

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Meteorologia
Programa de Pós-Graduação em Meteorologia

Dissertação de Mestrado



Ocorrência de granizo em plantações de fumo no Rio Grande do Sul

Josiele Souza dos Santos

Pelotas, 2019

Josiéle Souza dos Santos

Ocorrência de granizo em plantações de fumo no Rio Grande do Sul

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Faculdade de Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Orientadora: Prof.^a Dr^a. Luciana Barros Pinto

Co-orientador: Prof. Dr. Santiago Cuadra

Pelotas, 2019

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

S237o Santos, Josiéle Souza dos

Ocorrência de granizo em plantações de fumo no Rio Grande do Sul / Josiéle Souza dos Santos ; Luciana Barros Pinto, orientadora ; Santiago Cuadra, coorientador. — Pelotas, 2019.

70 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, 2019.

1. Fumo. 2. Sistema convectivo de mesoescala. 3. Análise sinótica. I. Pinto, Luciana Barros, orient. II. Cuadra, Santiago, coorient. III. Título.

CDD : 551.51

Elaborada por Ubirajara Buddin Cruz CRB:
10/901

Agradecimentos

À minha família, pelo apoio e compreensão.

Aos meus pais, Jurema e Osvaldo, pela confiança depositada em mim e por sempre me incentivarem.

Ao meu namorado, Gustavo, por toda ajuda, por todo incentivo, paciência e carinho.

À minha sogra, Gláucia, pelas orações.

À minha orientadora, Pro^a. Dr^a. Luciana Barros Pinto, por ter trilhado essa estrada ao meu lado, por toda ajuda, paciência, ensinamentos, puxões de orelha.

Aos professores da Pós-Graduação em Meteorologia da UFPel, por todo conhecimento passado e por não medirem esforços para ajudar quando solicitado.

Aos meus colegas de Pós-Graduação, pela ajuda nos momentos difíceis.

Obrigada.

Resumo

SANTOS, Josiéle Souza dos. **Ocorrência de granizo em plantações de fumo no Rio Grande do Sul**. Orientadora: Luciana Barros Pinto. 2019. 70f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.

Neste trabalho foram caracterizadas as distribuições temporais e espaciais da ocorrência do granizo que causaram danos a plantações de fumo no estado do Rio Grande do Sul. Também foram identificados os casos mais intensos, para o reconhecimento dos sistemas meteorológicos que deram condições ao seu desenvolvimento. Além da caracterização do ambiente atmosférico e distribuição espacial dos eventos que causaram maior impacto as plantações de fumo. Para a realização do trabalho foram utilizados dados de granizo que atingiram as plantações de fumo no Rio grande do Sul entre 1999 e 2018 (de julho a fevereiro) período da safra do fumo. Com dados de reanálise do ERA-5 foram gerados campos para análise do ambiente sinótico de 3 casos de granizo selecionados dentro do período analisado para uma caracterização mais profunda, devido ao alto número de danos causados nas plantações de fumo. Foi encontrado que o período com mais casos de propriedades danificadas por granizo foi outubro seguido de novembro e dezembro, e as regiões do RS que apresentam maior ocorrência foram as central e sul. Dentre os casos onde o ambiente sinótico foi analisado, o terceiro caso apresentou o maior número de danos em propriedades de fumo devido ao granizo entre os 3 casos analisados neste trabalho. Isto ocorreu devido a formação de jato de baixos níveis ao longo da maior parte do período analisado.

Palavras-chave: Fumo. Sistema convectivo de mesoescala. Análise sinótica.

Abstract

SANTOS, Josiéle Souza dos. **Hail occurrence in tobacco plantations in Rio Grande do Sul**. Supervisor: Luciana Barros Pinto. 2019. 70f. Dissertation (Master in Meteorology) - Graduate Program in Meteorology, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2019.

In this work, the temporal and spatial distributions of the occurrence of hail that caused damage to tobacco plantations in the state of Rio Grande do Sul were characterized. The most intense cases were also identified, for the recognition of the meteorological systems that gave conditions to their development. In addition to the characterization of the atmospheric environment and spatial distribution of the events that caused the greatest impact on tobacco plantations. Hail data were used to carry out the work, which reached the tobacco plantations in Rio Grande do Sul between 1999 and 2018 (from July to February) during the tobacco harvest period. With reanalysis data from ERA-5 fields were generated for analysis of the synoptic environment of 3 hail cases selected within the analyzed period for a deeper characterization, due to the high number of damages caused in the tobacco plantations. It was found that the period with the most cases of properties damaged by hail was October followed by November and December, and the regions of RS that present the highest occurrence were the central and southern regions. Among the cases where the synoptic environment was analyzed, the third case presented the highest number of damages in smoke properties due to hail among the 3 cases analyzed in this work. This occurred due to the formation of low-level jet over most of the analyzed period.

Keywords: smoke. Mesoscale Convective System. Synoptic analysis.

Lista de Figuras

Figura 1 - Gráfico do percentual de participação dos países na produção de fumo..	18
Figura 2 - Quantidade produzida de fumo em folha nos estados brasileiros, em tonelada por ano, média de 2013 a 2015.	19
Figura 3 - Quantidade produzida de fumo em folha no Rio Grande do Sul, média de 2013 a 2015.....	20
Figura 4 – (a) Planta de fumo e (b) fumo na lavoura.....	21
Figura 5 - Número de danos em lavouras causados por eventos de granizo.....	22
Figura 6 - Esquema de uma célula simples de tempestade em três fases de seu ciclo de vida: (a) fase cumulus, (b) fase de maturação, e (c) fase de dissipação	23
Figura 7 - (a) Complexo convectivo de mesoescala que atingiu o Rio Grande do Sul no dia 03/12/2013, (b) linha de instabilidade que atingiu o Rio Grande do Sul no dia 30/05/2012 e (c) sistema convectivo de mesoescala que atingiu o Rio Grande do Sul no dia 07/11/2014, identificados em imagens de satélite geoestacionário realçada no canal infravermelho.	25
Figura 8 - Distribuição espacial das estações meteorológicas dentro das regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul.....	26
Figura 9 - Total de dias de ocorrência de granizo com danos em plantações de fumo no Rio Grande do Sul entre as safras de (a) 1999 até 2007 e (b) 2008 até 2018.	32
Figura 10 - Total de propriedades de fumo atingidas pelo granizo no Rio Grande do Sul entre as safras de (a) 1999 até 2007 e (b) 2008 até 2018.	33
Figura 11 - Distribuição espacial das propriedades de fumo atingidas por granizo entre as safras de 1999 até 2018 no Rio Grande do Sul.....	34

Figura 12 - Distribuição espacial dos dias com ocorrência de granizo que atingiram plantações de fumo entre as safras de 1999 até 2018 no Rio Grande do Sul.	34
Figura 13 - Média dos ventos em 250 hPa (m/s), onde (a) D-1, (b) D0 e (c) D+1 às 00:00 UTC.	38
Figura 14 - Média dos ventos em 850 hPa (m/s), onde (a) D-1, (b) D0 e (c) D+1 às 00:00 UTC.	38
Figura 15 - Média da umidade relativa do ar (% , sombreado) e temperatura do ar (°C, linha contínua) em 700 hPa , onde (a) D-1, (b) D0 e (c) D+1 às 00:00 UTC.	39
Figura 16 - Média da umidade relativa do ar (% , sombreado) e temperatura do ar (°C, linha contínua) em 850 hPa , onde (a) D-1, (b) D0 e (c) D+1 às 00:00 UTC.	39
Figura 17 - Média da temperatura do ar em superfície (°C, sombreado) e da pressão ao nível médio do mar (hPa, linha contínua), onde (a) D-1, (b) D0 e (c) D+1 às 00:00 UTC.	40
Figura 18 - Sequência das imagens de satélite geoestacionário do dia 08/10/2003 nos horários (a) 11:45 UTC, (b) 15:15 UTC, (c) 17:45 UTC, (d) 20:45 UTC, (e) 23:45 UTC e do dia 09/10/2003 nos horários (f) 02:45 UTC, (g) 05:45 UTC, (h) 08:45 UTC e (i) 11:45 UTC.	41
Figura 19 - Municípios do Rio Grande do Sul que tiveram propriedades de fumo atingidas pelo evento de granizo do dia 08 de outubro 2003.	42
Figura 20 - Linhas de corrente e magnitude do escoamento dos ventos (m/s) em 250 hPa do dia 08/10/2003 nos horários (a) 00:00 UTC, (b) 06:00 UTC, (c) 12:00 UTC, (d) 18:00 UTC e (e) 00:00 UTC do dia 09/10/2003.	43
Figura 21 - Linhas de corrente e magnitude do escoamento dos ventos (m/s) em 850 hPa do dia 08/10/2003 nos horários (a) 00:00 UTC, (b) 06:00 UTC, (c) 12:00 UTC, (d) 18:00 UTC e (e) 00:00 UTC do dia 09/10/2003.	44
Figura 22 - Cisalhamento do ar entre 850 hPa e 700 hPa para o dia 08/10/2003 no horários (a) 00:00 UTC, (b) 06:00 UTC, (c) 12:00 UTC, (d) 18:00 UTC e (e) 00:00 UTC do dia 09/10/2003.	44

- Figura 34 - Sequência das imagens de satélite geoestacionário do dia 14/10/2015 nos horários (a) 18:00UTC, (b) 21:00UTC e do dia 15/10/2015 nos horários (c) 00:00UTC, (d) 03:00UTC.....56
- Figura 35 – Municípios do Rio Grande do Sul que tiveram propriedades de fumo atingidas pelo evento de granizo do dia 14 de outubro 2015.57
- Figura 36- Diagrama termodinâmico do perfil da atmosfera às 00:00 UTC do dia 15/10/2015 em Uruguaiana. As linhas de maior espessura representam a temperatura do ponto de orvalho e a temperatura do ar, respectivamente. As barbelas representam a direção e velocidade do vento em kt.58
- Figura 37 - Diagrama termodinâmico do perfil da atmosfera às 00:00 UTC do dia 15/10/2015 em Porto Alegre. As linhas de maior espessura representam a temperatura do ponto de orvalho e a temperatura do ar, respectivamente. As barbelas representam a direção e velocidade do vento em kt.....59
- Figura 38 - Linhas de corrente e magnitude do escoamento dos ventos (m/s) em 250 hPa do dia 14/10/2015 nos horários (a) 00:00 UTC, (b) 06:00 UTC, (c) 12:00 UTC, (d) 18:00 UTC e (e) 00:00 UTC, (f) 06:00 UTC, (g) 12:00 UTC, (h) 18:00 UTC do dia 15/10//2015.60
- Figura 39 - Linhas de corrente e magnitude do escoamento dos ventos (m/s) em 850 hPa do dia 14/10/2015 nos horários (a) 00:00 UTC, (b) 06:00 UTC, (c) 12:00 UTC, (d) 18:00 UTC e (e) 00:00 UTC, (f) 06:00 UTC, (g) 12:00 UTC, (h) 18:00 UTC do dia 15/10//2015.61
- Figura 40 - Cisalhamento do ar entre 850 hPa e 700 hPa para o dia 14/10/2015 no horários (a) 00:00 UTC (b) 06:00 UTC, (c) 12:00 UTC, (d) 18:00 UTC e (e) 00:00 UTC, (f) 06:00 UTC, (g) 12:00 UTC, (h) 18:00 UTC do dia 15/10/2015.62
- Figura 41 - Temperatura (°C, sombreado) e umidade relativa (% , linha sólida) em 700 hPa para o dia 14/10/2015 no horários (a) 00:00 UTC, (b) 06:00 UTC, (c) 12:00 UTC, (d) 18:00 UTC e (e) 00:00 UTC, (f) 06:00 UTC, (g) 12:00 UTC, (h) 18:00 UTC do dia 15/10/2015.63

Figura 42 - Temperatura (°C, sombreado) e umidade relativa (% , linha sólida) em 850 hPa para o dia 14/10/2015 no horários (a) 00:00 UTC, (b) 06:00 UTC, (c) 12:00 UTC, (d) 18:00 UTC e (e) 00:00 UTC, (f) 06:00 UTC, (g) 12:00 UTC, (h) 18:00 UTC do dia 15/10/2015.....64

Figura 43 - Temperatura (°C, sombreado) e pressão ao nível médio do mar (hPa, linha sólida) para o dia 14/10/2015 no horários (a) 00:00 UTC, (b) 06:00 UTC, (c) 12:00 UTC, (d) 18:00 UTC e (e) 00:00 UTC, (f) 06:00 UTC, (g) 12:00 UTC, (h) 18:00 UTC do dia 15/10/2015.....65

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Dados da safra de fumo de 2017.	19
Tabela 2 - Números médios e máximos de ocorrência de eventos de granizo por ano, nas diferentes regiões do Rio Grande do Sul.	25
Tabela 3 - Casos destacados pelo alto número de danos em plantações de fumo. .	36
Tabela 4 - Precipitação acumulada em cidades do Rio Grande do Sul durante o evento de granizo do dia 08 de outubro de 2003.	42
Tabela 5 - Precipitação acumulada em cidades do Rio Grande do Sul durante o evento de granizo do dia 10 de novembro de 2013.	50
Tabela 6 - Precipitação acumulada em cidades do Rio Grande do Sul durante o evento de granizo do dia 14 de outubro de 2015.	57

Sumário

1 Introdução	14
2 Revisão de Literatura	16
2.1 O Fumo.....	16
2.1.1 Fumicultura no Brasil.....	16
2.1.2 Importância Econômica.....	18
2.1.3 Necessidades climáticas	21
2.2 Granizo	22
3 Metodologia	27
3.1 Dados	27
3.2 Métodos	29
4 Resultados e Discussão	31
4.1 Identificação e distribuição temporal e espacial dos casos de granizo.	31
4.2 Identificação dos eventos mais intensos.....	35
4.3 Análise dos sistemas atuantes nos casos mais intensos.	36
4.4 Caracterização do ambiente atmosférico que desencadeou os eventos de maior impacto.	40
5 Conclusões	66
Referências Bibliográficas	67

1 Introdução

O fumo é de suma importância para a região sul do Brasil, sendo a maior produtora do país. Na safra 2016/2017 foram produzidas 705.930 toneladas de fumo, em 298.530 hectares plantados no sul do país, (AFUBRA, 2018). Sua importância também se dá pela ampla geração de empregos, principalmente na agricultura familiar, que no sul do país é predominante (SILVEIRA, 2015).

Um dos motivos para o bom desenvolvimento da cultura na região é o fato dela se desenvolver melhor com grandes amplitudes térmicas. É normalmente cultivada entre os meses de julho e fevereiro, variando em função da região e da cultivar. Um dos principais prejuízos à cultura ocorre devido precipitação de granizo, uma vez que pode danificar as folhas, diminuindo o valor comercial do produto.

Uma vez que o granizo atinge a plantação, causando danos graves, o seguro agrícola é acionado, de maneira a garantir a sobrevivência do agricultor durante aquele ano. No sul do Brasil, a maior seguradora para as plantações de fumo é a Associação dos Fumicultores do Brasil (Afubra), que além do seguro, é responsável pelo suporte técnico e comercial das lavouras na região (AFUBRA, 2018).

Um melhor entendimento sobre a ocorrência de granizo, tanto pelos fatores formadores, assim como as ferramentas de auxílio à previsão do tempo, torna-se de grande importância socioeconômica, uma vez que o granizo é gerado por sistemas meteorológicos com alto potencial de severidade. A região sul do Brasil, especialmente o Rio Grande do Sul (RS), apresenta condições favoráveis à formação de tempestades severas, associadas aos sistemas convectivos de mesoescala (SCM) e sistemas frontais (SF) (CUNHA et al., 2001; NEDEL et. al., 2012). Isso ocorre em função da umidade e do calor em abundância que são trazidos pelo jato de baixos níveis (JBN), que favorecem o disparo da convecção em baixos níveis da atmosfera (SILVA DIAS et al., 2009). Essa condição contribui para instabilizar a atmosfera e gerar movimentos verticais ascendentes intensos, os quais contribuem para a formação de nuvens com elevado

desenvolvimento vertical (CAMPOS, MARIA, 2014). A previsão desses sistemas severos são um desafio para os meteorologistas.

Diante dos fatos, este trabalho tem como objetivo caracterizar a distribuição temporal e espacial da ocorrência do granizo que causaram danos a plantações de fumo no estado do Rio Grande do Sul, identificando os casos mais intensos, para o reconhecimento dos sistemas meteorológicos que deram condições ao seu desenvolvimento. Também será caracterizado o ambiente atmosférico e distribuição espacial dos eventos que causaram maior impacto as plantações de fumo.

2 Revisão de Literatura

2.1 O Fumo

2.1.1 Fumicultura no Brasil

A produção de fumo no Brasil teve início no século XVII para fins comerciais quando a metrópole colonial passou a incentivar esse cultivo, sobretudo no nordeste brasileiro, com a finalidade de estimular as trocas comerciais com a Europa, para garantir o fornecimento de mão-de-obra escrava para o cultivo do açúcar, nos canaviais (SILVEIRA et. al, 2012). O cultivo iniciou no Recôncavo Baiano, e, em seguida, chegou a Pernambuco, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Maranhão e, posteriormente ao Rio Grande do Sul com a chegada dos imigrantes alemães (RUNDNICKI, 2012).

No começo do século XXI, o Brasil se consolidou como o maior exportador mundial de fumo e o segundo maior produtor mundial. Esta consolidação da produção e exportação do fumo brasileiro aconteceu devido os custos de produção comparativamente baixos, devido os contratos firmados entre agricultores e indústrias, integrando o sistema de produção e a boa qualidade do fumo Virgínia produzida no país (VARGAS, 2004).

No começo do século XX, na cidade de Santa Cruz do Sul e arredores, começou a cadeia produtiva do fumo e dali se propaga a partir do polo industrial instalado. Com o aumento da demanda por fumo brasileiro, a produção foi expandida sob os interesses da indústria fumageira para regiões próximas, como as microrregiões de Camaquã e Pelotas, que reúnem hoje os municípios que são maiores produtores nacional de fumo (HILSINGER, 2016).

Em 1918, foi implantado o Sistema Integrado de Produção de Fumo (SIPT), o qual estabelece um contrato entre produtor rural e a indústria do fumo, com garantia de compra e assistência técnica correspondendo a um controle que se inicia no plantio e se estende até a entrega do produto, tendo o técnico agrícola como mediador da relação entre a empresa e o produtor de fumo, orientando as diversas etapas do cultivo (RUNDNICKI, 2012).

A região sul do Brasil além de comportar a maior parte da produção de fumo do país, também contém as principais organizações políticas e sindicais das empresas fumageiras, como o Sindicato Interestadual da Indústria do Fumo (Sinditabaco), com sede em Santa Cruz do Sul, e dos produtores de fumo, como a Associação dos Fumicultores do Brasil (Afubra), também com sede em Santa Cruz do Sul, a Federação dos Trabalhadores na Agricultura Familiar (Fetraf – Sul), com sede em Chapecó-SC, e o Movimento dos Pequenos Agricultores (MPA), organizado nos principais municípios produtores de fumo (SILVEIRA, 2015).

O Sinditabaco garante a sustentabilidade do setor e representa os interesses comuns da indústria do fumo. Foi fundado em 1947, em Santa Cruz do Sul (RS), com o nome de Sindicato da Indústria do Fumo, posteriormente denominado Sindicato da Indústria do Fumo da Região Sul do Brasil (Sinditabaco). A partir de 19 de julho de 2010 passou a se chamar Sindicato Interestadual da Indústria do Fumo, estendeu sua base territorial para o Brasil, com exceção dos estados da Bahia, Rio de Janeiro e São Paulo (SINDITABACO, 2018).

A Afubra surgiu no dia 21 de março de 1955, com foco apenas nos agricultores do estado do Rio Grande do Sul, chamada de Associação dos Plantadores de Fumo em Folha no Rio Grande do Sul e tem sede em Santa Cruz do Sul. Em assembleia geral, no dia 24 de julho de 1963 ficou definido que a organização atuaria nos três estados sul do país, tornando-se a Associação dos Fumicultores do Brasil (AFUBRA, 2018).

2.1.2 Importância Econômica

A maior produção de fumo em escala mundial acontece nos continentes americano e asiático, correspondendo a 22% e 66%, respectivamente. A China é o maior produtor entre os países, com 42%. O Brasil ocupa a segunda posição, com 12% (Figura 1). Entre os estados brasileiros o Rio Grande do Sul é o maior produtor de fumo em folha (ATLAS SOCIOECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL, 2018), com uma produção média nos anos de 2013 a 2015 de aproximadamente 300.001 a 419.485 toneladas (Figura 2) (IBGE, 2018).

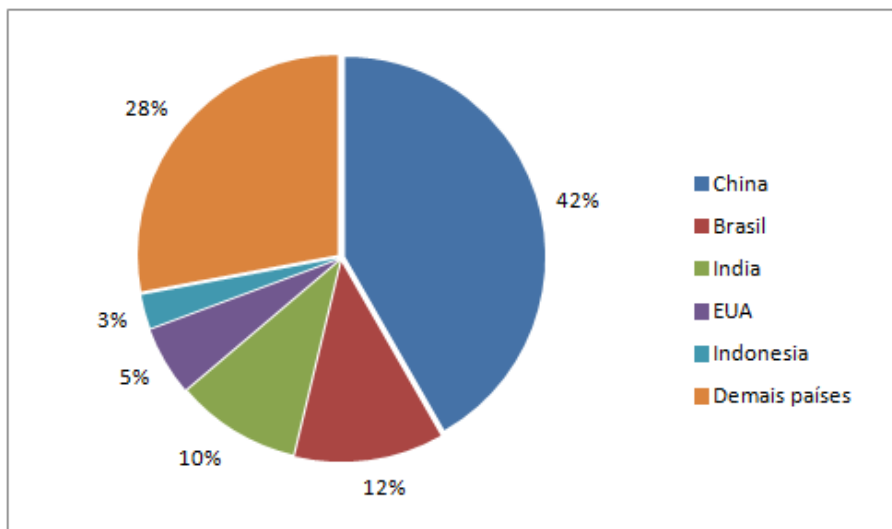


Figura 1 - Gráfico do percentual de participação dos países na produção de fumo.

Fonte: FAO/FAOSTAT, 2018.

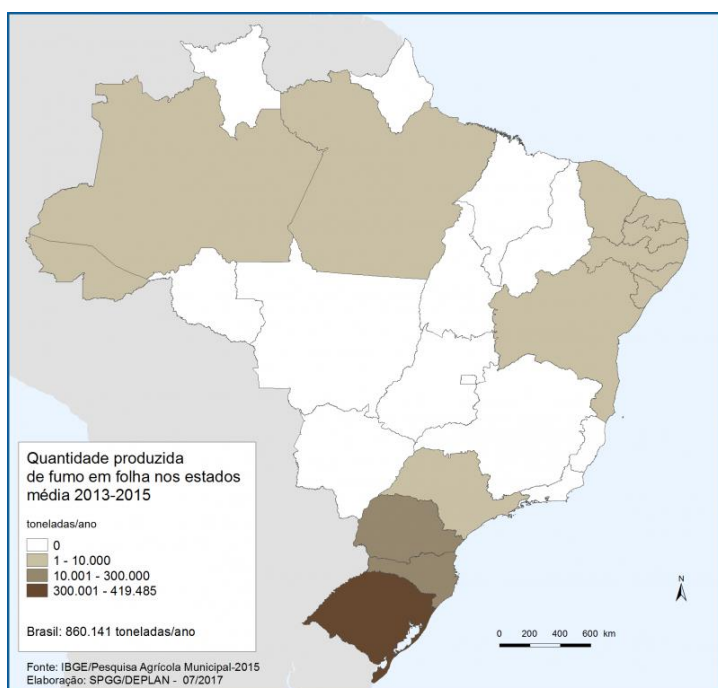


Figura 2- Quantidade produzida de fumo em folha nos estados brasileiros, em tonelada por ano, média de 2013 a 2015.

