Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA PRECIPITAÇÃO ESTIMADA PELO CHIRPS PARA O ESTADO DO CEARÁ, BRASIL

Evaluation of the precipitation performance estimated by CHIRPS for the state of Ceará, Brazil

Evaluación del desempeño de precipitación estimado por CHIRPS para el estado de Ceará, Brasil

Antonio Ferreira Lima Júnior
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará (UFC)
juniorgeoufc@gmail.com
Orcid:
Lattes:

Maria Elisa Zanella
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará (UFC)
elisazv@terra.com.br

Marta Celina Linhares Sales
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará (UFC)
mclsales@uol.com.br
Orcid:
Lattes:

Resumo: O presente estudo teve por objetivo avaliar o desempenho da estimativa de precipitação gerada pelo CHIRPS em relação aos dados observacionais de postos pluviométricos da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) distribuídos pelas regiões Pluviometricamente Homogêneas do Estado do Ceará, no período de 1981 a 2020. Para isso foi realizado o levantamento de dados CHIRPS pelo USGS e de postos pluviométricos representativos das regiões pela FUNCEME. Os dados foram submetidos a testes estatísticos de avaliação de dados como correlação de Pearson (r), coeficiente de determinação (r^2), erro sistemático (BIAS), e Erro Médio Quadrático (RMSE), e foram especializados através do SIG ArcGIS 10.8 utilizando o método de interpolação IDW. Os testes de correlação e determinação comprovaram a relação direta entre as variáveis orbitais e de superfície, apresentando valores acima de 0.98 em todas as regiões do estado.Os testes de correlação e determinação indicam a possibilidade de haver uma relação entre as variáveis orbitais e de superfície em todas as regiões do estado. Já os testes de erros sistemáticos demonstraram

que o maior erro sistemático foi identificado no litoral se destacou como a região com, uma média de 30%, enquanto as regiões de Jaguaribana, Ibiapaba e Baturité foram as com menor porcentagem de erro (Jaguaribe com 1% de superestimativa e Tianguá com -2% de subestimativa). A espacialização confirmou a validação dos dados orbitais CHIRPS para utilização em estudos de cunho ambiental e climatológico, tendo em vista a alta correlação e erro médio.
Palavras-chave: Precipitação pluviométrica; Dados orbitais; Acurácia.

Abstract: This study aimed to evaluate the performance of the exclusion estimate generated by CHIRPS, in relation to the observational data of rainfall stations from the Ceará State Meteorology and Water Resources Foundation (FUNCEME) distributed by the Pluviometrically Homogeneous regions of the State of Ceará, from 1981 to 2020. The survey of CHIRPS data by the USGS and pluviometric stations representative of the regions by FUNCEME was carried out. The data were subjected to statistical tests to evaluate data such as Pearson's correlation (r), determination coefficient (r^2), systematic error (BIAS), and Mean Quadratic Error (RMSE), and were specialized using the GIS ArcGIS 10.8, using the IDW interpolation method. The direct correlation and determination tests proved the relationship between the orbital and surface variables, with values above 0.98 in all regions of the state. Systematic error tests, on the other hand, revealed the regions with the highest or lowest underestimated/overestimated exclusion priority. The Litoral is highlighted as the region with the highest systematic error, an average of 30%, while the regions of Jaguaribana, Ibiapaba and Baturité had the lowest percentage of error (Jaguaribe with 1% overestimation and Tianguá with -2% underestimation). Spatialization confirmed the validation of CHIRPS orbital data for use in environmental and climatological studies, in view of the high correlation and average error.
Keywords: Rainfall; Orbital data; Accuracy.

Resumen: El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el desempeño de la estimación de precipitación generada por CHIRPS, en relación a los datos de observación de las estaciones pluviométricas de la Fundación Cearense de Meteorología y Recursos Hídricos (FUNCEME) distribuidas por las Regiones Pluviométricamente Homogéneas del Estado de Ceará, en el período de 1981 a 2020. Se realizó un levantamiento de datos CHIRPS por el USGS y estaciones de precipitación representativas de las regiones por FUNCEME. Los datos fueron sometidos a pruebas estadísticas de evaluación de datos como correlación de Pearson (r), coeficiente de determinación (r^2), error sistemático (BIAS) y error cuadrático medio (RMSE), y se especializaron a través del SIG ArcGIS 10.8, utilizando el IDW. método de interpolación. Las pruebas de correlación y determinación demostraron la relación directa entre las variables orbital y superficial, con valores superiores a 0.98 en todas las regiones del estado. Las pruebas de error sistemático, por otro lado, revelaron las regiones que presentaron la subestimación / sobrestimación más alta o más baja de la precipitación. El Litoral se destacó como la región con mayor error sistemático, un promedio de 30%, mientras que las regiones de Jaguaribana, Ibiapaba y Baturité fueron las que presentaron menor porcentaje de error (Jaguaribe con 1% sobreestimación y Tianguá con -2% de subestimación). La espacialización confirmó la validación de los datos orbitales CHIRPS para su uso en estudios ambientales y climatológicos, en vista de la alta correlación y el error promedio.
Palabras clave: Lluvia; Datos orbitales; Precisión.

Submetido em: 11/07/2022
Aceito para publicação em: 30/01/2023
Publicado em: 26/02/2023

1. INTRODUÇÃO

A precipitação pluviométrica é considerada a variável mais importante do ciclo hidrológico, associada aos fatores que atuam concomitantemente no espaço, como a circulação atmosférica e os fatores termodinâmicos, influencia diversos aspectos físicos do nosso planeta, assim como as principais atividades humanas (agricultura, indústria e dessedentação animal e humana). Assim, compreender a dinâmica acerca dos excessos e déficits deste elemento em diferentes sistemas ambientais e sociais é fundamental, em decorrência dos diferentes efeitos adversos que podem surgir. Para a realização de estudos climáticos com ênfase na precipitação é necessário um conjunto de dados observacionais que possibilitem a compreensão do fenômeno em consonância com a realidade dos locais, e as devidas interações com fenômenos de meso e grande escala. Cruciani, Machado e Sentelhas (2002) enfatizam a importância de um conjunto de dados de precipitação preciso para caracterizar a variabilidade temporal e espacial das chuvas em ambientes urbanos e rurais. No entanto, para alguns lugares do globo (como África e América Latina) há uma deficiência de informações de estações meteorológicas e falta de acesso a dados de precipitação (COSTA et al., 2019), ocasionando lacunas espaciais e temporais na amostragem de dados. Fazendo assim, que os dados provenientes de modelagem, auxiliem de maneira satisfatória na compreensão dos fenômenos.

