Modelagem das cinzas vulcânicas.

Claudio Augusto Borges Pavani

INPE- GMAI

28/08/2013

1- Para quê simular a dispersão e deposição de cinzas vulcânicas?

As cinzas e os gases emitidos pelos vulcões influenciam no clima, no tempo, e causam danos a agropecuária, danos materiais, e dados à aviação.

É de grande valia principalmente à aviação o monitoramento e a previsão da posição das cinzas vulcânicas suspensas na atmosfera pois as cinzas são corrosivas, degradando a estrutura do avião, principalmente motores, a ponto de pará-los (Mendonça, F. A. C., 2011). Devido aos danos que as cinzas provocam aos aviões, é mais barato cancelar os vôos do que reparar os aviões, para se ter uma idéia da dimensão do problema, em 2010 o vulcão Eyjafjallajökull na Islândia entrou em erupção, o prejuízo provocado pelo cancelamento dos vôos foi calculado em torno de 2,2 bilhões de dólares americanos (http://www.memes.com.br/jportal/portal.jsf?post=24945). Os equipamentos de bordo do avião, incluindo radares, não são eficientes para detectarem cinzas vulcânicas, consequentemente a melhor maneira para se prevenir um acidente é não voar onde haja a possibilidade de sua presença.

No Brasil, nos últimos doze anos mais de 60 aeronaves, a maioria aviões de grande porte, sofreram danos devido a presença de cinzas vulcânicas. Em sete dessas ocorrências houve apagamento de motor em aeronaves transportando mais de 2.000 passageiros (Mendonça, F. A. C., 2011).

A agricultura e agropecuária são afetados principalmente pela quantidade de cinzas depositadas, pois esta mata as plantas por soterramento e por possuírem flúor, que em grandes quantidades é toxico, pode levar até a morte do animal, tornando assim necessário prever a quantidade de cinzas depositadas para estimar os danos causados e tomar medidas preventivas.

2- Uso de satélites na detecção de cinzas vulcânicas

Não é possível distinguir claramente as cinzas vulcânicas das nuvens em imagens de satélite, vide figura 1 por exemplo, porem pelo fato das cinzas possuírem sutis diferenças na absorção e refração de radiação para diferentes canais de comprimentos de onda, é possível detectar cinzas vulcânicas fazendo a diferença entre canais, para mais detalhes olhe <u>http://eumetrain.org/data/1/144/print.htm</u> (acesso 22/08/13).







Figura 1: Nebulosidade dia 06/06/11 às 14 GMT, imagens do satélite GOES da NOAA, a da esquerda no comprimento de onda 3,9µm e a direita no comprimento de onda 10,7µm. Fonte: Simone S. C. et all 2011.

O satélite Meteosat 9 possui o produto Dust RGB, este é a diferença entre o canal IR12.0 e IR10.8 µm, porem mesmo utilizando esta técnica fica difícil a diferenciação entre cinzas e nuvens, como podemos ver na figura 2.



Figura 2: Meteosat 9 Dust RGB, 15 de abril de 2010 11:00UTC. Fonte: <u>http://eumetrain.org/data/1/144/print.htm</u> (acessado: 22/08/13)

Fazendo a diferença da temperatura de brilho dos comprimentos de onda 10,8 e 12,0µm observadas pelo sensor SEVIRI que se encontra no satélite geoestacionário Meteosat-8 é possível detectar cinzas vulcânicas, pois a absorção pela cinza no comprimento 10,8 µm é maior do que em 12 µm, quanto maior a quantidade de cinzas, mais negativa será esta diferença. Esta diferença foi feita pela Simone Sievert da Costa pesquisadora do INPE-DSA. Na figura 3 é possível observar cinzas vulcânicas, porem na figura 4 não é possível observar cinzas, pois estas ficaram abaixo das nuvens ou em baixas altitudes, permitindo que a diferença entre os comprimentos de onda não seja detectada devida emissão e absorção radiativa gerada pela umidade presente na atmosfera e pelas nuvens. No dia 22/06/11 o OVDAS relatou altura de injeção das cinzas vulcânicas em torno de 3km acima da fonte emissora, e para o dia 06/06/11 8km.



Figura 3: Cinzas vulcânicas detectadas pela diferença entre os comprimentos de onda 10,8µm e 12µm, foi possível detectar cinzas. Imagem fornecida pela Simone S. Costa DSA-INPE.

Traços das Cinzas do Vulcão Puyehue — 2011/06/22-0245UTC



Figura 4: Cinzas vulcânicas detectadas pela diferença entre os comprimentos de onda 10,8µm e 12µm, pelo fato das cinzas não estarem em altos níveis não foi possível detectar cinzas, pois estas ficaram abaixo das nuvens ou o sinal foi obscurecido pela umidade atmosférica. Imagem fornecida pela Simone S. Costa DSA-INPE.

