Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Estudo observacional da convecção de mesoescala em diferentes superfícies no estado do Pará

Giordani Rafael Sodré. Universidade Federal do Pará. Autor correspondente e-mail: rafaelsodre2009@hotmail.com

Maria Isabel Vitorino. Universidade federal do Pará
Júlia Clarinda Paiva Cohen. Universidade federal do Pará
Bergson Calcantini Moraes. Instituto Tecnológico Vale

Artigo submetido em 06/05/2015 e aceite em 28/12/2015.

RESUMO

Este estudo se propõe realizar uma análise observacional dos sistemas convectivos de mesoescala circular (MCSC), visando identificar como as diferentes características da superfície interferem na gênese destes sistemas. Para alcançar este objetivo, a Amazônia oriental foi dividida em quatro regiões distintas: região A (nordeste), região B (sudeste), região C (sudoeste), região D (noroeste), onde, com o uso de dados de sensoriamento remoto, foram selecionados os eventos e calculado a excentricidade, tamanho, tempo de vida e o horário preferencial de surgimento dos MCSC. Os resultados mostraram que as regiões A e D concentraram 66% da ocorrência de MCSC. O horário preferencial, de formação dos sistemas, sofre variação de acordo com as características da superfície local. Na região litorânea, os sistemas tendem a se formar no meio da tarde, com pico máximo no início da noite. Nas regiões mais distantes do litoral e de topografia elevada, os MCSC tendem a se formar no final da tarde com pico máximo no início da madrugada, foi observado como a topografia da região litorânea favorece a formação de sistemas convectivos. Contudo, o fator comum encontrado em todas as regiões foi a preferência dos sistemas pelas zonas de transição entre vegetação e áreas desmatadas, principalmente ao longo da região do Arco do Desmatamento.

Palavras-chave: Sistema Convectivo de Mesoescala Circular, Tipo de cobertura do solo, Amazônia Oriental.

Study of mesoscale convection in different areas in Pará state

ABSTRACT

This study proposes to conduct an observational analysis of circular mesoscale convective systems (MCSC), to identify how the different surface characteristics influence the genesis of these systems. To accomplish this, the eastern Amazon was divided into four distinct regions: region A (northeast), region B (southeast) region C (southwest), D region (northwest), where, with the use of satellite images, the FORTRACC application and data technical CMORPH, we selected the events and calculated the eccentricity, size, lifespan and the preferred time of genesis of MCSC. The results showed that regions A and D concentrated the 66% occurrence of MCSC. The preferred moment of formation of the systems suffers variation according to the local characteristics of the surface. In the coastal region, the systems tend to form in the middle of the afternoon, with maximum peak in the early evening. In the regions more distant of coastal and of high topography, the MCSC tend to form in the late afternoon with peak early in the morning. However, the common factor found in all regions was the preference of systems by transition zones between vegetation and cleared areas, especially along the Arc of Deforestation region.

Keywords: Mesoscale Convective System Circular, Topography, Eastern Amazon.

Introdução

Entre os diversos sistemas meteorológicos relacionados com a ocorrência de eventos extremos de precipitação, o Sistema Convectivo de Mesoescala Circular (SCMC) é alvo de vários estudos em todo o mundo (Maddox, 1980; Velasco E Fritsch, 1987; Vitorino Et Al., 1997;

Salio Et Al., 2007). Por ser um fenômeno localizado, possui organização própria, intensa atividade convectiva, preferência por algumas regiões e horários, e apresentar-se como uma única célula nebulosa isolada, com forma arredondada, o que permite sua fácil identificação a partir de imagens de satélite, e quando o mesmo obedece à classificação espaço temporal e de

intensidade feita por Maddox (1980), é chamado de Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM).

O SCMC, assim como outros sistemas meteorológicos de mesoescala são dependentes das características da superfície local, como topografia, hidrografia e vegetação, os quais influenciam diretamente nos processos convectivos, favorecendo ou inibindo, sua formação (Rocha, 1992). Contudo, não é necessariamente fundamental ou determinante a presença destes três fatores em um mesmo ambiente, uma vez que os SCMC podem formar-se na presença de apenas uma ou até mesmo na ausência de todas estas características (Barboza e Fedorova, 2008).