No Brasil, as principais fontes de dados climatológicos, sobretudo da variável precipitação, constituem-se em instituições federais, como: o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que possui mais de 400 estações meteorológicas automáticas e convencionais distribuídas em território nacional (disponível através do endereço eletrônico https://bdmep.inmet.gov.br/); a Agencia Nacional das Águas (ANA), através do portal Hidroweb (http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas) disponibiliza dados de quase 3800 estações de monitoramento da chuva, possuindo uma rede de dados mais densa. Destaca-se também, a importância dos órgãos de esfera estadual no monitoramento climático, disponibilizando a nível local dados meteorológicos, sobretudo pluviométricos. Entretanto, a rede de monitoramento pode apresentar erros e falhas nas séries temporais, além da ausência de coleta em determinadas áreas (a zona costeira e as grandes cidades apresentam mais pontos de coleta). Essas inconsistências ou ausência de dados podem gerar

dificuldades, dúvidas ou imprecisão na etapa de análise dos fenômenos (BABA, VAZ e COSTA, 2014).

É nesse contexto que surge a necessidade de utilização de produtos que representem com alta acurácia espacial e temporal os dados de precipitação. O sensoriamento remoto é uma das principais alternativas para o monitoramento dos diferentes sistemas ambientais, dentre eles o monitoramento e estimativa da chuva por sensores orbitais e modelos atmosféricos (AIRES, MELO NETO, MELLO, 2016; SILVA et al., 2019), como Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), Climate Research Unit (CRU), Climate Prediction Center Morphing Method (CMORPH), e o Climate Hazards group Infrared Precipitation with Stations (CHIRPS), este último utilizado nesta pesquisa.

A literatura é composta por diversos trabalhos que visaram avaliar o desempenho de dados orbitais para a estimativa de precipitação, dentre estes, o desempenho do conjunto de dados CHIRPS. Katsanos, Retalis e Michaelides (2016) analisaram a acurácia do CHIRPS em relação aos valores medidos em superfície no nordeste do Mediterrâneo, revelando boa correlação, embora estimativa superestimada. Estudos realizados na Argentina (RIVERA, MARIANETTI, HINRICHS, 2018) constataram uma diferenciação na precisão de acordo com o período e a localização dos pontos avaliados, resultado similar ao apresentado por BAI et al. (2018) para a China continental, onde a porção sul obteve maior acurácia em relação aos pontos analisados.

No Brasil, de acordo com as diferentes regiões, percebe-se correlações distintas entre os valores estimados pelo CHIRPS e os coletados em superfície (COSTA et al., 2019), onde as regiões com maior coeficiente de determinação foram a Nordeste com 97% e Sudeste com 98%. Paredes-Trejo, Barbosa e Kumar (2017), analisaram as correlações e probabilidades de detecção de chuva pelo CHIRPS a partir dos Biomas do Nordeste do Brasil, concluindo que, com exceção do bioma semiárido, o CHIRPS pode ser um substituto útil para os dados de superfície. No entanto, foram utilizados poucos pontos representativos, tendo em vista a dimensão espacial e diversidade paisagística do Nordeste brasileiro, sendo necessário uma investigação da avaliação de desempenho em escalas mais detalhadas, sobretudo no semiárido no qual a variabilidade pluviométrica interanual e interanual é intrínseco a esse tipo climático.

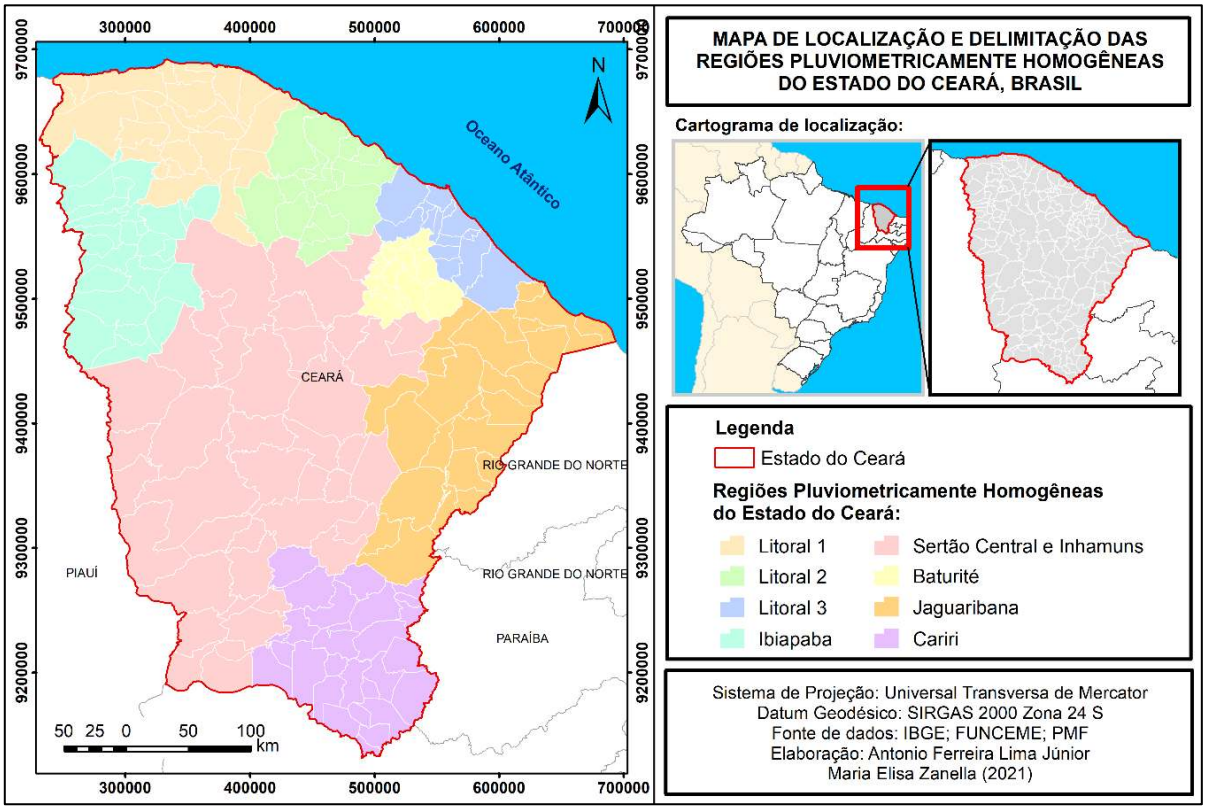
É nesse contexto que, este artigo avaliou o desempenho da estimativa de precipitação gerada pelo CHIRPS, em relação aos dados observacionais de postos pluviométricos da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) distribuídos pelas regiões Pluviometricamente Homogêneas do Estado do Ceará, no período de 1981 a 2020, tendo em vista as possíveis diferenciações causadas por características geográficas diferenciadas.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

O estado do Ceará localiza-se na região Nordeste do Brasil, entre 02º e 08º de latitude Sul. Os limites do seu respectivo território fazem fronteira com os estados do Piauí, Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. Ao norte, a sua respectiva porção continental limita-se a hidrografia imposta pelo oceano Atlântico (Figura 01). De acordo com Zanella (2007), clima semiárido é predominante no território do estado, com altas temperaturas e baixos totais pluviométricos concentrados na quadra chuvosa. Xavier e Xavier (1999) aplicando a técnica dos quantis na quadra chuvosa, delimitam 8 regiões pluviometricamente homogêneas, utilizadas para caracterizar o regime pluviométrico no estado, sendo elas: Litoral 1; Litoral 2; Litoral 3; Ibiapaba; Sertão Central e Inhamuns; Baturité; Jaguaribara; e Cariri.

