



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Estudo das relações entre descargas elétricas atmosféricas e a chuva no Leste da Amazônia

Marcela Machado Pompeu¹, José Ricardo Santos de Souza², Wanda Maria do Nascimento Ribeiro³, Cassia Camila Silva da Silva⁴, Raimundo Nonato Nascimento Aarão Junior⁵

^{1,3,4,5} Mestres em Ciências Ambientais- Física do Clima -Universidade Federal do Pará- UFPA. Autor correspondente: E-mail: marcelapompeu5@hotmail.com wandaribeiro10@hotmail.com cassia_css@yahoo.com.br rjunior10@yahoo.com.br ²Professor da Universidade Federal do Pará- UFPA. E-mail: jricardo@ufpa.br.

Artigo recebido em 29/11/2016 e aceito em 23/02/2017

RESUMO

O objetivo desse estudo foi analisar a relação entre descargas elétricas associadas à precipitação, dentro de áreas selecionadas no leste da Amazônia. As áreas foram escolhidas por encontrarem-se aproximadamente na mesma latitude, buscando observar a sazonalidade dos sistemas precipitantes causadores de raios e sua penetração no continente, considerando as características climatológicas distintas de cada área de estudo. 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 mensais entre raios e chuvas nesse período indicaram melhor correlação na área de Belém e menor nas áreas de Caxiuanã e Santarém. Isso indica que a Zona de Convergência Intertropical condiciona essas variáveis próximo do Oceano, enquanto os sistemas de menor escala e a Zona de Convergência do Atlântico Sul controlam as mesmas no interior do continente. Aparentemente os quatro tipos de superfícies discriminados em cada área não apresentaram uma contribuição significativa para alterar a relação entre as variáveis, nesse estudo. Esse trabalho mostrou que na estação menos chuvosa a correlação entre raios e chuvas é maior em todas as três localidades, porém na época chuvosa observou-se que o máximo de chuva ocorreu cerca de dois meses após a máxima incidência dos raios nas mesmas.

Palavras-chave: Amazônia, descargas elétricas, precipitação, climatologia

A study of the relations between lightning and rainfall in the eastern Amazon region

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the relationship between electric discharges associated with the precipitation in selected areas of the eastern Amazon region. The areas were chosen within approximately the same latitude, seeking to observe the seasonal influence of the precipitating systems on lightning production, and their penetration into the continent, considering the different climatologic characteristics of each study area. Data collected by the STARNET lightning detecting network from September 2008 to September 2010 were processed, as well as, rainfall data available from several observing systems at the surface. The results of the monthly data analysis indicated a better relationship between lightning and rainfall in the area of Belém and lower correlation for Caxiuanã and Santarém. This indicates that the Intertropical Convergence Zone controls these variables near the Ocean, while small scale systems and the South Atlantic Convergence Zone control them in the interior of the continent. It appears that the four surface types discriminated for each area, did not contribute significantly to change the relationship between the main variables, in this study. This work has shown also that, during the dryer season, the correlation between lightning occurrences and rainfall is higher in all three areas; however, during the rainy season, it was observed that the rainfall maxima occurred about two months after the lightning incidence maxima.

Keywords: Amazon, lightning, precipitation, climatology

Introdução

A Floresta Amazônica é um dos mais importantes biomas do planeta, sendo que sua biodiversidade e sua importância no equilíbrio do planeta estão sendo cada vez mais discutidas. A

Amazônia é também a maior bacia hidrográfica do mundo, com cerca de cinco milhões de quilômetros quadrados e influi nos ciclos biogeoquímicos e hidrológicos, com interações no clima do mundo inteiro. Sendo uma floresta

equatorial de clima quente e úmido, a Floresta Amazônica apresenta alta pluviosidade (valores médios de precipitação anual entre 2.000 a 2.200 mm) associada a uma forte atividade convectiva, com períodos longos e intensos de chuvas durante o ano. A precipitação no pico do período chuvoso normalmente excede o valor de 250 mm/mês. (Horel et al., 1989).

As chuvas convectivas são características das regiões tropicais, uma vez que os ventos são fracos e a movimentação do ar ocorre basicamente na vertical (Tucci, 1997), produzindo processos de convecção, nuvens e chuvas. Este processo é tipicamente local (escala de variação inferior a 10 km) e de curta duração (tempo menor que 1 hora). Outra característica importante associada a este processo é a intermitência da ocorrência de chuvas. É na Amazônia que ocorrem as principais atividades convectivas do planeta que podem ter uma influência grande no clima de outras localidades, devido ao transporte horizontal de energia e vapor d'água. Essas atividades convectivas geram nuvens de grandes extensões verticais que são responsáveis por tempestades produtoras de eletricidades atmosféricas.

Devido a essas características a região Amazônica se destacam por apresentar um dos maiores índices cerânicos do mundo. Isso era esperado, em decorrência da formação frequente de nuvens cumulonimbos sobre toda a região, que apresenta elevados índices pluviométricos nas sub-regiões leste e extremo oeste (Souza et al., 2003).

No entanto as relações entre as ocorrências de raios e precipitação em um determinado lugar sobre a Terra dependem das características fisiográficas, do clima, da cobertura da superfície vegetal e usos da terra, bem como, sobre a topografia local e condutividade elétrica do solo.

De acordo com Pinto Jr., (2005), no Brasil ocorrem anualmente de 50 a 70 milhões de raios que produzem em média uma centena de mortos 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 e telefonia. (Pinto Jr., 2009).

Segundo as informações do Grupo de eletricidade atmosféricas (ELAT) o ano de 2010 houveram 89 mortes causadas pelos raios no Brasil, somente no estado do Pará foi registrado oito casos seguido de 12 casos em São Paulo. Sendo que as circunstâncias dessas mortes se deram por vários motivos: embaixo de árvores, setores agropecuários, praias, campos de futebol etc., é a época do ano que mais se tem vítimas é no verão.

Desta forma, o objetivo dessa pesquisa está em analisar a relação entre a ocorrência de descargas elétricas atmosféricas associadas à precipitação pluviométrica em áreas que se encontram em latitudes próximas (faixa entre 0 e 2 Sul) a saber as circunvizinhanças de Belém, Caxiuanã e Santarém. Buscou-se evidenciar as influencias climáticas, a sazonalidade dos principais sistemas atmosféricos produtores de raios é suas possíveis influencias geográficas nas variáveis estudadas.

Com esse estudo espera-se dar uma contribuição para o entendimento do comportamento dos raios versus as chuvas no leste da Amazônia e gerar prognósticos climáticos, capazes de atender as demandas de proteção a vida, sistemas elétricos e de telecomunicações e transporte nessa região.

