



DIAGNÓSTICO DA COBERTURA HIDROMETEOROLÓGICA DO MONITORAMENTO DE EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS NO BRASIL

Andrezza Marques Ferreira^{1,2} & Cristiano Poletto² & Jorge Luiz Barbarotto Junior^{1,3}

Resumo – Eventos naturais são responsáveis por muitos desastres e suas ocorrências estão sempre relacionadas a perdas econômicas e com a determinação do uso e ocupação do solo de uma região. Neste contexto é necessária implementar redes de monitoramento dos processos que promovem estes eventos. Neste sentido este trabalho tem como objetivo comparar a rede pluviométrica e radares hidrometeorológicos pertencentes aos órgãos públicos para identificar as regiões brasileiras com menor cobertura de mecanismos de mensuração da precipitação no contexto dos possíveis desastres hidrológicos. Para elaborar o diagnóstico da cobertura do monitoramento hidrometeorológico nacional elaborou-se mapas contemplando os critérios da WMO para áreas de cobertura de radares e pluviômetros, cruzando esta informação com as ocorrências de eventos de inundação e enxurrada disponíveis no S2ID. Os resultados mostram que as regiões Sul, Sudeste e Nordeste apresentam a maior concentração de mecanismos de monitoramento da precipitação, porém apresentam maiores números de afetados em função da densidade populacional e da instalação de um maior número de pessoas em áreas de risco. O planejamento de ações visando retirar pessoas em áreas de risco, além do fortalecimento dos mecanismos de monitoramento, promoverá a redução do número de perdas de vidas e a redução das perdas materiais e econômicas.

Palavras-Chave – Monitoramento hidrometeorológico, extremos hidrológicos, desastres.

DIAGNOSIS OF HYDROMETEOROLOGICAL COVERAGE IN THE MONITORING OF HYDROLOGICAL EXTREME EVENTS IN BRAZIL

Abstract – Natural events are responsible for most of the disasters and their occurrences are always related to economic losses and the determination of land use and occupation in a region. In this context, it is necessary to implement monitoring networks to the processes that promote these events. In this sense, the aim of this work is to compare the raingauges and hydrometeorological radars belonging to public agencies to identify the Brazilian regions with less coverage of rainfall measurement mechanisms related to possible hydrological disasters. To elaborate the diagnosis of the coverage of the national hydrometeorological monitoring, maps were elaborated contemplating the criteria of the WMO for coverage areas of radars and pluviometers, crossing this information with the occurrences of flood and flash flood events available in S2ID. Results show that South, Southeast and Northeast regions present the highest concentration of mechanisms of precipitation monitoring, but present the largest number of people affected due to the density of the population and the larger number of people living in risk areas. Planning of actions aimed at withdrawing people from risk areas beyond the strengthening of monitoring mechanisms will promote reduction in the lives losses, also favoring the reduction of material and economic losses.

Keywords – Hydrometeorological monitoring, hydrological extremes, disasters.

¹ Afiliação: Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais.

² Afiliação: Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos/Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental (PPG-SEA)

³ Afiliação: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo / Universidade Estadual de Campinas.

INTRODUÇÃO

Os eventos naturais são responsáveis por grande parte dos desastres e em função disso é necessário caracterizá-los para que conhecendo a sua fonte, a magnitude, as áreas afetadas, as áreas mais propícias a novos eventos e a frequência desses eventos, seja possível estabelecer políticas públicas e implantar mecanismos para evitar tais desastres ou aumentar a resiliência desses locais.

Os registros mundiais de desastres, especificamente em relação aos eventos hidrológicos nos continentes, apontam um aumento do registro nas últimas décadas, com destaque para o ano de 2006 em que foram registrados 226 eventos e distinção para o continente asiático que representou aproximadamente 44% dos casos para esse ano (CRED, 2016).

A interação entre os eventos meteorológicos e os processos relacionados à hidrologia, seja para casos envolvendo eventos de seca e estiagem ou eventos de inundação e enxurrada, são importantes condicionantes para a economia do país e também para a determinação do uso e ocupação do solo de uma determinada região. Essa ocupação, muitas vezes sem planejamento, contribui para o aparecimento de problemas relacionados aos sistemas de drenagem urbana, os quais ao terem sua capacidade de suporte extrapolada, em relação às condições meteorológicas, favorece a ocorrência de eventos hidrológicos extremos.

