

ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE QUEIMADAS, AEROSSÓIS ATMOSFÉRICOS E PRECIPITAÇÃO

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/CNPq/INPE)

Raphael Moura Rocha (IGEO/UFRJ, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: rmr@ufrj.br

Simone Marilene Sievert da Costa Coelho (DSA/CPTEC/INPE, Orientadora)
E-mail: simone.sievert@cptec.inpe.br

COLABORADORES

Renato Galante Negri (DSA/CPTEC/INPE)
Leonardo de Faria Peres (IGEO/UFRJ)

Julho de 2015

RESUMO

Este trabalho, iniciado em março de 2015, é uma continuação do projeto anterior e busca estender a análise por satélite de variáveis meteorológicas (e.g. aerossóis, precipitação) através das composições de canais. Esta etapa consiste numa avaliação inicial das potenciais aplicações das composições de canais do sensor SEVIRI (*Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager*) a bordo dos satélites geoestacionários MSG (*Meteosat Second Generation*) para a América do Sul, e está sendo desenvolvido no âmbito da Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais do CPTEC/INPE em colaboração com o Laboratório de Aplicações de Satélites Ambientais do IGEO/UFRJ. Além da análise individual de canais espectrais nas regiões do visível e infravermelho, as composições entre esses canais possibilitam a extração de variáveis atmosféricas a partir das diferenças da assinatura espectral dos alvos nestas porções do espectro eletromagnético. Entre as aplicações das composições de canais para a meteorologia, destacam-se o monitoramento detalhado de tempestades severas, a detecção de nevoeiros, tempestades de areia e cinzas vulcânicas, e a avaliação de características de massas de ar. Para o estudo das composições na América do Sul foi escolhido o satélite europeu Meteosat devido ao seu maior número de canais se comparado ao satélite GOES, o que possibilita um número maior de combinações e, conseqüentemente, a extração de mais informações dos alvos. A maioria das aplicações das composições de canais do Meteosat na literatura é para o continente europeu, entre elas o caso da erupção do vulcão *Eyjafjallajökull* em abril de 2010 na Islândia, em que aproximadamente 100 mil voos foram cancelados durante 8 dias devido à presença de cinzas vulcânicas sobre a Europa. Inicialmente são apresentados os princípios físicos das composições de canais e, como exemplo de aplicabilidade, a utilização destas para o monitoramento das cinzas vulcânicas durante a erupção do vulcão *Calbuco* em abril de 2015 no Chile.

1 INTRODUÇÃO

Este relatório de Iniciação Científica refere-se à pesquisa realizada pelo bolsista substituto entre março e junho de 2015 (4 meses). O objetivo principal foi estender a análise por satélite das variáveis meteorológicas através de técnicas de composições de canais. Os resultados obtidos neste trabalho dão ênfase às aplicações de detecção de traços de cinza vulcânica, em particular do vulcão *Calbuco*, no Chile em abril de 2015.

As composições de canais possibilitam a extração de variáveis atmosféricas a partir das diferenças da assinatura espectral dos alvos. Uma das técnicas de composição consiste em atribuir um canal ou uma diferença de canais a cada uma das cores do modelo de cores RGB (Figura 1), de acordo com a assinatura espectral do alvo que se deseja destacar. Foram utilizadas como base as composições RGB descritas por Lensky e Rosenfeld (2008), resumidas na Tabela 1 e apresentadas a seguir. As principais composições RGB são “Cor Natural Dia”, “Microfísico Dia”, “Microfísico Noite”, “Poeira” e “Massa de Ar”. Será dado ênfase à obtenção das composições “Cor Natural” e “Microfísico” no período do dia, e “Poeira” (dia e noite).

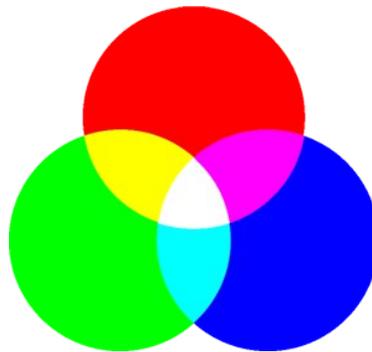


Figura 1 – Modelo de cores RGB (*red, green and blue*).

