

# AVALIAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL HISTÓRICA DE EVENTOS CHUVOSOS NO RIO DE JANEIRO

*Ligia Maria N. de Araujo<sup>1</sup>, Daniel M. Moreira<sup>2</sup>, Jefferson S. Melo<sup>3</sup>, Alceu P. Mendel Jr.<sup>4</sup>, Nelson Ferreira Fernandes<sup>5</sup>, Elizabeth Guelman Davis<sup>6</sup>*

**ABSTRACT** --- Information about the return period of a hazardous hydrological event recently happened is a concern of the authorities and of the media. The just in time answer to authorities is possible if there is an updated study of intense rainfall for the region, dependent on historical data from a representative monitoring network in space and time, with enough automatic recording gages to sample the spatial variability of regional rainfall. This work evaluates the events of April 2010 and January 2011, both of which generated the more severe damages in non-monitored sites. A comparison was then established with other hazardous events scarcely registered in Rio de Janeiro State. The analysis considered surface and satellite precipitation data, associated damages, land use and vegetation cover, and social environmental indicators, basic information for land use planning and management and for implementing disaster prevention policies.

**Palavras-Chave:** Desastres naturais, rede representativa de monitoramento, incerteza hidrológica.

<sup>1</sup>Aluna do Instituto Alberto Luiz Coimbra – COPPE/UFRJ. ligiamna@hotmail.com

<sup>2</sup>Analista em Geociências da CPRM- Serviço Geológico do Brasil. daniel.moreira@cprm.gov.br

<sup>3</sup>Analista em Geociências da CPRM- Serviço Geológico do Brasil. jefferson.melo@cprm.gov.br

<sup>4</sup>Analista em Geociências da CPRM- Serviço Geológico do Brasil. alceu.mendel@cprm.gov.br

<sup>5</sup>Professor do Instituto de Geociências – IGEO/ UFRJ. nelsonff@acd.ufrj.br

<sup>6</sup>Pesquisador em Geociências da CPRM- Serviço Geológico do Brasil. elizabeth.davis@cprm.gov.br

## Introdução

A gestão dos recursos hídricos está, provavelmente, diante dos maiores desafios que pressionam a humanidade nos dias de hoje, sejam oriundos das condições de escassez ou de ocorrência de cheias. O fornecimento de água em quantidade e qualidade suficientes e a geração de energia com base hídrica são fundamentais para a manutenção da saúde humana, para a redução da pobreza e para o desenvolvimento. De outro lado, o excesso de água proveniente de eventos extremos e agravados por condições precárias de urbanização representam, em pleno alvorecer do terceiro milênio, uma das principais causas de mortes e prejuízos patrimoniais tanto individuais quanto para a sociedade como um todo.

Segundo Kelly (2006), os prejuízos econômicos decorrentes de eventos meteorológicos extremos nos Estados Unidos consomem cerca de um sétimo da economia por ano, e os esforços empregados na modernização da tecnologia e do uso das informações do tempo, do clima e dos recursos hídricos possibilitam a redução de perdas bilionárias na economia do país.

Adicionalmente, de acordo com a Organização Meteorológica Mundial (WMO), os países menos desenvolvidos são mais vulneráveis às enchentes, que causam prejuízos significativos em relação a seus produtos internos brutos. Um sumário com base no Banco Internacional de Desastres OFDA/CRED, mantido pela Universidade Católica de Louvain, Bélgica, calculado com dados de 1900 a 2007, mostra uma média de mortes anuais devidas a enchentes no mundo de 64.120 pessoas e perdas de US\$ 3,5 bilhões anuais (US\$ 119 milhões por evento). Para o Brasil, esse banco de dados registra, no período de 1948 a 2007, uma média de mortes anuais devidas a enchentes de 99 pessoas e perdas de US\$ 78 milhões anuais (US\$ 52 milhões por evento). Esses dados categorizam as enchentes anuais como o principal desastre natural do país, tanto no total de pessoas mortas ou afetadas, quanto em perdas econômicas, realçando o problema das inundações como significativo e merecedor de crescente preocupação por parte da sociedade brasileira.

A unidade operativa fundamental na implementação de ações estratégicas para a gestão de recursos hídricos é a bacia hidrográfica, incluindo-se aí a sua delimitação superficial e seus limites subterrâneos, que nem sempre coincidem com os de superfície e, muitas vezes, são desconhecidos.

Apesar do grande avanço já alcançado, o estágio atual do conhecimento na área de hidrologia e de desenvolvimento de seus modelos não permite ainda realizar previsões seguras, sejam de curto prazo ou de resposta às mudanças climáticas ou de uso e cobertura do solo para as grandes bacias. Por sua vez, a utilização de sensoriamento remoto via satélite no monitoramento hidrológico poderá suprir, em parte, as informações importantes para a previsão de eventos críticos de cheias e vazantes, para a avaliação de disponibilidade hídrica e ainda dos efeitos das mudanças climáticas sobre a hidrologia.

Abordar, de forma efetiva, o tema de eventos extremos demanda o emprego de uma diversidade de considerações que envolvem os seguintes domínios:

- a aquisição e interpretação de dados e informações sobre os processos físicos e características geoambientais relativas ao ciclo da água em escalas compatíveis com a unidade de análise;
- a compreensão da relação entre as escalas espaço-temporais naturais de observação e de modelagem dos fenômenos hidrometeorológicos;
- a compreensão do funcionamento e comportamento de bacias de diferentes características geomorfológicas bem como sob diferentes formas de antropização;
- a consideração dos fluxos biogeoquímicos associados ao ciclo da água.

Nesse sentido, em função da abrangência dos esforços para tratamento do assunto, optou-se, neste trabalho, por explorar, com maior profundidade, os eventos chuvosos catastróficos ocorridos no período de 5 a 7 de abril de 2010 nas cidades do Rio de Janeiro e Niterói, e no dia 12 de janeiro de 2011 nas cidades da região serrana do RJ, com base no histórico de dados e estudos disponíveis para a região.

Para comparação, são apresentados os índices pluviométricos de eventos históricos e comentados relatos de desastres ocorridos no estado do RJ. A distribuição espacial das chuvas é confrontada com a distribuição atual da população (IBGE, 2003), permitindo algumas ponderações sobre a propensão a desastres dessas regiões.

Nas regiões que mais sofreram com as chuvas dos dois eventos mais recentes, verificam-se lacunas de informação de precipitação, indicando que a rede de monitoramento existente não é representativa do ponto de vista espacial, tão pouco da distribuição temporal das intensidades das precipitações, pois são muito poucas as estações registradoras automáticas na região.

No estado do Rio de Janeiro, a ocorrência de chuvas de grande intensidade é frequente, com relatos encontrados em documentos históricos e registros mais recentes obtidos de estações de monitoramento, evidenciando-se o fato de que os desastres naturais associados a esses eventos chuvosos tornam-se mais severos a cada ano, em especial sob o ponto de vista de percepção da sociedade. Essa evolução pode ser interpretada de diversas formas, tendo como causas mais citadas as potenciais mudanças climáticas globais e efetivas modificações no uso e cobertura do solo, com desmatamento e ocupação desordenada de encostas e planícies de inundações, ou a combinação de todos esses fatores.

A localização do estado do RJ em região tropical e a proximidade da superfície oceânica não explicam, por si só, a elevada pluviosidade da região. A esses fatores, que criam pré-condições para a alta pluviosidade, estão associados mecanismos dinâmicos de massas de ar polares e oceânicas, atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e ainda fatores estáticos orográficos proporcionados pela orientação SO/NE da Serra do Mar.

Na região serrana do Rio de Janeiro, a topografia bastante acidentada, que é proporcionada por rochas cristalinas do escudo brasileiro, aumenta a turbulência do ar pela ascendência orográfica, favorecendo as precipitações. Os fatores dinâmicos e estáticos determinam, para a região, o clima tropical úmido de altitude, com altos índices pluviométricos e temperaturas médias a baixas. A região mais baixa, tanto pelo efeito adiabático como pela continentalidade, está condicionada a amplitudes térmicas distintas de inverno e verão de um clima sub-úmido. Nas encostas íngremes, a pluviosidade média anual ultrapassa os 2.000mm, como nas cidades de Petrópolis e Teresópolis. Nas proximidades dos municípios de Areal e São José do Rio Preto, a média pluviométrica decresce abruptamente para 1.300mm, com períodos secos e déficits hídricos bastante pronunciados.

Destaca-se que o objetivo mais geral do trabalho é fundamentar a abordagem metodológica para construção de sistema de alerta hidrometeorológico que monitore as potenciais situações de risco, seja de inundações seja de deslizamentos, em especial, na região serrana do Rio de Janeiro. Mais especificamente, analisam-se os índices pluviométricos observados durante os eventos mais recentes, o histórico de dados e estudos de chuvas intensas disponíveis, com vistas a melhor estimar tempos de retorno desses eventos hidrológicos extremos. O seu conhecimento, que expressa a frequência ou raridade do evento chuvoso ocorrido, é uma preocupação das autoridades governamentais e da mídia, logo nas primeiras horas que se seguem aos desastres associados.

Busca-se relacionar as causas e as consequências, ou o que ocorreu do ponto de vista meteorológico e dos pontos de vistas hidrológico e geotécnico (inundações e deslizamentos).

Evidencia-se, assim, a importância do monitoramento hidrometeorológico e do aumento de sua amostragem no espaço e no tempo, e ainda a oportunidade de incorporar o uso de novas tecnologias de sensoriamento remoto disponíveis, de forma a propiciar o conhecimento da realidade dos índices pluviométricos do estado do RJ, que é fundamental à convivência inevitável com os eventos chuvosos e à implementação de ações de prevenção e minimização dos desastres associados.

### **Antecedentes históricos de ações sobre eventos extremos no Rio de Janeiro**

A história do monitoramento hidrológico no estado do Rio de Janeiro está relacionada a iniciativas tomadas pelo poder público (municipal, estadual e federal), motivadas pela ocorrência de eventos críticos catastróficos no estado. Isto pode ser verificado no gráfico tipo linha do tempo da figura 1.

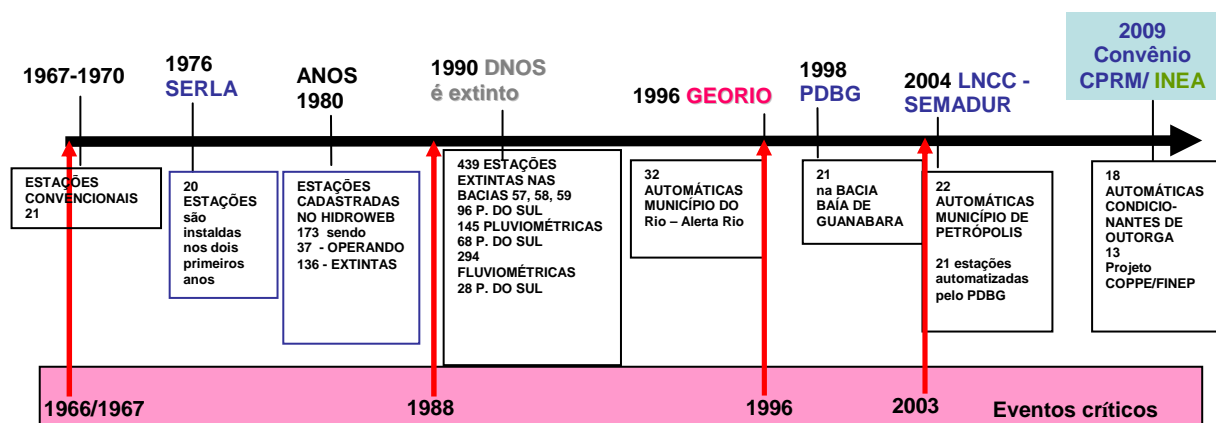


Figura 1- Linha do tempo da evolução das redes de monitoramento pluviométrico no estado do RJ

Na década de 1981 a 1990, centenas de estações foram descontinuadas no estado. A instalação do Alerta Rio (Sistema de Alerta de Chuvas Intensas e de Deslizamentos em Encostas da Cidade do Rio de Janeiro), em 25 de setembro de 1996, constituiu a realização de uma das recomendações apresentadas durante o Seminário Prevenção e Controle dos Efeitos dos Temporais do Rio de Janeiro, pelo Grupo de Trabalho I, realizado em 28 de fevereiro (Pinguelli Rosa e Lacerda, 1997), 15 dias após o evento catastrófico de 13 de fevereiro de 1996. São 32 estações pluviométricas automáticas localizadas em pontos representativos e estratégicos do município do Rio de Janeiro, que geram informação em tempo real para a Defesa Civil e a sociedade, operadas pela GEORIO. Com as chuvas de abril de 2010, a Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro tomou a decisão de adquirir um radar meteorológico, para ser instalado no Sumaré e dar acesso a informações de precipitações que se originam entre as altitudes de 700m e 1800m, as quais o radar do Pico do Couto, único utilizado até então na previsão do Alerta Rio, não consegue captar por estar situado a uma altitude de 1800m.