Os eventos naturais podem ser classificados em cinco grupos segundo o Ministério da Integração Nacional (BRASIL, 2012), sendo eles os eventos geológicos, hidrológicos, meteorológicos, climatológicos e biológicos.

Para o entendimento de qualquer um desses eventos são necessários os mecanismos de mensuração meteorológicos. A previsão do estado da atmosfera requer o processamento de dados meteorológicos coletados simultaneamente em diferentes pontos da superfície da Terra (Varejão-Silva, 2006). No caso dos sistemas sinóticos, os quais referem-se a fenômenos atmosféricos de dimensões de 100 a 10.000 km e que duram de dias a semanas, a rede de instrumentação meteorológica pode ser mais esparsa, neste caso, a WMO (2008) cita que os processos meteorológicos normalmente devem ser representativos de um raio de até 100 km em torno da estação. Já no caso de sistemas de meso-escala, que possuem escala espacial da ordem de 1 a 100 km e duram de horas a dias e de micro-escala em que os fenômenos possuem dimensão entre 1 metro a 1 Km, e duração da ordem de 1 segundo até cerca de 1 hora (SOUZA et al., 2015), há a necessidade de uma maior densidade de informações, logo as previsões meteorológicas de menor alcance exigem observações mais frequentes de uma rede mais densa, neste caso a WMO (2008) cita que a área considerada pode ter dimensões de 10 km ou menos.

Além da implantação de mecanismos de mensuração da precipitação, ainda são necessários dados para a caracterização dos eventos hidrológicos, tais como informações sobre os cursos d'água, pontos de alagamentos, inundações, pontos de maior declividade, capacidade de suporte do sistema de drenagem e outros elementos. Estas informações são importantes para a formulação de mecanismos de prevenção que possam ser utilizados por instituições e organizações que têm por objetivo remover a população das áreas de risco, evitar novas instalações nestas áreas e propor estruturas que minimizem os impactos.

No Brasil os dados meteorológicos, assim como os hidrológicos não estão unificados em um único sistema, o que dificulta a análise espacial destes elementos. Alguns sistemas de monitoramento, principalmente aqueles que são de responsabilidade federal, possuem os seus dados disponíveis, sendo estes dados considerados neste artigo para comparação da espacialidade desses com as informações referentes aos eventos hidrológicos. Desta forma, considerando as recomendações da WMO, este estudo tem como objetivo comparar a rede de pluviômetros das redes pertencentes ao

Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN, Agência Nacional das Águas – ANA, Serviço Geológico do Brasil – CPRM, além dos radares meteorológicos, de forma a identificar as regiões brasileiras com menor cobertura de mecanismos de mensuração da precipitação.

Os Eventos Hidrológicos

Os eventos hidrológicos podem ser classificados em 3 subgrupos: inundações, enxurradas e alagamentos. Segundo a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres – COBRADE (BRASIL, 2012), a inundação é a submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas, a enxurrada é definida como sendo o escoamento superficial de alta velocidade e energia provocados por chuvas intensas e concentradas, normalmente em pequenas bacias de relevo acidentado e o alagamento é descrito como a extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e conseqüente acúmulo de água em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas.

A inundação é o evento hidrológico que está se tornando mais frequente e causador de desastres naturais em áreas urbanas segundo Xu, et al. (2015). Segundo esses autores, mais de 233 das 633 maiores cidades do mundo estão ameaçadas por inundações afetando cerca de 663 milhões de habitantes, sendo que entre os anos de 2008 a 2010 pelo menos 62% das cidades chinesas presenciaram eventos de inundação e no ano de 2013 foram registrados eventos em 234 cidades. O mesmo destaque aos eventos hidrológicos de inundação é dado por Jha, Bloch e Lamond (2012), Marcelino (2008), e Muñoz e Valeriano (2015) que ressaltam que as inundações causaram a maior proporção de perdas materiais e humanas, em âmbito global, no período 1900 – 2014.