Figura 1 - Mapa de localização e delimitação das regiões pluviometricamente homogêneas do Ceará.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Por estar localizado nas latitudes mais baixas e do oceano atlântico, o estado do Ceará apresenta temperaturas elevadas durante todo ano, com pouca variação térmica intra e interanual (AZEVEDO, SILVA, RODRIGUES, 1998). Sendo assim, a precipitação pluviométrica consiste no elemento que rege a variabilidade climática no estado do Ceará apresentando diferenças significativas intra e interanuais (ZANELLA, 2005). Diversos estudos apontam que, a variabilidade de chuva, e os eventos extremos negativos e positivos, estão diretamente relacionados com os fenômenos El Niño e La Niña e os gradientes positivos ou negativos de anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Atlântico Tropical (HASTENRATH, 2012; RODRIGUES, MCPHADEN, 2014; MARENGO et al., 2018).

O regime pluviométrico do estado e das diferentes regiões pluviometricamente homogêneas é regido pela circulação geral da atmosfera e fatores geográficos. O principal sistema atmosférico causador de chuva para todo o estado do Ceará é a Zona de Convergência Inter Tropical (ZCIT), responsável pelos maiores volumes de precipitação, atuando de fevereiro a maio sobre o norte do NE brasileiro, período denominado de Quadra Chuvosa (SOARES, 2015). Na pré-estação chuvosa, principalmente no verão (dezembro, janeiro e fevereiro),

atuam os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), de acordo com Gan e Kousky (1986). Na pós-estação chuvosa, durante os meses de junho e julho são verificadas as Ondas de Leste (OL) atuando sobre o estado do Ceará, provocando precipitações durante esse período (BARBIERI, 2015). É possível destacar outros sistemas causadores de chuva, como Linhas de Instabilidade, Complexos Convectivos de Mesoescala e repercussões de Frentes, no entanto, estes atuam de forma pontual e com menor expressividade em relação aos totais pluviométricos.

Essa complexidade sinótica, faz com que os padrões de precipitação se diferenciem de acordo com a região, tendo essas características distintas comprovadas. Xavier (2001) elaborou um apanhando descritivo das condições climáticas de cada uma das regiões pluviometricamente homogêneas do estado do Ceará, destacando suas diferentes variabilidades e padrões de distribuição temporal de dados. Hieira, Lima Júnior e Zanella (2019) analisaram as tendencias da precipitação para cada uma das regiões, constatando padrões distintos de significância para o acréscimo e decréscimo em diferentes regiões.

2.2. Climate Hazards group Infrared Precipitation with Stations (CHIRPS)

De acordo com Funk et al. (2015), o CHIRPS consiste em um conjunto de dados de precipitação desenvolvido pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (United States Geological Survey - USGS) e pelo Grupo de Riscos Climáticos (Climate Hazards Group, University of California, Santa Barbara – UCSB). O CHIRPS gera estimativas de precipitação, que são compostas por várias fontes de informações (CHPClim[1]; NOAA[2]; CPC[3]; NCDC[4]; IV[5]; entre outros).

Os produtos CHIRPS são disponibilizados de forma gratuita através do site https://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRPS-2.0/. O CHIRPS possui uma cobertura que varia

[1] The Climate Hazards Group's Precipitation Climatology.

[2] Observações de satélites com espectroscopia de infravermelho termal (Thermal Infrared, TIR), geoestacionárias quase globais da National Oceanic and Atmospheric Administration.

[3] Centro de Previsão Climática.

[4] National Climatic Data Center.

[5] Produtos de estações meteorológicas e serviços regionais.

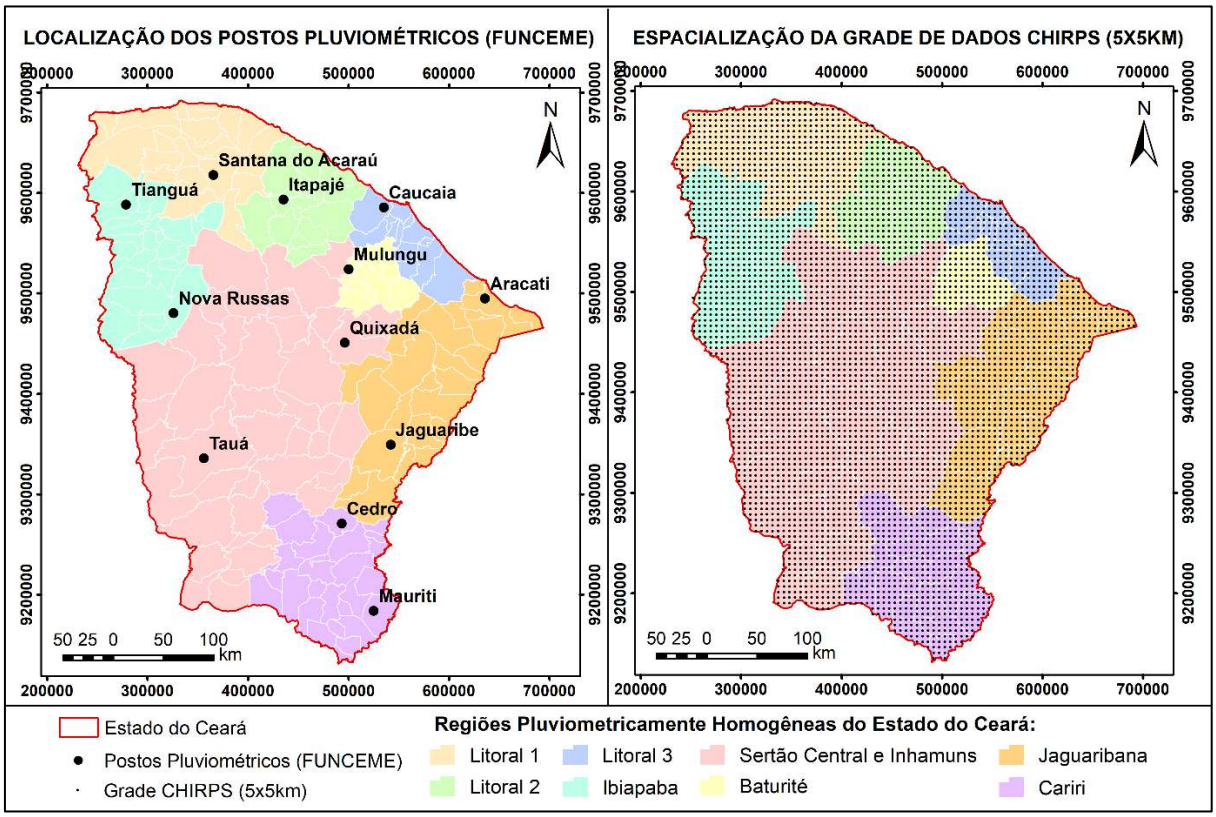
de 50° de latitude norte a 50° de latitude sul, tendo uma resolução espacial de 0,05°, aproximadamente 5 km. Os dados estão disponíveis a partir de 1981 até os dias atuais, na escala diária, em pêntadas e mensais. Os dados CHIRPS foram utilizados para espacializar a precipitação no estado do Ceará, avaliando seu desempenho em relação aos dados coletados em superfície por postos pluviométricos da FUNCEME.