Na região da Amazônia Oriental as principais características presentes são hidrografia e vegetação, a variação topográfica é, segundo o

IBGE (Instituto Nacional de Geografia e Estatística), de topografia parcialmente plana, possuindo formações visivelmente irregulares, como colinas e morros. Porém, o contraste continente oceano e as zonas de transição entre zonas florestadas e desmatadas tornam-se condições fundamentais para a intensificação de processos convectivos e de favorecimento a ocorrências de sistemas convectivos de mesoescala (Cohen Et Al., 1989; Fearnside, 2005).

Neste sentido, este estudo visa contribuir no conhecimento científico sobre a dinâmica dos SCMC relacionando-os com as características da superfície (relevo, hidrografia, vegetação) visando entender como as mesmas influenciam na formação destes sistemas na região da Amazônia oriental, especificamente no estado do Pará.

significativas de topografia, composta por três grandes unidades. A noroeste (D) encontra-se o Planalto das Guianas, bastante extenso, abrangendo toda a Serra do Tumucumaque. Ao sul (B e C), no Planalto Central, estão as Serras do Cachimbo, Carajás e Pelada. Entre estas duas regiões encontra-se a Planície Amazônica (A), banhada pelo Baixo Amazonas e seus principais afluentes, onde se destaca a Ilha de Marajó (Amanajás e Braga, 2012).

Material e métodos

Localização

A área selecionada para este estudo, Figura 1, foi o estado do Pará, localizado geograficamente nas coordenadas Latitude N 2° 31' 45'' - S 9° 50' 36'' e longitude W 58° 59' 12'' – W 46° 6' 10'', que apresenta variações

Figura 1 - Localização da área de estudo e divisão por regiões. A) Nordeste, B) Sudeste, C) Sudoeste e D) Noroeste do estado do Pará.

Dados e Metodologia

Para seleção e análise dos SCMC foram usadas 572.400 imagens disponibilizadas a cada 15 minutos pelo CPTEC referentes ao período de janeiro de 2008 a maio de 2012 dos satélites GOES 10 e 12, canal infravermelho realçado (Canal-4) que possuem resolução espacial de 4 km. Foi utilizado dados de estimativa de precipitação obtidos pela técnica CMORPH, dados do modelo de tempo *Weather Research and Forecasting* (WRF) do instituto tecnológico VALE, dados de topografia do Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM) e informações do desmatamento no estado do Pará do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), todos para o período compreendido nas imagens de satélite. A identificação e caracterização dos

SCMC foram realizadas na seguinte ordem: seleção dos eventos, cálculos da excentricidade, tempo de vida e área de abrangência (tamanho) do sistema.

O processo de identificação dos SCMC consistiu em uma seleção visual de formações nebulosas aparentemente arredondadas, características que ao serem observadas em uma imagem de satélite eram submetidas à metodologia proposta por Maddox (1980), a qual considera a excentricidade como o principal parâmetro para a identificação de um SCMC. Seguindo este critério foi calculada primeiramente a excentricidade de todas as formações nebulosas aparentemente arredondadas.

Para obter a excentricidade do sistema foi selecionada a imagem de satélite do momento de máximo desenvolvimento do SCMC, em seguida contabilizado a quantidade de pixels nos sentidos zonal e meridional e posteriormente calculado o valor da excentricidade pela relação (eixo menor/eixo maior), considerado o valor $\geq 0,7$ como condição para a classificação de um sistema circular (Maddox, 1980).

Para a estimativa do tempo de duração, foi considerado o momento inicial da formação da nebulosidade até a dissipação total da mesma (Vitorino et al., 1997). Para a estimativa do tamanho do SCMC foi utilizada a metodologia proposta por Anabor (2008); Pinto e Campos (2009), que usaram a contagem de pixels como forma de obter o tamanho aproximado dos sistemas convectivos através do uso de imagem de satélite.

Os SCM's na região tropical foram definidos pela primeira vez com base em imagens de satélite por Frank (1970) e Martin e Suomi (1972). Segundo Maddox (1980), a identificação das características observáveis dos complexos convectivos de mesoescala (CCM's), em imagens de satélite no canal do infravermelho sobre as latitudes médias dos Estados Unidos, foi realizada considerando se como critérios o tamanho e a duração de vida do sistema, a temperatura no topo da nuvem, o formato circular (excentricidade), de acordo com a Tabela 1

TABELA 1
Critérios de seleção dos CCMs, segundo Maddox (1980).