Fonte: IBGE, 2018.

A região sul apresenta a maior área plantada e maior número de famílias produtoras, o que resulta na maior região produtora de fumo do país, responsável por 97% da produção somente na safra 2017/2018 (Tabela 1) (AFUBRA, 2018).

Tabela 1 - Dados da safra de fumo de 2017.

FUMICULTURA BRASILEIRA							
Safra: 2017/18							
Região	Nº de Estados	Fam. Prod.	Ha Plantados	Produção (Ton.)	Partic. (%)	Kg/ha	Valor (R\$/kg)
Sul	3	149.350	297.460	685.983	97,0	2.306	9,15
Nordeste	7	9.997	16.357	20.707	2,9	1.266	7,66
Outras	4	263	358	344	0,0	960	17,19
Total	14	159.610	314.175	707.034	100	2.250	9,11

Fonte: AFUBRA, 2018.

A cultura no Rio Grande do Sul é desenvolvida principalmente pela pequena propriedade familiar, necessitando de mão-de-obra intensiva. Grande parte da produção distribui-se no entorno das indústrias de transformação e beneficiamento localizadas, na grande maioria, nas regiões do vale do Rio Pardo, centro-sul e sul do estado (AFUBRA, 2018). De acordo com o Sinditabaco (2018) a cultura está presente em 556 municípios do sul do país, envolve cerca de 150 mil pequenos produtores, 600 mil pessoas no meio rural e dá origem a 40 mil empregos diretos nas indústrias de beneficiamento.

De acordo com o Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul (2018), no triênio 2013-2015, nove municípios foram responsáveis por 38% da produção do estado com média superior a 10.000 toneladas/ano. São eles: Canguçu, Venâncio Aires, São Lourenço do Sul, Camaquã, Candelária, Arroio do Tigre, Santa Cruz do Sul, Vale do Sol e Dom Feliciano (Figura 3).

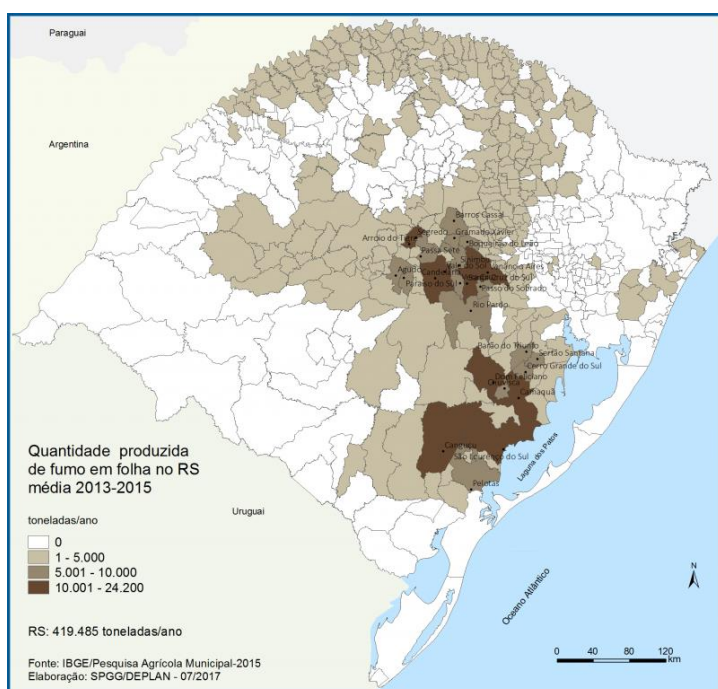


Figura 3 - Quantidade produzida de fumo em folha no Rio Grande do Sul, média de 2013 a 2015.

Fonte: IBGE, 2018.

2.1.3 Necessidades climáticas

O fumo, de nome científico *nicotiana tabacum*, é uma planta da família das solanaceae, também conhecida como tabaco. Tem ciclo anual de porte robusto, que pode chegar a atingir até 2,5 metros de altura, pouco ramificada, com grandes folhas verdes e flores brancas (Figura 4). O plantio consiste em duas fases: produção de mudas e cultivo na lavoura. As mudas são plantadas em canteiros na própria propriedade e aproximadamente 60 dias depois são transplantadas para a lavoura. (SOUZA CRUZ, 2018).



Figura 4 – (a) Planta de fumo e (b) fumo na lavoura.

Fonte: ISTOCKPHOTO, 2018.

A cultura se desenvolve melhor a condições climáticas de umidade e temperaturas elevadas (VOGT, 1997). Necessita de 90 a 120 dias sem geadas, desde a fase de transplântio até o final da colheita, além de temperatura média diária entre 20 e 30°C. É sensível ao encharcamento e necessita de solo arejado e bem drenado para o melhor desenvolvimento (OLIVEIRA; COSTA, 2012).

Outro fator climático muito importante é o granizo, pois quando atinge a planta em desenvolvimento na lavoura, causa a quebra das folhas o que resulta em uma safra ruim ou até mesmo perda total. Para os agricultores isso é problema muito comum uma vez que o granizo é o tipo de evento severo que mais frequentemente é notificado pela Defesa Civil do RS (RASERA, 2013), sendo a primavera a estação mais favorável para a sua ocorrência (Nedel et al.,2012). Em função desse risco, desde 1957 os fumicultores associados a Afubra pagam seguro para ter respaldo financeiro devido a possíveis

danos causados por tempestades de granizo nos seus fumais (AFUBRA, 2018). A importância do seguro pago pela Afubra aos fumicultores que garante a reconstrução das lavouras, é evidenciada na Figura 5, já que os danos são muitos e ocorrem ao longo de várias safras.

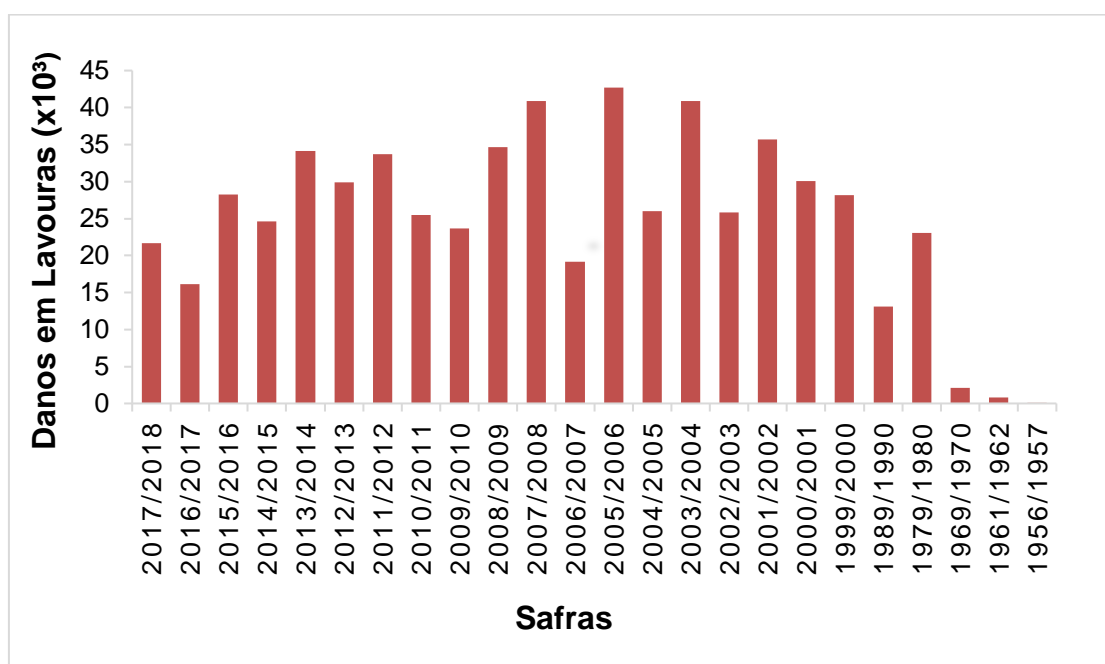


Figura 5 - Número de danos em lavouras causados por eventos de granizo.

Fonte: ADAPTADO AFUBRA, 2018.

2.2 Granizo

O granizo é uma precipitação de gelo, em forma esférica ou irregular, medindo em torno de 5 mm. Sua formação ocorre na parte superior das nuvens tipo Cumulonimbus (Figura 6), onde as temperaturas são muito baixas (GLICKMAN, 2000), uma vez que as gotículas de água no interior das nuvens precisam estar em temperaturas abaixo de -40°C para congelarem (MARKOWSKI; RICHARDSON, 2010). Dentro da nuvem as gotas congeladas se unem e crescem. As correntes ascendentes e descendentes desempenham papel fundamental neste processo, uma vez que causam o movimento dos hidrometeoros dentro da nuvem que se chocam com gotas frias causando seu crescimento (Figura 6).

O ciclo de vida de uma nuvem cumulonimbus consiste de 3 fases (WALLACE; HOBBS, 2006): desenvolvimento, ou etapa cumulus, que consiste de fortes correntes ascendentes de ar, que elevam verticalmente a nuvem (Figura 6a); maturação, nesta etapa as correntes ascendentes e descendentes coexistem (Figura 6b), e; dissipação, etapa em que predominam as correntes descendentes, associadas às chuvas moderadas ou leves (Figura 6c).

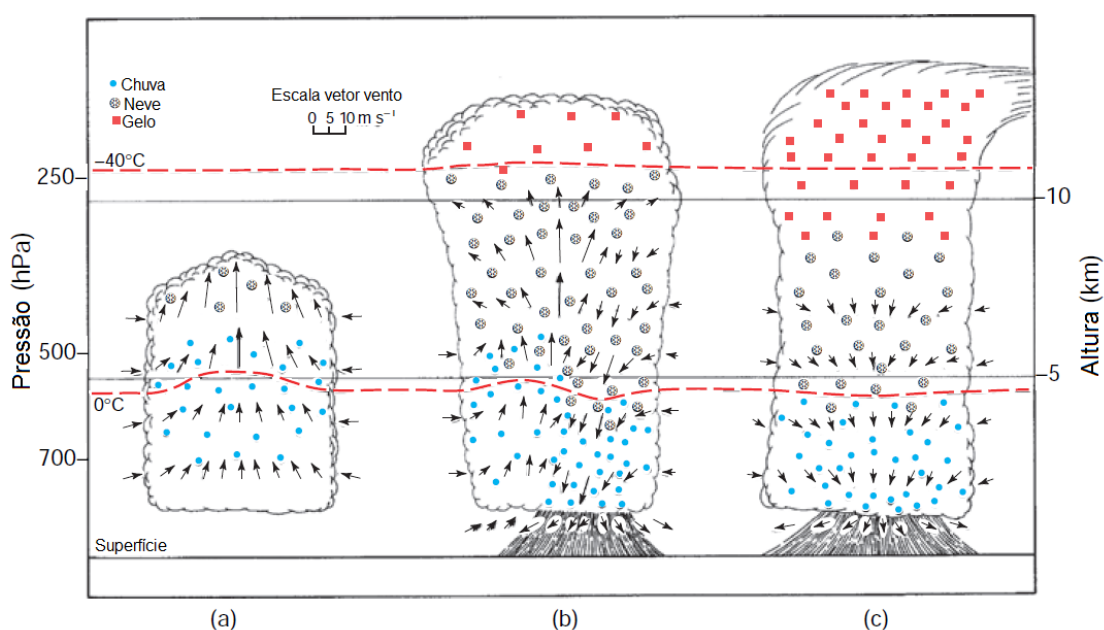


Figura 6 - Esquema de uma célula simples de tempestade em três fases de seu ciclo de vida: (a) fase cumulus, (b) fase de maturação, e (c) fase de dissipação.

Fonte: Wallace & Hobbs, 2006.

A precipitação de granizo ocorre em um tempo menor que uma chuva pluvial. Normalmente dura alguns minutos e a tempestade segue somente com chuva, são raros os casos que extrapolam uma hora. Devido as nuvens cumulonimbus estarem em movimento essa precipitação pode atingir até mais de 100 km, porém o mais comum é de 8 a 16 km, em uma faixa com 16 km de largura. Quando grandes podem cair com velocidade que pode atingir 200 km.h⁻¹ e ter massa, em raras ocasiões, superior 1/2 Kg (CUNHA et al., 2001).

O granizo é um fenômeno meteorológico, que resulta de um evento severo e causa desastres (KOBAYAMA et. al., 2006), afetando diretamente a produção agrícola. Um episódio é suficiente para causar a quebra de uma safra inteira (DCRS, 2012), pois as plantas são afetadas por ação mecânica, como consequência caem as folhas,

os frutos são danificados, os colmos quebram, as estruturas reprodutivas são afetadas e pode ocorrer o rompimento do sistema de circulação de seiva (CUNHA et al., 2001). O sul do Brasil está localizado dentre uma das áreas mais atingidas por este tipo de precipitação no mundo, de maneira que se encontra em uma região com condições favoráveis a formação de grandes nuvens convectivas (CUNHA et al., 2001).

Segundo Nedel et al. (2012), o período do ano de maior ocorrência de granizo no sul do Brasil, mais especificamente no Rio Grande do Sul, acontece na primavera seguido do inverno. O que está associado à ação conjunta de sistemas convectivos de mesoescala (SCM) e sistemas frontais (SF) (CUNHA et al., 2001; CAMPOS, EICHHOLZ, 2011; NEDEL et. al., 2012; CAMPOS, RASERA, 2014). No inverno é frequente a passagem de SF mais intensos que adentram o continente e na primavera o rápido aquecimento continental favorece a formação de SCM.

Houze (2014) afirma que SCM são sistemas de nuvens que ocorrem em conexão a um conjunto de trovoadas que produzem uma área com precipitação contígua com 100 km ou mais em escala horizontal, em pelo menos uma direção.

Os sistemas convectivos de mesoescala são classificados em 3 tipos: complexos convectivos de mesoescala (CCM) definido por Maddox (1980), o qual tem como característica marcante o seu formato circular (Figura 7a); linha de instabilidade (LI) que se caracteriza por apresentar a região convectiva muito mais comprida que larga, com comprimento que pode variar desde 20 km até 2000 km (Figura 7b), os primeiros a estudarem este sistema foram Byers & Braham (1949) e sistema convectivo de mesoescala (SCM) simplesmente que são aqueles que apresentam formato irregular (Figura 7c).

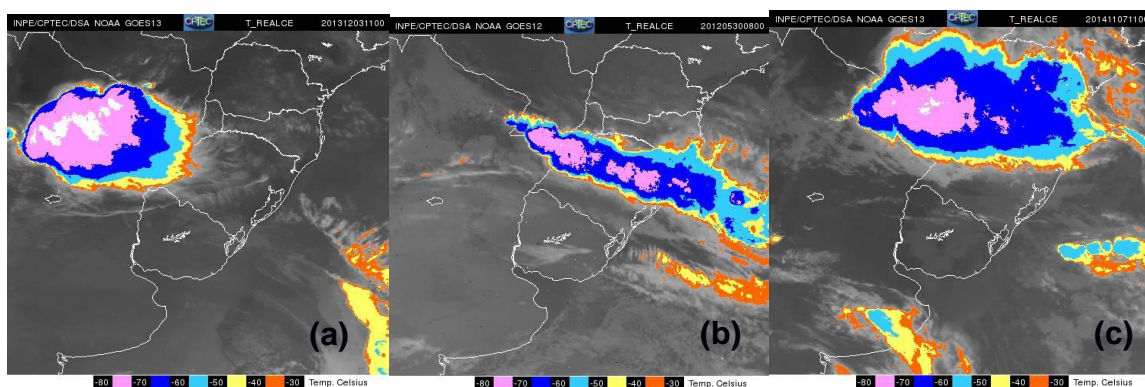


Figura 7 - (a) Complexo convectivo de mesoescala que atingiu o Rio Grande do Sul no dia 03/12/2013, (b) linha de instabilidade que atingiu o Rio Grande do Sul no dia 30/05/2012 e (c) sistema convectivo de mesoescala que atingiu o Rio Grande do Sul no dia 07/11/2014, identificados em imagens de satélite geostacionário realçada no canal infravermelho.

Fonte: CPTEC/INPE, 2018.

As maiores ocorrências de granizo ocorrem nas regiões de maior altitude e/ou maior continentalidade (Tabela 2), que são: Planalto Superior, Serra do Nordeste e Planalto Médio e que as duas regiões de menor ocorrência do fenômeno são o Litoral e a das Grandes Lagoas, de menores altitudes e que estão sujeitas à ação do Oceano Atlântico, com base na distribuição espacial das estações meteorológicas dentro das regiões ecoclimáticas do estado (Figura 8) (BERLATO et. al, 2000).

Tabela 2 - Números médios e máximos de ocorrência de eventos de granizo por ano, nas diferentes regiões do Rio Grande do Sul.

Região	Média	Máxima
Alto e Médio Vale do Uruguai	2	10
Baixo Vale do Uruguai	1	6
Campanha	1	7
Depressão Central	2	7
Encosta Inferior – Serra do Nordeste	3	7
Litoral	1	5
Missioneira	2	8
Planalto Médio	3	10
Planalto Superior – Serra do Nordeste	3	13
Região das Grandes Lagoas	1	5
Serra do Sudeste	1	4

Fonte: Adaptado de Berlato et al., 2000.

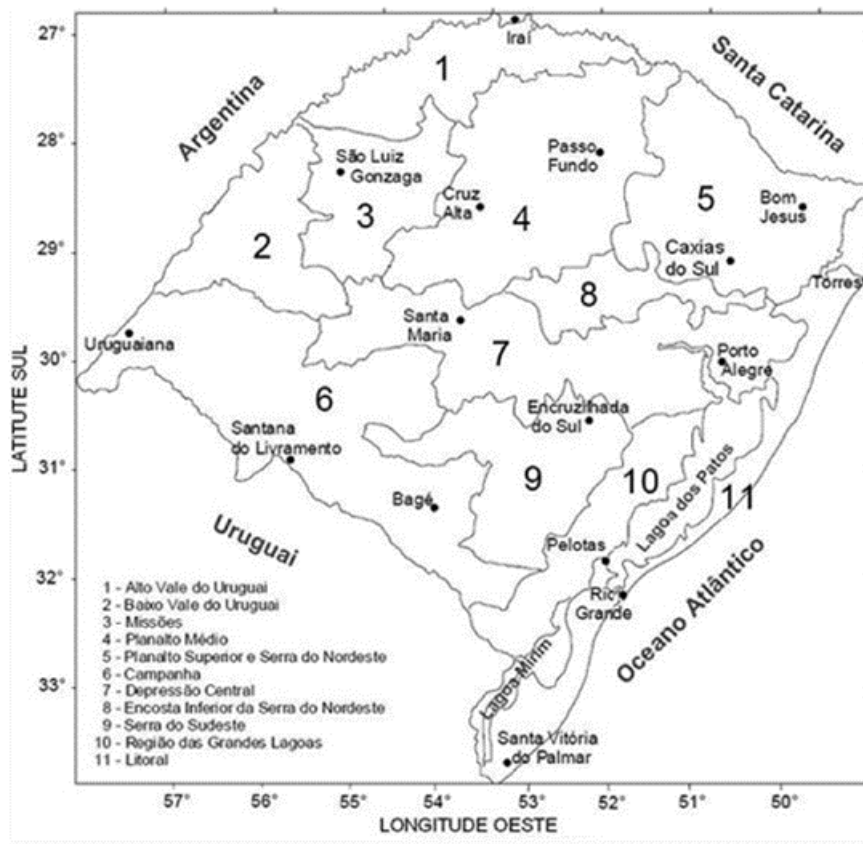


Figura 8 - Distribuição espacial das estações meteorológicas dentro das regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul.

Fonte: Berlato et al., 2000.

3 Metodologia

3.1 Dados

Neste trabalho foram utilizados os seguintes dados:

a. Ocorrência de granizo:

Para a realização deste trabalho foram utilizados dados de ocorrência de granizo que atingiram plantações de fumo no Rio Grande do Sul, disponibilizados pela Associação dos Fumicultores do Brasil (Afubra). Este dado indica diretamente quando e em qual município ocorreu precipitação de granizo, gerando danos suficientes para o acionamento do seguro da lavoura, sendo que este dano pode ocorrer em qualquer estágio da planta. Cabe ressaltar que, uma vez que o granizo tenha ocorrido em qualquer outra localidade, sem ter gerado dano à plantação de fumo, essa ocorrência não está contabilizada nos dados aqui utilizados. É apresentando na Figura 3 a localização dos municípios produtores de fumo no Rio Grande do Sul. Os dados utilizados foram registrados entre os meses de julho e fevereiro, visto que é o período da safra do fumo na maioria das regiões, no período de 1999 a 2018.

b. Imagens de satélite:

Para a identificação das células convectivas foram utilizadas imagens de satélite geostacionário, da série GOES 10, 12 e 13 (Geostationary Operational Environmental), realçadas no canal infravermelho, com resolução espacial de 4 km x 4 km e resolução temporal de 30 minutos. O acompanhamento deu-se entre o período de surgimento da nebulosidade até sua dissipação. Essas imagens foram fornecidas pela Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais, do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DSA/CPTEC/INPE).

c. Precipitação:

Foram utilizados dados de precipitação das estações convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), das 12UTC do dia de ocorrência do episódio de granizo e do dia posterior, para os 3 eventos selecionados com limiar de danos acima de 4000 propriedades. para a identificação dos locais com maiores valores de precipitação.

d. Sondagens:

Os dados de sondagem, disponibilizados pela University of Wyoming, foram utilizados para análise do perfil de toda coluna atmosférica para as cidades de Santa Maria, Uruguaiana e Porto Alegre às 00 UTC e às 12 UTC para os dias dos 3 eventos de granizo selecionados com limiar de danos acima de 4000 propriedades.

e. Reanálise:

Para caracterizar o ambiente atmosférico através da análise do ambiente sinótico que desencadeou os 3 eventos com maior impacto e para gerar os campos compostos através das médias dos 15 eventos mais intensos, para identificar qual sistema foi predominante. Foram obtidos dados diários de reanálises do ERA-5, sendo a quinta e última geração de reanálises atmosféricas do clima global do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), com informações de parâmetros atmosféricos, superfície terrestre e do estado do mar, juntamente com estimativas de incerteza, sendo regularmente distribuídas sobre uma grade latitude-longitude a uma resolução de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ (CLIMATE CHANGE SERVICE, 2019).

