ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Estimativas de Precipitação através das ocorrências de raios na bacia do rio Tocantins

Marcela Machado Pompeu¹, José Ricardo Santos de Souza, Wanda Maria do Nascimento Ribeiro³

¹Universidade Federal do Pará- UFPA. Autor correspondente: E-mail: marcelapompeu5@hotmail.com, ²Universidade Federal do Pará- UFPA. E-mail: jricardo@ufpa.br. ³Universidade Federal do Pará- UFPA. E-mail: wandaribeiro10@hotmail.com

Artigo recebido em 21/06/2016 e aceito em 02/08/2016

RESUMO

O objetivo desse estudo foi estimar a precipitação média quinzenal na bacia do Rio Tocantins a partir de dados observados simultaneamente de ocorrência de raios, incidentes em área a montante da represa da Hidroelétrica de Tucuruí. Em geral, a relação entre essas variáveis não é linear e pode variar com o clima regional. Como a Amazônia já é razoavelmente coberta por redes de monitoramento contínuo das ocorrências de raios, esse estudo pode contribuir para corrigir deficiências na obtenção de dados de precipitação, por outros meios de observação, nessa Região. As estimativas poderão subsidiar modelos numéricos para previsão de secas, enchentes e nível de água nas represas. Foram utilizados dados de raios coletados pela rede STARNET no período de setembro 2008 a setembro de 2010 e dados de chuva disponibilizados por vários sistemas de observação de superfície. Os resultados das análises desses dois anos mostraram que as médias quinzenais de ocorrências de raios e chuvas têm um comportamento sazonal semelhante, influenciado pelas oscilações de sistemas de grande escala como a ZCIT e ZCAS, e outros sistemas em meso escala. Correlações entre as variáveis foram apresentadas. Análises da relação entre cota de rios e raios indicaram que para períodos curtos houve boa correlação entre essas variáveis. Portanto o método desenvolvido nesse trabalho pode ser estendido satisfatoriamente e a baixo custo para suprir deficiências das redes de observações pluviométricas ou hidrológicas em outras bacias hidrográficas e/ou áreas de características fisiográficas distintas e de grande interesse socioeconômico na Amazônia.

Palavras –Chave: Amazônia. Raios. Precipitação. Bacias Hidrográficas.

Rainfall estimates through the lightning occurrences within the Tocantins river basin

ABSTRACT

The main objective of this study was to estimate the biweekly average precipitation within the Tocantins River basin, using simultaneous data from lightning occurrences over an area up river from the Tucuruí hydroelectric power dam. In general, the relation between these variables is not linear and may vary according to the regional climate. Considering that the Amazon Region is now reasonably covered by continuous monitoring lightning detection networks, this study will contribute to correct precipitation data collection deficiencies, by other means, in this Region. These estimates may subsidize numerical models to forecast droughts, floods and the water level at the reservoirs. Lightning events data collected by the STARNET system between September 2008 and September 2010 were processed, as well as, rainfall data from the available surface observation systems. The results from the analysis for this two years period showed that, both the biweekly averages of the lightning occurrences and rainfall have similar seasonal behaviors, influenced by large scale systems oscillations such as the ITCZ and SACZ, and meso scale systems. The correlations between these variables were presented in the work. Analysis of the river levels versus lightning numbers over short periods showed a good correlation between these variables. Therefore, the developed methodology for this work can be extended satisfactorily and at low cost, to remedy deficiencies of pluviometric and hydrologic observation networks, in other hydrographic basins and/or areas of distinct physiographic characteristics and great socio economic interest in the Amazon Region.

Keywords : Amazon Region. Lightning. Rainfall. Hydrographic Basins.