Tamanho	Temperatura	Área	duração
T	(t), °C	km ²	h
A	≤ -32	100×10^3	≤ 6
B	≤ -52	50×10^3	≤ 6

Contudo, devido o tamanho dos SCMC tropicais apresentar, em sua maior parte, dimensões inferiores as definições existentes na literatura (Salio et al., 2007), foi proposta uma classificação por tamanho, seguindo os mesmos princípios de Vitorino et al., (1997) que ao observar que a escala de seleção de sistemas convectivos de Maddox (1980) não era adequada para sistemas equatoriais, classificou os sistemas de acordo com os tamanhos máximos e mínimos de desenvolvimento dos sistemas através da sua temperatura de brilho.

Desta forma, a metodologia proposta por Vitorino et al., (1997) foi abordada no presente trabalho, onde, o tamanho máximo (T) dos SCM's

foi classificado da seguinte forma: 1 ($50 < T \leq 100$ km), 2 ($100 < T \leq 200$ km), 3 ($200 < T \leq 300$ km) e 4 ($300 < T \leq 400$ km). Esses critérios foram tomados para esta região de estudo, já que outros critérios usados em trabalhos anteriores foram realizados para latitudes médias (Maddox, 1980; Guedes, 1985).

Após o processo de identificação, localização geográfica e classificação por tamanho, os sistemas foram relacionados com o acumulado pluviométrico precipitado pelos mesmos em cada região por meio dos dados do CMORPH e com as características de topografia e desmatamento da superfície local.

Para relacionar a ocorrência dos SCMC com o sistema de brisa (marítima e de vale e montanha) foi utilizado o campo de vento produzido por simulações do modelo WRF com resolução espacial de 10 km e temporal de 3 horas.

Resultados

Foi observado um total de 143 SCMC para o período de janeiro de 2008 a maio de 2012, os quais apresentaram tamanho, principalmente, entre a classificação 1 e 2, sendo que nos anos de 2009 e 2010, os sistemas de Classificação 1 foram os mais frequentes e nos anos de 2008 e 2011, os sistemas de classificação 2 apresentaram maior número de eventos.

Os SCMC de classificação 3 e 4, que representam os sistemas acima de 10.000 km², foram os menos frequentes, observados principalmente nos anos de 2009 e 2011.

Os menores sistemas representam a maior parte da amostra de SCMC observada, logo o tempo de vida médio ficou entorno de 5 a 7 horas, inferior aos sistemas encontrados em latitudes médias tanto no hemisfério norte como no sul, que possuem média de 10 horas de vida (maddox, 1980; velasco e fritsch, 1987; machado et al., 1997), esta característica pode estar relacionada com o tamanho reduzido dos SCMC amazônicos, como já observado por Salio et al.,(2007) e explicado por Viana et al., (2009) o qual estudou a relação tamanho-tempo de vida dos sistemas e observou que o tamanho dos SCMC é proporcional ao seu tempo de vida, ou seja, quanto mais (menos) duradouro o sistema maior (menor) é o seu tamanho.

Os sistemas observados formaram-se principalmente no final da tarde, nas primeiras horas da noite e durante a madrugada, sendo os horários entre as 20hs e 22hs e entre as 02hs e 4hs

(hora local) os mais favoráveis para a formação dos SCMC (Figura. 2).

Nas duas regiões de maior ocorrência, nordeste (A) e noroeste (D) do estado do Pará, a interferência das características da superfície

Essa característica dos sistemas pode estar segundo Salio et al., (2007) relacionado com o ciclo do aquecimento radioativo, onde o rápido resfriamento da superfície devido à ausência do sol gera condições de instabilidade atmosférica local e favorecendo aos processos dinâmicos, como a convecção induzida pela brisa marítima e a interação dos alísios com a circulação de brisa, que contribuem para o surgimento de sistemas convectivos, o quais formam-se na região costeira e podem adentrar o continente (Kousky, 1980; Cavalcanti, 1982; Silva Dias, 1987).