Em relação aos eventos hidrológicos de inundação e enxurrada a nível nacional, segundo Sistema Integrado de Informações sobre Desastres do Ministério da Integração Nacional – S2ID, os eventos reconhecidos pelo Governo Federal no período de 2006 a 2016 destacam a Região Sul com os maiores valores (Figura 1). Além disso, observando conjuntamente os eventos reconhecidos, destacam-se os anos de 2010 e 2011 com percentuais de 14 e 13,73%, respectivamente, de todo o país para a década em questão.

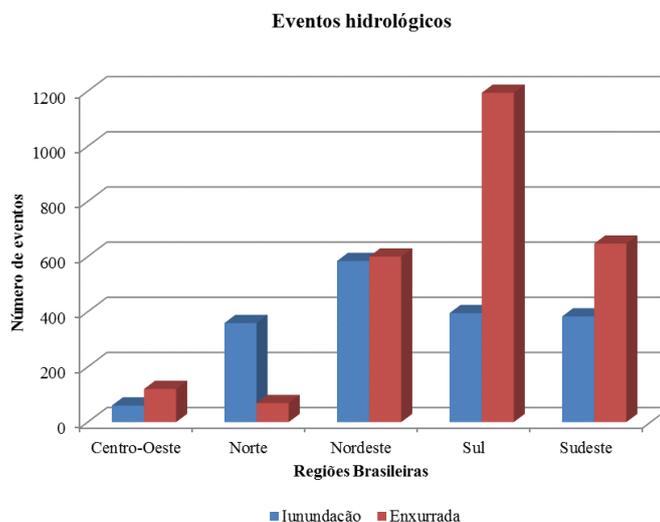


Figura 1 - Municípios atingidos por eventos hidrológicos no Brasil de 2006 a 2016. Fonte: adaptado de Brasil (2017).

Os números apresentados na Tabela 1 referem-se ao número de pessoas expostas aos eventos hidrológicos, segundo o Perfil dos Municípios Brasileiros (IBGE, 2013), com destaque para o maior número de pessoas atingidas, com aproximadamente 38,4%, para na Região Sudeste. Destaca-se também a importância de ressaltar que as áreas de ocupação possuem uma dinâmica própria uma vez que uma área antes ocupada que não possuía um risco de inundação pode vir a ser uma área de potencial risco de eventos hidrológicos em função da implantação de qualquer mecanismo que altere, por exemplo, a dinâmica dos cursos d'água da bacia hidrográfica.

Tabela 1 - Número de atingidos em função da área de ocupação nas regiões brasileiras por eventos hidrológicos

Tipo de área	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro Oeste
Atingidos na área urbana	142	403	577	360	61
Naturalmente inundáveis	104	260	425	218	35
Não usualmente inundáveis	49	122	175	123	22
Com ocupações regulares	57	150	253	153	26
Com ocupações irregulares	66	169	247	156	17

Fonte: adaptado de Brasil (2013).

Mecanismos de mensuração da precipitação

Os mecanismos de mensuração da precipitação podem ser segregados em três elementos, pluviômetros, radares e satélites, sendo que nenhum dos métodos está isento de erros.

Segundo Beneti, Calvetti e Pereira Filho (2002) as fontes de erro de medição de chuva com o radar meteorológico estão associadas à calibração eletrônica do equipamento, à equação de transformação da refletividade efetiva em taxa de precipitação (ou relação Z-R), ao efeito da curvatura da Terra e à zona de derretimento de cristais de gelo na nuvem.

Entre os problemas relacionados ao uso de pluviômetros está a limitação espacial para detectar a precipitação, sendo necessário implantar uma rede de monitoramento, situação essa detectada por Johnson (1986) que cita a necessidade de instalação de 1 medidor no intervalo de 25 a 100 km, além disso, Beneti, Calvetti e Pereira Filho (2002) citam que a ação do vento pode causar uma diminuição da coleta de gotas pelo pluviômetro.

Apesar dos erros de medição do radar e dos pluviômetros não serem conhecidos, as estimativas de chuva com o radar meteorológico e as medições de chuva com a rede de superfície podem ser combinadas para diminuir erros (PEREIRA FILHO e CRAWFORD, 1995).

Conforme dito anteriormente, em função da escala do evento meteorológico a ser observado, existe a necessidade de uma determinada quantidade de instrumentação meteorológica. Sobre este aspecto a integralização dos mecanismos de precipitação aumentam a precisão da identificação dos eventos, principalmente aqueles relacionados a meso e microescala.

METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desta análise comparativa, inicialmente foi elaborado um mapa do Brasil no ArcGis onde foram plotadas as estações meteorológicas da Agência Nacional das Águas - ANA e outras entidades que operam estações que estão cadastradas no banco de dados da ANA, tais como Serviço Geológico do Brasil – CPRM, agências ambientais e de recursos hídricos e do setor elétrico, entre outras, além das estações do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – Cemaden. Vale considerar que foram consideradas apenas as estações ativas na época da elaboração do trabalho.

Após esta etapa foi realizada em cada uma das estações uma extensão da área de atuação utilizando para tanto a ferramenta Buffer do ArcGis de 100km, sendo isto em função da descrição citada pela OMM para as situações em que se tem observações sinóticas e de 10km para as situações em que se tem observações de meso e microescala. O mesmo procedimento foi realizado para os radares, sendo para tanto adotado um raio de 250km.

Na sequência foi utilizada a ferramenta Erase do mesmo software para ilustrar as áreas no território brasileiro que não eram contempladas pela cobertura de estações meteorológicas e em seguida foi elaborado os mapas para ilustrar as áreas sem cobertura de pluviômetros, sem cobertura de radar em ambas as situações.

Posteriormente, foram inseridos os dados dos eventos de inundação e enxurrada reconhecidos pelo governo brasileiro e disponíveis no S2ID (2015) para o período de 2006 a 2016 e utilizada a ferramenta Spatial Join a fim de se verificar os municípios em que não há cobertura pelas estações meteorológicas se houveram levantamento de ocorrência destes eventos hidrológicos, o mesmo procedimento foi realizado para a cobertura de radar no território e para ambas as situações. Destaca-se aqui que não foi realizado o levantamento de casos relativos a calibração dos equipamentos e também se durante os eventos os equipamentos estavam transmitindo os dados.

RESULTADOS

As regiões brasileiras que apresentam uma maior cobertura dos mecanismos de estações meteorológicas e radares representadas estão ilustradas na Figura 2.

As regiões Nordeste, Sul e Sudeste apresentam maior cobertura ao analisar os eventos sinóticos, no entanto, comparando as mesmas regiões com relação aos eventos de micro e mesoescala em que a cobertura das estações pluviométricas apresenta uma menor área (10km) é possível observar as regiões Sul e Sudeste e a litoral do Nordeste apresentam maior dispersão de estações.

Entre os estados brasileiros com menor cobertura de radar, destacam-se o do Mato Grosso e o do Tocantins, no entanto, observa-se no último uma maior cobertura de pluviômetros ao longo da bacia hidrográfica do Araguaia, tornando-o proporcionalmente melhor instrumentalizado quando analisamos os eventos sinóticos.

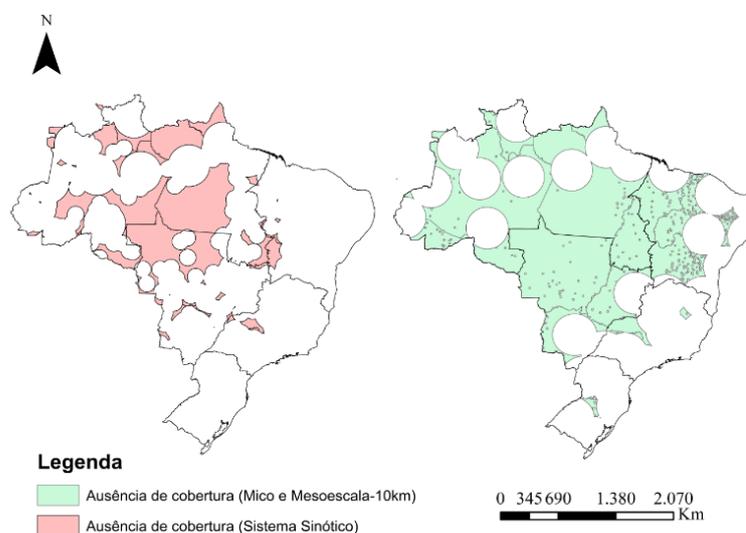


Figura 2 – Áreas com cobertura de estações pluviométricas e radares para inundações para eventos sinóticos e eventos de micro e mesoescala.

