

SÍNTESE DA PARTICIPAÇÃO DOS SISTEMAS ATMOSFÉRICOS ATUANTES NO ESTADO DO PARÁ

Lucas Pereira Soares ¹
Marcelo de Oliveira Moura ²

RESUMO

O presente estudo realiza uma síntese da dinâmica atmosférica do estado do Pará, alicerçada nos fundamentos teóricos da Climatologia Geográfica e na metodologia dos “anos-padrão” proposta por Monteiro (1973). A investigação tem por objetivo compreender a atuação dos principais sistemas atmosféricos de escala sinótica e subsinótica, entre os quais se destacam os Alísios (AL), a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), as Repercussões de Sistemas Frontais (RSF), os Cavados (CV), a Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) e as Linhas de Instabilidade (LI). A metodologia empregada envolveu o mapeamento da cobertura de nuvens e a análise sinótica diária de dados orbitais e de radiação de onda longa, sistematizados em 125 quadrantes territoriais. Os resultados obtidos evidenciam significativa variabilidade espacial e temporal na atuação dos sistemas atmosféricos, cuja dinâmica é modulada pelas condições sazonais e pelas particularidades geográficas regionais. Tais resultados revelam um padrão complexo de interação entre os fenômenos atuantes sobre o território paraense, contribuindo para o aprimoramento da compreensão da climatologia regional e para o fortalecimento das bases de monitoramento e análise geoespacial aplicadas à dinâmica climática amazônica.

Palavras-chave: Climatologia Geográfica; Dinâmica atmosférica; Análise rítmica.

ABSTRACT

The present study presents a synthesis of the atmospheric dynamics of the state of Pará, based on the theoretical foundations of Geographic Climatology and the “standard years” methodology proposed by Monteiro (1973). The aim of this investigation is to understand the behavior of the main synoptic and subsynoptic scale atmospheric systems, including the Trade Winds, the Intertropical Convergence Zone (ITCZ), the South Atlantic Convergence Zone (SACZ), the Repercussions of Frontal Systems (RFS), Troughs, the Moisture Convergence Zone (MCZ), and Squall Lines (SL). The methodology involved cloud cover mapping and daily synoptic analysis of orbital data and longwave radiation, organized into 125 territorial quadrants. The results show significant spatial and temporal variability in the behavior of the atmospheric systems, whose dynamics are modulated by seasonal conditions and regional geographic features. These results reveal a complex pattern of interaction among the phenomena affecting the territory of Pará, contributing to a better understanding of regional climatology and strengthening monitoring and geospatial analysis applied to the dynamics of the Amazonian climate.

Keywords: Geographic Climatology; Atmospheric Dynamics; Rhythmic Analysis.

¹ Docente Curso de Geografia IFPA Campus Abaetetuba, lucas.soares@ifpa.edu.br

² Docente PPGG - UFPB, geommoura@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

A dinâmica climática da região amazônica, em especial do estado do Pará, é marcada por uma complexa interação entre sistemas atmosféricos de diferentes escalas, cuja atuação influencia diretamente os padrões de precipitação, nebulosidade e circulação atmosférica. A identificação e o entendimento desses sistemas são fundamentais para a caracterização das feições climáticas regionais e para o aprimoramento das estratégias de monitoramento, especialmente em contextos onde a variabilidade climática exerce forte influência sobre as atividades socioeconômicas e ambientais.

Dentro dessa concepção, o presente estudo é direcionado ao estado do Pará (Figura 1), localizado na região Norte do Brasil, que se constitui como um espaço relevante para investigações climatológicas de caráter geográfico. Com uma extensão territorial de aproximadamente 1.245.870 km², o Pará representa cerca de 16,6% do território nacional (IBGE, 2011), destacando-se por sua ampla dimensão espacial e pela expressiva diversidade de ecossistemas, os quais refletem a complexa dinâmica atmosférica típica da Amazônia.

Figura 1 - Localização da área de estudo.



Elaboração: autores.