Na região D (noroeste) o surgimento dos SCMC começa preferencialmente à noite a partir das 20 horas, apresentando a maior incidência no início da madrugada (Figura. 2). Essa característica pode estar relacionada com a

podem ser os principais fatores que determinam o horário preferencial de formação dos SCMC.

Observa-se que na região A (nordeste) os sistemas começam a se formar por volta das 15 horas, apresentando os horários das 18 horas e 21 horas os de maior incidência (Figura. 2). orografia, que nessa região chega a atingir até 300 metros de altura, gerando condições favoráveis a ocorrência da brisa de vale e montanha levando a predominância noturna dos sistemas (RAMOS, 1975).

As regiões nordeste, noroeste, sudeste e sudoeste da Amazônia Oriental possuem quantitativos diferentes de ocorrência de SCMC's. Característica que pode estar relacionada com as variações de relevo, hidrografia e vegetação existente nessas quatro regiões. Principalmente nas regiões nordes e noroeste, onde as variações de relevo e a proximidade com o oceano geram variações térmicas (gradiente) que provocam circulações localizadas que podem potencializar a formação de sistemas de mesoescala

Figura 2. Horário de maior ocorrência dos SCMC na região Nordeste (a), Sudeste (b), Sudoeste (c) e Noroeste (d).

Observando somente as regiões A e D, as quais apresentaram a maior variação horária dos SCM's. A maior parte dos SCMC que formam-se na Amazônia oriental são oriundos do período chuvoso, onde a grande instabilidade gerada principalmente pela presença do sistema meteorológico da grande escala, como a Zona de Convergência Inter Trópica (ZCIT), que possibilita condições de instabilidade atmosférica e disponibilidade de umidade favoráveis a ocorrência dos sistemas. O grau de interferência da ZCIT sobre a formação dos SCMC, do período chuvoso, é melhor compreendido quando

observado as variações dos fenômenos oceano-atmosféricos, como o El Niño Oscilação Sul (ENOS) e o Dipolo do Atlântico, que segundo Nobre e Shukla (1996) influenciam diretamente na posição latitudinal da ZCIT.

Essa hipótese pode ser a explicação da variação espacial dos sistemas, apresentada na Figura 3, onde observa-se que no ano de 2008 (Figura. 3 (a)), ano em que os fenômenos oceânicos de grande escala foram favoráveis a convecção, que tanto na região nordeste como na região noroeste do estado do Pará, a frequência de SCMC foi muito grande.

Figura 3. Variabilidade espacial dos SCMC entre os anos de 2008 a 2011, classificados por tamanho seguindo o proposto na metodologia, onde 1 ($50 < T \leq 100$ km), 2 ($100 < T \leq 200$ km), 3 ($200 < T \leq 300$ km) e 4 ($300 \text{ km} < T \leq 400$ km).

Observa-se para 2011 (Figura. 3 (d)) que a frequência dos SCMC foi menor na região nordeste do estado, e os sistemas de maior desenvolvimento espacial localizaram-se nas

regiões noroeste e sul da Amazônia Oriental. Condição que pode estar relacionada com a ocorrência do Dipolo positivo no atlântico que pode ter inibido os processos convectivos

principalmente no litoral leste, levando a diminuição da frequência dos SCMC nessa região.

É possível notar que a frequência dos SCMC é muito grande em todo o território da Amazônia oriental, contudo as regiões nordeste e noroeste apresentam um maior quantitativo, principalmente entorno da ilha de Marajó, que com exceção do ano de 2011 (Figura. 3 (d)), foi a área preferencial na formação dos sistemas. Característica pode ser atribuída a grande disponibilidade de umidade oriunda da proximidade do oceano bem como os grandes rios que cercam o litoral da ilha do Marajó.

Passado o período chuvoso, e com a ausência dos sistemas da grande escala, ocorre a diminuição da instabilidade atmosférica trazida pelos mesmos, provocando uma alteração na frequência dos SCMC, levando a uma diminuição significativa no seu quantitativo.