2.3. Os postos pluviométricos utilizados

Com o objetivo de avaliar os dados estimados pelo CHIRPS foram utilizados dados de postos pluviométricos disponibilizados pela FUNCEME, na mesma escala temporal do produto de estimativa (de 1981 a 2020).

A escolha dos postos pluviométricos se deu de acordo com a escala temporal disponível, a qualidade dos dados apresentados e a localização do posto de acordo com as regiões pluviometricamente homogêneas, sendo escolhidas de uma a duas estações por região, de acordo com a dimensão espacial das mesmas. As estações escolhidas apresentavam dados diários de chuva, a partir de 1981, e foram analisados os dados até o ano de 2020. A partir desses critérios, elegeram-se qualificados 12 postos pluviométricos. Na Figura 02 é possível visualizar a localização dos postos pluviométricos em relação a cada região pluviometricamente homogênea, e também a espacialização da grade de cobertura do produto CHIRPS no território cearense (5x5km).

Figura 2 - Localização dos postos pluviométricos e distribuição da grade CHIRPS no Ceará. Base cartográfica: FUNCEME; PMF; CHIRPS.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

2.4. Estatística de avaliação dos dados CHIRPS

Para realizar a avaliação do desempenho da estimativa feita pelo CHIRPS, os dados orbitais foram comparados a partir dos seguintes parâmetros estatísticos: coeficiente de correlação de Pearson (r); coeficiente de determinação (r^2); erro sistemático (BIAS); e Erro Médio Quadrático (RMSE). Os cálculos foram realizados para todos os postos pluviométricos selecionados, de acordo com as já referidas regiões.

O coeficiente de correlação de Pearson é representado pela letra r e assume valores de -1 a 1. Onde r = 1, representa a correlação perfeita e positiva entre duas variáveis, e r = -1 representa correlação perfeita negativa entre duas variáveis. O coeficiente de correlação de Pearson calcula-se segundo a seguinte fórmula, onde x1, x2, ..., xn e y1, y2, ..., yn são os valores medidos de ambas as variáveis.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}},$$

De acordo com Bayissa et al. (2017) o coeficiente de determinação (r^2) é utilizado para avaliar a associação entre dois fatores. Através da proporção da variabilidade em uma variável, o coeficiente está entre $0 \leq r^2 \leq 0$, e pode ser expresso pela equação:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^{n}(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 + \sum_{i=1}^{n}(u_i)^2}$$

De acordo com Costa et al. (2019), o BIAS corresponde à média do erro sistemático em cada tempo, sendo que, representa a média dos erros individualizados, servindo para identificar se há subestimativa ou superestimativa média de valores estimados. Quando o BIAS é igual a zero, é possível afirmar que não há erro sistemático ou tendência no conjunto de dados estimados, e valores positivos e negativos significam superestimativas e subestimativas, respectivamente.

Na equação a seguir, é possível visualizar o processo de cálculo do BIAS, onde "s" corresponde aos valores estimados (CHIRPS), enquanto "o" representa os dados observados em superfície (estações da FUNCEME), e "n" diz respeito ao tamanho da série temporal considerada.

$$\text{BIAS} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(s - o)$$

O RMSE é utilizado para verificar a acurácia das estimativas de dados orbitais em relação aos dados observados em superfície. Na equação seguinte, "S" corresponde aos valores estimados pelo CHIRPS, enquanto "O" representa os dados dos postos pluviométricos da FUNCEME, resultando no Erro Média Quadrático.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(S_i - O_i)^2}$$

Foi gerada uma tabela síntese com os resultados dos testes para cada uma das regiões pluviometricamente homogêneas, tendo como escala temporal o período de 1981 a 2020, seguindo o período de disponibilidade dos dados orbitais CHIRPS.

2.5. Espacialização da precipitação

Com a utilização do software SIG (Sistema de Informação Geográfica) ArcGIS 10.8 foi

possível realizar a espacialização dos valores de precipitação. Foi gerado um mapa de representação da precipitação dos dados CHIRPS completos, utilizando todos os pontos da grade de cobertura (vide Figura 02), no formato raster, com resolução espacial de 5 km por pixel.

Para equiparar a escala de observação dos dados orbitais e observacionais, optou-se por realizar uma espacialização a partir dos 12 pontos equivalentes, onde foram extraídos da grade CHIRPS, os pontos mais próximos dos postos pluviométricos da FUNCEME., gerando dois mapas equiparados de precipitação. Para estes mapas utilizou-se a técnica de interpolação de dados IDW (Inverse Distance Weighting/Ponderação do Inverso da Distância). De acordo com Marcuzzo, Andrade e Melo (2011), para o cálculo do IDW, utiliza-se a seguinte equação matemática:

