

CICLO HORÁRIO DA PRECIPITAÇÃO NO LESTE DA AMAZÔNIA DURANTE O PERÍODO CHUVOSO

FERREIRA, Douglas Batista da Silva – douglas.silva.ferreira@itv.org
Meteorologista, MSc.
Instituto Tecnológico Vale (ITV) – Belém (PA), Brasil

SOUZA, Everaldo Barreiros de – everaldo.barreiros.souza@itv.org
Meteorologista, Dr.
Instituto Tecnológico Vale (ITV) – Belém (PA), Brasil

MORAES, Bergson Cavalcanti de – bergson.moraes@itv.org
Meteorologista, Dr.
Instituto Tecnológico Vale (ITV) – Belém (PA), Brasil

RESUMO: Baseado em estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) foi realizada uma análise observacional sobre o ciclo horário da precipitação em três municípios do leste da Amazônia: São Luís (MA), Belém (PA) e Marabá (PA). Os cálculos das médias foram feitos a cada três horas para os meses de janeiro, fevereiro, março e abril, abrangendo 11 anos para os dois primeiros municípios e 4 anos para o terceiro. Os resultados mostraram regimes totalmente distintos no que diz respeito aos horários mais chuvosos e os menos chuvosos. São Luís (MA) não apresenta grande variabilidade entre os horários, e o ciclo da precipitação possui características similares ao regime oceânico, com forte influência da circulação de brisa marítima. Belém (PA) possui característica bem definida, com aquecimento superficial no decorrer do dia e maior quantidade de precipitação no fim da tarde e início da noite. Marabá (PA) apresentou alta flutuação da precipitação entre os horários, com picos durante a madrugada e início da manhã, justificada pelos sistemas meteorológicos de grande escala atuantes no sudeste do Pará, nos meses de verão e outono do Hemisfério Sul.

Palavras-chave: Ciclo Horário, Precipitação, Leste da Amazônia.

HOURLY CYCLE OF RAINFALL OVER EASTERN AMAZONIA DURING THE RAINY SEASON

ABSTRACT: Based on the automatic weather stations from National Institute of Meteorology (INMET), an observational study was performed about the hourly cycle of rainfall in three municipalities, localized on the eastern Amazonia: São Luís (MA), Belém (PA) and Marabá (PA). The calculation of average rainfall was performed each three hours for January, February, March and April, covering 11 years for the first two municipalities and 4 years for the third. The results showed different regimes in relationship to more rainy and least rainy hour. São Luís (MA) does not present a large variability between hours, and the rainfall cycle has similar features to oceanic regime, which strongly influenced by the movement of sea breeze. Belém (PA) has well-defined characteristics, with surface heating during the day and highest amount of rainfall in the late afternoon and early evening. Marabá (PA) showed high fluctuation of rainfall between hours, with peaks during the late dawn and the early morning, justified by the weather systems of large scale that act in the Pará state, during the summer and autumn months of the Southern Hemisphere.

Key-words: Hourly Cycle, Rainfall, Eastern Amazonia.

1. INTRODUÇÃO

Compreendida entre os Trópicos de Câncer e Capricórnio, a região tropical é a faixa do globo terrestre caracterizada por temperaturas médias mensais sempre superiores a 18°C, não possuem estação de inverno severo e a precipitação total anual é superior a evapotranspiração potencial anual. Dentro desta região, próxima a linha do equador está localizada a Amazônia, que possui mais de 5 milhões de quilômetros quadrados de floresta tropical, que contribuem fortemente para os altos índices pluviométricos anuais acima de 3000 mm.

Particularmente o leste da Amazônia, compreendido entre as longitudes de 059°W e 044°W, é composto pelos estados brasileiros do Amapá, Pará, Tocantins e o lado oeste do Maranhão, que sofrem influência de diversos sistemas atmosféricos causadores de precipitação, como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (CARVALHO *et al.*, 2004; QUADRO *et al.*, 2012), principal modulador das condições de tempo durante o verão do Hemisfério Sul (HS) (dezembro, janeiro e fevereiro); e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (NOBRE e SHUKLA, 1996; SOUZA *et al.* 2004; FRIERSON *et al.*, 2013), responsável pela maior quantidade de precipitação durante o outono austral (março, abril e maio). Outros sistemas de escala menor também exercem influência no regime de precipitação, como as Linhas de Instabilidade (LI) (COHEN *et al.*, 1995) e Ondas de Leste (YAMAZAKI e RAO, 1977), que são exemplos de sistemas precipitantes que ocorrem durante o período chuvoso.