1.1 Cor Natural Dia

A composição “Cor Natural Dia” utiliza os canais 1.6, 0.8 e 0.6 μm para as cores vermelho, verde e azul, respectivamente. A Figura 2 mostra um exemplo desta composição que, por utilizar canais de reflectância, só pode ser gerada durante o dia. A Figura 3 mostra as funções de resposta espectral de cada canal utilizado e a assinatura espectral de algumas superfícies.

Na Figura 2, a vegetação aparece verde (A) devido a sua elevada reflectância em 0.8 μm (verde) se comparada aos outros canais. Nuvens “quentes” com gotas pequenas (C) aparecem brancas pois têm alta reflectância nos três canais. Neve (F) e nuvens de gelo (D) aparecem azuis pois absorvem fortemente a radiação em 1.6 μm (menos vermelho) e refletem mais em 0.6 μm (azul) do que em 0.8 μm (verde). Solo nu (I) aparece marrom por conta da maior reflectância em 1.6 μm (vermelho) e o oceano (J) aparece preto por conta da alta absorção em todos os três canais utilizados na composição.

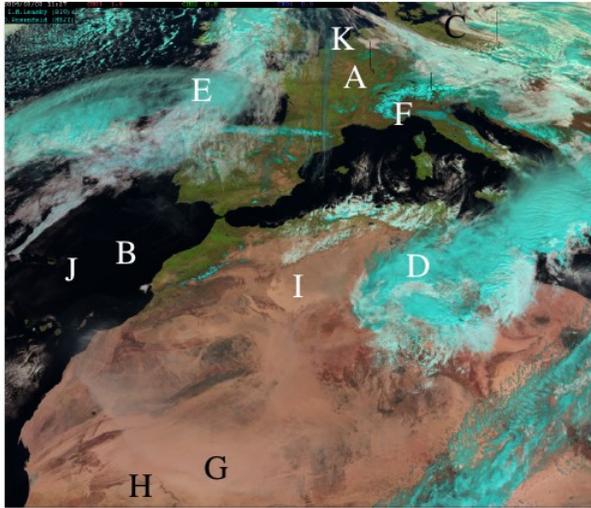


Figura 2 – Composição RGB “Cor Natural Dia” para o dia 3 de março de 2004, às 11:27 UTC.

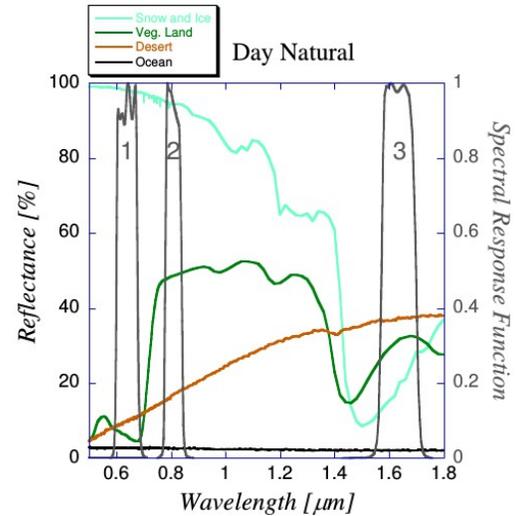


Figura 3 – Resposta espectral dos canais da composição “Cor Natural Dia” e assinaturas de algumas superfícies.

Fonte: Lensky e Rosenfeld (2008).

1.2 Microfísico Dia

A composição “Microfísico Dia” teve como base os resultados de Rosenfeld e Lensky (1998). O canal 0.8 μm (vermelho) se aproxima à espessura ótica da nuvem, a componente solar do canal 3.9 μm (verde) é uma medida qualitativa da fase e tamanho das partículas da nuvem, e o canal 10.8 μm modula o azul. Essa composição RGB é utilizada para distinção de tipos de nuvem, convecção, nevoeiro em área extensa, e neve. Na Figura 4, nuvens com gotas pequenas (M) aparecem brancas, enquanto nuvens com gotas grandes que tipicamente produzem precipitação (N) aparecem rosas por conta da baixa reflectância em 3.9 μm (menos verde). Nuvens com gotas super-resfriadas (O) aparecem amareladas devido à menor temperatura de brilho em 10.8 μm (menos azul). Nuvens espessas e frias com partículas grandes de gelo (e.g. topos de Cb) aparecem vermelhas (D). Nuvens finas e com partículas pequenas de gelo (e.g. trilhas de condensação) aparecem verde-claro (B).