Entre as regiões de estudo, apenas o nordeste paraense permaneceu com uma frequência muito próxima, entre os dois períodos sazonais, sendo essa característica justificada pela grande disponibilidade de umidade durante todo o ano, pois essa é a única região costeira dentre as demais, o que permite a atuação do sistema de brisa marítima, garantindo as condições mínimas necessárias à ocorrência de um quantitativo significativo de SCMC's.

A região nordeste, por concentrar os maiores rios, estar mais próximo do oceano, e sofrer interferência direta dos fenômenos e sistemas de grande escala (ENOS, Dipolo do Atlântico, ZCIT). Além da atuação durante todo o

ano da brisa marítima, fundamentais na formação dos sistemas convectivos de mesoescala no litoral leste da Amazônia Oriental (Cohen et al., 1989), disponibiliza uma retroalimentação contínua de umidade gerando uma maior frequência de SCMC durante todo o ano.

As regiões nordeste e noroeste apresentam relevo com altitude inferior às encontradas nas regiões sudeste e sudoeste, no entanto, devido a maior disponibilidade de umidade durante todo o ano, que nas regiões mais ao sul do estado do Pará ultrapassa os 80% apenas no período chuvoso, justifica a predominância dos SCMC nestas duas regiões.

A predominância dos sistemas nas regiões mais ao norte da Amazônia oriental reflete na contribuição do quantitativo da precipitação destes locais. Na Figura 4 nota-se que os maiores volumes acumulados de precipitação, provocada por SCMC, estão nas regiões D (noroeste) e A (nordeste), respectivamente.

O acumulado pluviométrico da região D superior à região A, que esta na mesma latitude e sofre interferência dos mesmos fenômenos meteorológicos, pode estar relacionada à topografia local, pois diferente da região A, que é litorânea e relativamente plana, na região D há uma predominância de planaltos e serras, característica que segundo Maddox (1980) é fundamental para formação de sistemas intensos. Hipótese coerente com os resultados observados, uma vez que os SCMC que predominaram na região D são maiores que os predominantes na região A.

Figura 4. Total de SCMC por região em relação ao volume pluviométrico precipitado durante a ocorrência dos mesmos.

A variação espacial do acumulado pluviométrico precipitado em cada uma das sub-regiões pode ser explicada por meio da comparação da frequência e da intensidade dos respectivos sistemas que se formaram sobre estes locais (Figura 5). Nota-se que o SCMC de classificação 1 e 2 foram os mais frequentes em todas as regiões, contudo, foi apenas nas regiões A e D (Figura 5 A); D)) que os sistemas mais intensos obtiveram maior ocorrência. Condição, que como já mencionada anteriormente, está relacionada à incidência do efeito de brisa (brisas de vale e montanha na região D e brisa marítima na região A).

Nas regiões B e C (Figura 5 B); C)) a frequência dos sistemas foi semelhante, sendo que a diferença no quantitativo foi de aproximadamente 2% nestas localidades.

Contudo, foi a região B (Figura 5 B)) que apresentou a maior incidência dos eventos mais intensos, sendo a única localidade que apresentou uma característica na intensidade e na variação espacial dos SCMC diferente das demais.

A localização espacial dos sistemas formados nesta região, parecem estar sofrendo um efeito local. Pois os mesmos apresentaram uma tendência espacial zonal linear na maior parte da sua ocorrência. Outra observação importante é que os sistemas que se formam na sub-região B, que está distante do litoral, apresentam um grande desenvolvimento e intensidade.

Estas condições serão analisadas adiante, a partir da comparação das características naturais do ambiente (relevo, hidrografia e vegetação) com as alterações causadas pela ação do homem (urbanização e desmatamento).

Figura 5. Total de SCMC separados por região e classificados por tamanho relacionados ao volume pluviométrico total precipitado durante a ocorrência dos mesmos.

A interferência do homem sobre o ambiente natural também pode estar influenciando na frequência dos SCMC em algumas regiões da Amazônia oriental. Comparado o local de formação dos sistemas com as regiões de maior índice de desmatamento, observa-se que grande parte dos sistemas tendeu a ser formar nas regiões mais devastadas (Figura. 6).