Introdução

A região amazônica é considerada atualmente como a região que apresenta a maior biodiversidade do mundo, bem como a maior bacia hidrográfica do planeta. Esse importante recurso natural inclui Bacias de Planície, utilizadas para

navegação, e Bacias Planálticas, que permitem aproveitamento hidrelétrico na qual a Bacia do Rio Tocantins enquadra-se em ambas as classificações com predominância do tipo de planalto. GEOBRASIL (2011)

Em virtude de a região Amazônica estar localizada próxima a linha do equador, seu clima é predominantemente equatorial, possui como características marcantes, elevada umidade, elevada temperatura ambiente e elevado índice pluviométrico.

Devido à enorme extensão territorial e sua posição geográfica predominantemente tropical, é o país de maior incidência de raios em todo o mundo sendo que no Brasil ocorrem anualmente de 50 a 70 milhões de raios e trazem perdas estimadas em R\$ 500 milhões, na maior parte relacionadas ao setor elétrico, mas outros setores são bastante prejudicados, como o setor de agropecuária, transporte viário, telefonia. (Pinto Jr, 2005,2009). Sendo a perda de vidas humanas a pior das consequências, uma vez que essas descargas atmosféricas podem ser fatais quando atingem seres humanos, sendo a segunda maior causa de morte por fenômenos meteorológicos no planeta (Cardoso et al., 2014).

A energia hidráulica é a fonte primária de geração de eletricidade no país garantindo a produção de 91% da eletricidade consumida no Brasil, o equivalente a um valor aproximado de 10 bilhões de dólares/ano, se computado somente o aferido na etapa da geração de energia (Freitas, 2003).

Devido à grande importância desse setor vários são os trabalhos que estudaram o comportamento extremo das chuvas nos trópicos e Subtrópicos sul-americanos (Quadro, 1994; Rocha, 2001; Souza et al., 2005), contudo uma análise desta variável associada à variabilidade hidrológica em bacias hidrográficas é fundamental como um suporte aos modelos hidrológicos que utilizam a precipitação como uma variável de entrada, ou assim como aos centros de previsões de níveis e vazões que baseiam-se nesta variável para uma correção subjetiva aos modelos utilizados.

Problemas com cheias e estiagens na Amazônia são de ocorrência anual. Cidades como Rio Branco, Porto Velho, Manaus, Óbidos, Santarém, Altamira, Marabá, entre outras, historicamente são impactadas pelo aumento do nível dos rios de suas respectivas bacias. A precipitação pluviométrica é uma variável fundamental no desenvolvimento de modelos numéricos confiáveis para aplicação na gestão de recursos hídricos e em bacias de rios, em geral (De Souza et al 2000). Alguns rios da Região Amazônica brasileira estão sujeitos a variações muito grandes nos seus regimes hídricos, devido a variações climáticas, cada vez com maior amplitude que as suas variações sazonais normais. (Santos, 2008). Esse fato tem gerado prejuízos econômicos elevados às populações dos estados do

Acre, Rondônia, Amazonas e Pará, em anos recentes.

Adicionalmente, como as bacias dos rios amazônicos já representam importante contribuição para o sistema interligado de geração e distribuição de energia elétrica do Brasil; e cada vez mais suas usinas hidroelétricas serão demandadas a compensar eventuais deficiências de geração de energia no sul e sudeste do País, o monitoramento contínuo de bacias hidrográficas amazônicas se tornara mais relevante ainda.

Os períodos de cheias e de estiagem influenciam diretamente em áreas onde estão localizadas áreas de UHT, dar continuidade aos estudos nessas regiões é considerado de grande importância contribuindo para comunidade científica bem como para meio social e econômico.

As redes de coleta de dados de precipitação e nível das águas nas áreas de algumas bacias ainda deixam muito a desejar, como é o caso da Bacia do Tocantins onde está a usina de Tucuruí. Por outro lado, a Bacia do Rio Xingu onde começou a operar a Usina de Belo Monte, tem um número muito pequeno de estações de superfície, e insuficiente para subsidiar informações para modelos hidrológicos.

