

ANÁLISE COMPARATIVA DE QUALIDADE DE DADOS DE ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS AUTOMÁTICAS E CONVENCIONAIS DO INMET E DADOS DO SATÉLITE GPM PARA O RN, BRASIL (2017)

Daniel Carlos Alves Santos¹
Silvio Braz de Sousa²
Arielle Elias Arantes³
Rodrigo de Freitas Amorim⁴
Carlos Wilmer Costa⁵

Resumo

Compreender a dinâmica das chuvas é essencial para diferentes setores, incluindo o planejamento urbano. Logo, Estações Pluviométricas Automáticas (EPA) e Convencionais (EPC) e imagens de satélite auxiliam no registro de dados pluviométricos. Assim, teve-se o objetivo de realizar uma análise de qualidade dos dados de precipitação das EPA e EPC do INMET a partir de sua eficiência mensal no estado do Rio Grande do Norte (RN). Constatou-se que a correlação entre os dados das EPC com o GPM foi alta ($r^2=0,98$) e inferior entre as EPA e GPM ($r^2=0,87$). Já a distribuição espacial dessas informações teve alta similaridade em 2017, com maiores divergências na medida em que a eficiência se aproxima de 0%, sobretudo em meses com altas precipitações. Portanto, conclui-se que as EPC tiveram resultados mais satisfatórios e menor instabilidade do que as EPA, em comparação as imagens GPM.

Palavras-chave: Precipitação, Sensoriamento Remoto, Eficiência, Rio Grande do Norte.

COMPARATIVE ANALYSIS OF DATA QUALITY FROM AUTOMATIC AND CONVENTIONAL PLUVIOMETRIC STATIONS OF INMET, AND GPM SATELLITE FOR THE RN, BRAZIL (2017)

Abstract

Understanding rainfall dynamics is essential for many sectors, including urban planning. Therefore, Automatic Pluviometric Stations (EPA) and Conventional (EPC) and satellite

¹Mestrando em Geografia. Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPGe-UFRN). E-mail: daniel.santos.702@ufrn.edu.br.

²Professor adjunto do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (DGE-UFRN). Docente permanente do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPGe-UFRN). Email:silvio.braz@ufrn.br

³Professora adjunta do Departamento de Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará (UFC). Email: aearantes@det.ufc.br.

⁴Professor adjunto do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (DGE-UFRN). Docente permanente do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPGe-UFRN). Email: rodrigofba@yahoo.com.br.

⁵Professor adjunto do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (DECAM). Docente permanente do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGCIVAM - UFRN). Email: carloswilmercosta@gmail.com.

images help to record rainfall data. This study aimed to validate the quality of rainfall data from EPA and EPC of INMET for the Rio Grande do Norte (RN) state. We found high correlation between data from EPC and GPM ($r^2=0,98$), and lower correlation between EPA and GPM ($r^2=0,87$). The spatial distribution of this information had high similarity in 2017, with greater divergence as the efficiency approaches 0%, especially in months with high rainfall. We conclude that EPC had the most satisfactory results and less temporal instabilities, than EPA, compared to the GPM imagens.

Keywords: Precipitation, Remote Sensing, Efficiency, Rio Grande do Norte.

ANALYSE COMPARATIVE DE LA QUALITE DES DONNEES DES STATIONS PLUVIOMETRIQUES AUTOMATIQUES ET CONVENTIONNELLES DES INMET ET DONNEES SATELLITAIRES GPM POUR RN, BRESIL (2017)

Résumé

La compréhension de la dynamique des précipitations est essentielle pour différents secteurs, notamment la planification urbaine. C'est pourquoi les stations pluviométriques automatiques (EPA) et les stations pluviométriques conventionnelles (EPC) ainsi que les images satellites permettent d'enregistrer les données pluviométriques. Ainsi, l'objectif était de réaliser une analyse de la qualité des données de précipitations de l'EPA et de l'EPC de l'INMET à partir de son efficacité mensuelle dans l'état de Rio Grande do Norte (RN). Il a été constaté que la corrélation entre les données de l'EPC et le GPM était élevée ($r^2=0,98$) et plus faible entre l'EPA et le GPM ($r^2=0,87$). La distribution spatiale de ces informations présentait une grande similitude en 2017, avec une plus grande divergence à mesure que le rendement s'approche de 0 %, en particulier dans les mois à fortes précipitations. On peut donc conclure que l'EPC a donné des résultats plus satisfaisants et moins instables que l'EPA, par rapport aux images GPM.

Mots-clés: Précipitation, Télédétection, Efficacité, Rio Grande do Norte.

INTRODUÇÃO

Na região tropical a precipitação é a variável climática mais importante, influenciando ou mesmo condicionando processos econômicos e sociais. Nessas áreas, a temperatura é constante e elevada ao longo do ano, possuindo uma pequena variação durante os períodos chuvosos em virtude do aumento na nebulosidade (CAVALCANTI *et al.*, 2009; REBOITA *et al.*, 2015). Tal fato demanda o entendimento dos volumes e distribuição espacial das chuvas, de forma a aperfeiçoar os processos de gestão e planejamento de áreas urbanas e agrícolas (COSTA *et al.*, 2012).

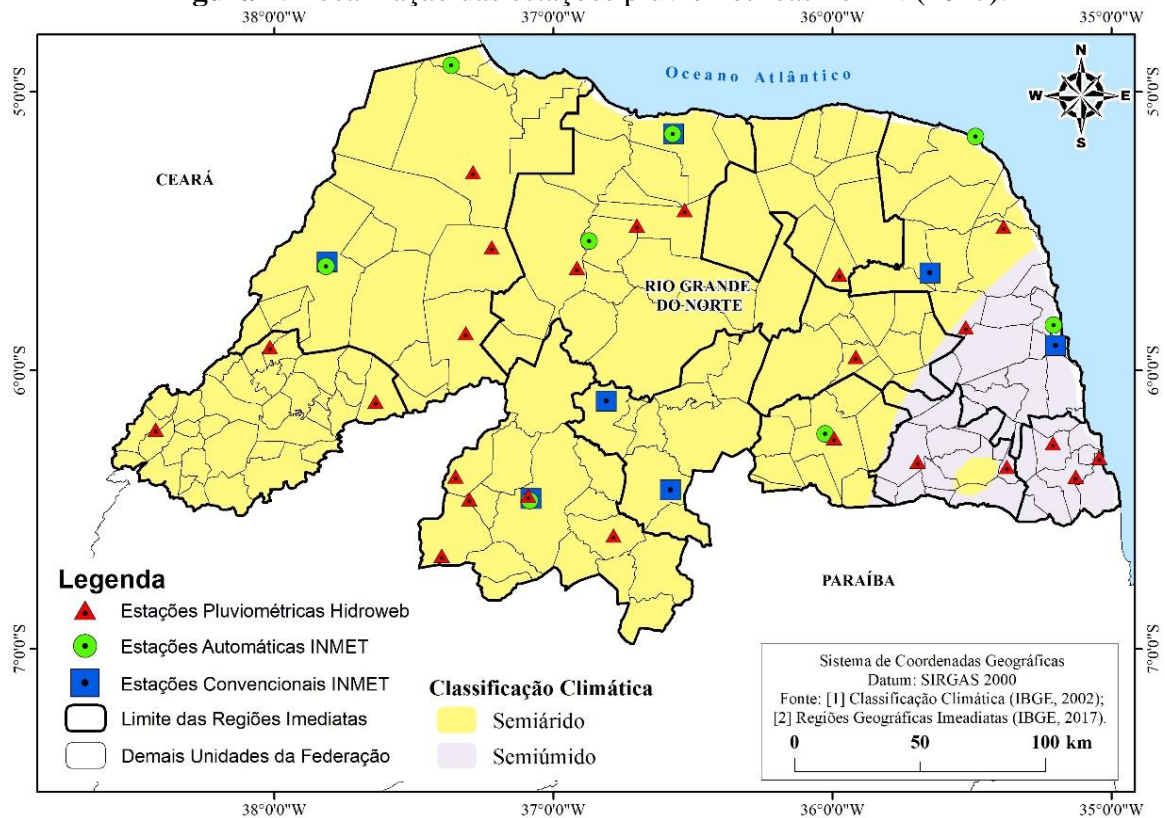
No Brasil, o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a Agência Nacional de Águas (ANA) e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) possuem uma rede de