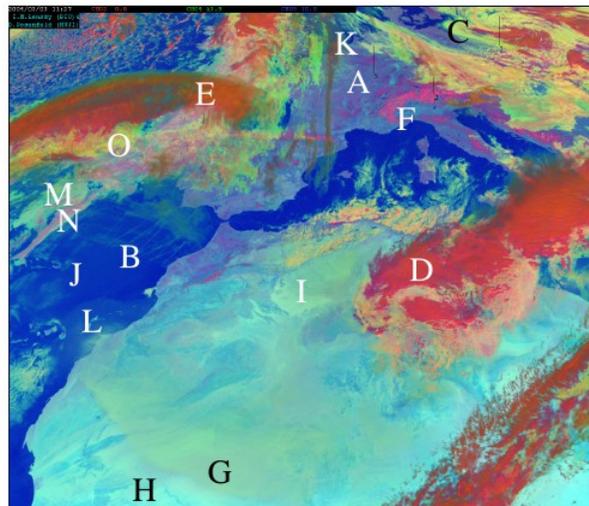


Figura 4 – Composição RGB “Microfísico Dia”. Fonte: Lensky e Rosenfeld (2008).

1.3 Poeira

A composição “Poeira” é gerada somente a partir de canais infravermelhos, o que significa que pode ser utilizada também no período da noite. A diferença da temperatura de brilho entre os canais 12.0 μm e 10.8 μm é uma medida da opacidade da nuvem e, portanto, é inserida na cor vermelha da composição. A temperatura de brilho em 10.8 μm modula o azul, como na composição “Microfísico Dia”, e a diferença entre os canais 10.8 μm e 8.7 μm é inserida no verde.

Na Figura 6, a emissividade de grandes partículas de quartzo (*Quartz coarse*) tem grande diferença entre 10.8 μm e 8.7 μm (mais verde), relativa grande diferença entre 12.0 μm e 10.8 μm (mais vermelho), o que pode ser observado na areia com o mineral quartzo sobre o deserto (H), na Figura 5, que aparece branca devido às elevadas temperaturas em 10.8 μm (mais azul). A emissividade de partículas pequenas de quartzo (*Quartz fine*) na poeira do deserto (G) em 8.7 μm é maior, resultando em uma menor diferença entre 10.8 μm e 8.7 μm (menos verde) e conseqüentemente na cor rosa. Nuvens profundas aparecem vermelhas (E): diferença positiva entre 12.0 μm e 10.8 μm (mais vermelho) devido à grande opacidade, partículas grandes de gelo (Figura 6; *IceSnow*) resultam em menor diferença entre 10.8 μm e 8.7 μm (menos verde) e topos frios (menos azul).

É importante destacar que as cores de nuvens mais finas podem ser afetadas pelas propriedades da superfície abaixo delas, como a temperatura e emissividade. Para cada uma das três composições RGB descritas, são apresentados na Tabela 2 valores típicos de algumas superfícies e suas cores resultantes.

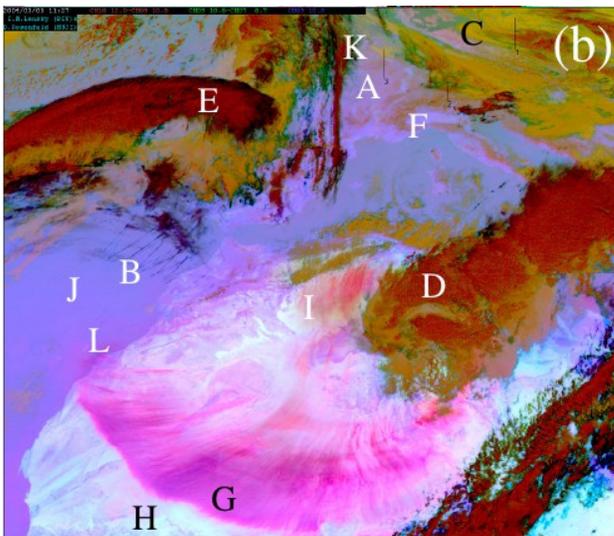


Figura 5 – Composição RGB “Poeira”.