3.2 Métodos

O desenvolvimento deste estudo foi realizado em quatro etapas:

- **1ª Etapa:** Identificação e distribuição temporal e espacial dos casos de granizo.

A identificação dos eventos de granizo nas lavouras de fumo foi feita através dos dados disponibilizados pela Afubra, anteriormente explicado. Para realizar a distribuição temporal foi contabilizado o total de dias com ocorrência de granizo e o número propriedades atingidas dentro de cada mês, no Rio Grande do Sul, no período entre julho e fevereiro (correspondente a safra do fumo) entre as safras de 1999 até 2018. Para a distribuição espacial foram gerados mapas através do software QGIS, para isto, foi somado o total de propriedades de fumo danificadas por granizo por município ao logo das safras de 1999 a 2018 e o total de dias de ocorrência de granizo por município no mesmo período.

- **2ª Etapa:** Identificação dos eventos mais intensos.

Dentro do período estudado alguns eventos de granizo se destacaram pela grande quantidade de propriedades atingidas. Para uma análise mais detalhada sobre o tipo de sistema atuante em cada caso, foram selecionados os eventos com limiar acima de 2.000 propriedades atingidas, 15 casos foram encontrados. Dentro destes 15, notou-se que alguns eventos se diferenciaram dos demais pelo alto número de danos em plantações de fumo. Diante disto, foi adotado um novo limiar de 4.000 propriedades atingidas, identificando assim os 3 casos de maior impacto para um estudo mais aprofundado de modo a entendermos o ambiente atmosférico que desencadeou a ocorrência de granizo nestes casos.

- **3ª Etapa:** Análise dos sistemas atuantes nos casos mais intensos.

Nesta etapa primeiramente foi feita uma análise dos 15 casos mais intensos (danos acima de 2.000 propriedades), através de imagens de satélite para identificar os sistemas meteorológicos atuantes em cada caso. Posteriormente, para uma confirmação dos sistemas atuantes e melhor análise foram gerados os campos compostos através médias dos campos meteorológicos para os 15 eventos, utilizando o pacote de visualização Grid Analysis and Display System (GrADS), do escoamento e magnitude dos ventos zonal (u) e meridional (v) em 250 hPa e 850 hPa, umidade

relativa do ar (%) e temperatura do ar (°C) em 700 hPa e em 850 hPa, temperatura do ar de superfície (°C), pressão atmosférica ao nível médio do mar (hPa). As médias foram calculadas para os dias em que ocorreram os eventos de granizo, chamado D0, para o dia anterior, chamado D-1 e para o dia posterior, chamado de D+1, para às 00:00 UTC.

- **4ª Etapa:** Caracterização do ambiente atmosférico que desencadeou os eventos de maior impacto.

Após a separação dos 3 casos com elevados números de danos (acima de 4.000 propriedades), analisou-se as imagens de satélite para a identificação das células convectivas e acompanhamento do sistema durante seu tempo de vida. Através do Boletim Climanálise e boletim técnico do CPTEC foram vistos quais sistemas estavam atuando durante cada evento, dependendo da disponibilidade dos boletins para as determinadas datas.

Para analisar a intensidade da precipitação associada a cada evento, foram utilizados dados de precipitação das estações convencionais INMET com acumulados durante a passagem dos sistemas. Foram gerados mapas com os dados de granizo fornecidos pela Afubra, para mostrar a distribuição espacial dos municípios que tiveram propriedades atingidas nos 3 eventos aqui analisados e fazer uma comparação com a precipitação associada a cada evento. Foi analisado também o perfil termodinâmico da atmosfera.

Para análise sinótica foram confeccionados campos meteorológicos utilizando o pacote de visualização Grid Analysis and Display System (GrADS), do escoamento e magnitude dos ventos zonal (u) e meridional (v) em 250 hPa, umidade relativa do ar (%) e temperatura do ar (°C) em 700 hPa e em 850 hPa, temperatura do ar de superfície (°C), pressão atmosférica ao nível médio do mar (hPa) e Jato de Baixos Níveis (JBN) utilizando o critério 1 de Bonner (1968) que implica na observância das duas condições: $V_{850 \text{ hPa}} \geq 12 \text{ m/s}$ e $V_{700 \text{ hPa}} - V_{850 \text{ hPa}} \geq 6 \text{ m/s}$.

4 Resultados e Discussão

4.1 Identificação e distribuição temporal e espacial dos casos de granizo

Foi possível observar que nas nove primeiras safras de fumo (Figura 9a) a quantidade de dias com ocorrência de granizo foi maior que nas dez últimas analisadas (Figura 9b). Enquanto, entre as safras 2004/2005 (Figura 10a), 2008/2009 e 2012/2013 (Figura 10b) ocorreram poucas variações no número de propriedades de fumo atingidas pelo granizo, os maiores picos acontecem nas safras de 2001/2002, 2003/2004, 2005/2006 (Figura 10a) e a partir de 2013/2014, exceto em 2016/2017 (Figura 10b), pois apresenta valores baixos em relação às outras.

Nota-se que as safras com maior ocorrência de granizo foram 2005/2006 com 116 dias e 2007/2008 com 114 dias (Figura 9a), seguido de 2008/2009 (Figura 9a) e 2013/2014 (Figura 9b), ambas com 109 dias, 2003/2004 (106 dias), 2002/2003 (Figura 9a) e 2014/2015 (ambas com 104 dias) (Figura 9b). A safra com menor ocorrência foi 2004/2005 (70 dias) (Figura 9a) seguido de 2017/2018 (73 dias) (Figura 9b). Observa-se na Figura 10 que a safra com maior número de propriedades atingidas foi 2001/2002 (19.995 propriedades) e 2004/2005 a safra com menor número (7.387 propriedades). Com isso, é possível constatar que nem sempre a maior ocorrência de granizo por safra terá maior número de propriedades atingidas, vai depender da área atingida pelo evento que pode variar de metros e centenas de quilômetros.

Percebe-se que o maior número de episódios de granizo acontece nos meses de primavera e verão (Figuras 9a e 9b). Da mesma maneira que o maior número de propriedades atingidas, sendo outubro e novembro os meses com maior valor de ocorrência de granizo e propriedades atingidas (Figuras 9a, 9b e 10a, 10b). Isto acontece pelo fato de o fumo ser colocado no campo em agosto/setembro, e sua colheita ocorre em janeiro/fevereiro. Assim, quando a precipitação ocorre nos meses

quentes a planta está em pleno desenvolvimento no campo, o que acarreta em prejuízo para o fumicultor que aciona o seguro.

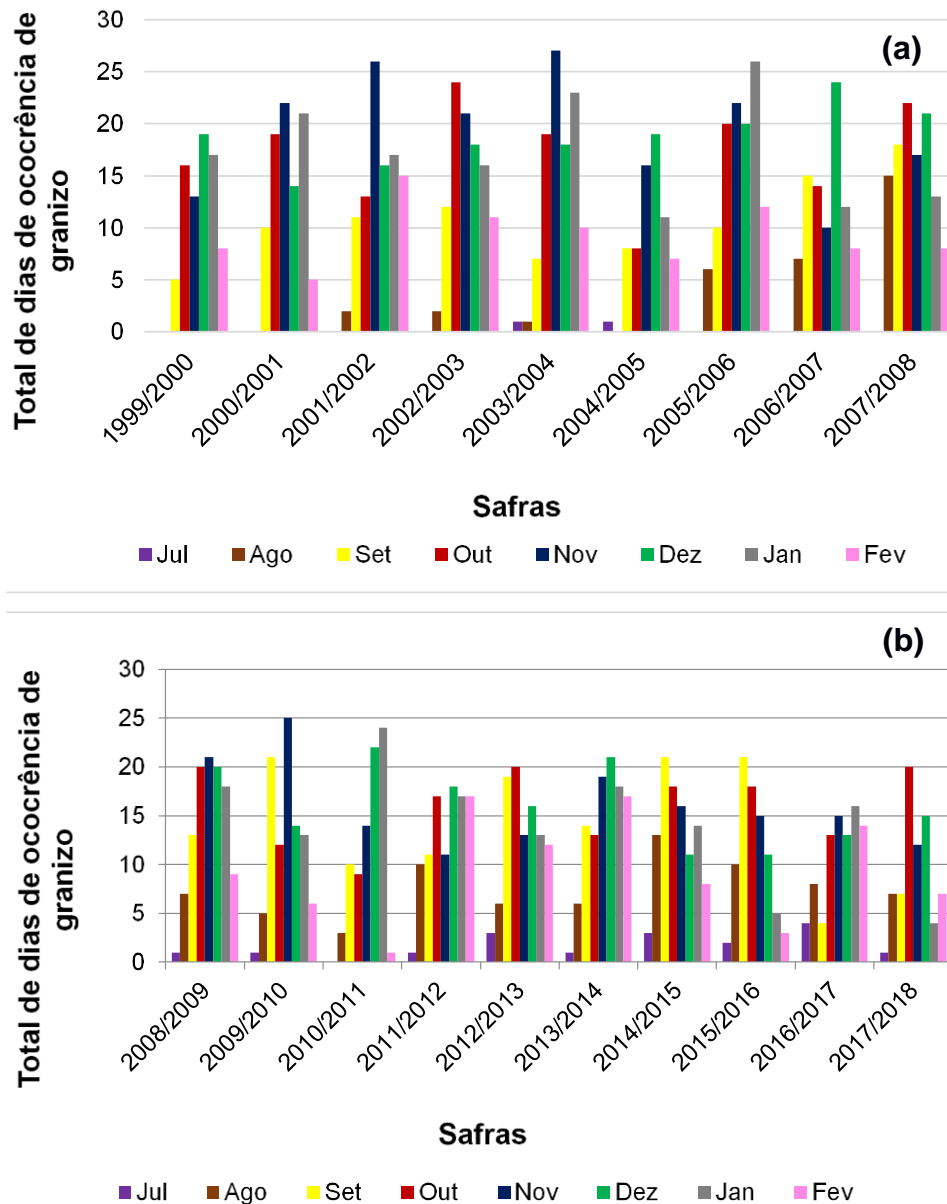


Figura 9 - Total de dias de ocorrência de granizo com danos em plantações de fumo no Rio Grande do Sul entre as safras de (a) 1999 até 2007 e (b) 2008 até 2018.

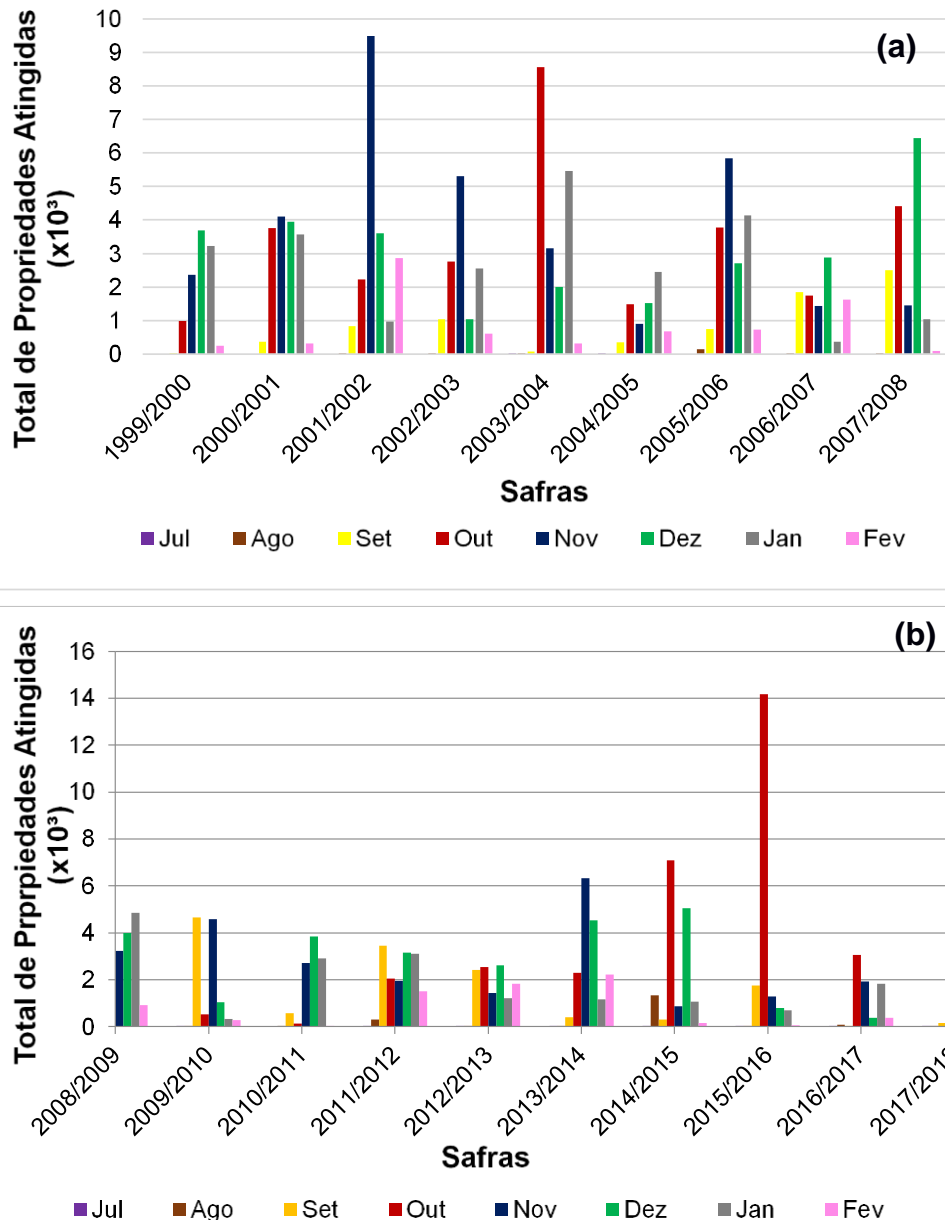


Figura 10 - Total de propriedades de fumo atingidas pelo granizo no Rio Grande do Sul entre as safras de (a) 1999 até 2007 e (b) 2008 até 2018.

A distribuição espacial das propriedades de fumo atingidas por granizo no RS ao longo do período estudado é apresentada na Figura 11, onde é possível notar que o maior número de danos nas plantações de fumo ocorre nas regiões central e sul do estado. A Figura 12 apresenta a distribuição espacial dos dias com ocorrência de granizo que atingiram o fumo no estado, observa-se que os municípios mais atingidos por granizo foram também os da região central e sul. Essa concordância entre as duas análises da distribuição espacial se deve ao fato de nestas regiões estarem localizados os maiores produtores de fumo do estado, de acordo com IBGE 2018

(Figura 3), assim tornam-se os maiores prejudicados.

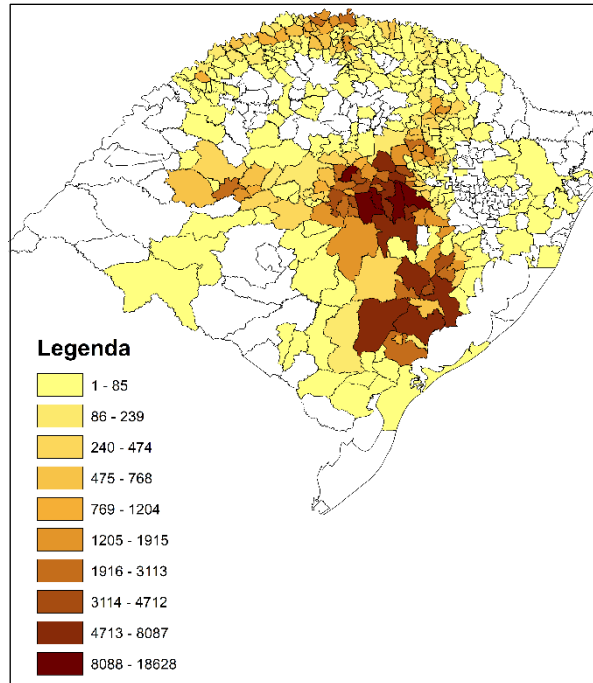


Figura 11 - Distribuição espacial das propriedades de fumo atingidas por granizo entre as safras de 1999 até 2018 no Rio Grande do Sul.

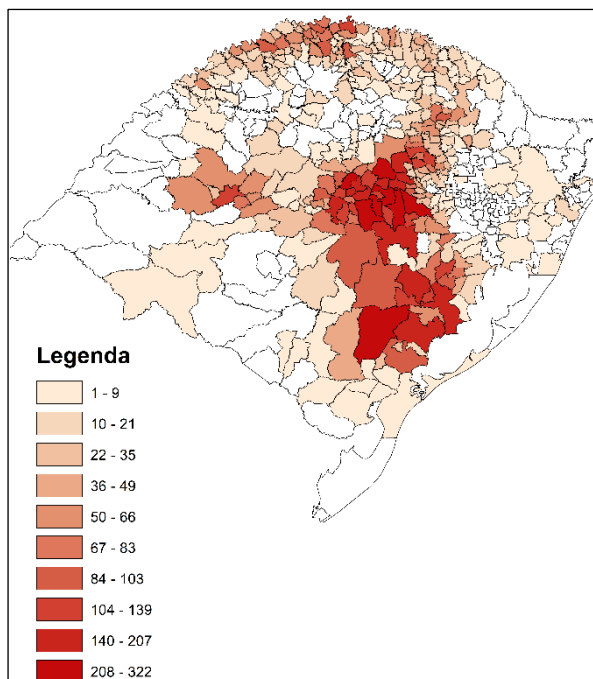


Figura 12 - Distribuição espacial dos dias com ocorrência de granizo que atingiram plantações de fumo entre as safras de 1999 até 2018 no Rio Grande do Sul.

4.2 Identificação dos eventos mais intensos

No Rio Grande do Sul há aproximadamente 150 mil propriedades de fumo. Neste estudo usou-se o limiar de 2.000 propriedades atingidas para caracterizar o evento como intenso, uma vez que o evento que mais causou maiores danos atingiu 7856 propriedades e em média os eventos atingem 1000/1500 propriedades. Os eventos selecionados são apresentados na Tabela 3, assim como os fenômenos meteorológicos que atuaram no Rio Grande do Sul durante os eventos, identificados através de imagens de satélite.

Desta maneira, é possível notar que dentre os 15 casos destacados (Tabela 3), em 12 desses casos o granizo foi causado devido a presença de sistemas convectivos de mesoescala (SCM), enquanto os outros 3 foi devido à passagem de sistemas frontais (SF). Estes dois sistemas meteorológicos são os responsáveis pelo grande número de ocorrência de granizo no Rio Grande do Sul na primavera e no inverno (NEDEL et. al., 2012; CUNHA et al., 2001), períodos do ano que coincidem com a safra do fumo.

De acordo com a Tabela 3 é possível notar que o mês de outubro é o que apresenta o maior número de eventos de granizo com danos a cultura do fumo ao longo dos anos estudados, com 7 casos, seguido de novembro e dezembro ambos com 3 casos. Época do ano que coincide com o período em que o fumo está na lavoura em pleno desenvolvimento.

Mostrou-se necessário para uma melhor identificação dos sistemas meteorológicos atuantes nos casos mais intensos gerar os campos compostos através das médias dos 15 eventos. Além disso, diante dos casos selecionados 3 destacaram-se por apresentarem um elevado número de danos em relação aos demais, caso 2, 8 e 13 (Tabela 3), e uma análise mais aprofundada foi considerada necessária, a fim de determinar o comportamento do ambiente atmosférico que desencadeou a ocorrência de granizo nestes eventos.

Tabela 3 - Casos destacados pelo alto número de danos em plantações de fumo.

Casos	Data	Nº de Propriedades Atingidas	Sistema Meteorológico atuante
1	20/11/02	2774	SF
2	08/10/03	4679	SCM
3	04/11/05	3902	SF
4	24/12/07	2451	SF
5	09/12/08	2213	SCM
6	10/01/09	2495	SCM
7	30/09/11	3437	SCM
8	10/11/13	4852	CCM e/ou SCM
9	17/10/14	2561	SCM
10	19/10/14	3223	SCM
11	20/12/14	3911	SCM
12	08/10/15	2071	SCM
13	14/10/15	7856	SCM
14	15/10/15	2307	SCM
15	01/10/17	2973	SCM

4.3 Análise dos sistemas atuantes nos casos mais intensos

Para os 15 casos selecionados no item anterior foram gerados os campos compostos através das médias dos campos de ventos em 250 hPa, 850 hPa, umidade e temperatura do ar em 700 hPa e 850 hPa e pressão ao nível médio do mar e temperatura do ar em superfície são apresentadas nas Figuras 13, 14, 15, 16 e 17, respectivamente. Nas Figuras está representado em (a) o D-1, que significa a média do dia anterior ao dia dos eventos de granizo, em (b) o D0, que significa a média do dia de ocorrência dos eventos de granizo e em (c) o D+1, que significa a média do dia posterior aos eventos de granizo, todas as médias são para às 00:00 UTC.

Através da análise destes campos pode se observar que em D-1 no campo de 250 hPa (Figura 13a), há uma diminuição na velocidade dos ventos ao norte do RS enquanto há uma velocidade alta ao sul. Já na análise dos ventos em 850 hPa (Figura 14a), nota-se a presença de um Jato de Baixos Níveis (JBN) no norte/noroeste da Argentina. Nas camadas de 700 hPa (Figura 15a) e 850 hPa (Figura 16a) nesta mesma região do país Argentino há presença de umidade e aquecimento assim como na região norte do RS, embora em menor proporção. No campo que mostra a média

da pressão ao nível médio do mar e temperatura em superfície (Figura 17a), nota-se que uma baixa pressão e temperaturas elevadas se encontram na região norte/noroeste da Argentina e há um prolongamento de um cavado sobre o RS além de aquecimento na região.

Para o D0 temos em 250 hPa (Figura 13b) a mesma condição encontrada em D-1. Quanto aos ventos em 850 hPa (Figura 14b), é possível observar que neste dia há um escoamento de norte sobre o RS, mesmo não configurando um JBN, pois a condição de ventos com no mínimo 12 m/s não acontece (MARENGO et al., 2004), trouxe calor e umidade para a região o que deve ter favorecido a formação de nuvens de tempestade. Porém, essa condição para formação de JBN é encontrada no norte/noroeste da Argentina. Em 700 hPa (Figura 15b), 850 hPa (Figura 16b) e no campo de temperatura em superfície e pressão ao nível médio do mar (Figura 17b), as condições encontradas no dia anterior se intensificam.

No D+1 encontra-se a mesma condição para os ventos em 250 hPa (Figura 13c). Nos outros campos estudados (Figuras 14c, 15c, 16c e 17c), as condições encontradas em D0 perdem intensidade.

Um estudo feito por Rocha (2018), mostra que a presença da baixa no noroeste da Argentina contribuí para o desenvolvimento de SCM na América do Sul. A baixa pressão presente no norte/noroeste da Argentina é alimentada por um JBN e prolonga um cavado até o RS que se encontra com temperaturas elevadas em superfície e umidade alta em baixos níveis devido ao escoamento de norte, esses fatores são importantes condicionantes para formação e desenvolvimento de SCM (SALIO et al., 2007). Desta maneira, então, indica que havia condições para formação de SCM nos 15 eventos de granizo estudados, e assim concordando com a análise anterior feita apenas através de imagens de satélite (Tabela 3). Porém, como trata-se de médias, não se consegue estudar detalhadamente, então foram selecionados os 3 casos que causaram maior impacto as plantações de fumo para uma análise mais aprofundada do ambiente atmosférico.