O Satélite CALIPSO possui o sensor CALIOP, este emite pulsos lasers e detecta o sinal de retorno, gerado pelo retroespanhamento dos pulsos lasers ao se colidir com partículas suspensas na atmosfera, podendo assim fazer o perfil vertical da atmosfera, veja figura 5 por exemplo, a figura 7 mostra a trajetória do CALIPSO referente a figura 5 e 6 . Fazendo a diferença entre o retroespanhamento dos pulsos lasers, é possível identificar os tipos de aerossóis na atmosfera, como mostra a figura 6. A desvantagem deste satélite na detecção das cinzas vulcânicas é que seu feixe laser tem que passar exatamente sobre as cinzas, vide figura 7 por exemplo.



Figura 5: Sinal de retroespalhamento do laser de comprimento de onda 532nm para o dia 05/06/11.



Figura 6: Distinção entre tipos de aerossóis. Dia 05/06/11. Neste caso específico, o amarelo representa a presença de cinzas vulcânicas.



Figura 7: trajetória do satélite CALIPSO referente as figuras 5 e 6.

3- Modelos de simulação de cinzas vulcânicas

Com o intuito de minorar os prejuízos causados pelos vulcões, a simulação de cinzas está sendo implementada em vários modelos como no modelo NAME da Met Office do Reino Unido, PUFF, FALL3D na Espanha e BRAMS no Brasil, o único modelo no hemisfério sul capacitado para isto.

Graças a uma análise estatística entre a altura de injeção e taxa de emissão, o modelo BRAMS será o único modelo que terá um ensemble da dispersão das cinzas vulcânicas, este ensemble corresponde a incerteza dos dados observados, tanto a respeito da altura de injeção como taxa de emissão do vulcão.

4- Comparação entre observado e Modelo

Pelo fato do CALIPSO mostrar o perfil vertical da atmosfera, se torna mais importante este satélite para validar a qualidade do modelo.

Primeiro caso

No dia 05/06/11 às 6:00h aproximadamente, o satélite CALIPSO passou por cima de uma pluma de cinzas vulcânicas. Fazendo um zoom na região de interesse figura 8, observando os dados obtidos nesta região, figura 9, comparamos com a simulação, figura 10.



Figura 8: Trajetória do satélite CALIPSO, sobre a região de interesse. Barra de cores representa os valores de latitude sobre o trajeto do satélite.



Figura 9: Perfil vertical dos aerossóis observados pelo satélite CALIPSO. Em amarelo está "stratospheric layer", que neste caso representa cinzas vulcânicas. A mancha preta significa que não foi possível observar, pois o sinal de retroespalhamento foi totalmente atenuado.

Na figura 9 pode-se ver que os aerossóis estratosféricos, mancha amarela, cujo neste caso representa as cinzas vulcânicas, possuem grande

concentração, pois o sinal de retroespalhamento foi totalmente atenuado, na localização entre 13 e 12km de altitude, detectada sobre a latitude de -40,9 à -41,4 e longitude -71,0 à -71,2.





Na figura 10 está o perfil vertical da concentração de cinzas vulcânicas sobre o trajeto percorrido pelo satélite CALIPSO, figura 8, esta concentração de cinzas foi obtida pela simulação da dispersão de cinzas vulcânicas utilizando o modelo BRAMS com 30km de resolução horizontal e considerando que para este dia, 05/06/2011, a altura de injeção do vulcão Puyehue foi de 10km de altura. Nesta figura podemos ver que as cinzas possuem altos valores de concentração à aproximadamente 12km de altura em relação a altura do terreno, o terreno possui altitude de 939,45 metros. As cinzas foram detectadas sobre o trajeto do satélite em latitude de -40,7 à -41,4 e longitude de -71,1 à -71,3 aproximadamente. Comparando o modelo, figura 10, com o observado figura 9, podemos dizer que o modelo conseguiu prever com bastante acurácia este caso, pois a posição da pluma e sua altitude estão bastante próximos ao observado.

Segundo caso

No dia 05/06/11 aproximadamente às 17:58, o satélite CALIPSO passou por cima de uma pluma de cinzas vulcânicas. Fazendo um zoom na região de interesse figura 11, observando os dados obtidos nesta região, figura 12, comparamos com a simulação, figura 13.



Figura 11: Trajetória do satélite CALIPSO, sobre a região de interesse. Barra de cores representa os valores de latitude sobre o trajeto do satélite.