Nesse cenário, torna-se imprescindível adotar abordagens metodológicas que considerem tanto a escala sinótica quanto a subsinótica da circulação atmosférica, associando-as à espacialidade e à temporalidade dos fenômenos observados. A partir dessa premissa, o

presente estudo propõe uma síntese da atuação dos principais sistemas atmosféricos atuantes no território paraense, fundamentada nos princípios da Climatologia Geográfica e na proposta metodológica de Monteiro (1973).

A síntese resultante visa oferecer subsídios ao entendimento da Climatologia Regional, revelando os padrões de atuação dos sistemas atmosféricos no território paraense, tanto em sua distribuição sazonal quanto em sua variabilidade espacial. Para isso, foram utilizados os “anos-padrão” como referência temporal, permitindo a elaboração de uma análise sinótica sistematizada, contemplando a variação das condições atmosféricas ao nível dos tipos de tempo, sintetizadas nos âmbitos mensal e anual.

METODOLOGIA

Os procedimentos listados a seguir refere-se a proposta de síntese da participação dos principais sistemas atmosféricos de classe sinótica e subsinótica atuantes no estado do Pará. Considerou-se a organização metodológica proposta por Monteiro (1973), a partir do uso dos “anos-padrão” e da aplicação dos índices de participação revelando o mapeamento que culmina com a proposta de síntese da circulação atmosférica regional.

Com base nisso, destaca-se a composição dinâmica sobre o estado do Pará, em uma premissa de identificação dos sistemas atmosféricos sob a escala sinótica e subsinótica, baseado em Reboita *et al.* (2010 e 2012) que refere-se à atuação, na baixa troposfera, dos seguintes sistemas: Alísios (AL), Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e do Atlântico Sul (ZCAS), Sistemas Frontais (SF), neste trabalho considerados como Repercussões de Sistemas Frontais (RSF). Para além destes, considerou-se, ainda, a Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) e os Cavados (CV), bem como, os sistemas subsinóticos, como as Linhas de Instabilidade (LI), que foram identificados, ainda, de forma conjugada, neste caso, pela relação ZCIT-LI.

A análise sinótica, desenvolvida na escala diária em respeito aos “anos-padrão”, ocorreu, sobretudo, com a preocupação em sincronizar a dinâmica atmosférica nos limites definidos pelo zoneamento espacial de 1º de latitude por 1º de longitude, conforme a orientação de Monteiro (1973), a qual revela 125 quadrantes a serem preenchidos com os índices de participação dos sistemas atmosféricos, representando a variação destes no território paraense (Figura 2).

Figura 2 – Zoneamento espacial dos índices.



Fonte: autores.

Como os sistemas repercutem principalmente na nebulosidade, desenvolveu-se um mapeamento da cobertura de nuvens, que registradas nas imagens da rede *Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES)*, foram classificadas em escala diária, a partir do emprego do processamento de seus níveis de cinza, com a ferramenta *Cell Statistics*, disponível no *ArcGIS Pro*, conforme descrito por Soares (2023).

Por meio disso, foi possível identificar os limites de atuação dos sistemas atmosféricos em meio ao território, associando a cobertura de nuvens ao zoneamento de 125 quadrantes. Após, procedeu-se à análise sinótica realizada com a assimilação de dados provenientes de imagens da rede *GOES*, cartas sinóticas da Marinha do Brasil e informações provenientes de Radiação de Onda Longa (ROL), além dos mapas de cobertura de nuvens por *Cell Statistics*.

Foram eleitos para análise sinótica, dois “anos-padrão”, conforme Soares (2023), um representativo da condição de Pluviosidade Elevada, sendo 2013, e outro em representação a condição de Pluviosidade Reduzida, com destaque ao ano de 2015. Assim, com a análise sinótica realizada a partir destes e considerando as ferramentas elencadas, foram preenchidos sob o nível diário para os dois anos-padrão, todos os 125 quadrantes com os sistemas atmosféricos atuantes em meio ao território paraense.

