



Simulação numérica da atmosfera relacionada ao escorregamento de encosta ocasionado por chuvas intensas Numerical simulation of the atmosphere related to landslides triggered by heavy rainfalls

Marina Aires¹

Jorge Luiz Fernandes de Oliveira²

José Maria de Castro Junior³

Marília Mitidieri Fernandes de Oliveira⁴

Nelson Francisco Favilla Ebecken⁵

Resumo: Os deslizamentos ocorrem frequentemente durante ou após períodos de fortes chuvas. No dia 07 de abril de 2010, chuvas intensas provocaram o escorregamento de um antigo lixão desativado e ocupado indevidamente por moradores de baixa renda na cidade de Niterói, estado do Rio de Janeiro, conhecido como Morro do Bumba. O evento causou danos com cerca de 50 mortes e centenas de desabrigados. Para entender o comportamento do estado da atmosfera nesse dia, foram realizadas simulações com o *Brazilian Regional Atmospheric Modeling System* (BRAMS). Os resultados mostraram que a Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) estava sob a influência de um sistema frontal que provocou acumulados significativos de precipitação, ocasionando enchentes e deslizamentos de encostas. Portanto, as simulações do BRAMS confrontadas com as análises do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) mostraram que o modelo é uma ferramenta útil para a previsão de acumulados significativos, operando com parametrizações sofisticadas.

Palavras-chave: Morro do Bumba, desastre natural, chuvas intensas, BRAMS.

¹ UFF – Universidade Federal Fluminense

² UFF – Universidade Federal Fluminense

³ UFF – Universidade Federal Fluminense

⁴ UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

⁵ UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Abstract: Landslides occur frequently during or after periods of heavy rainfalls. On April 7, 2010, intense rainfalls caused the landslip of an old trash dumping ground that was deactivated and unduly occupied by low-income residents in the city of Niterói, state of Rio de Janeiro, known as Morro do Bumba. The event caused damage with about 50 deaths and hundreds of homeless. Simulations were performed with the Brazilian Regional Atmospheric Modeling System (BRAMS) to understand the behavior of the atmosphere on that day. The results showed that the Metropolitan Region of Rio de Janeiro (RMRJ) was under the influence of a frontal system, which triggered significant accumulation of precipitation, causing floods and landslides. Therefore, the BRAMS simulations compared with the Center for Weather Forecast and Climate Studies (CPTEC) showed that the model is a useful tool for predicting significant accumulations, operating with sophisticated parametrizations.

Keywords: Morro do Bumba, natural disaster, heavy rain, BRAMS.

1. Introdução

Atualmente, o conceito de desastre natural tem se tornado presente em nosso cotidiano. Eles podem ser provocados por fenômenos como tempestades severas, escorregamentos de encostas, erosão do solo, terremotos, tornados, furacões, entre outros. Além da intensidade desses fenômenos, o acelerado processo de urbanização verificado no último século, em grande vários países, muitas vezes em áreas impróprias à ocupação de pessoas, têm aumentado as situações de perigo e de risco à população (Amaral *et al.*, 2009).

Dentre os principais fatores que contribuem para desencadear desastres naturais em áreas urbanas destacam-se a impermeabilização do solo, o adensamento das construções, a ocupação das encostas, a ineficiência do processo de coleta de lixo, o acúmulo de calor à superfície e a poluição do ar, enquanto que nas áreas rurais, destaca-se a compactação dos solos, o assoreamento dos rios, os desmatamentos e as queimadas (Brazetti *et al.*, 2006).

No Brasil, os impactos desses fenômenos têm sido tratados de forma segmentada entre os diversos setores da sociedade. Nas últimas décadas vêm ocorrendo um aumento dos prejuízos causados por estes fenômenos devido ao mau planejamento urbano.

Em 2010, foram registrados no Brasil 862 desastres com reconhecimento da União. Os estados mais afetados foram Santa Catarina, Rio de Janeiro, Piauí e Rio Grande do Sul totalizando cerca de 58% da ocorrência nacional. Os outros estados somaram aproximadamente 16% do total de ocorrências registradas (Anuário Brasileiro de Desastres, 2010).

No estado do Rio de Janeiro, por conta de seu relevo acidentado e a ocupação desordenada do solo, as chuvas intensas da estação de verão podem provocar desastres naturais. No final do verão e começo do outono, apesar de já ter terminado a estação chuvosa, a região está com o solo saturado e conseqüentemente mais vulnerável a deslizamentos (Costa & Hackrott, 2010).

Na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) a ocupação desordenada do solo urbano e o processo de favelização de encostas favorecem a ocorrência de escorregamentos no período chuvoso. No período de 05 a 07 de abril de 2010, sistemas convectivos de mesoescala associados a uma frente fria, provocaram precipitações superiores a 300 mm em 24h, em algumas localidades da RMRJ. A chuva associada a este evento provocou deslizamentos que vitimaram cerca de 50 pessoas em Niterói e 66 na cidade do Rio de Janeiro, deixando 3262 desabrigados e 11439 desalojados (FIOCRUZ, 2011). Além das vítimas, o evento meteorológico causou também transtornos como enchentes, quedas de árvores, problemas de transmissão de energia elétrica, entre outros (Dereczynski *et al.*, 2011). As 50 mortes registradas em Niterói ocorreram no bairro Viçoso Jardim na localidade conhecida como Morro do Bumba, um antigo vazadouro de lixo do município de Niterói.