É importante citarmos também os mecanismos climáticos oceano-atmosfera que, indiretamente, induzem a precipitação sobre a região amazônica. O primeiro ocorre sobre o Oceano Pacífico, o El Niño Oscilação Sul (ENOS) que é uma flutuação interanual da pressão atmosférica ao nível médio do mar devido a alterações na circulação atmosférica. O El Niño (La Niña) associa-se a águas mais quentes (frias) do que o normal na bacia equatorial leste do Pacífico (TRENBERTH, 1977), esta condição é desfavorável (favorável) à ocorrência de precipitação sobre a Amazônia (SOUZA *et al.* 2004).

No Oceano Atlântico, diversos estudos apontam o gradiente inter-hemisférico de anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) como um importante mecanismo modulador do clima sobre o Norte/Nordeste do Brasil. O gradiente consiste em uma manifestação simultânea de anomalias de TSM com sinais opostos na bacia tropical norte e sul do Atlântico. Essa configuração gera um deslocamento da ZCIT para o hemisfério com maiores valores de temperatura superficial das águas oceânicas, influenciando assim no regime pluviométrico na Amazônia (SOUZA *et al.*, 2005).

Sobre o ciclo horário da precipitação tropical, a maior parte dos trabalhos anteriores comparam as características sobre o oceano e sobre o continente. Gray e Jacobson (1977) afirmam que a amplitude sobre o continente é maior em relação ao oceano. No primeiro caso, muitos estudos notaram que o máximo de precipitação ocorre entre a meia-noite e o início da manhã, estes picos podem estar associados aos efeitos locais como relevo irregular e circulações de brisa marítima (OKI e MISIAKE, 1994; YANG e SLINGO, 2000), ou ainda ao ciclo de vida noturno dos Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCMs) (DAI *et al.*, 1999; SHERWOOD e WAHRLICH, 1999).

Como a precipitação não é uma variável contínua no espaço-tempo, seu estudo torna-se bastante complexo. Muitas pesquisas sobre a precipitação na Amazônia tratam do comportamento desta variável em escala anual, mensal, semanal ou diária. Raros são aqueles que focam a variação da precipitação em escala horária, sendo que até o presente momento não foram realizadas publicações utilizando-se de estações automáticas com séries históricas longas para o leste da Amazônia. Outro ponto importante é que a maioria dos trabalhos sobre o ciclo horário da precipitação é baseada em estimativas de satélite, isto é, a chuva calculada através de algoritmos que levam em consideração o tipo de nuvem vistas pelo alto da atmosfera, deixando margem para erros de interpolação, entre outros.

Neste contexto, este trabalho pretende fornecer informações inéditas sobre a variabilidade horária da precipitação, investigando o comportamento da precipitação em escala temporal horária, em três importantes municípios do leste da Amazônia durante o período chuvoso. Com isso, serão conhecidos os horários mais propícios e os menos propícios a receber precipitação.

2. METODOLOGIA

Os dados utilizados foram cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) através do 2º DISME, localizado em Belém (PA). Para esta pesquisa foram utilizadas as estações meteorológicas automáticas de São Luís (MA), Marabá (PA) e Belém (PA), cujas localizações são ilustradas na Figura 1.

Uma estação meteorológica automática (EMA) coleta, de minuto em minuto, as informações meteorológicas (temperatura, umidade, pressão atmosférica, precipitação, direção e velocidade dos ventos, radiação solar) representativas da área em que está localizada. A cada hora, estes dados são integralizados e disponibilizados para serem transmitidos, via satélite ou telefonia celular, para a sede do INMET, em Brasília. O conjunto dos

dados recebidos é validado, através de um controle de qualidade e armazenado em um banco de dados.

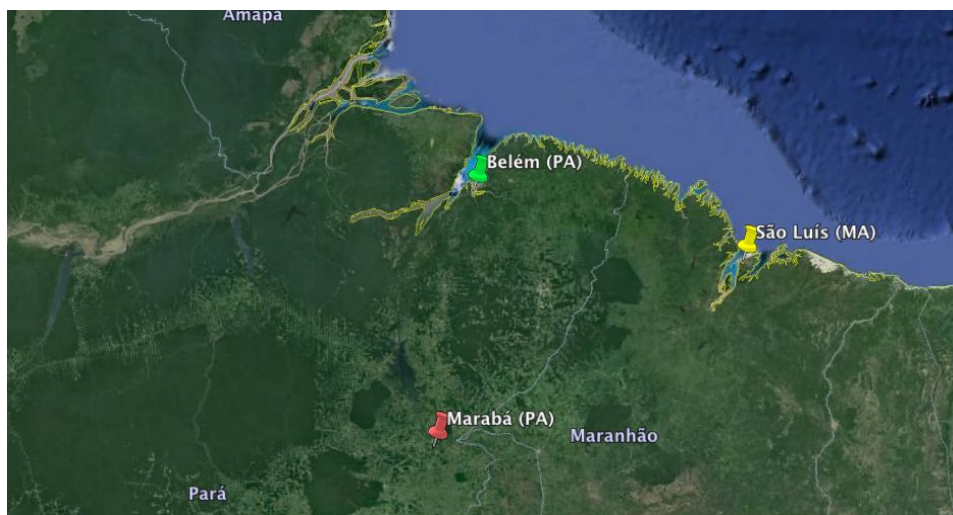


Figura 1: Localização das estações meteorológicas automáticas do INMET utilizadas na pesquisa. Fonte: Google Earth.