Com base nessas informações, foi montado um banco de dados sobre a variação espacial e temporal destes sistemas. Extraíu-se deste, a quantidade de dias correspondente a atuação mensal e anual para cada sistema, considerando cada um dos 125 quadrantes. Assim, conforme

Monteiro (1973), foi estabelecido a distribuição espacial dos índices de participação territoriais, indicando os locais de atuação dos sistemas, e dos índices de participação dos sistemas nas chuvas, informando o total de chuva associado a cada um.

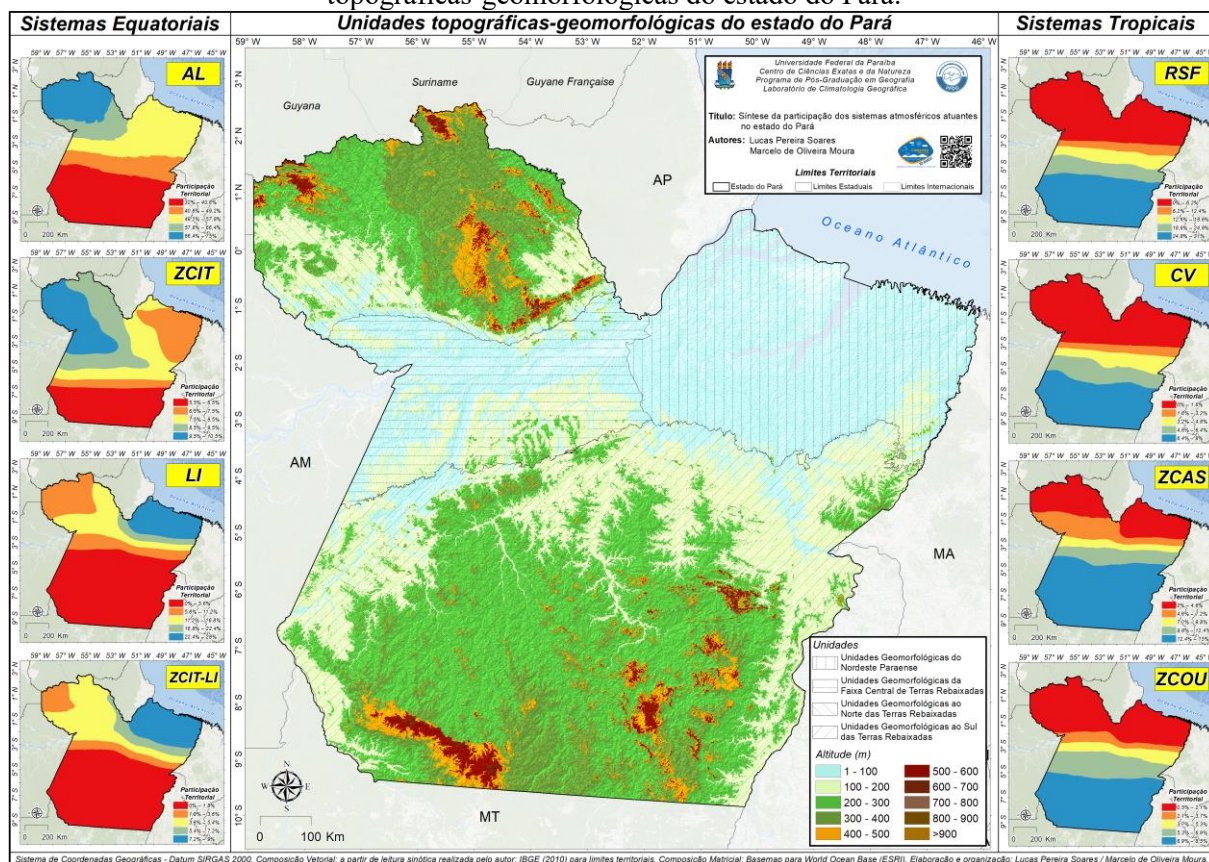
Os índices de participação foram consolidados em uma planilha de matriz cartesiana com 8 colunas, representativas dos sistemas atmosféricos, e 125 linhas representativas dos quadrantes territoriais. Posteriormente, esta planilha foi utilizada para a produção do mapa de síntese da dinâmica climática, considerando a espacialização da variação percentual dos quadrantes, com base nos “anos-padrão”, revelando, com isso, os limites de participação territorial dos sistemas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da participação territorial dos sistemas atmosféricos, revela-se a síntese da dinâmica destes, estabelecida com base em dados diários, pela composição sinótica dos “anos-padrão” eleitos à pesquisa, sendo o ano de 2013, marcado por pluviosidade elevada, e o ano de 2015, caracterizado por pluviosidade reduzida. A descrição da dinâmica atmosférica destes foi realizada com base na análise rítmica desenvolvida por Soares (2023). A partir desta, foram extraídos os índices de participação fundamentais ao desenvolvimento da proposta de síntese climática.