O objetivo principal do presente trabalho é mostrar que o *Brazilian Regional Atmospheric Modeling System* (BRAMS) é uma ferramenta útil à previsão de chuvas intensas.

Para tal propósito, cruzar-se-ão as simulações do modelo com as análises sinóticas do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) e a sequência de imagens do satélite METEOSAT, canal SPW 10.8.

2. Morro do Bumba

Na década de 1960 iniciou-se um processo de ocupação intenso no bairro do Viçoso Jardim, sendo o Morro do Bumba, um terreno baldio, que passou a ser usado como lixão de Niterói. Com o tempo, a quantidade de lixo jogada no local aumentou significativamente, transformando-se no grande vazadouro da cidade, recebendo centenas de milhares de toneladas de lixo até ser desativado na década de 1980 (Loguercio, 2013). A instalação do lixão favoreceu o processo de migração no local, desencadeando, assim, o processo de “favelização” da área sem que houvesse qualquer tipo de preparação do terreno para receber os resíduos, dispostos diretamente no solo.

No período de 05 a 07 de abril de 2010 os deslizamentos que ocorreram no Morro do Bumba vitimaram cerca de 50 pessoas (FIOCRUZ, 2010) e tiveram como principal característica a ruptura de um material composto por solo e lixo acumulado ao longo de dezenas de anos (Figura 1).



Fonte: LOGUERCIO (2013)

Figura 1. Local do deslizamento no Morro do Bumba

Apesar de estudos realizados na década de 2000 mostrarem que o Morro do Bumba estava situado em uma área de alto índice de deslizamento (Ferrari *et al.*, 2004), a Prefeitura de Niterói não providenciou a remoção das famílias que ocupavam a área. O Mapa de Suscetibilidade das encostas do município de Niterói (Figura 2), elaborado pelo projeto “Avaliação das Encostas de Niterói com Vistas aos Fenômenos de Deslizamentos – Setor 1 (Zonas Centro, Norte e Sul)” mostra que a área do Morro do Bumba, na cor preta, era vulnerável a deslizamentos.



Fonte: Adaptado de Loguercio (2013)

Figura 2. Mapa de suscetibilidade da área do Morro do Bumba

3. Revisão da Literatura

O conceito de desastre natural mais consagrado é o da UN-ISDR (2009) que considera desastre como uma grave perturbação do funcionamento de uma comunidade ou de uma sociedade envolvendo perdas humanas, materiais, econômicas ou ambientais de grande extensão, cujos impactos excedem a capacidade da comunidade ou da sociedade afetada de arcar com seus próprios recursos. A intensidade de um desastre depende da interação entre a magnitude do evento e o grau de vulnerabilidade do sistema afetado (Castro, 2003; Amaral *et al.*, 2009).

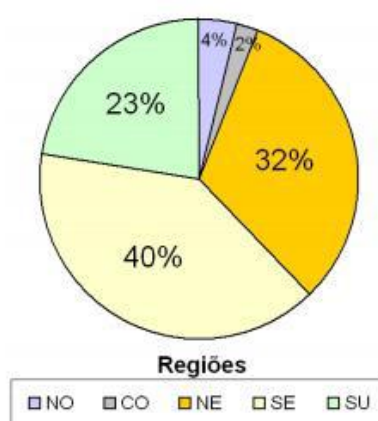
O aumento dos desastres naturais é considerado por diversos autores como consequência do intenso processo de urbanização verificado no país nas últimas décadas, que levou ao crescimento desordenado das cidades em áreas impróprias à ocupação, devido às suas características geológicas e geomorfológicas desfavoráveis. As intervenções antrópicas nestes terrenos, tais como, desmatamentos, cortes, aterros, alterações nas drenagens, lançamento de lixo e construção de moradias, efetuadas, na sua maioria, sem a implantação de infraestrutura adequada, aumentam os perigos de instabilização dos mesmos. Quando há um adensamento destas áreas por moradias precárias, os desastres associados aos escorregamentos e inundações

assumem proporções catastróficas causando grandes perdas econômicas e sociais (Carvalho & Galvão, 2006; Amaral *et al.*, 2009).

Os principais fenômenos relacionados a desastres naturais no Brasil são os deslizamentos de encostas e as inundações, que estão associados a eventos pluviométricos intensos e prolongados. Apesar de as inundações serem os processos que produzem as maiores perdas econômicas e os impactos mais significativos na saúde pública, são os deslizamentos que geram o maior número de vítimas fatais. Este fato justifica a concepção e implantação de políticas públicas municipais específicas para a gestão de risco de deslizamentos em encostas (Carvalho & Galvão, 2006).

Um dos problemas da atualidade nas metrópoles é o crescimento populacional desordenado e o elevado número de pessoas vivendo em favelas, o que gera impactos significativos para o meio ambiente. A remoção da vegetação, a execução de cortes e aterros instáveis para construção de moradias e vias de acesso, a deposição de lixo nas encostas, a ausência de sistemas de drenagem de águas pluviais e coleta de esgotos, a elevada densidade populacional e a fragilidade das moradias aumentam tanto a frequência das ocorrências como a magnitude dos acidentes (Carvalho & Galvão, 2006).