Em especial, para o município do Rio de Janeiro, uma parte da região mais afetada pelas chuvas de abril de 2010, foi possível empreender um levantamento dos eventos catastróficos já ocorridos e de que se tem registro, tendo-se como fonte principal o livro Tormentas Cariocas, resultante do Seminário de 1996 (Pinguelli Rosa e Lacerda, 1997) e outras disponíveis na rede internacional de computadores (Internet). Essas ocorrências estão resumidas no quadro 1.

Quadro 1 - Resumo das ocorrências históricas de chuvas intensas na cidade do Rio de Janeiro e no RJ (continua)

| Ano  | Período    | Ocorrência                      | Máx. 24 horas (mm) | Local/ Estação                  | Conseqüências e local                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Total de vítimas fatais | Desabrigados/desalojados |
|------|------------|---------------------------------|--------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1711 | Setembro   |                                 |                    |                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                         |                          |
| 1756 | 4 a 6/04   | grande temporal                 |                    |                                 | Inundações em toda a cidade, do Valongo até a Sé, desabamentos, inúmeras vítimas                                                                                                                                                                                                                                                 |                         |                          |
| 1811 | 10 a 17/02 | catástrofe/inundações/enxurrada |                    |                                 | Desmoronamento, muitas vítimas Morro do Castelo, enormes prejuízos materiais, enxurrada descia dos morros que cercavam a cidade, enormes prejuízos materiais e de vidas humanas, desabamento de muitas casas e muitas vítimas. Ficou conhecido como "Águas do Monte". O Príncipe Regente encomendou estudo sobre as suas causas. | muitas                  | muitas                   |
| 1851 |            | início das observações          |                    | Estação Climatológica Principal |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                         |                          |
| 1883 | 26 a 28/04 | 30% do total anual              | 239                |                                 | Grandes impactos sobre toda a cidade                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                         |                          |
| 1884 | Dezembro   |                                 | >100               |                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                         |                          |
| 1886 | Fevereiro  |                                 | >100               |                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                         |                          |
| 1888 | Abril      | evento de fortes chuvas         | 97                 |                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                         |                          |
| 1906 | 17/03      | temporal                        | 165                |                                 | Transbordou o Canal do Manguê, alagou quase toda a cidade, desmoronamento com mortes em Santa Teresa, Santo Antônio e Gamboa                                                                                                                                                                                                     | algumas                 |                          |
| 1916 | 7 a 9/03   | um dos maiores temporais        | (141mm)            |                                 | Alagamentos de vários bairros nos subúrbios, desabamentos com vítimas fatais                                                                                                                                                                                                                                                     | algumas                 |                          |
|      | 17/06      | 18% do total anual              |                    |                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                         |                          |

Quadro 1 - Resumo das ocorrências históricas de chuvas intensas na cidade do Rio de Janeiro e no RJ (continuação)

| Ano  | Período         | Ocorrência                                                                     | Máx. 24 horas (mm) | Local/ Estação     | Conseqüências e local                                                                                                                                                   | Total de vítimas fatais | Desabrigados/ desalojados |
|------|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| 1924 | 3/04            | inundações                                                                     | 172                |                    | Transbordamento do Canal do Mangue, inundações na Praça da Bandeira e vários bairros, desabamentos de barracos com vítimas no Morro de São Carlos                       | algumas                 |                           |
| 1928 | 26/02           | grande temporal                                                                |                    |                    | Desabamentos com mortes nos Morros do Salgueiro, São Carlos, Mangueira e Santo Antônio, inundações na Praça da Bandeira e bairros circunvizinhos                        | algumas                 |                           |
| 1938 | 9/02            | temporal dos mais violentos                                                    | 136                |                    | Alagamento de vários bairros, desabamento de prédios, vítimas fatais                                                                                                    | algumas                 |                           |
| 1940 | 29/01           | temporal violento                                                              | 112                |                    | Alagamentos em quase toda a cidade e mortes por desabamentos no bairro de Santo Cristo                                                                                  | algumas                 |                           |
| 1942 | 6 e 7/01        |                                                                                | 132                |                    | Desabamentos com mortes no Morro do Salgueiro                                                                                                                           | 5                       |                           |
| 1950 | 6/12            | temporal                                                                       |                    |                    | Alagamento de vários bairros, desabamento de barracos e vítimas fatais                                                                                                  | algumas                 |                           |
| 1962 | 15 e 16/01      | grande temporal                                                                | 242                |                    | Transbordamento do Canal do Mangue e do Rio Maracanã e deslizamentos em vários pontos                                                                                   | 25                      | centenas                  |
| 1966 | 11/01 (ou 2/01) | no dia 11 foram 11% do total anual, em 48 horas foram 45% do total médio anual | 237 ou 245         |                    | uma das maiores calamidades                                                                                                                                             | 250                     | 50.000                    |
| 1967 | 20/01           |                                                                                |                    |                    | Inundação generalizada e colapso dos sistemas de transporte e de distribuição de EE, desabaram uma casa e dois edifícios entre as ruas Belisário Távora e Gal. Glicério | mais de cem (200)       | milhares                  |
|      | Fevereiro       |                                                                                | 160                |                    |                                                                                                                                                                         |                         |                           |
| 1971 | 26/02           | enchentes de grande abrangência                                                | 125 a 150          |                    | Quase todos os bairros, enchentes e desmoronamentos, transtornos, prejuízos e mortes                                                                                    | algumas                 |                           |
| 1973 | 17/01           | enchentes de grande abrangência                                                | 125 a 150          |                    |                                                                                                                                                                         |                         |                           |
| 1975 | 4/05            | enchentes de grande abrangência                                                | 125 a 150          |                    |                                                                                                                                                                         |                         |                           |
| 1976 | 1/05            | enchentes de grande abrangência                                                | 125 a 150          |                    |                                                                                                                                                                         |                         |                           |
| 1981 | 8/12            | 15% do total anual                                                             |                    |                    | Deslizamentos em vários pontos da cidade . Rios e canais transbordaram, inundando várias áreas de Jacarepaguá                                                           |                         |                           |
| 1982 | 3/12            | chuva rápida de 41mm                                                           |                    | Aterro do Flamengo | Deslizamentos no Morro do Pau da Bandeira, inundação de várias ruas com o transbordamento do rio Faria Timbó                                                            | 6                       |                           |
| 1983 | 20/03           | episódios de dimensões catastróficas                                           | 189                |                    | Desabamento em Santa Teresa e transbordamento de rios e canais em Jacarepaguá.                                                                                          | 5                       | >150                      |
|      | 24/10           | forte temporal                                                                 |                    |                    | Deslizamento no Morro do Pavãozinho                                                                                                                                     | 13                      |                           |
| 1985 | 3/03            |                                                                                |                    |                    | Desabrigados nos Morros João Paulo II, Formiga, Sumaré e Rocinha                                                                                                        | 23                      | 200                       |
|      | 12/04           |                                                                                | 144                |                    | Jacarepaguá, transbordamento de rios e canais                                                                                                                           | 2                       |                           |
| 1986 | 6 e 7/03        | sério temporal                                                                 | 121                |                    | Desabamento de barracos nos Morros do Salgueiro, Estácio, Catumbi e Rio Comprido                                                                                        | 12                      |                           |
|      | Abril           |                                                                                |                    |                    |                                                                                                                                                                         |                         |                           |
|      | 29/12           | 64mm em três horas                                                             |                    |                    | Transbordamento do rio Maracanã e desabamento de barracos com vítimas fatais                                                                                            |                         |                           |
| 1987 | 26/02           | Enchente                                                                       |                    |                    | Petrópolis, Teresópolis e Rio de Janeiro                                                                                                                                | 292                     | 20.000                    |

Quadro 1 - Resumo das ocorrências históricas de chuvas intensas na cidade do Rio de Janeiro e do RJ (continuação)

| Ano  | Período        | Ocorrência                                     | Máx. 24 horas (mm) | Local/ Estação                     | Conseqüências e local                                                                                                                                                                     | Total de vítimas fatais | Desabrigados/ desalojados |
|------|----------------|------------------------------------------------|--------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| 1988 | 3/02           | 10% do total anual                             |                    |                                    | Deslizamento no Morro Dona Marta, encostas desmatadas e solo mal consolidado deslizaram com grande violência, destruição e morte                                                          | 6                       | 300                       |
|      | 12/02          | 16% do total anual                             |                    |                                    |                                                                                                                                                                                           |                         |                           |
|      | 19 a 22/02     | 384mm                                          | 192 ou 230         |                                    | Deslizamentos com grande violência, Clínica Santa Genoveva em Santa Teresa soterrada, casas e edifícios desabaram, logradouros públicos submersos                                         | 82 (289)                | milhares (18.560)         |
| 1989 | 11/06          |                                                | 179                | Santa Teresa                       | Alagamento de várias ruas, deslizamentos, na Ladeira Ari Barroso no Leme uma pedra rolou, alagamento do hipódromo da Gávea                                                                | 3                       |                           |
|      | 12/06          |                                                |                    |                                    |                                                                                                                                                                                           |                         |                           |
|      | 7/07           |                                                |                    |                                    | Rolou uma pedra no Morro da Viúva, causando transtornos em Botafogo.                                                                                                                      |                         |                           |
| 1990 | 18/04          |                                                | 165                | Aterro do Flamengo                 | Desabamento de barracos                                                                                                                                                                   | 4                       |                           |
| 1991 | 17/01          |                                                |                    |                                    |                                                                                                                                                                                           | 25                      |                           |
|      | 7/05           |                                                | 103                | Maracanã                           |                                                                                                                                                                                           | 3                       |                           |
| 1992 | 5/01           |                                                | 132                | Maracanã                           | Bairros da zona Norte afetados                                                                                                                                                            | 7                       |                           |
| 1993 | 27/02          | temporal                                       |                    |                                    |                                                                                                                                                                                           |                         |                           |
|      | 6/03           | temporal, 11% do total anual em 6 horas        |                    |                                    | Enchente e transtorno                                                                                                                                                                     |                         |                           |
|      | 12/03          | temporal                                       |                    |                                    | Enchente e transtorno                                                                                                                                                                     |                         |                           |
|      | 19/03          | temporal, 25% do total anual em todo o período |                    |                                    | Enchente e transtorno                                                                                                                                                                     |                         |                           |
| 1994 | 2/03           |                                                | 58                 | Maracanã                           | Enchente nos bairros da zona Norte                                                                                                                                                        |                         |                           |
|      |                |                                                | 96                 | Capela Mayrink                     |                                                                                                                                                                                           |                         |                           |
|      | 9/06           |                                                | > 100              | Vários pontos da cidade            | Interrupção das funções básicas da cidade e estabelecimento do caos, sobretudo na Zona Sul                                                                                                |                         |                           |
| 1996 | 13/02          | 200mm em 8 horas                               | 200                | Vertente Sul do Maciço da Tijuca   | Zonas Sul e Oeste, especialmente Jacarepaguá 38 deslizamentos de barreiras, trágicas conseqüências, comparáveis ao "Águas do Monte", 1966, 1967 e 1988                                    | 59                      | 1.500                     |
|      |                |                                                | 55                 | Vertente Norte do Maciço da Tijuca |                                                                                                                                                                                           |                         |                           |
| 1999 | Janeiro        | Enchente                                       |                    |                                    | Rio de Janeiro e municípios do Vale do Paraíba e região serrana                                                                                                                           | 41                      | 180 famílias              |
| 2000 | Janeiro        | Enchente                                       |                    |                                    | Municípios do Petrópolis, Teresópolis, Casimiro de Abreu e Barra Mansa                                                                                                                    | 22                      | 133 famílias              |
| 2003 | Fevereiro      | Enchente                                       |                    |                                    | Municípios da região serrana, Sul e Norte Fluminense                                                                                                                                      | 36                      | 823/ 870                  |
| 2009 | 31/12/2009     | temporal                                       |                    |                                    | Angra dos Reis - deslizamentos                                                                                                                                                            | 52                      |                           |
| 2010 | 5 a 6 de Abril | temporal                                       | 304                | na Rocinha                         | Rio de Janeiro, Niterói; São Gonçalo; Nilópolis, Magé, Petrópolis e Paracambi.                                                                                                            | 256                     | 12.500                    |
| 2011 |                |                                                | 231                | Nova Friburgo                      | Areal, Bom Jardim, Nova Friburgo, Petrópolis, Santa Maria Madalena, São José do Vale do Rio Preto, São Sebastião do Alto, Sapucaia, Sumidouro, Teresópolis, Trajano de Moraes e Três Rios | 914                     | 8.789                     |

Fontes: Brandão (1997); Defesa Civil/ RJ; e Blog Wordpress Aleosp, 2008 e SEA/RJ.

