

PRINCIPAIS DESAFIOS NA PRODUÇÃO CARTOGRÁFICA DA PRECIPITAÇÃO E PROPOSTAS PARA O SEU MAPEAMENTO 3D NO SEMIÁRIDO NORDESTINO EM CASOS DE EVENTOS EXTREMOS

MAIN CHALLENGES IN THE CARTOGRAPHIC PRODUCTION OF PRECIPITATION AND PROPOSALS FOR ITS 3D MAPPING IN THE NORDESTINO SEMIARID IN CASES OF EXTREME EVENTS



Resumo:

O presente estudo teve como objetivo abordar os principais conceitos para a produção cartográfica da precipitação, além disso, foi utilizado como proposta o mapeamento 3D das chuvas na Microrregião de Itaparica que está inserida no Semiárido brasileiro e faz parte das microrregiões do estado de Pernambuco Para se avaliar o mapeamento 3D das chuvas na Microrregião de Itaparica, deu-se preferência os aos dias que correspondem ao mês mais chuvoso de toda a série histórica do satélite (1998 -2014), que foi em janeiro de 2004. Portanto, os dias que tiveram essas características foram entre 16 e 19 de janeiro de 2004. Com o auxílio do Precipitation Radar (PR), podem ser visualizadas como a precipitação se comporta em três dimensões, em casos de eventos extremos. Foi possível identificar que os fatores topográficos interferem na distribuição espacial das chuvas. Na Microrregião Itaparica, se comparadas com a região litorânea há um menor desenvolvimento vertical das nuvens, embora seja uma diferença atenuada

Abstract:

The present study aimed to approach the main concepts for a cartographic production of precipitation data, in addition, it was used as proposal a 3D mapping of precipitation data in the Microregion of Itaparica, which is located in the Brazilian Semi-Arid and is one of the Microregions of the State of Pernambuco. For evaluating the 3D mapping of precipitation in the study area, it were selected days corresponding to the most rainy month of the entire historical series of the satellite data in the study area (1998 -2014), which was in January 2004. Thus, period between January 16th and 19th, 2004 was studied. By the use of Precipitation Radar (PR), it can be visualized how precipitation data behaves in three dimensions, in cases of extreme weather events. It was possible to identify which topographic factors interfere in precipitation spatial distribution. In the Itaparica Microregion, when compared to a coastal region, there is a lower vertical development of clouds, although it is a mild difference. Precipitation maps were produced by importing data through the TRMM Orbit Viewer (THOR) software. Radar is a tool to aid in the interpretation of satellite images in order to identify atmospheric systems forming processes.

Tamires Gabryele de Lima Mendes¹, Rafael Silva dos Anjos², Tânelly Neriah Santos³, Ayobami Badiru Moreira⁴, Ranyere Silva Nóbrega⁵,

¹Graduanda em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, Email: tamires25lima@hotmail.com

²Doutorando do Programa de Pós-graduação em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco, Recife-Pe, Email: anjos.rsa@gmail.com.

³Graduanda em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, Email: tanelly_neriah@hotmail.com.

⁴Doutoranda do Programa de Pós-graduação pela Universidade Federal de Pernambuco, Recife-Pe, Email: ayo.badiru@hotmail.com

⁵Prof. Dr. Departamento de Ciências Geográficas, UFPE. E-mail: ranyere.nobrega@ufpe.br.

Contato principal

Tamires Gabryele de Lima Mendes¹



Palavras chave: Precipitação, mapeamento 3D, satélites

Keywords: Precipitation, 3D mapping, satellite



INTRODUÇÃO

A distribuição da precipitação sobre a superfície terrestre é mais complexa que a insolação ou a temperatura do ar. Sendo assim, o padrão de distribuição das chuvas sobre o globo depende de diversos fatores, tais como a topografia, a distância de grandes corpos hídricos, a direção e caráter das massas de ar predominantes, entre outros (AYOADE, 2010).

Os processos formadores da chuva em grande escala estão ligados ao balanço de radiação e ao ciclo energético da atmosfera ao longo do globo. Partindo desse pressuposto, a validação da chuva é um dos mais importantes elementos no uso de modelos climáticos. No entanto, existem diversas dificuldades para se conseguir um “valor real” da chuva devido a sua acentuada variabilidade espacial e temporal (PARK et al., 2007).

Essa técnica de obter dados climáticos através de satélites vem sendo utilizado com mais frequência nas últimas três décadas, com o desenvolvimento e aprimoramento de satélites ambientais, aumentando a quantidade de informações disponíveis, incluindo estimativas de precipitação. Com melhores resultados nas estimativas, os produtos têm migrado da pesquisa para o produto operacional, difundido por autores de hidrometeorologia (COLLISCHON, 2006; NÓBREGA et al., 2008).

Segundo Collischonn (2006) a precipitação pode ser considerada como a variável do ciclo hidrológico que apresenta a maior variabilidade espacial, sendo esta dependente, na maioria dos casos, dos postos pluviométricos para sua representação. Ainda que a Organização Meteorológica Mundial (OMM) sugira que os dados de uma estação meteorológica sinótica sejam representativos espacialmente em até um raio de 150 km de distância, alguns fatores climáticos não são levados em conta nessa representação, já que o relevo, tipo de cobertura de solo, altitude, distância do mar, podem variar em distâncias bem menores.

Por isso, para compreensão da variação espacial da precipitação, é necessária sua produção cartográfica. No entanto, alguns desafios se apresentam ao cartógrafo, dentre eles a mudança de informações pontuais (oriundas de postos de precipitação e pontos de estimativas) para espacialização da precipitação numa superfície contínua.

É partindo desse princípio que Lucas et al. (2013) ressaltam a importância do desenvolvimento do SIG (Sistema de Informação Geográfica) e o aprimoramento de técnicas de geoprocessamento na modelagem de dados espaciais, permitindo transformar dados discretos em contínuos, pôr meio de interpolação matemática dos dados pontuais.

É válido acrescentar que a importância de espacializar a chuva através do sensoriamento remoto não se deve apenas a acurácia das estimativas, o processo de interpolação é de notável relevância para resultar num produto cartográfico que apresente a variação espacial mais próxima da realidade. Na microrregião de

Itaparica, a baixa densidade de postos pluviométricos com uma série histórica de dados curta, pode comprometer a análise do comportamento espacial da precipitação ao longo dos anos. Por isso, o satélite TRMM pode ser uma alternativa para complementação de dados de pluviosidade, uma vez que seja comprovada a acurácia das estimativas e sua variação espaço-temporal.