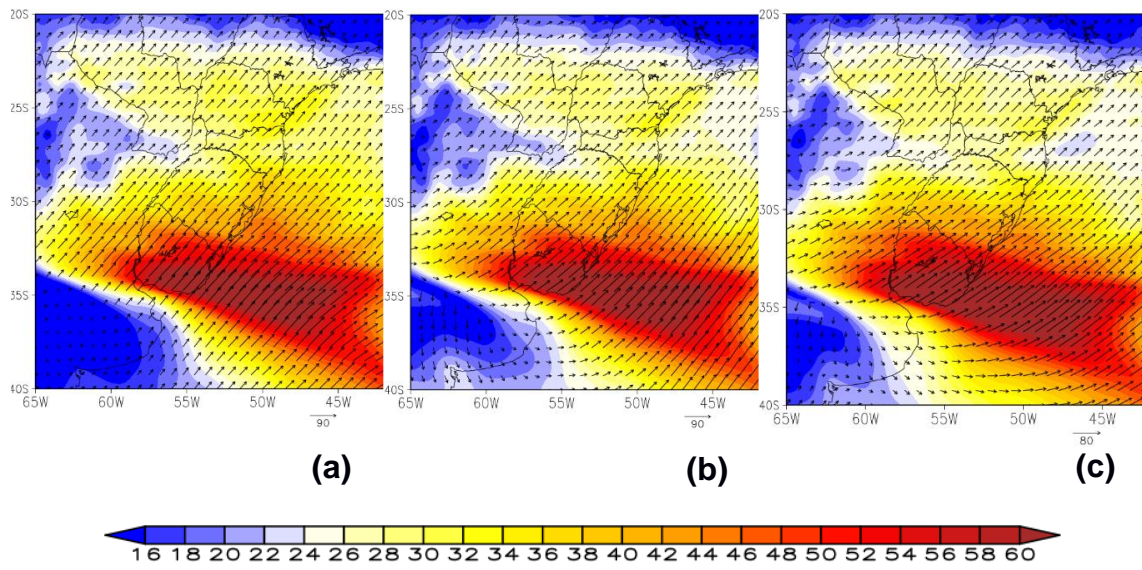


Figura 13 - Média dos ventos em 250 hPa (m/s), onde (a) D-1, (b) D0 e (c) D+1 às 00:00 UTC.

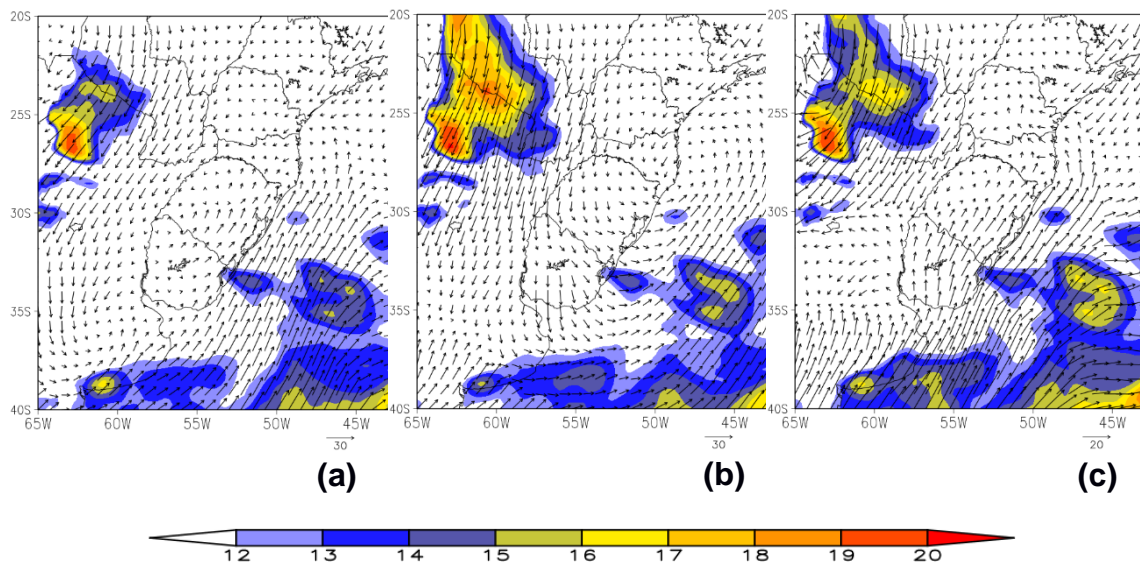


Figura 14 - Média dos ventos em 850 hPa (m/s), onde (a) D-1, (b) D0 e (c) D+1 às 00:00 UTC.

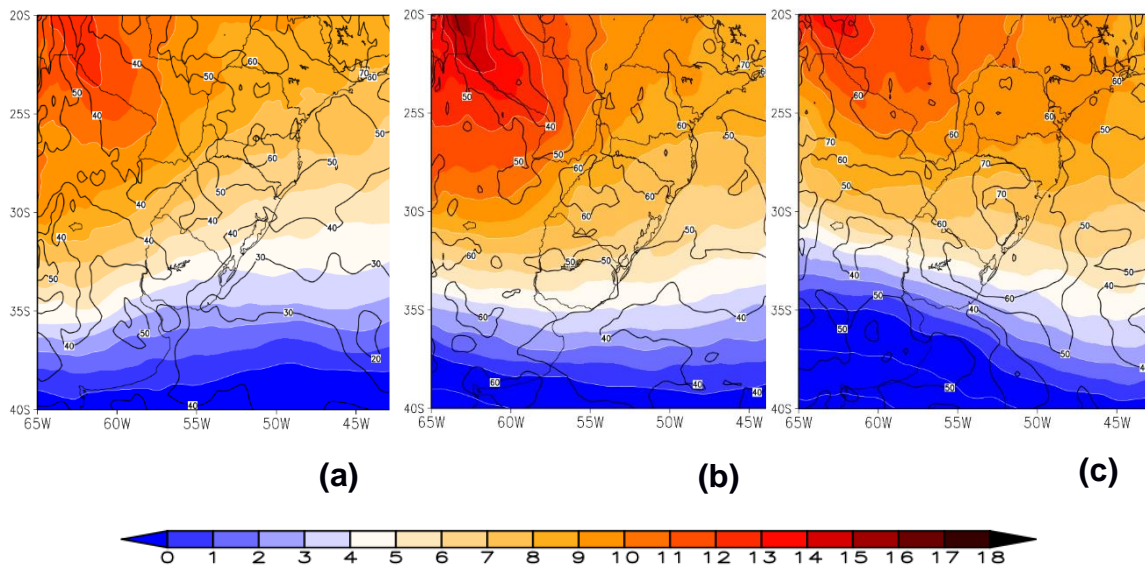


Figura 15 - Média da umidade relativa do ar (% ,sombreado) e temperatura do ar (°C, linha contínua) em 700 hPa , onde (a) D-1, (b) D0 e (c) D+1 às 00:00 UTC.

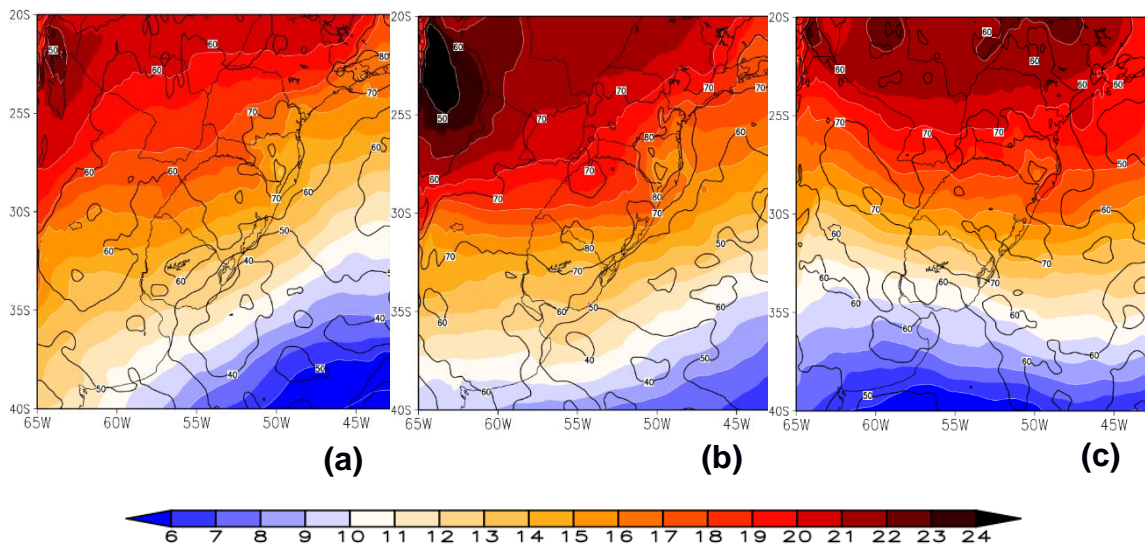


Figura 16 - Média da umidade relativa do ar (% ,sombreado) e temperatura do ar (°C, linha contínua) em 850 hPa , onde (a) D-1, (b) D0 e (c) D+1 às 00:00 UTC.

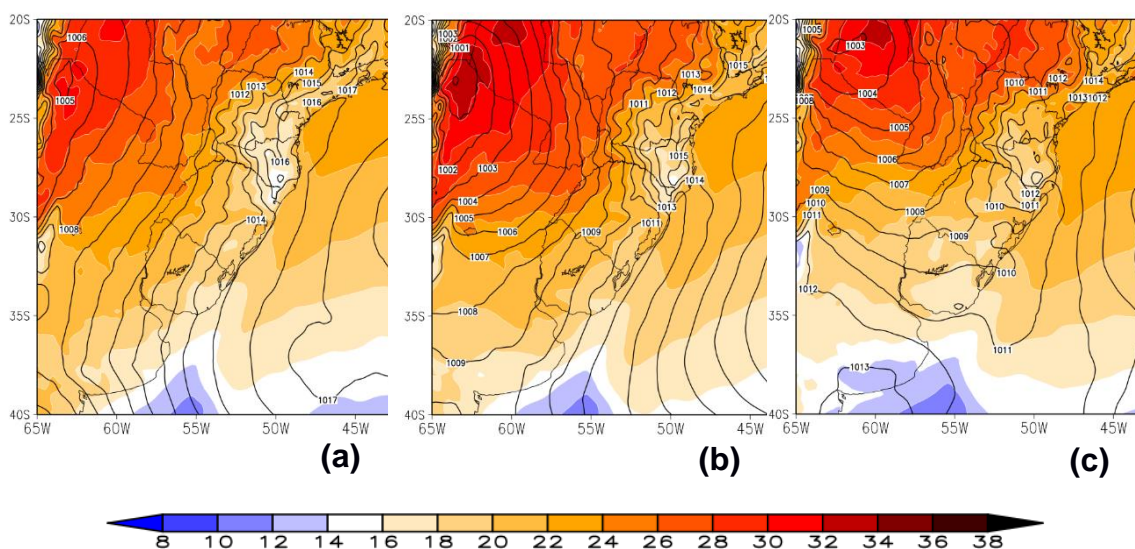


Figura 17 - Média da temperatura do ar em superfície ($^{\circ}\text{C}$, sombreado) e da pressão ao nível médio do mar (hPa, linha contínua), onde (a) D-1, (b) D0 e (c) D+1 às 00:00 UTC.

4.4 Caracterização do ambiente atmosférico que desencadeou os eventos de maior impacto

- Caso ocorrido em 08 de outubro de 2003

No dia 08 de outubro de 2003 (caso 2 da Tabela 3), ocorreu um evento de granizo que atingiu o Rio Grande do Sul, causando prejuízos as lavouras de fumo, gerando danos à 4.679 propriedades.

Na Figura 18 são apresentadas as imagens de satélite do GOES 12, realizadas no canal infravermelho, obtidas entre 11:45 UTC do dia 08 e 11:45 UTC do dia 09, com intervalos de 3 horas aproximadamente, horários estes que mostram o tempo de vida do sistema atuante. A Figura 18a (11:45 UTC) apresenta nebulosidade em parte da Argentina e Uruguai, aproximadamente 3 horas depois às 15:15 UTC (Figura 18b) está cobrindo todo território Uruguai e começa a adentrar o Rio Grande do Sul. Nota-se que se intensifica e avança sobre o Rio Grande do Sul às 17:45 UTC (Figura 18c). Nas Figuras das 20:45 UTC (Figura 18d) e 23:45 UTC (Figura 18e) é possível notar que se mantém intensa e aumenta em escala espacial cobrindo praticamente todo território gaúcho. Observa-se que nas imagens das 02:45 UTC (Figura 18f), 05:45 UTC (Figura 18g) e 08:45 UTC (Figura 18h) do dia 09 que a nebulosidade está cobrindo todo o Rio Grande do Sul e sua parte mais intensa se encontra sobre o norte do estado. Às 11:45 UTC (Figura 18i) perde intensidade e entra em estágio de dissipação.

Os municípios com propriedades atingidas durante a ocorrência deste evento, estão localizados no norte e sul do estado (Figura 19), e o maior impacto ocorreu nos municípios com propriedades bem no centro e sul. Os maiores volumes de precipitação associada a este evento ocorreram no norte como em Iraí e Passo Fundo, destoando de onde o granizo causou maior número de dano no fumo (Tabela 4). Para este caso as sondagens não são apresentadas por não apresentarem perfil atmosférico significativo.

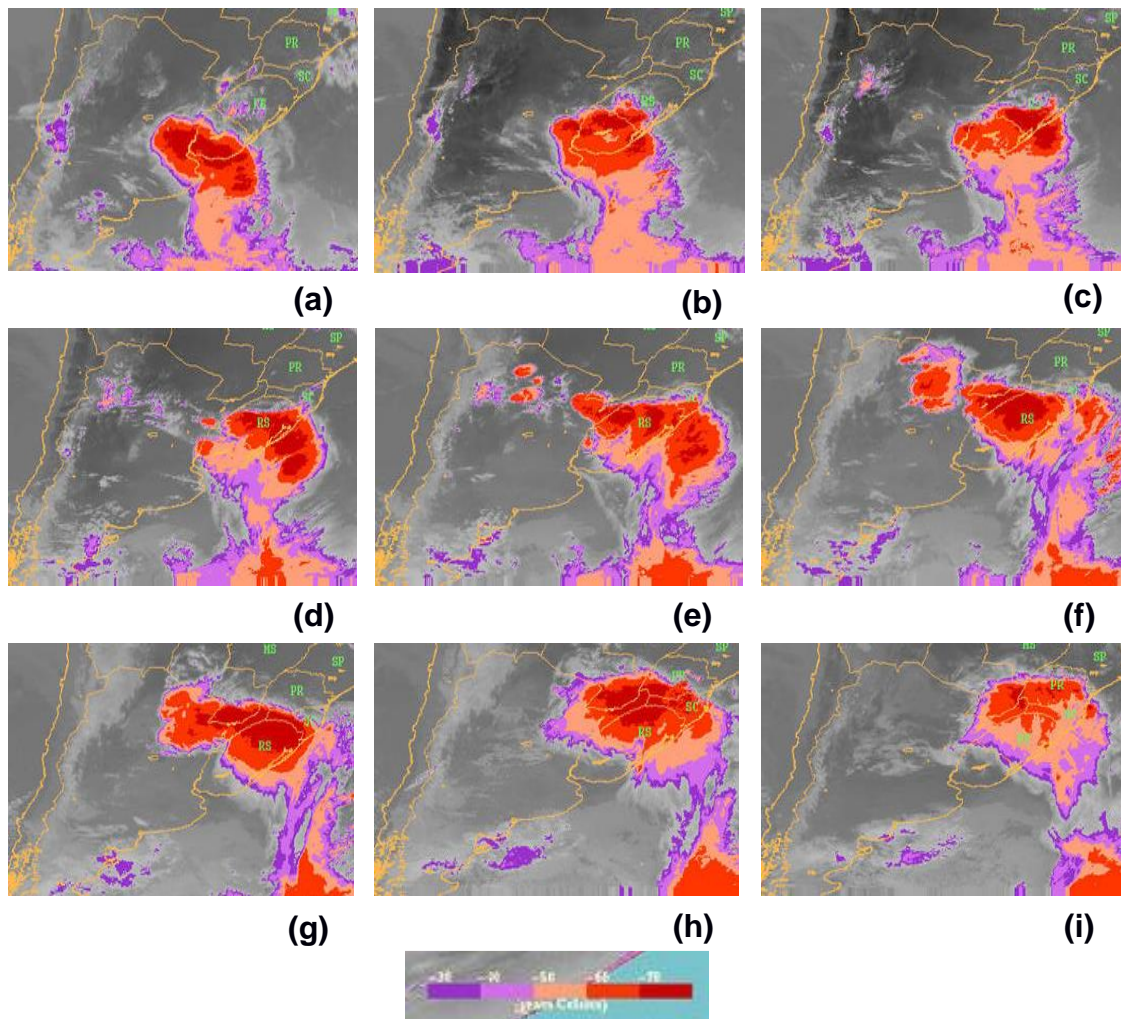


Figura 18 - Sequência das imagens de satélite geoestacionário do dia 08/10/2003 nos horários (a) 11:45 UTC, (b) 15:15 UTC, (c) 17:45 UTC, (d) 20:45 UTC, (e) 23:45 UTC e do dia 09/10/2003 nos horários (f) 02:45 UTC, (g) 05:45 UTC, (h) 08:45 UTC e (i) 11:45 UTC.

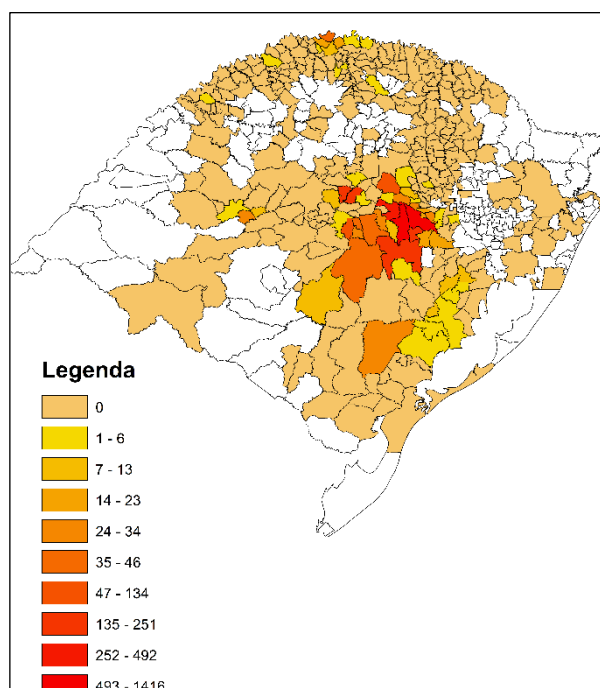


Figura 19 - Municípios do Rio Grande do Sul que tiveram propriedades de fumo atingidas pelo evento de granizo do dia 08 de outubro 2003.

Tabela 4 - Precipitação acumulada em cidades do Rio Grande do Sul durante o evento de granizo do dia 08 de outubro de 2003.

Cidade	Precipitação Acumulada (mm)
Bagé	51,8
Bento Gonçalves	45,6
Bom Jesus	40
Caxias do Sul	43
Cruz Alta	49,3
Encruzilhada do Sul	29,8
Irai	58,5
Lagoa Vermelha	32,2
Passo Fundo	54,8
Porto Alegre	21,3
Santa Maria	33,4
Santana do Livramento	24,3
São Luiz Gonzaga	59,7
Torres	29,1

Analisando o ambiente sinótico, através do escoamento do ar em 250 hPa (Figura 20), entre 00:00 UTC do dia 08 até 00:00 UTC do dia 09, com intervalos de 6 horas. Observa-se a presença de um cavado de onda curta sobre o Rio Grande do Sul nos 3 primeiros horários apresentados (Figuras 20a, 20b, 20c). É possível também observar um outro cavado mais ao sul que à medida que o tempo passa se desloca para o RS (Figuras 20a, 20b, 20c, 20d, 20e). Às 00:00 UTC do dia 09 (Figura 20e),

nota-se que há advecção de vorticidade a leste do cavado sobre o RS, condição que potencializa o desenvolvimento de tempestade intensas em superfície, as quais podem vir a gerar granizo.

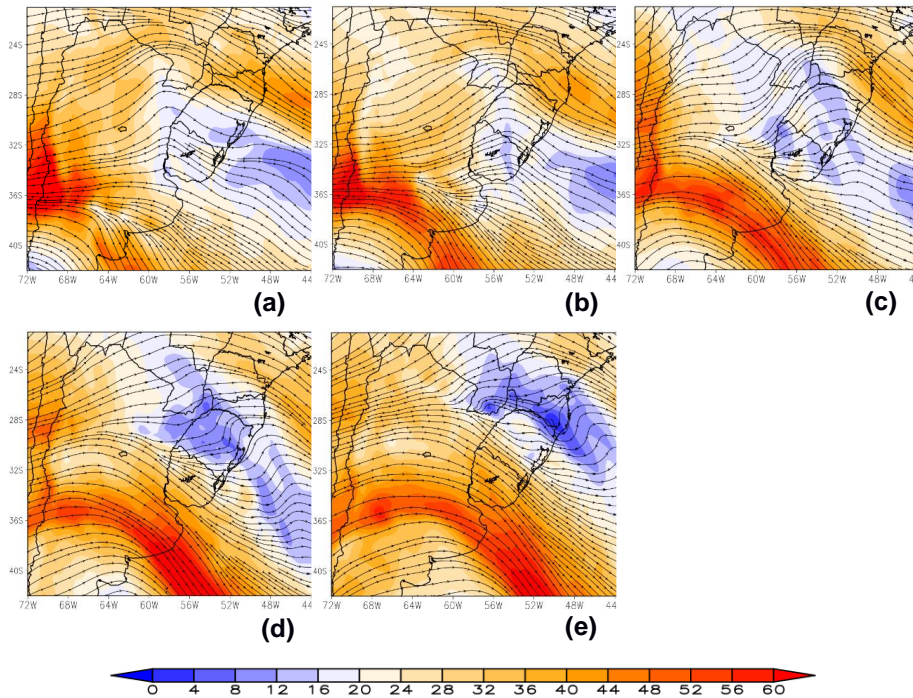


Figura 20 - Linhas de corrente e magnitude do escoamento dos ventos (m/s) em 250 hPa do dia 08/10/2003 nos horários (a) 00:00 UTC, (b) 06:00 UTC, (c) 12:00 UTC, (d) 18:00 UTC e (e) 00:00 UTC do dia 09/10/2003.