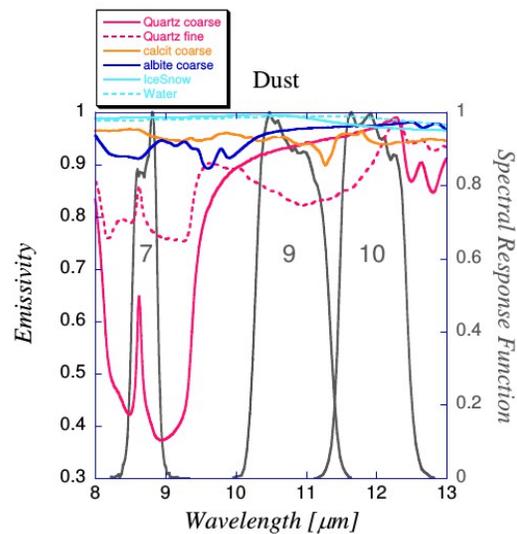


Figura 6 – Canais da composição “Poeira” e assinaturas espectrais de alguns materiais.

Fonte: Lensky e Rosenfeld (2008).

Tabela 1 – Parâmetros para as principais composições de canais.

	Cor Natural Dia	Microfísico Dia	Microfísico Noite	Poeira	Massa de Ar
R	NIR1.6	VIS0.8	IR12.0 – IR10.8	IR12.0 – IR10.8	WV6.2 – WV7.3
	0% ... 100%	0% ... 100%	-4K ... +2K	-4K ... +2K	-25K ... 0K
	$\Gamma=1.0$	$\Gamma=1.0$	$\Gamma=1.0$	$\Gamma=1.0$	$\Gamma=1.0$
G	VIS0.8	IR3.9r	IR10.8 – IR3.9	IR10.8 – IR8.7	IR9.7 – IR10.8
	0% ... 100%	0% ... 60%	0K ... +6K	0K ... 15K	-40K ... +5K
	$\Gamma=1.0$	$\Gamma=2.5$	$\Gamma=2.0$	$\Gamma=2.5$	$\Gamma=1.0$
B	VIS0.6	IR10.8	IR10.8	IR10.8	WV6.2 invertido
	0% ... 100%	203K ... 323K	243K ... 293K	261K ... 289K	208K ... 243K
	$\Gamma=1.0$	$\Gamma=1.0$	$\Gamma=1.0$	$\Gamma=1.0$	$\Gamma=1.0$

Fonte: adaptado de Lensky e Rosenfeld (2008).

Tabela 2 – Valores típicos de reflectância (em %), temperatura de brilho (em °C) e cor resultante para algumas superfícies, para as três composições RGB apresentadas.

Day Natural Colors	$A_{1.6}$	$A_{0.8}$	$A_{0.6}$	
Vegetation	25	45	8	
Water clouds – small droplets	60	75	70	
Snow and ice clouds	25	75	70	
Bare ground	60	40	30	
Ocean	1	3	4	
Day Microphysical	$A_{0.8}$	$A_{3.9}$	$T_{10.8}$	
Cb clouds	99	2.5	-60	
Cb clouds – small droplets	88	13	-60	
Water clouds with small particles	65	30	-8	
Maritime stratocumulus	55	10	12	
Ship trails	55	20	12	
Desert Dust	$BTD_{12.0-10.8}$	$BTD_{10.8-8.7}$	$T_{10.8}$	
Deep Cb clouds	-0.5	-1	-60	
Thick water clouds	-0.5	1	-10	
Clouds with small particles	-6	3	0	
Thin Ci clouds	-4	-4	-40	
Desert dust	3	-2	10	
Sands with quartz mineral	1	12	35	

Fonte: adaptado de Lensky e Rosenfeld (2008).

2 DADOS E FERRAMENTAS

2.1 Sensor SEVIRI

O sensor SEVIRI (Aminou et al. 1997) foi projetado para observar a Terra a partir de um satélite geostacionário em rotação. A aquisição de imagens pelo SEVIRI é feita pela rotação do próprio satélite (100 rpm +/- 1%) na direção leste-oeste e pela inclinação sul-norte de um espelho plano após cada linha leste-oeste ter sido imageada (Figura 7).

