

Análise comparativa dos dados pluviométricos de satélite e de superfície em bacia hidrográfica semiárida

Davi Rodrigues Rabelo ^{1*}, Marcos Ronielly da Silva Santos ², Mario Rodrigues Pinto De Sousa Filho ³

¹Doutorando em Geografia, Universidade Estadual do Ceará, Brasil. (*Autor correspondente: dv_rr@hotmail.com)

²Doutor em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, Brasil.

³Mestrando em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 09/03/2022 – Revisado em: 26/03/2022 – Aceito em: 30/03/2022

RESUMO

O objetivo do presente trabalho é analisar os dados pluviométricos obtidos por superfície e por satélite para uma bacia hidrográfica semiárida. Foi utilizado produto de sensoriamento remoto, disponibilizado pelo Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS) com base nas estimativas e dados de alta resolução espacial (5 Km) de uma série temporal de 40 anos (1981-2021) e dados disponíveis de 28 postos pluviométricos na bacia hidrográfica entre os anos de 1994 a 2014. Diante disso, foi possível a geração de mapas e as correlações entre as diferentes obtenções de dados, mostrando-se a espacialização e as estimativas pluviométricas. Os resultados mostraram que o CHIRPS tem boa capacidade de espacialização dos dados quando comparados aos dos postos pluviométricos, além de apresentar maior série de dados pluviométrico do que um posto convencional. No entanto, no máximo e mínimo estimados pelo satélite, o mesmo foi subestimado em relação aos dados de superfície. Por tanto, o CHIRPS é um ótimo produto de espacialização dos dados pluviométricos na ausência de um número significativo de postos pluviométricos em determinada região.

Palavras-Chaves: Pluviometria, CHIRPS, Postos pluviométricos.

Comparative analysis of satellite and surface rainfall data in a semiarid basin

ABSTRACT

The objective of the present work is to analyze the rainfall data obtained by surface and for satellite for a basin hidrográfica semiárida. Product of remote sensing, available for Climate Hazards Group was used InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS) with base in the estimates and data of high space resolution (5 Km) of a 40 year-old temporary series (1981-2021) and available data of 28 put pluviométricos in the basin among the years from 1994 to 2014. Before that, it was possible the generation of maps and the correlations among the different obtainings of data, being shown the espacialização and the rainfall estimates. The results showed that CHIRPS has good capacity of espacialização of the data when compared to the of the rainfall positions, besides presenting larger series of rainfall data than a conventional position. However, in the maximum and minimum esteemed by the satellite, the same was underestimated in relation to the surface data. For so much, CHIRPS is a great product of espacialização of the rainfall data in the absence of a significant number of put.

Keywords: Pluviometry, CHIRPS, Pluviometric stations.

Rabelo, D.R., Santos, M.R., Sousa Filho, M.R. (2022). Análise comparativa dos dados pluviométricos de satélite e de superfície em bacia hidrográfica semiárida. **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v.3, n.1, p. 63-75.



Direitos do Autor. A revista utiliza a licença *Creative Commons* - CC Atribuição Não Comercial 4.0 CC-BY-NC.

1. Introdução

Uma melhor compreensão do padrão de variabilidade climática em distintas escalas espaciais e temporais é crucial para o fornecimento de informações rigorosas baseadas em evidências, permitindo os formuladores de políticas em todos os níveis do processo a tomada de decisão, orientação do desenvolvimento e implementação de medidas mitigadoras em uma determinada região (Conway et al., 2015; Nam et al., 2016, Duc et al., 2019). Nas escalas global e regional, uma variedade de estudos investigou os padrões de mudança das variáveis climáticas ao longo do espaço e do tempo, obtendo valiosas informações acerca do assunto (Kundu et al., 2015; Nam et al., 2016; Duc et al., 2019).

Para compreender melhor o resultado das pesquisas no que tange à interferência do clima no espaço geográfico, o Sistema de Informações Geográficas (SIG) tem contribuindo para potencializar o entendimento da espacialização dos dados meteorológicos com diversos softwares para elaboração de mapas temáticos, além do auxílio dos produtos do sensoriamento remoto, da geoestatística e técnicas de análise de dados, no qual possuem grande importância nos estudos de Climatologia (Gois et al., 2015; Arowolo et al., 2017; Javari, 2017; Medeiros et al., 2019). Diferentes estudos têm mostrado bons resultados com o uso de técnicas geoestatísticas na representação espaço-temporal das chuvas em diversas regiões brasileiras (Rabelo & Almeida, 2019; Vessia et al., 2020; Xavier Júnior et al., 2020; Silva et al., 2021).