Através do escoamento do ar em 850 hPa (Figura 21) e o cisalhamento do vento entre 700 hPa e 850 hPa (Figura 22), apresentados entre 00:00 UTC do dia 08 até 00:00 UTC do dia 09, com intervalos de 6 horas. Observa-se que, apesar de haver velocidades iguais ou superiores a 12m/s a leste da Cordilheira dos Andes em todos os horários do dia 08 (Figuras 21a, 21b, 21c, 21d), não há variação vertical da velocidade do vento compatível com o que se espera, em caso de ocorrência de JBN da América do Sul (Figuras 22a, 22b, 22c, 22d) sobre o Rio Grande do Sul. No entanto, no horário 00:00 UTC do dia 09 observa-se variação vertical da velocidade do vento suficiente para configurar um JBN (Figura 22e) nas regiões noroeste, oeste e sul do Rio Grande do Sul, porém a velocidade do ar em 850 hPa (Figura 21e) neste mesmo horário e região não é suficiente, assim não satisfazendo os critérios estabelecidos por Bonner (1968) para ser considerado um JBN. Embora não tenha se configurado um JBN sobre o RS, é possível notar que nos horários das 06:00 UTC, 12:00 UTC e 18:00 UTC (Figura 21b, 21c, 21d) do dia 08 havia escoamento de noroeste sobre o

estado trazendo umidade e calor que servem de alimentação para tempestades severas.

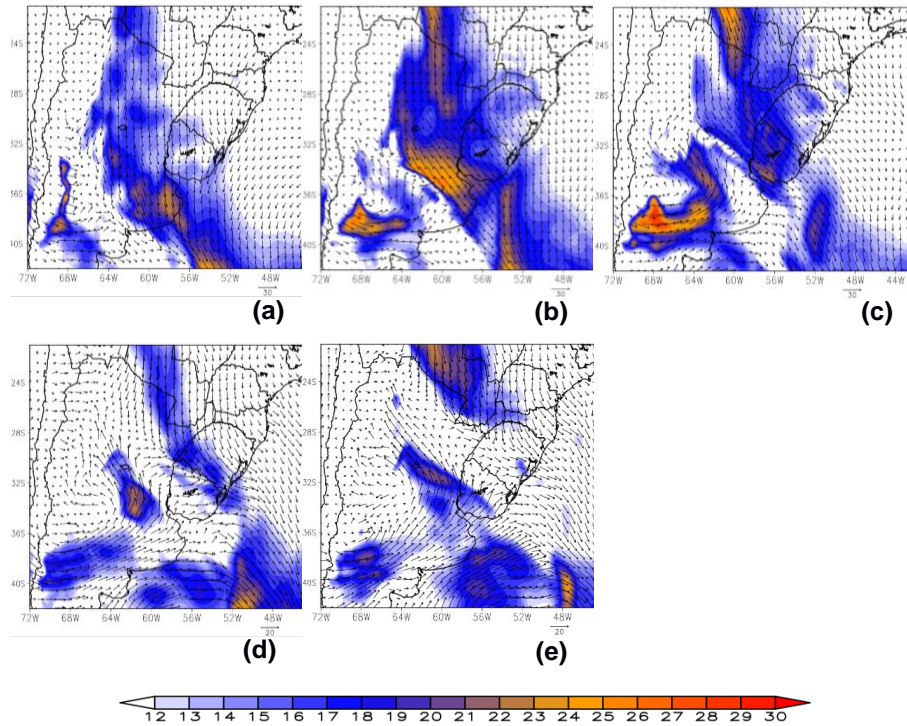


Figura 21 - Linhas de corrente e magnitude do escoamento dos ventos (m/s) em 850 hPa do dia 08/10/2003 nos horários (a) 00:00 UTC, (b) 06:00 UTC, (c) 12:00 UTC, (d) 18:00 UTC e (e) 00:00 UTC do dia 09/10/2003.

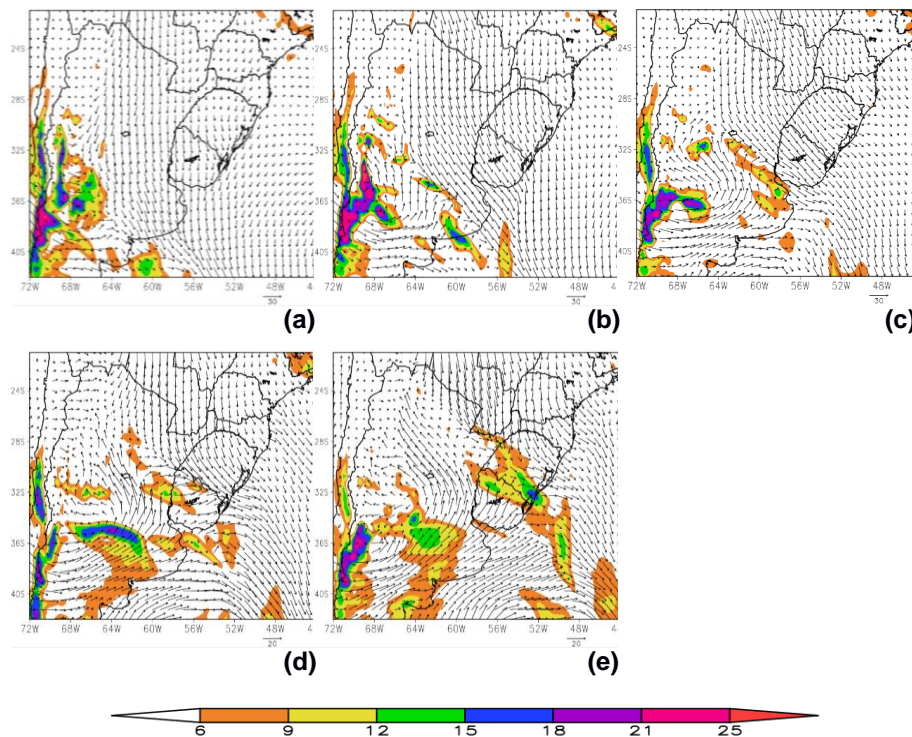


Figura 22 - Cisalhamento do ar entre 850 hPa e 700 hPa para o dia 08/10/2003 no horários (a) 00:00

UTC, (b) 06:00 UTC, (c) 12:00 UTC, (d) 18:00 UTC e (e) 00:00 UTC do dia 09/10/2003.

Com a análise dos campos de umidade relativa do ar em 700 hPa e 850 hPa, apresentados nas Figuras 23 e 24, respectivamente, entre 00:00 UTC do dia 08 até 00:00 UTC do dia 09, com intervalos de 6 horas. Nota-se que a camada de 700 hPa às 00:00 UTC do dia 08 (Figura 23a) se encontra seca, condição que é favorável ao desenvolvimento de tempestade severa, e as temperaturas encontram-se baixas (aproximadamente 10°C). Com o passar do tempo às 06:00 UTC (Figura 23b) nota-se que a umidade aumenta no oeste do estado enquanto as temperaturas se mantêm. Às 12 UTC (Figura 23c) a umidade aumenta em todo estado. É possível observar às 18:00 UTC (Figura 23d) umidade mais alta no Oeste e no Sul em relação as outras áreas do estado, enquanto as temperaturas diminuíram nestes locais, indicando prováveis instabilidades no local. Às 00:00 UTC (Figura 23e) do dia 09 este campo apresenta uma faixa de umidade elevada e temperaturas mais baixas que atravessa o RS de noroeste a sudeste. Quanto ao campo de 850 hPa é possível notar que às 00:00 dia do 08 (Figura 24a) temperaturas elevadas no noroeste do RS e umidade relativa do ar constante em torno de 60/70%, não havendo variação de ambos os campos às 06:00 UTC (Figura 24b). Às 12:00 UTC (Figura 24c) há uma diminuição significativa da temperatura e aumento da umidade a nordeste do estado indicando prováveis instabilidades. Há um aquecimento no oeste e umidade elevada em todo estado às 18:00 UTC (Figura 24d). Observa-se às 00:00 UTC (Figura 24e) do dia 09 uma faixa de umidade alta e temperaturas mais baixas atravessando o RS de nordeste a sudeste, provocada provavelmente por instabilidades.

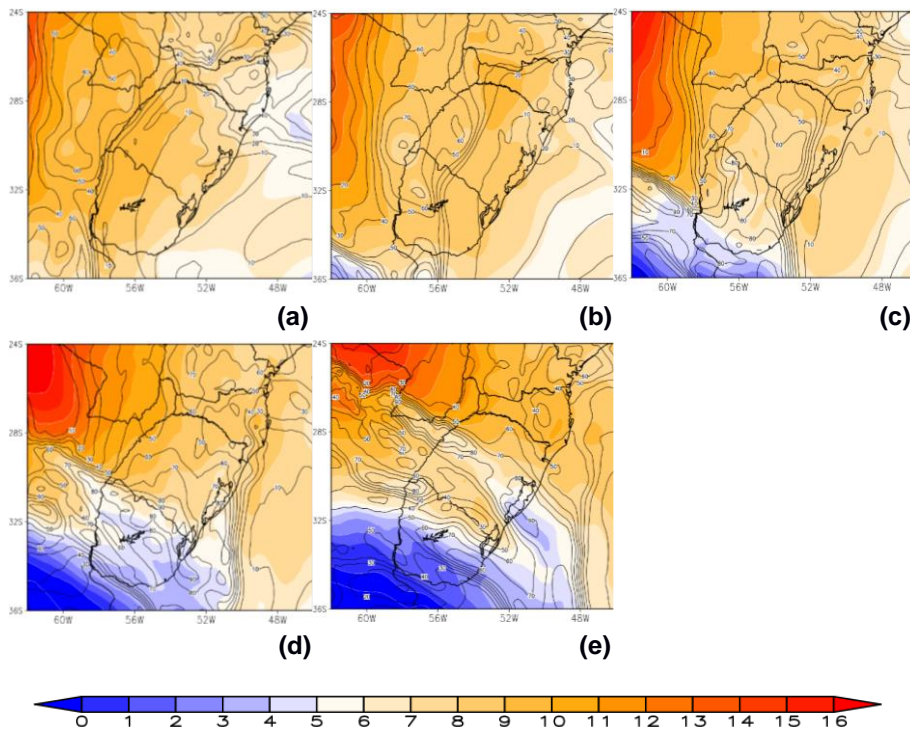


Figura 23 - Temperatura ($^{\circ}\text{C}$, sombreado) e umidade relativa (% , linha sólida) em 700 hPa para o dia 08/10/2003 no horários (a) 00:00 UTC, (b) 06:00 UTC, (c) 12:00 UTC, (d) 18:00 UTC e (e) 00:00 UTC do dia 09/10/2003.

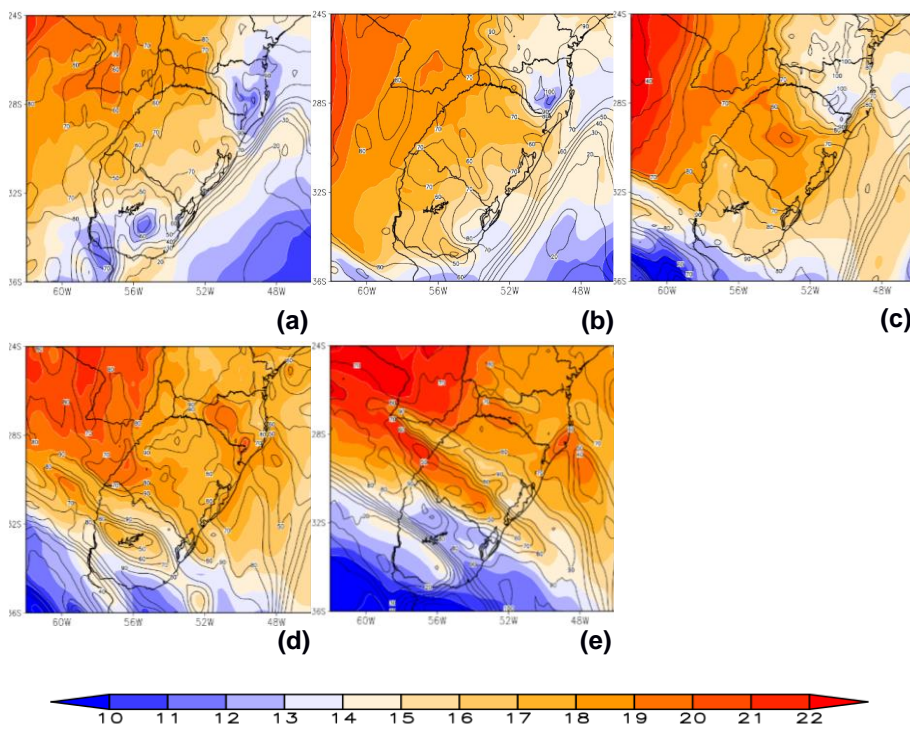


Figura 24 - Temperatura ($^{\circ}\text{C}$, sombreado) e umidade relativa (% , linha sólida) em 850 hPa para o dia 08/10/2003 no horários (a) 00:00 UTC, (b) 06:00 UTC, (c) 12:00 UTC, (d) 18:00 UTC e (e) 00:00 UTC do dia 09/10/2003.

Em relação aos campos de pressão ao nível médio do mar e temperatura do ar em superfície, que são apresentados na Figura 25, entre 00:00 UTC do dia 08 até 00:00 UTC do dia 09, com intervalos de 6 horas. Observa-se que no começo da análise às 00:00 UTC do dia 08 (Figura 25a), não há nenhuma perturbação da pressão sobre o estado e as temperaturas estão mais elevadas a noroeste do estado. A condição da pressão se mantém às 06:00 UTC (Figura 25b), enquanto as temperaturas apresentam uma diminuição. Nota-se que às 12:00 UTC (Figura 25c) essa condição começa a mudar, surge um cavado horizontal sobre o estado e as temperaturas se elevam. Às 18:00 UTC (Figura 25d) estas condições se intensificam, é possível notar uma baixa pressão sobre o norte da Argentina prolongando um cavado sobre o RS, as temperaturas estão elevadas na maioria das áreas do estado principalmente na faixa noroeste, enquanto bem ao sul encontram-se temperaturas bem mais amenas, sinalizando presença de instabilidades. As temperaturas diminuiriam consideravelmente às 00:00 UTC (Figura 25e) indicando que as instabilidades já haviam se espalhado pelo estado.

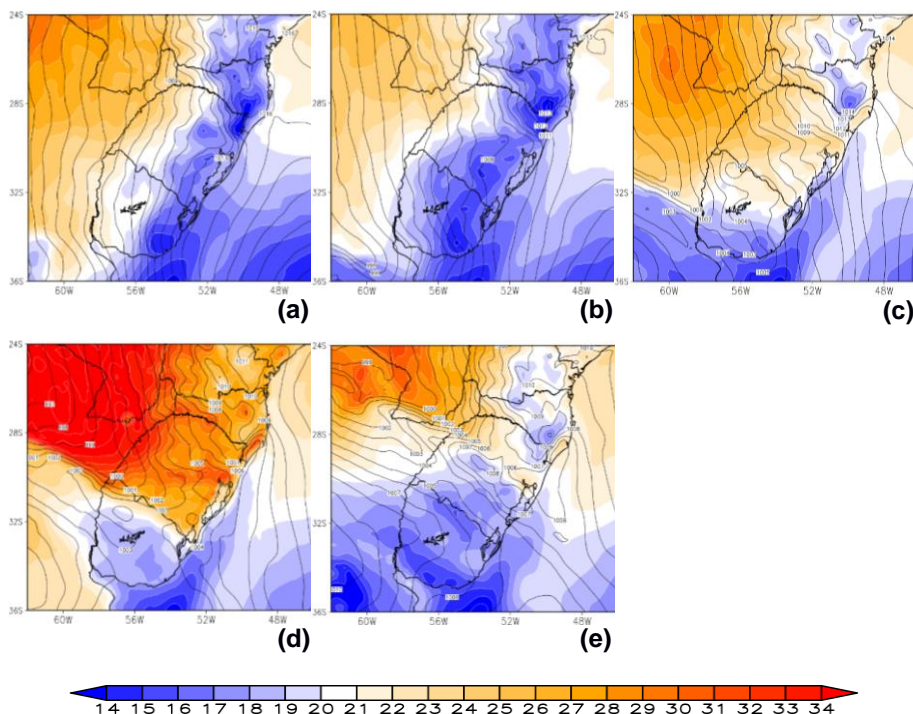


Figura 25 - Temperatura ($^{\circ}\text{C}$, sombreado) e pressão ao nível médio do mar (hPa, linha sólida) para o dia 08/10/2003 no horários (a) 00:00 UTC, (b) 06:00 UTC, (c) 12:00 UTC, (d) 18:00 UTC e (e) 00:00 UTC do dia 09/10/2003.

- Caso ocorrido em 10 de novembro de 2013

No dia 10 de novembro de 2013 (caso 8 da Tabela 3), ocorreu um episódio de granizo que atingiu o Rio Grande do Sul, causando prejuízos as lavouras de fumo (4.852 propriedades foram danificadas).

Na Figura 26 são apresentadas imagens de satélite GOES 13, realçadas no canal infravermelho, obtidas entre 06:00UTC do dia 10 e 00:00UTC do dia 12, horários que mostram a tempestade do começo ao final, com intervalos de 6 horas aproximadamente. A imagem das 06:00UTC (Figura 26a), mostra um núcleo intenso sobre o Uruguai, nordeste argentino e oeste do Rio Grande do Sul. Na imagem das 12:00UTC (Figura 26b), pode-se observar há uma intensificação do núcleo que agora cobre praticamente todo território do estado gaúcho. Posteriormente, as 18:00UTC (Figura 26c), nota-se que o núcleo perde intensidade, mas, às 00:00UTC (Figura 26d) do dia 11, volta a se intensificar cobrindo quase todo Rio Grande do Sul. Às 06:00UTC (Figura 26e) nota-se que se mantém na mesma intensidade e proporção. Apenas às 12:00UTC (Figura 26f), que se pode notar que começa a perder intensidade. Nas imagens das 18:00UTC (Figura 26g) do dia 11 e 00:00UTC (Figura 26h) do dia 12, nota-se que o núcleo já mais fraco começa a se afastar do Rio Grande do Sul. Segundo o boletim Climanálise (2018), não apresentado, a passagem de um cavado na média e alta troposfera, sobre o oeste Argentina, em conjunto com a atuação do jato de baixos níveis, intensificou um sistema de baixa pressão que deu origem ao sistema frontal que ingressou pelo sul do Rio Grande do Sul.

Os municípios com propriedades atingidas durante a ocorrência deste evento, estão localizados na faixa central do estado (Figura 27), o maior impacto ocorreu nos municípios com propriedades bem no centro e Serra, coincidindo com as cidades com registros de maiores acumulados de chuva, como Santa Maria, Bento Gonçalves (Tabela 5). Provavelmente, esteja relacionado ao fato do núcleo de maior intensidade estar cobrindo estas regiões do estado as 12:00UTC (Figura 26b) do dia 10 e 00:00UTC (Figura 26d) do dia 11. Para este caso as sondagens não são apresentadas por não apresentarem perfil atmosférico significativo.

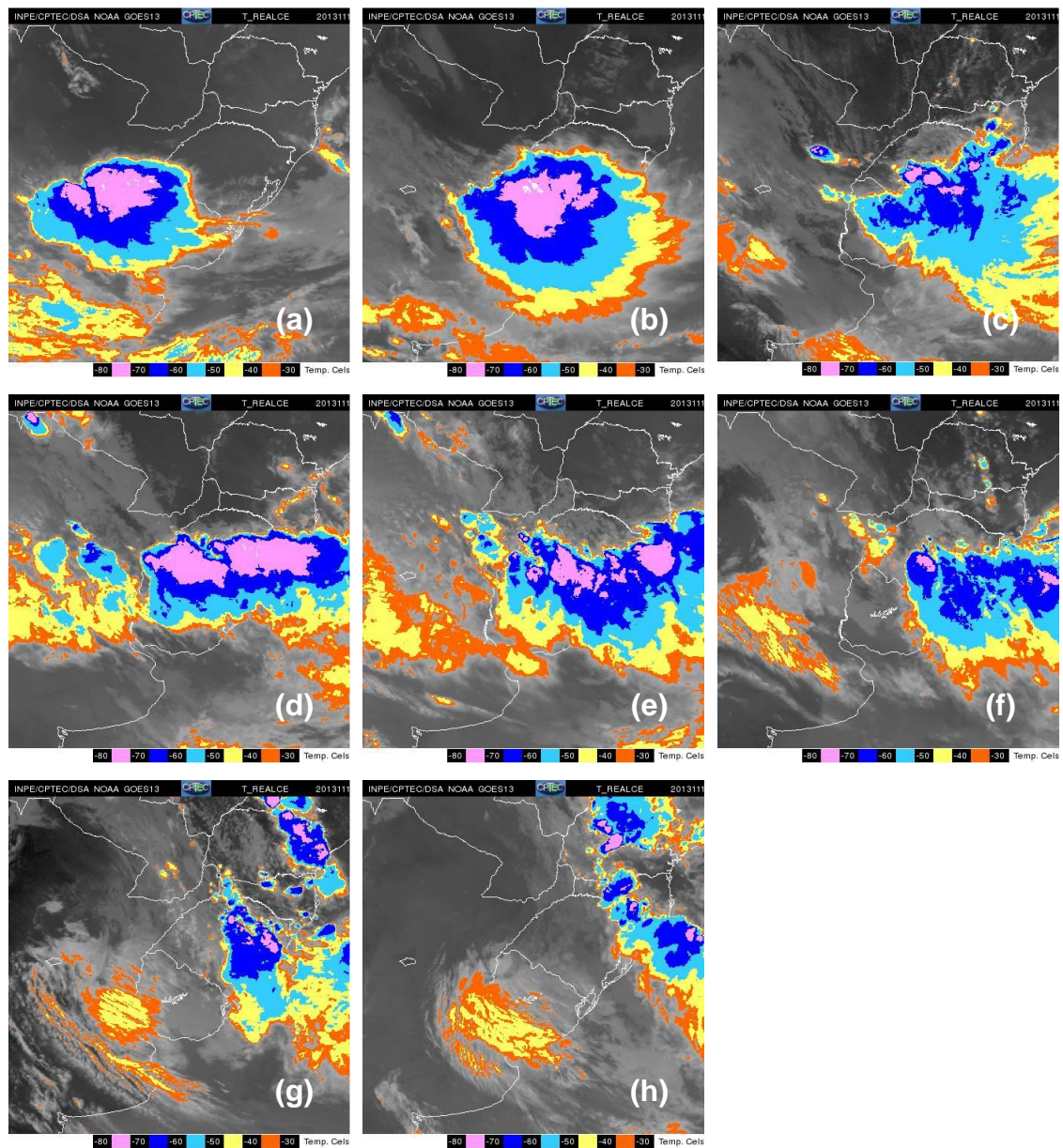


Figura 26 - Sequência das imagens de satélite geostacionário do dia 10/11/2013 nos horários (a) 06:00UTC, (b) 12:00UTC, (c) 18:00UTC, do dia 11/11/2013 nos horários (d) 00:00UTC, (e) 06:00UTC, (f) 12:00UTC, (g) 18:00UTC e do dia 12/11/2013 no horário (h) 00:00UT

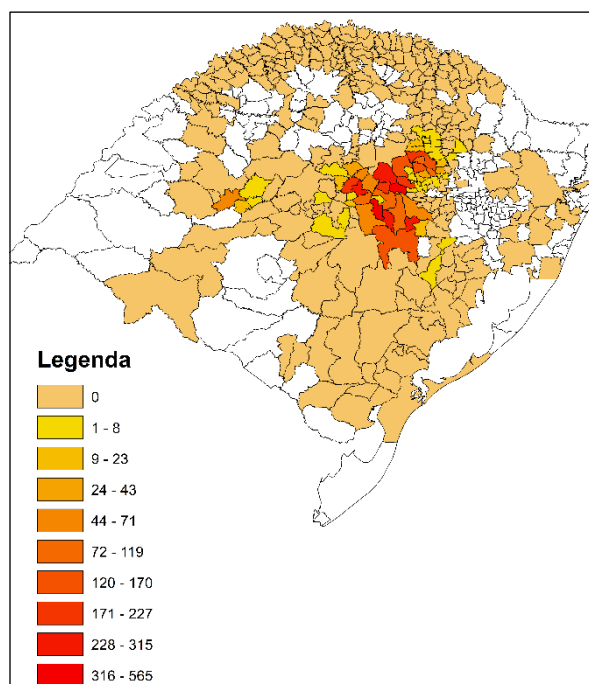


Figura 27 – Municípios do Rio Grande do Sul que tiveram propriedades de fumo atingidas pelo evento de granizo do dia 10 de novembro 2013.