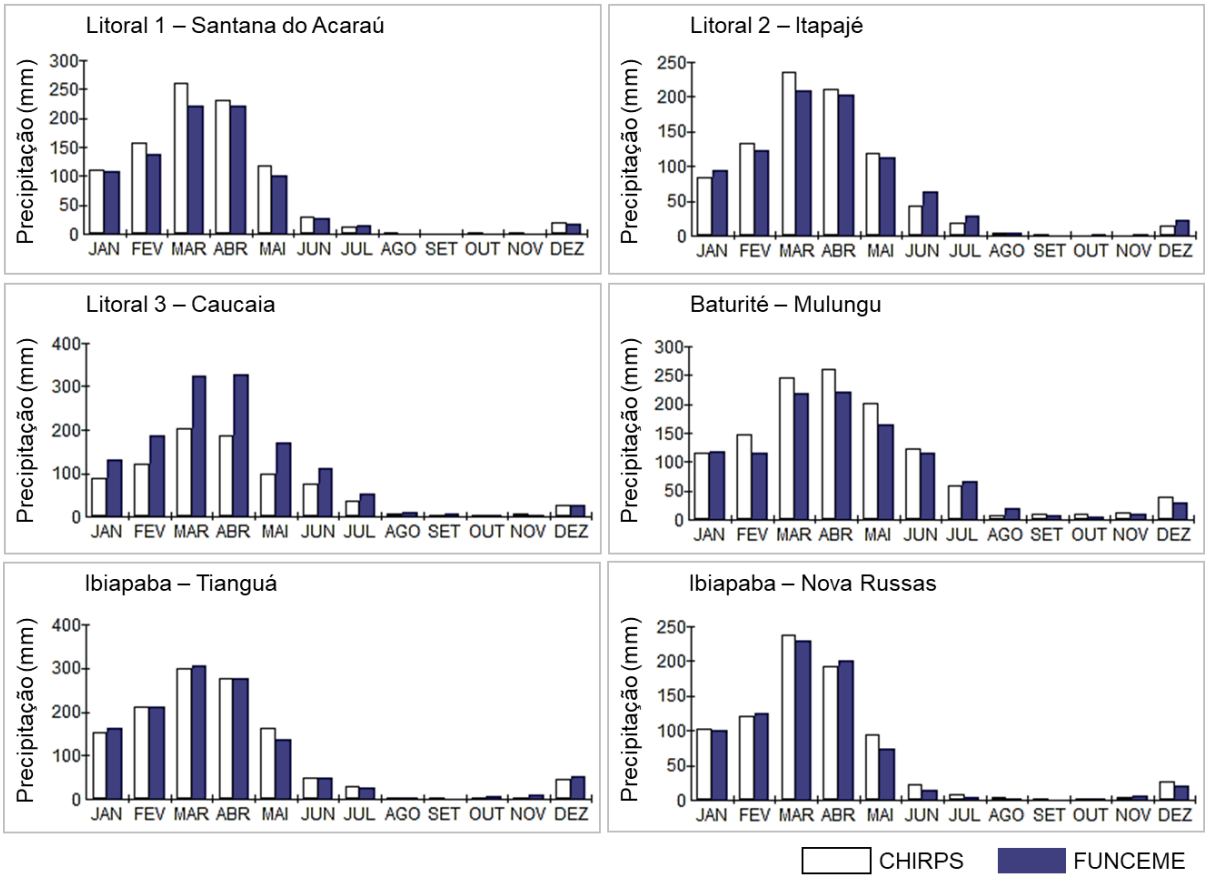
$$Z(x) = \frac{\sum_{i=1}^{n} \omega_i Z(x_i)}{\sum_{i=1}^{n} \omega_i}$$

Em que, "Z(x)" é o valor do ponto que se deseja interpolar, "n" é a quantidade de pontos próximos utilizados na interpolação do ponto "x"; "Z(xi)" é o valor do ponto "xi", e "ωi" é o peso do valor de "xi" sobre o ponto "x". Através do software ArcGIS 10.8 foi possível extrapolar a interpolação, tomando como base os limites do estado do Ceará. Sendo assim, foram gerados três mapas: 1 – espacialização dos dados CHIRPS completos; 2 – espacialização dos dados CHIRPS utilizando os 12 pontos próximos aos postos pluviométricos; 3 – espacialização dos dados de precipitação dos 12 postos pluviométricos da FUNCEME.

3. DESENVOLVIMENTO

Para visualizar o regime pluviométrico do estado de acordo com os dados orbitais e de superfície foram gerados gráficos de médias mensais da precipitação acumulada em todos os postos pluviométricos representativos das regiões pluviometricamente homogêneas (do período de 1981 a 2020). Percebe-se que, no Litoral 1, no posto de Santana do Acaraú, a precipitação estimada pelo CHIRPS apresenta valores mais elevados que os valores aferidos em superfície pela FUNCEME. Nota-se também uma similaridade entre os padrões mensais em ambas fontes de dados, sendo o período de maiores chuvas de janeiro a maio (Figura 03).

Figura 3 - Média mensal da precipitação para o período de 1981-2020, para as regiões pluviometricamente homogêneas do Ceará.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

No Litoral 2, no posto da cidade de Itapajé, nota-se que há uma similaridade do comportamento da estimativa em relação à região anterior durante o primeiro semestre do ano. A precipitação estimada pelo CHIRPS alcança valores maiores que os dados coletados pelo posto pluviométrico durante o período chuvoso (de fevereiro a maio), no entanto, durante o período seco (junho a dezembro) nota-se uma subestimativa do CHIRPS em relação aos dados coletados em superfície, como é possível visualizar na Figura 03.

Ao analisar o gráfico referente ao Litoral 3, do município de Caucaia (Figura 3), percebe-se que existe um padrão de estimativa diferenciado em relação aos anteriores, onde os dados orbitais alcançam valores muito inferiores aos de superfície. A discrepância é ainda mais notória no período chuvoso (de fevereiro a maio), sendo no mês de abril a maior diferença, cerca de 140 mm. Todavia, nota-se que em termos de distribuição mensal da precipitação, existe uma relação direta, onde os períodos mais chuvosos e secos coincidem nas duas fontes.

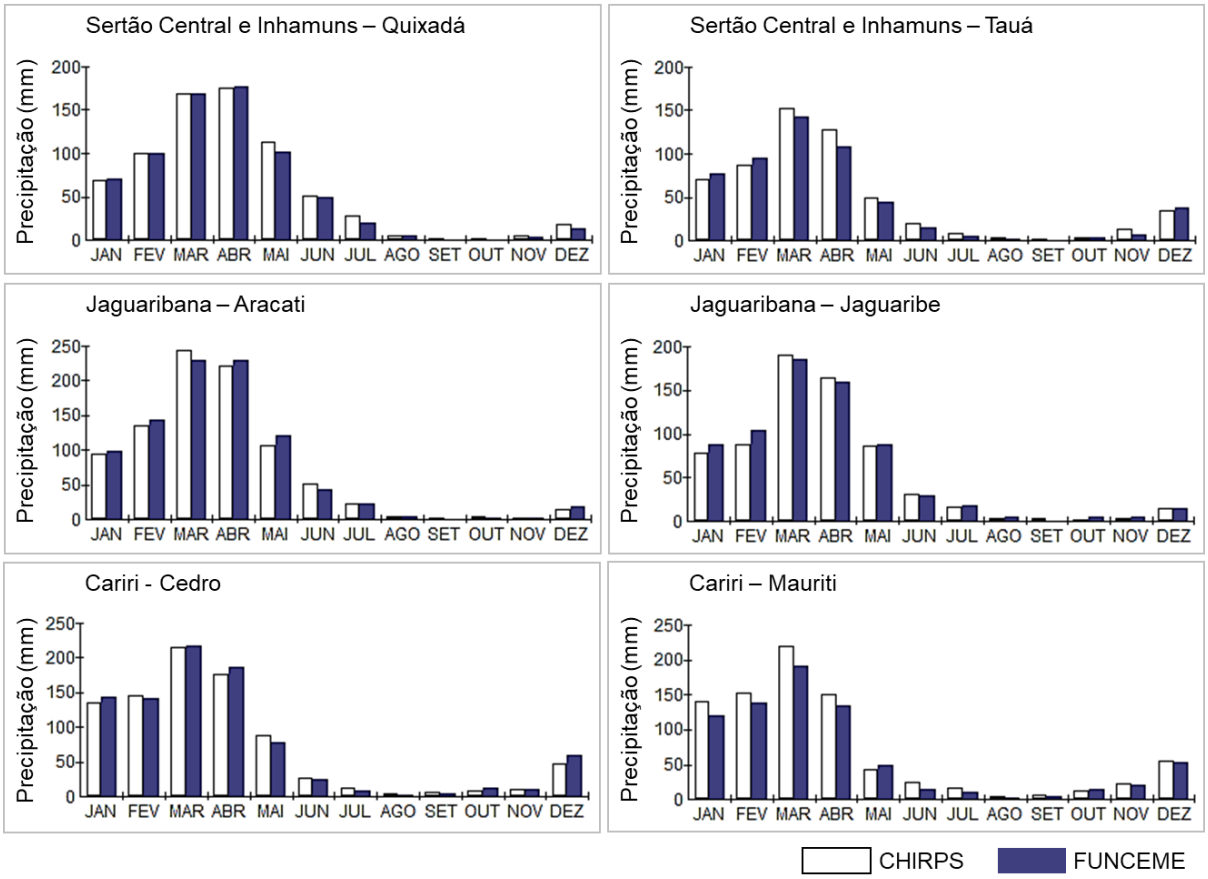
Na cidade de Mulungu, região de Baturité, o período chuvoso consiste nos meses de