Diante do pressuposto acima, o objetivo desse artigo foi abordar os principais conceitos para a produção cartográfica da precipitação, além disso, foi utilizado como proposta o mapeamento 3D das chuvas na Microrregião de Itaparica.

REFERENCIAL TEÓRICO

Aquisição de dados de precipitação para mapeamento

Um dos métodos de medição da precipitação é por meio de pluviômetros, dentre os quais podem ser diferenciados de acordo com a tecnologia integrada ao equipamento. Para Ayoade (2010) o volume de chuva captado por um pluviômetro em determinado local depende de numerosos fatores, tais como a sua altura em relação ao solo, a velocidade do vento e a taxa de evaporação. Segundo o autor, alguns estudos mostram que quanto maior a altura do pluviômetro, menor é o volume de chuva captado. Segundo o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN, 2016), são três categorias de pluviômetros:

1- Convencionais: elas armazenam a quantidade de chuva, sendo necessária a medição registrada manualmente.

2- Semiautomáticos: mede e armazena a informação sobre a quantidade das chuvas e a leitura é feita a partir de um painel digital.

3- Automáticos: mede, armazena e transmite automaticamente a informação sobre a quantidade precipitada. Em alguns casos, esses tipos de pluviômetros estão integrados a outros instrumentos de medição de elementos climáticos, como no caso das Plataformas de Coletas de Dados (PCD's).

Diante de tecnologias diferenciadas, é válido considerar que as qualidades dos dados podem ser variadas de acordo com o equipamento utilizado. Em termos de disponibilidade de dados observados, alguns órgãos públicos destacam-se nessa tarefa, como o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a Agência Nacional das Águas (ANA) e a nível estadual, a Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC), sendo esta responsável pelo fornecimento de dados de precipitação de postos pluviométricos ao longo de todo o estado de Pernambuco.

É válido destacar que os dados para essa produção cartográfica na maioria das vezes são oriundos de postos pluviométricos. No entanto, esses dados estão sujeitos a erros humanos, além disso, a representação cartográfica pode ser comprometida devido à má distribuição dos postos pluviométricos por motivos

econômicos e de difícil acesso (ANJOS et al., 2016). No entanto, a sofisticação desses instrumentos passando do método analógico para o digital, permitiu uma maior precisão do levantamento melhorando o resultado final em sua representação.

Além disso, o uso do sensoriamento remoto tornou-se uma técnica que contribui para facilitar o planejamento no âmbito de gestão hídrica - incluindo prevenção e mitigação dos eventos extremos - além de solucionar os problemas referentes a má densidade dos postos e de possíveis erros nos dados de precipitação (ANJOS, 2016).

É válido salientar que a integração desses dados levantados em campo com dados estimados a partir do sensoriamento remoto teve seu início no século XX, principalmente a partir da sua última metade. O investimento no desenvolvimento da tecnologia para o levantamento cartográfico deu um grande salto promovido pela disputa entre os Estados Unidos e a União Soviética no período denominado como Guerra Fria, contribuindo para o lançamento de satélites de modo que os primeiros registros por sensoriamento remoto foram possíveis, com as primeiras publicações das imagens do satélite *Land Remote Sensing Satellite* (LANDSAT), na década de 60 (CLOUD, 2002).

Sabendo que a representação dos dados climáticos em um mapa exige alguns parâmetros na sua espacialização, a metodologia cartográfica deve seguir um processo para que na sua transformação de quantitativa (números) para qualitativa (mapas) possa deixar claro as variações climáticas ao redor do globo para que possua uma linguagem única em relação aos seus resultados. Sherbinin (2014) afirmam que ao produzir um mapa de mudanças climáticas com elementos visuais visíveis torna mais fácil a interpretação do público em relação ao texto.

Além dos desafios atrelados ao método de apresentação do mapa final, está o de acurácia dos dados e de um número suficiente de estações meteorológicas na região que se queira representar.

Ressalta-se que apesar da boa distribuição espacial, existe uma maior densidade de postos pluviométricos na Região Metropolitana do Recife, principalmente no município de Recife, enquanto no Sertão do São Francisco há uma menor densidade de estações.

Dessa forma, aconselha-se a utilizar a integração dos dados observados com estimativas de satélites visto que, embora existam estações meteorológicas espalhadas em Pernambuco, muitas encontram-se com lacunas no histórico dos dados precisando de complementação.

Um dos métodos mais recentes de representação cartográfica dos elementos climáticos vem no sistema cartesiano de três eixos (x,y e z). Assim é possível visualizar, através de modelagens, a distribuição espacial em 3D das chuvas, por exemplo (Figura 3).

Através dessa espacialização da chuva é possível compreender o desenvolvimento vertical das chuvas, facilitando o processo de monitoramento de

eventuais tempestades e, em alguns casos, a formação de ciclones.

É válido ressaltar que a produção cartográfica é apenas um instrumento constituinte de um determinado planejamento. Por isso, para uma gestão mais efetiva, além dos mapas é necessária a interpretação das características físicas e humanas da área a ser estudada, as quais se inclui o regime de chuvas mensal e anual, relevo, temperaturas médias e principais atividades humanas na região.

Se apenas os mapas forem considerados, corre-se o risco de desconsiderar outros fatores que influenciam no determinado fenômeno representado, que não estão contidos no mapa.

Processo de interpolação de dados

A quantidade de precipitação tende a variar no espaço e no tempo principalmente em áreas de latitudes médias e regiões mais áridas (AYOADE, 2010).