Essa característica pode ser resultado da “circulação não convencional”, descrita pela primeira vez por Roy e Avissar (2002), que usando o modelo RAMS detectaram o aumento da nebulosidade nas áreas mais afetadas pelo desmatamento, sugerindo a presença de uma circulação local derivada da heterogeneidade na vegetação, principalmente no estado de Tocantins. Posteriormente Fearnside (2005) observou a

presença da mesma característica de circulação definida por Roy e Avissar (2002), o qual notou que a “circulação não convencional” surge a partir do gradiente térmico gerando aquecimento diferencial entre a superfície vegetada e a não vegetada, essa circulação força a ascensão da umidade transportada da floresta para a área desmatada aumentando o potencial convectivo e a respectiva formação de nuvens.

Ainda sobre a região nordeste e sudoeste, Beltrão (2008) mostrou que a precipitação sobre a região conhecida como Arco do Desmatamento sofrerá um aumento no seu volume até o ano de 2050, devido à alteração no seu microclima gerado pelas mudanças na cobertura vegetal da superfície.

Outra característica das regiões desmatadas e a grande concentração demográfica,

principalmente na região nordeste da Amazônia oriental, onde estão situadas as cidades mais importantes e populosas do estado do Pará, como a região metropolitana de Belém.

O efeito urbano tem alterado o microclima local, que devido ao grande concentração de asfalto e construção a absorção de energia é potencializada, provocando a elevação da temperatura e consequentemente aumentando a sensação de calor. Corrêa (2011) observou que a intensa urbanização, construções, trânsito, tem contribuído para alterações microclimáticas na cidade de Belém do Pará, criando um efeito térmico conhecido como “Ilha de Calor” alterando as condições de tempo local provocando a elevação do volume pluviométrico e da frequência das chuvas (Corrêa, 2011).

Figura 6. Relação SCMC x Superfície. a) total de SCMC ocorridos entre janeiro de 2008 a maio de 2012. b) Total de desmatamento no estado do Pará até o ano de 2013. c) Relevo do estado do Pará segundo dados da EMBRAPA. Fonte: a) Autor; b) IINPE/PRODES; c) EMBRAPA

Nas regiões C (sudoeste) e D (Noroeste), onde a vegetação natural é predominante, observa-se um número significativo de sistemas, característica que pode estar relacionada à orografia destas áreas, as quais apresentam as regiões de maior altitude, 700 metros e 300 metros, respectivamente (Figura.6(c)). Tal fator influencia diretamente para a ocorrência da circulação da brisa de vale e montanha, que segundo Maddox (1980) é fundamental para a ocorrência de SCMC, principalmente durante a noite como observado na Figura 2(c).

Outra característica importante observada nas regiões C e D é a variação da intensidade dos SCMC. Na região C, que possui focos de desmatamento principalmente na divisa do estado do Pará com o estado de Mato Grosso

Utilizando o campo de vento simulado pelo modelo de previsão WRF/ITV-DS juntamente com os dados de sensoriamento remoto do CMORPH, observa-se as características dinâmicas que envolvem o processo de formação do SCMC na região nordeste do Para. Por volta das 21 horas local os ventos que sopram do oceano estão com baixa intensidade, apresentando uma tendência de inversão de sentido (Figura 7 A)), condição observada a partir das 24 horas local, momento em que a brisa marítima deixa de influenciar diretamente sobre a região continental do nordeste paraense e os ventos que sopram do continente para o oceano passam a dominar (Figura 7B)).

Esta característica perdura até o horário das 6 horas local, quando o campo de vento começa a apresentar perturbações, oriundas do aquecimento da superfície provocado pela incidência da energia solar (SELUCHI e GARREAUD, 2012). Esse aquecimento intensifica o processo de convecção sobre o continente e por meio do fenômeno físico da continuidade intensifica os ventos que sopram do mar. Ou seja, quanto maior o gradiente entre oceano e continente, mas intensa será a brisa marítima (Figura 7 D)).

(Figura.5(b)), observa-se a formação dos sistemas mais intensos exatamente sobre essa região. Na região D, o quantitativo dos sistemas é muito superior ao da região C, contudo, os sistemas mais intensos são menos frequentes. Nota-se que ausência da vegetação parece influenciar diretamente na intensidade dos SCMC, com tudo, ainda não é possível quantificar a importância dessa interferência sobre intensidade dos sistemas.

