

DIAGNÓSTICO DO MONITORAMENTO PLUVIOMÉTRICO NO BRASIL COM BASE EM ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS E SATÉLITES

Daniel Pereira Guimarães¹

¹Técnico. Rodovia MG 424 km 45 Sete Lagoas MG. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

RESUMO

Esse trabalho avaliou a eficiência das estações terrestres e bases de satélite/reanálise para o monitoramento diário das chuvas no Brasil. Dados de precipitação pluviométrica durante três meses em 32 municípios brasileiros foram coletados de estações meteorológicas automáticas do Inmet e de 313 pluviômetros automáticos do Cemaden após uma análise de consistência de 52 estações do Inmet e de 493 pluviômetros automáticos indicando alta quantidade de estações terrestres inapropriadas para o estudo. A correlação entre as bases de chuva tende a enfraquecer decaindo cerca de 1% para cada quilômetro de afastamento do posto de coleta. As estações terrestres, em boas condições de funcionamento, apresentam dados mais precisos que os obtidos de bases de satélite/reanálise. A melhor aderência entre os dados observados e estimados por sensores espaciais foi observada para a base do GPM-IMERG, da NASA, porém apresentando tendências de superestimativas. As bases CHIRPS apresentaram os menores desvios em torno das médias, mas foram ineficientes para estimar as chuvas de pequenas magnitudes. Os piores resultados foram gerados pelas bases do NASA Power. O monitoramento das chuvas no Brasil a partir de bases de satélite/reanálises depende de análises de séries de longas durações e avaliações de calibração das bases de dados para uso em nossas condições climáticas.

PALAVRAS-CHAVE: Chuva; Estação Meteorológica; Reanálise;;

INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira é praticada predominantemente sob regime de cultivo em sequeiro e, portanto, sob a ação das intempéries. A falta ou o excesso de chuvas são as principais causas das perdas no campo. De acordo com relatório do Ministério da Agricultura (Brasil, 2022), foram registrados mais de mil municípios brasileiros com perdas cobertas apenas pelo Programa Garantia Safra. A atual rede de monitoramento climatológico gerenciada pelo INMET consta com 567 estações meteorológicas automáticas sendo que cerca de 10% se encontram inoperantes e um número bem maior apresenta falhas nos sensores, o que as tornam insuficientes para o monitoramento dos 5568 municípios brasileiros. Outra importante base de dados de chuva no País é gerada pela rede de pluviômetros coordenada pela Agência Nacional de Águas (ANA/HidroWeb). Um ponto em comum em todas as bases de dados oriundas de monitoramento terrestre está relacionado com a falta de confiabilidade nos dados, causada pelo excessivo número de falhas no monitoramento, duração da série histórica e erros de amostragem. O Zoneamento Agrícola de Riscos Climáticos (ZARC) é realizado com apenas 3.750 estações mesmo com a inclusão de séries históricas com apenas 15 anos de duração (Brasil, 2023). O Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), mantém a rede de pluviômetros automáticos para o monitoramento de 959 municípios com um grande número de equipamentos em áreas com maiores riscos de desastres naturais. O monitoramento climatológico com o uso de estações terrestres é difícil e oneroso, especialmente nos casos de países de grandes dimensões territoriais como no caso brasileiro. Por outro lado, as variáveis meteorológicas, especialmente a precipitação atmosférica, são fundamentais para as tomadas de decisão no gerenciamento das atividades agrícolas. Nesse sentido, grande ênfase tem sido dada ao uso de bases de dados obtidas por sensoriamento remoto uma vez que as bases de dados apresentam cobertura quase global, os sensores ficam livres das interferências das intempéries e geram informações em grades espaciais regulares. Conforme Pradhan et al; (2022) as estimativas das precipitações baseadas em satélites podem ser agrupadas em três grupos: combinação das bandas visíveis e infravermelho onde a reanálise se baseia principalmente na temperatura do topo das nuvens sendo as variáveis obtidas de satélites geostacionários; uso de radares embarcados em satélites onde as chuvas são

medidas diretamente por meio de micro-ondas e a fusão dos dois métodos. O Projeto GPM da NASA usa micro-ondas para a mensuração das chuvas enquanto os projetos MERRA-2 (NASA/GMAO) e AgERA5 (Copernicus/ECMWF da União Europeia) se baseiam na reanálise de parâmetros atmosféricos.

