centro e nordeste do Rio Grande do Sul, as máximas rajadas de vento estão ilustradas na Figura 4b.



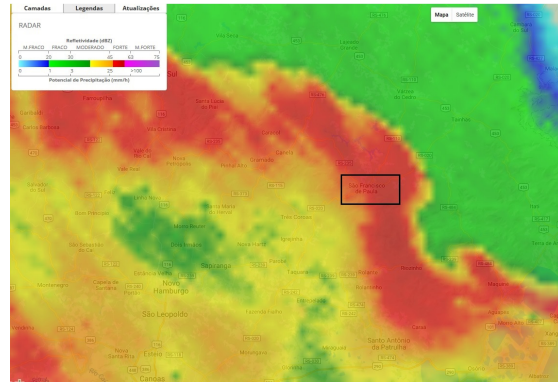
(a)



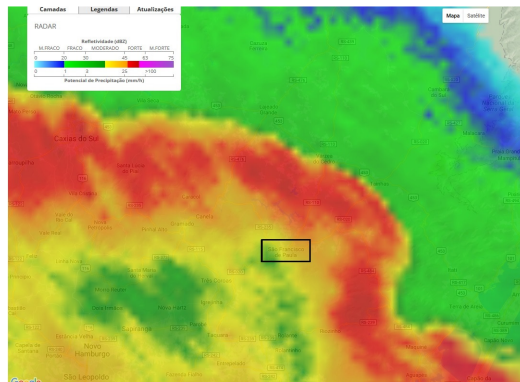
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 3 – Sequência de imagens do Radar Meteorológico do Morro do Igreja-SC no dia 12/03/2017 nos horários: (a) 11:00 UTC, (b) 11:05 UTC, (c) 11:10 UTC, (d) 11:15 UTC e (e) 11:20 UTC. Fonte: Redemet.

Hora	Temp. Ar			Umidade			Pto. Orv.			Pressao			Vento			Rad.	Precip.
	Inst	Max	Min	Inst	Max	Min	Inst	Max	Min	Inst	Max	Min	Vel	DD	Raj		
UTC	°C	°C	°C	%	%	%	°C	°C	°C	hPa	hPa	hPam/s	°	m/s	kJm ²	mm	
00	18.5	18.9	18.4	87	87	86	16.3	16.5	16.3	919.3	919.6	919.3	5.9	32	10.5	-2.868	0.0
01	18.6	18.6	18.3	88	88	87	16.5	16.5	16.3	919.6	919.7	919.3	5.4	25	10.1	-3.538	0.0
02	19.2	19.2	18.5	86	88	86	16.8	16.8	16.5	918.6	919.6	918.4	6.7	20	11.9	-3.538	0.0
03	19.1	19.3	19.0	87	87	86	16.8	16.8	16.7	918.4	918.8	918.4	6.8	7	12.1	-3.538	0.0
04	19.3	19.3	19.0	88	88	87	17.2	17.2	16.8	917.5	918.5	917.5	6.6	5	12.1	-3.538	0.0
05	19.9	20.0	19.2	87	89	87	17.7	17.8	17.1	916.4	917.6	916.4	6.3	355	10.8	-3.509	0.0
06	20.0	20.0	19.7	89	90	87	18.1	18.2	17.7	915.9	916.4	915.9	7.2	349	12.8	-3.540	0.0
07	20.4	20.6	19.9	88	89	87	18.3	18.4	18.1	914.3	915.9	914.3	8.8	352	16.6	-3.538	0.0
08	21.2	21.4	20.4	85	88	84	18.5	18.6	18.3	914.3	914.7	913.7	7.7	345	16.6	-3.479	0.0
09	21.2	21.3	21.0	85	86	84	18.6	18.6	18.5	914.6	914.7	914.2	7.9	341	13.8	-3.256	0.0
10	21.2	21.3	21.0	86	87	85	18.8	18.8	18.5	914.7	915.3	914.3	4.2	341	13.7	2.003	0.0
11	17.5	21.8	17.0	98	98	85	17.1	19.2	16.0	917.5	918.9	914.6	5.9	269	18.5	14.498	17.8
12	17.7	17.7	17.5	98	98	98	17.4	17.4	17.2	917.1	917.9	916.9	5.2	344	15.3	10.587	15.2
13	18.1	18.1	17.7	98	98	98	17.8	17.8	17.4	917.5	918.0	917.1	5.6	322	9.0	12.825	7.8
14	19.0	19.0	18.1	98	98	98	18.7	18.7	17.8	917.3	917.8	916.7	5.9	299	10.3	26.384	8.0
15	19.3	19.4	18.8	98	98	98	19.0	19.1	18.5	917.0	917.4	916.6	5.6	309	12.7	134.029	3.8
16	19.6	19.8	19.3	98	98	98	19.3	19.5	19.0	916.9	917.0	916.4	3.7	284	8.1	360.351	2.0
17	18.0	19.6	18.0	97	98	96	17.6	19.3	17.5	916.5	917.4	916.5	6.5	244	14.4	391.378	8.2
18	18.7	18.7	18.0	96	98	96	18.0	18.2	17.6	915.9	916.5	915.9	4.0	284	13.4	863.355	0.0
19	18.6	19.0	18.5	90	96	89	16.9	18.2	16.9	916.3	916.4	915.7	5.1	236	9.5	978.622	0.0
20	16.4	18.6	16.4	96	97	89	15.8	16.9	15.8	917.0	917.1	916.0	6.1	241	12.5	386.821	0.6
21	16.2	16.5	16.1	95	97	95	15.4	15.9	15.4	917.6	917.6	916.9	4.3	245	10.7	98.228	0.2
22	16.1	16.3	16.0	93	95	93	15.0	15.4	15.0	918.4	918.4	917.6	2.7	248	7.8	29.763	0.0
23	15.9	16.1	15.9	93	94	93	14.9	15.0	14.9	918.9	918.9	918.4	2.4	261	5.7	-1.333	0.0
Min	15.9	16.1	15.9	85	86	84	14.9	15.0	14.9	914.3	914.7	913.7	2.4	5	5.7	-3.540	0.0
Max	21.2	21.8	21.0	98	98	98	19.3	19.5	19.0	919.6	919.7	919.3	8.8	355	18.5	978.622	17.8
Tot.																	63.6