Essa situação de pouca confiabilidade das previsões hidrológicas pode ser remediada através do uso dos dados de eventos de raios cuja observação por redes remotas de monitoramento contínuo já estão disponíveis, sobre as bacias de interesse, como é o caso da STARNET, que tem sede no Brasil.

Atualmente em estudos relacionados a bacias hidrográficas utilizando modelos hidrológicos têm levado em consideração apenas a entrada de dados de precipitação.

Porém estudos como o de Pompeu (2012) que realizou preliminarmente um estudo da relação entre raios e chuvas dentro de áreas de bacias hidrográficas, Almeida et al. (2008); (2010), que verificou a importância do monitoramento da frequência de ocorrência dos raios, como suporte para alertar em tempo real acontecimentos de tempestades severas. E o de Ribeiro et al. (2011), que analisou a relação entre raios e precipitação pluviométrica, mostraram que as frequências de ocorrência horária dos raios apresentam seus máximos valores sempre próximos aos máximos de precipitação dão um indicativo de que os estudos de ocorrência de raios em áreas de bacias pode ser uma importante ferramenta a ser introduzida em modelos hidrológicos.

Desta forma, o objetivo desse estudo foi analisar a relação entre a ocorrência de descargas elétricas atmosféricas, associadas à precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do Rio

Tocantins a fim de dar subsídio para a aplicação em modelos hidrológicos, através das ocorrências de raios buscando estimar precipitação e possibilitar prognósticos de enchentes e estiagens. O nível de sucesso nessa empreitada, avaliado em uma bacia razoavelmente coberta por observações

Material e métodos

Para realizar o estudo a área escolhida foi a bacia Tocantins. A escolha da área da bacia se deu pelo pioneirismo do estudo, sendo estudadas especificamente a área a montante do rio Tocantins, ou seja, a barragem de Tucuruí. Para realizar os recortes dentro de cada bacia, foi preciso delimitar a área que seria estudada, esse procedimento foi feito na opção Graphic Grid Maker que é uma extensão dentro do programa Arc View, que permite delimitar latitudes de longitudes, que foi possível criar quadrados com a mesma distância e assim obtendo-se às áreas dentro das bacias. Na bacia do Tocantins foi criado retângulos denominado de área 1 (2°S a 7,5° S). Figural.

Foram utilizados dados de raios da STARNET no período de set/2008 a set/2010. Para análise dos dados de raios foram utilizados vários métodos e programas. Primeiramente os dados de raios diários de 15 em 15 min. fornecidos no formato ASCII, foram manipulados dentro do software Matlab, através de um programa denominado de LEZEUS, que foi elaborado pela equipe de raios da UFPA. Após esse procedimento dos dados de saída de raios do programa LEZEUS encontravam-se no formato TXT, o que possibilitava a manipulação dos dados dentro do Arc View 3.2. Com isso foram feitas seleções de dados, através da opção **View – Geoprocessing–Clip**, sendo possível criar arquivos no espaço e no tempo de modo a considerar apenas os raios detectados dentro da área de estudo, Após esse procedimento as informações dos dados de raios quantificados, passavam a serem manipulados em planilhas do EXCEL, sendo possível obter as médias mensais, e organizar os dados de raios em períodos quinzenais Para quantificar o número de raios dentro das áreas em estudo foi utilizada a ferramenta Open theme table que mostrava uma tabela com o número de descargas elétricas atmosféricas que o programa identificou.

Para as informações precipitação pluviométrica se utilizou as estações meteorológicas: Instituto Nacional de Meteorologia – (INMET), Agência Nacional de Águas (ANA) e foram incluídas as estações da Centrais Elétricas do Norte do Brasil (Eletronorte), e as estações da Rede Estadual de Previsão Climática Hidro meteorológica do Pará (RPCH).

meteorológicas e hidrológicas como a do Tocantins, é um indicativo do potencial de aplicação dessa metodologia nova e de baixo custo, para geração de informações sobre outras bacias onde a rede de observações de superfície é precária, como a bacia do Rio Xingu e outros.