OBJETIVOS

Avaliar a eficiência das estações meteorológicas automáticas para a estimativa da precipitação pluviométrica em municípios de diferentes regiões brasileiras e comparar com os dados obtidos por diferentes sensores orbitais visando fornecer subsídios para o monitoramento diário do Brasil em séries históricas de pelo menos 30 anos.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram acessadas as bases de dados do Cemaden referentes aos meses de janeiro a março de 2023 envolvendo a rede de pluviômetros automáticos instalados no País: <http://www2.cemaden.gov.br/mapainterativo/>. Procedimento similar foi realizado para a obtenção de dados meteorológicos da rede de estações automáticas do Inmet: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. A rede de monitoramento meteorológico do Inmet usa estações com sensores Vaisala enquanto a rede do Cemaden usa os sensores australianos HyQuest Solutions, todos esses de alta confiabilidade. As bases de dados passaram por análises de consistência e foram convertidas para bases diárias de precipitação atmosférica. As coordenadas geográficas foram convertidas para camadas vetoriais em que a tabela de atributos contivesse os municípios de localização das estações automáticas do Inmet e pelo menos quatro estações pluviométricas do Cemaden. As coordenadas geográficas das estações foram convertidas em unidades métricas pela transformação dos graus decimais em UTM (Universal Transversa de Mercator) de modo que a distância linear de cada posto pluviométrico do Cemaden até a estação meteorológica do Inmet no município de referência pudesse ser calculada com o uso do Teorema de Pitágoras onde os catetos do triângulo retângulo correspondem às diferenças entre as coordenadas UTM de latitude e longitude. As análises relativas aos georreferenciamentos foram feitas com o uso do software livre QGIS versão 3.22 Biatowieza. O grau de associação entre as chuvas registradas nos pluviômetros do Cemaden e nas estações do Inmet foi calculado através do coeficiente de correlação de Pearson, dado pela fórmula:

Onde x corresponde aos dados coletados pela estação automática do Inmet e y corresponde aos valores obtidos dos pluviômetros do Cemaden.

O software QGIS também foi usado para converter os pontos das coordenadas geográficas em áreas com buffer de 250 metros em torno de cada estação automática do Inmet e o plugin *Zonal Statistics* para extrair os volumes de chuva diários das imagens raster obtidas de sensores orbitais e/ou reanálises.

A comparação das chuvas obtidas pelas estações terrestres (Inmet e Cemaden) foi efetuada com as seguintes bases de dados de origem orbital:

AgERA5: Reanálise de dados climatológicos direcionados para uso agrícola do Centro Europeu de Previsões Meteorológicas de Médio Prazo (ECMWF) do Instituto Copernicus (Boogaard et al; 2020). As imagens possuem cobertura global, resolução espacial de $0,1^\circ$ (cerca de 10 km), disponibilização livre com atrasos de cerca de uma semana e série temporal diária desde 1979 até o presente. Local de acesso:

<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/sis-agrometeorological-indicators?tab=form>

CHIRPS: O algoritmo desenvolvido pelo Climate Hazards group Infrared Precipitation with Stations da Universidade de Santa Bárbara na Califórnia, Estados Unidos (Funk et al; 2015), efetua a reanálise combinando informações da duração da temperatura no topo das nuvens e dados de estações terrestres com cobertura da superfície terrestre entre 50°S-50°N, resolução espacial de 0,05° (cerca de 5 km) e série temporal desde 1981 até o presente. A fusão entre as bases de satélite e as bases obtidas de estações terrestres, as quais passam por rigorosa análise de consistência, gera atrasos na disponibilização das imagens em pelo menos três semanas. Local de acesso:

https://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRPS-2.0/global_daily/

CHIRPS-GEFS: Trata-se da combinação do modelo global de previsão de tempo do NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) GEFS (Global Ensemble Forecast System) visando corrigir erros de tendência e manter a mesma resolução espacial das bases de dados CHIRPS. Tem-se, portanto, um modelo de previsão com alta resolução espacial e bases de dados de disponibilidade imediata. Local de acesso:

https://data.chc.ucsb.edu/products/EWX/data/forecasts/CHIRPS-GEFS_precip_v12/

IMERG: O Projeto GPM (*Global Precipitation Measurement*) é uma parceria entre a NASA e a Agência Espacial Japonesa (JAXA) e instituições europeias para o mapeamento de chuva e neve no globo terrestre a cada três horas. O algoritmo IMERG (Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM) integra as medições do imageador de micro-ondas com todos os satélites componentes do Projeto GPM. O mapeamento das chuvas é disponibilizado com atraso de apenas um dia (IMERG-Early) ou de até 10 dias após submetido a análises de consistência (IMERG-Late). A resolução espacial é de 0,1° (cerca de 10 km), e a série histórica sofreu alterações a partir do projeto TRMM e início do Projeto GPM em 2014. Acesso aos dados: <https://climateserv.servirglobal.net/map>