Além disso, os dados são disponibilizados gratuitamente, em tempo real (por um período de noventa dias) através do portal na internet (http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/pg_automaticas.php) para a elaboração de previsão do tempo e dos produtos meteorológicos de interesse de usuários setoriais e do público em geral e para uma vasta gama de aplicações em pesquisa em meteorologia, hidrologia e oceanografia (INMET).

Exceto em Marabá, onde a base de dados é mais recente e tem origem em julho de 2009, em Belém e São Luís as informações históricas das estações iniciaram em fevereiro e março de 2003, respectivamente, todas funcionando operacionalmente até os dias atuais. O presente estudo é focado no quadrimestre mais chuvoso do leste da Amazônia, correspondendo aos meses de janeiro, fevereiro, março e abril.

Os cálculos das médias de precipitação foram gerados para 11 anos de dados para São Luís (MA) e Belém (PA) (2003-2013) e 4 anos para Marabá (2010-2013), a cada 3h nos horários sinóticos e horários intermediários, ou seja: 0000Z, 0300Z, 0600Z, 0900Z, 1200Z, 1500Z, 1800Z, e 2100Z. Por exemplo: para as 0000Z, o total de precipitação corresponde à soma das 2200Z, 2300Z e 0000Z; para as 1200Z, o acumulado de precipitação equivale à soma do ocorrido entre as 1000Z e 1200Z, e assim

sucessivamente para os horários consecutivos. Com as informações a cada 3h, foram confeccionados os gráficos mensais, compostos pelas curvas dos três sítios em questão, que serão discutidos na próxima seção.

3. RESULTADOS

As Figuras 2, 3, 4 e 5 mostram o comportamento da precipitação a cada 3h nos sítios de São Luís em amarelo, Marabá em vermelho e Belém em verde. Pela localização geográfica próxima ao oceano, espera-se que São Luís apresente comportamento da precipitação bastante regular. De modo oposto, Marabá situada a 05°28'08"S 49°07'04"W, deverá apresentar uma variação acentuada da precipitação, com a presença de picos em determinados horários.

O comportamento do ciclo horário da precipitação no mês de janeiro é ilustrado na Figura 2, com características totalmente distintas entre os três municípios estudados, indicando regimes de precipitação diferenciados. Em São Luís (curva em amarelo), das 06Z até às 21Z, a variação da precipitação média é quase imperceptível, oscilando de 0,28 mm/h a 0,31 mm/h. O mês de janeiro marca o início do período chuvoso na região, sem sistema atmosférico atuando constantemente, assim, as chuvas são originadas de nuvens estratiformes (*stratus* e *stratocumulus*), e são mais distribuídas durante o dia.

Em Belém (em verde), a curva assemelha-se a uma parábola, com valor mínimo de 0,07 mm/3h às 09Z e máximo de 1,62 mm/3h às 21Z. Durante o dia, o aquecimento da superfície terrestre cria condições propícias para o desenvolvimento de nuvens cumuliformes (*cumulus* e *cumulonimbus*), isto é, dimensão vertical acentuada, e no início da noite às 21Z e 00Z a média a cada 3h da precipitação é maior em relação aos horários diurnos. O aquecimento da superfície induz a desestabilização estática da camada limite atmosférica, devido aos fluxos turbulentos de calor sensível e calor latente. A magnitude da instabilidade e o conteúdo de umidade disponível na atmosfera são responsáveis pela geração de células convectivas no final da tarde sobre áreas continentais (OGURA e TAKAHASHI, 1971).

Em Marabá, a curva da média da precipitação a cada 3h (em vermelho) apresenta um máximo principal (1,76 mm) e um máximo secundário (0,72 mm). O primeiro ocorre às 06Z, equivalente à 03h local, está associado à presença da ZCAS sobre a região central do Brasil, típica durante os meses de verão austral. Quando há a presença de um sistema de grande escala, os fatores locais não são preponderantes para os picos de precipitação, uma vez que sistemas convectivos de mesoescala (SCMs) embutidos no interior da ZCAS possuem ciclo de vida noturno. O segundo pico ocorre em

virtude do aquecimento diurno superficial, que deixa atmosfera favorável à convecção (DAI *et al.*, 1999; SHERWOOD e WAHRLICH, 1999).