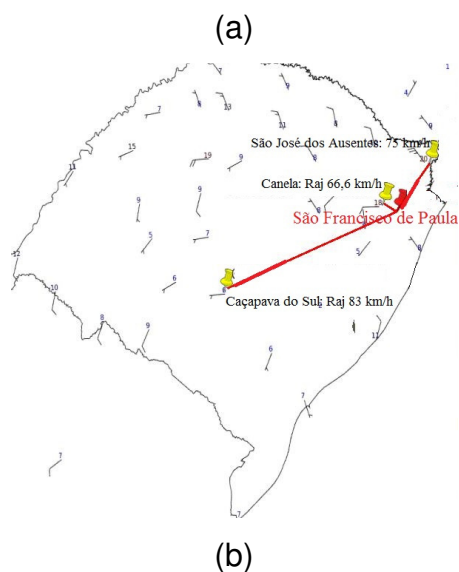


Figura 4- (a) Dados registrados na estação de Canela-RS no dia 12/03/2017; (b) máximas rajadas de vento registradas no dia 12/03/2017.

As análises e prognósticos dos modelos numéricos de previsão do tempo COSMO de 7 km e 2,8 km do dia 11/03/2017 (rodadas das 12 e 18 UTC, véspera do evento), indicavam padrões para uma condição meteorológica de elevada severidade, como, por exemplo: gradiente de temperatura e pressão atmosférica em superfície, cisalhamento do vento entre 700 - 925 hPa,

elevados valores de índices de instabilidade termodinâmicos e água precipitável (Figura 5a a 5d). Tais condições subsidiaram, inclusive, que o INMET emitisse um Aviso Meteorológico Especial, com grau de severidade de perigo (na cor alaranjada), Figura 6, válido entre às 00 e 21 horas do dia 12/03/2017, para o Estado do Rio Grande do Sul, contemplando assim a região atingida.