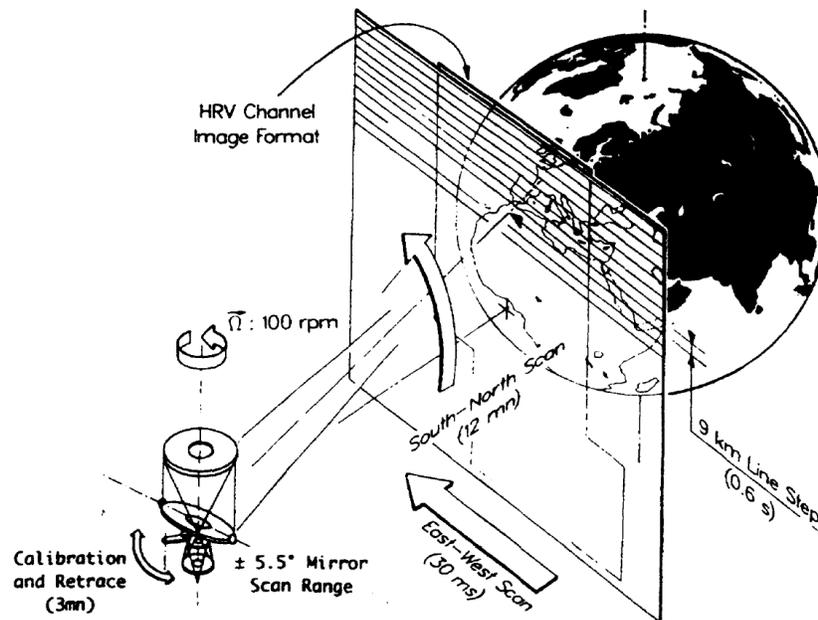


Figura 7 – Princípio de imageamento do sensor SEVIRI. Fonte: Aminou et al. (1997).

Cada revolução completa do satélite dura 600 ms, dos quais somente durante 30 ms o sensor observa a Terra. Os 570 ms restantes são utilizados para a inclinação do espelho e transmissão dos dados. O ciclo de obtenção de uma imagem completa (*full disk*) é de 15 minutos, incluindo o tempo de retorno do espelho e calibração radiométrica do sensor.

O sensor SEVIRI possui 12 canais espectrais (Figura 8), descritos na Tabela 3, com resolução espacial de 3x3 km no ponto sub-satélite (1x1 km no canal HRV).

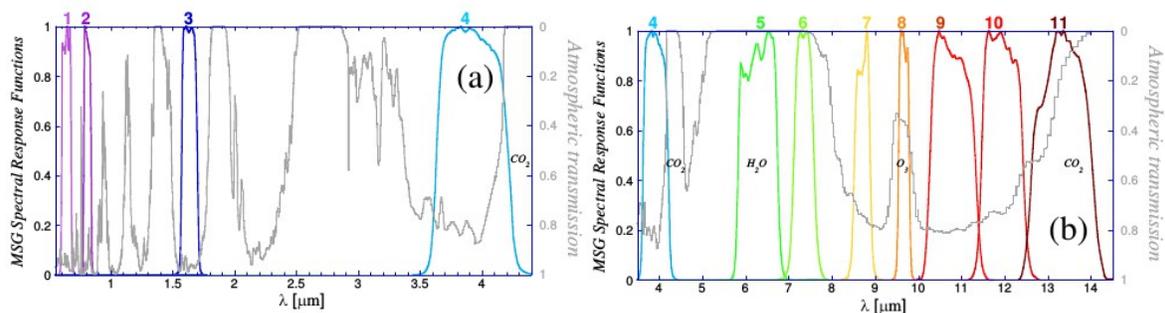


Figura 8 – Função resposta espectral de 11 canais do SEVIRI (curvas coloridas com os canais numerados) e transmissividade da atmosfera (curva cinza) com os principais gases absorvedores. (a) Canais solares, e (b) canais térmicos. Fonte: Lensky e Rosenfeld (2008).