De acordo com Wanderley et al. (2014), as técnicas de geoestatística consideram que a distribuição espacial da precipitação é definida por uma função aleatória, dentro da região de estudo, preenchendo espaços que não são cobertos por estações de monitoramento. A ausência de dados climatológicos são uma das limitações frequentes para se compreender e modelar a variabilidade espacial e/ou temporal de vários processos meteorológicos de uma área, podendo apresentar erros em suas variáveis, pois há existência de falhas nos modelos, requerendo uma maior atenção as séries mensais.

Com o avanço na área de Sensoriamento Remoto (SR), a estimativa de precipitação por satélite tornou-se um método alternativo para coleta de dados, o que reduz a grande apreensão de não ou indisponibilidade de dados em postos pluviométricos (Dembele & Zwart, 2016; Paredes-Trejo et al., 2017; Ayehu et al., 2018; Bai et al., 2018). Um dos exemplos desse avanço é os dados da Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS), que é um produto de precipitação baseado em satélite em grade de longo prazo.

O padrão do clima semiárido na região Nordeste mantém uma estreita relação com o deslocamento ou migração da Zona de Convergência inter-Tropical (ZCiT) e outros fenômenos climáticos. A chuva, ou ausência dela, traz diversas consequências socioeconômicas na região. A necessidade de monitoramento para gestão hídrica nessas áreas é de fundamental importância, pois conhecendo o seu comportamento ajudará políticas públicas de convivência com semiárido. Aplicabilidade de técnicas de monitoramento mais barata se torna, por vezes, solução ao problema da escassez de dados pluviométricos.

Assim, o presente trabalho irá analisar por meio de comparação as diferentes técnicas de obtenção de dados pluviométricos de superfície e de satélite em uma bacia hidrográfica semiárida, permitindo mostrar as variações espaciais ou não desses métodos na região pesquisada.

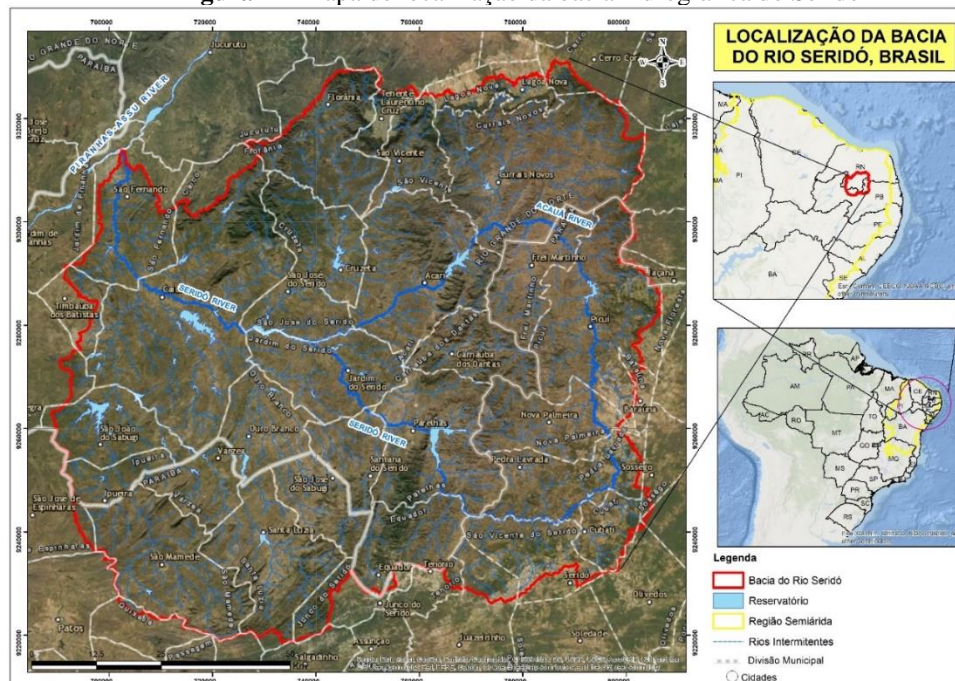
2. Material e Métodos

2.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo da pesquisa é a bacia hidrográfica do Rio Seridó (10 mil km²), que é a principal sub-bacia do Rio Piranhas-Assu, localizada entre os estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba, no nordeste brasileiro, com centro de coordenadas UTM SIRGAS2000 24S em 746.070 E e 9.272.215 S (Figura 1). A região do Seridó é dividida em quatro partes: Seridó ocidental potiguar, Seridó oriental potiguar, Seridó ocidental paraibano e Seridó oriental paraibano.