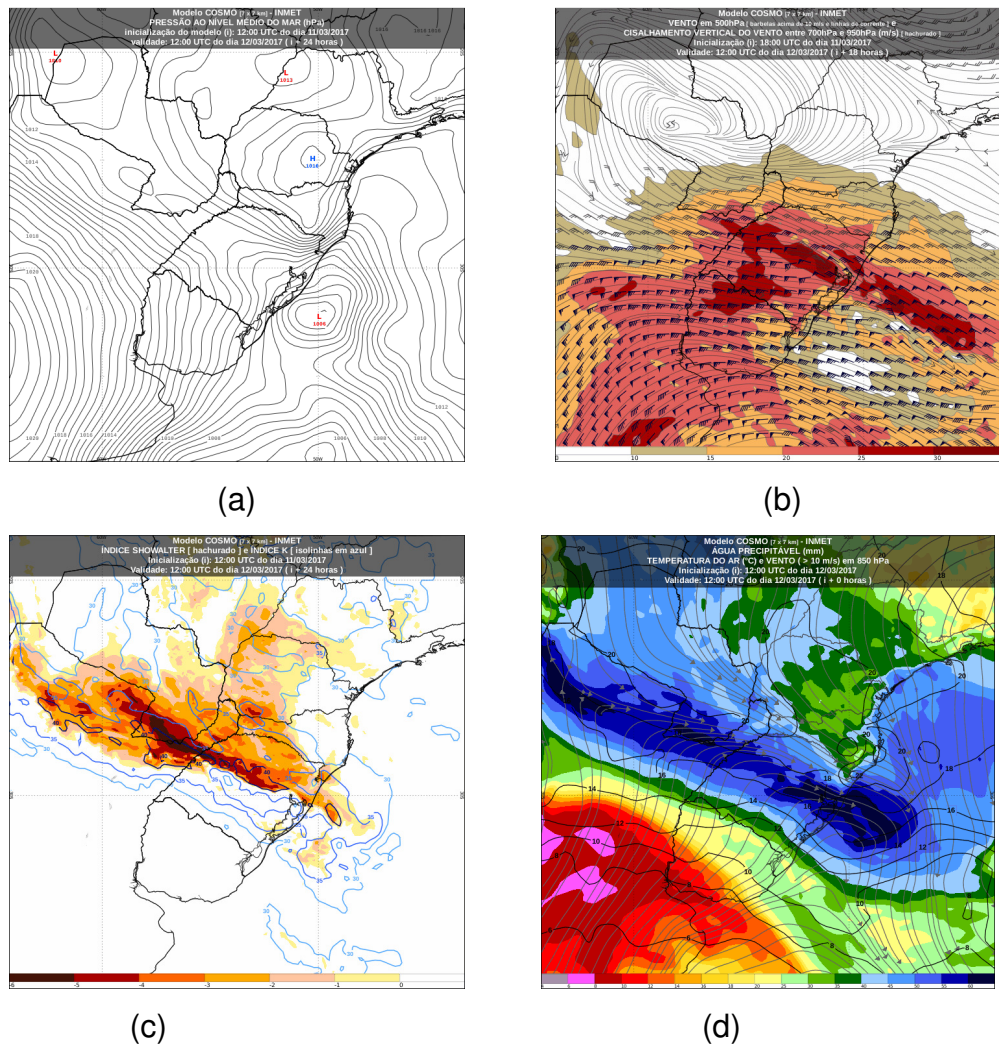


Figura 5 – Prognósticos do modelo Cosmo: (a) Índices de instabilidade termodinâmica, (b) pressão atmosférica, (c) água precipitável e temperatura em 850 hPa e (d) cisalhamento do vento 700-950 hPa.