Material e métodos

Área de estudo

Para a realização desse estudo primeiramente foram selecionadas no Leste da Amazônia três regiões que se situam-se em sua totalidade dentro do estado do Pará aproximadamente na mesma faixa de latitude, porém se distanciando gradativamente do Oceano Atlântico. As áreas delimitam-se entre 0° e 2° S de latitude e 50° a 47° W de longitude, abrangendo as seguintes localidades : Belém, Caxiuanã e Santarém (Figura 1).

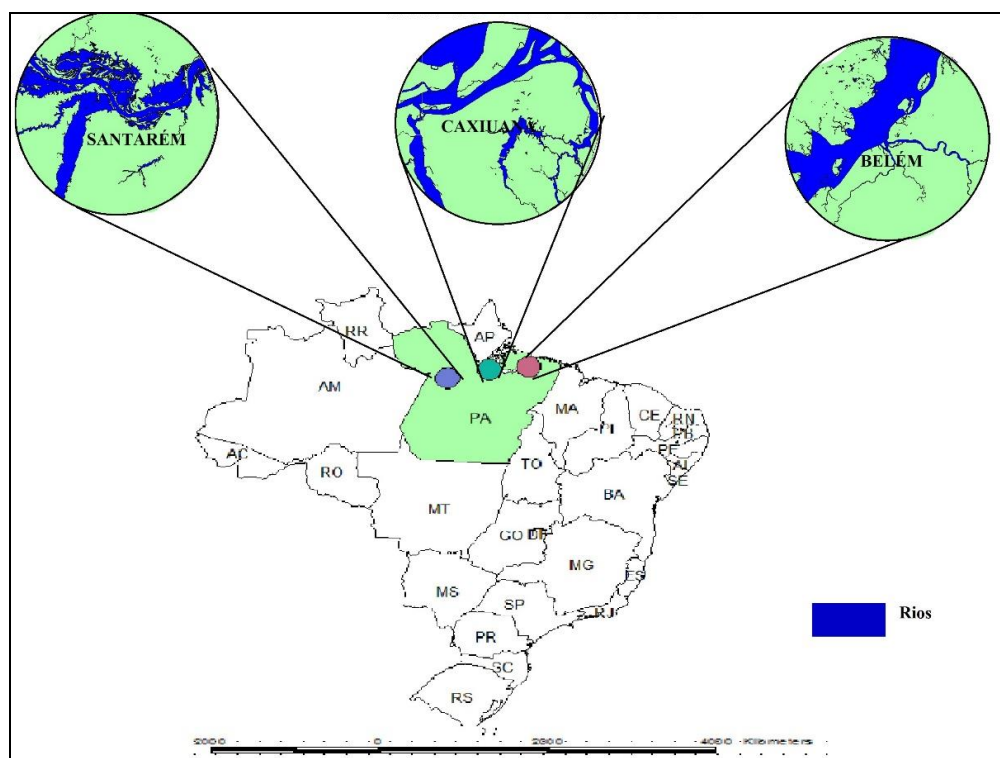


Figura 1 -Localização das áreas de estudo de Belém, Caxiuanã e Santarém.

Para realizar o estudo de raios e chuvas dentro de cada região escolhida, foi preciso delimitar as áreas de estudo, este procedimento foi realizado dentro do ambiente do Arc View 3.2, na ferramenta Theme, opção creat buffers escolhia-se o diâmetro do raio de circunferência, no caso 100 km de abrangência, centrado em um pluviômetro em cada região, para Belém foi escolhido o pluviômetro do 4º distrito Naval localizado à latitude de $-1^{\circ}47'53''$ e longitude $-48^{\circ}30'16''$ para a região e Caxiuanã o pluviômetro escolhido foi do projeto LBA localizado à latitude $-1^{\circ}42'30''$ da latitude e longitude $-51^{\circ}31'45''$, em Santarém foi escolhido o pluviômetro da Agencia Nacional de águas (ANA) operado pela CPRM, que está localizado na latitude $-2^{\circ}24'52''$ e longitude $-54^{\circ}42'36''$. 43.

Essas regiões foram escolhidas por estarem estrategicamente na mesma região de atuação das oscilações dos pulsos da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), e também a atuação e interação de outros sistemas atmosféricos, buscando verificação da quantidade de raios em cada uma dessas áreas. Como as três regiões que foram estudadas possuem distintas características de tipo de superfície, as proporções entre os tipos foram totalizadas para eventual consideração nas análises e resultados desse trabalho.

Distribuição e classificação espacial dos tipos de superfície

Foi feita uma análise simplificada dos tipos de superfície do solo, em cada uma das áreas de estudo. Para isso, foram utilizados dados da classificação da vegetação do Instituto Brasileiro de Geografia - IBGE. Esses dados foram analisados em um Sistema de Informação Geográfica - Arc View 3.2. Devido ao fato do arquivo de dados da vegetação estar em formato de vetor, primeiramente ele foi transformado em formato de grade ou matriz, onde já se definiu o tamanho da célula de 1 km^2 , facilitando assim, o cálculo da área de ocupação da cobertura vegetal, em cada área de estudo. Em seguida, foi feita uma classificação da vegetação bem detalhada das três áreas, obtendo-se várias subdivisões de florestas, campos e pastos, mangues, savanas, corpo d'água e áreas urbanizadas, totalizando 19 tipos de áreas. Essa distribuição foi calculada no Arc View e após obter os valores de cada área foi feito um histograma no EXCEL. Como as florestas apresentaram várias subdivisões, foi feita uma nova reclassificação, criando-se assim cinco grupos; (a) em um grupo foram agrupados todos os tipos de florestas, (b) outro com áreas alagadas, várzeas e igapós; (c) outro grupo com rios e toda massa d'água, (d) outro grupo com áreas urbanas; (e) um grupo com áreas de agricultura e pastagens, diminuindo assim, o número de

classes. Utilizando-se o comando “**Reclassify**” do menu “**Analysis**” o grid resultante dessa reclassificação apresentou cinco classes de cobertura vegetal, ficando apenas as classes de florestas, pastagens, várzeas, água e área urbana. Sendo adotada a mesma metodologia utilizada por Ribeiro (2010).