Aplicando uma máscara contendo as áreas que não são cobertas por qualquer mecanismo de mensuração da precipitação e os eventos de inundação e enxurrada nos municípios brasileiros é possível identificar os aqueles que possuem uma população mais suscetível.

Nesta perspectiva, os municípios da região Centro-Oeste e Norte destacam-se pelos registros de eventos de inundação e uma menor distribuição de mecanismos para prevê-los, conforme ilustrado na Figura 3, com destaque para o elevado número de eventos reconhecidos na região Norte.

Em relação aos processos de enxurrada, devido a menor área de cobertura a partir das estações pluviométricas, verifica-se que a apenas as regiões que possuem cobertura de radar apresentam uma melhor cobertura, o que possibilita influir a necessidade de ampliação da rede de instrumentação para a previsão deste tipo de evento. Destaca-se o estado do Pará, devido ao número de municípios que reconheceram os eventos de enxurrada e a ausência de mecanismos para mensuração dos eventos de micro e mesoescala.

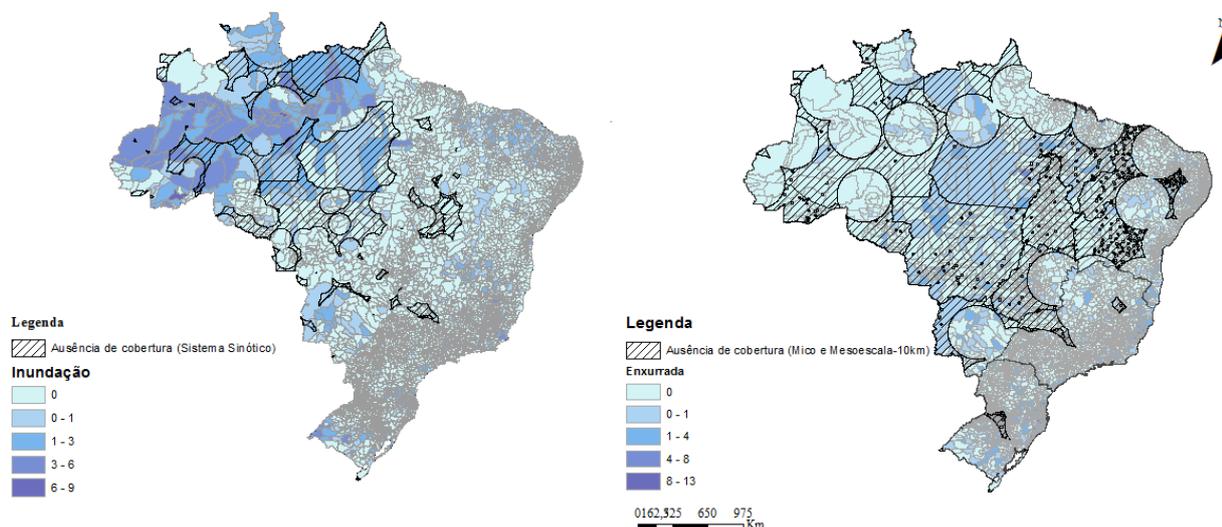


Figura 3 – Áreas sem cobertura de estações pluviométricas e radares para inundação para eventos de inundação e enxurrada

Em ambos os eventos objetos deste estudo, é notório que os eventos de inundação e enxurrada ocorrem em todo o território nacional, considerando as devidas proporcionalidade de cada evento em função das características do clima, hidrografia e relevo, no entanto, conforme descrito na Tabela 1, e os registros apresentados na Figura 3, deve-se destacar que os eventos hidrológicos também estão suscetíveis a uma análise do uso e ocupação do solo para a melhor compreensão deste eventos.

CONCLUSÃO

A apresentação dos resultados ilustra que nas regiões em que se observam a maior concentração de mecanismos para mensuração da precipitação (Sul, Sudeste e Nordeste), também são apresentados os maiores números de afetados em função da densidade da população e da instalação de um maior número de pessoas em áreas de risco. A necessidade de implantação de mecanismos de mensuração da precipitação pode estar associada a elementos como a gestão de risco das áreas, uma vez que nem sempre é possível evacuar a população das áreas de risco. Para que o processo seja mais eficiente, também é necessário associar a estes elementos estudos hidráulicos dos canais de drenagem e rios que cortam os municípios.