Cada bacia estudada continha um determinado número de estações meteorológicas dependendo da sua disponibilidade

O estudo contou com um total de dez estações e para a área da bacia do Tocantins os dados de chuva foram manipulados em planilhas do EXCEL na qual se calculava as médias mensais, separando os períodos secos do chuvoso, e também assim como os raios, as chuvas foram organizadas em quinzenas.

Os dados de cota altimétrica das bacias foram obtidos pelas estações fluviométricas do banco de dados Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA) e foi escolhida a cota de Tucuruí, localizada a 3,7578 S de latitude e 49,6533 W de longitude. Como os dados de cota do rio primeiramente eram fornecidos em unidade de centímetro (cm) os dados foram transformados para unidade de metro (m), é foram trabalhados em planilhas do EXCEL sendo organizados em períodos diários.

Figura 1- Localização da área de estudo: Bacia do Tocantins

Para desenvolver o estudo primeiramente foi trabalhado os dados de raios e chuva que já se encontravam em períodos quinzenais, no qual foi utilizado filtro de médias móveis a partir do terceiro dia em cada variável, depois de passado os filtros, foi preciso realizar ajustes temporais no raio em relação à chuva.

Para realizar os ajustes era necessário fazer um deslocamento do máximo valor do raio com o máximo valor da chuva, com isso obtínhamos um valor de Δt , os ajustes temporais entre raio e chuva obteve aproximadamente um valor de Δt de 15 dias a 2 meses, ou seja, os máximos valores do raio foram ajustados temporalmente com 15 dias a 2 meses de antecipação com os máximos valores da chuva.

Para os dados de cota do rio e de raios também se precisou fazer o mesmo procedimento, porém o filtro de médias móveis se deu a partir do sétimo dia nas duas variáveis, e o ajuste temporal entre o máximo valor da cota com o máximo valor do raio obteve um Δt de 5 a 10 dias aproximadamente.

Após os procedimentos supracitados foram confeccionados os gráficos de regressão.

Resultados e discussão

Os resultados da média mensal entre a precipitação e os raios no mês de abril apresentou o maior índice pluviométrico nas duas áreas em estudo com 315 mm/mês no rio Tocantins. A área do rio Tocantins apresentou os menores volumes de chuva e estes foram observados para os meses de julho e agosto com 8 e 17 mm/mês

respectivamente (Figura 2 a). Através da figura é notório perceber a sazonalidade da precipitação ao longo do ano, o que é uma resposta da atuação dos sistemas meteorológicos causadores de chuvas nas regiões de estudo.

Para a distribuição da média mensal de raios foram encontrados um total de 3.423.462 de raios detectados de pela rede STARNET no período de estudo. Na região estuda essa média foi de 1.165.741 para a bacia do Tocantins. O mês de setembro se destacou como o máximo de ocorrências de raios, o menor valor de ocorrência de raios em agosto nas duas áreas conforme mostra a Figura 2 b.

Como resultado das análises entre raios e chuva nessa bacia, os meses de fevereiro a maio de 2009 mostraram que os eventos de raios acompanharam os de PRP, tendo um número significativo de raios. Neste período foi observada a posição mais ao sul da ZCIT bem como a sua permanência nesta posição acompanhada de processos termodinâmicos o que resultou em muitas chuvas acompanhadas de descargas elétricas (BOLETIM CLIMANALISE maio/2009). As chuvas e os raios permaneceram com esse comportamento também no período mais seco.

No entanto o ano de 2010 houve uma queda na curva de descargas atmosféricas, porém ainda assim as chuvas e os raios estiveram associados (Figura 3). A queda na quantidade de raios pode ser atribuída a falhas na detecção destes, pela rede STARNET, que apontou uma queda significativa de raios no ano de 2010.