No Brasil, em relação à distribuição espacial, mais de 60% dos casos de desastres ocorreram nas regiões Sudeste e Sul (Figura 3). Essa distribuição está mais associada às características geoambientais do que as socioeconômicas das regiões afetadas. Nessas regiões as instabilidades atmosféricas estão associadas às passagens de frentes frias, a ocorrência de complexos convectivos de mesoescala e a formação de sistemas convectivos no verão, desencadeando intensas chuvas (Marcelino, 2008).



Fonte: Marcelino (2008)

Figura 3. Distribuição das ocorrências de desastres naturais por região do Brasil
Legenda: NO – Norte, CO – Centro Oeste, NE – Nordeste, SE – Sudeste, SU – Sul

Pesquisas têm mostrado que células convectivas (nuvens cumulonimbus) observadas por radar frequentemente desenvolvem-se em padrões repetitivos. Com base nessas características, modelos conceituais têm sido propostos para os tipos mais comuns de

tempestades observadas como, por exemplo, o modelo de células convectivas de vida curta (Byers & Braham, 1949), o modelo de tempestade em multicélulas (Marwitz, 1972, Newton & Frankhauser, 1975), e o modelo para tempestades em supercélulas (Browning, 1964; Lemon & Doswell, 1979).

Segundo Weisman & Klemp (1986), a tempestade em célula individual é o sistema convectivo mais básico. O seu estágio de desenvolvimento consiste em uma simples corrente de ar ascendente que rapidamente alcança a alta troposfera produzindo grande quantidade de água líquida e gelo

Weisman & Klemp (1986) classificam a tempestade em multicélulas como um aglomerado de células convectivas, no qual as correntes descendentes de ar frio proveniente dessas células se combinam formando uma grande frente de rajada e promovendo áreas de convergência ao longo da margem principal, sendo geralmente mais forte na direção do movimento da tempestade e dando origem a novas células, muitas vezes em sua dianteira.

Tempestades de caráter mais severo, que podem provocar ventanias, geralmente se formam em ambientes que possuem forte gradiente vertical de umidade, ou seja, ar bastante úmido em níveis baixos (que atua como “combustível” para formar a célula convectiva pela convergência de umidade) e uma camada de ar bastante seco (ou subsaturado) situada imediatamente acima do ar úmido de baixos níveis (Hane, 1986).

Na região Sudeste, trabalhos recentes evidenciam a interação de sistemas meteorológicos de mesoescala e sistemas de escala sinótica para a gênese de tempestades e fortes chuvas. No trabalho de Bender & Freitas (2012) foram detectados, através de uma análise subjetiva de imagens de satélite do canal infravermelho, casos de linhas de instabilidade que cruzaram a Região Metropolitana de São Paulo entre 2002 e 2009. Os autores encontraram um total de 185 linhas no período analisado e verificaram que apesar de ocorrerem durante todo o ano possuem maior frequência nos meses de verão devido à maior atividade convectiva desta estação. As 185 linhas de instabilidade encontradas no período puderam ser classificadas quanto ao sistema atuante da seguinte maneira: a) pré-frontal (13 casos) quando ocorrem anteriormente à passagem de sistemas frontais; b) associadas a sistemas frontais ou Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (160 casos), c) casos em que a própria banda frontal forma a linha de instabilidade ou quando esta se encontra no oceano, porém, com a formação da linha de instabilidade na parte continental utilizando-se do escoamento de calor e umidade à frente ou de casos embebidos em ZCAS e sistemas isolados (12 casos), quando as linhas são geradas por aquecimento diurno e/ou interação com a brisa marítima. Sendo assim, os autores verificaram que os sistemas de grande escala originaram 94% das linhas de instabilidade encontradas.

Menezes *et al.* (2000) estudaram, do ponto de vista observacional, quatro casos de chuvas intensas ocorridas no verão de 2000 no Estado do Rio de Janeiro, sendo que duas delas

conseguiram se propagar e atingir o município do Rio e as outras duas decaíram antes de atingi-lo. Para o diagnóstico dos eventos, os autores analisaram imagens do satélite GOES-8 e do radar Doppler (CAPPI a 3 Km de altura) do Ministério da Aeronáutica localizado no Pico do Couto (RJ), as análises e previsões do modelo regional ETA/CPTEC e as sondagens do aeroporto do Galeão e mostraram que linhas de instabilidade associadas à forte instabilidade termodinâmica presente no dia do evento foram os sistemas atmosféricos responsáveis pela ocorrência de chuvas intensas no município do Rio de Janeiro.

Xavier (2002) estudou o caso de tempestade multicelular que atingiu a RMRJ no dia 15 de janeiro de 2001, utilizando imagens de radar e análises de modelos regionais. A única característica peculiar significativa encontrada foi a presença de um “bolsão” de temperaturas máximas na região do sistema convectivo, o que indicou que a flutuabilidade devido ao gradiente de temperatura intenso pode ter funcionado como um efeito forçante importante para o disparo da tempestade.