Na Figura 3, observa-se a variação a cada 3h da precipitação nos três sítios para fevereiro. Um padrão semelhante ao mês de janeiro pode ser notado em todas as curvas, com picos durante a madrugada em Marabá, ao final da tarde em Belém e pouca variabilidade em São Luís.

Na região sudeste do Pará, o mês de fevereiro ainda é caracterizado por bandas de nebulosidade associadas à ZCAS, sendo este o principal sistema regulador do ciclo horário da precipitação em Marabá. Novamente pode ser verificada a presença de máximos durante o fim da madrugada e início da manhã, característica peculiar de um regime pluviométrico oceânico, entretanto, neste caso, a formação de linhas de instabilidade nos litorais do Maranhão e do Pará durante a tarde, se propagam para o interior do continente, atingindo a região de Marabá ao final da noite, justificando os maiores acumulados nos horários noturnos.

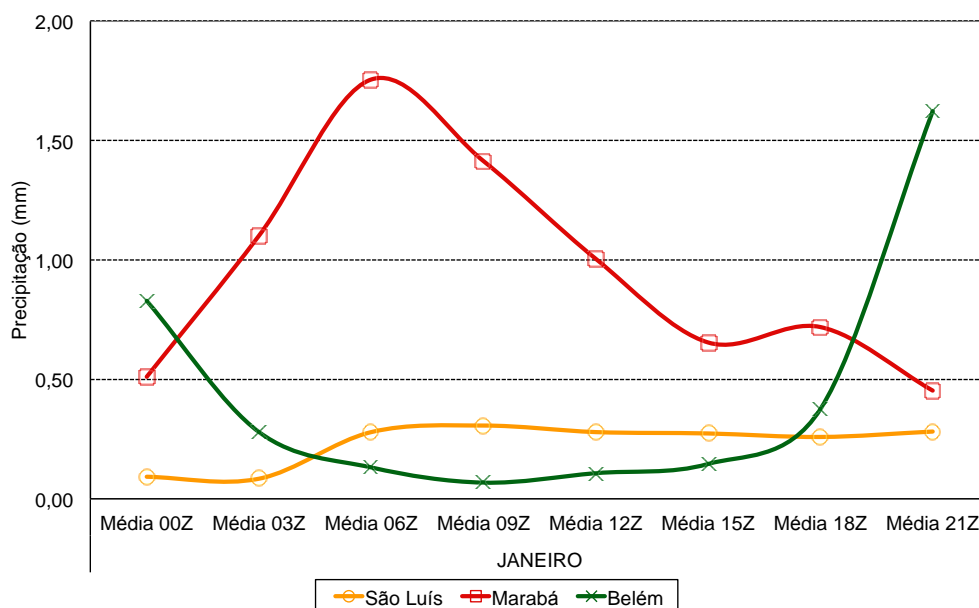


Figura 2: Evolução temporal da precipitação a cada 3h em São Luís (MA), Marabá (PA) e Belém (PA), durante o mês de janeiro.

Um padrão quase uniforme da precipitação pode ser observado em São Luís, com magnitudes a cada 3h não ultrapassando 0,61 mm em fevereiro. Este maior valor ocorre às 09Z, ou seja, às 06h local. Neste caso, o regime de chuva oceânico é aplicável, uma vez que a capital maranhense é banhada ao norte pelo Oceano Atlântico. De acordo com Mapes (2003a, b) e Warner *et al.*, (2003), a atividade convectiva sobre o continente tende a

gerar ondas de gravidade, que se propagam na vertical e na horizontal, principalmente nas regiões costeiras, gerando atividade convectiva sobre os oceanos.

Para Belém, o regime pluviométrico continental tipo 3, discutido amplamente por Yang e Smith (2006) e Santos e Silva (2013) é claramente evidenciado pela curva verde da Figura 3, cujo ápice do ciclo de precipitação ocorre às 21Z (18h local), com 3,13 mm. Entre as 00h e as 12h locais, os mínimos variam suavemente, com flutuações de 0,07 mm. Assim, constatou-se que o aquecimento diurno gera o aumento da convergência na baixa troposfera e induz um aumento da turbulência mecânica, diminuindo o número de Richardson (Ri) até alcançar o valor crítico de aproximadamente 0,25, quando os processos convectivos são iniciados (WALLACE, 1975).