Tabela 5 - Precipitação acumulada em cidades do Rio Grande do Sul durante o evento de granizo do dia 10 de novembro de 2013.

Cidade	Precipitação Acumulada (mm)
Bagé	82,5
Bento Gonçalves	120,4
Caxias do Sul	129
Encruzilhada do Sul	119,8
Pelotas	47,4
Porto Alegre	105,7
Rio Grande	35,2
Santa Maria	134,2
Santana do Livramento	120,8
Torres	90,6
Uruguaiiana	99,4

Através da análise da magnitude e escoamento dos ventos em 250 hPa, que são apresentados na Figura 28, entre 06:00 UTC do dia 10 até às 06:00 UTC do dia 11, com intervalos de 6 horas. É possível observar uma crista ao norte do Rio grande do Sul indicando aquecimento da camada, também é observado a presença de um cavado cruzando a Cordilheira dos Andes associado a um vórtice ciclônico de altos níveis (VCAN) (Figuras 28a, 28b, 28c, 28d e 28e). É notado a presença de algumas áreas com difluência e desaceleração dos ventos, condição que indica convergência em baixos níveis o que contribui para desenvolver tempestades que geram granizo.

Às 06:00 UTC do dia 10 (Figura 28a), ao norte da Argentina, às 12:00 UTC (Figura 28b) no oeste do RS, às 18:00 UTC (Figura 28c) na região sul do estado. Já as 06:00 UTC do dia 15 (Figura 28e) essa difluência volta a influenciar a Argentina e o oeste do estado.

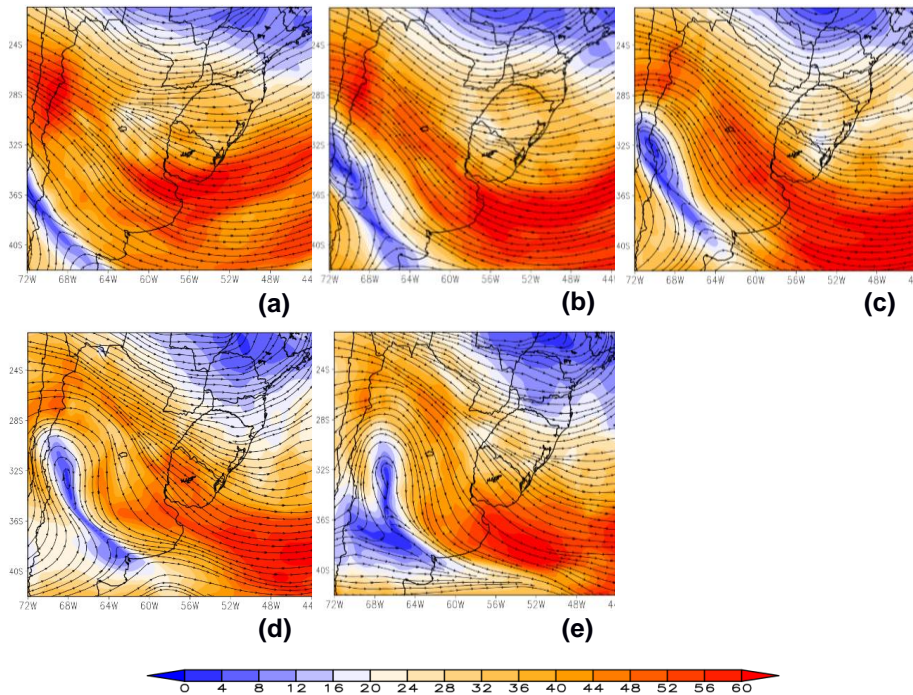


Figura 28 - Linhas de corrente e magnitude do escoamento dos ventos (m/s) em 250 hPa do dia 10/11/2013 nos horários (a) 06:00 UTC, (b) 12:00 UTC, (c) 18:00 UTC, (d) 00:00 UTC e (e) 06:00 UTC do dia 11/11/2013.

Analisando o escoamento dos ventos em 850 hPa, apresentados na Figura 29 entre 06:00 UTC do dia 10 até às 06:00 UTC do dia 11, com intervalos de 6 horas. Nota-se que havia um escoamento de noroeste e/ou norte trazendo calor e umidade para o Rio Grande do Sul em praticamente todos os horários (Figura 29a, 29b, 29c, 29d, 29e). Quanto ao cisalhamento do ar entre 850 hPa e 700 hPa que são apresentados na Figura 30 nos mesmos horários e intervalo de tempo, é possível observar que na maioria dos horários (Figura 30a, 30b, 30d, 30e) não há variação da velocidade do vento compatível com o que se espera para ser considerado JBN, sobre a mesma região em que em 850 hPa a condição é satisfeita. Exceto às 18:00 UTC do dia 10 (Figura 30c), onde as duas condições estabelecidas por Bonner (1968) são satisfeitas indicando assim a presença de um jato de baixos níveis sobre o RS, Argentina e sul do Paraguai.

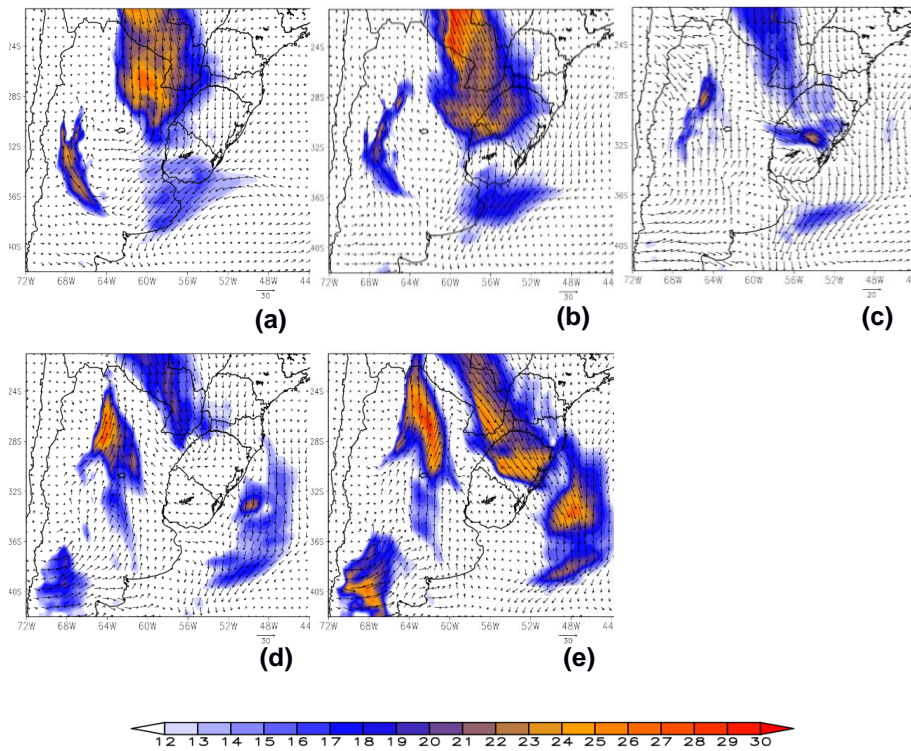


Figura 29 - Linhas de corrente e magnitude do escoamento dos ventos (m/s) em 850 hPa do dia 10/11/2013 nos horários (a) 06:00 UTC, (b) 12:00 UTC, (c) 18:00 UTC, (d) 00:00 UTC e (e) 06:00 UTC do dia 11/11/2013.

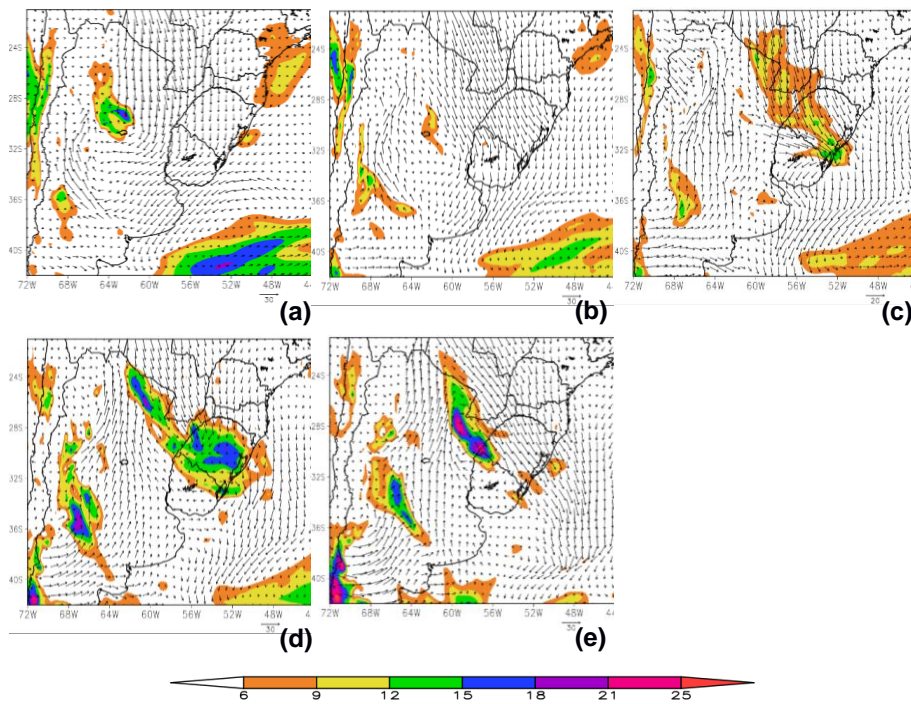


Figura 30 - Cisalhamento do ar entre 850 hPa e 700 hPa para o dia 10/11/2013 no horários (a) 06:00 UTC, (b) 12:00 UTC, (c) 18:00 UTC, (d) 00:00 UTC e (e) 06:00 UTC do dia 11/11/2013.

Os campos de umidade relativa do ar em 700 hPa e 850 hPa, são apresentados nas Figuras 31 e 32, respectivamente. Entre 06:00 UTC do dia 10 e 06:00 UTC do dia 11, com intervalos de 6 horas. É possível notar nos três primeiros horários de análise em 700 hPa (Figura 31a, 31b, 31c) a presença de umidade alta em todo território do RS e temperaturas mais elevadas ao norte do estado, indicando que poderia já haver instabilidades ao sul, além disso é possível notar temperaturas muito elevadas no norte da Argentina, possivelmente devido a presença de uma baixa pressão. Nos dois próximos horários (Figura 31d, 31e) a umidade se mantém alta e as temperaturas constantes em todo estado. Em relação a análise em 850 hPa observa-se as temperaturas mais elevadas que em 700 hPa em todos os horários (Figura 32a, 32b, 32c, 32d, 32e), além disso a condição de temperaturas mais altas ao norte do estado que as demais regiões se mantém. Quanto a umidade, encontra-se alta em todo estado durante todo período analisado (Figura 32a, 32b, 32c, 32d, 32e), porém com valores maiores ao sul. Estas condições encontradas indicam chuva mais estratiforme, porém com potencial para severidade devido a convergência de calor e umidade no norte do estado na camada de 850 hPa.

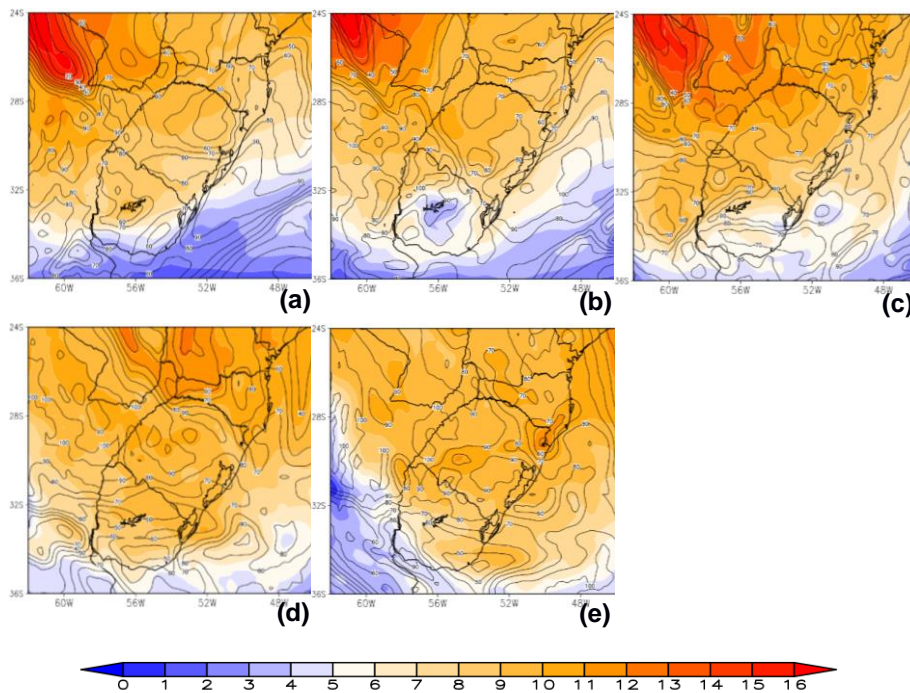


Figura 31 - Temperatura ($^{\circ}\text{C}$, sombreado) e umidade relativa (% , linha sólida) em 700 hPa para o dia 10/11/2013 no horários (a) 06:00 UTC, (b) 12:00 UTC, (c) 18:00 UTC e (d) 00:00 UTC e (e) 06:00 UTC do dia 11/11/2013.

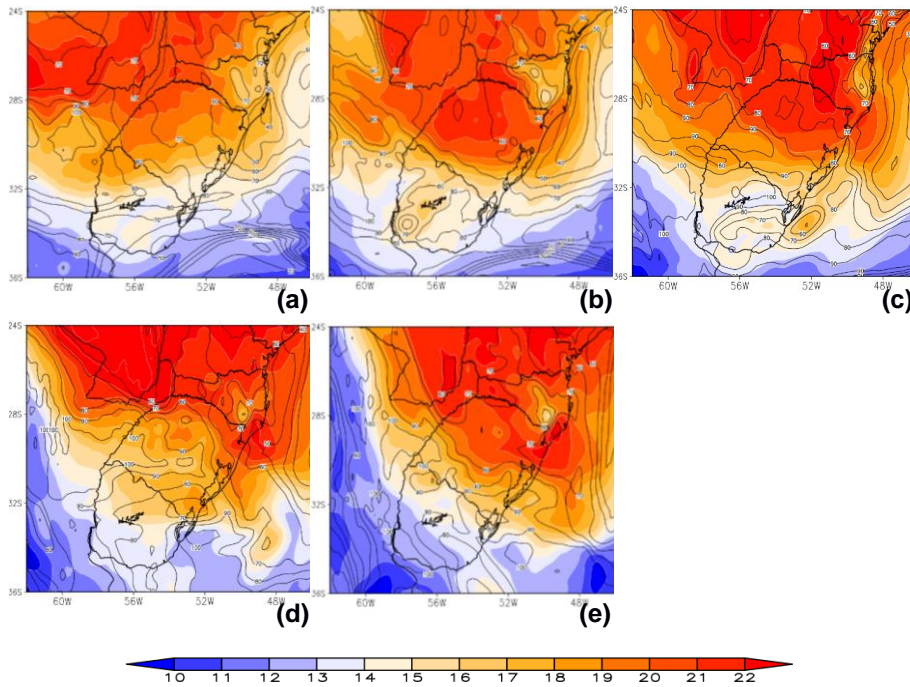


Figura 32 - Temperatura ($^{\circ}\text{C}$, sombreado) e umidade relativa (% , linha s33lida) em 850 hPa para o dia 10/11/2013 no hor33rios (a) 06:00 UTC, (b) 12:00 UTC, (c) 18:00 UTC e (d) 00:00 UTC, (e) 06:00 UTC do dia 11/11/2013.

S33o s33o apresentados os campos de press33o ao n33vel m33dio do mar e temperatura em superf33cie, na Figura 33 entre 06:00 UTC do dia 10 e 06:00 UTC do dia 11, com intervalos de 6 horas. 33o observado nos tr33s primeiros hor33rios de investiga33o (Figura 33a, 33b, 33c), a presen33a de uma baixa press33o sobre o norte da Argentina prolongando um cavado sobre o Rio Grande do Sul, al33m de aquecimento gradual ao norte do estado, enquanto as temperaturas ficam mais amenas ao sul. Destaca-se que 33s 18:00 UTC (Figura 33c) h33 um forte aquecimento no norte do RS, prov33vel respons33vel por potencializar as tempestades na regi33o. Nos dois 33ltimos hor33rios investigados (Figura 33d, 33e), nota-se que as temperaturas diminuem no norte do estado e a perturba33o da press33o se desfaz, indicando que provavelmente as instabilidades se espalharam em todo territ33rio ga33cho.

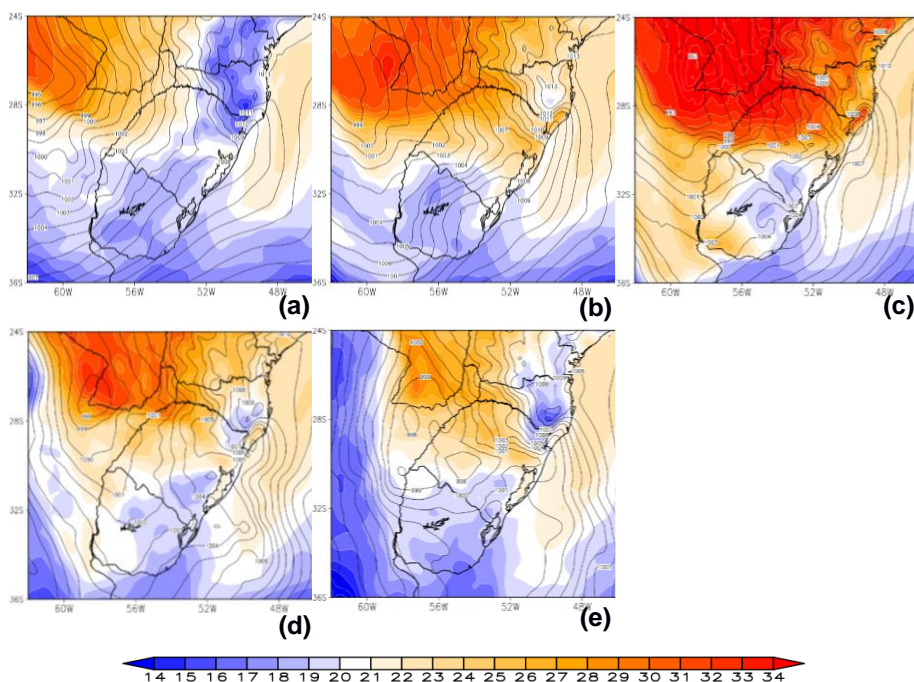


Figura 33 - Temperatura ($^{\circ}\text{C}$, sombreado) e pressão ao nível médio do mar (hPa, linha sólida) para o dia 10/11/2013 no horários (a) 06:00 UTC, (b) 12:00 UTC, (c) 18:00 UTC, (d) 00:00 UTC e (e) 06:00 UTC do dia 10/11/2013.

- Caso ocorrido em 14 de outubro de 2015

No dia 14 de outubro de 2015 (caso 13 da Tabela 3), ocorreu um evento de granizo que atingiu o Rio Grande do Sul, causando prejuízos as lavouras de fumo (7.856 propriedades foram atingidas).

Na Figura 34 são apresentadas imagens de satélite GOES 13, realçadas no canal infravermelho, obtidas entre 18:00UTC do dia 14 e 15:00UTC do dia 15, intervalo de tempo que mostra a tempestade em atividade, com intervalos de 3 horas aproximadamente. Na imagem das 18:00UTC (Figura 34a), nota-se formação de nebulosidade com pouca intensidade no sul do Rio Grande do Sul. Às 21:00UTC (Figura 34b), pode-se observar o aumento espacial da nebulosidade e o surgimento de mais nebulosidade a oeste do estado. Nota-se a intensificação da mesma às 00:00UTC (Figura 34c) do dia 15, e às 03:00UTC (Figura 34d), nota-se que a nebulosidade está se afastando do território gaúcho. De acordo com o boletim técnico do CPTEC/INPE (2018), não apresentado, havia um sistema frontal na Argentina associado a uma baixa pressão no oceano Atlântico.

Este evento causou danos em plantações de fumo em municípios da metade sul, no centro e norte do Rio Grande do Sul (Figura 35), sendo que o maior número

de danos nas plantações ocorreu no centro e sul. Os valores de chuva acumulada durante esta tempestade não foram muito elevados, destacando Bagé que se encontra na região sul do estado e registrou o maior volume de chuva (Tabela 6).