No Seridó potiguar são encontradas as sedes municipais de São Fernando, Caicó, São João do Sabugi, Ipueira, Ouro Branco, Santana do Seridó, Parelhas, Equador, Jardim do Seridó, Carnaúba dos Dantas, São José do Seridó, Cruzeta, Acari, Currais Novos, São Vicente, Florânia, Tenente Laurentino Cruz e Lagoa Nova. No Seridó paraibano são encontradas as sedes municipais de Frei Martinho, Picuí, Nova Palmeira, Pedra Lavrada, Seridó, Cubati, São Mamede e Santa Luzia.

Figura 1 – Mapa de localização da bacia hidrográfica do Seridó



Fonte: Elaborado pelos autores.

A bacia hidrográfica do Seridó apresenta clima do tipo BSW'h (clima semiárido quente) segundo a classificação de kppen, com características marcantes de irregularidades espaço-temporal das precipitações, que estão em torno de 500 mm anuais, podendo ocorrer com primazia entre janeiro e junho. As condições climáticas são impostas por diversos fatores como o fator do posicionamento relativo à circulação global para a ocorrência do clima semiárido no Nordeste brasileiro, assim como, outras influências que regem e/ou influência a dinâmica atmosférica como é o caso do relevo (Nimer, 1979; Conti, 1995; Alves et. al. 2006).

No Nordeste Brasileiro (NEB), é nítida a característica de haver dois períodos distintos na distribuição da precipitação, principalmente em sua região mais semiárida, em que o período chuvoso se concentra nos seis primeiros meses do ano, com um período mais seco nos últimos seis meses (Alves et. al. 2017), onde o total anual não exceda 800 mm (Nimer, 1979; Conti, 1995; FUNCEME, 2021; Sousa Filho et al., 2022).

Durante o período chuvoso, ocorre a atuação de alguns sistemas atmosféricos que trazem precipitação para a região (os maiores totais acumulados ocorrem durante o mês de março, na porção setentrional nordestina). O principal deles é a Zona de Convergência do Intertropical (ZCIT), principal causador de precipitação no setor do NEB a partir de fevereiro (Alves et. al. 2006). A ZCIT é a faixa de encontro dos ventos alísios de nordeste com os de sudeste, e sua posição coincide aproximadamente com o equador térmico (Varejão-Silva, 2006).

As variabilidades interanuais da precipitação nas regiões norte e nordeste da América do Sul têm sido associadas ao fenômeno do El Niño Oscilação Sul (ENOS) em suas fases El Niño e La Niña (Kayano &

Marengo, 1992; Sodre e Rodrigues, 2013). Anomalias positivas e negativas da temperatura da superfície do mar (TSM) no Oceano Pacífico associadas ao El Niño ou La Niña produzem circulações anômalas de grande escala na atmosfera, gerando impactos significativos no clima da região da América do Sul (Aceituno, 1988; Grimm et al., 2000; Grimm, 2004; Sodre e Rodrigues, 2013). Diante disso, em anos que acontecem La Niña geralmente há aumento da pluviosidade no nordeste brasileiro, enquanto que no El Niño acontece o inverso, baixa pluviosidade no nordeste brasileiro. Outro fenômeno climático que ocorre no Nordeste é o Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), que penetra na região entre os meses de novembro e março, mas com maior intensidade e frequência principalmente em janeiro, modificando as condições de tempo em todo NEB por vários dias (Alves et.al, 2006). O VCAN corresponde a um sistema atmosférico caracterizado pelo turbilhamento do ar em altos níveis da atmosfera, cobrindo extensas áreas, sendo formadas por um aglomerado de nuvens, originárias no Oceano Atlântico (Ferreira & Mello, 2005; Sodre e Rodrigues, 2013).

Além disso, o último grande sistema atuante são os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), de acordo Ferreira & Mello (2005) são ondas que se formam no campo de pressão atmosférica, na faixa tropical do globo terrestre, na área de influência dos ventos alísios, e se deslocam de leste para oeste, ou seja, desde a costa da África até o litoral leste do Brasil.