## Metodologia

Para a elaboração do trabalho, coletaram-se os dados disponíveis das estações pluviométricas automáticas e convencionais da rede de monitoramento hidrometeorológico existente. A rede automática está mais concentrada no município do Rio de Janeiro. No restante do estado a densidade de estações, mesmo das convencionais, é mais baixa, chegando a ser rarefeita em algumas regiões do interior do estado (figura 2).

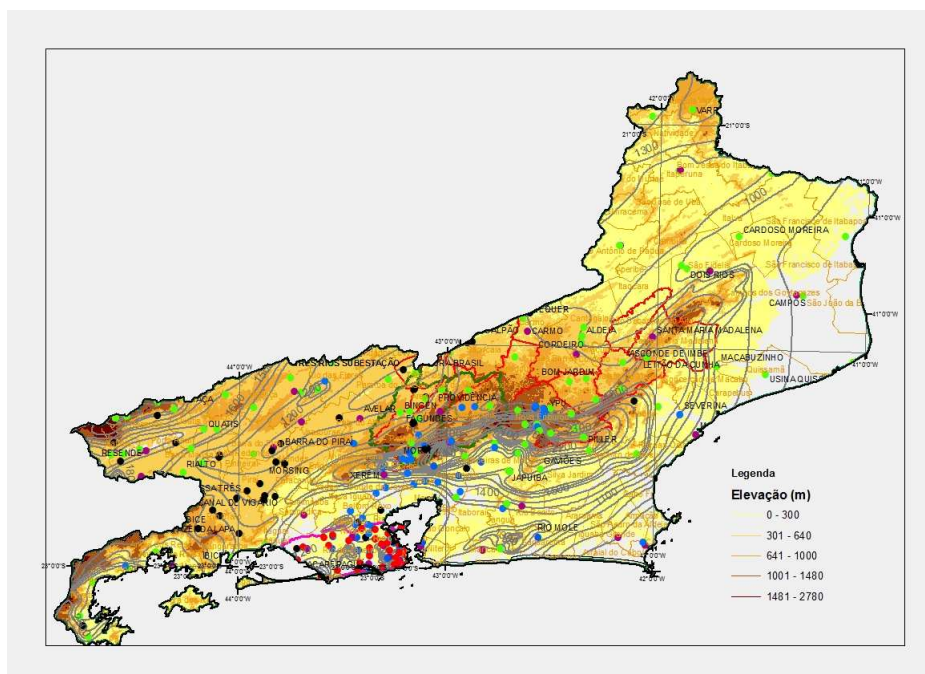


Figura 2 - Rede pluviométrica em operação no estado do RJ

A rede pluviométrica em operação encontra-se na figura 2 representada por pontos negros e coloridos. Os pontos azuis correspondem às estações do INEA/RJ, órgão gestor de recursos hídricos e responsável pela rede hidrometeorológica do estado; os de cor lilás são estações da rede meteorológica do INMET; e os de cor vermelha são as estações da rede da GEORIO.

Nas horas que se seguiram dos eventos de abril de 2010 e janeiro de 2011, foram levantados os dados observados pela rede pluviométrica automática existente, com a finalidade de caracterizar a expressividade dos eventos chuvosos quanto à intensidade e abrangência espacial.

Os dados de precipitação analisados foram levantados junto aos sítios eletrônicos:

- da GEORIO <<http://www2.rio.rj.gov.br/georio/site/alerta/download.htm>>,
- do INMET <<http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php>>, e
- do INEA/RJ <<http://www.inea.rj.gov.br/recursos/recursos.asp>>

Já no dia seguinte aos eventos também foram contatados os observadores das estações convencionais, de modo a se obterem os totais pluviométricos lidos às 7:00h de cada dia em estações próximas às ocorrências de deslizamentos.

Posteriormente, foram procurados os dados observados pelas estações convencionais da rede de responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA) <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>.

Os eventos de abril de 2010 e janeiro de 2011 foram estudados em separado, pois as áreas mais atingidas foram distintas, conforme mostra a figura 3.

As ocorrências mais graves, em consequência das chuvas, foram localizadas em um mesmo mapa, juntamente com as estações pluviométricas e os respectivos índices observados, e os setores censitários classificados pela população neles residente, verificando-se os índices observados e a densidade demográfica das áreas mais afetadas.

A consequência mais severa deste evento, em número de vítimas fatais, ocorreu, aproximadamente, 51 horas após o início das chuvas e do outro lado da baía de Guanabara, na cidade de Niterói, em local conhecido como Morro do Bumba. Lá, diferentemente do município do Rio, não havia monitoramento automático sistemático, com a finalidade de alerta, e mesmo a rede convencional apresenta-se pouco densa. Durante o evento, as duas estações mais próximas □ Niterói do INMET e do INEA □ não estavam funcionando.

Em uma tentativa de se estimar a precipitação ocorrida em Niterói, foram coletados dados de sensoriamento remoto produzidos pelo satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), que apresenta, relativamente, alta resolução espacial ( $0,25^\circ \sim 25\text{km}$ ) e baixa resolução temporal, mas que pode ser melhorada usando-se seus totais acumulados mensais para corrigir estimativas baseadas em imagens do infravermelho de satélites da série GOES, os quais possuem resolução temporal de 3 horas (Collischonn, 2006).

Para o evento de 12 de janeiro de 2011, ocorrido com extrema severidade na região serrana, é possível verificar que as áreas mais atingidas, ou que mais sofreram com as chuvas, não apresentavam monitoramento adequado e várias das poucas estações ali existentes foram levadas pela enxurrada. Assim, também para o evento da região serrana, foram estimados os índices de precipitação com uso dos dados do satélite TRMM (<[http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/TRMM\\_V6.3B42.2.shtml](http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/TRMM_V6.3B42.2.shtml)>). A fim de superar as dificuldades de comparação da estimativa das chuvas por sensoriamento remoto com os dados observados, os dados utilizados do TRMM foram integrados para diversas durações e horas de início das chuvas.

Para caracterização da expressividade dos eventos meteorológicos em estudo, foram calculados os tempos de retorno ou de recorrência das chuvas para diversas durações de maior intensidade, verificadas durante os eventos. Foram utilizados dois estudos de chuvas intensas existentes de maior abrangência espacial para o estado do Rio de Janeiro, Pfafstetter (1957) e Davis e Naghettini (2001).

Os estudos de 1957, com edição revisada em 1982, são pontuais para 98 estações pluviográficas existentes à época em várias cidades no Brasil, 21 delas no estado do Rio de Janeiro, com algum grau de regionalização quanto às distribuições de probabilidade, sendo aplicáveis aos locais das estações e suas proximidades.

Já os estudos de 2001 restringem-se ao estado do Rio de Janeiro e utilizam 44 estações e, para algumas delas, históricos maiores de dados quando comparados aos de 1957. Para a obtenção de estimativas mais robustas e confiáveis de parâmetros e quantis associados às distribuições de probabilidades das intensidades de eventos chuvosos extremos, foram utilizadas metodologias contemporâneas de análise regional de frequência baseadas em momentos-L. Foram definidas quatro regiões homogêneas no estado do Rio de Janeiro e estimadas as curvas intensidade-duração-frequência (IDF) para cada uma delas. Desta forma, é possível estimar a precipitação em qualquer ponto da área de estudo, quase de forma contínua no espaço, com base nas isoietas totais anuais médias que é parâmetro das equações. Os locais de ocorrência dos eventos estudados neste trabalho pertencem à Região 3 (cidades do Rio de Janeiro e Niterói) e Região 2 (região serrana).

É importante definir corretamente os termos tempo ou intervalo de recorrência (TR), e tempo de retorno (TR) de um evento, muitas vezes interpretado de forma equivocada pela mídia e população leiga. O tempo ou intervalo de recorrência de um evento expressa o tempo decorrido entre cada dois eventos sequenciais de magnitude igual ou superior a dado patamar, ao longo do histórico de dados de uma estação. Se os estudos envolvem valores máximos anuais, os intervalos de recorrência seriam o número de anos decorridos entre cada repetição de evento de magnitude igual ou superior a dado valor registrado no local de estudo. A média desses intervalos de tempo seria o tempo de retorno do evento e, para um histórico de dados longo, o seu valor esperado se aproxima da divisão entre o número total de anos do histórico de dados e o número de repetições de evento que se iguale ou supere dada magnitude, e a probabilidade de sua ocorrência, em qualquer ano, é o inverso do tempo de retorno (Chow et. all, 1988). Acontece que os diversos autores usam os termos sem distinção, mas em qualquer caso significando que tempo de retorno ou de recorrência é o tempo médio esperado entre dois eventos de magnitude igual ou superior a dado valor provável de ocorrer, em qualquer ano, e, portanto, sua repetição pode se dar a qualquer instante, independente de ter ocorrido recentemente. Observe-se que esse conceito está adotando o pressuposto de estacionariedade das condições hidrometeorológicas e de uso do solo na bacia. Assim, recomenda-se que os números obtidos para os tempos de recorrência de eventos extremos sejam entendidos e utilizados com a devida cautela (Klemes, 1986).

Para representar a ocupação do solo, em termos de densidade demográfica, foram utilizados os dados do Censo Demográfico IBGE 2000 e seu produto agregado por setor censitário, com suas malhas urbana e rural (IBGE, 2003). Esse produto para o Censo IBGE 2010 ainda não está disponível (é previsto para divulgação em junho de 2010), mas os resultados para os Municípios já estão disponíveis e foram usados para comparações.

Os dados de ocupação populacional por setor censitário constituem a discretização mais fina e representativa da real distribuição espacial da população, pois é a unidade de levantamento de dados do Censo. Os setores são dimensionados levando-se em conta a população neles contida e seu tamanho, considerando-se o tempo de trabalho das equipes de levantamento. Dessa forma expressam a densidade demográfica.



## Resultados e discussões

### Rede hidrometeorológica automática e convencional

As áreas mais afetadas pelos eventos extremos de 2010 e 2011 estão representadas no mapa da figura 3, juntamente com a rede pluviométrica em operação, podendo-se concluir que em parte dos locais mais atingidos não é possível saber o quanto choveu, como em Niterói (Morro do Bumba) e parte da região serrana. Verifica-se que, embora, aparentemente, a quantidade de estações seja razoável, sua distribuição espacial não é adequada à representação da pluviosidade em muitos locais. Há verdadeiros vazios de informação.

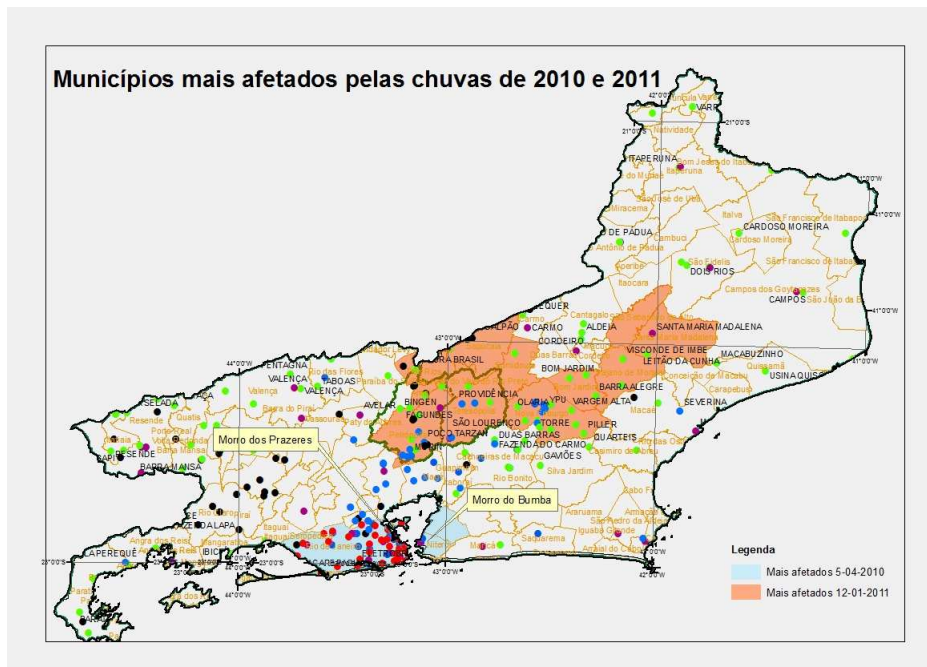


Figura 3 - Regiões mais atingidas pelas chuvas

### O evento de 5 de abril na cidade do Rio de Janeiro e comparação com eventos históricos

O evento de 5 de abril teve início praticamente simultâneo, entre 17:30 e 18:00h, para todo o município do Rio de Janeiro e talvez até para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, conforme pode ser visto pelos registros da rede da GEORIO na tabela 1.