estações pluviométricas distribuídas pelo território com objetivo de observar e analisar as condições hidrológicas, meteorológicas e climáticas. Dentre essas instituições, o INMET possui dois principais tipos: as Estações Pluviométricas Automáticas (EPA) e as Convencionais (EPC). Já no âmbito da ANA, temos uma rede de estações pluviométricas de diferentes instâncias cadastradas no portal Hidroweb de forma a atender os objetivos do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) garantindo a organização, implantação e gestão das informações sobre recursos hídricos do Brasil.

Quando observarmos a distribuição espacial das estações (INMET, 2019), percebemos que a região Nordeste apresenta uma cobertura esparsa, principalmente em relação às EPC, apresentando uma concentração no sentido do litoral ao interior do país. Essa escassez de aparelhos técnicos e a distribuição desigual das estações no Brasil prejudica as análises espaciais de precipitação, principalmente as realizadas em escalas sub-regionais. Além disso, a existência de falhas nos bancos de dados dificulta análises temporais e espaciais da precipitação, visto que as estações registram a quantidade e intensidade pluviométrica de forma pontual referente ao seu entorno (SOUSA et al., 2013). Essas falhas ocorrem devido ao funcionamento inadequado ou problemas na continuidade de manutenção das estações. Em relação ao quadro de distribuição das estações pluviométricas cadastradas no portal Hidroweb, observa-se uma disposição mais homogênea das estações em comparação às do INMET, com um quantitativo de 142 estações no estado do RN. Entretanto, salienta-se que grande parte dessas estações cadastradas não são consideradas estações meteorológicas, mas sim postos pluviométricos de coleta, seja para uso privado ou público.

Analisando o contexto do estado do Rio Grande do Norte (RN), no ano de 2017 existiam em operação um total de 15 estações pluviométricas do INMET (Quadro 1 e Figura 1) distribuídas ao longo dos 52.809,602 km² de extensão territorial do estado (IBGE, 2018), localizadas em onze dos 167 municípios. Entretanto, por mais que as estações apresentem uma relação lógica de distância, ainda podemos observar uma irregularidade em sua distribuição, com regiões do estado apresentando vazios que carecem de unidades de base física em relação a rede meteorológica do INMET.

Figura 1. Localização das estações pluviométricas no RN (2017).



Fonte: INMET (2017); IBGE (2002, 2017) e Hidroweb (2021). Organizado pelos Autores (2021).

Ainda na Figura 1, observando a divisão estadual do IBGE (2017) em Regiões Geográficas Imediatas (RGI), percebemos que dentre um total de onze regiões, cinco não apresentam estações do INMET, representando aproximadamente 28% da área total do estado. Em relação aos domínios climáticos (IBGE, 2002), o RN é constituído pelo semiárido e semiúmido. Dessa classificação, a zona semiúmida conta com apenas duas estações, no município de Natal e o semiárido com 12 estações pluviométricas.

Quadro 1. Estações pluviométricas do INMET e Hidroweb em operação no RN

Município	Código de Identificação	Fonte dos dados	Órgão Responsável/ Operador
Açu	536035	Hidroweb	ANA/CPRM

Açu	537049	Hidroweb	ANA/CPRM
Afonso Bezerra	536044	Hidroweb	ANA/CPRM
Afonso Bezerra	536047	Hidroweb	ANA/CPRM
Apodi	82590	INMET Convencional	INMET
Apodi	81835	INMET Automática	INMET
Augusto Severo	537034	Hidroweb	ANA/CPRM
Barcelona	535055	Hidroweb	ANA/CPRM
Caicó	637039	Hidroweb	ANA/CPRM
Caíco	82690	INMET Convencional	INMET
Caíco	81875	INMET Automática	INMET
Touros (Calcanhar)	81838	INMET Automática	INMET
Canguaretama	635130	Hidroweb	CEMADEN/CEMADEN
Canguaretama	635131	Hidroweb	CEMADEN/CEMADEN
Ceará-Mirim	535054	Hidroweb	ANA/CPRM
Ceará-Mirim	82596	INMET Convencional	INMET
Cruzeta	82693	INMET Convencional	INMET
Florânia	82691	INMET Convencional	INMET
Goianinha	635132	Hidroweb	CEMADEN/CEMADEN
Ielmo Marinho	535038	Hidroweb	ANA/CPRM
Ipanguaçu		INMET Automática	INMET
Jardim de Angicos	535056	Hidroweb	ANA/CPRM
Jardim de Piranhas	637010	Hidroweb	ANA/CPRM
Jardim de Piranhas	637072	Hidroweb	CEMADEN/CEMADEN
Jardim do Seridó	636045	Hidroweb	ANA/CPRM
Macau	82594	INMET Convencional	INMET
Macau	81836	INMET Automática	INMET
Mossoró	537035	Hidroweb	ANA/CPRM
Mossoró	81834	INMET Automática	INMET
Natal	82598	INMET Convencional	INMET
Natal	81839	INMET Automática	INMET
Patú	637073	Hidroweb	CEMADEN/CEMADEN
Santa Cruz	636019	Hidroweb	ANA/CPRM
Santa Cruz	81876	INMET Automática	INMET
São José do Campestre	635078	Hidroweb	ANA/CPRM
São Miguel	638044	Hidroweb	ANA/CPRM
Serra Negra do Norte	637049	Hidroweb	ANA/CPRM
Taboleiro Grande	538070	Hidroweb	ANA/CPRM
Várzea	635133	Hidroweb	CEMADEN/CEMADEN

Fonte: INMET (2017) e Hidroweb (2021). Organizado pelos autores (2021).