No trabalho de Moura & Escobar (2011) foram encontrados 149 eventos de chuva intensa no Município do Rio de Janeiro, utilizando o percentil de 95% como limiar de chuva extrema diária para a identificação dos casos a serem analisados, tendo como base o banco de dados diários de precipitação da Fundação GeoRio, no período de 1997 até 2010. Para análise dos eventos, os autores avaliaram campos de pressão em superfície associados aos eventos de chuva intensa no Rio de Janeiro, usando dados de pressão ao nível médio do mar (PNMM), proveniente do *National Center for Environmental Prediction* NCEP/*National Center for Atmospheric Research* (NCAR), e verificaram que o avanço de frentes frias sobre o Estado do Rio de Janeiro foi o “gatilho” para a ocorrência dos casos de chuvas intensas encontradas.

Pelas pesquisas apresentadas verifica-se que a ocorrência de eventos extremos de pluviosidade, que desencadeiam a maioria dos desastres naturais na RMRJ, está associada a sistemas meteorológicos de grande escala. Portanto, estudos regionalizados da estrutura e dos mecanismos dinâmicos e termodinâmicos associados a esses sistemas tornam-se ferramentas de grande utilidade para seu entendimento e previsão.

As frentes frias que percorrem o litoral sul-americano, em geral, atingem latitudes em torno de 20°S, onde tem início seu processo de dissipação, conhecido como frontólise (Oliveira, 1986; Satyamurty & Mattos, 1989; Cavalcanti & Kousky, 1996). No litoral do Sudeste do Brasil, estes mesmos autores encontraram um número de sistemas frontais relativamente maior em meses de inverno, quando comparado ao período de verão. O maior tempo de permanência dos sistemas, no entanto, foi observado nos meses de verão, em associação à atividade da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (Satyamurty *et al.*, 1998).

4. Dados e Metodologia

4.1. Dados

Para o presente trabalho utilizaram-se as análises sinóticas e as imagens de satélite disponibilizadas pelo CPTEC. Para alimentar o modelo BRAMS foi utilizada a Reanálise 1 baixada do NCEP/NCAR (Kalnay *et al.*, 1996).

4.2. Metodologia

O BRAMS foi inicializado com a Reanálise 1 para simular o comportamento do ambiente sinótico com o tempo máximo de integração de 144 horas, com 3 grades aninhadas e centradas no Morro do Bumba (-22.89 S e -43.08 W), tendo as grades resoluções de 40 x 40 km (grade 1), 10 x 10 km (grade 2) e 2,5 x 2,5 km (grade 3) (Figura 4) e *nudging* de 21600 na fronteira lateral, 43200 no centro, 21600 no topo. Utilizou-se as parametrizações sofisticadas do modelo. Na Tabela 1 observam-se as configurações das grades utilizadas na pesquisa. Com o passo de tempo e o espaçamento entre pontos garantiu-se a estabilidade do modelo.

Tabela 1. Resumo das Configurações de Grades utilizadas

	Nº. Pontos em X	Nº. Pontos em Y	Δx Δy (Km)	$= \Delta t$ (s)
Grade 1 (G1)	35	35	40	60
Grade 2 (G2)	78	78	10	15
Grade 3 (G3)	34	34	2,5	3,7

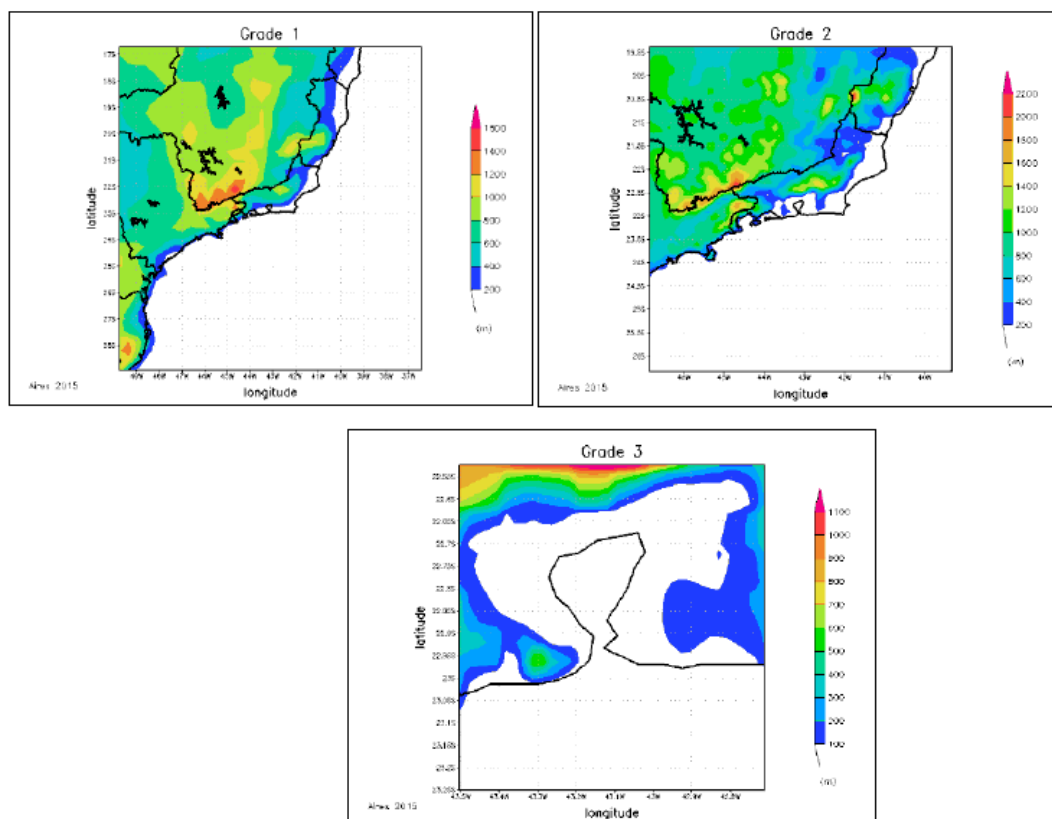
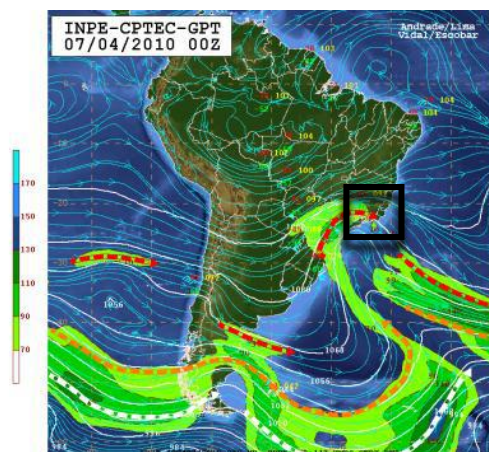