Tabela 3 – Canais do sensor SEVIRI.

ID do Canal	Região do espectro eletromagnético	Comprimento de onda central (μm)	Banda espectral (μm)
HRV	Visível	0.75	0.6 a 0.9
VIS 0.6	VNIR	0.635	0.56 a 0.71
VIS 0.8	VNIR	0.81	0.74 a 0.88
IR 1.6	VNIR	1.64	1.50 a 1.78
IR 3.9	IR / Janela	3.92	3.48 a 4.36
IR 6.2	Vapor d'água	6.25	5.35 a 7.15
IR 7.3	Vapor d'água	7.35	6.85 a 7.85
IR 8.7	IR / Janela	8.70	8.30 a 9.10
IR 9.7	IR / Ozônio	9.66	9.38 a 9.94
IR 10.8	IR / Janela	10.80	9.80 a 11.80
IR 12.0	IR / Janela	12.00	11.00 a 13.00
IR 13.4	IR / CO ₂	13.40	12.40 a 14.40

Fonte: adaptado de EUMETSAT (2013).

3 RESULTADOS: CINZAS DO VULCÃO CALBUÇO

Segundo regulamentação (ICAO, 2007) da Organização de Aviação Civil Internacional (*International Civil Aviation Organization*), nuvens de cinza vulcânica são um risco para a aviação pelos seguintes fatores:

- A cinza vulcânica possui temperatura de fusão ($\sim 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$) inferior à temperatura normal de operação de motores a jato ($\sim 1400\text{ }^{\circ}\text{C}$), o que leva à fusão das cinzas no interior dos motores, podendo ocasionar perda imediata de potência e desligamento do motor.
- Por ser composta de fragmentos de vidro e rocha pulverizada a cinza é extremamente abrasiva, causando erosão no interior dos motores, levando a perda de potência.
- Ocorre abrasão das janelas da cabine, comprometendo a visibilidade para o pouso.
- A cinza pode danificar instrumentos no exterior da aeronave, como as antenas de rádio (impedindo a comunicação e pouso por instrumentos), tubo de *pitot* (anulando as leituras de velocidade da aeronave), bloquear o sistema de resfriamento e causar alarmes falsos de incêndio no compartimento de carga.

Um algoritmo para gerar as composições RGBs a partir dos dados do sensor SEVIRI foi desenvolvido, em linguagem de programação Python, pela Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA) do CPTEC/INPE. O algoritmo está atualmente em processo de finalização e será implantado operacionalmente na DSA visando uma futura disseminação online gratuita desses produtos.

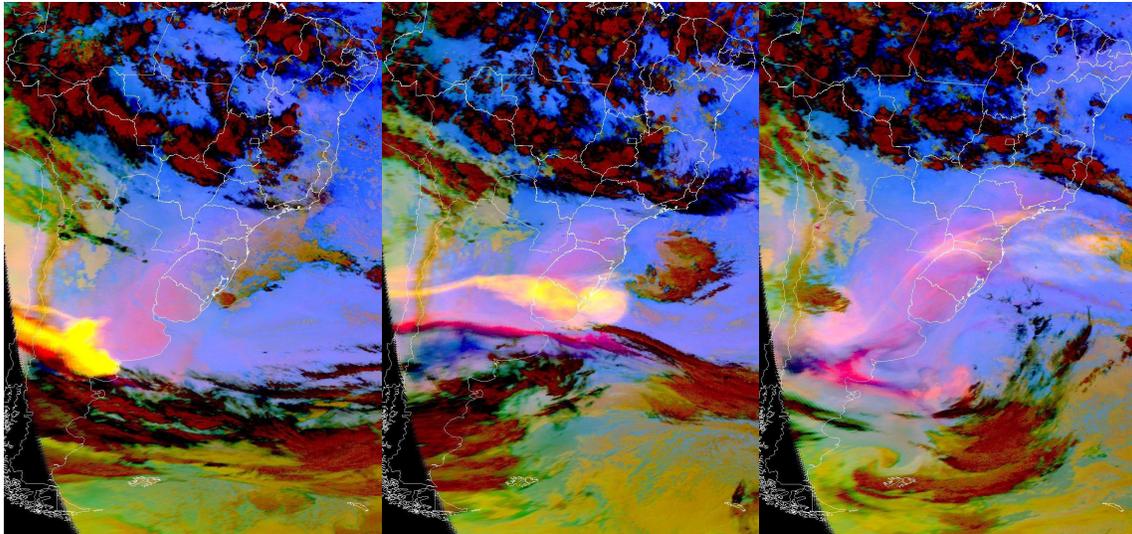


Figura 9 – Composição RGB “Poeira” às 00:00 UTC dos dias 24, 25 e 26/04/2015. Fonte: DSA.