Esse horário coincide com o final do expediente e retorno da população a suas casas, que, normalmente, já apresenta trânsito intenso e retenções em locais de difícil circulação. As chuvas tornaram impossível a passagem pela Praça da Bandeira, local importante na travessia da cidade em direção aos bairros da Zona Norte. Às 6h da manhã do dia 6 de abril, a página eletrônica do Alerta Rio apresentava Nível de Probabilidade Muito Alta de Ocorrências de Escorregamentos Generalizados, em seu quadro de Probabilidade de Escorregamentos na Cidade, e todo o mapa da cidade encontrava-se na cor preta (<<http://www2.rio.rj.gov.br/georio/site/alerta/probabilidade.asp>>).

Tabela 1 - Precipitação do evento de 5 de abril nas 32 estações da Rede Alerta Rio (GEORIO) - (continua)

| Nº | Nome                    | Altitude (m) | P diária_060410 (mm) | Ptotal 24 horas (mm) | Início das 24 horas | Ptotal 53h | Final das 53 horas |
|----|-------------------------|--------------|----------------------|----------------------|---------------------|------------|--------------------|
| 1  | Anchieta                | 50           | 125,2                | 135,8                | 5/4/10 4:53 PM      | 169,4      | 07/04/2010 22:08   |
| 2  | Av. Brasil/Mendanha     | 736          | 116,4                | 130,0                | 5/4/10 5:09 PM      | 214,2      | 07/04/2010 22:09   |
| 3  | Bangu                   | 15           | 128,6                | 135,0                | 5/4/10 5:08 PM      | 198,2      | 07/04/2010 22:08   |
| 4  | Barra/Itanhangá         | 80           | 185,0                | 213,0                | 5/4/10 5:27 PM      | 280,4      | 07/04/2010 22:12   |
| 5  | Barra/Riocentro         | 0            | 182,4                | 198,8                | 5/4/10 5:27 PM      | 290,4      | 07/04/2010 22:12   |
| 6  | Campo Grande            | 30           | 127,8                | 138,6                | 5/4/10 4:53 PM      | 250,0      | 07/04/2010 22:08   |
| 7  | Copacabana              | 90           | 180,8                | 221,2                | 5/4/10 6:04 PM      | 291,6      | 07/04/2010 22:04   |
| 8  | Gericinó                | 0            | 119,6                | 131,2                | 5/4/10 4:52 PM      | 231,6      | 07/04/2010 22:07   |
| 9  | Grajaú                  | 80           | 217,8                | 227,0                | 5/4/10 5:31 PM      | 307,6      | 07/04/2010 22:01   |
| 10 | Grande Méier (Cachambi) | 25           | 251,2                | 257,8                | 5/4/10 5:32 PM      | 299,4      | 07/04/2010 22:02   |
| 11 | Grota Funda             | 10           | 216,0                | 232,6                | 5/4/10 5:11 PM      | 344,6      | 07/04/2010 22:11   |



Tabela 1 - Precipitação do evento de 5 de abril nas 32 estações da Rede Alerta Rio (GEORIO) - (continuação)

| Nº | Nome                              | Altitude (m) | P diaria_060410 (mm) | Ptotal 24 horas (mm) | Início das 24 horas   | Ptotal 53h   | Final das 53 horas      |
|----|-----------------------------------|--------------|----------------------|----------------------|-----------------------|--------------|-------------------------|
| 12 | Guaratiba                         | 0            | 99,0                 | 110,8                | 5/4/10 5:07 PM        | 172,6        | 07/04/2010 22:07        |
| 13 | Ilha do Governador                | 0            | 185,2                | 202,6                | 5/4/10 6:00 PM        | 242,4        | 07/04/2010 22:15        |
| 14 | Irajá                             | 20           | 120,8                | 128,6                | 5/4/10 5:09 PM        | 156,8        | 07/04/2010 22:09        |
| 15 | Jacarepaguá/Cidade de Deus        | 15           | 154,2                | 164,6                | 5/4/10 5:26 PM        | 247,6        | 07/04/2010 22:11        |
| 16 | Jacarepaguá/Tanque                | 73           | 159,8                | 171,8                | 5/4/10 5:27 PM        | 242,6        | 07/04/2010 22:12        |
| 17 | <b>Jardim Botânico</b>            | <b>0</b>     | <b>235,0</b>         | <b>303,0</b>         | <b>5/4/10 6:04 PM</b> | <b>371,0</b> | <b>07/04/2010 22:04</b> |
| 18 | Laranjeiras                       | 60           | 183,6                | 227,0                | 5/4/10 6:04 PM        | 285,0        | 07/04/2010 22:04        |
| 19 | Madureira                         | 45           | 157,2                | 172,6                | 5/4/10 5:32 PM        | 227,8        | 07/04/2010 22:02        |
| 20 | Penha                             | 111          | 225,2                | 226,2                | 5/4/10 8:32 AM        | 259,6        | 07/04/2010 22:02        |
| 21 | Piedade                           | 72           | 171,0                | 183,8                | 5/4/10 5:31 PM        | 232,2        | 07/04/2010 22:01        |
| 22 | Recreio dos Bandeirantes (Itauna) | 65           | 179,4                | 190,8                | 5/4/10 5:13 PM        | 283,6        | 07/04/2010 22:13        |
| 23 | <b>Rocinha (São Conrado)</b>      | <b>160</b>   | <b>250,8</b>         | <b>304,6</b>         | <b>5/4/10 5:48 PM</b> | <b>392,6</b> | <b>07/04/2010 22:03</b> |
| 24 | Santa Cruz                        | 15           | 139,8                | 149,0                | 5/4/10 4:07 PM        | 203,8        | 07/04/2010 22:07        |
| 25 | <b>Santa Teresa</b>               | <b>170</b>   | <b>202,0</b>         | <b>248,0</b>         | <b>5/4/10 6:15 PM</b> | <b>312,4</b> | <b>07/04/2010 22:15</b> |
| 26 | São Cristóvão (Georio)            | 25           | 201,0                | 213,6                | 5/4/10 6:00 PM        | 256,8        | 07/04/2010 22:15        |
| 27 | Saúde                             | 35           | 169,8                | 189,4                | 5/4/10 6:01 PM        | 228,8        | 07/04/2010 22:01        |
| 28 | Sepetiba                          | 62           | 152,0                | 165,2                | 5/4/10 4:21 PM        | 203,8        | 07/04/2010 22:06        |
| 29 | <b>Sumaré</b>                     | <b>768</b>   | <b>295,2</b>         | <b>360,2</b>         | <b>5/4/10 5:50 PM</b> | <b>487,9</b> | <b>07/04/2010 22:05</b> |
| 30 | Tijuca                            | 340          | 241,0                | 280,2                | 5/4/10 6:15 PM        | 371,0        | 07/04/2010 22:15        |
| 31 | Urca                              | 90           | 134,8                | 177,6                | 5/4/10 6:03 PM        | 227,8        | 07/04/2010 22:03        |
| 32 | Vidigal                           | 85           | 195,6                | 254,6                | 5/4/10 5:48 PM        | 326,8        | 07/04/2010 22:03        |

Fonte: GEORIO (2010)

O total precipitado máximo registrado para 24 horas foi no Sumaré (360,2mm), seguido de Rocinha (304,6mm) e Jardim Botânico (303,0mm). A figura 4 mostra os totais acumulados em todas as estações no período desde o início das chuvas, até o dia 10/04. O gráfico dá uma idéia do comportamento das três grandezas relacionadas a precipitações intensas, que são importantes também para estudos de escorregamentos: a duração, o total acumulado, e a intensidade, que podem ser críticas para a ocorrência de desastres.

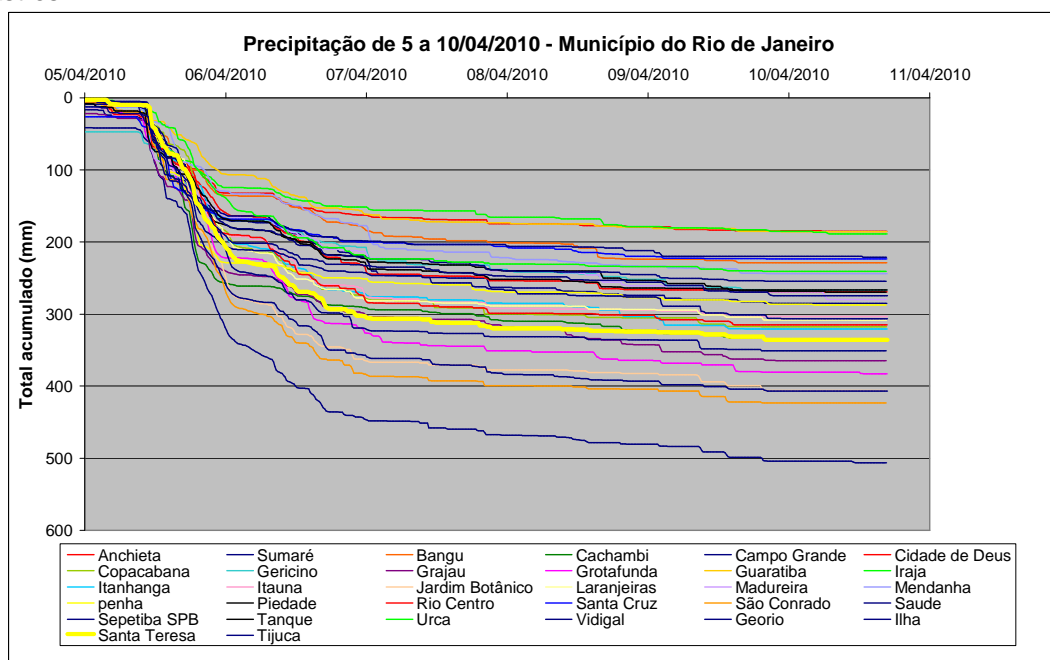


Figura 4 - Totais acumulados desde o início das chuvas até cessar por completo na estação Sumaré.

O local com maior número de vítimas, no município do Rio de Janeiro, foi o Morro dos Prazeres, em Santa Teresa (figura 3), onde o total de precipitação de 24 horas chegou a 248,0mm. As chuvas do dia 5/04 em Santa Teresa apresentaram duração superior 96 horas, contendo dois períodos de intensidade superior a 30mm/h, com duração de 45 minutos cada - ao início das chuvas, das 17:45 às 18:15h, e das 00:30 à 01:15h -, e dentro desses dois períodos ocorreram episódios com intensidade superior a 50mm/h, mas com duração de apenas 15 minutos.

O deslizamento do Morro dos Prazeres ocorreu às 8h do dia 6/04 (20 horas após o início das chuvas, com acúmulo de 215mm) sendo o local da Capital que concentrou o maior número de vítimas fatais (30). Número impressionante até que, no dia 7/04 às 21:00h, ocorreu o episódio do Morro do Bumba que resultou em 36 vítimas fatais (Gazeta do Povo, 2010).

### Distribuição da população e ocorrência de desastres

A figura 5 mostra a evolução da população na cidade do Rio de Janeiro e no estado do RJ. Até 1970, e, portanto, antes da fusão dos estados da Guanabara e do Rio de Janeiro (1975), o gráfico não mostra a população da área da atual cidade do Rio de Janeiro (estado da GB), mas pode-se estimar que esta se aproximava da população do antigo estado do RJ.

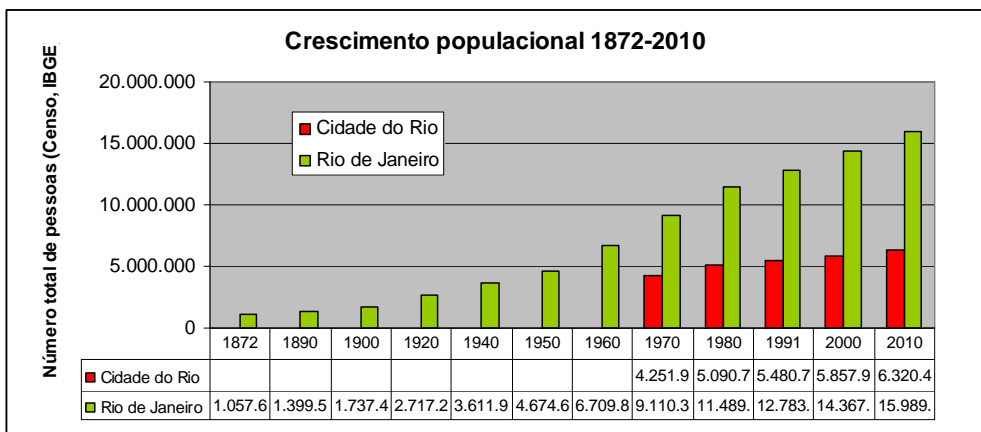


Figura 5 - Crescimento populacional do estado do RJ e cidade do Rio de Janeiro

O mapa da figura 6 indica a distribuição dessa população em áreas rurais e urbanas, para a situação de 2000. A classificação por cores mostra maior densidade demográfica para os polígonos vermelhos e pretos.