Figura 4. Domínio das Grades utilizadas na pesquisa

As Figuras referentes aos campos de cada variável meteorológica simuladas com o BRAMS foram elaboradas com auxílio do programa *Grid Analysis and Display System* (GrADS) (Doty, 1995).

5. Resultados

Na Figura 5 (a), carta de 250 hPa da 00Z do dia 07/04/2010, observa-se um anticiclone centrado em torno de 10S/62W. Nota-se um certo padrão difluente em áreas das Regiões Norte e Nordeste, também no Espírito Santo (ES) e Minas Gerais (MG), o que aliado ao padrão termodinâmico e ao fluxo de umidade direcionado mais para norte (associado ao sistema frontal), gera instabilidade em algumas localidades destas regiões. Um cavado frontal amplificado estende-se entre o sul de MG, São Paulo (SP) e Atlântico adjacente. Este sistema é contornado pelo Jato Subtropical (JST), que além de dar suporte ao sistema frontal em superfície, também instabiliza parte do leste da Região Sul, e principalmente o Sudeste. Os Jatos Polar Norte (JPN) e Polar Sul (JPS) encontram-se acoplados em praticamente todo o domínio, a sul de 38S (CPTEC, 2010). Comparando-se com a simulação do BRAMS Figura 5 (b), no nível de 250 hPa, no mesmo horário, pode-se observar o escoamento convergindo no sentido sudeste, um pouco mais zonal, a norte do Rio de Janeiro e a presença de um cavado no domínio da grade, em posição coerente com a carta do CPTEC.



Fonte: CPTEC (2010)

Figura 5a. Carta de altitude nível de 250 hPa

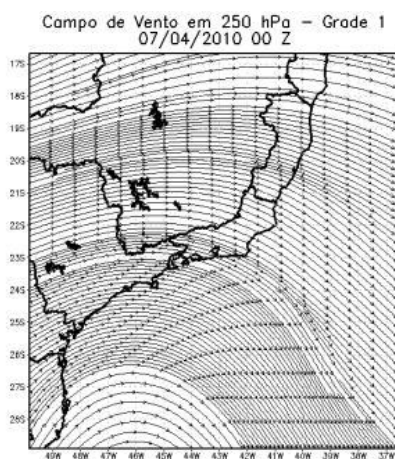
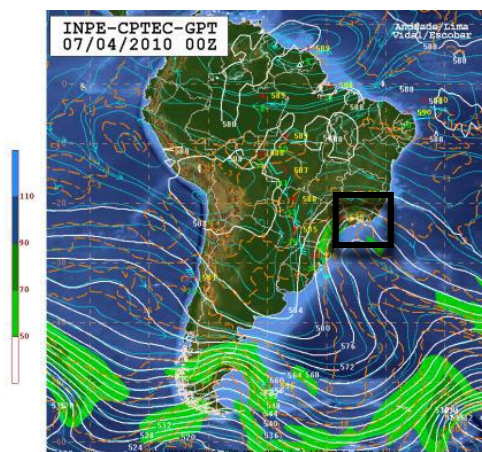


Figura 5b. Simulação do BRAMS

Na Figura 6 (a), carta de 500 hPa da 00Z do dia 07/04/2010, observa-se o reflexo do cavado frontal em altitude, também amplificado neste nível, onde tem-se ventos fortes. Esta configuração, como está acoplada ao sistema em altitude, também ajuda a instabilizar áreas do Sul e Sudeste do país. Um anticiclone centrado em 19S/71W, influencia parte do centro do país, inibindo a formação de nebulosidade, uma vez que o transporte de umidade se encontra direcionado para o leste do país (CPTEC, 2010). Comparando com a simulação, Figura 6 (b), Campo de Vento às 18 Z, a carta de 500 hPa apresenta escoamento zonal na direção noroeste/sudeste. A simulação mostrada na Figura 6 (b) está coerente com a carta do CPTEC.