A visão de síntese tem como finalidade facilitar a identificação das regiões de maior e menor atuação dos sistemas atmosféricos, conforme ilustrado na Figura 3. Para fins de organização espacial, adotou-se, em consonância com essa concepção dinâmica, uma caracterização do território paraense em quatro grandes porções, definidas com base na constituição geomorfológica e topográfica. Assim, a partir da Figura 3, foram delimitadas: (1) Unidades do Nordeste Paraense, com altitudes entre 0 e 300 m; (2) Unidades da Faixa Central de Terras Rebaixadas, com altitudes entre 0 e 300 m; (3) Unidades ao Norte das Terras Rebaixadas, com altitudes entre 100 e 930 m; e (4) Unidades ao Sul das Terras Rebaixadas, com altitudes entre 100 e 850 m. Essas informações, associadas à visão de síntese, permitem identificar a relação entre os fatores geográficos e a frequência dos sistemas atmosféricos.

Figura 3 – Síntese dos sistemas atmosféricos equatoriais e tropicais em conjunto às unidades topográficas-geomorfológicas do estado do Pará.



Fonte: autores

Com base na Figura 3 e na descrição da dinâmica atmosférica diária e mensal apresentada por Soares (2023), destaca-se, a seguir no Quadro 1, o padrão de síntese referente aos principais sistemas atmosféricos de origem equatorial e tropical, que atuam sobre o estado do Pará, apontando seus domínios espaço-temporais e suas principais características.

Quadro 1 - Domínios espaço-temporais dos sistemas e suas principais características.

<i>SISTEMA</i>	<i>DOMÍNIO TEMPORAL</i>	<i>DOMÍNIO TERRITORIAL</i>	<i>CARACTERIZAÇÃO</i>
<i>AL</i>	Participação consistente entre 10 e 11 meses no ano.	- Ao Norte da Faixa Central de Terras Rebaixadas; - Faixa Central de Terras Rebaixadas.	- Penetra em território a partir do litoral, avançando pela costa amapaense até encontrar os limites paraenses, adentrando por toda a porção ao Norte da Faixa Central de Terras Rebaixadas; - Ao adentrar pelo litoral paraense fomenta a gênese dos Sistemas de Brisa (SB), responsáveis pelo disparo dinâmico para a formulação das Linhas de Instabilidade (LI), em meio a constituição geomorfológica do Nordeste Paraense. - A partir do Nordeste Paraense, os AL avançam sob Faixa Central de Terras Rebaixadas, através do corredor topográfico raso estabelecido pela correspondente geomorfológica; - Sua atividade convectiva é local, estando relacionada a condições específicas providenciadas pelo conjunto maritimidade e orografia.
	Participação consistente entre 8 e 10 meses no ano.	Nordeste Paraense (disparando a gênese das LI).	
	Participação consistente entre 5 e 6 meses no ano.	Ao Sul da Faixa Central de Terras Rebaixadas.	
<i>LI</i>	Participação consistente entre 3 e 4 meses no ano.	- Ao Norte da Faixa Central de Terras Rebaixadas (parte da Porção Oriental); - Faixa Central de Terras Rebaixadas.	- Formam-se na linha de costa, devido as diferenças térmicas, de pressão e intensidade de fluxo dos SB, provenientes da circulação dos AL; - Avançam por toda a porção Nordeste Paraense, até atingir níveis patamares de elevação, que mesmo estando sob baixa elevação, aparentam influenciar o deslocamento das linhas, cerceando sua dinâmica aos limites de terrenos rebaixados das depressões e planícies que moldam essa porção territorial; - Nos limites ao Norte da Faixa Central de Terras Rebaixadas, penetram com maior veemência somente até a Porção Oriental, reduzindo sua intensidade à medida que avançam para posições mais ocidentais da sua região de gênese; - Chegam a avançar com destaque sob a Faixa Central de Terras Rebaixadas, penetrando no corredor topográfico raso estabelecido pela correspondente geomorfológica, que lhe direciona até a região de entroncamento entre os rios Amazonas-Tapajós e Amazonas-Trombetas, onde sua atividade convectiva chega a ser renovada.
	Participação consistente entre 3 e 6 meses no ano.	Nordeste Paraense;	