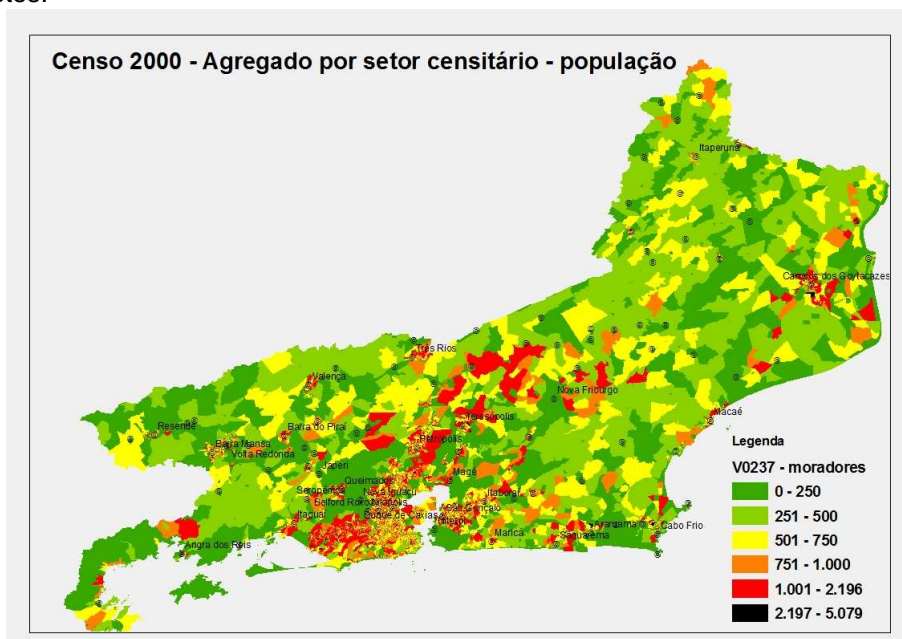


Figura 6 - distribuição da população urbana e rural no RJ

Comparando-se as figuras 3 e 6, é possível verificar que os locais de maior gravidade dos desastres das chuvas de abril de 2010 são bastante populosos.

Foram levantados dados de ocorrências de desastres causados por chuvas intensas na cidade do Rio de Janeiro e índices pluviométricos, desde o primeiro evento de que se tem notícias até as chuvas de janeiro de 2011, apresentados no quadro 1. A principal fonte desses dados históricos (Brandão, 1997) é prodigiosa em permitir a análise da evolução da severidade dos desastres ao longo do tempo e mostra a "Infeliz coincidência das chuvas com a ação humana". Brandão (1997) cita vários anos de eventos extremos até 1996, mas o quadro 1 contém somente as ocorrências que apresentavam dados pluviométricos e ou número de vítimas fatais associados.

A figura 7 mostra o crescimento populacional do estado e da cidade o Rio de Janeiro, acompanhados pelo número de vítimas fatais mencionadas pela mídia e por Brandão (1997), do quadro 1. Os números não são precisos e grande parte dos relatos antigos diz apenas que houve vítimas e, em alguns casos, muitas vítimas. Para construir o gráfico, a "algumas" foi atribuído o total de cinco e a muitas, o total de 50. Os registros recentes, embora contraditórios em alguns casos, apresentam números que coincidem em ordem de grandeza.

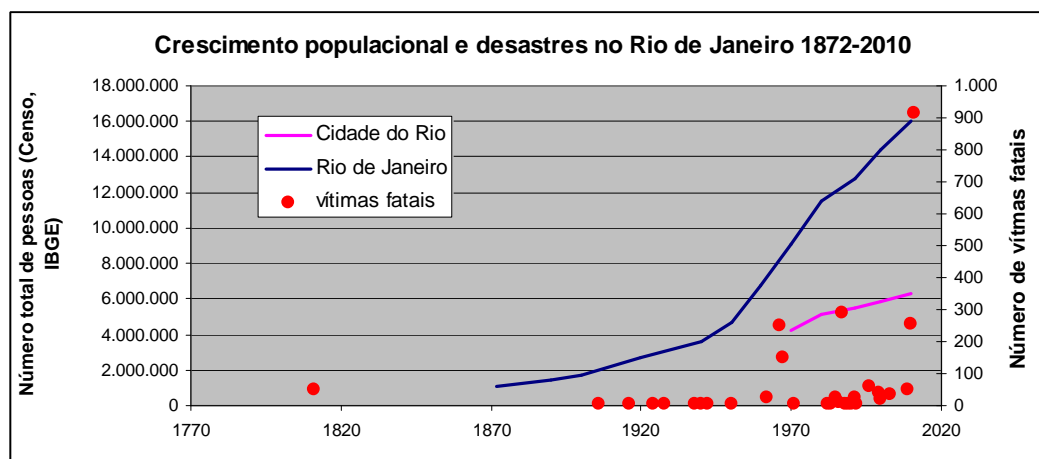


Figura 7 - Crescimento populacional e vítimas fatais em desastres associados a chuvas intensas

A figura 8 mostra a incidência de precipitações mais intensas por meses do ano. Pode-se verificar que a ocorrência de chuvas mais intensas em abril é até mais frequente do que em março, que é um mês em média mais chuvoso.

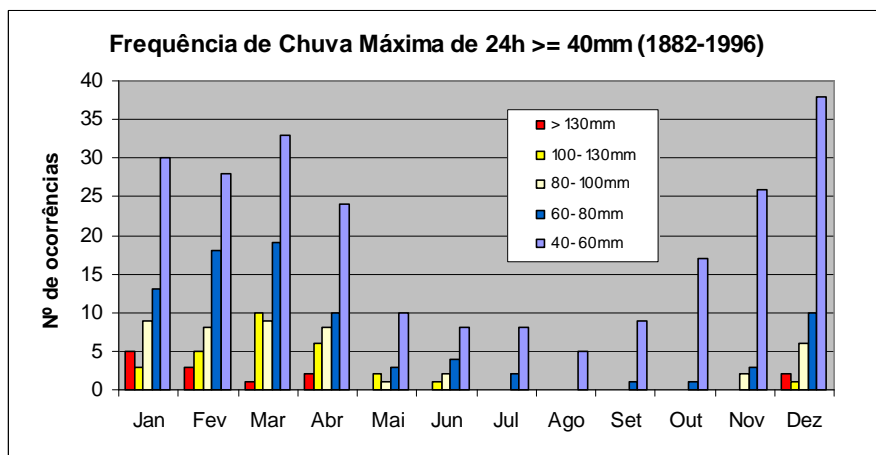


Figura 8 - Frequência de ocorrência de chuvas intensas ao longo do ano - Fonte: Brandão (1997)

A figura 9 mostra a frequência de anomalias positivas e negativas de precipitações do total dos quatro meses mais chuvosos do ano, em relação ao seu valor médio. As anomalias foram determinadas por faixas: de 0-15mm; de 15,1-30,0mm e superiores a 30mm, ocorridas nos períodos de 1851-1900, 1901-1940 e 1941-1990. Verifica-se que anomalias positivas de precipitação, em especial na faixa superior a 30mm, ocorreram com maior frequência nos últimos 50 anos analisados, quando a população também cresceu e ocupou irregularmente maior número de áreas de risco de inundações e deslizamentos - planícies de inundação e encostas.

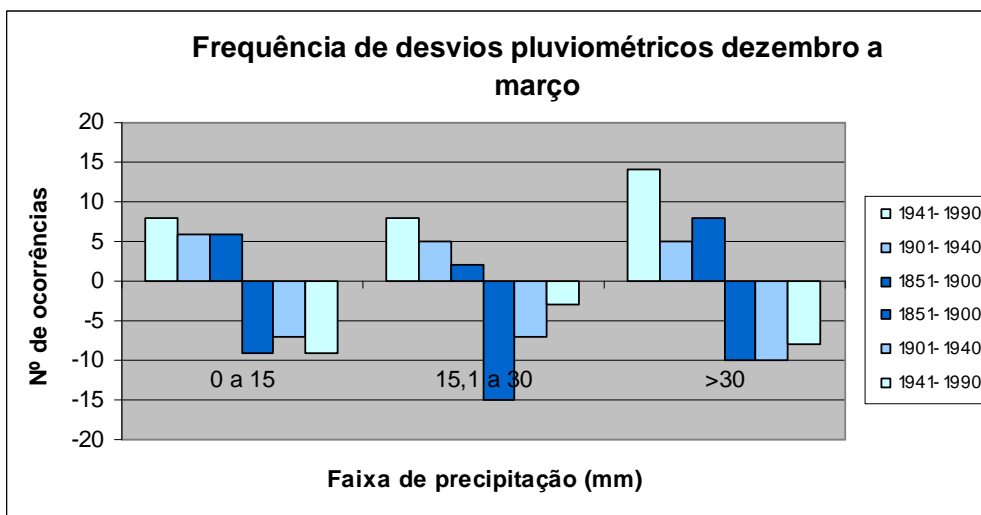


Figura 9 - Frequência de ocorrência de anomalias positivas e negativas relativas ao total médio dos meses mais chuvosos - dezembro a março - estação Rio de Janeiro INMET - Fonte: Brandão (1997)

A tabela 2 mostra valores máximos de 24 horas nos períodos de dados disponíveis para o Jardim Botânico. Embora não haja ali uma estação de monitoramento com histórico longo que se possa analisar, a atual estação da GEORIO, instalada em 1996, e a de responsabilidade do INMET (código 2243168 ou 83796), instalada em outubro de 1919, podem complementar-se, porém ainda deixando lacunas. Verifica-se que valor próximo ao de 2010 já havia ocorrido ali antes de 1956.

Tabela 2 - Máximas de 24 horas observadas em períodos diversos

| Estação                  | Data de instalação | Pfafstetter, 1957                 |                                | Evento de abril/2010           |
|--------------------------|--------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|                          |                    | Nº de anos utilizados (1919-1956) | Máximo 24 horas observado (mm) | Máximo 24 horas observado (mm) |
| Jardim Botânico (INMET)  | 10/1919            | 28,187                            | 290,0                          |                                |
| Jardim Botânico (GEORIO) | 09/1996            |                                   |                                | 303,0                          |

Para a estação do INMET, há equações de intensidade, duração e frequência (IDF) elaboradas por Pfafstetter (1957). Davis e Naguettini (2001) não tiveram acesso a esses dados.

Da tabela 2 é possível concluir que não há mesmo um período contínuo e longo de dados para o Jardim Botânico, que é um bairro muito valorizado para moradia, com algumas áreas muito planas (com altitude variando de 0 a 5m), alta pluviosidade e sérios problemas de drenagem urbana. Pertence à bacia hidrográfica contribuinte à Lagoa Rodrigo de Freitas, que drena grande parte da vertente sul do maciço da Tijuca, onde a pluviosidade é a mais alta do município e as declividades são muito acentuadas. Assim, é uma região que alaga com frequência, causando grandes transtornos ao trânsito e à população em geral.

### **O evento de 5 a 7 de abril na cidade de Niterói e a estimativa da precipitação com o TRMM**

As estações que poderiam informar a precipitação em Niterói, próximo ao Morro do Bumba, não estavam em funcionamento em abril de 2010 e continuam fora de funcionamento. Assim, para se conhecer o total precipitado no Morro do Bumba, recorreu-se à tecnologia de estimativa da precipitação por sensoriamento remoto, usando dados do satélite TRMM. A geração dos dados do chamado produto 3B42 V6 é relativamente simples e rápida, pois há um aplicativo *on line* para extração dos dados, bastando-se definir a abrangência espacial, a data e hora de interesse, e ainda se quer dados acumulados relativos a algum período.