NASA POWER: O Projeto Power da NASA é baseado no "*Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications version 2*" (MERRA-2). As bases de dados de chuva contam ainda com a integração dos dados gerados pelo Projeto GPM-IMERG e são disponibilizados com resolução espacial de 0,5° (aproximadamente 50 km) com atraso de cerca de dois dias. Acesso aos dados:

<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

A comparação das bases de dados de satélite com as estações terrestres foi feita através do ajuste de equações lineares e análise dos coeficientes angular e de intercepto. A análise da distribuição das chuvas em classes de magnitude foi usada com esse propósito.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram selecionados 32 municípios monitorados pelas estações meteorológicas do Inmet com pelo menos quatro pluviômetros automáticos da rede do Cemaden que foram selecionados após a análise de consistência, resultando em um total de 313 postos pluviométricos. A base de dados primária continha 52 municípios com estações do Inmet e 493 pluviômetros do Cemaden. O Quadro 1 apresenta a lista dos municípios e o número de postos pluviométricos do Cemaden. Esses descartes evidenciam a necessidade de manutenção das redes de monitoramento meteorológico no Brasil através de monitoramento por estações terrestres.

Quadro 1. Relação dos municípios monitorados pelas estações meteorológicas do Inmet e o correspondente número de pluviômetros automáticos do Cemaden.

A Figura 1 mostra a localização das estações de monitoramento pluviométrico e indica a distância entre a estação do Inmet e o pluviômetro do Cemaden de código 330010026A instalado na Ilha Grande. Em Montes Claros - MG e no município do Rio de Janeiro - RJ algumas estações estão situadas em distâncias superiores a 50 km em linha reta em relação à posição da estação do Inmet.

Figura 1

Figura 1. Localização das estações de monitoramento pluviométrico do Cemaden no município de Angra dos Reis - RJ e distância em relação à estação meteorológica automática do Inmet.

O grau de associação entre as chuvas captadas pelos pluviômetros do Cemaden em diferentes pontos dos municípios e as registradas nas estações automáticas do Inmet, representado pelo coeficiente de correlação de Pearson, é apresentado na Figura 2.

Figura 2. Perdas de correlações entre os pontos de coleta das chuvas em função da distância entre os postos pluviométricos.

Fica evidenciada a tendência de perda das associações entre as séries pluviométricas à medida em que aumentam as distâncias entre os postos de coleta das chuvas. A linha de tendência mostra a perda de 1% no índice de correlação de Pearson a cada quilômetro de distância entre os pontos de coleta das informações. No entanto, verifica-se haver grande dispersão dos pontos em relação à linha de tendência. Justifica-se a existência de baixas correlações entre estações próximas em função da existência de chuvas convectivas, ocorrência de chuvas orográficas, duração limitada da série de dados e até erros nas medições dos pluviômetros não detectados pela análise de consistência.

A comparação das chuvas registradas por sensores terrestres (pluviômetros) e gerados por sensores de satélites e reanálises partiu da premissa de que a média das precipitações diárias registradas pela rede de pluviômetros do Cemaden seja o valor mais próximo do real. A identificação dos métodos mais adequados para a obtenção das chuvas diárias (estação automática do Inmet, AgERA5, CHIRPS, CHIRPS-GEFS, IMERG e NASA Power) foi feita com o ajuste de uma equação de regressão linear múltipla onde esses parâmetros representavam as variáveis independentes enquanto a variável dependente referia-se às médias diárias das estações do Cemaden para cada município analisado. Os níveis de significância dos coeficientes angulares associados a cada variável de input são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2: Métodos de estimativa e suas contribuições para explicar a variabilidade das chuvas em 32 municípios brasileiros (* $p = 0,05$ / ** $p = 0,01$).

Esses resultados mostram claramente que o melhor procedimento para monitorar as chuvas a nível de município é o uso de estações meteorológicas, uma vez que apresentaram contribuições significativas ($p < 0,01$) em todos os casos avaliados. No entanto, é de fundamental importância manter os sensores calibrados, agilizar os procedimentos de reparo das estações em pane e, principalmente, buscar soluções para o excessivo número de falhas nas bases de dados. No caso dos pluviômetros automáticos do Cemaden, o maior motivo de reprovação na análise de consistência foi causado pelo registro de valores "zero" durante longos períodos de dias chuvosos.