A caracterização dos eventos de desastres naturais e a descrição dos elementos que os fomentaram são de extrema importância para o país, pois o planejamento de ações que visem a retiradas das pessoas de possíveis áreas afetadas com antecedência e a implantação de mecanismos que impossibilitem a fixação de moradias e comércio nessas áreas irá promover a redução do número de perdas de vidas humanas, favorecendo também à redução das perdas materiais e econômicas. Para que essa ação tenha êxito, o mecanismo de avaliação deve ser contínuo, pois assim como a dinâmica do uso e ocupação do solo urbano é mutável, mutável também se tornará as áreas de risco hidrológico e, também, a capacidade do sistema de drenagem implantado de suportar e amortecer as precipitações.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Instrução Normativa nº 01, de 24 de agosto de 2012. Estabelece procedimentos e critérios para a decretação de situação de emergência ou estado de calamidade pública pelos municípios, estados e pelo distrito federal, e para o reconhecimento federal das situações de anormalidade decretadas pelos entes federativos e dá outras providências. Diário Oficial da União 2012; 30 ago.

_____. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Banco de dados e registros de desastres: sistema integrado de informações sobre desastres - S2ID. 2017. Disponível em: <<http://s2id.mi.gov.br/>>. Acesso em: 10 abril 2017.

BENETI, C.; CALVETTI, L.; PEREIRA Filho, A.J. Estimativa da Precipitação por Radar e Pluviômetros na Região Metropolitana de Curitiba - Resultados Preliminares. *Anais: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Foz do Iguaçu-PR. 2002.

CRED. Centre for Research on the Epidemiology of Disaster: The International Disaster Database. Disponível em: <<http://www.emdat.be/>>. Acesso em: 08 de nov. 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Perfil dos Municípios 2013. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/perfilmunic/2013/>. Acesso em 20 fev. 2015.

JHA, A. K.; BLOCH, R.; LAMOND, J. *Cidades e Inundações: Um guia para a Gestão Integrada do Risco de Inundação Urbana para o Século XXI*. THE WORLD BANK. Washington, D.C., 2012.

JOHNSON, L. E. (1986). Hydrologic modeling using radar-rainfall imagery. In *What we have learned since the Big Thompson Flood: Proceedings of the Tenth Anniversary Conference*, Boulder, Colorado, Jul. (2000).

MARCELINO, E. V. Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos. 2008. Caderno Didático nº 1. INPE/CRS, Santa Maria, 2008.38p.

MUÑOZ, V. A.; VALERIANO, M. de M. Mapeamento de planícies inundáveis a partir de MDE e avaliação da exposição à inundação na bacia do rio Itajaí. *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.

PEREIRA FILHO, A. J.; CRAWFORD, K. C. (1995). Integrating WSR-88D estimates and Oklahoma Mesonet measurements of rainfall accumulations: a statistical approach. In 27th International Conference on Radar Meteorology, Boston, Massachusetts, 2000, pp. 240-242.

SOUZA, L. P.; ALVES, R. C. M.; MOLLMANN, R. A.; RODRIGUES, B. D. (2015). Descrição e caracterização dos fenômenos atmosféricos mais frequentes no território brasileiro. UFRGS. Disponível em: https://energypedia.info/images/4/40/Descri%C3%A7%C3%A3o_e_carateriza%C3%A7%C3%A3o_dos_fen%C3%B4menos_atmosf%C3%A9ricos_mais_frequentes_no_territ%C3%B3rio_brasileiro.pdf . Acesso em 02 jun. 2017.

VAREJÃO SILVA, M. A. Meteorologia e Climatologia. Recife: Versão Digital, 2006. 463 p.

WMO. World Meteorological Organization. (2008). Guide to meteorological instruments and methods of observation. Geneva, Suíça. ed. 7. Disponível em: http://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_8_en-2012.pdf. Acesso em 25 nov. 2015.

XU, G.; HUANG G. Q.; FANG, J. (2015) Cloud asset for urban flood control. *Advanced Engineering Informatics*, v.29, pp. 355 – 365.