As figuras 10 e 11 mostram o imageamento da precipitação acumulada em dois períodos: o de 14 horas após o início das chuvas no Rio de Janeiro, das 16h do dia 5/04 até 7h de 6/04, quando choveu muito sobre a cidade e outro de 48 horas, das 19h de 05/04 até 19h do dia 7/04 (2 horas antes do desmoronamento do Morro do Bumba), que mostra o lado do Rio de Janeiro já com menos precipitação e o de Niterói ainda chovendo bastante.

A tabela 3 mostra os totais acumulados de precipitação com base em dados diários observados às 7h nas estações convencionais mais próximas. Não há dados automáticos para conhecimento da variação das intensidades ao longo do evento em Niterói. A leitura de 7h do dia 6/04 inclui a precipitação acumulada desde 5/04 logo após a leitura das 7h daquele dia.

Tabela 3 - Precipitações acumuladas observadas do lado de Niterói - com início em 5/04 após às 7h

| Código  | Nome                 | Altitude (m) | P 72 horas (mm) | P 48 horas (mm) | P 6/04 (mm) |
|---------|----------------------|--------------|-----------------|-----------------|-------------|
| 2242010 | MANUEL RIBEIRO       | 0,0          | 302,7           | 272,0           | 136,2       |
| 2242090 | JAPUIBA (P-37R)      | 20,0         | 133,1           | 75,9            | 75,9        |
| 2242091 | TANGUÁ (P-41R)       | 40,0         | 184,6           | 159,5           | 109,0       |
| 2242115 | CACHOEIRAS DE MACACU | 42,9         | 151,9           | 145,1           | Não lida    |

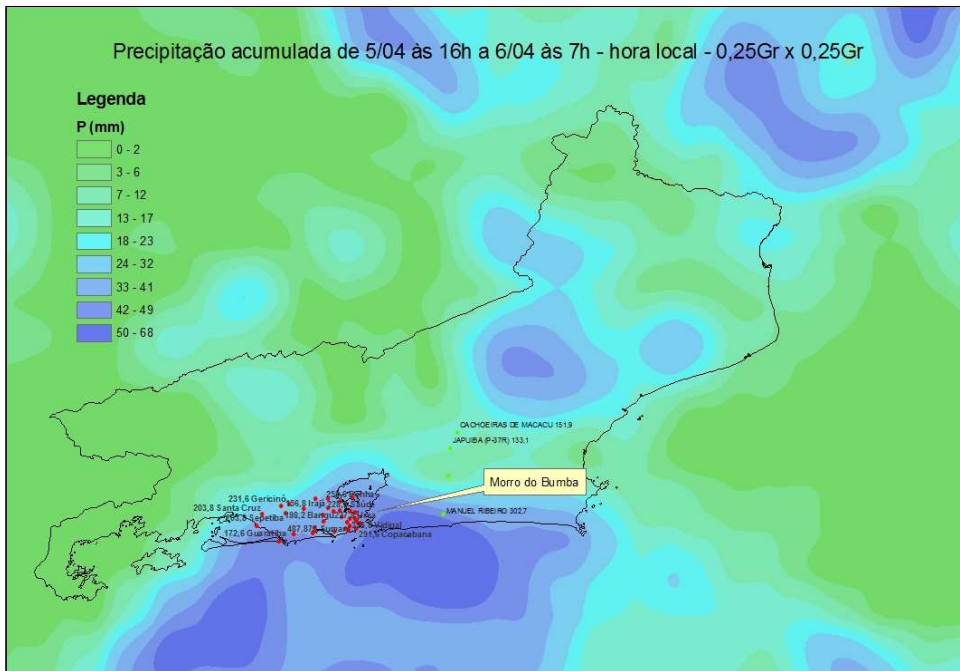


Figura 10 - Precipitação acumulada estimada com dados do TRMM para 5 a 6/04/2010

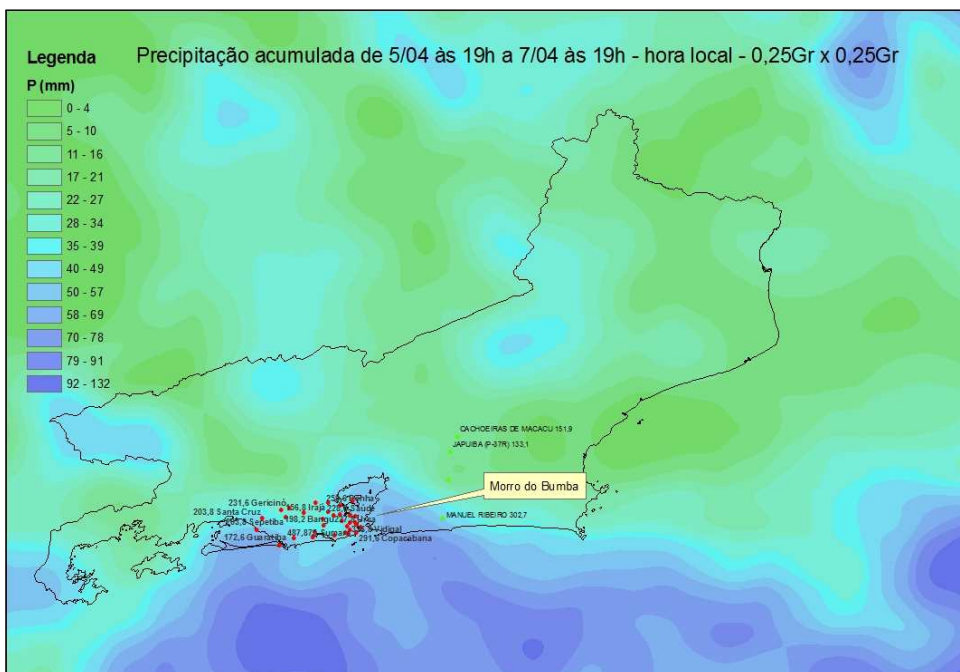


Figura 11 - Precipitação acumulada estimada com dados do TRMM para 5 a 7/04/2010

Os totais acumulados estimados pelo TRMM para 14 horas chegaram ao máximo de 68mm na faixa do azul mais escuro da figura 10 e para 48 horas chegaram a 132mm na faixa mais escura da figura 11. Esses valores seriam inferiores, mas próximos aos observados nas estações convencionais (tabela 3), onde foram observados os totais acumulados para 72 e 48 horas. Não se tem muita certeza dos totais diários



observados, pois, como chovia muito, alguns observadores não leram todos os dias, deixando acumular por 48 horas ou mais.

Há equações de intensidade, duração e frequência (IDF) elaboradas por Pfafstetter (1957) e Davis e Naguettini (2001). A precipitação máxima de 24 horas teve importância para o evento de 5/04 e, portanto, seu tempo de retorno foi estimado. Foram determinados os TR para Sumaré, Santa Teresa e Jardim Botânico, sendo que para este último, foi possível estimar TR com as duas metodologias. Os resultados obtidos com os métodos disponíveis são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 - TR estimado para chuva de 24 horas de duração - início em 5/04/2010 na cidade do Rio de Janeiro

| Estação         | P 24 horas 5/04 (mm) | P total anual (mm) | P máx 24 horas (mm) até 1956 | TR (anos) para duração 24 horas |                   |                   |
|-----------------|----------------------|--------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------|
|                 |                      |                    |                              | Davis e Naghettini, 2001        | Pfafstetter, 1957 | Pfafstetter, 1957 |
|                 |                      |                    |                              | Região 3                        | (gráfico)         | (equação)         |
| Sumaré          | 360,2                | 2100               |                              | 146                             |                   |                   |
| Jardim Botânico | 303,0                | 1300               | 290                          | 148                             | 318               | 678               |
| Santa Teresa    | 248,0                | 1300               |                              | 76                              |                   |                   |

Davis e Naghettini (2001) restringem a aplicação de seus estudos para estimativas até 100 anos para o tempo de retorno de um dado evento. Já a metodologia de Pfafstetter (1957) permite estimar, para um dado evento, TR de até 1000 anos e apresenta duas formas de obtenção do fator de probabilidade, que depende do local e da duração da precipitação em análise - utiliza-se um gráfico ou uma equação ajustada que representa o comportamento desse fator de probabilidade. O uso da equação resulta em valor de TR maior que o dobro do encontrado com o gráfico.

#### **O evento de 11 a 12 de abril de 2011 na região serrana do RJ e a estimativa da precipitação com o TRMM**

O evento de janeiro de 2011 na região serrana do RJ mostrou-se bastante localizado, de modo que as estações existentes ao redor da região mais afetada registraram valores dentro da normalidade, à exceção de Nova Friburgo. A figura 12 mostra a chuva acumulada durante o período de 24 horas.

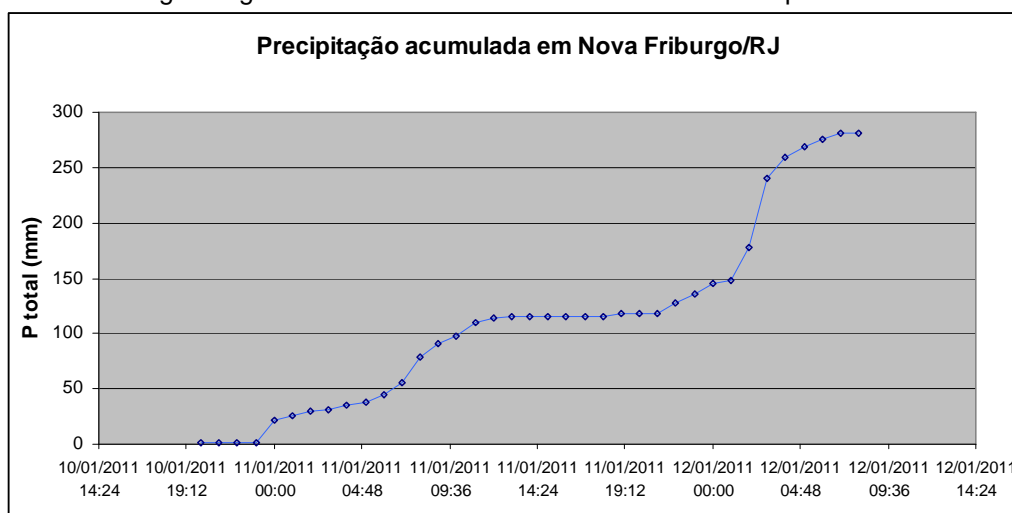


Figura 12 - Precipitação na estação de Nova Friburgo (INMET) 11 a 12/01/2011

As chuvas em Nova Friburgo tiveram início na madrugada do dia 11/01, mas houve uma estiagem de duração superior a 6 horas, até que se iniciasse o período de maior intensidade, das 2 às 3h da manhã de 12/01.

As chuvas registradas em Nova Friburgo, acumuladas para o mesmo período, mostram totais superiores aos estimados com o TRMM-3B42 V6. A explicação para a diferença pode ser pela resolução de aquisição do dado de, aproximadamente, 25km x 25km, pois o volume amostrado estaria distribuído por uma área maior, resultando em altura de chuva menor. Isto também significaria que, para dado instante, a abrangência espacial real do evento seria menor do que a mostrada na imagem. A imagem traduz, na realidade, parte do deslocamento da massa durante o período imageado.

Para o período de 6 horas de 11/01 às 21h a 12/01 às 3h, o TRMM mostra o acumulado de 120mm, região de azul mais escuro na figura 13. A estação de Nova Friburgo (INMET) registrou 141mm para o mesmo período, com diferença inferior a 20%, que seria aceitável, caso a estação de Nova Friburgo tivesse



recebido a maior quantidade de chuva, o que não é possível saber, pois as demais estações disponíveis ou estavam fora da área de abrangência do evento e registraram índices de pouca expressão, ou tiveram seus dados perdidos, pois foram levadas pela enxurrada ou inundaram, como aconteceu com, pelo menos, três estações (duas registradoras automáticas) localizadas na região mais atingida.