O nível de aderência entre as bases de dados não é suficiente para a definição dos melhores resultados, uma vez que os sensores podem apresentar erros sistemáticos capazes de subestimar ou superestimar a precipitação. O Quadro 3 mostra o ajuste de equação de regressão simples entre as chuvas diárias de cada município coletadas pelos sensores do Cemaden e os demais métodos considerados.

Quadro 3: Ajuste de regressão linear entre os valores observados nas estações do Cemaden e Inmet e as bases de satélite/reanálise.

Preditor	Estimativas	Erro-padrão	t	p	R ²
Intercepto	9.218	20.875	4.42	<?.001	
Inmet	0.818	0.0240	34.15	<?.001	0.803
Intercepto	9.347	31.618	2.96	0.003	
CHIRPS	0.849	0.0398	21.33	<?.001	0.614
Intercepto	10.857	35.482	3.06	0.002	
CHIRPS-GEFS	0.630	0.0346	18.21	<?.001	0.537
Intercepto	12.352	34.352	3.60	<?.001	
AgERA5	0.813	0.0439	18.51	<?.001	0.545
Intercepto	10.898	33.029	3.30	0.001	
GPM	0.611	0.0308	19.82	<?.001	0.579
Intercepto	22.284	40.519	5.50	<?.001	
NASA Power	0.459	0.0363	12.65	<?.001	0.359

Verifica-se que as bases do Inmet e CHIRPS apresentaram os menores valores de intercepto e os maiores coeficientes angulares das equações. Todas as outras bases de chuva avaliadas apresentaram tendências de superestimativas em todos os municípios sendo que os piores resultados foram observados nas bases do NASA Power. As precipitações registradas e estimadas entre os meses de janeiro e março de 2023 são mostradas no Quadro 4.

Quadro 4. Precipitação total entre os meses de janeiro e março de 2023 registradas pelas estações terrestres do Inmet e Cemaden e estimativas por bases de satélites e reanálise.

A Figura 3 mostra a distribuição das chuvas maiores que 1 mm/dia, entre janeiro e março de 2023, em classes de magnitudes para as séries temporais a partir das bases terrestres (Inmet e Cemaden) e obtidas de sensores remotos/reanálise (CHIRPS, CHIRPS-GEFS, AgERA5, IMERG e NASA Power).

Figura 3. Distribuição das chuvas em 32 municípios brasileiros em classes de magnitudes geradas a partir das séries obtidas de estações terrestres e baseadas em sensores de satélite/reanálise.

Conforme evidenciado na Figura 13, a inclusão de um maior número de estações por município (caso do Cemaden) altera a distribuição das chuvas em relação ao observado em uma única estação (caso do INMET) uma vez que permite captar chuvas de ocorrências localizadas. Da mesma forma, chuvas de grandes magnitudes tendem a ser reduzidas em função da inclusão de dados de estações vizinhas. As bases do CHIRPS-GEFS tendem a gerar superestimativas para as chuvas entre 10 e 20 mm. As bases geradas pelo algoritmo CHIRPS não foram capazes de captar com eficiência as chuvas de menores magnitudes. As bases IMERG apresentaram boas estimativas das chuvas de pequenas magnitudes mas tiveram tendências de gerar valores superestimados para as chuvas nas maiores classes de magnitude.