Em relação as estações pluviométricas do Hidroweb, foram contabilizadas um total de 24 estações (Quadro 1) com dados para o recorte de análise, distribuídas em 20 dos 167 municípios do RN. Sua disposição tem concentração perceptível nas regiões centro sul e centro leste do RN (Figura 1). Em relação a classificação do IBGE (2017) nas RGI, as estações cadastradas no Hidroweb ocupam dez das onze regiões em destaque. Por fim, em relação a classificação climática (IBGE, 2002), observa-se uma disposição homogênea dessas estações, principalmente considerando-se a área desses domínios climáticos. A zona climática semiárida é compreendida por 18 das 24 estações do Hidroweb; já a zona climática semiúmida é constituída por seis desse total de estações.

Neste contexto, é necessário buscar alternativas de dados que complementem o monitoramento e análises pluviométricas. Entre essas alternativas, as imagens obtidas por sensores remotos orbitais que estimam a precipitação atmosférica tornaram-se uma alternativa promissora nos estudos regionais de distribuição pluviométrica.

Na literatura encontra-se estudos que utilizam dados de precipitação obtidos através do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) e o comparam a dados de estações pluviométricas. Dentre elas, destacam-se comparações realizadas para diferentes contextos climáticos do país, como o bioma Pantanal (SOUSA et al., 2013), e os estados de Goiás (FARIAS et al., 2013), Amazonas (NOBREGA; SOUZA; GALVINCIO, 2008), Rondônia (MASSAGLI; VICTORIA; ANDRADE, 2011) e Rio Grande do Norte (SANTOS E SILVA; LUCIO; SPYRIDES, 2012).

Esses dados obtidos por meio do TRMM, na faixa eletromagnética de micro-ondas, foram atualizados e continuados em 2014 a partir do lançamento do satélite *Global Precipitation Measurement – Core Observatory* (GPM), em uma colaboração internacional da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) com a *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA). Esse satélite possui em sua plataforma dois principais instrumentos: o Imageador de Microondas GPM (GMI) e o Radar de Precipitação de Dupla Frequência (DPR), capazes de estimar a intensidade e distribuição espacial da precipitação e neve na superfície terrestre (NASA, 2017).

Assim, esse artigo almeja realizar uma avaliação de qualidade dos dados pluviométricos para o estado do RN em 2017, comparando os dados mensais de precipitação obtidos pelo satélite GPM com as EPA e EPC em operação do INMET. Em complemento, comparando as estações do portal Hidroweb da ANA com o GPM. Considerando a elevada

variação na distribuição espaço-temporal da precipitação e carência de estudos comparativos entre técnicas de coleta de dados pluviométricos para o estado do RN, faz-se necessário observar a qualidade dos dados de precipitação a partir de diferentes fontes de coleta disponíveis.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizado o levantamento dos dados mensais de precipitação para o ano de 2017 do satélite GPM, das 15 estações pluviométricas do INMET e das 24 estações cadastradas no portal Hidroweb da ANA no RN. As imagens do satélite GPM foram obtidas através da plataforma de pesquisa LAPIG-Maps, disponibilizada e mantida pelo Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG/UFG - <http://www.lapig.iesa.ufg.br>). Foram escolhidos para este estudo imagens do satélite GPM, *IMERG Monthly* v.5, referente a precipitação mensal de 2017 com escala espacial de aproximadamente 10 km.

Em relação aos dados pluviométricos das EPA e EPC, estes foram adquiridos no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), disponibilizado pelo INMET (<http://www.inmet.gov.br/>). No total, existiam em funcionamento nesse período 15 estações, sendo oito EPA e sete EPC.

Utilizando os dados de ambas às estações pluviométricas como dados referência, foi realizado o cálculo de diferença (\neq) entre as médias mensais estimadas pelo satélite GPM e os valores registrados pelas EPA e EPC, considerando essa diferença como um erro percentual.

Os dados pluviométricos das estações cadastradas na ANA foram coletados a partir do portal Hidroweb (<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/>) na seção de séries históricas. No estado do RN estão cadastradas um total de 142 estações pluviométricas, entretanto, apenas 24 estavam com seus dados disponíveis para consulta e coleta no dia 25 de janeiro de 2021 – período de compilação desse artigo. Destacamos que as análises principais realizadas no decorrer deste artigo pautam-se principalmente na comparação entre os dados da rede meteorológica do INMET com as informações do satélite GPM, sendo os dados das estações do Hidroweb apenas complementares nas análises. Optou-se metodologicamente em priorizar os dados provenientes de estações meteorológicas do INMET, visto que as estações

cadastradas na ANA não necessariamente configuram-se como estações meteorológicas como também possuem caráter público ou privado.

Cálculo de eficiência das estações pluviométricas

De forma a avaliar a qualidade dos dados e estimar o desempenho específico de cada estação operada pelo INMET, elaborou-se um cálculo de eficiência mensal. Consideramos o número de vezes em que se espera que uma estação realize a coleta de dados de precipitação por mês (Coleta de Dados Esperado - CDE), subtraindo desse total o número de vezes em que ela não realizou a coleta de dados (Sem Coleta de Dados - SCD), obtendo dessa forma a Eficiência (E) que cada estação apresenta por mês a partir da razão na Equação 1 de 0 a 100%. Ainda considerando uma classificação em baixa e alta eficiência, respectivamente para aquelas que apresentam resultados abaixo ou acima de 75% de eficiência.

$$E = \frac{CDE - SCD}{CDE} \times 100 \text{ (Equação 1)}$$

De acordo com o INMET, as EPA realizam 24 coletas de dados por dia, totalizando 744, 720 ou 672 coletas mensais esperadas, respectivamente para os meses com 31, 30 e 28 dias. Já nas EPC, essa coleta de dados é realizada apenas uma vez por dia, totalizando 31, 30 ou 28 coletas mensais esperadas.

Com base nesse cálculo de eficiência e observando os dados referentes a EPA de Ipanguaçu do INMET, constatou-se que o início de funcionamento desta ocorreu apenas no mês de novembro de 2017. Dessa forma, ao considerar os dados coletados por esta estação, acabaríamos por mascarar e alterar a realidade do fenômeno, comprometendo o cálculo de eficiência para esta estação em 2017 (Tabela 1). Portanto, optamos por excluir essa estação da análise de qualidade dos dados de precipitação para o estado, restando para análise um total de 14 estações pluviométricas sendo sete EPA e sete EPC.

Tabela 1: Eficiência mensal da EMA de Ipanguaçu/RN (2017).

Mês	CDE	SCD	E	E (%)
-----	-----	-----	---	-------

Janeiro	744	744	0	0,0
Fevereiro	672	672	0	0,0
Março	744	744	0	0,0
Abril	720	720	0	0,0
Maio	744	744	0	0,0
Junho	720	720	0	0,0
Julho	744	744	0	0,0
Agosto	744	744	0	0,0
Setembro	720	720	0	0,0
Outubro	744	744	0	0,0
Novembro	720	552	168	30,4
Dezembro	744	13	731	98,3
Total	8760	7861	899	10,3

Fonte: INMET (2017). Organizado pelos Autores (2021).