A área em torno de Belém é bem distribuída quanto ao uso e ocupação do solo,

sendo que a maior parte é de agricultura e pastagem (45%), seguida de várzeas (20%), rios (20%) e floresta (15%). Em torno da área estudada de Caxiuanã, 65% do uso e ocupação é floresta e 21% são de Várzeas ou igapós e 12% e rios. Em Santarém 60% de sua superfície é coberta por áreas de floresta, 13% é agricultura pastagem e 26 % são áreas de rios, sendo o Rio Tapajós umas principais dessa área (Figura 2).

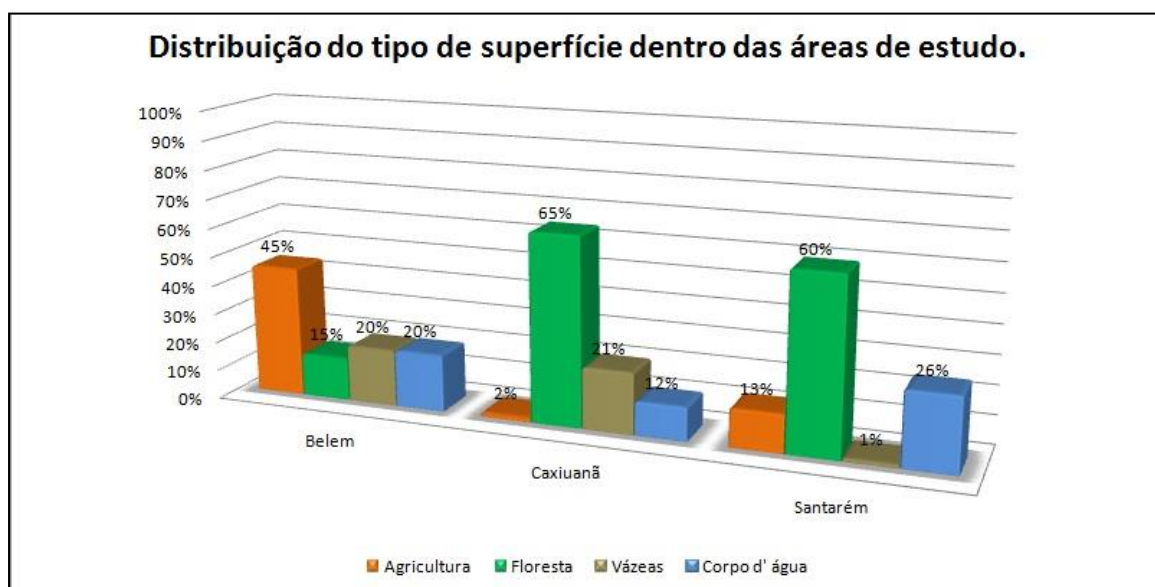


Figura 2-Distribuição espacial do percentual do tipo de superfície em Belém, Caxiuanã e Santarém.

Dados de precipitação pluviométrica

Os dados de chuvas foram obtidos por pluviômetros de estação meteorológicos automáticas de superfície localizados nas áreas de estudo. As principais bases de dados de chuvas foram obtidas no Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, Agência Nacional de Águas - ANA, sendo que as estações são operadas pela Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM), e dados provenientes das torres do projeto LBA, e do projeto ESECAFLOR na estação Ferreira Pena, para a localidade de Caxiuanã.

Os dados de precipitação acumulada selecionada para análises foram medidos por pluviômetros basculantes das estações meteorológicas automáticas de superfície.

Em cada área foi selecionada um determinado número de estações meteorológicas, conforme a disponibilidade dos dados, tanto no portal da Hidroweb-ANA quanto no portal do INMET na internet. Após a coleta dos dados foram calculadas as médias mensais em cada área

e agrupadas por trimestre seco e chuvoso que foram tratados em planilhas EXCEL.

Cada local de estudo possui um determinado número de estações pluviométricas. Belém contou com três estações, Caxiuanã com duas estações e Santarém com cinco estações.

Dados de raios

Para a realização deste trabalho os dados de raios foram coletados pela Rede STARNET A STARNET - Sferics Tracking and Ranging, foi concebida pela Resolution Display Inc (RDI) a partir do programa de desenvolvimento inovativo de pequenas empresas da NASA.

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. Dentro do LEZEUS os dados de raios eram reorganizados em períodos mensais e também era feito uma

filtragem que se descartava os dados que apresentavam valores zeros e informações que não eram utilizadas, como a polaridade dos raios.

Para quantificar o número de raios dentro das áreas em estudo foi utilizado ferramenta do programa Arc View que contabilizava o número de descargas elétricas atmosféricas que o programa identificava.

Após a seleção apenas dos dados correspondente em cada área de estudo, estes passaram a ser manipulados dentro de planilhas do EXCEL 2007 sendo possível confeccionar as médias mensais.

Manipulação dos dados

Foram feitos ajustes temporais dos raios em relação à chuva, em cada área sendo utilizado deslocamentos dos máximos valores de raios com os máximos valores de chuva o que resultava em um valor de Δt de aproximadamente 2 meses. Para Belém não foi necessário realizar o ajuste temporal por isso esse deslocamento possui um Δt de valor zero, para Caxiuanã contou com ajuste temporal bem discreto não chegando a um mês o valor do Δt , Santarém foi o maior ajuste que precisou ser realizado, o máximo valor do raios foi ajustado com o máximo da chuva em um Δt de 2 meses.

Após os ajustes temporais foram realizados os gráficos de regressão sendo considerados todos os meses de estudo de ambas as variáveis, e verificava-se qual a melhor regressão se ajustava aos dados.

Resultados e discussão

Média mensal da precipitação

Os resultados apontaram o mês de março apresentando o maior índice de chuvas nas três

localidades, Belém, Caxiuanã e Santarém com os seguintes valores 314 mm/mês, 359 mm/mês e 371 mm/mês, respectivamente. O mês menos chuvoso foi setembro em Santarém com 17,2 mm, e o mês de agosto em Caxiuanã com 31,8 mm (Figura 3) onde é possível observar que há uma variabilidade da quantidade de chuva em cada área, onde podemos associar com a flutuação da ZCIT ao longo do ano.

Média mensal do número de raios

As maiores ocorrências de raios foram observadas para a cidade de Belém, tendo valores mais elevados nos meses de abril a julho. Uma das explicações para o incremento nos eventos de raios se deve aos efeitos sazonais da ZCIT e ZCAS. Já o menor número de raios foi observado na cidade de Santarém no mês de agosto e em Caxiuanã no mês de novembro. Tal fato está associado a menor ocorrência de chuvas nesse período, o que desfavorece a produção de nuvens convectivas produtoras de raios (Figura 4).