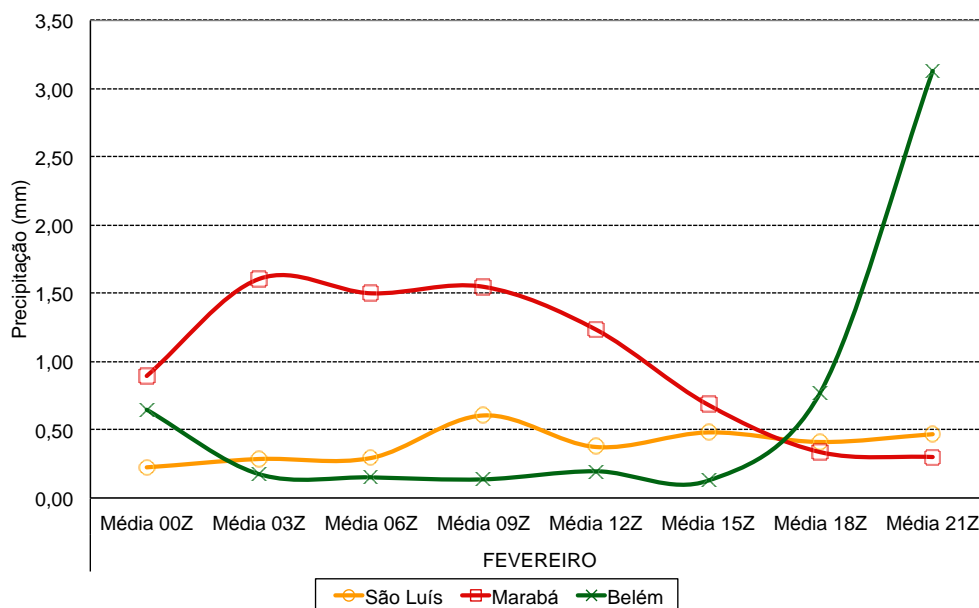


Figura 3: Evolução temporal da precipitação a cada 3h em São Luís (MA), Marabá (PA) e Belém (PA), durante o mês de fevereiro.

O mês de março é conhecido, climatologicamente, como o mais chuvoso do leste da Amazônia. A ZCIT, que é um sistema atmosférico de escala planetária, encontra-se em sua posição mais ao sul (em torno de 02°S na média) e é responsável por inúmeros eventos extremos de precipitação. Por esse motivo, os acumulados a cada 3h são maiores nos três sítios estudados.

Em São Luís (Figura 4), um sensível incremento da curva ao final da tarde e início da noite sugere que a circulação de brisa marítima começa a

contribuir com mais evidências para a origem de nuvens ao longo do litoral maranhense. A brisa marítima é a diferença de aquecimento entre as superfícies da terra e do mar quando sobre elas incide a radiação solar. As camadas de ar que estão em contato com a areia se aquecem mais, ficam menos densas e sobem, isso gera um movimento ascendente em escala local, favorecendo a formação de nuvens cumuliformes (FERREIRA e MELLO, 2005). Contudo, a variação da precipitação entre os horários é inferior a 0,4 mm/3h, indicando pouca variabilidade temporal.

O regime do período chuvoso em Belém durante o mês de março segue as mesmas características dos meses anteriores (Figura 4), com mínimo de 0,08 mm/3h às 09Z e máximo de 2,21 mm/3h às 21Z. Mais uma vez, o aquecimento da superfície ao longo do dia foi um fator preponderante para o ciclo horário da precipitação em Belém, cujos picos durante o final da tarde e início da noite mostram a região com claros sinais de regime pluviométrico continental bem definido.

As flutuações mais pronunciadas do mês de março podem ser notadas na curva vermelha, que representa Marabá. Destacam-se os máximos durante a madrugada e início da manhã, quando às 03Z e 09Z os acumulados a cada 3h atingem 1,37 mm e 2,06mm, respectivamente. Apesar de Marabá estar localizada no sudeste do Pará, a ZCIT exerce influência direta, com acumulados mensais acima de 300 mm. As Linhas de Instabilidade formadas na região costeira, continuam tendo papel importante no regime pluviométrico do município, uma vez que se propagam para o interior do continente e atingem máximo de desenvolvimento durante a noite e madrugada no sudeste do Pará (COHEN *et al.*, 1995).

A Figura 5 refere-se ao mês de abril e mostra a evolução diária da precipitação a cada 3h nos três sítios estudados. São Luís apresenta um regime diferenciado em relação aos outros meses, com mínimos entre as 12Z e 15Z e máximos entre as 18Z e 21Z. Durante o dia, as nuvens presentes no litoral ainda estão em fase de desenvolvimento e não são capazes de gerar chuvas significativas. Por outro lado, ao fim da tarde e início da noite, os sistemas litorâneos já atingiram sua maturação e frequentemente geram chuvas na forma de pancadas na porção norte do Maranhão.