fevereiro a maio, enquanto o período mais seco é do mês de julho a dezembro. É possível notar (Figura 3) que na maioria dos meses, a estimativa do CHIRPS supera os valores coletados em superfície, principalmente no período chuvoso.

Por se tratar de uma região pluviometricamente homogênea de grande extensão territorial (Ibiapaba), foram utilizados dois postos pluviométricos, um na cidade de Tianguá e outro em Nova Russas, ambos apresentando período chuvoso de janeiro a maio. O posto de Tianguá apresenta pouca discrepância em relação aos dados estimados pelo CHIRPS e os coletados pela FUNCEME, sendo no período seco as maiores diferenças de estimativa. Nova Russas apresenta maiores diferenças, principalmente nos meses mais secos do ano, com um padrão de superestimativa (Figura 3).

As regiões Sertão Central e Inhamuns, Jaguaribana e Cariri estão representadas na Figura 4, onde foram utilizados dois postos pluviométricos para cada região, devido sua extensão territorial. O município de Quixadá apresenta precipitação anual média em torno de 740 mm, tendo seu período chuvoso entre os meses de fevereiro e maio, meses esses que tem uma boa equiparação em relação a estimativa pelo CHIRPS e a coleta da FUNCEME, sendo observadas maiores discrepâncias para o período seco. O posto de Tauá apresenta características semelhantes no que diz respeito aos períodos mais secos e chuvosos, sendo a principal diferença os valores acumulados, que são menores em relação ao posto da mesma região, sendo que dos postos analisados, Tauá é o que apresenta os menores volumes de precipitação, tento estimadas como aferidas em superfície (Figura 4).

Figura 4 - Média mensal da precipitação para o período de 1981-2020, para as regiões pluviometricamente homogêneas do Ceará.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

O posto pluviométrico de Aracati, representa juntamente com o posto de Jaguaribe, a região de Jaguaribana. Os dois pontos apresentam características muito semelhantes, ambos têm seu período chuvoso entre os meses de fevereiro a maio, e meses mais secos de agosto a novembro. Os dados estimados pelo CHIRPS apresentam valores levemente elevados em relação aos valores verificados nos postos da FUNCEME, principalmente nos meses mais chuvosos.

A região do Cariri, representada pelos postos pluviométricos do Cedro e Mauriti, apresenta período chuvoso de janeiro a abril e meses mais secos de julho a outubro. No posto do Cedro verifica-se menores diferenças entre a precipitação estimada elo CHIRPS e os dados coletados em superfície, principalmente no período chuvoso. Já a estimativa para Mauriti está com uma diferença mais acentuada, tendo superestimativa principalmente nos meses mais chuvosos de janeiro a abril.

Na Figura 5, é possível visualizar a síntese dos resultados dos testes estatísticos para

cada um dos postos pluviométricos estudados. A região Litoral 1 apresenta alta correlação e dependência das variáveis, tendo alcançado valores de correlação de Pearson (r) e coeficientes de determinação (r^2) elevados entre as variáveis, 0.9970 e 0.9939, respetivamente. Analisando o erro sistemático (BIAS) e o erro médio quadrático (RMSE), percebe-se que, o produto gerado pelo CHIRPS apresenta superestimação em torno de 27% dos dados aferidos em superfície.

A região Litoral 2 também apresenta alta correlação da estimativa orbital e a precipitação medida em superfície (r = 0.9938 / r^2 = 0.9876), tendo uma relação direta ao longo do período analisado (Figura 05). Diferente da anterior ao analisar os erros sistemáticos, percebe-se que a tendência neste caso é de subestimativa, uma vez que o valor de BIAS foi de -21%, principalmente devido ao período seco, onde pode se observar maiores discrepâncias em relação à precipitação medida na superfície.

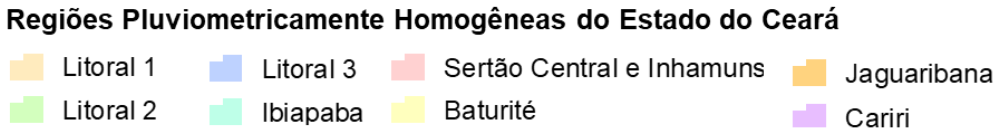
O Litoral 3 apresentou uma subestimativa de -30%, revelando que as precipitações podem ser maiores que o estimado pelo CHIRPS. Nessa região as maiores diferenças estiveram nos meses mais chuvosos, enquanto o período seco apresentou pouca discrepância. No entanto, há uma notória correlação entre os dados orbitais e de superfície. Ao observar a Figura 5 é possível notar que tanto r quanto r^2 alcançaram 0.99.

Os dois postos da região da Ibiapaba apresentaram resultados bem diferentes em relação ao BIAS. O posto de Tianguá obteve subestimativa de -2%, um dos menores índices desta pesquisa, enquanto Nova Russas obteve superestimativa de 28%, o que resulta em uma média de 13% de superestimativa do produto CHIRPS em relação aos dados da FUNCEME. A correlação para esta região está alta, alcançando valores de r e r^2 maiores que 0.996, como é possível visualizar na Figura 05.