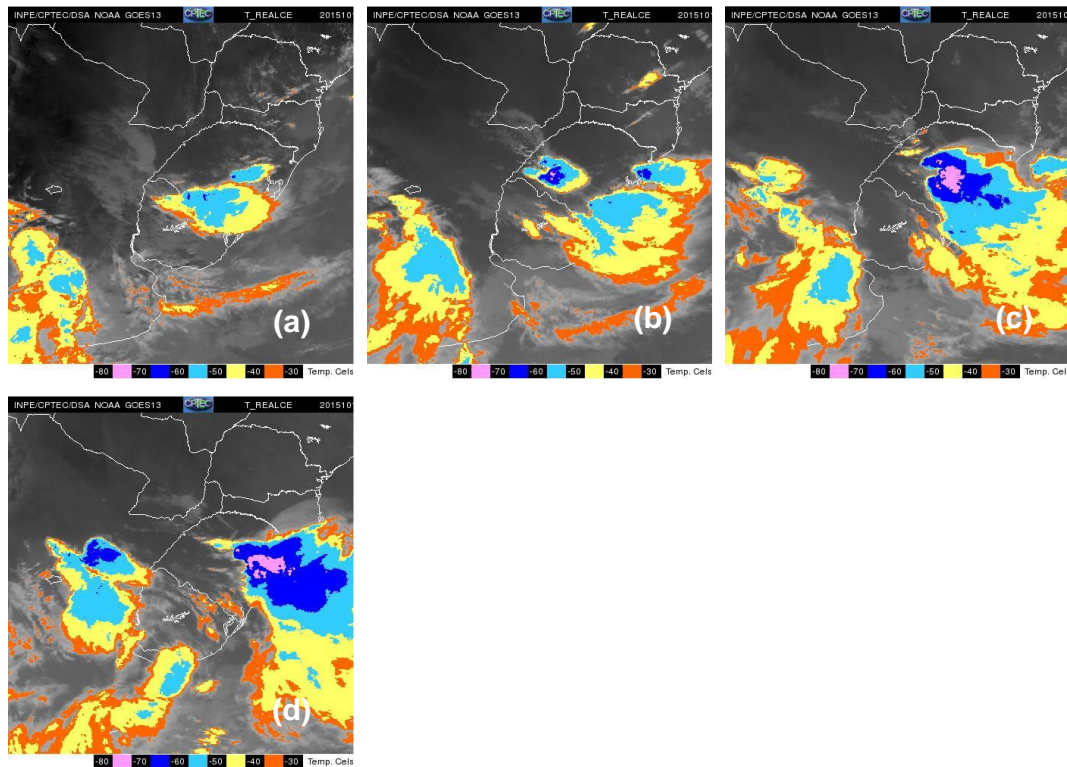


Figura 34 - Sequência das imagens de satélite geoestacionário do dia 14/10/2015 nos horários (a) 18:00UTC, (b) 21:00UTC e do dia 15/10/2015 nos horários (c) 00:00UTC, (d) 03:00UTC.

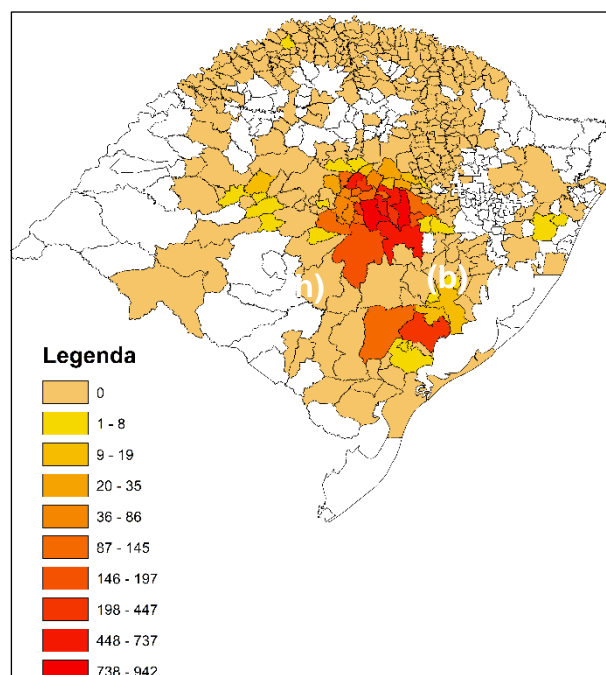


Figura 35 – Municípios do Rio Grande do Sul que tiveram propriedades de fumo atingidas pelo evento de granizo do dia 14 de outubro 2015.

Tabela 6 - Precipitação acumulada em cidades do Rio Grande do Sul durante o evento de granizo do dia 14 de outubro de 2015.

Cidade	Precipitação Acumulada (mm)
Bagé	81,2
Encruzilhada do Sul	25,8
Lagoa Vermelha	35
Pelotas	49,3
Porto Alegre	44,1
Santa Maria	22,6
Uruguaiiana	32,8

Através da análise do diagrama termodinâmico para Uruguaiiana (Figura 36) é possível notar a presença de umidade e temperaturas elevadas nos baixos níveis da atmosfera. Aproximadamente em 900 hPa houve uma inversão térmica e a partir do nível de 700 hPa a atmosfera encontra-se seca. Esta condição de um nível seco acima de 700 hPa sobreposta a uma camada úmida e quente em baixos níveis é um ingrediente para tempestades severas (SILVA DIAS, 2000). Isto faz com que o ar da superfície seja levantado e o entranhamento acima de 700 hPa faz com que o ar evapore provocando a intensificação das correntes descendentes que produzem rajadas em superfície. Outra condição presente é o cisalhamento do vento em baixos níveis que indica tendência a desenvolver nuvens de tempestade. Além disso, apresenta índice CAPE de 2891 Jkg^{-1} , que segundo Nascimento (2005) indica instabilidade acentuada. Embora, em comparação com a imagem de satélite de mesmo horário (Figura 34c), nota-se que na localidade de Uruguaiiana não há presença de nuvens de tempestade, porém estas condições apresentadas no diagrama termodinâmico indicam que há potencial para uma nova tempestade se desenvolver no local. O alto valor do índice CAPE mostrado indica que ainda há energia para ser consumida pela parcela.

Na região de Porto Alegre todo o perfil da atmosfera encontra-se úmido de acordo com o diagrama termodinâmico (Figura 37), indicando a presença de instabilidades naquele local, além disso apresenta um valor de índice CAPE muito baixo (288 Jkg^{-1}) que significa que a parcela já consumiu toda energia disponível, o que é confirmado pela imagem de satélite de mesmo horário (Figura 34c), onde pode ser visto a presença de núcleos de tempestade sobre a região. As sondagens das 12

UTC e a de Santa Maria não apresentaram um perfil atmosférico significativo para este caso, desta maneira não foram utilizadas no trabalho.

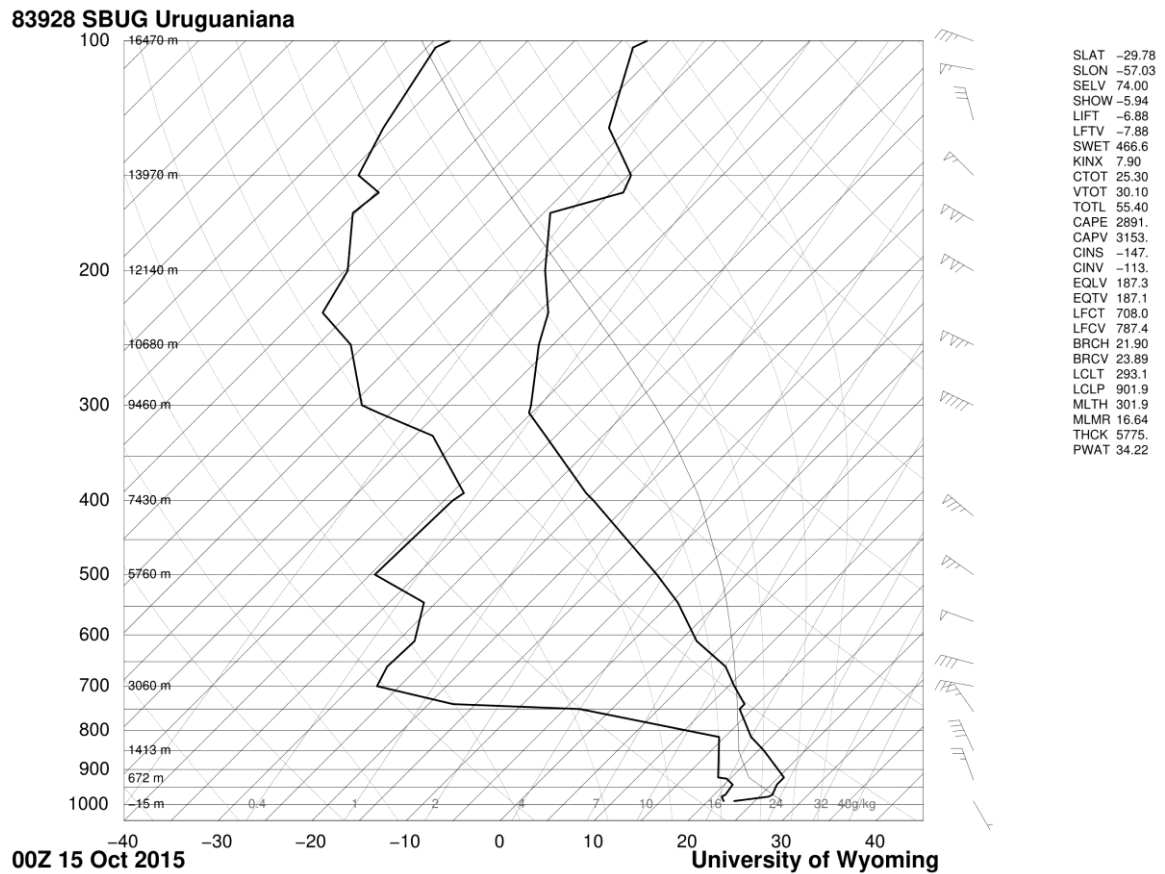


Figura 36- Diagrama termodinâmico do perfil da atmosfera às 00:00 UTC do dia 15/10/2015 em Uruguaiana. As linhas de maior espessura representam a temperatura do ponto de orvalho e a temperatura do ar, respectivamente. As barbelas representam a direção e velocidade do vento em kt.

Fonte: University of Wyoming, 2019

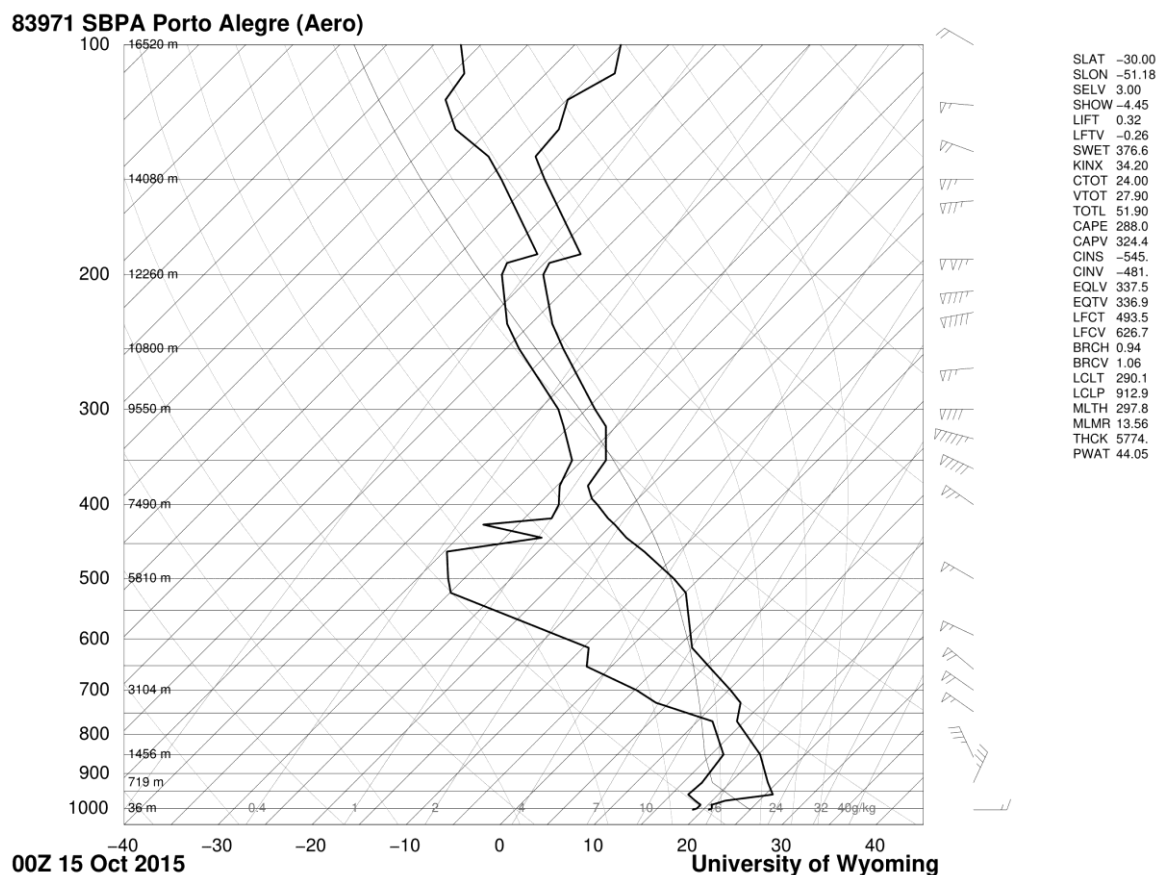


Figura 37 - Diagrama termodinâmico do perfil da atmosfera às 00:00 UTC do dia 15/10/2015 em Porto Alegre. As linhas de maior espessura representam a temperatura do ponto de orvalho e a temperatura do ar, respectivamente. As barbelas representam a direção e velocidade do vento em kt.

Fonte: University of Wyoming, 2019

É apresentado o campo de magnitude e escoamento dos ventos em 250 hPa na Figura 38, entre 00:00 UTC do dia 14 e 18:00 UTC do dia 15, com intervalos de 6 horas. Nota-se a presença de um cavado de onda curta sobre o RS às 00:00 UTC do dia 14 (Figura 38a), posteriormente, é observado seu deslocamento para leste se afastando do estado (Figuras 38b, 38c). Nos horários seguintes é possível observar um cavado ao sul da Argentina que se estende até o RS, apresenta condições de difluência e desaceleração dos ventos em determinadas regiões do estado, oeste (Figura 38d), sul (Figura 38e) e nordeste (Figura 38f), estas condições encontradas são forçantes de altos níveis para desenvolvimento de tempestade severa, uma vez que indicam presença de convergência do ar em baixos níveis. Às 18:00 UTC do dia 15 (Figura 38g) é observado que esta configuração da atmosfera se desfez.

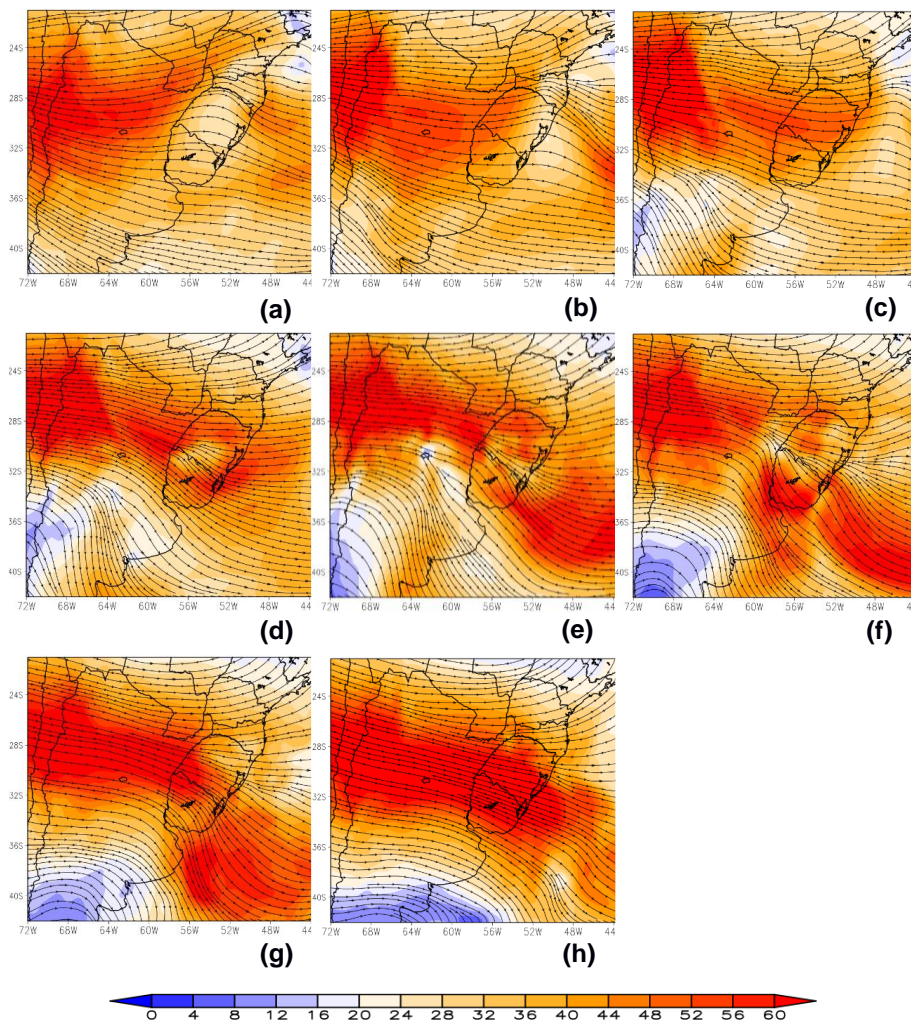


Figura 38 - Linhas de corrente e magnitude do escoamento dos ventos (m/s) em 250 hPa do dia 14/10/2015 nos horários (a) 00:00 UTC, (b) 06:00 UTC, (c) 12:00 UTC, (d) 18:00 UTC e (e) 00:00 UTC, (f) 06:00 UTC, (g) 12:00 UTC, (h) 18:00 UTC do dia 15/10//2015.

O escoamento do ar em 850 hPa e o cisalhamento do ar entre 700 hPa e 850 hPa, são apresentados na Figura 39 e 40, respectivamente, entre 00:00 UTC do dia 14 e 18:00 UTC do dia 15, com intervalos de 6 horas. É possível notar que em todos os horários investigados (Figuras 39a, 39b, 39c, 39d, 39e, 39f, 39g, 39h) há advecção de calor e umidade de norte e noroeste. A variação vertical da velocidade do vento e o escoamento de norte compatíveis com as condições que configuram um JBN da América do Sul, são encontradas às 18:00 UTC do dia 14 (Figuras 39d, 40d) no oeste e noroeste do Rio Grande do Sul, às 00:00 UTC do dia 15 (Figuras 39e, 40e) em praticamente todo estado exceto no oeste e parte do norte. É observado um JBN no norte do RS às 06:00 UTC e às 12:00 UTC (Figuras 39f, 39g, 40f, 40g) e às 18:00 UTC (Figuras 39h, 40h) sobre o norte e nordeste.

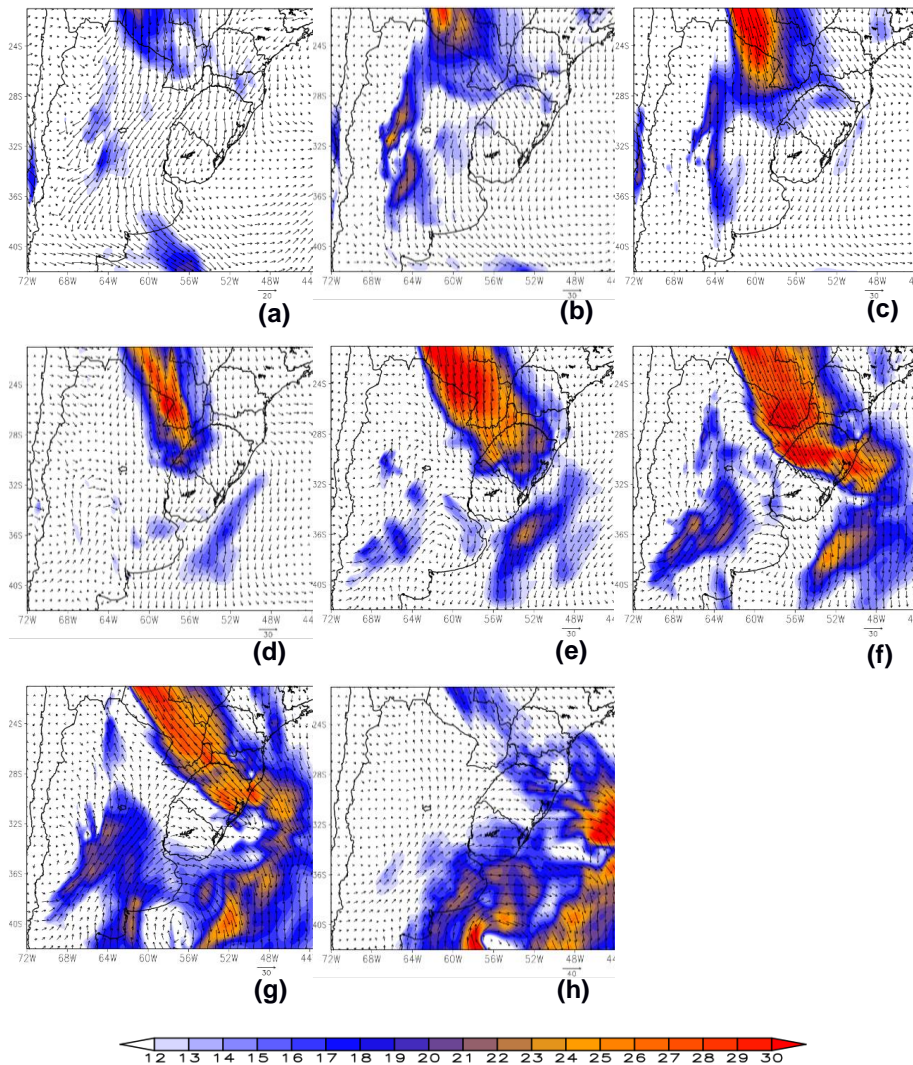


Figura 39 - Linhas de corrente e magnitude do escoamento dos ventos (m/s) em 850 hPa do dia 14/10/2015 nos horários (a) 00:00 UTC, (b) 06:00 UTC, (c) 12:00 UTC, (d) 18:00 UTC e (e) 00:00 UTC, (f) 06:00 UTC, (g) 12:00 UTC, (h) 18:00 UTC do dia 15/10/2015.

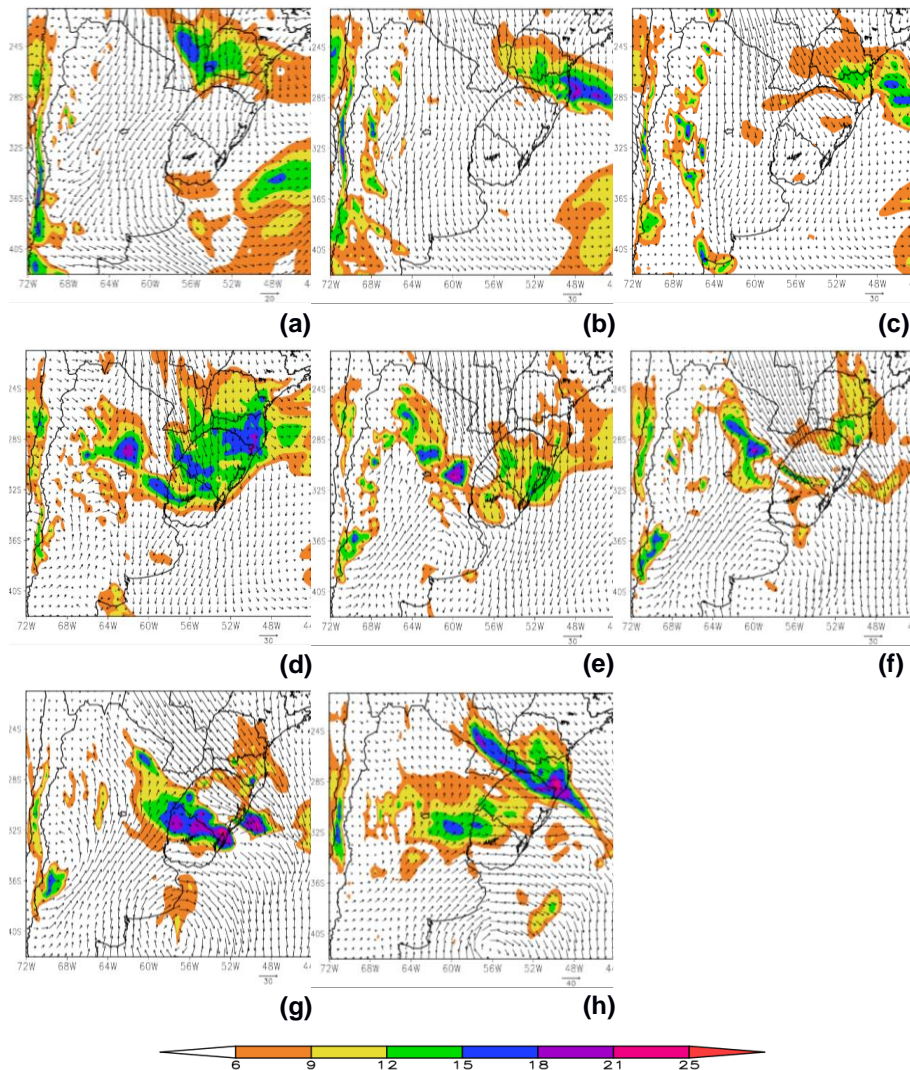


Figura 40 - Cisalhamento do ar entre 850 hPa e 700 hPa para o dia 14/10/2015 no horários (a) 00:00 UTC (b) 06:00 UTC, (c) 12:00 UTC, (d) 18:00 UTC e (e) 00:00 UTC, (f) 06:00 UTC, (g) 12:00 UTC, (h) 18:00 UTC do dia 15/10/2015.