Devido ao pequeno período de observação (4 anos e 5 meses), ainda não é possível afirmar se a atividade antrópica está interferindo diretamente na frequência e na intensidade dos SCMC ou se o padrão observado é provocado pela dinâmica atmosférica natural, oriunda do contraste térmico provocado pelo oceano, rios e/ou continente.

Entre as 12 e 18 horas e o horário de maior aquecimento superficial da região equatorial, como pode ser observado nas Figuras 7 F), G) e H). Nota-se que o aquecimento da superfície gera uma perturbação no campo de vento, intensificando o escoamento que vem do oceano (Figuras 7 F)), essa intensificação favorece o transporte de umidade vinda do oceano que entra em contato com a região de convecção sobre o continente formando o sistema convectivo (Figura 7 G)). Neste momento a forçante topográfica fica em maior evidência, observa, ainda na Figura 7 G), que o escoamento vindo do oceano se intensifica quando passa pela baía do Marajó (porção de água que separa a ilha do Marajó da região metropolitana de Belém) formando uma espécie de barreira que impede o deslocamento do SCMC, fazendo com que o mesmo permaneça estacionário e concentrado todo seu volume pluviométrico sobre esta região (Figura 7 H)).

Esta característica observada ocorreu em 80% dos sistemas que se formaram na região nordeste do Para, podendo ser esta uma das prováveis respostas da preferência de ocorrência dos SCMC neste local.

Figura 7. Campo de vento do modelo de previsão WRF e estimativa de precipitação CMORPH durante a ocorrência de um SCMC no nordeste do Pará.

Discussão

O horário preferencial de formação dos sistemas depende diretamente das características da superfície, onde, as áreas mais planas, os SCMC tendem a surgir no meio da tarde com pico máximo no início da noite, e nas regiões de relevo acentuado os sistemas tendem a se formar nas primeiras horas da noite com pico máximo no início da madrugada. No geral os SCMC Amazônicos possuem Tempo de vida médio entre 5 e 7 horas.

A atuação das brisas (Marítima, lacustre e vale e montanha) favorece o transporte de umidade, tornando-se o principal fator na manutenção dos SCMC durante todo o ano, principalmente nas regiões nordeste e noroeste do Pará, onde a umidade disponibilizada pelos rios e floresta que predominam nessas regiões gera condições dinâmicas favoráveis à formação dos SCMC.

Notou-se que, apesar da grande contribuição do sistema de brisa marítima, injetando umidade sobre a região continental, os sistemas de maior volume precipitado localizaram-se na região noroeste do estado do Pará a qual apresenta predominância serras e morros, consequentemente da brisa de vale e montanha.

A área desmatada que estende-se do nordeste ao sudeste paraense exerce preferência geográfica dos SCMC mais intensos na variação temporal anual. A influência da atividade antrópica, efeitos microclimáticos provocados pela urbanização e desmatamento, podem estar relacionadas com a intensidade dos sistemas que formam-se principalmente na região nordeste do estado Pará, contudo, ainda não é possível afirmar esta condição apenas com as observações realizadas neste artigo.

A característica topográfica observada na região nordeste do Pará, a qual leva o escoamento dos ventos vindos do oceano a formar uma barreira natural da umidade, identifica um possível fator a ser aprofundado em estudos de modelagem numéricas a respeito da modulação de sistemas convectivos na região oriental da Amazônia.

Conclusão

Os resultados obtidos no presente trabalho somam como novas e importantes informações a serem consideradas posteriormente por modelos regionais de tempo e de clima, servindo para aprimorar os conhecimentos da interferência do

uso e cobertura do solo e suas implicações na variabilidade tempo e espaço do clima na região amazônica, em específico na amazonia oriental.

Agradecimentos

O autor agradece a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por concessão da bolsa de pós-graduação, fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa e ao Instituto Tecnológico Vale por ceder dados do seu modelo atmosférico de previsão do tempo.