O método de interpolação é definido por espacializar para uma superfície contínua, a partir de um conjunto de dados pontuais de um determinado fenômeno. No entanto, cada fenômeno terá seu comportamento espacial diferenciado, por isso, torna-se pertinente a adaptação da interpolação para vários modelos que consigam se aproximar da realidade (CAMARGO et al., 2004) . Segundo a abordagem de Camargo *et al.* (2004) esses interpoladores variam de acordo como os fenômenos variam em pequena e larga escala. Por isso, os autores citam três tipos principais de modelos de interpolação de dados espaciais, cujas suas diferenciações baseiam-se nesse princípio:

- Modelos determinísticos de efeito local: nesse modelo, os pontos são interpolados a partir das amostras mais próximas, predominando assim os efeitos locais. Uma de suas funções são o Inverso do Quadrado da Distância. Em alguns softwares de geoprocessamento esse método é conhecido como IDW (*Inverse Distance Weighting*).
- Modelos determinísticos de efeito global: o princípio desse modelo é a variabilidade espacial em larga escala. Por isso, é comum os interpoladores serem de tendências, pois os mesmos desconsideram os efeitos locais no processo de interpolação.
- Modelos estatísticos de efeitos globais e locais (krigagem): os pontos da superfície são interpolados pelas amostras mais próximas. No entanto os estimadores estatísticos levam em consideração a variabilidade local e global. Esses tipos de estimadores são caracterizados por não serem tendenciosos e de procurar minimizar os efeitos inferenciais.

Fazendo uma revisão bibliográfica acerca da aplicação do tema, os principais métodos de interpolação de dados de precipitação são a Krigagem e o Inverso Quadrático da Distância (conhecido como IDW).

Alguns métodos geostatísticos são utilizados para identificar qual o melhor interpolador para aquele determinado fenômeno, baseando-se na previsibilidade de cada modelo. Dentre os métodos, um dos mais utilizados é a validação cruzada. Esse método consiste na retirada do valor amostrado, fazendo com que os interpoladores o estimem. De modo geral, o melhor interpolador seria a menor diferença entre o valor amostral retirado e o valor estimado. O gráfico gerado a partir da validação cruzada permite avaliar a quantidade do valor amostrado e a estimativa calculada pelo interpolador, apresentando o erro da estimação (SANTANA e SANTOS, 2016).

Os erros por cada interpolador são dados através do erro quadrático médio (REQM) ou *root mean square error* (RMSE). Ela é uma medida da magnitude média dos erros estimados tem valor sempre positivo e quanto mais próximo de zero, melhor o interpolador (ALVES e VECCHIA, 2011).

O gráfico gerado dos valores das amostras e os estimados pelo interpolador, oferece uma opção facilmente interpretável, quando o modelo consegue ser bem-sucedido, através da análise da linha de

tendência para todas as amostras. Se a linha possuir um ângulo em relação ao eixo (x) de 45°, o modelo tende a ter uma boa previsão de estimativa para todas as amostras calculadas.

No entanto, o desconhecimento de outro método geostatístico no processo de interpolação, torna o uso do método de krigagem muitas vezes indiscriminado. Para saber se o método de krigagem vale a pena ser aplicado, é pertinente que o fenômeno a ser espacializado, tenha uma certa dependência espacial. Podemos averiguar essa dependência por meio do semivariograma que é considerado como uma ferramenta básica de suporte a técnica de krigagem, pois permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço (CAMARGO *et al.*, 2004). Wanderley *et al.* (2012) afirmam que o semivariograma expressa a dependência espacial através da medida da variância dos valores amostrais, separados por uma distância. Os autores destacam os parâmetros do semivariograma na Figura 1:

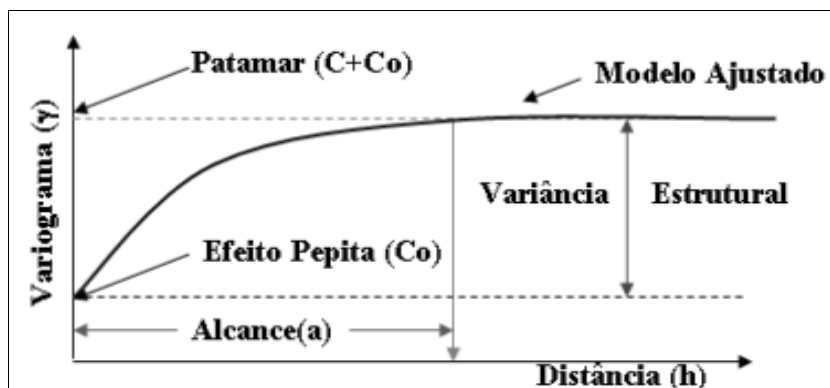


Figura 1. Parâmetros de um semivariograma. Fonte: Wanderley et al. (2012)

Onde, o patamar ($C+Co$) é tido como o ponto de estabilização do semivariograma. É a partir desse ponto que não há dependência espacial entre as amostras, porque a variância entre as amostras mostra-se independente da distância entre elas. O alcance (a) é a distância em que as amostras se encontram dependentes espacialmente. O Efeito Pepita (Co) é o ponto onde o variograma toca o eixo das coordenadas. A Variância Estrutural (C) é a diferença entre o patamar ($C+Co$) e o efeito pepita (Co) (WANDERLEY *et al.*, 2012).

Uma vez detectada a dependência espacial, é possível usar a técnica de krigagem. Esse interpolador usa o semivariograma para encontrar os pesos a serem associados às amostras como os valores conhecidos que irão estimar os pontos desconhecidos (WANDERLEY *et al.*, 2012). A diferença desse método em relação aos outros é a maneira como os pesos são atribuídos às diferentes amostras, enquanto no IDW os pesos são ajustados pelo inverso do quadrado da distância, a krigagem utiliza os pesos a

partir do semivariograma (CAMARGO *et al.*, 2004).

Alves e Vecchia (2011) definem o método de IDW tanto como um interpolador exato, como suavizador, dependendo da influência daquele determinado ponto, que por sua vez será determinada pelo inverso da distância. Quanto maior for a distância entre a amostra e o ponto a ser estimado, menor será a influência da amostra. É válido acrescentar que nesse método se existirem duas amostras próximas com valores discrepantes, a superfície torna-se pouco suavizada.

No que concerne ao melhor método de interpolação das chuvas, não existe um consenso geral, pois os erros inerentes a validação cruzada para cada interpolador irá variar de acordo com o número de amostras, localização espacial, escala a ser trabalhada. Por exemplo, Wanderley *et al.* (2012) identificou que para espacializar as chuvas no estado de Alagoas a Krigagem Ordinária teriam o melhor desempenho.

Isso não significa que as disparidades de erros entre os interpoladores vão ser significativas, tanto que Viola *et al.* (2010) verificaram que os interpoladores krigagem,

IDW e modelos estatísticos no geral, tiveram baixa dispersão utilizando o coeficiente de dispersão para a interpolação da chuva em Minas Gerais, além disso os autores identificaram que a época das chuvas iria interferir no erro dos interpoladores.