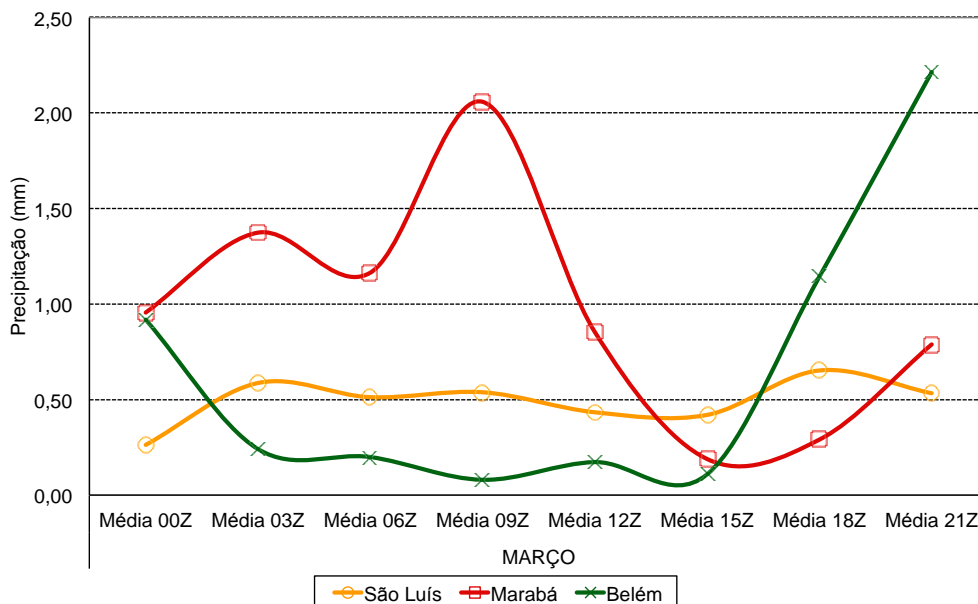


Figura 4: Evolução temporal da precipitação a cada 3h em São Luís (MA), Marabá (PA) e Belém (PA), durante o mês de março.

A curva em verde, representando Belém, mostra que as características observadas em todo o período chuvoso seguem do mesmo modo no mês de abril, com valores próximos a zero desde a madrugada até o meio da tarde, e picos ao final deste período e no início da noite. Deste modo, a expectativa de ocorrência de precipitação durante a manhã e no início da tarde é baixíssima. Por outro lado, a partir das 18Z (15h local) o aquecimento superficial e a circulação de brisa no litoral deixa a atmosfera favorável a formação de nuvens com topos elevados, aumentando a probabilidade de ocorrência de precipitação, especialmente na forma de pancadas.

Em abril, a climatologia mostra que a ZCIT já não exerce tanta influência no regime pluviométrico como no mês de março, e o máximo valor alcançado não ultrapassa 2,0 mm/3h durante a madrugada (06Z ou 03h local). Entretanto, é evidente que o regime pluviométrico em Marabá, na escala temporal horária, ou a cada 3h durante o período chuvoso, define os turnos da noite e madrugada como os mais propícios a receber chuva. No mês de abril, essa característica aparece bem definida pela curva em vermelho na Figura 5, cujos horários mais chuvosos variam entre as 06Z e as 12Z (03h e 09h local).

Analisando imagens de satélite durante os meses do período chuvoso, frequentemente foi observado que, durante o início da noite um alinhamento de nuvens com acentuado desenvolvimento vertical origina-se meridionalmente entre o Piauí e a Região Centro-Oeste do Brasil. De

acordo com Souza e Ambrizzi (2003), algumas formações de sistemas frontais ocorrem em formato de Y e o braço de nebulosidade do lado direito tende a influenciar o leste da Amazônia, particularmente o município de Marabá. Frequentemente, estes sistemas associam-se à ZCAS e, atuam em conjunto com Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) (KOUSKY e GAN, 1981) que, agindo conjuntamente contribuem para a formação de nebulosidade com orientação norte-sul na Região Nordeste do Brasil, no fim do verão e no início do outono do HS.