Analizando as Figuras 3 e 4 notamos que há uma defasagem dos raios em relação à chuva, como vimos os máximos valores de chuva ocorreu no mês de março nas três regiões, enquanto que os máximos valores de raios correram em abril bem destacado em Belém, o alto volume de chuva observado está associado à permanência da ZCIT que contribui para um regime de muita chuva o que é bem característico nessa época do ano.

Com relação à ocorrência dos raios parece que as intensificações dos sistemas locais juntamente com a ZCIT contribuem muito para a produção de raios, ou seja, a interação dos sistemas atmosféricos de grande escala mais os sistemas de escala menor favorecem no surgimento dos raios.

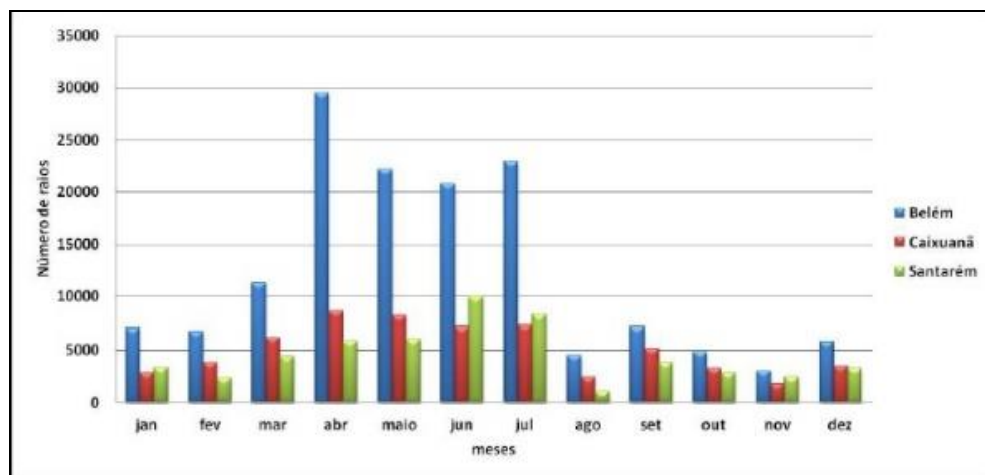


Figura 3-Média mensal da precipitação pluviométrica, nas áreas de Belém, Caxiuanã

e Santarém. Período de set 2008 a set/2010.

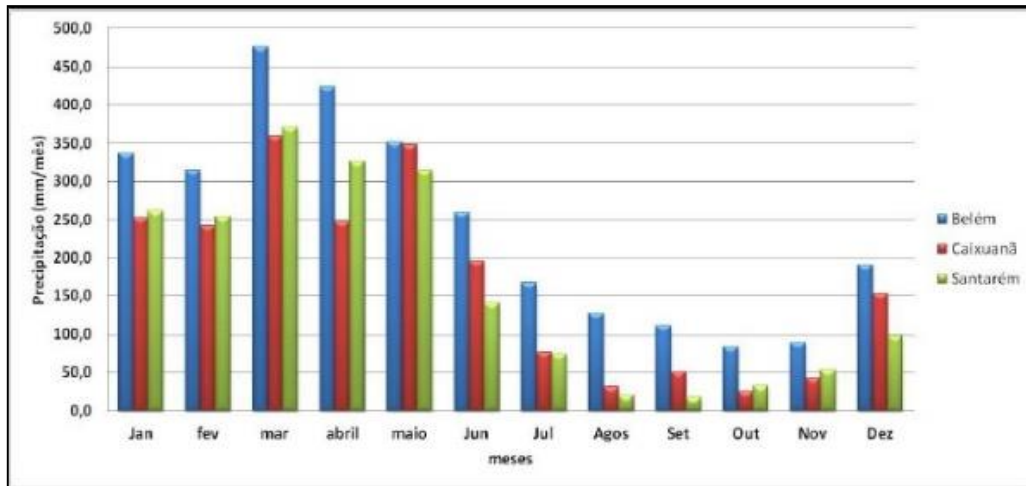


Figura 4- Distribuição da média mensal do número de raios detectados nas áreas de Belém, Caxiuanã e Santarém. Período de set 2008 a set/2010.

Média mensal da relação entre precipitação e raios usando ajustes de raios em relação à chuva com um mês de antecipação

Notamos que em Belém Figura 5a e Caxiuanã Figura 5b, os raios antecedem as chuvas e que sua relação parece ser direta. Para Santarém, um comportamento diferente foi observado Figura 5c, onde os máximos de chuva não acompanharam os máximos de raios, porém nos períodos de poucas chuvas as três regiões apresentaram uma uniformidade nas variáveis. Isso demonstra os efeitos sazonais de posicionamento e deslocamento da ZCIT e ZCAS que podem ter contribuído mais decisivamente para produção de raios na sequência de tempo observada (Figura 5). em seu estudo realizado com dados do TRMM para a Amazônia Oriental, encontrou os mesmos

resultados obtidos no presente estudo.

A literatura por inúmeras vezes já constatou que a quantidade de raios na Amazônia é bem significativa, mas além disso as intensidades das descargas também chamam a atenção da comunidade científica.

Almeida et al (2012) realizaram uma comparação de resultados estatísticos em diversas partes do Brasil e outras regiões no mundo e foi visto que 7% dos raios CG apresentaram corrente de curso superior a 100 kA.