A região do Sertão Central e Inhamuns apresenta alta correlação e coeficiente de determinação (média de r = 0.9942 e r^2 = 0.9885). Em relação aos erros sistemáticos, existe uma superestimativa elevada para essa região, o posto Quixadá tem uma superestimativa de 33% (o maior índice entre os postos analisados), e Tauá apresenta 22% de superestimativa, embora em períodos distintos (Quixadá no período seco e Tauá no período chuvoso).

Figura 5 - Síntese dos resultados dos testes estatísticos.

Cidade	r (Pearson)	BIAS	r²	RMSE
Santana do Acaraú	0.9970	27%	0.9939	6.3426
Itapajé	0.9938	-21%	0.9876	8.1243
Caucaia	0.9964	-30%	0.9927	16.0517
Tianguá	0.9965	-2%	0.9931	8.8734
Nova Russas	0.9961	28%	0.9923	10.2347
Quixadá	0.9980	33%	0.9961	6.9860
Tauá	0.9904	22%	0.9809	6.5041
Mulungu	0.9934	9%	0.9869	8.7924
Aracati	0.9959	8%	0.9918	7.5174
Jaguaribe	0.9955	1%	0.9909	5.9428
Cedro	0.9969	8%	0.9937	6.2091
Mauriti	0.9974	19%	0.9948	4.5401



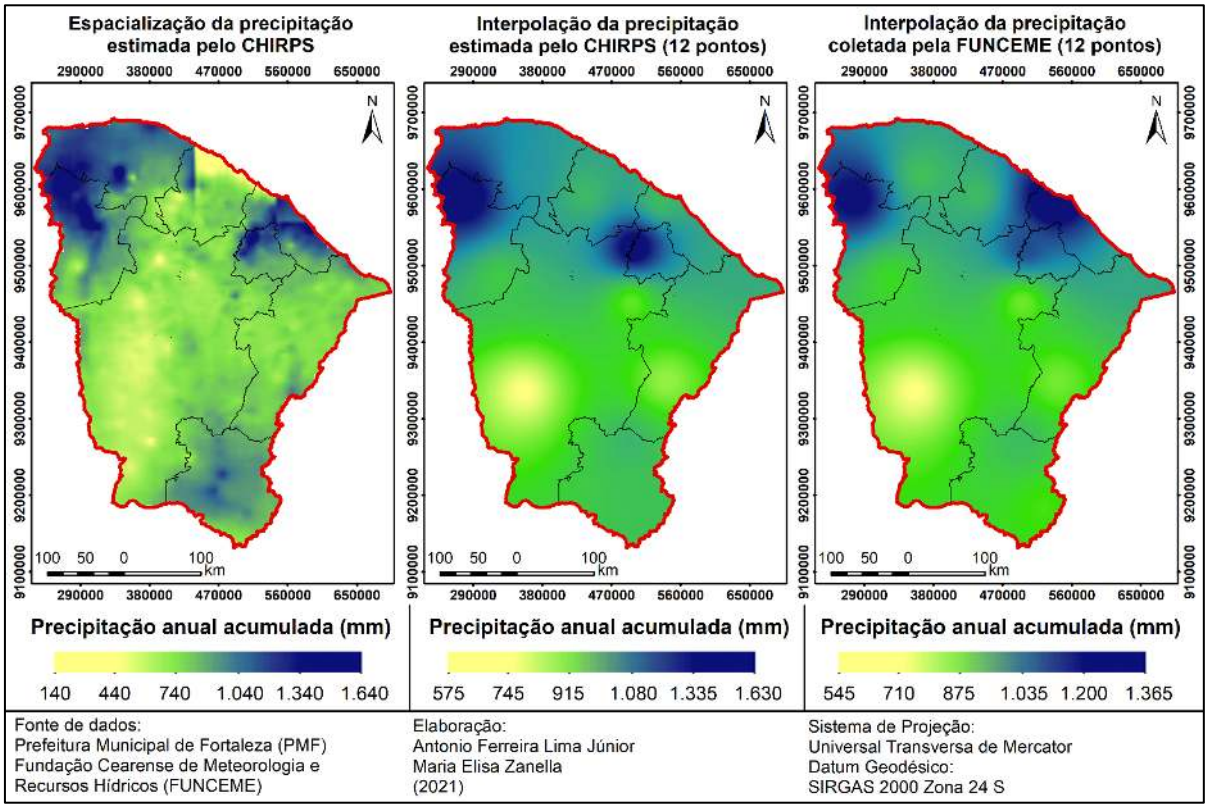
Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

A região de Baturité possui uma superestimativa baixa (9%) em relação aos dados do posto pluviométrico de Mulungu, apresentando alta correlação entre as variáveis, como é possível visualizar na Figura 5. A região de Jaguaribana, em média possui um r de 0.9964 e r^2 de 0.9914, demostrando interdependência entre as variáveis. É importante ressaltar que, os dois postos pluviométricos analisados (Aracati e Jaguaribe) demostraram superestimativa de baixa importância, sendo que, o posto de Jaguaribe obteve o menor valor de BIAS (1%) e Aracati 8%, apresentando média de 4,5% de erro sistemático.

De acordo com a Tabela 01, a região do Cariri apresentou erro sistemático médio de 13,5% de superestimativa, sendo que o posto Cedro obteve 8% e Mauriti 19%. Em relação aos valores de correlação e coeficiente de determinação, os valores obtidos foram altos, sempre acima dos 0.994.

Para analisar a distribuição espacial da precipitação, analisou-se as informações da seguinte maneira: espacialização dos dados CHIRPS na sua resolução e grade original; interpolação dos dados CHIRPS com os 12 pontos representativos mais próximos dos postos pluviométricos; e a interpolação dos dados dos 12 postos pluviométricos da FUNCEME (Figura 6).

Figura 6 - Espacialização e Interpolação dos dados de precipitação (média anual – 1981 a 2020).



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Ao observar a Figura 6, percebe-se que há na espacialização dos dados CHIRPS um detalhamento satisfatório a nível regional, tendo em vista a dimensão do pixel de 5 km, no entanto, no litoral norte, principalmente entre as regiões Litoral 1 e 2 nota-se uma mudança abrupta nos valores da precipitação pluviométrica, o que justifica os valores subestimados apresentados para essa região. Quando comparados os mapas de interpolação, pode-se ver uma semelhança nítida na maioria das regiões, sendo o Litoral 1 e 2 novamente as mais discrepantes, com subestimativa de valores. As regiões que apresentaram espacializações semelhantes nas duas fontes, foram Ibiapaba, Sertão Central e Inhamuns, Baturité, e Jaguaruana com classes semelhantes na distribuição dos valores de precipitação.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em suma, foi possível analisar o desempenho e similaridade da estimativa de precipitação do CHIRPS e da precipitação aferida em superfície pela FUNCEME. Nesse contexto, todas as regiões pluviometricamente homogêneas apresentaram altos níveis de

correlação de Pearson e altos valores de coeficiente de determinação, acima de 0.98 para todas as regiões (média da região Nordeste, de acordo com Costa et al., 2019), demonstrando uma conexão e similaridade dos dados comparados. Em relação aos erros sistemáticos, foi possível constatar uma superestimativa ou subestimativa para todas as regiões. As menores porcentagens de erros sistemáticos são atribuídas às regiões de Jaguaribana, Ibiapaba e Baturité, todas abaixo de 15% de erro médio. Os maiores erros estão nas regiões do Litoral 1, 2 e 3, e Sertão Central e Inhamuns, com valores médios próximos a 30% de erro.