2.2 Dados dos postos pluviométricos

O procedimento metodológico nesta fase foi realizado a partir de 2 etapas: 1) Seleção dos 28 postos pluviométricos na bacia hidrográfica do Seridó e 2) Tabulação dos dados pluviométricos disponibilizados pela Agência Estadual de Águas da Paraíba (Tabela 1). Os dados consultados foram da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA) e a Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN) no que tange aos dados pluviométricos. O mapa pluviométrico teve como base às médias anuais de 1994 a 2014, sendo desconsiderado os anos no qual não existem dados pluviométricos.

Tabela 1 - Média anual dos Dados pluviométricos (1994-2014) dos postos da bacia hidrográfica do Seridó

Município	Pluviometria (mm)
Acari	639,43
Caicó	559,11
Cruzeta	635,52
Currais Novos	484,42
Equador	400,35
J. de Piranhas	589,37
J. do Seridó	529,73
Ouro Branco	542,47
Parelhas	527,28
São João do Sabugi	558,1
T. L.da Cruz	524,54
Florânia	578,27
S. Fernando	627,22
C. dos Dantas	532,42
Ipueira	617,29
São Jose do Seridó	570,89

S. do Seridó	624,05
S. Vicente	552,46
Cubati	413,16
Frei Martinho	454,6
Nova Palmeira	457,58
Pedra Lavrada	438,09
Picuí	410,09
Santa Luzia	510,4
Seridó	437,56
São José do Sabugi	569,03
São Mamede	658,61
Várzea	557,97
Média	534,71

Fonte: Adaptado de AESA e EMPARN.

2.3 Dados do satélite CHIRPS

O produto de precipitação em grade CHIRPS está disponível em alta resolução espacial e séries temporais mais longas de 1981 até o presente. A resolução temporal do CHIRPS é diária, mensal e anual (Funk et al., 2015). O CHIRPS é gerado utilizando três conjuntos de dados: 1) observações in-situ, 2) estimativa baseada em satélite e 3) climatologia de precipitação global (Nawaz et al., 2021).

O conjunto de dados anuais de precipitação do CHIRPS para o presente estudo foi adquirido para o período de 1981 a 2020, incorporando o período dos dados disponíveis dos postos pluviométricos de superfície de 1994 a 2014. Os dados de sensoriamento remoto foram acessados em: <ftp://ftp.chg.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRPS-2.0/>, sob os formatos Esri Bil, GeoTiff e NetCDF. Foi utilizado o Google Engine através da programação de linguagem R para obter os dados de pluviometria. A resolução espacial é torno de 5 km a cada uma hora, ou seja, enquanto os postos pluviométricos têm grandes distâncias (>30 km), os dados fornecidos por satélite possuem muito menos.

2.4 Metodologia

A precipitação foi analisada a partir dos acumulados anuais entre os anos de 1981 a 2020, compreendendo um período de 40 (quarenta) anos de estudo. A análise geoestatística através da utilização das ferramentas do geoprocessamento através do software ArcGIS 10, com método geoestatístico da krigagem, que é um interpolador bastante utilizado na literatura.

A diferença no método de krigagem está no processo de interpolação, em que são utilizadas técnicas de geoestatística. Tais técnicas procuram extrair, de uma aleatoriedade aparente dos dados medidos, as propriedades estruturais probabilísticas do componente regionalizado. Diante disso, é obtida uma função de correlação entre os valores situados em determinada distância e direção no espaço amostrado (Landim & Sturaro, 2002).

Esse método, portanto, foi utilizado para analisar a distribuição das chuvas através das coordenadas dos postos pluviométricos localizados da na bacia hidrográfica do Seridó. Assim, este método se constituiu em estimar um parâmetro para o qual não existiram informações disponíveis, considerando-se que os pontos próximos no espaço tendem a ter valores mais semelhantes do que pontos mais afastados.

De acordo com Miranda (2005), o processo de interpolação é constituído de duas partes, sendo a