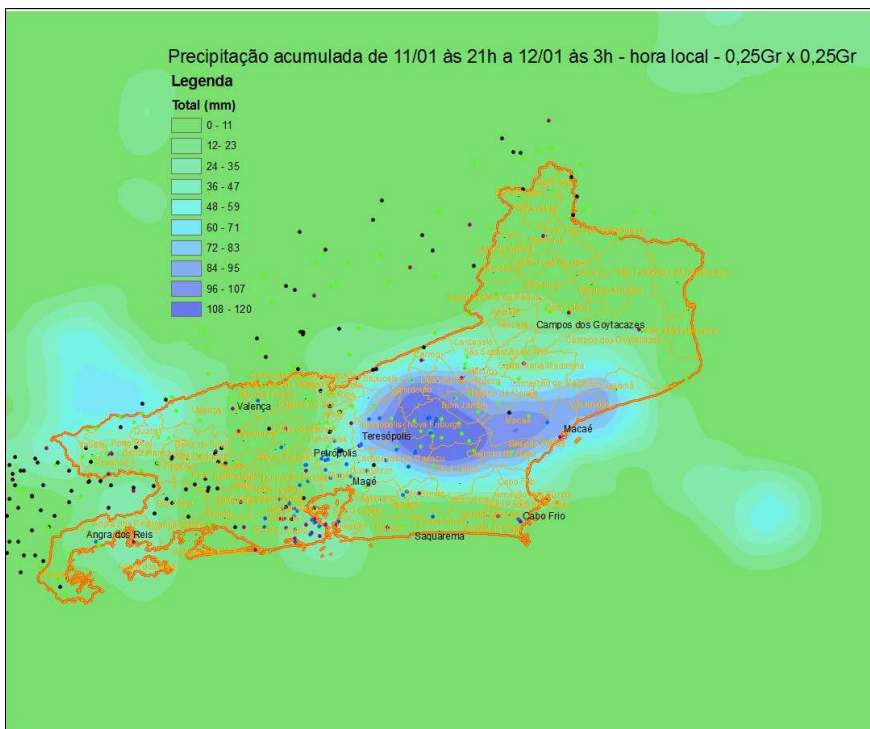


Figura 13 - Imagem do satélite TRMM para o período de 6 horas sobre o RJ

Para a hora de maior intensidade, observada em Nova Friburgo (3h do dia 12/01), a figura 14 (TRMM) mostra altura de até 56mm, quando na estação de Nova Friburgo foram registrados 62,8mm, diferindo, portanto, em apenas 12%.

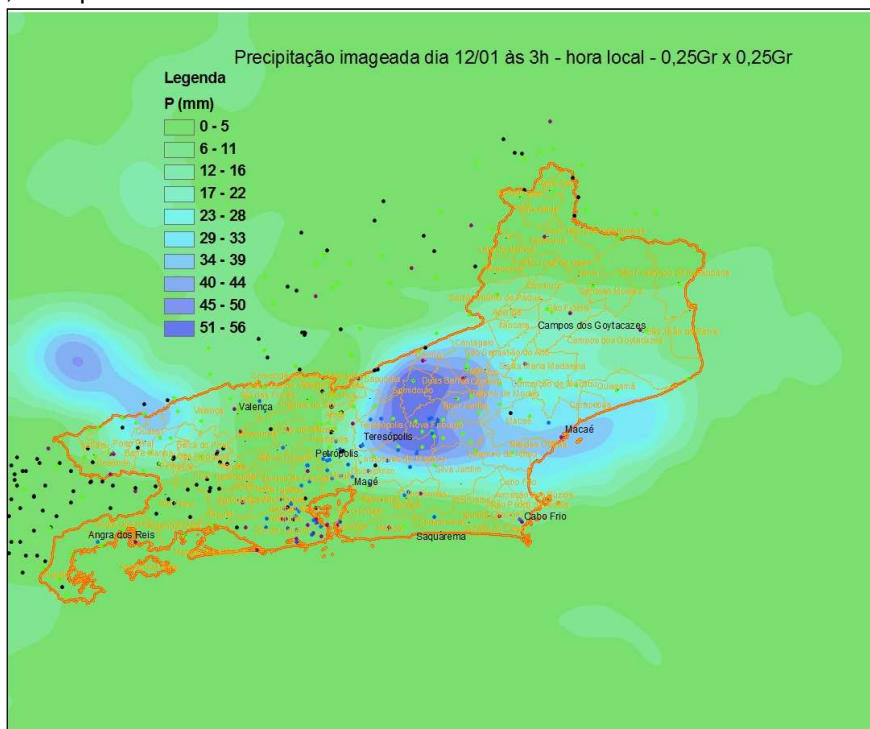


Figura 14 - Imagem do satélite TRMM das 3h do dia 12/01/2011 sobre o RJ

### Avaliação da distribuição espacial do evento chuvoso frente aos desastres associados

A área de abrangência do evento, com intensidade superior a 40mm/h, foi de, aproximadamente, 5.000km<sup>2</sup>, conforme pode ser depreendido das imagens das figuras 14 e 15.

A figura 15, com os setores censitários urbanos e rurais classificados quanto à densidade demográfica (da mesma forma que na figura 6), mostra como a região mais afetada pelas chuvas de 12/01 era densamente ocupada.

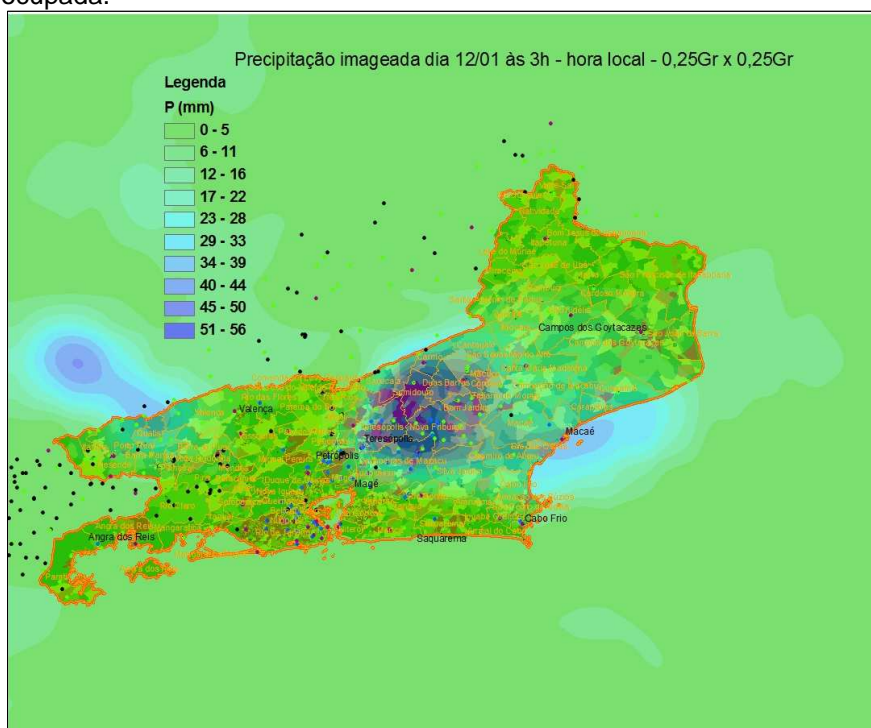


Figura 15 - Área mais afetada pelas chuvas e sua densidade demográfica.

A Defesa Civil Estadual registrou números impressionantes, apresentados no quadro 2, para os desastres da região serrana. Os municípios com maior número de vítimas fatais foram Nova Friburgo e Teresópolis.

Quadro 2 - Ocorrências registradas pela Defesa Civil do RJ em 12/01 de janeiro de 2011 na região serrana.

| Município                     | Ocorrência                              | Desalojados   | Desabrigados | Vítimas Parciais | Vítimas Fatais | Afetadas       | Edificações Danificadas | Edificações Destruídas |
|-------------------------------|-----------------------------------------|---------------|--------------|------------------|----------------|----------------|-------------------------|------------------------|
| Areal                         | Enxurradas ou Inundações Bruscas        | 657           | 52           | 0                | 0              | 0              | 0                       | 0                      |
| Bom Jardim                    | Enxurradas ou Inundações Bruscas        | 1.186         | 632          | 2                | 2              | 12.380         | 0                       | 0                      |
| <b>Nova Friburgo</b>          | <b>Escorregamentos ou Deslizamentos</b> | <b>4.528</b>  | <b>789</b>   | <b>3.509</b>     | <b>429</b>     | 0              | 0                       | 0                      |
| Petrópolis                    | Enxurradas ou Inundações Bruscas        | 6.956         | 187          | 267              | 71             | 50.000         | 1.516                   | 0                      |
| Santa Maria Madalena          | Enxurradas ou Inundações Bruscas        | 284           | 44           | 3                | 0              | 10.376         | 75                      | 5                      |
| São José do Vale do Rio Preto | Enxurradas ou Inundações Bruscas        | 300           | 174          | 155              | 2              | 20.000         | 1.435                   | 50                     |
| São Sebastião do Alto         | Enxurradas ou Inundações Bruscas        | 32            | 75           | 8                | 0              |                | 15                      | 11                     |
| Sapucaia                      | Enxurradas ou Inundações Bruscas        | 20            | 20           | 0                | 0              | 1.200          | 22                      | 2                      |
| Sumidouro                     | Enxurradas ou Inundações Bruscas        | 300           | 80           | 50               | 22             | 20.000         | 584                     | 18                     |
| <b>Teresópolis</b>            | <b>Enxurradas ou Inundações Bruscas</b> | <b>9.110</b>  | <b>6.727</b> | <b>555</b>       | <b>388</b>     | 0              | 0                       | 0                      |
| Trajano de Moraes             | Enxurradas ou Inundações Bruscas        | 0             | 0            | 3                | 0              | 530            | 36                      | 16                     |
| Três Rios                     | Enxurradas ou Inundações Bruscas        | 0             | 9            | 0                | 0              | 2.000          | 80                      | 0                      |
| <b>Total</b>                  |                                         | <b>23.373</b> | <b>8.789</b> | <b>4.552</b>     | <b>914</b>     | <b>116.486</b> | <b>3.763</b>            | <b>102</b>             |

Fonte: Defesa Civil-RJ (2011).

O desastre da região serrana foi muito estudado e é possível encontrar na Internet relatórios bem elaborados sobre o ocorrido, dos pontos de vista geotécnico, hidrológico e ambiental, como analisam, respectivamente, DRM, PUC-RIO, UFRJ e UERJ (2011), Canedo (2011), Teixeira (2011) e MMA (2011).

Com relação à raridade do evento causador dos desastres de janeiro de 2011 na região serrana, é possível estimar os tempos de retorno (TR) das chuvas, com os estudos de chuvas intensas disponíveis. Há equações de intensidade, duração e frequência (IDF) elaboradas por Pfafstetter (1957) e Davis e Naguettini (2001).

Foram estudadas as durações de 1 hora, 14 e 24 horas, que tiveram importância durante o evento como um todo. A estação adotada como representativa da região foi Nova Friburgo. Os resultados obtidos com os métodos disponíveis são apresentados na tabela 5.

Tabela 5 - TR estimado pelos métodos disponíveis para as chuvas de 12/01/2011 em Nova Friburgo

| Duração (hora) | P 12/01 (mm) | P total anual (mm) | P 24 horas 1961-1990 (mm) | P máx obs (mm) até 1956 | TR (anos) para dada duração |                   |                   |
|----------------|--------------|--------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------|-------------------|
|                |              |                    |                           |                         | Davis e Naghettini, 2001    | Pfafstetter, 1957 | Pfafstetter, 1957 |
|                |              |                    |                           |                         | Região 2                    | (gráfico)         | (equação)         |
| 1              | 62,8         |                    |                           | 80,0                    | 14                          | 13                | 18                |
| 14             | 165,6        | 1.400              |                           | 120,0                   | 40                          | 50                | 50                |
| 24             | 231,0        |                    | 165,4                     | 175,0                   | 129                         | 339               | 566               |

Para a duração de 24 horas, a metodologia de Pfafstetter (1957), que utiliza equação ajustada para o fator de probabilidade, estima valores bem maiores para TR, da ordem de 500 anos. Já para as precipitações de durações 1 e 14 horas, os três métodos estimam valores bastante próximos para TR.

## Conclusões

O evento de abril de 2010, ocorrido de forma mais expressiva na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, foi comparado a eventos extremos ocorridos anteriormente na mesma região, em termos de abrangência espacial e, pontualmente, quanto à sua intensidade. Foram consideradas para pesquisa as intensidades extremas associadas às durações de 24 horas, principalmente, 48, 72 e 96 horas, durações importantes na avaliação de desastres com escorregamentos ou deslizamentos.

Foram analisados os totais máximos precipitados em 24 horas no Sumaré (360,2mm), em Santa Teresa (248,0mm) e no Jardim Botânico (303,0mm), observados entre os dias 5 a 6 de abril nas respectivas estações da GEORIO, estimando-se os tempos de retorno dos eventos chuvosos com os Estudos de Chuvas Intensas no Rio de Janeiro (Davis e Naghettini, 2001) e Chuvas Intensas no Brasil de Pfafstetter (1957).