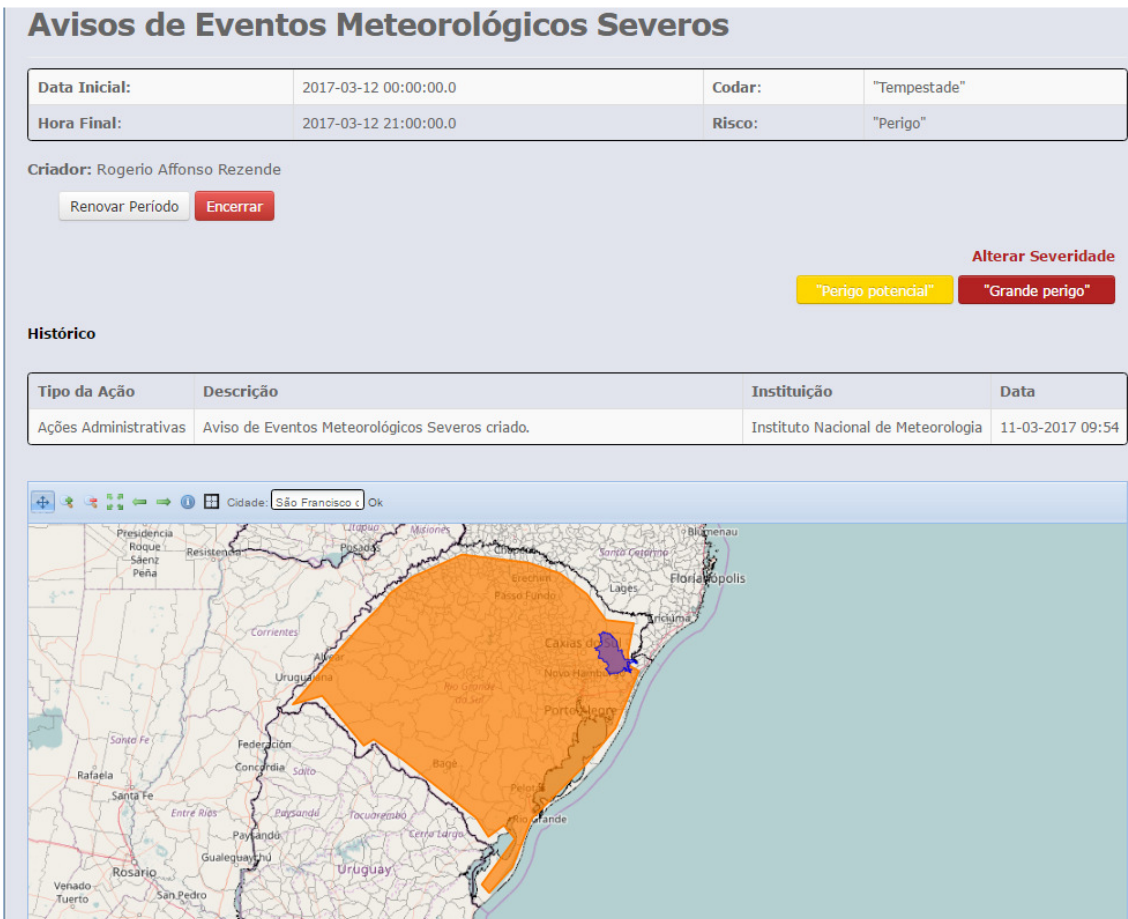


Figura 6- Aviso Meteorológico Especial emitido pelo INMET no dia 11/03/2017.

A análise dos campos do modelo Global GFS com resolução de 25 Km, confirma a severidade do fenômeno. Inicialmente, na figura 7a observou-se os campos de pressão atmosférica (azul), espessura da camada 1000-700 hPa (amarelo) e vetor vento em baixos níveis, onde é possível identificar uma baixa pressão na costa do Rio Grande do Sul, estendendo um sistema frontal na altura do centro do Estado em direção às Missões da Argentina e sul do Paraguai. Outro sistema frontal já em processo de dissipação, com seu setor de oclusão aparece em alto-mar, afastado da costa da Argentina, a leste da Península Valdez. Na Figura 7b, identificou-se conjuntamente o alto conteúdo de umidade (valores elevados de água precipitável acima de 50 mm plotados em linhas lilás) e o vento em baixos níveis, sugerindo a área de confluência entre o centro e o norte-nordeste do Rio Grande do Sul, campos favoráveis à ocorrência de elevados volumes de chuva no Estado. Na figura 7c, o índice para tempestades severas idealizado por Schneider, com cisalhamento calculado entre 950 - 700 hPa, indicou valores acima de 59 (em vermelho), favorável a tempestades severas com vendavais e granizo. O GDI, Índice de

Galvez e Davison (Figura 7d) também apresentou valores muito elevados, acima de 48 (em vermelho) nas áreas de atividade convectiva mais forte.