Fatiamento das imagens GPM e interpolação de dados pelo método Topo To Raster

A elaboração dos mapas de distribuição espacial da precipitação para o estado do RN, utilizaram por base as imagens do GPM e dados das EPA e EPC do INMET. Optou-se em não utilizar os dados das estações cadastradas no portal Hidroweb, devido ao seu caráter unicamente complementar, considerando-se apenas as estatísticas produzidas a partir delas.

As imagens do GPM já são disponibilizadas prontas para uso (*ready to use*), através do LAPIG-Maps, sendo necessário apenas o recorte da área de interesse. Para sua classificação, utilizou-se os seguintes intervalos de precipitação: menor que 40 mm; entre 41 mm e 60 mm; entre 61 mm e 100 mm; entre 101 mm e 150 mm e maior que 150 mm.

Para aos dados das EPA e EPC do INMET, realizou-se uma interpolação dos dados, visto que este é a melhor alternativa para se trabalhar a distribuição de precipitação em áreas com poucas estações e falhas em seus bancos de dados (WANDERLEY; AMORIM; CARVALHO, 2012). A interpolação foi aplicada utilizando o método *Topo To Raster*, o qual possui fundamento no método ANUDEM que tem por objetivo a elaboração de Modelos Digitais de Elevação (MDE) hidrologicamente corretos; podendo ser aplicado as análises de precipitação (HUTCHINSON et al., 2009 apud MARCUZZO et al., 2011). A partir desse método, são gerados isolinhas suaves contendo um satisfatório número de pontos por isolinha (MARCUIZZO et al., 2011), sendo a melhor opção de representação desse fenômeno.

Definição de mês seco

Tendo em vista a realidade climática do RN, com alguns períodos apresentando baixos níveis de precipitação devido a atuação de diferentes sistemas climáticas, optou-se por

determinar os meses secos. Para isso, aplicou-se a definição de Gausсен e Bagnouls (1953), no qual determinam que os meses secos são aqueles em que a precipitação total mensal (em mm) é igual ou inferior ao dobro da temperatura média anual (em graus Celsius) (Equação 2).

$$MS = P \leq 2 T$$

(Equação 2)

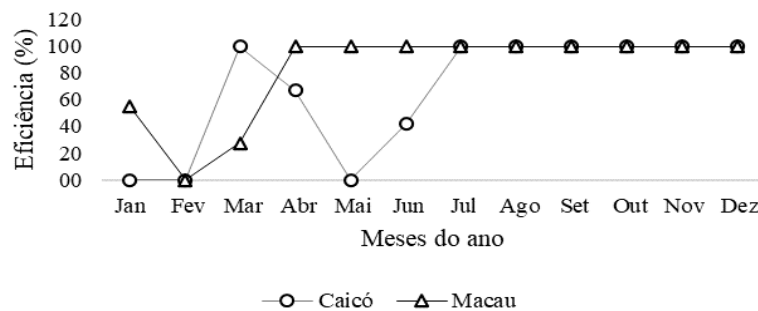
Onde MS é o mês seco, P é a precipitação total mensal (em mm) e T é a temperatura média anual (em graus Celsius).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise de qualidade da eficiência das EPA e EPC

A partir dos dados das estações do INMET, aplicou-se o cálculo de eficiência com intuito de analisar o desempenho de qualidade apresentado por ambas as estações (EPA e EPC) para 2017 no RN. Em relação as EPA, as unidades de Caicó e Macau apresentaram eficiência de 0% no mês de fevereiro; em janeiro e maio apenas Caicó apresentou esse desempenho (Figura 2). Ou seja, não foram registradas coletas no sistema, o que nos indica um estado inoperante das estações.

Figura 2. Eficiência média mensal das EPA de Caicó e Macau (2017).

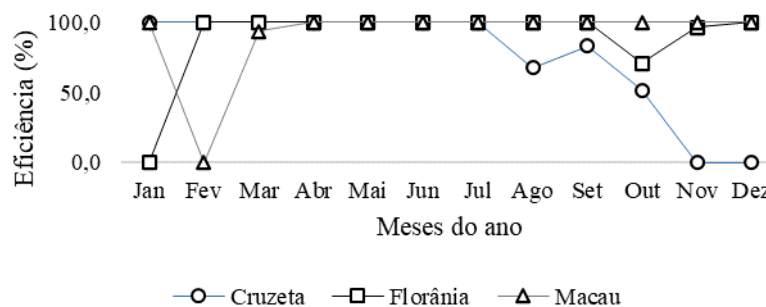


Fonte: INMET (2017). Organizado pelos Autores (2021).

Além disso, quatro unidades apresentaram meses com eficiência abaixo de 75%, sendo: Caicó; Calcanhar – Touros, Natal e Macau. Exceto essas, apenas a unidade de Mossoró apresentou eficiência de 100%, embora as estações de Apodi e Santa Cruz tenham obtido médias anuais acima de 97%. Por fim, com base na média mensal das EPA constatamos que os meses de agosto e setembro – com baixas precipitações, apresentaram eficiência média de 100%. Em contraponto, o mês de março – com alta precipitação, apresentou a maior instabilidade em diferentes estações do estado: Apodi, Caicó, Macau e Natal.

Já em relação as EPC, três apresentaram meses com eficiência de 0%: Cruzeta; Florânia e Macau (Figura 3). Essas mesmas unidades também apresentaram desempenho de eficiência abaixo de 75% em quatro meses em Cruzeta; dois meses em Florânia e um mês em Macau. Já as unidades de Apodi e Natal apresentaram eficiência de 100% em todo o ano.

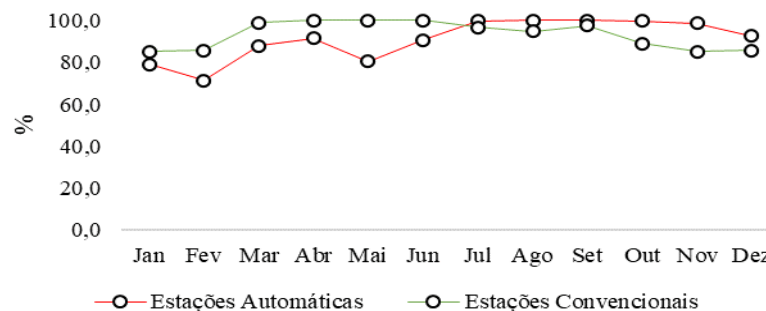
Figura 3. Eficiência média mensal das EPC de Cruzeta, Florânia e Macau (2017).



Fonte: INMET (2017). Organizado pelos Autores (2021).

Em relação as médias mensais de eficiência das EPC, os meses de abril, maio e junho apresentaram 100% do seu desempenho de funcionamento (Figura 4). De forma geral, as EPC não apresentaram meses com grandes instabilidades, sendo no máximo duas estações com eficiência abaixo de 100% por mês.

Figura 4. Eficiência média mensal das EPA e EPC.



Fonte: INMET (2017). Organizado pelos Autores (2021).