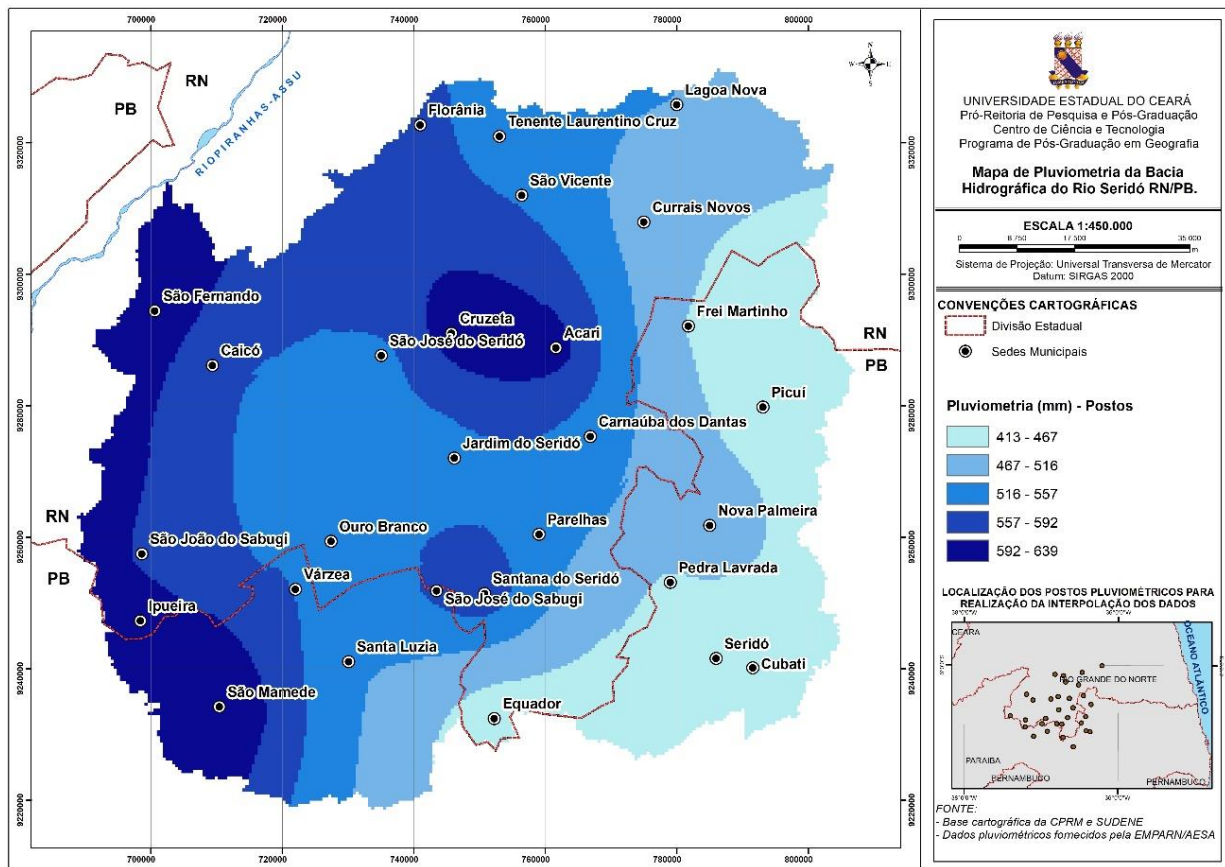
primeira a definição de um relacionamento de vizinhança, e o segundo, a definição de qual método calculará os valores desconhecidos, que no presente trabalho foi a Krigagem. Adquirindo-se como resultado o mapa da distribuição da chuva.

3. Resultados e Discussão

A presente pesquisa utilizou a interpolação dos valores pluviométricos dos postos para obter a distribuição espacial dos dados de chuva que permitiu construir informações a partir de um conjunto discreto de dados pontuais conhecidos (dados pluviométricos) e interpolá-los entre si. Tratou-se de um método que possibilitou a função de conhecer áreas que não foram pontuadas pelas suas abscissas e respectivas ordenadas. A bacia apresenta em média uma pluviosidade de 534,71 mm.

A área a oeste da bacia teve maior pluviometria na região (chegando a 639mm). As maiores manchas de pluviometria na Paraíba tiveram como influência a interpolação dos municípios de Serra Negra do Norte (enclave úmido situado fora da área da bacia) e o município de São Mamede (maior média pluviométrica do Seridó paraibano). A área leste foi a que apresentou os menores acumulados, com valores estimados pela interpolação um pouco acima dos 400mm (413mm).

Figura 2 – Mapa da interpolação da precipitação (mm) dos postos pluviométricos na bacia hidrográfica do rio Seridó