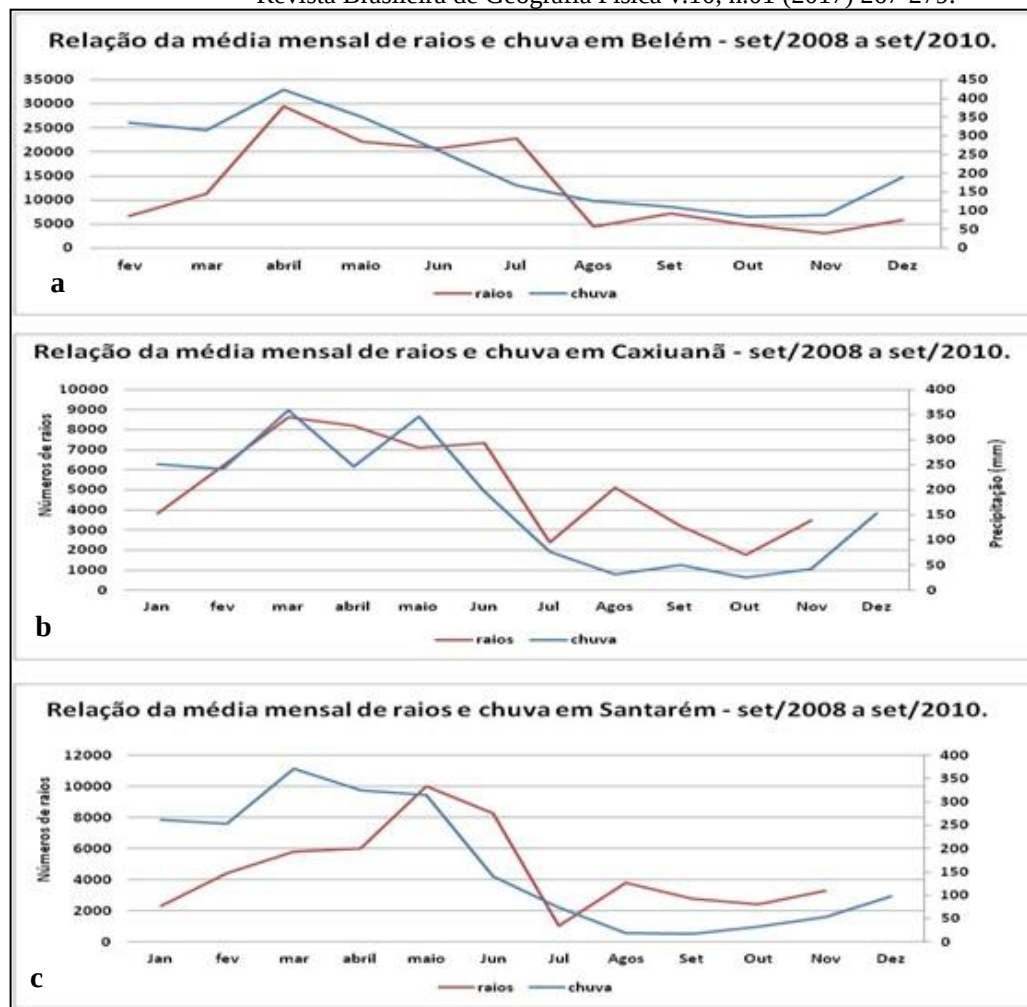


Figura 5-Relação da média mensal entre precipitação e raios nas áreas de Belém, Caxiuanã e Santarém. Período de set 2008 a set/2010.

Distribuição da relação entre raios e chuva em Belém, Caxiuanã e Santarém

Nas Figuras 6a, b e c são apresentadas as distribuições entre a média mensal da chuva e o número mensal de eventos de raios detectados, pela STARNET, durante o período de set/2008 a set/2010.

Em Belém observa-se que os meses de março e abril/2009 apresentaram a maior média pluviométrica, com 582 e 498 mm, respectivamente. Enquanto que o mês de novembro/2009 apresentou o menor índice, com apenas 45,1 mm. Com relação ao número de raios, o mês de abril/2010 teve o maior número de ocorrências, com 63.783 eventos e o mês outubro/2009 teve a menor ocorrência, com apenas 213 eventos (Figura 7a). Para Caxiuanã os meses de janeiro, fevereiro e maio/2009 tiveram a maior média pluviométrica, com 364 mm, 363

mm e 414 mm, respectivamente. Já o mês de agosto/2009 obteve o menor índice, com apenas 15,5 mm. Quanto aos números de raios, pode-se observar que o mês de junho/2009 teve o maior número de ocorrências com 16.837 eventos e os meses de agosto e outubro/2009 tiveram as menores ocorrências, com apenas 8 e 106 eventos (Figura 6b).

Em Santarém foi observado que o mês de março/2009 teve a maior média pluviométrica, com 458 mm, enquanto que os meses de agosto e setembro/2009 obtiveram os menores índices, com apenas 7mm e 5mm, respectivamente. Com relação ao número de raios, o mês de junho/2009, teve o maior número de ocorrências de raios, com 18.443 eventos, seguido do mês de junho/2010 com 16.063. Já o mês de agosto/2009 teve a menor ocorrência com apenas 45 eventos (Figura 6c)