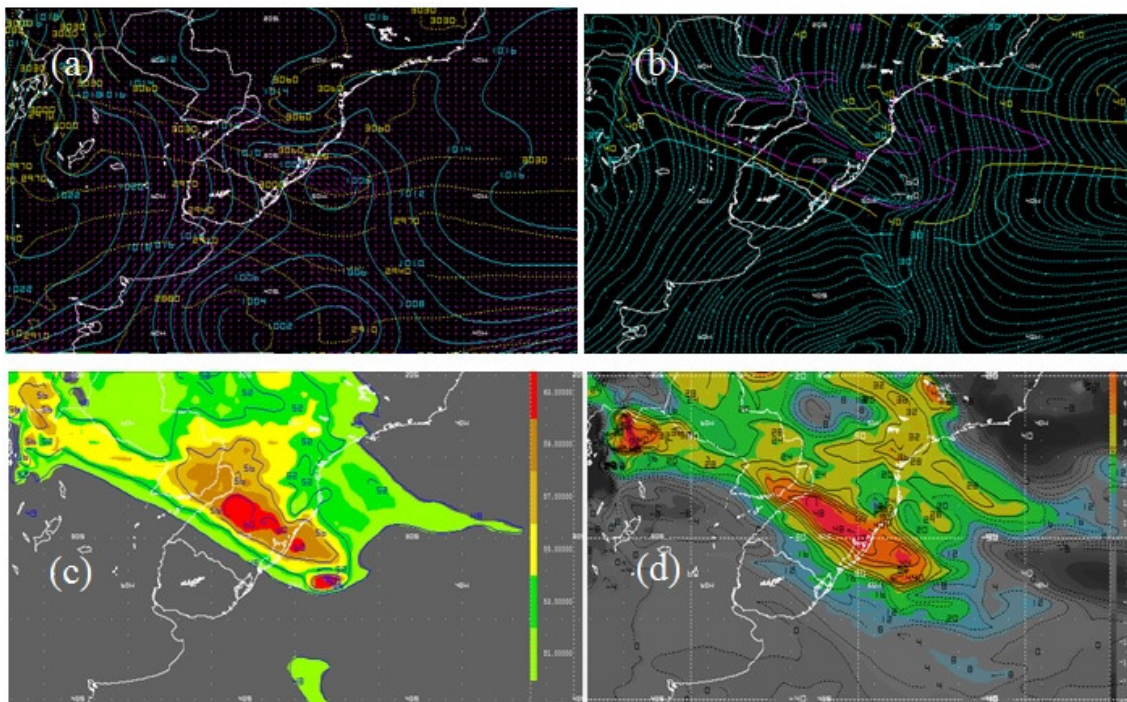


Figura 7- Pressão atmosférica em superfície (linhas azuis), espessura da camada 1000 - 700hPa (linhas amarelas tracejadas), vento em baixos níveis (linhas lilás) (a); em (b) a água precipitável em mm (intervalo de 10mm, a partir de 30mm, lilás indica acima de 50 mm e vento em baixos níveis); Índice de Instabilidade para tempestades severas (c), e o GDI index (d), ambos com valores avermelhados indicando alto potencial para tempestades severas.

Na Figura 8a, observou-se em baixos níveis (linhas azuis) a confluência dos ventos no centro-norte do Rio Grande do Sul, e também um cavado que se estende do Oceano Atlântico, próximo da costa do Estado, cruzando o centro em direção ao norte da Argentina e sul do Paraguai. Em altos níveis (linhas amarelas) é visível a defluência dos ventos sobre o norte-nordeste do Rio Grande do Sul. Na Figura 8b, as linhas azuis identificam a convergência de umidade média em baixos níveis enquanto a divergência do vento em altitude é mostrada nas linhas amarelas pontilhadas. A combinação da convergência de umidade e, sobretudo, da divergência em altitude foi preponderante na intensificação da tempestade sobre o nordeste gaúcho.

A Figura 8c ilustra as linhas de corrente em 500 hPa (níveis médios da atmosfera), sobreposta aos campos de velocidade vertical (em lilás - as correntes ascendentes do ar em 500 hPa - e em amarelo - as correntes ascendentes no nível de 700 hPa). Observou-se que tanto em 500 hPa quanto em 700 hPa há movimentos verticais ascendentes, sobretudo, no nível de 500

hPa, identificando a severidade e a profundidade do sistema nas proximidades de São Francisco de Paula - RS.

A intensidade dos ventos no nível de 850 hPa é mostrada na Figura 8d, sendo que os ventos acima de 30 kt estão plotados na cor amarela, enquanto que as linhas em tom lilás indicavam os ventos com velocidade acima de 40 kt. Notou-se que, os maiores valores de vento ficaram nos arredores da região de São Francisco de Paula - RS e em direção ao Oceano Atlântico, próximo da costa do Rio Grande do Sul. Adicionalmente, os campos médios do GFS indicavam que havia forte cisalhamento direcional e vertical (linhas tracejadas em azul), ponderados pelo campo de umidade em 500 hPa e o CAPE (energia potencial convectiva disponível).