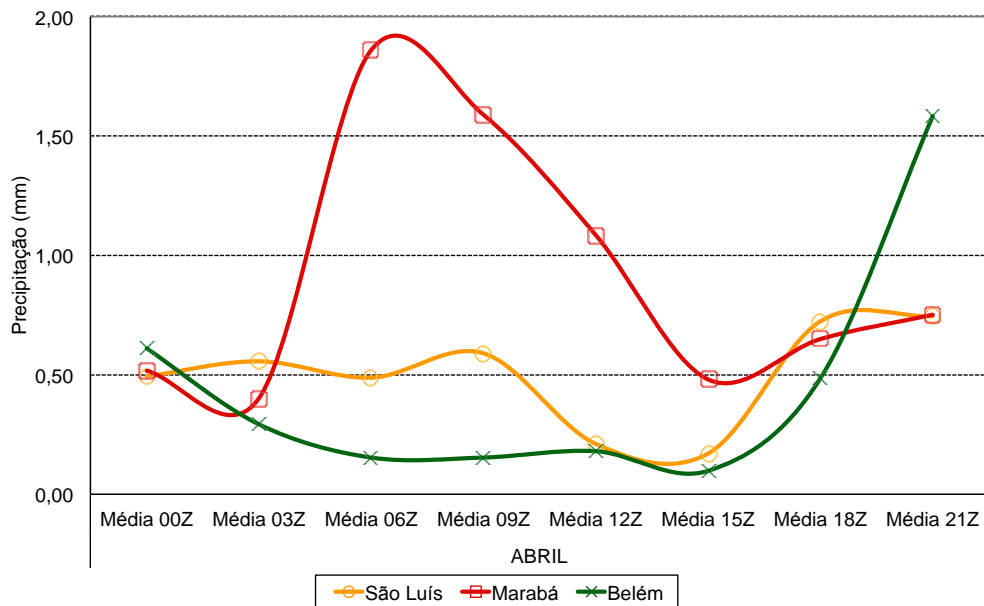


Figura 5: Evolução temporal da precipitação a cada 3h em São Luís (MA), Marabá (PA) e Belém (PA), durante o mês de abril.

4. CONCLUSÕES

O presente estudo mostrou uma análise observacional acerca da variabilidade horária da precipitação, através de três estações automáticas no leste da Amazônia. Os resultados mostram comportamentos distintos entre os três sítios estudados (Belém-PA, São Luís-MA e Marabá-PA), cada um com regime pluviométrico peculiar.

Os dados foram agrupados a cada 3h e analisados conjuntamente por mês, de janeiro a abril. São Luís mostrou pouca variabilidade da precipitação ao

longo dos horários, exceto em abril, quando máximos ao final da tarde e início da noite atingiam 0,75 mm/3h às 21Z. Isto se deve primariamente a circulação de brisa marítima, que favorece a origem de nuvens causadoras de precipitação ao longo da faixa litorânea.

Em Belém, durante os quatro meses estudados, o comportamento horário da curva de precipitação revelou um regime bem definido no período chuvoso. Durante a manhã e o início da tarde, enquanto a superfície terrestre está se aquecendo, a quantidade de precipitação média é de 0,16 mm/3h nos quatro meses. Contudo, ao fim da tarde e início da noite, quando as nuvens estão em fase de maturação, os valores de precipitação atingem seu ápice, caracterizando um regime pluviométrico continental, com precipitação originada pela convergência diurna na baixa troposfera e consequente formação de nuvens cumuliformes ao fim do dia e no período noturno.

O regime pluviométrico horário em Marabá indica que, de um modo geral para os quatro meses mais chuvosos, o período da madrugada é o mais propício a receber maior quantidade de chuva. Em fevereiro e março, dois picos são observados, um às 03Z e outro às 09Z, enquanto que, em janeiro e em abril, o horário das 06Z apresenta o máximo de precipitação (quase 2,0 mm/3h). Pela sua localização geográfica, o município é fortemente influenciado por sistemas atmosféricos em diversas escalas, como a ZCAS, LI e VCANs. Tais sistemas formam-se em lugares distantes do sudeste do Pará durante o dia, e se propagam para a região de Marabá ao longo da noite e madrugada, quando são observados os máximos de precipitação.

Todas essas informações da precipitação da região de Marabá nos primeiros meses do ano são de suma importância, visto que, historicamente são observados alagamentos nas áreas mais baixas da cidade (SANTOS, 2008), não só pela elevação do nível do Rio Tocantins, mas também pela quantidade de precipitação que incide sobre o município.