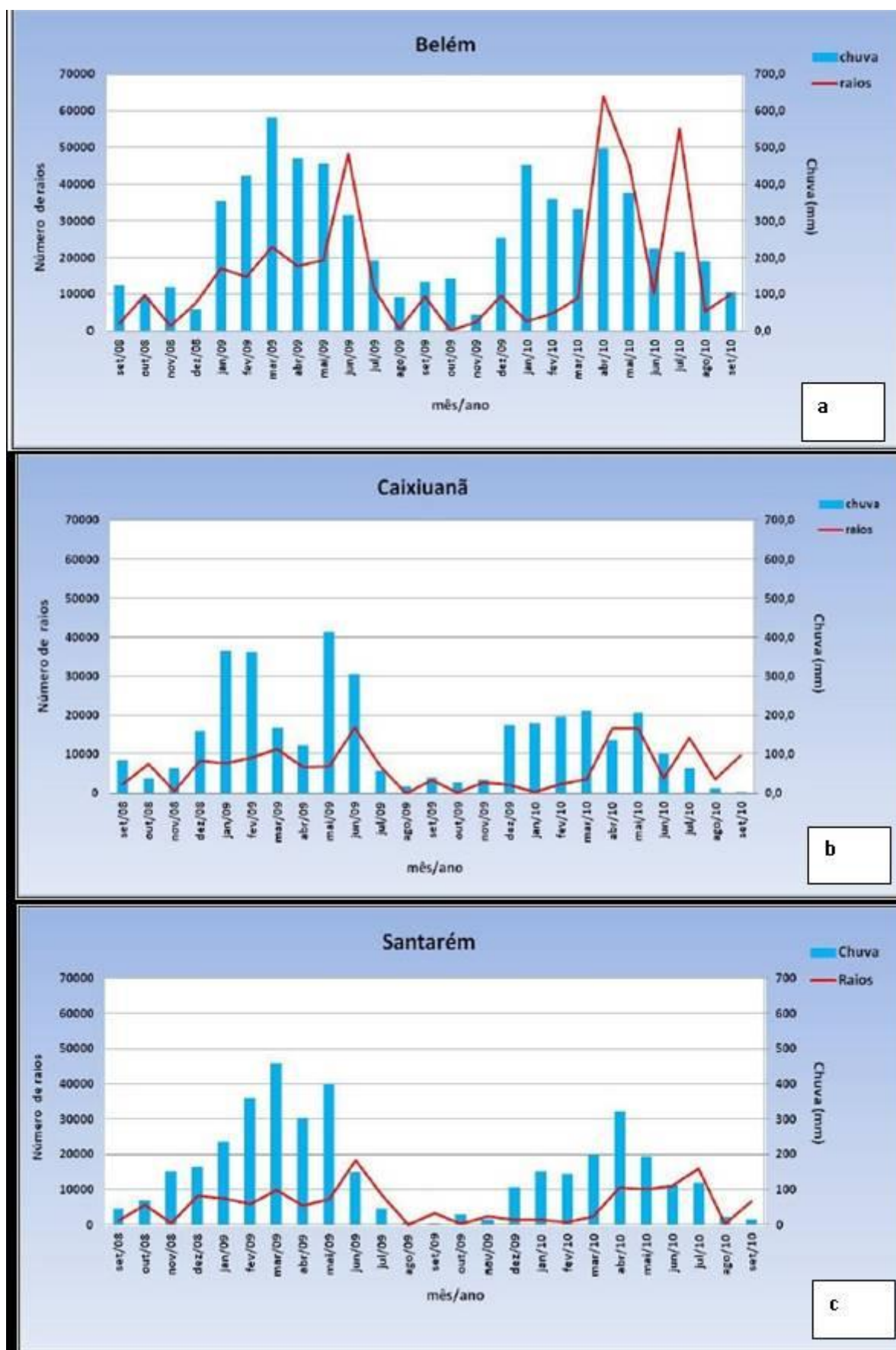


Figura 6- Distribuição da média mensal dos raios e precipitação em: a) Belém durante o período set/2008 a set/2010. b) Caixuanã durante o período set/2008 a set/2010. c) Santarém durante o período set/2008 a set/2008.

A distribuição da precipitação mensal na Amazônia mostra de forma mais clara os máximos de precipitação ligados ao posicionamento da ZCIT. Gandu et al., (2004) sugeriram que, embora as características sobre o leste da Amazônia sejam determinadas pela circulação de grande escala, a proximidade com o oceano e grandes rios, cria áreas específicas com variabilidades espaciais e temporais de precipitação. A circulação de mesoescala associada com a brisa marítima é um exemplo de um sistema bastante atuante, uma vez que a convecção estruturada pelas linhas de instabilidade costeiras, bem como sua propagação, é responsável por uma parte significativa da precipitação nessa região (Cohen et al., 1995).

A relação entre as descargas elétricas e a precipitação acumulada não se mostrou totalmente direta nas três localidades. A frequência de raios não seguiu um padrão, porém, quando observamos os períodos de transição do chuvoso para o seco, raios e chuvas seguem um comportamento aonde se percebe que as variáveis se acompanham de forma mais direta.

O mês de junho de 2009 nas três localidades apresentou o mesmo comportamento, em relação ao número de atividades elétricas. Já as chuvas se mostraram diferentes, sendo a localidade de Caxiuanã a que apresentou o maior volume de chuva (Figura 6b).

Importante destacar que as climatologias dos lugares estudados apresentam peculiaridades, com os sistemas meteorológicos comumente chegando primeiramente em Belém a interação do sistema de grande escala, ZCIT acoplada a sistemas locais favorece a formação de nuvens eletrificadas. À medida que vamos nos direcionando para dentro do continente, a quantidade de raios é bem diferente, contudo é observado que, para Caxiuanã, aglomerados convectivos e sistemas locais contribuem para a formação de nuvens produtoras de raios.

A cidade de Santarém, por sua localização próxima ao rio Tapajós apresenta uma circulação de brisa fluvial no período da tarde, e o desenvolvimento de CCM que ajudam na formação de nuvens produtoras de relâmpagos. Outro fator relevante é que parece que as ZCAS possuem maior influência na quantidade de raios do ZCIT, devido a maior convecção.

No entanto as variações na ocorrência de raios e chuvas seguem o sentido de deslocamento sazonal da ZCIT, o que evidencia uma influência da circulação de grande escala na circulação local, observada nas três localidades.

Assim como a climatologia os tipos de superfície das três regiões são diferentes notamos que Belém apresenta uma vasta área de pastagem e isso pode ter influenciado nas quantidades de raios, as áreas que apresentam mais cobertura vegetal como Caxiuanã e Santarém mostram uma grande quantidade de chuva e uma ocorrência menor de raios. O que corrobora com os estudos de Ribeiro (2010) que apontou uma grande quantidade raios em áreas de agricultura e pastagem na época seca e em regiões de floresta apresentou poucos raios.

Mas o que pode ser observado é que o principal fator na distribuição dos raios é causado pela presença dos sistemas atmosféricos característico de cada região.

Distribuição trimestral entre raios e chuvas

A relação da precipitação pluviométrica com os raios nos períodos seco e chuvoso, mostra que as curvas de raios e chuvas seguem uma mesma tendência durante o período seco em todas as áreas, enquanto que no período chuvoso não se observa essa tendência (Figura 7a).

Em Caxiuanã houve um decréscimo das chuvas em abril, mas o número de raios se manteve quase que constante havendo um encontro da chuva com o raio apenas no mês de abril (Figura 7b). Em Santarém há uma distinção entre a ocorrência de raios e chuvas, não havendo encontro das duas curvas em nenhum dos meses (Figura 7c).

No período seco as frequências de raios tendem a acompanhar as chuvas, de modo que quando ocorre a diminuição das chuvas nos meses de junho a novembro o número de descargas elétricas também diminuem (Figura 7d, e, f).

Em áreas desflorestadas há maior ocorrência de nuvens rasas (Negri et al., 2004; Chagnon e Bras, 2005) relacionadas ao desenvolvimento de circulação de mesoescala (Wang et al., 2009). Este incremento da ocorrência de nuvens rasas, junto com a diminuição da convecção noturna é responsável pela diminuição da precipitação durante a época seca em áreas desflorestadas, enquanto que durante a época úmida há um incremento da precipitação como resultado do aumento da convecção profunda (Diurieux et al., 2003). Por outro lado, a variabilidade detectada nas séries de precipitação na Amazônia está associada com variabilidade climática interanual, decadal e interdecadal (Chen et al., 2001; Marengo, 2009; Espinoza et al., 2009).

A relação entre raios e precipitação não é totalmente direta nas três cidades estudadas, os resultados mostram uma defasagem que pode ser entre dois a até quatro meses entre os máximos de chuva e de raios.