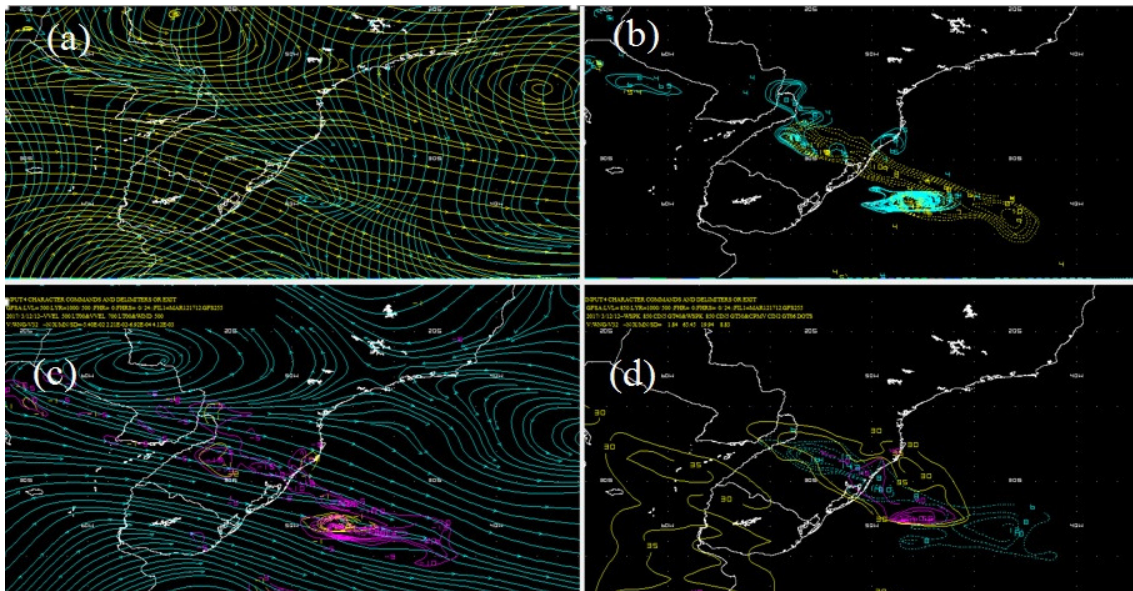


Figura 8- vento médio em baixos níveis (linhas azuis) e altos níveis (linhas amarelas); (b) a convergência de umidade em baixos níveis (linhas azuis) e divergência em altos níveis (linhas amarelas tracejadas); (c) o vento em 500 hPa (linhas azuis), e velocidade vertical nos níveis de 500 hPa (linhas vermelhas) em 700 hPa (linhas amarelas); (d) o vento em 850 hPa acima de 30 kt (linhas amarelas) e acima de 40 kt (linhas vermelhas). Linhas tracejadas azuis indicam o termo de cisalhamento vertical e direcional, ponderado com Cape e umidade em 500 hPa.

Na Figura 9a, observou-se o campo de pressão junto com as áreas de advecção fria de espessura (na cor lilás) e quente (na cor amarela) indicando as diferentes regiões de contraste térmico e transporte de ar frio. Ficou evidente que o sistema frontal estava bem organizado e avançava sobre o centro do Rio Grande do Sul. Em relação a intensidade dos ventos (barbela) no nível de 850 hPa (Figura 9b), novamente, observou-se os ventos acima de 30 kt (cor amarela), e acima de 40kt (cor lilás) no nordeste do Rio Grande do Sul e

no Oceano Atlântico, próximo da costa do Estado. As análises do modelo indicaram, portanto, forte corrente de jato em baixos níveis da atmosfera (núcleo acima de 45 kt nos arredores de São Francisco de Paula - RS) com a presença da área de cisalhamento (aumento rápido da velocidade do vento com altura e o giro do vento entre o nível de 950 hPa e o nível de 750 hPa), o que provocou movimentos turbulentos e foram responsáveis por intensificar as áreas de tempestade.