Como estudo de caso de monitoramento de cinza vulcânica com a composição RGB “Poeira”, foi escolhida a erupção do vulcão chileno *Calbuco*, ocorrida no dia 22 de abril de 2015. A nuvem de cinzas foi observada até o dia 27 de abril. A sequência de imagens na Figura 9 mostra o deslocamento das cinzas sobre a América do Sul, inicialmente para leste, e depois também para norte. Esse transporte se deve, provavelmente, à circulação atmosférica de altos níveis. A pluma aparece amarela devido à sua grande espessura ótica (mais vermelho), partículas pequenas (mais verde) e baixa temperatura de brilho em 10.8 μm (menos azul). Na Figura 9 também é possível observar uma porção da pluma menos espessa (menos vermelho), com partículas grandes (menos verde) e mais quente que a superfície (mais azul) num tom azul-escuro, próximo ao vulcão e sobre parte da Argentina.

A pluma de cinza vulcânica chegou ao Sul do Brasil no final do dia 24, e no Sudeste no final do dia seguinte, porém não foram encontradas notícias de cancelamentos de voos nacionais, provavelmente devido a baixa concentração de cinzas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da revisão dos princípios físicos das composições RGB e de um estudo de caso de monitoramento de cinzas vulcânicas do vulcão chileno *Calbuco*, em abril de 2015, utilizando o RGB “Poeira”, nota-se a importância das composições de canais no acompanhamento de sistemas de tempo. Além da análise de imagens de satélite de somente um canal espectral, as composições possibilitam a extração de maior informação da atmosfera, ainda que esse potencial exija um observador treinado e a análise seja subjetiva.

As composições RGB apresentadas têm caráter auxiliar na previsão de tempo, pois a escala de cores para um mesmo fenômeno pode ter variações regionais e sazonais. Torna-se necessária a elaboração de algoritmos mais sofisticados com caráter objetivo, para a quantificação das variáveis atmosféricas. Muitos dessas análises quantitativas com o sensor SEVIRI já são disponibilizados gratuitamente como produtos pela própria EUMETSAT.

Apesar de o MSG cobrir a maior parte da América do Sul, ocorre certa distorção devido ao elevado ângulo de visada do satélite, pois a radiação que chega ao satélite percorre um maior caminho na atmosfera. Uma perspectiva de aprimoramento das observações por satélite para a América do Sul é o lançamento do satélite GOES-R em 2016, que contará com 16 canais espectrais, maior resolução radiométrica e espacial, possibilitando a extração de diversas variáveis através das técnicas de composições de canais.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aminou, D. M. A. et al.: Characteristics of the Meteosat Second Generation (MSG) radiometer/imager: SEVIRI. Proc. SPIE 3221, Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites, 19, 1997.

EUMETSAT: MSG Level 1.5 Image Data Format Description (EUM/MSG/ICD/105 v7), 2013. EUMETSAT, Eumetsat-Allee 1, D-64295 Darmstadt, Germany.

ICAO: Manual on Volcanic Ash, Radioactive Material and Toxic Chemical Clouds Doc 9691 AN/954, 2nd ed., 2007. ICAO, 999 Robert-Bourassa Boulevard, Montréal, Quebec H3C 5H7, Canada.

Lensky, I. M. and Rosenfeld, D.: Clouds-Aerosols-Precipitation Satellite Analysis Tool (CAPSAT), Atmos. Chem. Phys., 8, 6739-6753, 2008.

Rosenfeld, D. and Lensky, I. M.: Satellite-based Insights into Precipitation Formation Processes in Continental and Maritime Convective Clouds, B. Am. Meteorol. Soc., 79, 2457–2476, 1998.