Em alguns casos, o IDW é o melhor interpolador, dado ao fato que Alves e Vechia (2011) verificaram que ele apresentava melhor desempenho para espacialização das chuvas em Goiás, se comparado com os interpoladores de Triangulação, Krigagem e Mínima Curvatura.

Magalhães *et al.* (2016) verificaram no Espírito Santo que dentre os interpoladores IDW, Krigagem esférica, Spline e Trend, o IDW foi o que apresentou menor erro associado a validação cruzada. O Trend foi o que apresentou o maior erro.

O uso do Sensoriamento Remoto na produção cartográfica da precipitação

Alguns trabalhos que utilizam dados de chuvas estimados oriundos de satélites meteorológicos vêm se destacando pela validação dessas estimativas comparando-as com dados observados, além da sua aplicabilidade nas mais variadas atividades humanas, incluindo agricultura e uso e ocupação do solo.

Dentre os satélites que estimam a precipitação, destacam-se o Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) e o Global Precipitation Measurement (GPM). O TRMM foi o primeiro a ser lançado em novembro de 1997, através de uma parceria da NASA e a Agência Aeroespacial Japonesa (JAXA). Sua missão foi de estimar a precipitação dos trópicos fornecendo estimativas das taxas de chuvas totais, convectivas e estratiforme. Além disso, o radar permitia um levantamento do desenvolvimento vertical das chuvas. Em março de 2015, o satélite entrou em fase de desativação concluindo sua missão, após 17 anos. Apesar disso, as observações da precipitação foram substituídas pelo *Global Precipitation Measurement (GPM)* que foi lançado em fevereiro de 2014, substituindo o projeto do TRMM (NASA, 2015).

Para avaliar a qualidade das estimativas, Anjos e Nóbrega (2013) compararam dados observados no estado de Pernambuco com as estimativas diárias do satélite TRMM entre os anos de 1998 e 2010. As maiores diferenças foram encontradas próximas ao litoral do estado, onde foram subestimadas as estimativas, enquanto nos pontos situados mais ao interior possuíram as melhores estimativas, porém com superestimação. Essas mesmas correlações foram encontradas no estado da Paraíba por Soares *et al.* (2016), onde os autores perceberam que as diferenças tendiam a ser maiores em regiões litorâneas, além disso identificaram que no período seco as correlações estatísticas entre os dados observados e estimados são maiores.

Numa escala nacional, Pereira *et al.* (2013) identificaram que no Nordeste, os valores das estimativas do satélite TRMM superestimaram os dados observados em aproximadamente 9%, mostrando

boa concordância entre os dados. É válido acrescentar que algumas regiões como o Centro-Oeste e o Norte, tiveram correlações estatísticas maiores no período mais seco do ano.

No entanto, Louzada *et al.* (2015) identificaram que as estimativas na Bacia do Rio Doce, localizada entre os estados de Minas Gerais e Espírito Santo, tendiam a ter menores correlações estatísticas nos períodos secos (Junho, Julho, Agosto). Tais evidências contraditórias acerca do período que o satélite tende a estimar melhor as chuvas reflete uma complexidade nas possíveis causas que promovam essa variação espacial e sazonal dos erros.

Com o intuito de verificar quais os tipos de chuvas (estratiformes e convectivas) atuantes no estado de Pernambuco, Anjos *et al.* (2016) perceberam que as intensidades das chuvas estratiformes diminuem a medida que se distanciam do litoral, o que não acontece com as chuvas convectivas. Tal fato poderia estar relacionado às variações dos erros das estimativas ao longo do estado de Pernambuco como Anjos e Nóbrega (2013) identificaram.

Anjos *et al.* (2016), verificaram que em Petrolândia, na microrregião pernambucana de Itaparica, as estimativas tendiam a se distanciar dos dados observados nos meses mais secos (Junho à Agosto), evidenciando semelhanças acerca do período de maiores erros com o trabalho de Louzada *et al.* (2015). Os autores ainda identificaram que as taxas de intensidade das chuvas convectivas e estratiformes são mais evidentes na estação chuvosa, estando as chuvas formadas por processos de convecção em maiores quantidades. Além disso, foi percebido que apesar de em março a quantidade precipitada de chuvas convectivas tem seu maior pico no ano, as maiores proporções são de chuvas estratiformes.

Alguns autores utilizaram as estimativas para avaliar a mudança no uso do solo. Costa e Souza (2012) conseguiram identificar as variações espaciais no uso do solo no município de Ourém-PA, a partir dos dados de precipitação. Já na área de agrometeorologia, Fuzzo *et al.*, (2015) viram que as estimativas do TRMM podem ser utilizados como dados de entrada para modelagem de produtividade de soja no estado de São Paulo.

Javanmard e Jamli (2015) utilizaram as estimativas do TRMM no Irã e verificaram que havia maiores superestimações durante os meses mais frios. Utilizando comparações de chuvas mensais, os autores identificaram que as contribuições das chuvas convectivas são maiores, em comparação com a estratiforme, no entanto, essas contribuições tende a ser maior durante os meses frios.

Ochoa *et al.* (2014) utilizaram as estimativas das versões 6 e 7 do algoritmo 3B42 no oeste do Equador e Peru aperceberam que a gênese das chuvas e suas variações espaciais iriam contribuir para que a acurácia das estimativas se diferenciasssem de acordo com sua localização geográfica.

Indur e Kumar (2014) fizeram análises das frequências

do TMI, sensor do satélite TRMM responsável por levantar dados a partir da radiação microondas com 20 combinações de canais, para avaliar a estimativa das chuvas na Índia. Perceberam que as estimativas se aproximam mais dos dados observados em canais de baixas frequências do que os canais com frequência maior que 85 Ghz.

A relação entre topografia, frequência de chuvas, intensidade da precipitação na região central do Himalaia foi identificada por Shrestha *et al.* (2015) ao utilizarem as estimativas do algoritmo 3A25. Duan *et al.* (2015) analisaram os dados de postos pluviométricos localizados nas Montanhas Apalachianas comparando-os com as estimativas de precipitação e os tipos de chuvas estratiformes e convectivas atuantes na região. Houve uma concordância entre os dados, mas essa será determinada pelo regime de chuvas, incluindo as características das chuvas e sua intensidade. Os autores abordaram a importância em considerar as características do terreno para o satélite obter bons resultados nas estimativas.