Comparando o desempenho de eficiência entre as EPA e EPC, observamos que nas EPA apenas dois meses (agosto e setembro) alcançaram 100% de eficiência - enquanto nas EPC esse valor foi registrado em três meses (abril, maio e junho). Já em relação as menores médias de eficiência mensal, as EPA apresentaram percentuais mais baixos de 71,4% e 79,2% nos meses de fevereiro e janeiro, respectivamente; enquanto nas EPC, a menor média mensal

foi de 85,2% em novembro. Ao tratarmos da média anual, as EPA apresentaram desempenho inferior de 91,1% enquanto as EPC obtiveram 93,3%.

De forma geral, durante os seis primeiros meses do ano, as EPA apresentaram desempenhos inferiores em relação a eficiência das EPC. Contudo, no período entre julho e dezembro, esse cenário inverte com as EPC apresentando eficiência inferior. Além disso, é possível notar que durante os meses de maior precipitação (fevereiro a julho), as EPA apresentam seus piores desempenhos de eficiência, enquanto nas EPC esse pior desempenho é observado durante o período de menor precipitação no estado (agosto a janeiro).

Destaca-se que a ausência de dados nas estações, configurando baixa eficiência, afeta diretamente a qualidade dos bancos de dados existentes. Ao tratarmos de uma variável contínua como a precipitação, é necessário ter um banco de dados com coletas ininterruptas para que o fenômeno analisado seja bem representado. Portanto, para o RN em 2017, temos um cenário onde as EPA apresentam, majoritariamente, médias de eficiência mais baixas do que as EPC, demonstrando uma fragilidade no banco de dados.

Para aplicarmos o método de Gausse e Bagnouls (1953), que define os meses secos no estado, foi necessário realizarmos uma média anual da temperatura do ar (°C), com base nos dados do próprio INMET, em 2017 a temperatura média foi de 27,5°C. Para as EPA identificou-se três meses secos: agosto, novembro e dezembro com precipitações anuais totais de 46,4 mm, 13 mm e 51,2 mm, respectivamente. Já para as EPC, identificou-se apenas um mês seco, novembro, com precipitação anual total de 26 mm.

Ressalta-se que ao cruzarmos os dados de eficiência das EPC com os meses definidos como secos, notamos que a unidade de Cruzeta apresentou eficiência de 0% durante o mês de novembro. Além disso, o mês de novembro também foi o que apresentou a menor média de eficiência entre as EPC, de 85,2%, o que, em hipótese, pode ter contribuído para os totais de precipitação registrados serem baixos.

Análise comparativa entre dados das EPA e EPC

Ao compararmos as médias mensais entre EPA e EPC, verifica-se maior discrepância em milímetros no período entre março e maio, sendo a maior de 69,3 mm em março (Tabela 2). Para o restante do ano, as diferenças médias foram abaixo de 8,9 mm, sendo a menor de 0,6 mm em fevereiro. Ressalta-se que nos meses de fevereiro, março, maio, junho, outubro e novembro, a média de eficiência foi igual ou acima de 10% entre as EPA e EPC – com diferença máxima de 20% no mês de maio.

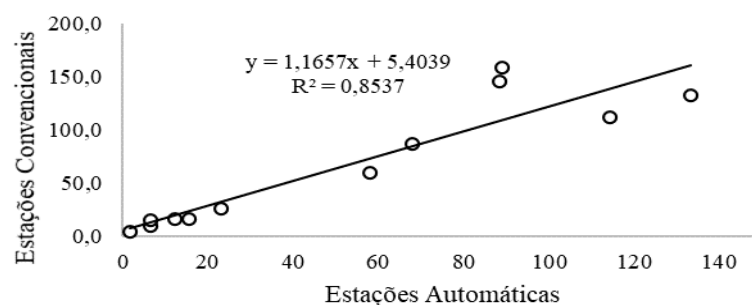
Tabela 2. Comparativo de dados entre EPA e EPC (2017).

Mês	EPA (mm)	EPC (mm)	EPA ≠ EPC (mm)
Jan	23,2	25,8	-2,6
Fev	133,4	132,8	0,6
Mar	89,1	158,4	-69,3
Abr	88,3	145,4	-57,1
Mai	67,8	86,8	-19,0
Jun	58	60,2	-2,2
Jul	114,3	112,4	1,9
Ago	6,6	9,3	-2,7
Set	12,3	15,9	-3,6
Out	15,4	16,8	-1,4
Nov	1,6	4,3	-2,7
Dez	6,4	15,3	-8,9
Total	616,4	783,4	-167,0

*Obs: Tarja amarela representa os meses secos identificados com a fórmula de Gauss e Bagnouls (1953).
Fonte: INMET (2017). Organizado pelos Autores (2021).

Considerando os meses com maior e menor índices de precipitação, a diferença de dados em milímetros é maior no período chuvoso (fevereiro a julho) do que no período com menor precipitação (agosto a janeiro). Isso é confirmado na Figura 5, em que o $r^2=0,85$ entre EPA e EPC, mostrando uma correlação positiva, mas com tendência de aumento de dispersão entre os dados na medida em que se eleva a precipitação.

Figura 5. Relação de dispersão entre dados das EPA e EPC.



Fonte: Elaborado pelos Autores (2020).

Análise comparativa entre dados das EPA e EPC do INMET, Hidroweb e GPM

Quanto a análise comparativa dos dados entre as EPA e EPC com o satélite GPM, observou-se que no mês de novembro, comparado às EPA, e em dezembro, comparado às EPC, a precipitação média registrada foi a mesma obtida pelo GPM (Tabela 3). Entretanto, entre agosto e novembro as EPC apresentaram altas diferenças relativas (%) em relação ao GPM, entre 38% e 90%. Já as EPA apresentaram com maior frequência essas altas diferenças, entre 32% e 139%.

Tabela 3. Comparativo entre dados das EPA, EPC e GPM.

Mês	EPA (mm)	EPC (mm)	GPM (mm)	GPM ≠ EPC (mm)	% erro	GPM ≠ EPA (mm)	% erro
Jan	23,2	25,8	28,7	2,9	11,2	5,5	23,7
Fev	133,4	132,8	149	16,2	12,2	15,6	11,7
Mar	89,1	158,4	172,3	13,9	8,8	83,2	93,4
Abr	88,3	145,4	137,8	-7,6	-5,2	49,5	56,1
Mai	67,8	86,8	95,2	8,4	9,7	27,4	40,4
Jun	58	60,2	51,1	-9,1	-15,1	-6,9	-11,9
Jul	114,3	112,4	121,7	9,3	8,3	7,4	6,5
Ago	6,6	9,3	4,1	-5,2	-55,9	-2,5	-37,9
Set	12,3	15,9	1,6	-14,3	-89,9	-10,7	-87,0
Out	15,4	16,8	10,4	-6,4	-38,1	-5	-32,5
Nov	1,6	4,3	1,6	-2,7	-62,8	0	0,0
Dez	6,4	15,3	15,3	0,0	0,0	8,9	139,1
Total	616,4	783,4	788,8	5,4	0,7	172,4	28,0