Referências

- Amanajas, J. C.; Braga, C. C. 2012. Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada. *Rev. bras. meteorol.* [online]. 27, 423-434.
- Anabor, V. 2008. Sistemas convectivos de mesoescala no sul da América do sul: propagação em série contra o escoamento em baixos níveis. Santa Maria. Tese (Doutorado em Meteorologia). Coordenadoria de Pós-Graduação, Universidade Federal de Santa Maria.
- Barboza, E. R.; Fedorova, N. Associações entre a corrente de jato subtropical e complexos convectivos de mesoescala parte i: a influência da corrente de jato subtropical no desenvolvimento de complexos convectivos de mesoescala. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, CBMET, São Paulo. 2008
- Beltrão, J. C. 2008. A influência do Arco do Desmatamento sobre o ciclo hidrológico da Amazônia. Belém, Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Programa de Pós-Graduação. Universidade Federal do Pará.
- Cavalcanti, I. F. A. 1982. Um estudo sobre interações entre sistemas de circulação de escala sinótica e circulações locais. São José Dos Campos. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE.
- Cohen, J. C. P.; Dias, M. A. F. S.; Nobre, C. A. 1989. Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia. *Climanálise, Boletim De Monitoramento e Análise Climática* 4, 4-40.
- Correia M. F.; Silva Dias M. A. F. 2003. Variação do nível do reservatório de sobradinho e seu impacto sobre o clima da região. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*.8, 157-168.
- Corrêa, L. V. 2011. Análise dos efeitos térmicos da cidade de Belém utilizando imagens de

- satélite. Belém, Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Programa de Pós-Graduação. Universidade Federal do Pará.
- Fearnside, P. M. 2005. Desmatamento na Amazônia brasileira: História, índices e Consequências. *Megadiversidade*, v. 1, n1º.
- Kousky, V. E. 1980. Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil. *Monthly Weather Review*. United States of America 108, 488-498.
- Maddox, R. A. 1980. Mesoscale Convective Complexes. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 61, 1374-1387.
- Machado, L. A. T.; Guedes, R. L.; Alves, M. A. S. 1997. Características estruturais de Sistemas Convectivos e forçantes da convecção na América do sul observados por satélites. *Climanálise Especial*, p. 11.
- Pinto, L. B.; Campos, C. R. J. 2009. Análise do comportamento morfológico e radiativo de um sistema convectivo de mesoescala inferido via imagens de satélite. *Rev. Bras. Geof.* [online] 27, n.1, 35-42.
- Ramos, R. P. L. 1975. Precipitation characteristics in northeast Brazil dry region. *J. Geophys* 80, 1665 – 1678.
- Rocha, R. P. 1992. Simulação numérica de sistema de mesoescala sobre a América do Sul. São Paulo. Tese (Mestrado em Meteorologia). Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo.
- Roy, S. B.; Avissar. R. 2002. Impact of land use/land cover change on regional hydrometeorology in amazonia. *Journal of geophysical research* 107, no. D20, Doi 10.1029/2000jd000266
- Salio, P.; Nicolini, M.; Zipser, E. J. 2007. Mesoscale Convective Systems over southeastern South America and Their Relationship with the South American Low – Level Jet. *Monthly Weather Review* 135, 1290 – 1309.
- Seluchi, M. E.; Arreaud, R. D. 2012. Campos medios e processos físicos associados ao ciclo de vida da Baixa do Chaco. *Rev. Bras. Meteorol.* [online]. 27, 447-462.
- Silva Dias, M. A. F. 1987. Sistemas de Mesoescala e previsão de tempo a curto prazo. *Revista Brasileira de Meteorologia* 2, 133-150.
- Truccolo, E. C. 2011. Estudo do comportamento do vento no litoral centro-norte de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Meteorologia* 26, 451 – 460.
- Velasco, I.; Fritsch, J. M. 1987. Mesoscale Convective Complexes in the Americas. *J. Geophys. Res.* 92, 9591-9613.
- Viana, D. R.; Aquino, F. E.; Burgobraga, R.; Ferreira, N. J. 2009. Mesoscale convective complexes in Rio Grande do Sul between October and December of 2003 and associated precipitation. *Rev. bras. meteorol.* [online]. 24, 276-291.
- Vitorino, M. I.; Silva, M. E. S.; Alves, J. M. B. 1997. Classificação de Sistemas Convectivos de Mesoescala no setor norte do nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia* 12, 21-32.