São apresentados nas Figuras 41 e 42 os campos de umidade relativa do ar e temperatura do ar em 700 hPa e 850 hPa, respectivamente, entre os horários de 00:00 UTC do dia 14 até 18:00 UTC do dia 15, com intervalos de 6 horas. Analisando a camada em 700 hPa (Figura 41), nota-se que às 00:00 UTC e às 06:00 UTC do dia 14 (Figuras 41a, 41b), as temperaturas encontram-se baixas em todo RS e a umidade elevada na metade norte. Às 12:00 UTC (Figura 41c) surge um aquecimento pelo oeste enquanto há uma diminuição da umidade na mesma região. Observa-se que a camada tem um aquecimento gradual nos três próximos horários (Figuras 41d, 41e, 41f), principalmente ao norte do estado, e a umidade se mantém alta em todo estado. Nos dois últimos horários investigados (Figuras 41g, 41h), as temperaturas

encontram-se menores ao sul e oeste do estado comparado as demais regiões e a umidade encontra-se maior, indicando prováveis instabilidades ali. A camada de 850 hPa (Figura 42) apresenta umidade alta em todos os horários observados (Figuras 42a, 42b, 42c, 42d, 42e, 42f, 42g, 42h), quanto as temperaturas, encontra-se fria nos dois primeiros horários investigados (Figuras 42a, 42b). Nos próximos horários de análise (Figuras 42c, 42d, 42e, 42f, 42g, 42h), nota-se que a camada se aquece, principalmente ao norte do RS. Estas condições de camada muito úmida e com aquecimento são ingredientes para desenvolver tempestades severas.

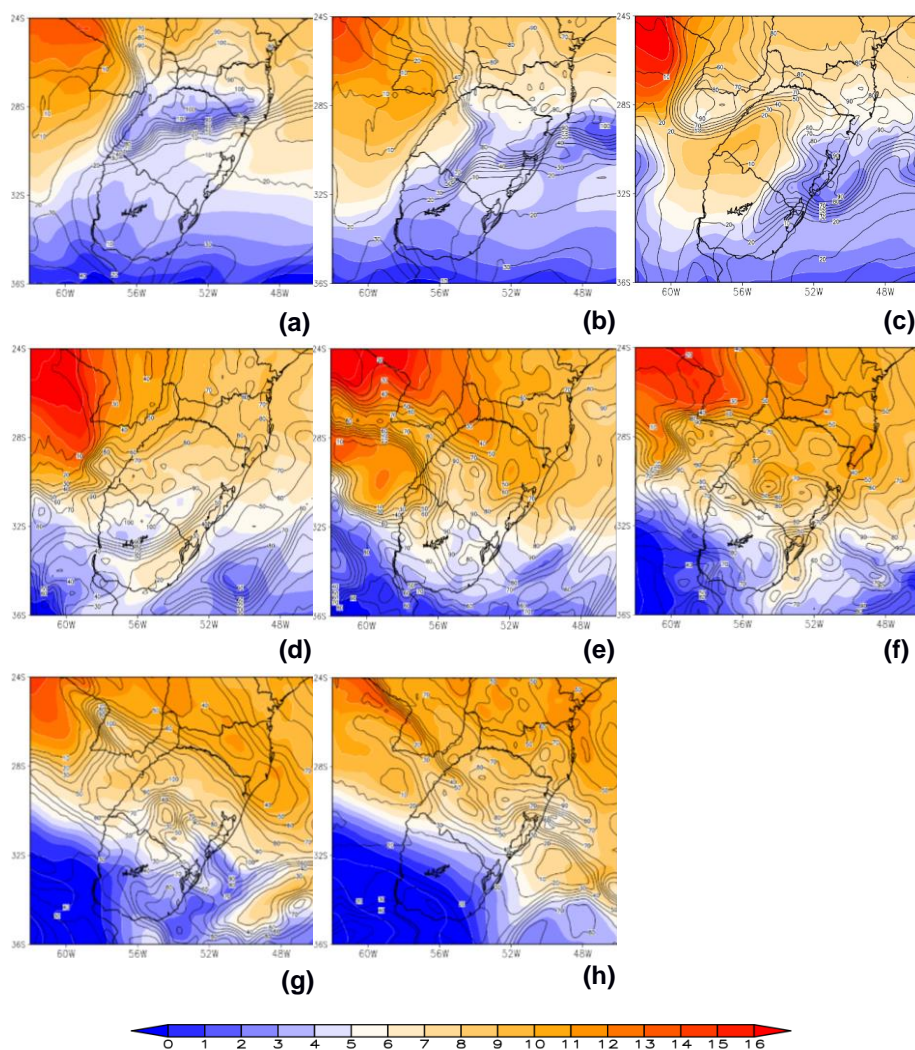


Figura 41 - Temperatura ($^{\circ}\text{C}$, sombreado) e umidade relativa (% , linha sólida) em 700 hPa para o dia 14/10/2015 no horários (a) 00:00 UTC, (b) 06:00 UTC, (c) 12:00 UTC, (d) 18:00 UTC e (e) 00:00 UTC, (f) 06:00 UTC, (g) 12:00 UTC, (h) 18:00 UTC do dia 15/10/2015.

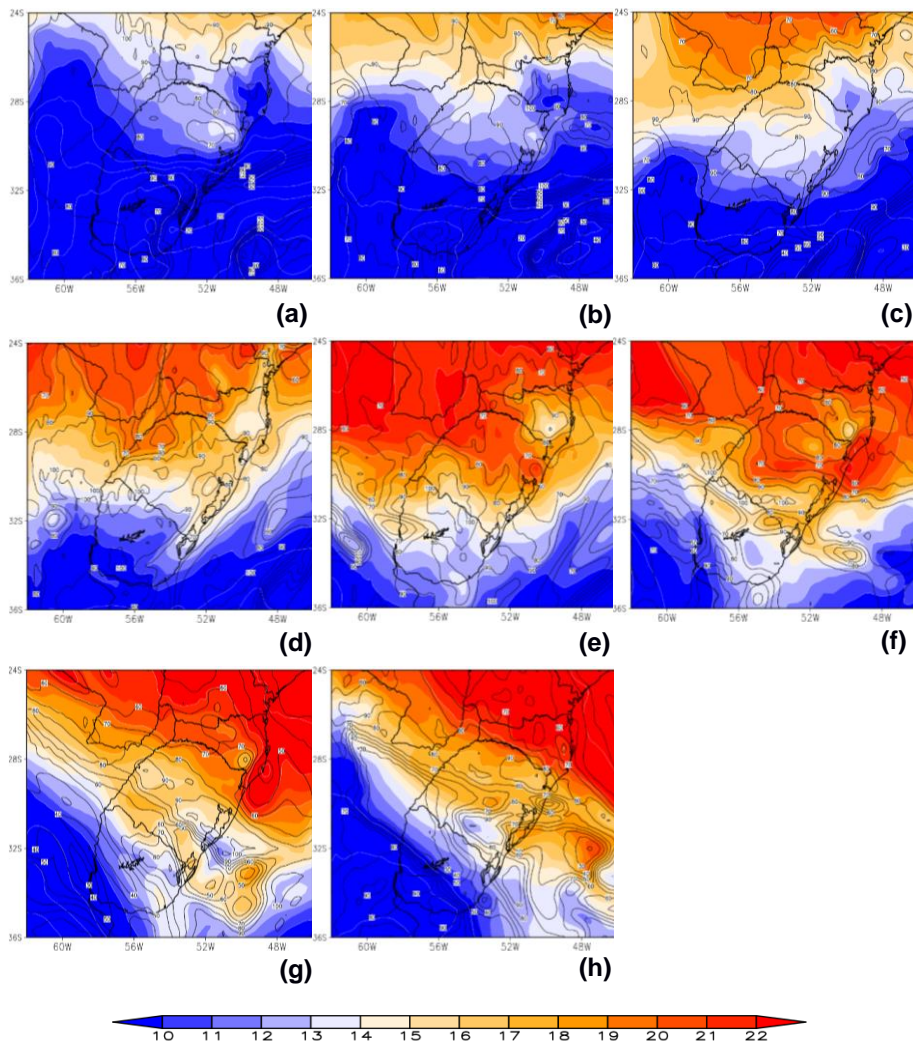


Figura 42 - Temperatura ($^{\circ}\text{C}$, sombreado) e umidade relativa (% , linha s3lida) em 850 hPa para o dia 14/10/2015 no hor3rios (a) 00:00 UTC, (b) 06:00 UTC, (c) 12:00 UTC, (d) 18:00 UTC e (e) 00:00 UTC, (f) 06:00 UTC, (g) 12:00 UTC, (h) 18:00 UTC do dia 15/10/2015.

Os campos de temperatura do ar na superf3cie e press3o ao n3vel m3dio do mar gerados para este evento de granizo s3o apresentados na Figura 43, entre 00:00 UTC do dia 14 e 18:00 UTC do dia 15, com intervalos de 6 horas. Em rela33o a temperatura nota-se que 3s 00:00 UTC, 3s 06:00 UTC e 3s 12:00 UTC (Figuras 43a, 43b, 43c), est3o variando entre 14°C e 19°C . 3s 18:00 UTC (Figura 43d), h3 uma eleva33o das temperaturas no estado, principalmente no norte. Nos quatro 3ltimos hor3rios analisados (Figuras 43e, 43f, 43g, 43h), as temperaturas continuam altas no estado, no entanto com menor intensidade comparado com as 18:00 UTC (Figura 43d) do dia 14. Quanto a press3o nota-se que no come3o do per3odo analisado n3o h3 nenhuma perturba33o significativa. 3s 18:00 UTC (Figura 43d) observa-se um cavado horizontal se prolongando da Argentina at3 o Rio Grande do Sul. 3s 00:00 UTC (Figura 43e) do

dia 15 há uma baixa pressão sobre o norte da Argentina prolongando um cavado sobre o norte do RS, enquanto há a entrada de uma baixa pressão ao sul, condição que se mantém as 06:00 UTC (Figura 43f). Às 12:00 UTC (Figuras 43g), nota-se que se forma uma baixa quente ao norte do estado (temperaturas estão mais elevados ao norte) e ao sul uma baixa fria. As condições observadas nesta análise indicam que as 18:00 UTC do dia 14 e 00:00 UTC do dia 15 (Figuras 43d, 43e) estavam favoráveis a desenvolver tempestades severas e potencializar a ocorrência de granizo.

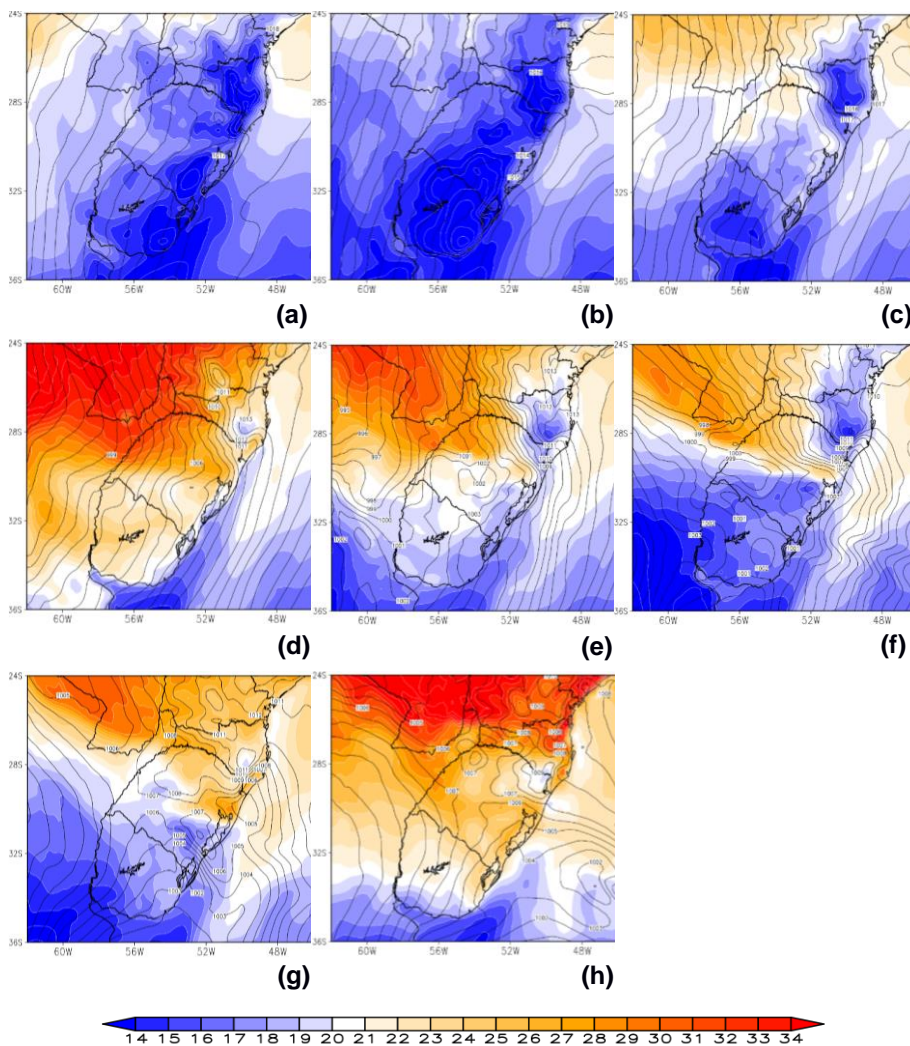


Figura 43 - Temperatura ($^{\circ}\text{C}$, sombreado) e pressão ao nível médio do mar (hPa, linha sólida) para o dia 14/10/2015 no horários (a) 00:00 UTC, (b) 06:00 UTC, (c) 12:00 UTC, (d) 18:00 UTC e (e) 00:00 UTC, (f) 06:00 UTC, (g) 12:00 UTC, (h) 18:00 UTC do dia 15/10/2015.

5 Conclusões

Com a metodologia aplicada neste trabalho foi possível mostrar que houveram 13.305 casos de granizo que danificaram plantações de fumo no RS no período estudado, os meses de maior ocorrência são outubro, novembro e dezembro e as regiões central e sul do estado foram as mais atingidas. Como esperado esta ocorrência está associada a passagem de sistemas convectivos de mesoescala.

Com base na análise dos campos compostos dos casos mais intensos concluiu-se que o ambiente que gerou o granizo foi uma combinação de escoamento de norte trazendo calor e umidade para o estado, aquecimento superficial, e a presença de uma baixa pressão no noroeste da Argentina prolongando um cavado sobre o Rio Grande do Sul, que configuram características de sistemas de mesoescala.

Quanto a análise do ambiente sinótico dos 3 casos estudados, o terceiro caso apresentou 7.856 propriedades atingidas por granizo, sendo o maior deles. Esta alta ocorrência de granizo se deu devido a presença do Jato de Baixos Níveis.

Referências Bibliográficas

AFUBRA. **Associação dos fumicultores do Brasil**. Acessado em 15 out. 2018. Online. Disponível em: <https://www.afubra.com.br/>.

Atlas socioeconômico Rio Grande do Sul. Acessado em 14 out. 2018. Online. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/>.

BERLATO, M. A.; MELO, R. W.; FONTANA, D. C. Risco de ocorrência de granizo no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 8, n. 1, p. 121-132, 2000.

BOLETIM CLIMANÁLISE – **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**. v.24, n. 01, janeiro, 2009. Acessado em: 25 Nov. 2018. Online. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index1009.shtml>.

BOLETIM CLIMANÁLISE – **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**. v.28, n. 11, novembro, 2013. Acessado em: 25 Nov. 2018. Online. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index1009.shtml>.

BONNER, William D. Climatology of the low level jet. **Mon. Wea. Rev.**, v. 96, n. 12, p. 833-850, 1968.

BYERS, H. R.; BRAHAM Jr., R. R. **The Thunderstorm**, U.S. Government Printing Office, 287p., 1949.

CALHEIROS, A. J. P., ENORÉ, D. P., MATTOS, E. V., DA COSTA, I. C., & MACHADO, L. A. T. SISTEMA DE PREVISÃO IMEDIATA: DESCRIÇÃO DOS PRODUTOS. 2016.

CAMPOS, C. R. J.; EICHHOLZ, C. W. Características físicas dos Sistemas Convectivos de Mesoescala que afetaram o Rio Grande do Sul no período de 2004 a 2008. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 29, n. 2, p. 331-345, 2011.

CAMPOS, C. R. J.; MARIA, D. M. Ocorrência de Granizo Associada a um SCM que Afetou o Rio Grande do Sul em Agosto de 2006. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 37, n. 1, 2014.

CAMPOS, C. R. J.; RASERA, G. Análise sazonal dos SCM que geraram eventos severos no Rio Grande do Sul entre 2004 e 2008. **Ciência e Natura**, v. 36, n. 3, p. 481-491, 2014.

CLIMATE CHANGE SERVICE, 2019. Conjunto de dados climáticos - reanálise climática ERA-5. Disponível em: <https://climate.copernicus.eu/climate-reanalysis>. Acesso em 25 de ago. 2019.

CPTEC/INPE. **Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos**. Acessado em 05 nov. 2018. Online. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/>.

CUNHA, G. R.; SCHEEREN, P. L.; SILVA, M. S. **Granizo e Cereais de Inverno no Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001.

DCRS. **Defesa Civil do Rio Grande do Sul**. Acessado em 3 Nov. 2018. Online. Disponível em: <https://www.defesacivil.rs.gov.br/inicial>

FAO/FAOSTAT. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Acessado em 15 out. 2018. Online. Disponível em: <http://www.fao.org/>.

GLICKMAN, T. S. **Glossary of meteorology**. Boston: American Meteorological Society. 2000, p. 855.

HOUZE JR, R. A. **Cloud dynamics**. Academic Press, 2014. 496p.

HILSINGER, R. O território do fumo no sul do Rio Grande do Sul diante da convenção quadro para o controle do fumo. 2016.

IBGE. **Instituto brasileiro de geografia e estatística**. Acessado em 15 out. 2018. Online. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Acessado em 12 em dez. 2018. Online. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>

ISTOCKPHOTO. Acessado 16 nov. 2018. Online. Disponível em: <https://www.istockphoto.com/br/foto/planta-de-tabaco-em-flor-gm1048227348-280383287>

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F.; RUDORFF, F. M. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Ed. Organic Trading, 2006. 109p.

MADDOX, Robert A. Mesoscale convective complexes. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 61, n. 11, p. 1374-1387, 1980.

MARENGO, J. A.; SOARES, W. R.; SAULO, C.; NICOLINI, M. Climatology of the low level jet east of the Andes as derived from the NCEP/NCAR reanalyses. *Journal of Climate*, v. 17, p. 833-852, 15 junho 2004.

MARKOWSKI, P.; RICHARDSON, Y. **Meso-scale Meteorology in Midlatitudes**. Wiley-Blackwell, 2010. 407p.

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.

NEDEL, A. S.; SAUSEN, T. M.; SAITO, S. M. Zoneamento dos desastres naturais ocorridos no estado do Rio Grande do Sul no período 1989–2009: Granizo e Vendaval. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 2, 2012.

OLIVEIRA, F.; COSTA, M. C. **Cultivo de Fumo (*Nicotiana tabacum L.*)**. USP, 2012. Acessado em 16 ago. 2018. Online. Disponível em: <http://respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTcwMg>

RASERA, G. Eventos severos gerados por SCM que atingiram o Rio Grande do Sul no período de 2004 a 2008. **Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Dissertação de Mestrado**, 2013.

ROCHA, M. R. A baixa do noroeste argentino e a sela da Argentina: interações com o transporte de umidade e com sistemas convectivos. **Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande, Dissertação de Mestrado**, 2018.

RUNDNICKI, C. P. S. As relações de confiança no sistema integrado de produção do fumo (SIPT) no Rio Grande do Sul/Brasil. 2012.

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, p. 1290-1309, abril 2007.

SILVA DIAS, M. A. F. ÍNDICES DE INSTABILIDADE PARA PREVISÃO DE CHUVA E TEMPESTADES SEVERAS. 2000.

SILVA DIAS, M. A. F. ROZANTE, J. R.; MACHADO, L. A. T. Complexos Convectivos de Mesoescala na América do Sul. In: CAVALCANTI, I. F. D. A.; FERREIRA, N. J.; da SILVA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. Cap. 12, p. 463.

SILVEIRA, R. L.L.; DORNELLES, M.; FERRARI, S. Expansão da cultura do fumo no sul do Brasil (1996-2006): características, mudanças e persistências na produção de fumo e nos usos do território. **Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales, Barcelona**, v. 17, n. 987, p. 5, 2012.

SILVEIRA, R. L. L. A cultura do fumo na Região Sul do Brasil: dinâmica de produção, organização espacial e características socioeconômicas. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 19, n. 2, p. 23-40, 2015.

SINDITABACO. **Sindicato das Indústrias de Fumo**. Acesso em 16 out. 2018. Online. Disponível em: <http://www.sinditabaco.com.br/>.

SOUZA CRUZ. **Instituto Souza Cruz**. Acessado em 10 dez. 2018. Online. Disponível em: <http://www.souzacruz.com.br/>.

University of Wyoming. Acesso em 16 set. 2019. Online. Disponível em <http://weather.uwyo.edu/>.

VARGAS, M. A. From Seed to Smoke: The relationship between global governance and local development strategies in the Tobacco Value Chain. **New York: Rockefeller Foundation**, 2004.

VOGT, O. P. A produção de fumo em Santa Cruz do Sul, RS (1849-1993). 1997.

WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. **Atmospheric science: an introductory survey**. Academic Press, Inc, 2nd ed., 2006.