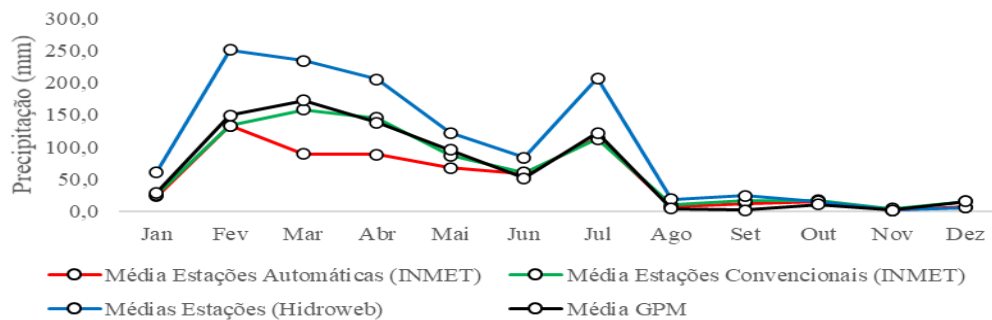
*Obs: Tarja amarela representa os meses secos identificados com a fórmula de Gaussens e Bagnauls (1953).
Fonte: Elaborado pelos Autores (2021).

De forma geral, e tratando das diferenças obtidas em milímetros, não foi observado diferenças significativas nas EPC, ao contrário das EPA. Enquanto a maior diferença em milímetros nas EPC foi de 16,2 mm em fevereiro, nas EPA esse maior valor ocorreu em março com 83,2 mm. Comparativamente às EPA e EPC, o GPM apresentou menores valores de precipitação nos meses secos de agosto a outubro, com exceção de novembro para a EPA. Por fim, em relação a precipitação anual total para 2017, os dados do GPM e EPC apresentaram as menores diferenças, de apenas 0,7% ou 5,4 mm enquanto os dados das EPA e GPM apresentaram diferenças mais expressivas, de 28% ou 172,4 mm.

A partir da Figura 6, constata-se um comparativo entre as médias de precipitação mensal obtidas pelo GPM, EPA e EPC do INMET e das estações do Hidroweb. Observa-se que entre os meses de fevereiro a maio os dados das EPA e EPC comparados ao GPM apresentam as maiores divergências, principalmente em relação as EPA. Enquanto isso, as

diferenças das EPC com o GPM são menos expressivas ao longo do ano, sendo os meses de fevereiro, março e setembro com o maior destaque.

Figura 6. Comparativo entre dados das EPA e EPC do INMET, Hidroweb e GPM.



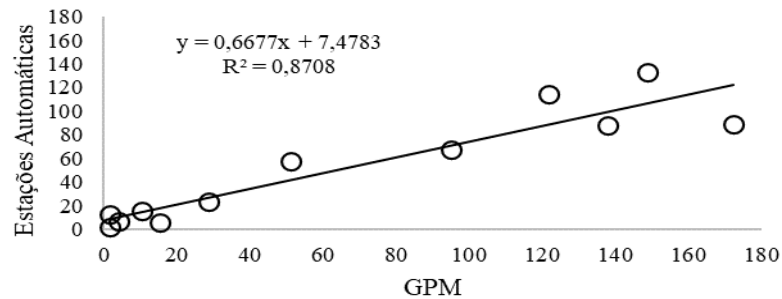
Fonte: Elaborado pelos Autores (2021).

Em relação as médias das estações do Hidroweb, constata-se uma discrepância de dados superior as médias do GPM, principalmente entre janeiro a julho – em que ocorrem as maiores precipitações. Portanto, podemos delinear um cenário em que as informações coletadas e apresentadas pelas estações do Hidroweb superestimam as médias do GPM, apresentando dados superiores. Enquanto isso, as informações referentes as EPA e EPC do INMET subestimam os valores do GPM, apresentando médias inferiores aos encontrados pelo satélite orbital. Portanto, neste cenário constata-se que o GPM apresenta valores médios entre essas duas fontes de dados, reafirmando sua confiabilidade. Ressalta-se que tanto as estações do INMET quanto do Hidroweb apresentam erros específicos e de diferentes naturezas, mesmo assim os dados do GPM consegue se manter em valores médios entre ambas as fontes de dados.

Quando aplicamos os modelos de correlação e regressão linear, observamos um $r^2=0,87$ para as EPA e um $r^2=0,98$ para as EPC (Figura 7 e 8). Reafirmando a maior discrepância dos dados das EPA, não somente com o GPM, mas também com as EPC. É possível notar que a correlação dos dados diminui entre as EPA e GPM na medida em que as precipitações aumentam, diferentemente das EPC em que essa tendência não é observada. Uma das razões para essa maior discrepância entre EPA com EPC e GPM, deve-se aos baixos percentuais de eficiência nos seis primeiros meses de 2017, visto na Figura 4. Essa instabilidade na eficiência das EPA ocorre no período chuvoso do RN, em que são registradas

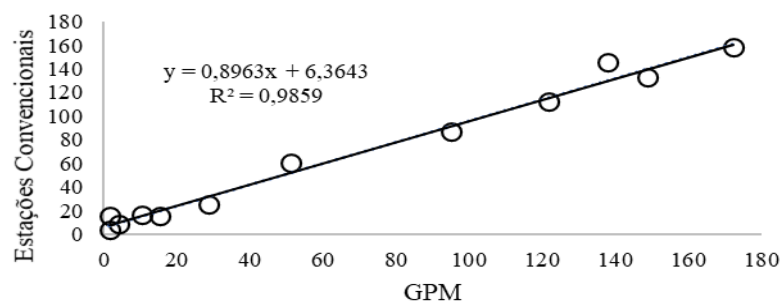
maiores precipitações e, conseqüentemente, necessitam de coleta de dados constantes, prejudicando os resultados e conseqüentemente as análises realizadas.

Figura 7. Correlação entre dados do satélite GPM e EPA.



Fonte: Elaborado pelos Autores (2021).

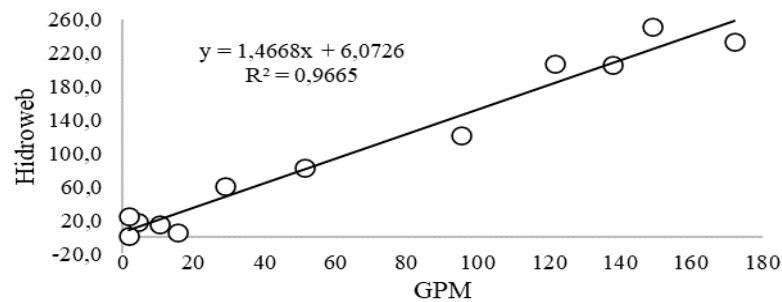
Figura 8. Correlação entre dados do satélite GPM e EPC.



Fonte: Elaborado pelos Autores (2021).