Complementarmente ao que foi discutido, esta pesquisa é extremamente útil para diversos setores, especialmente aqueles que lidam com planejamento, como a Defesa Civil, agricultura e mineração, cujas atividades são de grande relevância na região. Neste contexto, particularmente para a indústria de mineração, os horários mais chuvosos impactam nos riscos operacionais, tanto de mina, quanto de estrada de ferro e porto. Por exemplo, o Terminal Marítimo de Ponta da Madeira em São Luís, utilizado para exportação de minério de ferro e soja, poderia evitar o embarque de cargas nos horários sujeitos à maior quantidade de precipitação. Portanto, diversas são as aplicações deste estudo científico.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. **The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall.** *J. Climate*, v.17, p.88-108, 2004.
- COHEN, J. C. P., SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE, C. **Enviromental conditions associated with amazonian squall lines: A case study.** *Mon. Wea. Rev.*, 123, 3163-3174. 1995
- DAI, A.; TRENBERTH, K. E.; KARL, T. R. **Effects of clouds, soil moisture, precipitation, and water vapor on diurnal temperature range.** *J. Climate*, 12, 2451-2473. 1999.
- FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. *Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a Região Nordeste do Brasil e a influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região.* **Revista Brasileira de Climatologia.** v.01, n.01. 2005.
- FRIERSON, D. M. W.; HWANG, Y. T.; FUCKAR, N. S.; SEAGER, R.; KANG S. M.; DONOHOE A.; MAROON E. A.; LIU, X.; BATTISTI, D. S. *Contribution of ocean overturning circulation to tropical rainfall peak in the Northern Hemisphere.* **Nature Geoscience** 6:11, 940-944. 2013.
- GREY, W. M.; JACOBSON, R. W. Jr. **Diurnal variation of deep cumulus convection.** *Mon. Wea. Rev.*, 105, 1171-1188. 1977.
- KOUSKY, V. E.; GAN, M. A. **Upper tropospheric cyclonic vortices in the Tropical South Atlantic,** *Tellus*, 33, 538-551. 1981.
- MAPES, B.E.; WARNER, T.; XU, M. *Diurnal patterns of rainfall in Northwestern South America. Part III: diurnal gravity waves and nocturnal convection offshore.* **Monthly Weather Review**, v. 131,p. 830-844, 2003a.
- MAPES, B.E.; WARNER, T.; XU, M.; NEGRI, A.J. *Diurnal patterns of rainfall in Northwestern South America. Part I: observations and context.* **Monthly Weather Review**, v. 131, p. 799-812, 2003b.
- NOBRE P.; SHUKLA, J. *Variations of SST, wind stress and rainfall over the tropical Atlantic and South America.* **Journal of Climate**, v. 9: p. 2464-2479, 1996.
- OGURA, Y.; TAKAHASHI T. *Numerical simulation of the life cycle of a thunderstorm cell.* **Monthly Weather Review**, 99, 895-911. 1971.
- OKI, T.; MUSIAKE, K. *Seasonal change of the diurnal cycle of precipitation over Japan and Malaysia.* **J. Appl. Meteor.**, 33, 1445-1463. 1994.
- QUADRO, M. F. L.; SILVA DIAS, M. A. F.; HERDIES, D. L.; GONÇALVES, L. G. G. *Análise climatológica da precipitação e do transporte de umidade na região da ZCAS através da nova geração de reanálises.* **Revista Brasileira de Meteorologia.** v.27, n.2, 152 - 162, 2012.
- SANTOS, D. M. *Análise e modelagem estatística hidrometeorológica na Bacia do Rio Tocantins em Marabá - PA.* Ciências Ambientais. Belém, Universidade Federal do Pará. **Dissertação (mestrado).** 2007.
- SANTOS E SILVA, C. M. *Ciclo diário e semidiário de precipitação na costa norte do Brasil.* **Revista Brasileira de Meteorologia** (Impresso), v. 28, p. 34-42, 2013.
- SHERWOOD, S. C.; WAHRLICH R. *Observed evolution of tropical deep convective events and their environment.* **Monthly Weather Review.**127, 1777-1795. 1999.
- SOUZA, E. B.; AMBRIZZI, T. *Pentad precipitation climatology over Brazil and the associated atmospheric mechanisms.* **Climanálise.** Disponível em: <http://cptec.inpe.br/products/cliamanalise/artigos/artcien2.shtml/>. 2003.
- SOUZA, E. B.; KAYANO, M. T.; AMBRIZZI, T. *The regional precipitation over the eastern Amazon/northeast Brazil modulated by tropical Pacific and Atlantic SST anomalies on weekly timescale.* **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19(2): p. 113-122, 2004.

- SOUZA, E. B, KAYANO, M. T., AMBRIZZI T. *Intraseasonal and submonthly variability over the eastern Amazon and Northeast Brazil during the autumn rainy season. Theoretical and Applied Climatology*. v. 81: p. 177-191, 2005.
- TRENBERTH K. E. The definition of El Niño. **Bulletin of the American Meteorological Society**. v. 78, p. 2771-2777, 1997.
- WALLACE, J.M. *Diurnal variations in precipitation and thunderstorm frequency over the conterminous United States. Monthly Weather Review*, v. 103, p. 406-419, 1975.
- WARNER, T. T.; MAPES, R. E.; XU, M. *Diurnal patterns of rainfall in northwestern South America. Part II: Model simulations. Monthly Weather Review*, 131, 813-829. 2003.
- YAMAZAKI, Y., RAO, V.B. *Tropical cloudiness over the South Atlantic Ocean. Journal of the Meteorological Society of Japan* 55: 1977.
- YANG, G.-Y.; SLINGO, J. *The diurnal cycle in the Tropics. Monthly Weather Review*, 129, 784-801. 2001.
- YANG, S. E SMITH, E.A. *Mechanism for diurnal variability of global tropical rainfall observed for TRMM. Journal of Climate*, v. 19, p. 5190-5226, 2006.