As Análises entre a relação entre raios e chuva não é simples nem direta. Parece haver melhor correspondência no período seco como mostra a figura 4 a. Interessante observar que as curvas de raios e chuvas seguem uma mesma tendência durante o período seco onde é visto que as duas linhas diminuem na mesma frequência, enquanto que no período chuvoso não se observa essa tendência. As ocorrências de raios chegam ao máximo em dezembro, enquanto que o máximo de precipitação ocorre em março, havendo uma relação inversa entre raios e chuvas no período de dezembro a fevereiro que podem ser observados na figura 4 b. Os resultados encontrados nesse estudo corroboram com os resultados encontrados por Ribeiro (2010).

Para área estudada foi realizada uma análise de linhas de tendência, onde a bacia do Tocantins na área 1 apresentou uma linha de tendência linear que teve um $R^2 =$ de aproximadamente 0,55 o que corresponde a 55% de

correlação entre as variáveis destacado na Figura 5. A preferência por essa linha foi devido ser uma reta de melhor ajuste usada com conjuntos de dados lineares simples, que mostra se os dados de raios e chuva estão aumentando ou diminuindo a uma taxa fixa, ou seja, os dados de chuva e de raios se enquadram nesse padrão de linha de tendência. Um fator que pode ter influenciado nos resultados pode ser o número de estações pluviométricas e a melhor qualidade dos dados na bacia do Tocantins.

Os resultados obtidos mostram que há uma tendência boa o bastante para se realizar prognósticos de chuvas através das descargas elétricas. Dessa forma podemos tentar prever os períodos de grande quantidade de precipitação e consequentemente de cheias e estiagens dentro das bacias, o que favorece o manejo e planejamento das UHTs instaladas nessas áreas.

Figura 2- (a). Média mensal da precipitação pluviométrica na bacia do Tocantins e na bacia do Xingu no período de set/2008 a set/2010. (b) Média mensal de raios detectados na bacia do Tocantins e a bacia do Xingu, no período de set/2008 a set/20

Figura 3- Distribuição do filtro de média móvel quinzenal entre raio e chuva na área 1- Bacia do Tocantins

Figura 4- Distribuição mensal do filtro de medias móvel entre raio e chuva durante período seco (A); chuvoso (B) período set/2008 a set/2010.

Figura 5 -Linha de tendência quinzenal entre precipitação e descargas atmosféricas período set/2008 a set/2010

Relação entre cotas de rios e raios

Esse tipo de estudo foi desenvolvido colateralmente nesse trabalho, já que a cota dos rios depende de fatores que controlam o escoamento da água precipitada para os canais dos rios, a sua vazão em vários trechos e a existência ou não de barragens reguladoras. Portanto, o que se buscou foram indícios de respostas das cotas dos rios às variações da incidência de raios.

Para fazer uma análise preliminar foi preciso reduzir o período de estudo para poucos dias notamos que há pulsos positivos entre as duas variáveis (Figura 6). Nesta redução há acompanhamento da cota com as descargas elétricas dentro da bacia do Tocantins onde está localizada a UHT de Tucuruí. Entre os dias 08 e 14 de janeiro de 2010 foi percebido que quando houve aumento da ocorrência de raios também

ocorreu aumento na cota do rio. O mesmo padrão foi observado para os dias 18 a 20 de janeiro de 2010, porém nestes dias ocorreram pequenos decrescimentos nas duas variáveis (Figura 6A).

Levando em conta que esse é um período em que ocorrem muitas chuvas para região em função da presença da ZCIT, temos aumento de descarga atmosférica e maior acúmulo de água das chuvas o que resulta em aumento do nível do rio.

Assim como no período de tempo anterior, as duas curvas se acompanham como é visto no dia 02 de junho de 2010, logo em seguida ambas crescem juntas no dia 09 de junho de 2010, e depois mantém um padrão constante até o final do período estudado figura 6 B. Parece que no período seco as curvas se correspondem bem melhor, mesmo sendo considerado um período de poucas chuvas,

conseguimos perceber que os raios possuem uma resposta no nível do rio.