Quadro 1 - Domínios espaço-temporais dos sistemas e suas principais características (Cont.).

<i>SISTEMA</i>	<i>DOMÍNIO TEMPORAL</i>	<i>DOMÍNIO TERRITORIAL</i>	<i>CARACTERIZAÇÃO</i>
ZCIT	Participação consistente entre 2 e 3 meses no ano.	- Nordeste Paraense (em composição com as LI); - Ao Norte da Faixa Central de Terras Rebaixadas; - Faixa Central de Terras Rebaixadas;	- Adentra o estado do Pará a partir da porção ao Norte da Faixa Central de Terras Rebaixadas e através do Nordeste Paraense; - No Nordeste Paraense, porém, sua dinâmica é intensificada em conjunto com as LI, formatando no contexto sinótico o emaranhado ZCIT-LI, e dessa forma, tendo a região Nordeste como porção genética dessa composição; - A ZCIT, atinge porções mais meridionais, como ao Sul da Faixa Central de Terras Rebaixadas, à medida que seu movimento pendular desloca a banda de nuvens convectivas conforme o Equador térmico, carecendo, no entanto, de condições oceânicas e atmosféricas favoráveis; - Atua por um curto período, contudo, apresenta-se com efetiva ação pluviométrica, sendo um dos principais sistemas responsáveis pelas chuvas no estado do Pará.
	Participação consistente por 2 meses no ano.	Ao Sul da Faixa Central de Terras Rebaixadas (Parte mais setentrional desta).	
ZCIT-LI	Participação consistente entre 2 e 3 meses no ano.	- Ao Norte da Faixa Central de Terras Rebaixadas (parte da Porção Oriental); - Faixa Central de Terras Rebaixadas.	- Formatado na porção Nordeste Paraense, através da junção entre a ZCIT e as LI; - Devido à intensidade convectiva gerada deste conjunto, seu padrão de nebulosidade desloca-se, ainda, sob forte intensidade, para as porções orientais na Faixa Central de Terras Rebaixadas e ao Norte destas; - Sob a Faixa Central de Terras Rebaixadas, penetram no corredor topográfico raso estabelecido pela correspondente geomorfológica, que lhe direciona até a região de entroncamento entre os rios Amazonas-Tapajós e Amazonas-Trombetas, onde sua atividade convectiva chega a ser renovada. - Atua por um curto período, no entanto, apresenta-se com efetiva ação pluviométrica, sendo uma junção de sistemas responsável por forte participação nas chuvas do estado do Pará.
	Participação consistente por 3 meses no ano.	Nordeste Paraense;	

Quadro 1 - Domínios espaço-temporais dos sistemas e suas principais características (Cont.).