Este estudo mostra que o número de raios é consideravelmente maior em Belém que em Caxiuanã e Santarém, corroborando com o observado por Teixeira. (2010) e Almeida et al

(2010);(2012), os verificaram que a cidade de Belém é uma área de intensa atuação de raios enquanto Caxiuanã e Santarém em áreas de poucos eventos de raios. Essa diferença na quantidade de raios pode estar relacionada ao fato de que a rede STARNET operou melhor no ano de 2009 que em 2008 e 2010, como já foi relatado anteriormente.

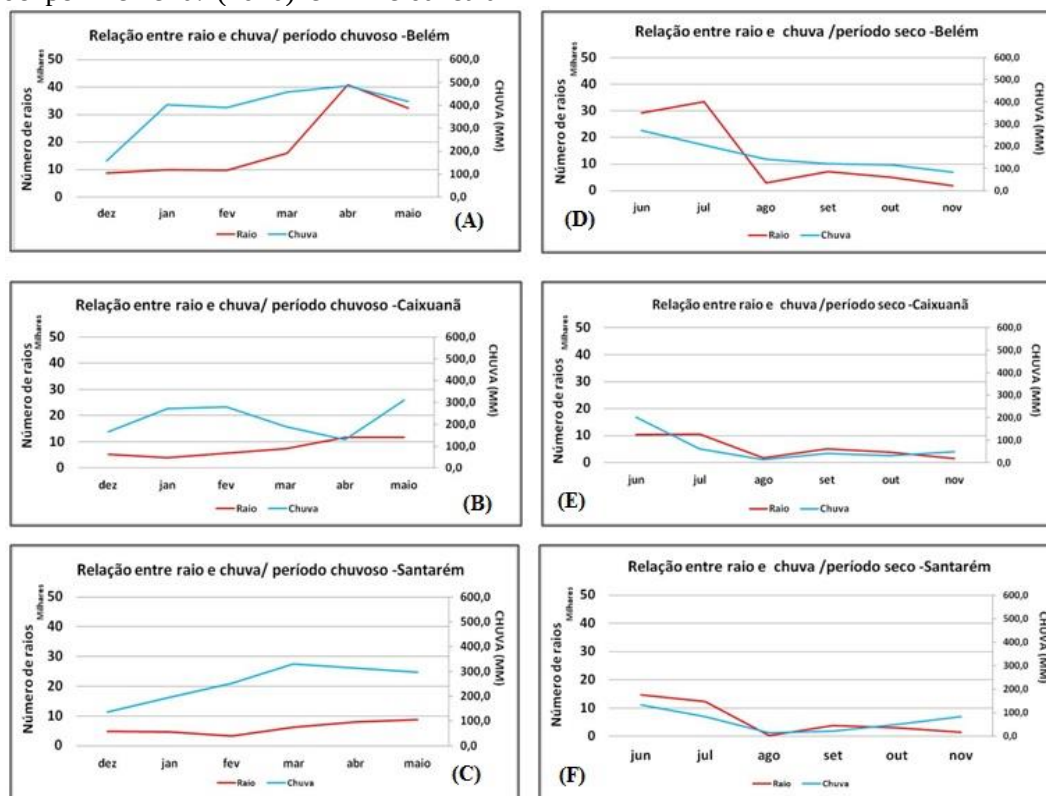


Figura 7- Distribuição mensal entre a média de raios e média de chuva: (a), (b) e (c) no período chuvoso; (d), (e) e (f) no período seco durante o período de set/2009 a set/2010 em Belém, Caxiuanã e Santarém.

Análise de dispersão entre raios e chuvas

O melhor coeficiente de determinação entre raios e chuvas foi observado em Belém, com $R^2 = 0,6863$ o que representa 68% de correlação entre as variáveis, sendo sua linha de tendência linear. Para Caxiuanã o valor da correlação foi de

0,6075 o que corresponde a aproximadamente 61%. Já Santarém não apresentou uma correlação satisfatória para o período de estudo com $R^2 = 0,3145$ o que representa 31% de correlação (Figura 8 a, b, c).