Pelos estudos de 2001, que regionalizaram as equações IDF, o total precipitado em 24 horas seria um evento de mais de 100 anos de tempo de retorno. Esses estudos não recomendam extrapolar a curva IDF além de 100 anos, considerando a metodologia empregada e o tamanho dos históricos de dados disponíveis até 1999, mas se fosse possível a extrapolação, o evento resultaria com tempo de retorno da ordem de 146 anos para o Sumaré, 76 anos para Santa Teresa e 148 anos para o Jardim Botânico. Essa estimativa para o Jardim Botânico não coincide com a obtida pelos estudos de 1957, que apresentam duas formas de cálculo para o fator de probabilidade: a do método gráfico estima 678 anos para o TR e o que utiliza equação ajustada para o fator de probabilidade estima o tempo de retorno em 318 anos. A conclusão que se pode chegar é que foi um evento verdadeiramente extremo. Sua raridade só será possível saber com séries maiores de dados observados, pois, como se pode ver na tabela 2, não há um período de dados contínuo e longo para o local, cada estudo de chuvas intensas utilizou uma janela de tempo diferente, assim como as redes de monitoramento complementam-se no tempo, mas com grandes lacunas.

Para o evento de 12 de janeiro de 2011, ocorrido na região serrana do RJ, foi possível analisar os dados observados na estação Nova Friburgo.

Estudos regionalizados de precipitação podem apresentar vantagens em consistência e precisão sobre estudos dos eventos extremos apenas pontuais (para cada estação), uma vez que há falhas nos dados, em praticamente todas as estações, e nem todos os eventos extremos (em especial os catastróficos) entram na estatística para todas as estações. Além disso, a rede de monitoramento é sempre rarefeita, tendo sido mais ainda no passado, o que torna impossível saber a real abrangência espacial dos eventos, nem mesmo quanto de fato choveu nos locais que mais sofreram com as chuvas. No entanto, ainda assim, a regionalização é dependente da densidade de estações e da abrangência do estudo, caracterizando uma dependência da escala de representação da pluviosidade. Quanto mais em detalhe se deseja caracterizar uma região, do ponto de vista de seu comportamento meteorológico, maior quantidade de estações deverão ser instaladas, uma vez que a precipitação pode ocorrer de forma muito localizada, como um fenômeno discreto no tempo e também no espaço, e assim sua adequada representação é muito dependente da resolução de amostragem. Novas tecnologias de amostragem contínua também devem ser utilizadas,

sabendo-se que sua resolução espacial e temporal cresce com o desenvolvimento de novos sensores, pois já em seu estágio atual, os dados do satélite TRMM produzem resultados animadores.

As proporções dos desastres maiores a cada evento catastrófico não deveriam ser atribuídas somente a maiores intensidades de precipitação ou, portanto, a mudanças climáticas, uma vez que a ocupação irregular ou desordenada do solo, essa sim comprovadamente crescente, agrava as consequências das chuvas e, na maioria dos eventos chuvosos, não se sabe ao certo quanto ou com que intensidade choveu no local exato do desastre, desconhecendo-se também o histórico de chuvas naquele local. Chuvas ocorridas com intensidade e duração iguais ou superiores às que causaram o desastre no presente podem ter ocorrido, sem registro, em condições de ocupação do solo menos densa ou irregular.

Todos, DRM, PUC-RIO, UFRJ e UERJ (2011), Canedo (2011), Teixeira (2011) e MMA (2011), de uma forma ou de outra, concordam que a ocupação das áreas de risco agravou as consequências do desastre na região serrana. Essas considerações devem ser lidas com atenção neste momento de revisão do Código Florestal. Com relação à raridade do evento fica a incerteza condicionada pela falta de informação.

Por tudo isso, torna-se fundamental instalar mais estações e garantir o fluxo de recursos financeiros para manutenção das redes e funcionamento dos alertas meteorológicos. É preciso conhecer os reais riscos dos desastres naturais que mais afligem a população do RJ para conscientizar a sociedade e autoridades da seriedade do assunto. Isto é imprescindível para planejar e disciplinar a ocupação territorial urbana. A previsão dos eventos com antecedência suficiente permite a remoção de pessoas, para abrigos estrategicamente localizados, possibilitando uma convivência menos traumática com a realidade do estado do Rio de Janeiro.

É importante, também, atualizar os estudos de chuvas intensas para o Rio de Janeiro, de forma a incorporar os eventos mais recentes registrados pela rede da GEORIO, que hoje é relativamente densa para a cidade do Rio de Janeiro, fazendo-se um esforço maior junto ao INMET, para se ter acesso aos dados históricos de suas estações automáticas e também aos das estações pluviográficas mais antigas, que foram estudadas por Pfafstetter (1957), a fim de que se possa estudar o máximo de estações com históricos longos e atualizados de dados de chuvas intensas ocorridas.

Os dados históricos de desastres não são facilmente encontrados. Eles estão dispersos em relatórios e estudos. Muitas vezes os relatos sobre um mesmo evento são diferentes quanto a número de vítimas, e a altura e duração da precipitação que ocasionou o desastre. O conhecimento desse histórico e a segurança dessa informação são essenciais para o planejamento do uso do solo e validação de modelos de previsão. Esses dados deveriam constar de um cadastro de desastres naturais como proposto em Araujo e outros (2005). Há pelo menos duas iniciativas semelhantes, da CPRM (SCDN), da PUC-RIO (GEORISC), e outras mais acadêmicas que fazem parte de teses e dissertações. Já é tempo de haver um cadastro oficial e operacional acessível desses desastres, para que a população possa se certificar de que é arriscado ocupar margens de rios e encostas de morros.

O presente artigo reitera a necessidade de consolidar e integrar as atividades de monitoramento hidrometeorológico, modelagem e previsão meteorológica de mesoescala para a região de estudo. É essencial articular e aperfeiçoar a obtenção de dados básicos utilizando tecnologias de sensoriamento remoto, viabilizando estudos multidisciplinares no campo de modelagem ambiental, com destaque especial para os aspectos físicos relativos ao entendimento do ciclo hidrológico, previsão de eventos críticos de cheias e vazantes e avaliação de mudanças climáticas.

A questão de associar valor à informação hidrometeorológica, por sua vez, tem conquistado interesse dos meios acadêmico, empresarial e governamental face à consciência crescente da necessidade de explicitar as conexões entre o desenvolvimento científico e tecnológico da área e suas contribuições para a sociedade.

Adicionalmente, a ampliação dessa temática abordando o problema de desastres naturais sob a ótica da gestão do risco ambiental, com enfoque hidrológico e geotécnico, incluindo o mapeamento de áreas de risco para a população, constitui uma nova visão de abordagem de problema que recorrentemente tem afetado a sociedade brasileira.

## **Agradecimentos**

Agradecimentos são dedicados ao Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ, pelo apoio do Laboratório de Recursos Hídricos e Meio Ambiente, através do Prof. Otto Corrêa Rotunno Filho; ao Departamento de Meteorologia – IGEO/UFRJ, através da Prof<sup>a</sup>. Maria Gertrudes Alvarez Justi da Silva; e ao INPE, mediante dados e infraestrutura disponibilizadas por essas instituições para a realização desta pesquisa. Reconhece-se o apoio do CNPq, por meio do projeto PROSUL – Processo 490684/2007-6, que trata de técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao monitoramento hidrológico e de mudanças climáticas, bem como dos auxílios Projeto PEC/COPPE – FAPERJ – Edital 014/2010 (2010-2012), Projeto IME-PEC/COPPE – CAPES – Aux-PE-PRO-Defesa 1783/2008 (2008–2012) e MCT/FINEP/CT-HIDRO – Bacias representativas 04/2005 (2005-2011).

## Referências bibliográficas

- ARAUJO, L. M. N.; FERREIRA, R.; SILVA DA COSTA, M.; MOREIRA, D. M.; TAVARES, J. C., PINTO, R. C.; BENTO, V. G.; ALMEIDA, I. S.; PIRES, J. G. **Cadastro de Ocorrências de Inundações**. XV SBRH. Curitiba: ABRH, 2005.
- BLOG WORDPRESS ALEOSP. <http://aleosp2008.wordpress.com/2008/11/29/rio-de-janeiro-as-grandes-enchentes-desde-1711/>
- BRANDÃO, A. M. P. M.; SILVEIRA JUNIOR, D. R.; TAVARES, J. C.; DANTAS, M. E.. **Mapa de Isoietas do Estado do Rio de Janeiro. Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro**, Brasília: CPRM-DEGET, 2000. mapa. Escala 1:400.000.
- BRANDÃO, A. M. P. M. In PINUELLI ROSA, L.; LACERDA, W. A. **Tormentas Cariocas**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1997. 21-38p.
- CANEDO, P. C. M. **Estudos sobre a chuva que atingiu região serrana**. <[oglobo.globo.com/.../chuva-que-atingiu-regiao-serrana-rara-deve-demorar-500-anos-para-se-repetir-mostra-estudo-923848482.asp](http://globo.globo.com/.../chuva-que-atingiu-regiao-serrana-rara-deve-demorar-500-anos-para-se-repetir-mostra-estudo-923848482.asp)> Acesso em 21/02/2011
- CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; JUSTI DA SILVA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F. organizadores - **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 462p.
- CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied Hydrology**. Singapore: McGraw-Hill, 1988. p.380-383.
- COLLISCHONN, Bruno. **Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído**. 2006. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - IPH. Universidade Federal do Rio Grande do sul, 2006.
- CPRM. **Regionalização de Vazões da Sub-Bacia 58: rio Paraíba do Sul**. Rio de Janeiro: Convênio ANEEL/CPRM, 2002.
- DAVIS, E. G.; NAGHETTINI, M. C. **Estudo de Chuvas Intensas no Estado do Rio de Janeiro**. Belo Horizonte: CPRM, 2001. 140p.
- DEFESA CIVIL-RJ. **Portal do Departamento Geral de Defesa Civil: Ocorrências de chuva do estado do Rio de Janeiro**. <http://www.dgdec.defesacivil.rj.gov.br/modules.php?name=News&file=article&sid=260>. Acesso em: 2/06/2011.
- DRM, PUC-RIO, UFRJ e UERJ. Megadesastre na Serra: Jan 2011. 2011). Digital.
- IBGE - **Censo Demográfico 2000**: Agregado por Setores Censitários dos Resultados do Universo. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2003. v. 1, 2 e 3. 3 CD-Rom's.

IBGE - **Censo Demográfico**: Malha de Setor Censitário Digital do Brasil - Rural e Urbano do Distrito-sede dos Municípios (situação 2000). 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2003. v. 1 e 2. 2 CD-Rom's.

IBGE. – **Base cartográfica digital escala 1:50.000**. IBGE, 2006. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>.

INMET (DNMET). **Normais Climatológicas** (1961-1990). Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Irrigação. Departamento Nacional de Meteorologia. Rio de Janeiro: DNMET, 1992. 83p.

GAZETA DO POVO. <<http://www.gazetadopovo.com.br/vidaecidadania/conteudo.phtml?tl=1&id=992214&tit=Chega-a-232-numero-de-mortos-por-cao-da-chuva-no-estado-do-Rio>> Acesso em 30/05/2011.

GEORIO. **Alerta Rio**: Consulta de Dados Pluviométricos Rede <<http://www2.rio.rj.gov.br/georio/site/alerta/download.htm>>

KELLY, J., **Opportunities for 21st century meteorology**: new markets for weather, water and climate information, 2006. Disponível em: [www.ametsoc.org/atmospolicy/presforums/albq2001/Kelly.pdf](http://www.ametsoc.org/atmospolicy/presforums/albq2001/Kelly.pdf). Acesso em: 15/06/2011.

KLEMES, V., **Dilettantism in Hydrology: Transition or Destiny?**, *Water Resources Research*, Vol. 22, No. 9, pp. 177S-188S, 1986.

MMA. **Área atingida pela tragédia das chuvas região serrana do Rio de Janeiro**: Áreas de Preservação Permanente e Unidades de Conservação & Áreas de Risco - O que uma coisa tem a ver com a outra? Relatório de Inspeção. Brasília: Ministério do Meio ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 2011

PFRAFSTETTER, Otto. **Chuvas Intensas no Brasil**: Relação entre Precipitação, Duração e Frequência de Chuvas, Registradas com Pluviógrafos, em 98 Postos Meteorológicos. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Obras de Saneamento. 2ª ed. 1982. 1ª ed. 1957. 426p.

PINGUELLI ROSA, L.; LACERDA, W. A. **Tormentas Cariocas**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1997. 162p.

TEIXEIRA, C. S. **Tragédia serrana, 12-jan-2011**: uma amostra no município de Nova Friburgo.

TERRA. <http://noticias.terra.com.br/brasil/noticias/0,,O14369688-E115502,00->

**Moradores+do+Morro+do+Bumba+descrevem+momentos+de+terror.html**

UOL. <http://noticias.uol.com.br/cotidiano/2010/04/07/novo-deslizamento-atinge-cerca-de-60-casas-em-niteroi-rj-dizem-bombeiros.jhtm>