Segundo Grecco et al. (1990) aglomerados convectivos atuantes na Amazônia, movem-se com uma velocidade média entre 10 e 40 km/h caracterizando um sistema de mesoescala. Maior parte da chuva produzida por estes sistemas está

provavelmente associada às nuvens estratiformes que fazem parte de sua estrutura, provocando precipitação e contribuindo para aumento no nível do rio e também na quantidade de chuvas eletrificadas.

Figura 6- Distribuição diária entre cota de rio e descargas atmosféricas. Caso de médias móveis de sete dias para (A) 06/01/2010 a 07/02/2010; (B) 05/05/2010 a 28/07/2010.

Os coeficientes de correlação encontrados mostram boa relação entre as duas variáveis (Figura 7). Os valores encontrados foram $R^2 = 0,6515$ e $R^2 = 0,6826$ o que corresponde a 65% e 68% de relação, sendo assim considerado bom para a realização de futuros prognósticos de enchentes por meio da ocorrência de raios, mesmo com a utilização de um período curto.

Mediante tais resultados, a confiabilidade em prever enchentes ou estiagem através das ocorrências do número de raios dentro das bacias do Tocantins ainda precisam de mais estudos, porém mesmo encontrando respostas bem pequenas entre as variáveis, é possível desenvolver estudos em que os raios podem contribuir para se estimar o nível do rio.

Figura 7-Distribuição diária do filtro de médias móveis de raios e cota do rio para o período: (A) 06/01/2010 a 07/02/2010 e (B) 05/05/2010 a 28/07/2010

Considerações finais

Os resultados das análises de três anos mostraram que as médias mensais de raios e chuvas têm um comportamento sazonal. Sendo influenciadas pelas oscilações de sistemas de grande escala como a ZCIT e ZCAS assim como pelo acoplamento de outros sistemas de meso e de escala local. Observamos que os raios anteciparam as chuvas em até uma hora, esses resultados mostram que os raios podem prever as tempestades severas que causam grandes transtornos à população. Analisando as linhas de tendências mensais e quinzenais dentro da bacia do Tocantins e vimos que o Tocantins mostra um bom coeficiente de correlação. Esses resultados mostram a viabilidade de se fazer prognósticos de chuvas através das descargas elétricas.

Para as análises da relação entre cota de rios e raios foi percebido que períodos longos não geram resultados satisfatórios, entretanto períodos mais curtos sim. Nestes foi possível ver que há um acompanhamento das duas variáveis principalmente na bacia do Tocantins onde os pulsos dessa relação foram positivos para a maioria das análises, a bacia do Tocantins, onde se encontra a UHT de Tucuruí, apresentaram boas repostas.

Em relação às análises de ocorrência de raios e cotas de rios as respostas foram bem sutis entre as variáveis, mas ainda assim revelam que os raios podem contribuir para se fazer uma

estimativa do nível do rio. É possível que pelo fato do Tocantins ter um represamento que é a barragem de Tucuruí, a análise da relação cota de rio e raios tenha sido favorecida

Finalmente, pode-se dizer com os resultados alcançados o uso de filtros temporais e ajustes de defasagens entre quantidade de raios e as médias de chuvas em áreas do leste da Amazônia pode vir a contribuir para uma possível estimativa da precipitação ocorrida para uma região, além de prognosticar em muitos casos a precipitação vindoura e contribuir com outros dados para modelos hidrológicos de bacias, a partir do monitoramento contínuo dos eventos de raios detectados ou com a utilização de outras redes de observação semelhantes. Esse é um estudo pioneiro onde é necessário realizar outras análises para desenvolver estudo mais preciso.

Esse tipo de informação tem custo relativamente baixo e pode suprir deficiências das redes de observações pluviométricas ou hidrológicas em bacias hidrográficas e/ou áreas de características fisiográficas distintas e de grande interesse socioeconômico na Amazônia.