Observando-se o modelo de correlação e regressão linear entre os dados das estações do Hidroweb e o GPM, constatou-se um $r^2=0,96$ (Figura 9). Observa-se uma maior correlação entre os meses com menor precipitação, enquanto para os meses que registram maiores precipitações essa correlação apresenta uma diminuição. Destacamos que mesmo as estações do Hidroweb apresentem uma correlação alta com o GPM, os seus valores médios mostraram significativa discrepância entre os meses de maior precipitação, observado na Figura 6 anteriormente. Portanto, no cenário em que temos uma discrepância com valores médios superiores aos dados GPM, não observamos grandes efeitos na correlação. Já no cenário em que essa discrepância apresenta valores médios inferiores ao GPM – por exemplo no caso das EPA, observamos um efeito significativo nos resultados de correlação.

Figura 9. Correlação entre dados do satélite GPM e Hidroweb.



Fonte: Elaborado pelos Autores (2021).

Distribuição espacial da precipitação no RN

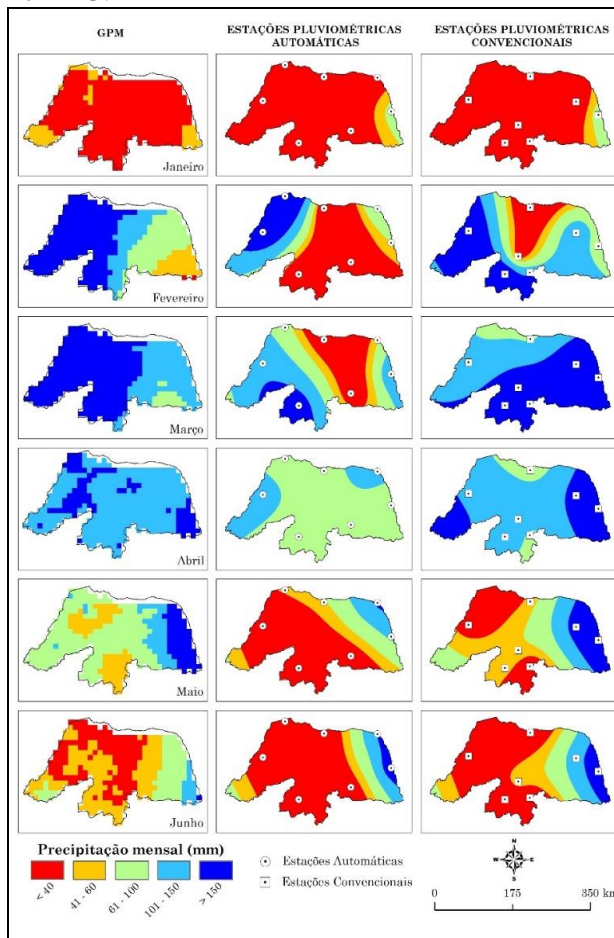
Para a avaliação de precipitação no RN, foram elaborados uma coleção de mapas com a distribuição espacial dessa variável a partir do GPM, EPA e EPC para 2017 (Figura 10 e 11). Optando como base de análise os resultados obtidos com o GPM, podemos constatar uma alta variabilidade espacial das chuvas no estado. Durante os meses de fevereiro e março as precipitações são superiores a 150 mm na porção oeste do RN. Essa concentração de precipitação no oeste diminui a partir de maio e, até o mês de julho, ocorre a intensificação das chuvas na porção leste do estado. Já a partir do mês de agosto até novembro, as precipitações são inferiores a 40 mm em todo o estado, representado pela cor vermelha, voltando progressivamente a aumentar no litoral leste (oriental) a partir do mês de dezembro e janeiro.

Esses resultados obtidos com o GPM podem ser validados quando utilizamos as informações das estações individualmente. Por exemplo, no mês de junho são registradas precipitações acima de 180 mm em ambas as estações de Natal, no leste do estado, enquanto no mesmo período na EPA de Mossoró, na porção oeste, são registradas precipitações de 6,4 mm. Portanto, coincidindo com os resultados apresentados pelo GPM (Figura 10).

Comparando a distribuição espacial das imagens GPM com as interpolações dos dados das EPA e EPC verificamos similaridades. Em seis meses do ano (janeiro, março - na EPC, abril, junho, agosto e novembro) os padrões espaciais são similares predominantemente na porção oriental. Por vezes ocorrendo também em todo o estado em junho, agosto e novembro. Por sua vez, nos meses de fevereiro, março (na EPA), maio, julho, setembro, outubro e dezembro foram encontrados divergências com resultados do GPM, em diferentes

proporções. Predominantemente, a porção central e litoral norte apresentaram padrões espaciais discrepantes. Entre setembro, outubro e dezembro, predominaram diferenças espaciais no litoral leste oriental. De forma menos recorrente, a porção oeste também apresentou discrepâncias em maio e julho.

Figura 10. Distribuição espacial de precipitação no RN entre janeiro e junho (2017), segundo dados do satélite GPM, EPA e EPC.



Fonte: Elaborado pelos Autores (2021).

Figura 11. Distribuição espacial de precipitação no RN entre julho e dezembro (2017), segundo dados do satélite GPM, EPA e EPC.



Fonte: Elaborado pelos Autores (2021).

Na tentativa de explicar tais divergências na representação espacial, podemos elencar dois pontos: a eficiência das estações e carência de um quantitativo maior de estações no território.

Com relação a eficiência das estações, constatou-se que a interferência dessa variável nas interpolações muda de acordo com os níveis de precipitação registrados, ou seja, entre os meses úmidos e secos e na medida em que se aproxima de 0%. Ao realizarmos a interpolação,

as estações com eficiência de 0% são interpretadas como precipitações de 0 mm. Essa falsa interpretação é na realidade uma falha na coleta de dados que resulta na baixa eficiência. Além disso, as estações com baixa eficiência diminuem as precipitações mensais esperadas, causando maior interferência nos meses em que ocorrem elevadas precipitações e menor nos meses com baixas precipitações. Portanto, falhas frequentes na coleta e registro de dados em estações promovem modelos espaciais com menor confiabilidade e eficiência ao realizarmos a interpolação.

Esse cenário de menor interferência da eficiência nos meses mais secos pôde ser observado em janeiro, outubro, novembro e dezembro. Especificamente no mês de dezembro (Figura 11), das 14 estações operantes, duas apresentaram baixa eficiência sendo: a EPC de Cruzeta com 0% e a EPA de Touros – Calcanhar com ~50%. Como o cenário esperado para essas localidades era de baixas precipitações, observado através do GPM, a baixa eficiência nas estações não contribuiu com interferências significativas na interpolação.

Já em relação a baixa eficiência durante os meses com elevadas precipitações, notamos uma significativa interferência na interpolação durante fevereiro, março, abril, maio e julho. No mês de fevereiro, as estações de Caicó (na EPA) e Macau (na EPA e EPC) apresentaram eficiências de 0%. Nessas localidades, a interpolação atribuiu as estações precipitações de 0 mm, contudo, ao observarmos a representação do GPM notamos que as precipitações são classificadas acima de 150 mm; corroborado também pela EPC de Caicó, que obteve 100% de eficiência e registrou 216,7 mm no mês de fevereiro. Portanto, as estações que apresentam falhas em seus bancos de dados, representado por sua eficiência percentual, influenciaram com maior intensidade na interpolação dos meses com elevados índices pluviométricos, prejudicando representações e leituras espaciais da precipitação.