Através das interpolações é possível notar as diferenças e semelhanças da distribuição espacial nas duas fontes de dados, reforçando a avaliação estatística por região. A espacialização da grade original do CHIRPS revela uma densidade de informações a ser validada, necessitando de estudos futuros complementares, com uma maior cobertura de pontos amostrais e diferenciações de escala temporal, a fim de avaliar quais os períodos de maior déficit de estimativa. Por tanto, conclui-se que com base nesse estudo, os dados CHIRPS são válidos para utilização em pesquisas de cunho ambiental e climatológicos.

Sabendo da ainda perceptível escassez de dados in situ, os produtos CHIRPS podem ser de grande valia. Ainda é necessário avaliar outros aspectos importantes, como os períodos distintos de coleta de dados e como se comportam os dados mensais, tendo em vista a grande variabilidade intra anual, no entanto, as avaliações revelam um resultado satisfatório em relação aos produtos para o estado do Ceará, recomendando-se a atualização dos mesmos para diversos estudos, principalmente considerando municípios no estado que possuem apenas um posto pluviométrico, não sendo capaz de demonstrar a realidade.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da Bolsa pelo Programa de Excelência Acadêmica, Modalidade Doutorado, junto ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará (PPGGEOGRAFIA –UFC).

REFERÊNCIAS

AIRES, U. R. V.; MELO NETO, J. de O.; MELLO, C. R. de. Estimativas de precipitação derivadas do satélite TRMM para a bacia hidrográfica do rio Paraopeba, MG. **REVISTA SCIENTIA AGRARIA**, v. 17, n. 2, p. 57-66, 2016.

AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B. da.; RODRIGUES, M. F. G. Previsão Estatística das Chuvas de Outono no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 13, n. 1, p. 19-30, 1998.

BABA, R. K.; VAZ, M. S. M. G.; COSTA, J. da. Correção de dados agrometeorológicos utilizando métodos estatísticos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n.4, 2014.

BAI, L.; SHI, C.; LI, L.; YANG, Y.; WU, J. Accuracy of CHIRPS Satellite-Rainfall Products over Mainland China. **Remote Sensing**, v. 10, n. 3, 2018.

BARBIERI, G. M. L. **Eventos de chuva extrema associados a sistemas atmosféricos de escala sinótica e escala local no estado do Ceará**. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2015.

BAYISSA, Y.; TADESSE, T.; DEMISSE, G.; SHIFERAW, A. Evaluation of Satellite-Based Rainfall Estimates and Application to Monitor Meteorological Drought for the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. **Remote Sensing**, v. 9, n. 7, p. 669, 2017.

COSTA, J.; PEREIRA, G.; SIQUEIRA, M. E.; CARDOZO, F.; SILVA, V. V. da. Validação dos dados de precipitação estimados pelo Chirps para o Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, p. 228-243, 2019.

CRUCIANI, D. E.; MACHADO, R. E.; SENTELHAS, P. C. Modelos da distribuição temporal de chuvas intensas em Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.1, p.76-82, 2002.

FUNK, C.; VERDIN, J.; MICHAELSEN, J.; PETERSON, P.; PEDREROS, D.; HUSAK, G. A global satellite assisted precipitation climatology. **Earth System Science Data Discussions**, v. 7, p. 1–13, 2015.

GAN, M. A.; KOUSKY, V. E. Vórtices ciclônicos da alta troposfera no oceano Atlântico Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**; 1986, v1, 19-28.

HASTENRATH, S. Exploring the climate problems of Brazil's Nordeste: a review. **Climate Change**, v. 112, n. 2, p. 243-251, 2012.

HIEIRA, M. D.; LIMA JÚNIOR, A. F.; ZANELLA, M. E. Tendências da precipitação no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, p. 300-321, 2019.

KATSANOS, D.; RETALIS, A.; MICHAELIDES, S. Validation of a high-resolution precipitation database (CHIRPS) over Cyprus for a 30-year period. **Atmospheric Research**, v. 169, Part B, p. 459 – 464, 2016.

MARCUZZO, F. F. N.; ANDRADE, L. R. de; MELO, D. C. R. Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 04, p. 793-804, 2011.

MARENGO, J.A.; ALVES, L.M.; ALVALA, R.C.S.; CUNHA, A.P. BRITO, S.; MORAES; O.L.L. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 2, p. 1973-1985, 2018.

PAREDES-TREJO, F. J.; BARBOSA, H. A.; KUMAR, T. V. L. Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 139, p. 26-40, 2017.

RIVERA, J. A.; MARIANETTI, G.; HINRICHS, S. Validation of CHIRPS precipitation dataset along the Central Andes of Argentina. **Atmospheric Research**, v. 213, n. 15, p. 437 – 449, 2018.

RODRIGUES, R.R.; MCPHADEN, M.J. Why did the 2011-2012 La Niña cause a severe drought in the Brazilian Northeast? **Geophysical Research Letters**, v. 41, n. 3, p. 1012-1018, 2014.

SILVA, C. B.; SILVA, M. E. S.; AMBRIZZI, T.; TOMMASELLI, J. T. G.; PATUCCI, N. N.; MATAVELI, G. A. V.; LIMA, B. S.; CORREA, W. C. Precipitação na América do Sul – dados obtidos em estações meteorológicas automáticas e sistemas orbitais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, p. 54-79, 2019

SOARES, L. P. **Caracterização climática do estado do Ceará com base nos agentes da circulação regional produtores dos tipos de tempo**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2015.

XAVIER, T. M. B. S. **Tempo de Chuva** - Estudos Climáticos e de Previsão para o Ceará e Nordeste Setentrional, ABC Editora, Fortaleza-Ceará, 2001, 478 p.

XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F. S. Caracterização de Períodos Secos ou Excessivamente Chuvosos no Estado do Ceará Através da técnica dos Quantis: 1964-1998. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Brasil, v. 14, n.2, p. 63-78, 1999.

ZANELLA, M. E. Caracterização Climática e os recursos hídricos do Estado do Ceará. In: SILVA, J. B. da; DANTAS, E. W.; CAVALCANTE, T. (Org.). **Geografia do Ceará:** um novo olhar geográfico. Fortaleza: Ed. Demócrito Rocha, 2005.