SISTEMA	DOMÍNIO TEMPORAL	DOMÍNIO TERRITORIAL	CARACTERIZAÇÃO
RSF	Participação consistente por 9 meses no ano.	Ao Sul da Faixa Central de Terras Rebaixadas	- Derivam dos Sistemas Frontais (SF) com gênese dinâmica nas latitudes meridionais da América do Sul; - São caracterizadas como repercussões por corresponderem à influência indireta da passagem dos SF; - São bastante tropicalizadas, devido ao avanço em meio a imensidão territorial brasileira; - Correspondem aos sistemas responsáveis pelo disparo genético para a formação da ZCOU e da ZCAS, podendo ainda constituir as regiões de CV; - As RSF, atuam por toda a porção ao Sul da Faixa Central de Terras Rebaixadas, não influenciando as condições de tempo para posições mais setentrionais.
CV	Participação entre 4 e 6 meses no ano.	Ao Sul da Faixa Central de Terras Rebaixadas	- Foram observados como áreas alongadas de baixa pressão formadas, principalmente, após ação das RSF, e antes ou após a modulação da ZCAS e da ZCOU; - Sua gênese é, assim, constituída na etapa pré-formação da ZCAS e da ZCOU, e no enfraquecimento e desarticulação destas e das RSF; - Os CV, atuam por toda a porção ao Sul da Faixa Central de Terras Rebaixadas, praticamente não influenciando as condições de tempo para posições mais setentrionais.
ZCAS	Participação consistente entre 2 e 5 meses no ano.	Ao Sul da Faixa Central de Terras Rebaixadas.	- Constituída através do fortalecimento convectivo gerado pela ZCOU, que fomentada por mais de 3 dias constitui-se como ZCAS; - Assim como a ZCIT, atua em um curto período, contudo, sua efetividade pluviométrica a constitui como um dos principais sistemas responsáveis pelas chuvas no estado do Pará; - A ZCAS, avançam por toda a porção ao Sul e até a Faixa Central de Terras Rebaixadas. Com alguns episódios mais intensos atingindo posições mais setentrionais.
	Participação consistente entre 1 e 3 meses no ano.	Faixa Central de Terras Rebaixadas.	
ZCOU	Participação entre 2 e 3 meses no ano.	Ao Sul da Faixa Central de Terras Rebaixadas;	- Constituída através do fortalecimento convectivo gerado pelos SF, e das condições adequadas provenientes do Atlântico tropical Sul; - A ZCOU, assim como a ZCIT e a ZCAS, atua em um curto período, contudo, sua efetividade pluviométrica a constitui como um dos principais sistemas responsáveis pelas chuvas no estado do Pará; - Avançam por toda a porção ao Sul e até a Faixa Central de Terras Rebaixadas. Com alguns episódios mais intensos atingindo posições mais setentrionais.
	Participação entre 1 e 2 meses no ano.	Faixa Central de Terras Rebaixadas.	

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da participação dos sistemas atmosféricos sobre o território paraense revela uma complexa interação entre fatores dinâmicos e espaciais, que variam conforme a localização geográfica, a estação do ano e as características geomorfológicas da região. Através da identificação sinótica em respeito aos “anos-padrão” e da elaboração de representações cartográficas, foi possível compreender com maior precisão a atuação dos sistemas atmosféricos em meio ao território paraense.

Essa abordagem contribui significativamente à individualização das feições climáticas do estado, subsidiando estudos voltados à Climatologia Regional. Ao evidenciar a espacialidade e a temporalidade da atuação dos sistemas atmosféricos, o estudo permite reconhecer as áreas mais suscetíveis à influência de cada sistema, com a síntese apresentada consolidando-se como ferramenta fundamental para o entendimento do dinamismo climático do estado do Pará, reforçando a importância do monitoramento contínuo e da análise geoespacial na construção de um conhecimento aplicado e fundamentado através da Climatologia Geográfica.

REFERÊNCIAS

Monteiro, C. A. F. **A dinâmica climática e as chuvas no estado de São Paulo**: Estudo geográfico sob a forma de atlas. São Paulo, USP/Instituto de Geografia, 1973.

Reboita, M. S. et al. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. **Terra e Didática**, v.8, n.1, 2012. Disponível em: <https://www.ige.unicamp.br/terraedidatica>. Acesso em: 1/5/25.

Reboita, M. S. et al. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **RBMET**, v.25, n.2, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet>. Acesso em: 4/5/25.

SOARES, L. P. **As chuvas no estado do Pará, Brasil**: classificação climática de abordagem geográfica. 2023. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/35018>. Acesso em: 21 out. 2025.