CONCLUSÃO

O monitoramento das chuvas no Brasil é dificultado pela grande extensão territorial e pelas diversidades climáticas. As estações terrestres, tanto as meteorológicas automáticas do Inmet quanto os pluviômetros automáticos do Cemaden, apresentam excessivo número de casos com equipamentos em pane ou falhas nos registros. A eficiência das estações tende a diminuir em função do tamanho da área monitorada sendo que a correlação tende a reduzir cerca de 1% a cada quilômetro de afastamento do ponto de instalação do pluviômetro. Estações terrestres são mais eficientes que as bases de dados geradas por sensores orbitais e reanálise. A baixa cobertura espacial das estações terrestres e a baixa duração das séries temporais de dados de chuva requerem a combinação de bases terrestres e sensores orbitais/reanálise para um mapeamento efetivo do País. A estimativa da precipitação pluviométrica gerada pelos sensores GPM-IMERG apresenta a melhor aderência com os dados de coleta local, no entanto, foram verificadas fortes superestimativas em todos os locais avaliados. A busca de modelos de calibração dos dados GPM-IMERG sobre o Brasil deve ser a melhor alternativa para o monitoramento combinado com a rede de estações terrestres. As estimativas geradas pelo algoritmo CHIRPS, embora não tenha sido o de maior correlação com as chuvas registradas pelos pluviômetros automáticos do Cemaden, apresentaram os menores erros de tendência em relação às médias locais embora tenha sido ineficiente em captar chuvas abaixo de 10 mm/dia. Os piores resultados foram observados pelas estimativas do NASA Power. O uso de séries históricas de maiores durações deverá gerar ganhos significativos para o entendimento da variabilidade espaço-temporal das chuvas no Brasil. Os resultados obtidos nesse trabalho são divergentes das avaliações feitas por Kumar et al. (2021) na região oriental da cordilheira do Himalaia, onde as melhores estimativas foram feitas pelo IMERG-GPM enquanto as bases CHIRPS não apresentaram bons desempenhos. Tang et al. (2023) também reportam a confiabilidade das bases de chuva geradas pelo IMERG-GPM nas áreas montanhosas do sudoeste da China. Por outro lado, as tendências do sistema IMERG-GPM em superestimar as precipitações foram observadas por Gautma e Pandey (2022) no monitoramento das chuvas na Índia. Gentilucci et al. (2022) monitorando as chuvas na região central da Itália, encontraram tendências de superestimativas das chuvas anuais em cerca de 200 mm nas áreas de planície e de até 1000 mm nas áreas montanhosas. Os autores citam a boa correlação entre as bases de dados terrestres e o IMERG como oportunidade de calibrar os sensores do IMERG para as condições locais. Essa mesma analogia pode ser aplicada nos resultados obtidos no atual trabalho.

AGRADECIMENTOS

Parceria Embrapa/Ativa Soluções

www.embrapa.br

<https://ativasolucoes.com.br/>

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

BOOGAARD, H. et al. 2020. Agrometeorological indicators from 1979 to present derived from reanalysis. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). DOI: 10.24381/cds.6c68c9bb (Acesso em 05 jun 2023)

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Garantia-Safra**: benefício condicionado da agricultura familiar. Brasília, DF, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/mda/garantia-safra/arquivos/RelatorioGeralGS_VersoNovembro_2022.pdf/view. Acesso em: 17 jul. 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria SPA/MAPA nº 129, de 8 de maio de 2023. Aprova o Zoneamento Agrícola de Risco Climático - ZARC para a cultura do girassol no Distrito Federal, ano-safra 2023/2024. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 11 maio 2023. Seção 1. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico/portarias/safra-vigente/distrito-federal/PORTN129GIRASSOLDF.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2023.

FUNK, C., PETERSON, P., LANDSFELD, M. *et al.* The climate hazards infrared precipitation with stations-a new environmental record for monitoring extremes. *Sci Data* **2**, 150066, 2015. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>

GAUTAM, A. K.; PANDEY, A. Ground validation of GPM Day-1 IMERG and TMPA Version-7 products over different rainfall regimes in India. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 149, p. 931-943, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04091-8>

GENTILUCCI, M.; BARBIERI, M.; PAMBIANCHI, G. Reliability of the IMERG product through reference rain gauges in Central Italy. **Atmospheric Research**, v. 278, 106340, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106340>.

KUMAR, M.; HODNEBROG, O.; DALOZ, A. Z.; SEN, S.; BADIGER, S.; KRISHNASWAMY, J. Measuring precipitation in Eastern Himalaya: ground validation of eleven satellite, model and gauge interpolated gridded products. **Journal of Hydrology**, v. 599, 12652, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126252>

PRADHAN, R. K.; MARKONIS, Y.; GODOY, M. R. V.; VILLALBA-PRADAS, A.; ANDREADIS, K. M.; NIKOLOPOULOS, E. I.; PAPALEXIOU, S. M.; RAHIM, A.; TAPIADOR, F. J.; HANEL, M. Review of GPM IMERG performance: a global perspective. **Remote Sensing of Environment**, v. 268, 112754, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112754>

TANG, X.; LI, H.; QIN, G.; HUANG, Y.; QI, Y. **Evaluation of satellite-based precipitation products over complex topography in mountainous Southwestern China**. *Remote Sensing*, v. 15, n. 2, 473, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15020473>