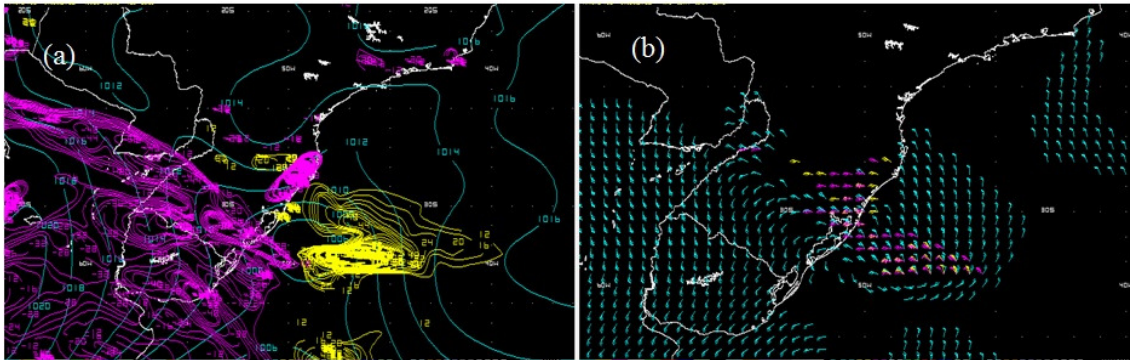


Figura 9 - (a) pressão atmosférica em superfície (hPa) linhas azuis, termo de advecção fria de espessura (linhas lilás) e quente (linhas amarelas); (b) vetores do vento em 950 hPa com velocidade acima de 20 kt, e acima de 40 kt em 850 hPa (barbelas amarelas) e 800 hPa (barbelas lilás).

Considerações finais e conclusões:

Neste estudo preliminar, com base nas análises dos modelos COSMO e GFS, procurou-se investigar a parcela de contribuição de diversas variáveis meteorológicas na ocorrência da tempestade severa sobre o município de São Francisco de Paula - RS. Destacam-se:

- 1) Padrão sinótico com formação de frente fria na altura do centro do Rio Grande do Sul, com ciclone na costa do estado e forte quadro de instabilidade pré-frontal com elevado gradiente de pressão atmosférica, que produziram ventos de noroeste e índices de instabilidade compatíveis para tempestade severa (chuva, vento forte e granizo);
- 2) Forte corrente de jato em baixos níveis, núcleo de vento máximo em 850 hPa de aproximadamente 45 kt (~ 83 km/h);
- 3) Cisalhamento vertical (aumento da velocidade do vento com a altura) e cisalhamento direcional (giro do vento) entre 950 hPa e 700 hPa;

- 4) Núcleo de ar quente e ligeiramente úmido (mas não saturado) em baixos níveis, com temperatura superior a 20°C em 850 hPa nos arredores de São Francisco de Paula - RS;
- 5) Cavado atmosférico em baixos níveis, alinhando-se com a ciclogênese/frontogênese na costa do Rio Grande do Sul;
- 6) Camada de ar bastante úmida nos demais níveis e alto conteúdo de água precipitável;
- 7) Balanço positivo entre a convergência de umidade em baixos níveis e a divergência de vento em altitude favorecendo à manutenção e a retroalimentação da instabilidade.

É importante salientar que, mesmo com os indicadores descritos acima, é muito difícil a previsibilidade de um evento de tempo severo tão específico e, conseqüentemente a emitir um aviso meteorológico especial, principalmente sobre uma área tão localizada.

Os modelos meteorológicos analisados no dia do evento, indicavam a possibilidade de tempestades severas para o Estado Rio Grande do Sul. Fatores como a geografia local (área de serra e campos de cima da Serra) podem ter sido importantes na intensificação da tempestade.

De acordo como as imagens do radar meteorológico, a porção mais intensa do sistema convectivo e com leve curvatura, atingiu a região de São Francisco de Paula - RS. Com base nas diversas análises dos modelos numéricos e nas imagens relacionadas aos danos materiais, como cortes de árvores, quedas de estruturas e devastação de algumas áreas localizadas, é possível estimar que as rajadas de vento, nessas áreas mais destruídas, tenham superado os 140 km/h.

Por fim, essa análise preliminar indica que o fenômeno ocorrido em São Francisco de Paula - RS na manhã do dia 12/03/2017, tem um padrão compatível ao de um Tornado. De acordo com a escala Fujita, medida que classifica o fenômeno em seis categorias conforme seu poder destrutivo e a velocidade dos ventos, e conforme o vento máximo estimado pelas análises acima, o provável tornado pode encaixar-se na categoria F1 (velocidades entre 117 km/h e 180 km/h).

ⁱ Escala adotada internacionalmente para calcular e informar a velocidade do vento (<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=glossario#E>,

ⁱⁱhttps://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/refer/escala_beaufort.htm).