Uma vez comprovada a eficácia da precisão das estimativas de chuva do TRMM, as mesmas podem ser

utilizadas nas observações acerca de determinados fenômenos climáticos. Silva e Ferreira (2013), por exemplo, produziram mapas anuais de precipitação com estimativas do satélite TRMM para avaliar as variações espaço-temporal da chuva no Bioma Cerrado.

Foi verificado a influência de fenômenos climáticos como El Niño e La Niña na distribuição das chuvas. Os autores verificaram que quanto maior fosse a quantidade de chuva, mais concentrada espacialmente era.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo abrange a Microrregião de Itaparica que está inserida no Semiárido Brasileiro e faz parte das microrregiões do estado de Pernambuco (Figura 2). É composta por sete municípios: Itacuruba, Belém de São Francisco, Floresta, Jatobá, Tacaratu, Itacuruba e Carnebeira da Penha. Sua população ao total é de 134.933 habitantes (IBGE, 2016).

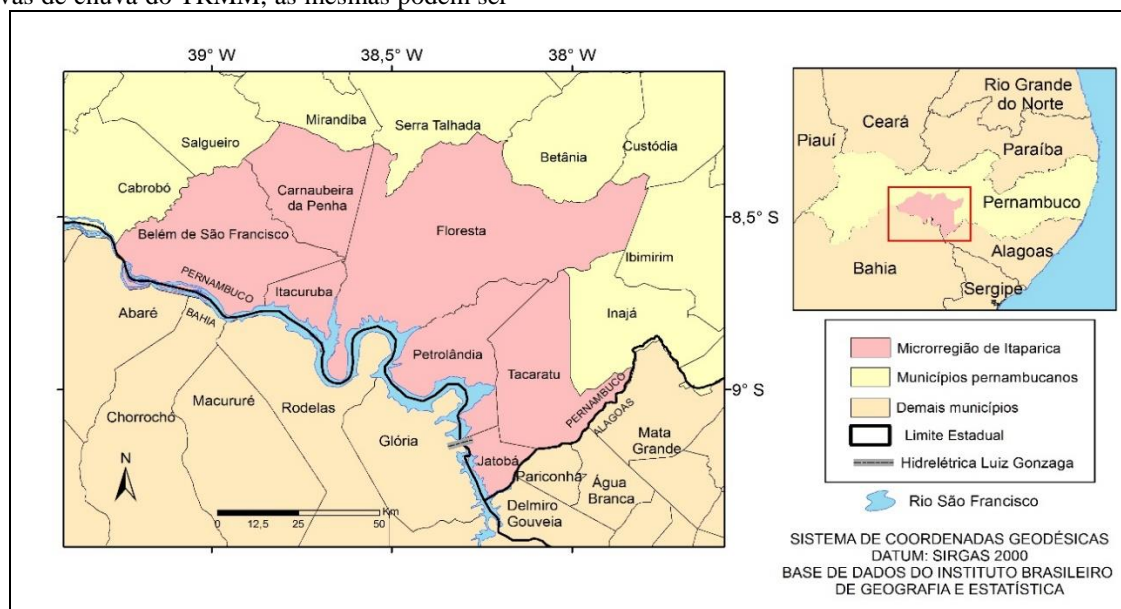


Figura 2. Área de estudo. Elaborado pelos autores (2017).

Metodologia

Como proposto nos objetivos do presente artigo, foi necessária uma revisão bibliográfica do tema para abordar os principais conceitos para produção cartográfica da precipitação. Além da discussão dos conceitos, buscou analisar os principais trabalhos acadêmicos que visaram a prática desses conceitos.

Elaboração do mapa e 3D dimensões da precipitação

Os mapas de precipitação foram produzidos a partir da importação dos dados no software *TRMM Orbit Viewer* (THOR). Diante das limitações do software na

produção do layout final, foi necessária a finalização das imagens no ArcGis 10.2.

É válido salientar que a faixa de levantamento dos dados do radar é de apenas 247 km, disponibilizando os dados instantaneamente ao longo de sua faixa de varredura. Para uma análise mais concisa, deu-se preferência os dias que correspondem ao mês mais chuvoso de toda a série histórica do satélite (1998 - 2014), que foi em janeiro de 2004. Por isso, foi necessário encontrar ao longo de todo o mês de janeiro, dias em que o radar identificasse precipitação e abrangesse a Microrregião de Itaparica. Portanto, os dias que tiveram essas características foram 16 e 19 de janeiro de 2004. Para auxiliar na análise dos mapas de precipitação, foi utilizado imagens do satélite

Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES).

O satélite GOES possui órbita geossíncrona ao longo do Equador. Esse tipo de órbita (35.800 km de altura da Terra) permite o monitoramento contínuo do comportamento da atmosfera, com o objetivo de analisar o desenvolvimento da precipitação, furacões, tempestades. A sua principal missão está ligada aos seus sensores a bordo: o imageador e a sonda. O imageador é um instrumento multicanal que detecta a energia solar refletida da superfície terrestre e atmosférica (NOAA, 2017).

A sonda disponibiliza dados para determinar a temperatura vertical e o perfil de umidade da atmosfera, superfície e temperatura do topo das nuvens (NOAA, 2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise da precipitação em 3D e qual a sua contribuição em casos de eventos extremos (Janeiro de 2004)

Com o auxílio do *Precipitation Radar (PR)*, podem ser visualizadas o desenvolvimento vertical da precipitação. Nesse sentido, em casos de eventos extremos a sua utilização permite a visualização de uma chuva mais intensa a partir de um maior desenvolvimento vertical das nuvens. A precipitação de janeiro de 2004, foi a maior registrada dentro da série de janeiro de 1998 a dezembro de 2014. Para se ter uma noção da quantidade precipitada nesse mês, foi registrado em Belém de São Francisco 673,8 mm (Posto) e 539,6 (TRMM), no entanto, a média registrada entre 1998 e 2014 no mês de janeiro é de apenas 88,8 mm.

Segundo Alves *et al.* (2004) a ocorrência da considerável quantidade precipitada na região Nordeste foi devido a influência de vários sistemas atmosféricos atuando simultaneamente. Como os ventos alísios nordeste estavam mais intensos, direcionou a Zona de Convergência Intertropical para latitudes mais altas em direção ao interior do Nordeste, atrelando a isso, uma maior atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul que favoreceu a vinda de frentes frias para a região.