Fonte: CPTEC (2010)

Figura 6a. Carta de altitude nível de 500 hPa

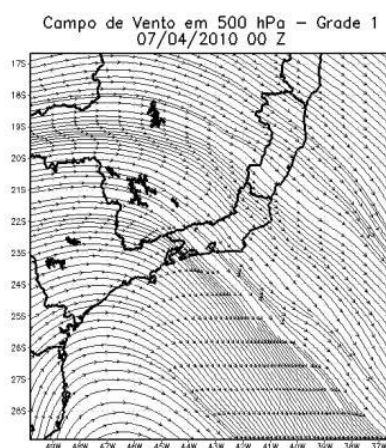
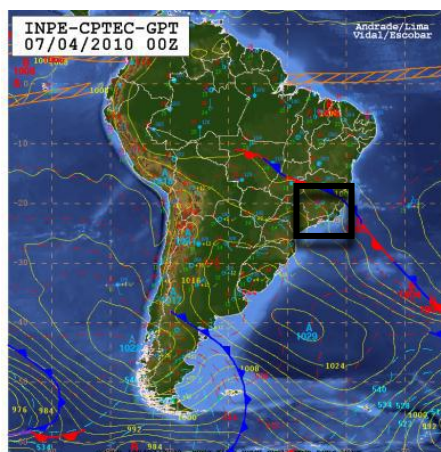


Figura 6b. Simulação com o BRAMS

Na Figura 7 (a), carta de superfície da 00 Z do dia 07/04/2010, observa-se o sistema frontal atuando de forma estacionária entre o Mato Grosso (MT), Goiás (GO) e norte de MG, e de forma fria entre o norte do ES e o Atlântico adjacente. O anticiclone migratório pós-frontal está centrado em 40S/48W, com núcleo de 1029 hPa. Entre o sistema frontal e o anticiclone, observa-se um intenso gradiente de pressão e temperatura, o que gera uma pista de vento, que transporta ar frio e úmido para o continente. Este padrão reforçado pela configuração ciclônica em níveis altos e médios, manteve a condição de chuvas em áreas do Sudeste (leste de SP e no RJ), que embora tenham diminuído, ainda provocou períodos de chuva mais forte e acumulados significativos (CPTEC, 2010).



Fonte: CPTEC (2010)

Figura 7a. Carta à superfície às 00 Z

Na Figura 7 (b), Escoamento na Grande Escala, utilizando a Reanálise (R1), visualiza-se uma frente fria associada a um cavado acima do estado do Rio de Janeiro.

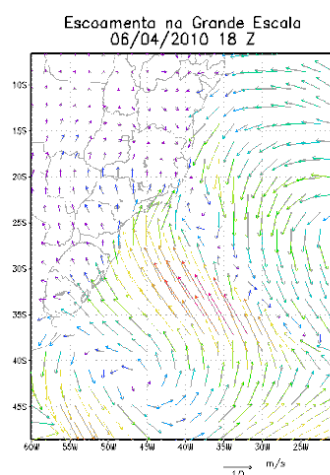


Figura 7b. Escoamento na grande Escala das 18Z, obtido a partir dos dados da Reanálise (R1)

Na Figura 7 (c), Campo de Vento à Superfície, simulado com o BRAMS, verifica-se que os ventos sopram da direção sul, jogando umidade no continente. A imagem da carta disponibilizada pelo CPTEC valida a simulação. Esta configuração sinótica provocou acumulados significativos na cidade de Niterói, provocando o escorregamento do Morro do Bumba.

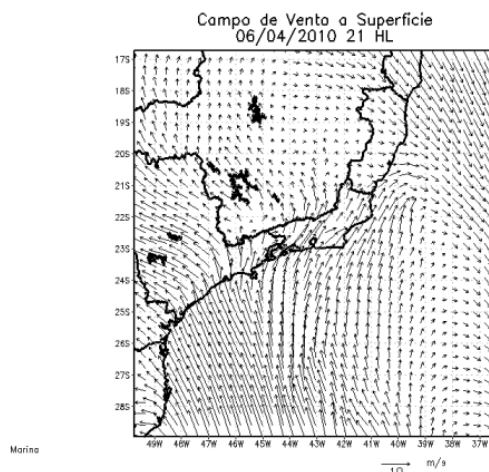


Figura 7c. Campo de Vento à superfície às 21 horas local (simulação com o BRAMS)

A sequência de imagens (Figura 8 a-d) do satélite METEOSAT, canal SPW 10.8 (CPTEC, 2010) mostra o desenvolvimento de um sistema de tempestade na RMRJ, no dia 06/04/2010.

Observa-se que o sistema representado nas cores amarela/vermelha (Figura 8a) localizadas no estado de Minas Gerais desloca-se na direção sudeste (Figura 8b), alcançando parte da RMRJ e encobrindo a Baía de Guanabara. Na Figura 8c observa-se que o sistema se desloca para leste, alcançando a cidade de Niterói. Na Figura 8d observa-se que o sistema se desloca em direção à Região dos Lagos. As cores amarela/vermelha indicam nuvens com pouco desenvolvimento vertical, mas que produziram acumulados significativos na RMRJ.