Agradecimentos.

Os autores agradecem ao Programa de pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Pará, USP IAG pelos dados da STARNET, INMET ANA, HIDROWEB CAPES pela bolsa, CNPq, e ao Projeto REMAM.

Referências

- Almeida, A. C., Rocha, B. R. P., Souza, J. R. S., Monteiro, J. H. A., Souza, W.A., 2008 Statistical Analysis of High Intensity Lightning Strokes Detected by SIPAM'S LDN over the Amazon Region. GROUND 2008 & 3d LPE. Florianópolis, Brasil.
- Almeida, A. C.; Souza, J. R. S.; Sá, J. A. S.; Monteiro, J. H. A.; Rocha, B. R. P.; Pissolato Filho, J. A., 2010 Características dos Raios Nuvem-Solo na Amazônia Oriental: Subsídios para Proteção de Sistemas Elétricos. Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, Belém.
- De Souza, E.; Kayano, M.; Tota, J.; Pezzi, L.; Fisch, G.; Nobre, C., 2000 On the influences of the El Niño, La Niña and Atlantic dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998. Acta Amazônica 30, 305-318.
- Freitas, M. D. 2003. O estado das águas no Brasil, 2001-2002. Brasília: Agência Nacional de Águas.
- Pinto Jr, O., 2005 A Arte da guerra Contra os Raios. Ed. Oficina de Textos. São Paulo.
- Greco, S.; Swap, R.; Garstang, M.; Ulanski, S.; Shipham, M.; Harris, R. C.; Talbot, R.; Andreae, M. O., Artaxo, P., 1990 Rainfall and surface kinematics conditions over central Amazonia during ABLE 2B, J. Geophys. Res 95, 001-17,014. Geobrasil. Disponível em: <<http://www.geobrasil.net/geobrasil.htm>>. Acessado em 18/03/2016
- Pinto Jr, O., 2005 A Arte da guerra Contra os Raios. Ed. Oficina de Textos. São Paulo.
- Pinto Jr., O. 2009. Lightning in the tropics, Ed. Nova Publishers, New York.
- Pompeu, M. M., 2012. 124f Relações entre raios e chuvas na Amazônia Oriental. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Instituto de Geociências, Universidade do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi e EMBRAPA. Belém – Pará.
- Quadro, M. F. L. Estudo de Episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) Sobre a América do Sul. 1994. 123f. Dissertação (Mestrado). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São Paulo.
- Ribeiro, W.M.N., Souza, J.R.S., Lopes, M.N.G., Lopes, J.L.M., Teixeira, V.A., Paca, V.H.M., 2011a Lightning and Precipitation Produced by Severe Weather Systems, over Belem, Brazil. Proceedings of XIV International Conference on Atmospheric Electricity-ICAE 2011. Rio de Janeiro, Brazil.
- Ribeiro, W.M.N., 2010. 124f Distribuição de raios, precipitação e casos de tempestades severas na Amazônia oriental Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Instituto de Geociências, Universidade do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi e EMBRAPA.
- Rocha, E. J. P., 2001 Balanço de Umidade e Influências de Condições de Contorno Superficiais Sobre a Precipitação da Amazônia. 210p. Tese (Doutorado). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São Paulo.
- Souza, J.R.S.; Rocha, E.J.P., 2003 Cohen, J.C.P. Avaliação dos Impactos Antropogênicos no Ciclo da Água na Amazônia. Capítulo 4 In: Problemática do Uso Local e Global da Água da Amazônia. Org. Aragon L.E.; Clüsener-Godt, M. Edições Unesco Brasil, Brasília - DF, pp. 69-94.
- Santos, D. M., 2008 Análise e Modelagem Hidrometeorológica na Bacia do Tocantins em Marabá-PA. 118f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará. Belém – Pará.