Na figura 3, que representa a atmosfera no dia 19 de janeiro de 2004, com o auxílio da imagem do satélite GOES para confirmar a presença de nuvens formadoras de chuvas, percebe-se que em casos extremos de precipitação não houve um padrão na sua distribuição espacial, podendo ser verificadas desenvolvimentos verticais das nuvens atingindo altos níveis tanto próximo ao litoral, como no interior do continente, inclusive na Microrregião de Itaparica.

É válido salientar que o radar fez o processo de levantamento dos dados de 23:00 até 00:30 entre os dias 19 a 20 de janeiro de 2004. Salvo alguns pontos de convecção isoladas na Microrregião de Itaparica, tende-se a concluir que a precipitação na região foi uniforme. No entanto, segundo os dados da APAC

(2016) dos municípios que compõe a região, a precipitação acumulada de 19 a 20 de janeiro de 2004 variou de 5,8 a 81 mm. Diante desse pressuposto, é válido considerar que o radar registra a atmosfera num dado momento (e não registrando num dia), incluindo o fato do mesmo permitir uma análise da dimensão do desenvolvimento vertical das nuvens, embora não seja possível delimitar com precisão, de forma qualitativa, onde está ocorrendo maiores quantidades de chuva. De toda forma, é importante destacar que as variações espaciais da quantidade precipitada são perceptíveis através de um maior desenvolvimento vertical das nuvens localizados em áreas menores, podendo resultar em quantidades diferenciadas precipitadas ao longo do espaço.

O desenvolvimento vertical da precipitação, nesse caso, foi relativamente menor na Microrregião de Itaparica, se comparado com a região litorânea. No que concerne ao relevo, percebe-se que o mesmo pode influenciar na distribuição das nuvens, devido a uma faixa de descontinuidade de precipitação (entre os paralelos de 36°W e 39°W, aproximadamente) coincidir com maiores cotas de altitude, localizadas no Planalto da Borborema.

Devido a faixa do radar abranger 247 km de largura, existe uma certa dificuldade de encontrar uma imagem que cubra toda a Microrregião de Itaparica. É perceptível essa limitação quando analisada a Figura 4. Segundo a imagem do radar percebe-se a presença de algumas nuvens dentro da Microrregião, podendo inferir a ocorrência de chuvas espacialmente localizadas. No entanto, segundo informações da APAC, entre os municípios da região, apenas Belém de São Francisco teve precipitação registrada de 2,0 mm.

No caso presente, as nuvens tenderam a ficar esparsas umas das outras, se considerada toda a faixa do radar. Na região de Itaparica, percebe-se que algumas áreas não possuem nuvens, e consequentemente ausência de chuvas. No entanto, a sua presença em sua maioria, situaram-se próximas às vertentes dos planaltos e chapadas existentes na área.

Se forem levadas em consideração as duas figuras, percebe-se que a anterior possui mais áreas com um desenvolvimento vertical acentuado. Essas “colunas” de precipitação, podem ser consideradas como Torres Convectivas (KELLEY *et al.*, 2004) devido a probabilidade de estas serem originadas a partir de processos de convecção por sua altitude considerável.

De modo geral, a utilização de imagens de radar subsidia a análise da precipitação, embora a faixa de abrangência do radar possa limitar uma observação de áreas maiores. Com a presença de nuvens com desenvolvimento vertical acentuado, infere-se que o poder de convecção nessas áreas é considerável. Associada com outros planos de informação, como o relevo, pode-se ressaltar a influência de como alguns fatores climáticos determinam a distribuição espacial das chuvas e, consequentemente, o seu desenvolvimento vertical.

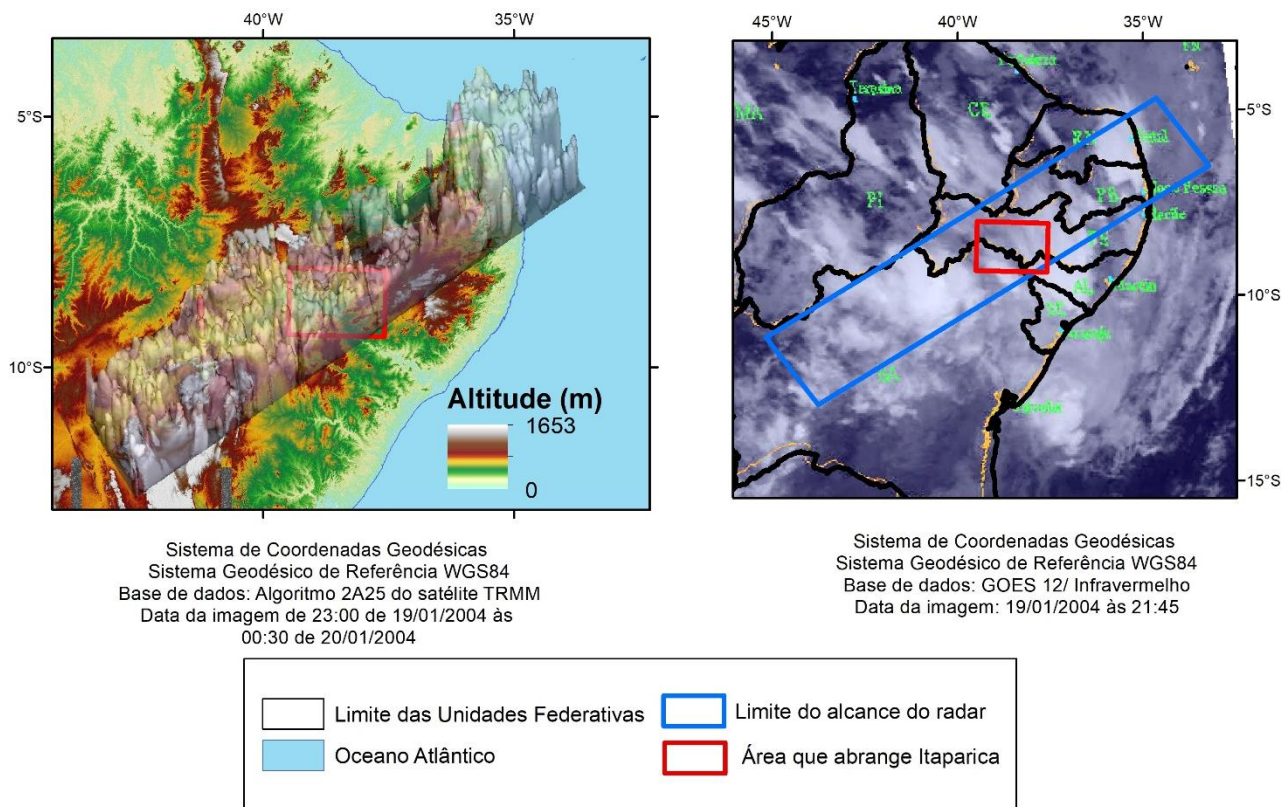


Figura 1. Estimativa da precipitação através do *Precipitation Radar* em 19 de janeiro de 2004. Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