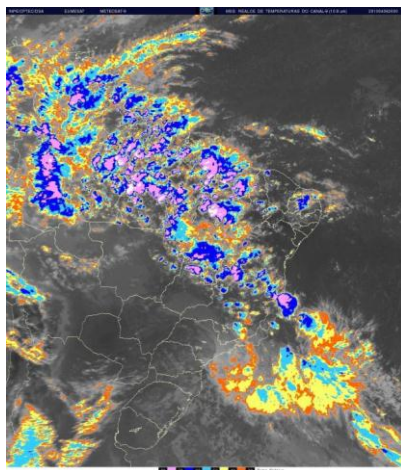


Figura 8a. Imagem de satélite às 20 horas

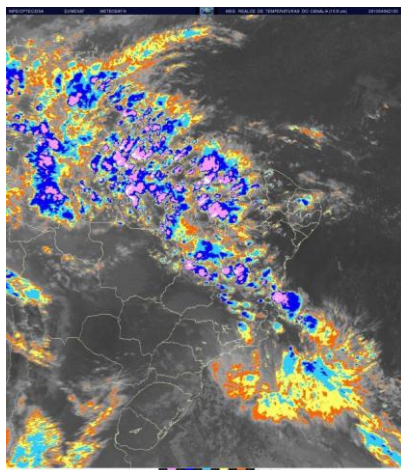


Figura 8b. Imagem de satélite às 21 horas

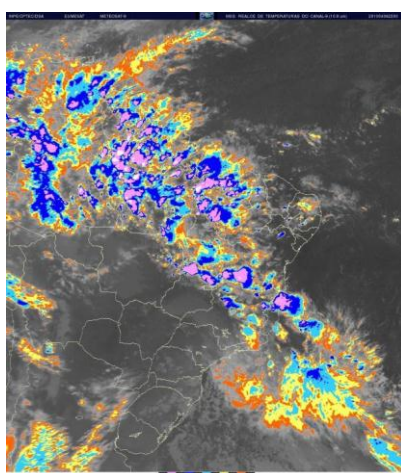


Figura 8c. Imagem de satélite às 22horas

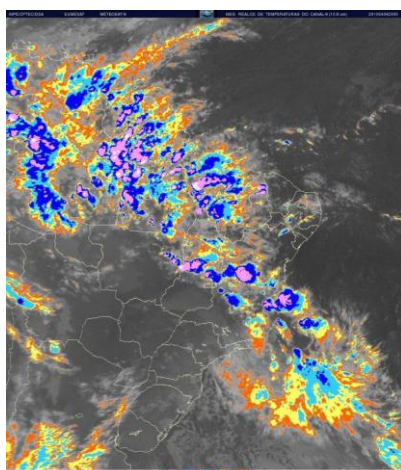


Figura 8d. Imagem de satélite às 23 horas

6. Conclusão

O escorregamento que ocorreu no Morro do Bumba em 2010 teve como principal característica a ruptura de um material composto por solo e lixo acumulado ao longo de dezenas de anos. Segundo a UN-ISDR, desastre é caracterizado como uma grave perturbação de uma comunidade ou sociedade, envolvendo grandes perdas, cujos impactos excedem a capacidade das mesmas em arcar com seus próprios recursos. Apesar do Morro do Bumba não ser uma área geomorfologicamente estável, em função do processo de uso e ocupação irregular do solo, devemos considerar o evento analisado como desastre natural, tendo em vista o número de perdas provocado pela ocorrência de chuvas intensas devido à passagem de uma frente fria sobre a RMRJ.

As simulações do BRAMS mostraram que o modelo é capaz de rodar operacionalmente e prever acumulados significativos de precipitação, utilizando as parametrizações sofisticadas.

7. Referências Bibliográficas

- AMARAL, R.; SANTORO, J.; TOMINAGA, L.K. – Desastres Naturais: Conhecer para Prevenir. Instituto Geológico – Secretaria do Meio Ambiente, Governo do Estado de São Paulo, 2009.
- ANUÁRIO BRASILEIRO de DESASTRES – Projeto Promoção de Cultura de Riscos de Desastres (PCRD), Ministério da Integração Nacional (MIN), 2010.
- BENDER, A e FREITAS, E. D. - Características das linhas de instabilidade sobre a região metropolitana de São Paulo. In Congresso Brasileiro de Meteorologia, 17. 2012, Gramado, Rio Grande do Sul. In: Anais do XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia. Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2012.
- BYERS, H.R.; R.R. BRAHAM, Jr., The Thunderstorm. U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 287p, 1949.
- BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; GONÇALVES, E. F.; KOBAYAMA, M.; MARCELINO, E. V.; MARCELINO, I. P.V. O.; MENDONÇA, M.; MOLLERI, G. S. F.; MORENO, D. A.; RUDORFF, F. M. – Prevenção de Desastres Naturais: Conceitos Básicos – Editora: Organic Trading, 2006.
- BROWNING, K. A. - Airflow and precipitation trajectories within severe local storms which travel to the right of the winds, Journal of Atmospheric Science., v.21, pp. 634-639, 1964.
- CARVALHO, C. S. e GALVÃO, T. Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 2006.