Em relação ao segundo ponto, referente a carência de estações no estado, foi constatado que nas localidades em que há ausência de estações, a interpolação realizada generalizou as precipitações nesses locais. Em nossos resultados, esse fato ocorreu no mês de janeiro que, em uma pequena porção espacial no extremo sudoeste do RN, as precipitações foram classificadas entre 41 e 60 mm, de acordo com o GPM. Entretanto, nas interpolações das EPA e EPC mostraram uma representação das precipitações como inferiores a 40 mm.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em uma região onde a pluviometria tem uma elevada sensibilidade em sua variação espaço-temporal, no contexto sub-regional, seu monitoramento contínuo permite otimizar recursos e promover o desenvolvimento social. Assim, o presente trabalho joga luz em um dos aspectos da gestão de recursos hídricos no estado, onde é possível utilizar os resultados aqui encontrados para criar um sistema de monitoramento da precipitação que envolva diferentes técnicas de coleta de dados e de avaliação de sua qualidade, podendo ser aplicada para outras regiões que realizam esse monitoramento pluviométrico.

Em relação a eficiência, pôde-se constatar que as EPA apresentaram desempenhos inferior (91,1%) em relação às EPC (93,3%) considerando à média anual. Dados inferiores também em relação as médias mensais, cujo menor valor obtido nas EPA foi de 71,4%, enquanto EPC retornaram 85,2%.

Quanto aos dados de precipitações das estações pluviométricas, as EPA e EPC apresentaram maior discrepância de dados mensais para o período chuvoso entre fevereiro e julho e menor diferenças de valores durante os meses com menores precipitações, entre agosto e janeiro. A maior diferença entre esses dados ocorreu em março, com valor de 69,3 mm e correlação $r^2=0,85$, diminuindo a medida em que as precipitações aumentam.

Quando comparamos essas informações aos dados do GPM, observamos que as EPC apresentaram diferenças relativas acima de 30% em apenas quatro meses (agosto a novembro), enquanto nas EPA essa diferença foi constatada em sete meses (entre março e maio e entre agosto e novembro). Essas diferenças foram inferiores a 20 mm por mês nas EPC e alcançaram 89,9 mm nas EPA. Situação também percebida nos acúmulos de precipitação anual, pois foram de 5,4 mm entre GPM e EPC e 172,4 mm entre GPM e EPA. Por fim, a correlação foi alta ($r^2=0,98$) entre os dados das EPC e GPM e mais baixa ($r^2=0,87$) entre EPA e GPM.

Conclui-se que os dados disponibilizados pelas imagens do satélite GPM e EPC foram bastantes satisfatórios, evidenciado por menores diferenças e alta correlação entre si. Contudo, para o ano de 2017, as EPA apresentaram problemas em seu banco de dados, comprovado ao longo desse trabalho por apresentarem coleta sistemática, resultando em falhas no monitoramento ininterrupto da precipitação. Por existirem essas falhas, os dados das

EPA resultaram em correlações inferiores em comparação às EPC e GPM que comprometem a consistência e a funcionalidade da aplicação dos dados na leitura espacial e análise da precipitação no estado do RN. Portanto, as afirmações obtidas por esse estudo indicam uma fragilidade da rede de EPA no estado do RN em 2017. De maneira a evitar que essas falhas ocorram, é necessário por parte das instituições responsáveis manter o contínuo funcionamento e prover constante manutenção técnica dos aparelhos de medição e registro nas unidades.

REFERÊNCIAS

- ANA – Agência Nacional de Água. **Hidroweb**, Sistema Nacional de Informações Sobre Recursos Hídricos. Disponível em: < <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>>. Acesso em 25 de jan. de 2021.
- Cavalcanti, I. F. de A. et al. (org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 463 p., 2009.
- Costa, H. C. et al. Espacialização e sazonalidade da precipitação pluviométrica do estado de Goiás e Distrito Federal. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.I.], v.5, n.1, p. 87-100. 2012.
- Farias, S. E. M. de et al. Avaliação das Estimativas de Precipitação do satélite TRMM para o Estado de Goiás: uma abordagem climatológica. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 16, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil, 2013.
- Gausson, H.; Bagnouls, F. *Saison Sèche et Indice Xérothermique*. Bulletin de la Société de Science Naturelle Toulouse, 61 p., 1953.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Clima do Brasil 1:5 000 000**. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociência – IBGE, 2002. 1 mapa, color. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <http://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/climatologia/mapas/brasil/Map_BR_clima_2002.pdf>. Acesso em: 16, abr. 2020.
- _____. **Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.
- _____. **Cidades e Estados**. 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rn.html>>. Acesso em: 16, abr. 2020.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Estações e dados**. 2019. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/mapaEstacoes>>. Acesso em: 18, set. 2019.

Marcuzzo, F. et al. Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Pernambuco, v. 4, n. 4, p. 793-804, 2011.

Massagli, G. O.; Victoria, D. de. C.; Andrade, R. G. Comparação entre precipitação medida em estações pluviométricas e estimada pelo satélite TRMM. In: **Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica**, 5, Campinas, São Paulo, 2011.

NASA – National Aeronautics and Space Administration. **Global Precipitation Measurement (Overview)**. 2017. Disponível em: <https://www.nasa.gov/mission_pages/GPM/overview/index.html>. Acesso em: 10, abr. 2020.

Nóbrega, R. S.; Souza, Ê. P. de; Galvincto, J. D. Análise da estimativa de precipitação do TRMM em uma sub-bacia da Amazônia ocidental. **Revista de Geografia**, Recife, Pernambuco, v. 25, no 1, p.06-20, 2008.

Reboita, M. S. et al. Entendendo o tempo e o clima na América do Sul. **Terrae Didatica**, [S.I.], v.8, n.1, p.34-50, 2015.

Santos e Silva, C. M.; Lúcio, P. S.; Spyrides, M. H. C. Distribuição espacial da precipitação sobre o Rio Grande do Norte: estimativas via satélites e medidas por pluviômetros. **Revista Brasileira de Meteorologia** (Impresso), v. 27, p. 337-346, 2012.

Sousa, S. B. de et al. Análise comparativa entre dados TRMM e estações pluviométricas no Pantanal brasileiro: ano base 2006. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 16, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil, 2013.

Sousa, S. B. de et al. Análise comparativa entre estações pluviométricas convencionais e dados do satélite GPM para o estado do Rio Grande do Norte (RN). In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 19, Santos, SP, Brasil, 2019.

Wanderley, H. S.; Amorim, R. F. C. de; Carvalho, F. O. de. Variabilidade espacial e preenchimento de falhas de dados pluviométricos para o estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 347-454, 2012.

Recebido em 11 de dezembro de 2021.

Aceito em 26 de fevereiro de 2023.

Publicado em 20 de abril de 2023.