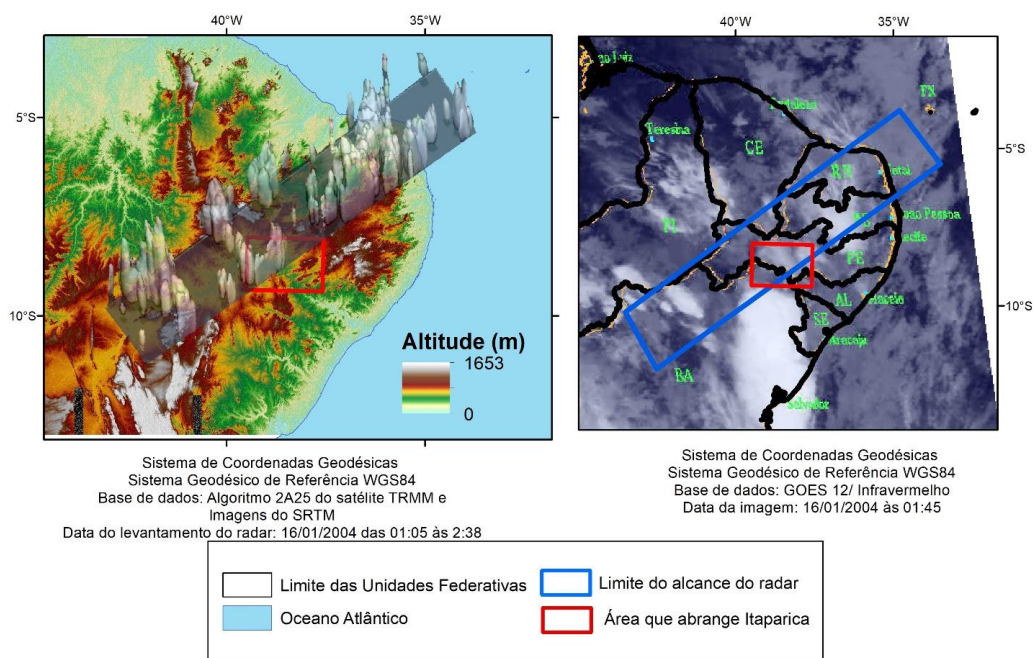


Figura 2. Precipitação estimada pelo *Precipitation Radar* em 16 de janeiro de 2004. Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de produção cartográfica das chuvas vai depender de inúmeros fatores. Por isso, é necessária uma

organização nas etapas da pesquisa que vão desde a aquisição dos dados até o processo de elaboração do Layout Final.

No que concerne aos procedimentos de aquisição de dados, com o passar dos anos o desenvolvimento tecnológico vem permitindo a integração entre dados estimados de satélites e observado, facilitando o mapeamento das chuvas em áreas até então inóspitas. Além disso, esse desenvolvimento permitiu uma maior acurácia e eficácia na transmissão de dados de precipitação com a utilização dos Postos de Coletas de Dados (PCDs).

Não existe um consenso geral para o melhor interpolador da precipitação. Dentre os mais utilizados, estão o IDW e a Krigagem. As utilizações desses interpoladores irão depender dos resultados de semivariogramas e da validação cruzada. Esses índices geoestatísticos irão depender do tamanho da série histórica, escala de abrangência dos dados, números de amostras, região a ser espacializada, quantidade precipitada, dentre outros fatores. Por isso, é imprescindível no processo de produção cartográfica uma análise prévia dos erros com o intuito de escolher o menos propícios a erros.

Ao ser analisado as aplicações das estimativas de satélites, foi possível identificar que os seus erros quando comparados com dados observados, variam de acordo com a localização geográfica, algoritmo utilizado, tipos de chuvas atuantes na região, topografia. Alguns pesquisadores além de validar essas estimativas, utilizaram-na na avaliação no uso do solo, produção agrícola e sua relação com principais fenômenos climáticos como El Niño e La Niña.

Sob a análise do *Precipitation Radar* (PR) foi possível identificar como a precipitação se comporta em três dimensões, em casos de eventos extremos. Foi possível identificar que os fatores topográficos interferem na distribuição espacial das chuvas.

Na Microrregião Itaparica, se comparadas com a região litorânea há um menor desenvolvimento vertical das nuvens, embora seja uma diferença atenuada. Apesar da presença de nuvens detectadas pelo radar de uma maneira uniforme ao longo da região, a quantidade precipitada variou espacialmente de maneira considerável. De modo geral, o radar mostra-se uma ferramenta para auxílio na interpretação de imagens de satélites de modo a identificar os processos formadores de determinados sistemas atmosféricos, embora sua faixa de levantamento de dados (247 km) possa limitar uma análise mais conjuntada área.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Grupo de Estudos em Climatologia Tropical e Eventos Extremos, TRPOCLIMA; e à FACEPE pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

ALVES, J. M. B.; CAMPOS, J. N. B.; FERREIRA, F. F.;

STUDART, T. M. C. As chuvas de janeiro/2004 no Nordeste do Brasil, suas características atmosféricas e seus impactos nos recursos hídricos da região. In: Anais do V SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE. São Luiz, MA: ABRH, 2004. Disponível em CD-ROM.

ALVES, E. D. L. A.; VECCHIA, F. A. S. Análise de diferentes métodos de interpolação para a precipitação pluvial no Estado de Goiás. *Acta Scientiarum. Human and Social Sciences* Maringá, v. 33, n. 2, p. 193-197, 2011.

ANJOS, R.S.; CANDEIAS, A. L. B.; NÓBREGA, R. S. Caracterização das chuvas através do satélite TRMM em Petrolândia-PE. *Revista Brasileira de Climatologia*, v.18, p.307-326, 2016.