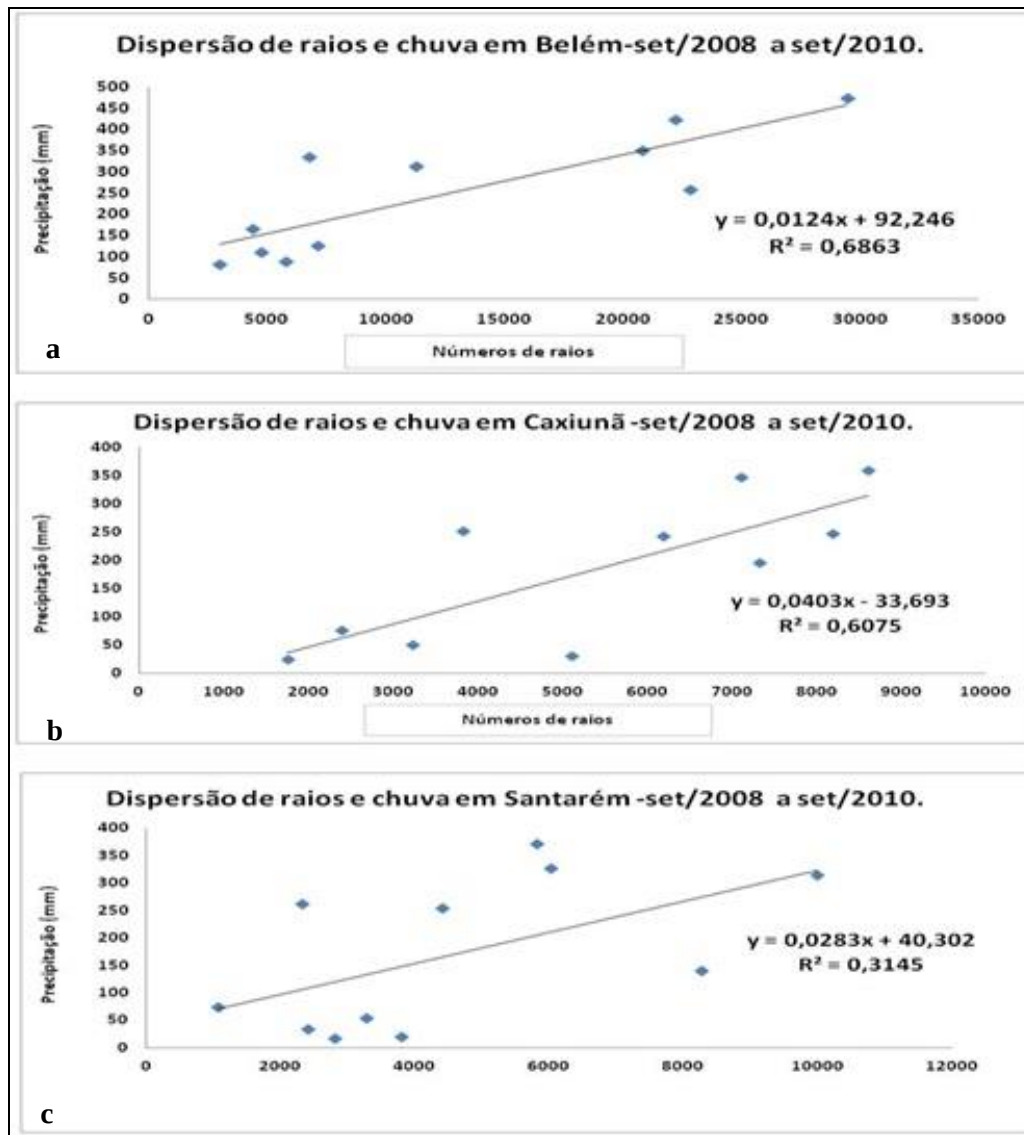


Figura 8- Linhas de tendências entre raios e chuva (set 2008 a set/2010).
(a) Belém, (b) Caxiuanã e (c) Santarém.

Considerações finais

Os resultados das análises de dois anos de dados de raios provenientes da rede STARNET para as três localidades Belém, Caxiuanã e Santarém mostraram que devido à proximidade com Oceano, Belém é predominantemente controlada pela ZCIT, nas ocorrências de atividades elétricas. Em Caxiuanã e Santarém, os raios são associados aos sistemas locais e a presença das ZCAS.

Foi possível observar que as regressões apresentaram grandes dispersões dos dados devido ao fato da máxima ocorrência de raios anteceder a máxima de chuva em 2 meses. Isso ocorreu para as três localidades estudadas.

A relação entre raios e chuva foi melhor ajustada no período de poucas chuvas.

Nota-se que as variáveis tendem a se acompanhar nesse período de estiagem.

No que se refere ao estudo das frações com 4 tipos de superfícies discriminados para cada área, não houve uma clara influência desse fator de cobertura na relação entre raios e chuvas.

Portanto é necessário realizar estudos mais aprofundados com quantidade maior de informações, em período de estudo mais prolongado para que seja possível refinar as relações já destacadas no presente estudo. Com isso realizar as aplicações necessárias para suprir as necessidades socioeconômicas da região, no que tange a prognósticos de ocorrências de chuvas e raios nas áreas selecionadas nesse trabalho.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Pará, À USP / IAG pelos dados da STARNET liberados pelo Dr. Carlos A. Morales, ao INMET, a ANA, HIDROWEB. Agradecem também a CAPES pelas bolsas concedidas a alguns dos autores, e ao Projeto REMAM./ CNPq . Finalmente agradecem ao Dr. Arthur C. Almeida pelo uso do programa LEZEUS.

Referências

- Almeida, A.C., Rocha, B.R.P., Souza, J.R.S., Monteiro, J.H.A., Sá, J.A.S., 2010. Cloud-to-ground lightning observations over the eastern Amazon Region: subsidies for the protection of electric systems. Proceedings of 30th International Conference Lightning Protection-ICLP 2010. Cagliari, Italy
- Almeida, A. C., Rocha, B. R., Souza, J. R. S., Sá, J. A. S., & Pissolato Filho, J. A. 2012. Cloud-to-ground lightning observations over the eastern Amazon Region. *Atmospheric Research* 117, 86-90.
- Chagnon, F.J.F.; Bras, R.L. 2005. Contemporary climate change in the Amazon. *Geophysical Research Letters* 32, DOI: 10.1029/2005GL022722
- Chen, T.C.; Yoon, J.H.; Croix, K. St.; Takle, E. 2001. Suppressing impacts of the Amazonian deforestation by the global circulation change. *Bulletin of the American Meteorological Society* 82, 2210–2216,
- Cohen, J.C.P., Silva Dias, M.A.F., Nobre, A.C. 1995. Environmental conditions Associated with Amazonian Squall Lines: a case study; *American Meteorological Society, Mon. Wea. Rev.* 123, 3163-3174,.
- Durieux, L.; Machado, L.A.T.; Laurent, H. 2003. The impact of deforestation on cloud cover over the Amazon arc of deforestation. *Remote Sensing of Environment* 86, 132-140.
- Espinoza Villar, J.C.; Ronchail, J.; Guyot, J.L.; Cochonneau, G.; Naziano, F.; Lavado, W.; Oliveira, E. De; Pombosa, R.; Vauchel, P. 2009. Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia and Ecuador). *International Journal of Climatology* 29, 1574–1594.
- Gandu, A. W.; Cohen, J. C. P.; Souza, J. R. S. de. 2004. Simulations of deforestation in Eastern Amazon using a higher-resolution model. *Theoretical and Applied Climatology*, 78: 123-135
- Horel, J.D.; Hahmann, A.N.; Geisler, J.E. 1989. An investigation of the annual cycle of convective activity over the tropical Americas. *Journal of Climate* 2, 1388 – 1403.
- Marengo, J.A. 2009. Long term trends and cycles in the hydrometeorology of the Amazon basin since the late 1920's. *Hydrological Processes* 23, 3236-3244.
- Negri, A.J.; Adler, R.F.; Xu, L.; Surratt, J. 2004. The impact of Amazonian Deforestation on Dry Season Rainfall. *Journal of Climate* 17, 1306-1319.
- Pinto Jr, O. , 2005. *A Arte da guerra Contra os Raios*. São Paulo, Ed. Oficina de Textos.
- Pinto Jr., O. , 2009. *Lightning in the tropics*, Ed. Nova Publishers, New York
- 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 Emilio Goeldi e EMBRAPA.
- Souza, J.R.S.; Rocha, E.J.P.; Cohen, J.C.P. 2003. 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, p. 69-94.
- Teixeira, V. A. 2010. Características e distribuição das descargas atmosféricas e dos sistemas precipitantes produtores de raios na Amazônia Oriental.. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Belém, 2010. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais.
- Tucci, C.E.M. 1997. Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 2, 5-12
- Wang, J.; Chagnon, F.J.F.; Williams, E.R.; Betts, A.K.; Renno, N.O.; Machado, L.A.T.; Bisht, G.; Knox, R.; Bras, R.L. 2009. Impact of deforestation in the

Amazon basin on cloud climatology.
Proceedingd of the Naional Academy of

Sciences of the United States of America
106, 3670–3674.