Figura 12: Perfil vertical dos aerossóis observados pelo satélite CALIPSO. Em amarelo está "stratospheric layer", que neste caso representa cinzas vulcânicas. A mancha preta significa que não foi possível observar, pois o sinal de retroespalhamento foi totalmente atenuado.

Na figura 12 pode-se ver que os aerossóis estratosféricos, mancha amarela, cujo neste caso representa as cinzas vulcânicas, possuem grande concentração, pois o sinal de retroespalhamento foi totalmente atenuado, na localização entre 10 e 12km de altitude e latitude de aproximadamente -

46,4 à -43,6, com incerteza devido a estimativa de $\pm 0,1$, e longitude de -54,6 à -55,6, com incerteza devido a estimativa de $\pm 0,1$. Pode-se observar que existe uma queda na concentração de cinzas na longitude de -55,1°.



Figura 13: Perfil vertical da concentração de cinzas vulcânicas sobre o trajeto percorrido pelo satélite CALIPSO, trajeto demonstrado pela figura 11. Simulação feita com 30km de resolução horizontal.

Na figura 13 está o perfil vertical da concentração de cinzas vulcânicas sobre o trajeto percorrido pelo satélite CALIPSO, figura 11, esta concentração de cinzas foi obtida pela simulação da dispersão de cinzas vulcânicas utilizando o modelo BRAMS com 30km de resolução horizontal e considerando que para este dia, 05/06/2011, a altura de injeção do vulcão Puyehue foi de 10km de altura. Nesta figura podemos ver que as cinzas possuem altos valores de concentração entre 10 e 12km de altura em relação a altura do terreno, o terreno neste caso é o nível médio do mar. As cinzas foram detectadas sobre o trajeto percorrido pelo satélite em aproximadamente latitude de -46,4 à -44,1, com incerteza devido a estimativa de $\pm 0,1$ e longitude de -54,5 à -55,3, com incerteza devido a estimativa de $\pm 0,05$. Comparando o modelo, figura 13, com o observado figura 12, podemos dizer que o modelo conseguiu prever com bastante acurácia este caso, pois a posição da pluma e sua altitude estão bastante

próximos ao observado. É interessante notar que existe uma queda na concentração próximo a longitude -54,9, esta queda coincide com o observado, dentro da incerteza devido a estimativa.

5- Conclusão e informações adicionais.

O modelo está apresentando resultados satisfatórios em relação a modelagem da dispersão de cinzas vulcânicas apesar de ainda estar em faze de testes.

O modelo possuirá um ensemble que fornecerá a incerteza da saída do modelo devida à incerteza dos dados observados de altura de injeção.

O modelo também conseguiu simular com bastante acurácia utilizando resolução horizontal de 90 e 5km.

A técnica implementada para a modelagem da dispersão de cinzas vulcânicas no modelo BRAMS poderá ser modificada de forma que modele a dispersão de radiação caso haja um acidente nas usinas nucleares, técnica de grande valia para Eletronuclear, leia anexo 7, capitulo 4 do Relatório de sustentabilidade socioambiental 2012 da Eletronuclear.

6- Bibliografia

COSTA, S. M. S.; LIMA, W. F. A.; FREITAS, S. R.; Ceballos, J. C.; Rodrigues, J. V. . Monitoramento dos Traços de Cinzas do Vulcão Chileno Puyehue -Cordón Caulle. In: XVII - Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2012, Gramado. Incertezas e desafios para a sustentabilidade planetária: o papel da ciência meteorológica, 2012. v. unico. p. 1-5

Material didático sobre a composição de canais no infravermelho termal para detecção de cinzas vulcânicas http://eumetrain.org/data/1/144/print.htm (acesso 22/08/2013).

Antonio Costa et all; seminário; FALL3D: An Eulerian model for transport and deposition of volcanic ash; 2010; In: Ash dispersal forecast and civil aviation World Meteorological Organization –Geneva –Switzerland, Oct. 18-20, 2010. Disponível em:

<<u>http://www.unige.ch/sciences/terre/mineral/CERG/Workshop/Program/Costa_</u> <u>Geneva_2010.pdf</u>>. (acessado: 02/09/13).

Modelo NAME:

<<u>http://www.metoffice.gov.uk/media/pdf/n/a/DispersionLeaflet_VolcanicAsh.pdf</u> >(acessado: 22/08/13)

Modelo PUFF:

<<u>http://pafc.arh.noaa.gov/puff/cleveland20010219/cleveland.html</u>> (acessado: 22/08/13)

Comitê de Sustentabilidade Empresarial "Relatório de Sustentabilidade Socioambiental 2012" disponível no site:

<<u>http://www.eletronuclear.gov.br/LinkClick.aspx?fileticket=TRgh3Blgd0A%3D&t</u> abid=40> (acessado: 28/08/13)