ANJOS, R. S.; NÓBREGA, R. S. Validando os dados de estimativa de precipitação por sensoriamento remoto do satélite TRMM para Pernambuco – Brasil. In: I Workshop em Ciências da Terra e do Espaço, Évora, Portugal, 2013, p. 129-136.

ANJOS, R. S.; NÓBREGA, R. S.; ARAÚJO, F. E.; ROCHA FILHO, G. B. R. Spacial distribution of rain types in Pernambuco with the usage of Remote Sensing. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* v.6, n.3 (2016) 154-163..

AYOADE, J. O. Introdução à climatologia para os trópicos. 14ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 350 p.

CAMARGO, E. C. G.; FUCKS, S. D.; CÂMARA, G. Análise Espacial de Superfícies por Geoestatística Espacial. In: DRUCK et al. Análise Espacial de Dados Geográficos. Brasília: EMBRAPA, 2004. p. 1-37.

CEMADEN. Pluviômetros. Disponível em: <<http://www.cemaden.gov.br/o-que-sao-pluviômetros/>>. Acesso em outubro de 2016.

CLOUD, J. American Cartographic Transformations during the Cold War. *Cartography and Geographic Information Science*, Vol. 29, No. 3. 2002. p. 261-282.

COLLISCHONN, B. Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre (RS). 2006. 128 p.

COSTA, A. N. M.; SOUSA, A. M. L.; Análise do uso e mudança do solo a partir dos dados de vazão e precipitação. Anais do 10º Seminário Anual de Iniciação Científica da UFRA, 2012.

DUAN, Y.; WILSON, A. M.; BARROS, A. P. Scoping a

- field experiment: error diagnostics of TRMM precipitation radar estimates in complex terrain as a basis for IPHEX2014. *Journal Hydrology and Earth System Sciences.*, 19. 2015. p. 1501–1520.
- FUZZO, D. F. S.; PANTANO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Modelagem Agrometeorológica para Estimativa de Produtividade de Soja para o Vale do Médio Paranapanema-SP. *Revista Irriga, Botucatu*, v. 20, n. 3 2015. , p. 490-501.
- INDU, J.; KUMAR, D. N. Evaluation of TRMM precipitation products over Indian Subcontinent. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-8. 2014. p. 355 -358.
- IBGE. Cidades. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codumn=261160>> . Acesso em julho de 2016.
- JAVANMMARD, S.; JAMLI, B. The Study of Atmospheric Physics Parameters over Iran Using Satellite TRMM-TMI. *Journal Earth Science Climatic Change*, v. 6, p 1-7, 2015.
- KELLEY, O. A.; STOUT J.; HALVERSON, J. B. Tall precipitation cells in tropical cyclone eyewalls are associated with tropical cyclone intensification. *Geophysical Research Letters*, V.31, 1-4, 2004.
- LOUZADA, F. L. R. O.; XAVIER, A. C.; PEZZOPANE, J. E. M. Análise da precipitação estimada por satélite para a bacia hidrográfica do Rio Doce. *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 2015*, p 6645 -6652.
- LUCAS, T.P.B. et al. Identificação de interpoladores adequados a dados de chuva a partir de parâmetros estatísticos. *Revista Brasileira de Climatologia*, v.13, p.7-21, 2013.
- MAGALHÃES, I. A. L. Análise de métodos de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na região Norte do estado do Espírito Santo, Brasil. Disponível em: <www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0801.pdf>. Acesso em maio de 2016.
- NASA. NASA Facts: TRMM Instruments. Disponível em: http://trmm.gsfc.nasa.gov/overview_dir/ceres.html. Acesso em julho de 2015.
- NÓBREGA, R. S.; SOUZA, E. P.; GALVÍNCIO, J. D. Análise da estimativa de precipitação do TRMM em uma Sub-Bacia da Amazônia. *Revista de Geografia. Recife: UFPE – DCG/NAPA*, v. 25, n° 1, jan/abr. 2008.
- NOAA. NOAA's Geostationary and Polar-Orbiting Weather Satellites. Disponível em: <<http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/genlsatl.html>> . Acesso em fevereiro de 2017.
- OCHOA, A.; PINEDA, L.; CRESPO, P.; WILLEMS, P. Evaluation of TRMM 3B42 precipitation estimates and WRF retrospective precipitation simulation over the Pacific–Andean region of Ecuador and Peru. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 2014. p. 3179–3193.
- PARK, M. S. et al. Regional cloud characteristics over the tropical northwestern Pacific as revealed by Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Precipitation Radar and Microwave Imager. *Journal of Geophysical research*, vol. 112, 2007.
- PEREIRA et al. Avaliação dos Dados de Precipitação Estimados pelo Satélite TRMM para o Brasil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* Volume 18 n.3, p. 139-148, 2013.
- SANTANA, R. A.; SANTOS, N. T. Utilização de técnicas geoestatística na otimização de amostragem em parcelas de povoamentos de Tectona Grandis. Disponível em: <http://www.ime.unicamp.br/sinape/19sinape/node/661>. Acesso em: maio de 2016.
- SHERBININ, A. M. Mapping the unmeasurable? Spatial Analysis of Vulnerability to Climate Change and Climate Variability. 253 f. Tese. University of Twente, Massachusetts, United States of America. 2014.
- SHRESTHA, D.; DESHAR, R.; NAKAMURA, K. Characteristics of Summer Precipitation around the Western Ghats and the Myanmar West Coast. *International Journal of Atmospheric Sciences*. vol 2015, 2015.
- SILVA, D. P.; FERREIRA, M. E. Uso de Imagens do Satélite TRMM para Quantificação do Regime de Chuvas e Nebulosidade no Bioma Cerrado, Brasil. *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2013*. p. 8861-8867.
- SOARES, A. S. D.; PAZ, A. R.; PICILLI, D. G. A. Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v 21, p. 288 – 299, 2016.
- VIOLA, M. R.; MELLO, C. R.; PINTO, D.B.F.; MELLO, J.M.; AVILLA, L. F. Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.14, n.9, p.970–978, 2010.
- WANDERLEY, H. S.; AMORIM, R. F. C.; CARVALHO,

F. O. Variabilidade Espacial e Preenchimento de falhas de dados pluviométricos para o estado de Alagoas. Revista Brasileira de Meteorologia, v.27, n.3, 347 - 354, 2012.