CASTRO, A. L. C. de. Manual de Desastres: Desastres Naturais. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2003. Disponível em: www.defesacivil.gov.br/publicacoes/publicacoesdesastres-mistos.asp. Acesso em: 21 de abril de 2015.

CAVALCANTI, I. F.; KOUSKY, V. E. - Configuração de Anomalias Associadas à Propagação de Sistemas Sinóticos sobre a América do Sul. Anais do IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, Campos do Jordão, 1331-1332, 1996.

CPTEC – Análise Sinótica do dia 07/04/2010. Disponível em: <http://tempo1.cptec.inpe.br> Acessado em 10/06/2015.

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – Chuvas intensas e acumulados significativos causam prejuízos e mortes no Rio de Janeiro em abril de 2010; Instituto de Pesquisas Espaciais, 2010.

COSTA, T. S.; HACKEROTT, J. A. – Estudo de Caso: Evento de precipitação intensa no estado do Rio de Janeiro entre 5 e 10 de abril de 2010. Laboratório de Sinótica, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Ambientais (IAG), Universidade de São Paulo, 2010.

DERECZYNSKI, C. P.; MARENGO, J.; SILVA, M. G. A. J.; SANTOS, I. A. – Clima e Mudanças Climáticas na cidade do Rio de Janeiro. Seminário Megacidades, Vulnerabilidades e Mudanças Climáticas: Região Metropolitana do Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 2011.

DOTY, B. Grid Analysis and Display System Grads - V.1.5.1.12. 1995

FERRARI, A. L.; LUDKA, I.; PENHA, H.M.; SERRANO, B.E. Geologia da Área In: FERRARI, A.L.; SILVA, A. da (Org.) Projeto avaliação das encostas de Niterói com vistas aos fenômenos de deslizamentos – Setor 1 (Zonas Centro, Norte e Sul). Instituto de Geociências da Universidade Federal Fluminense e Secretaria Municipal de meio Ambiente e Recursos Hídricos da Prefeitura de Niterói. Niterói, 2004.

FIOCRUZ - Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica em Saúde – Fiocruz, 2010. Disponível em: <http://www.climasaude.icict.fiocruz.br/desastres/extremos/index.php> Acesso em 25/03/2015.

Hane, C.E. Extratropical squall lines and rainbands. Meso-scale Meteorology and Forecast. P. Ray, Ed American Meteorology Society, 359-389. 1986.

KALNAY, E., et al., The NCEP/NCAR 40-years Reanalysis Project. Bull. Amer. Meteor. Soc., 77: 437-471. 1996.

LEMON, L. R.; DOSWELL III, C. A., Severe thunderstorm evolution and mesocyclone structure as related to tornadogenesis. Mon. Wea. Rev., 107: 1184-1197, 1979.

- LOGUERCIO, J. F. C. – Morro do Bumba, etnografando a transformação de uma paisagem sob múltiplos olhares: da invisibilidade à tragédia, uma página que não deve ser virada. Dissertação (Mestrado em Antropologia), Universidade Federal Fluminense (UFF), 2013.
- MARCELINO, E. V. - Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos. Caderno Didático nº 1. INPE/CRS, Santa Maria, 2008.
- MARWITZ, J. D. - The structure and motion of severe hailstorms. Part II: Multicell storms, J. Appl. Meteorol., v.11, pp. 180-188, 1972.
- MENEZES, W. F.; SILVA PAIVA, L.M., JUSTI DA SILVA, M. G. A.; BELASSIANO, M. - Estudo do ambiente favorável à propagação de sistemas convectivos de mesoescala sobre o município do Rio de Janeiro. Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia. Rio de Janeiro – RJ, 2000.
- MOURA, R. C. W.; ESCOBAR, G. C. J. - Climatologia sinótica de eventos extremos na região metropolitana do Rio de Janeiro. In: Anais IV Simpósio Internacional de Climatologia. 2011, João Pessoa, Paraíba. Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2011.
- NEWTON, C.W.; FRANKHAUSER, J. C. - Movement and Propagation of Multicellular Convective Storms. Pure Appl. Geophys., v.113, p. 747-764, 1975.
- OLIVEIRA, A. S. – Interações entre sistemas frontais na América do Sul e convecção na Amazônia. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, p. 134, 1986.
- ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Living with Risk, A Global Review of Disaster Reduction Initiatives. Inter-agency - International Secretary Strategy for Disaster Reduction (ISDR), Genebra – Suíça, 2004. 398p.
- SATYAMURTY P., C. A. NOBRE e P. L. da SILVA DIAS - Meteorology of the Southern Hemisphere: Chapter 3C, South America, In Meteorological Monographs. Vol. 27, No. 49. 119-139, 1998.
- SATYAMURTY, P. & MATTOS, L. F. - Climatological Lower Tropospheric Frontogenesis in the Midlatitudes Due to Horizontal Deformation and Divergence. Monthly Weather Review, 117: 1355-1364, 1989.
- UN-ISDR – United Nations Office for Disaster Risk Reduction (2009). Disponível em: <http://www.unisdr.org/we/inform/publications/10981>. Acessado em 25/03/2015.
- WEISMAN, M. L.; KLEMP, J. B. - Characteristics of Isolated Convective Storms. In: Ray, P. S., ed. Mesoscale Meteorology and Forecasting. Boston, American Meteorological Society, 1986. 331-358. 1986.