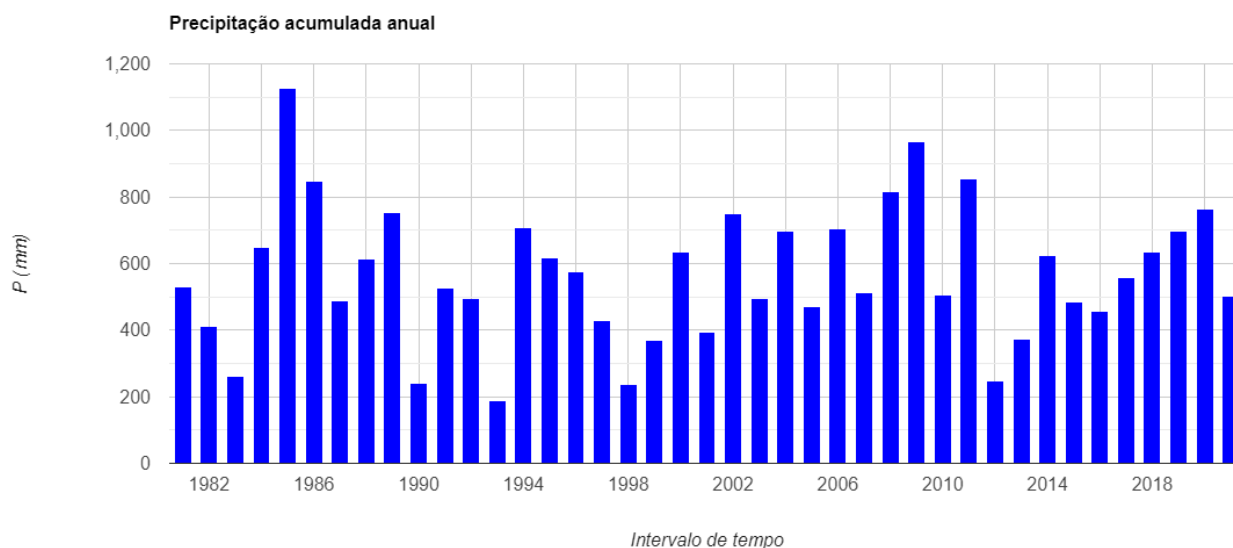


De acordo com a Figura 2, as sedes municipais do Rio Grande do Norte que ficam ao norte da bacia hidrográfica têm ocorrência de médias pluviométricas maiores que nas sedes municipais da Paraíba. Esse fenômeno pode ser entendido a partir da característica da ZCIT (principal agente climático) em seu movimento no hemisfério sul, variando sua latitude na região de estudo entre 6° e 7°, ocorrendo nas áreas de menor latitude, as maiores precipitações (Rabelo & Araújo, 2019).

Nos meses de março e abril, a precipitação tem valores elevados, o que aumenta os valores anuais, dependendo se o ano é acima ou abaixo da média. Essa maior precipitação é condicionada pela ZCIT, que atua mais especificamente nesses meses na região, atrelada com picos de chuvas torrenciais. No começo do ano, mais especificamente no mês de janeiro, o VCAN atua em chuvas de pré-estação chuvosa. De acordo com Santos et al. (2019) o nordeste setentrional sofre influências diretas da ZCIT, que se desloca mais ao sul, e dos vórtices ciclônicos, assim como brisas marítimas e linhas de instabilidade podem afetar o volume pluviométrico nessa região (Gan e Kousky, 1986; Coutinho et al. 2010).

Os dados do CHIRPS apresentaram uma ótima amostragem espacial, visto que o mesmo tem uma resolução espacial de 5 km. A pluviometria de 1981 a 2021 ficou na média entre 331 a 765 mm/ano, que está dentro da média encontrada na região (534 mm). Em alguns anos, teve regiões que registraram chuvas excepcionais como no ano de 1985, no qual teve chuvas acima de mil milímetros; e 2008, com chuvas de mais de 900 milímetros. Santos et al (2019) afirma que esses anos excepcionais foram ocasionados por fenômeno de La Niña. Além disso, Alves et al. (2009) observaram anomalias negativas da TSM no Atlântico Norte e anomalias positivas de TSM no Atlântico Sul, vinculadas a essa maior pluviosidade decorrente de maior atividade convectiva associada à ZCIT.

Figura 3 – Precipitação anual obtida pelos dados do CHIRPS



Fonte: Elaborado pelos autores.

Assim como, também, ocorreram chuvas muito abaixo da média, como em 1990, 1993 e 2011, no qual houve menos de 300 mm na bacia do Rio Seridó (Figura 3). Tais dados reforçam os resultados de estudos na região semiárida que também identificaram secas severas nesses anos (Brito et al., 2018; Cunha et al., 2018; Santos et al.; 2019).

No entanto, quando comparado aos dados de superfície, houve, em alguns anos, entre 1994 a 2014, uma

subestimação dos valores para mais ou para menos, principalmente em se tratando dos extremos pluviométricos (acima ou abaixo da média), conforme Tabela 2.

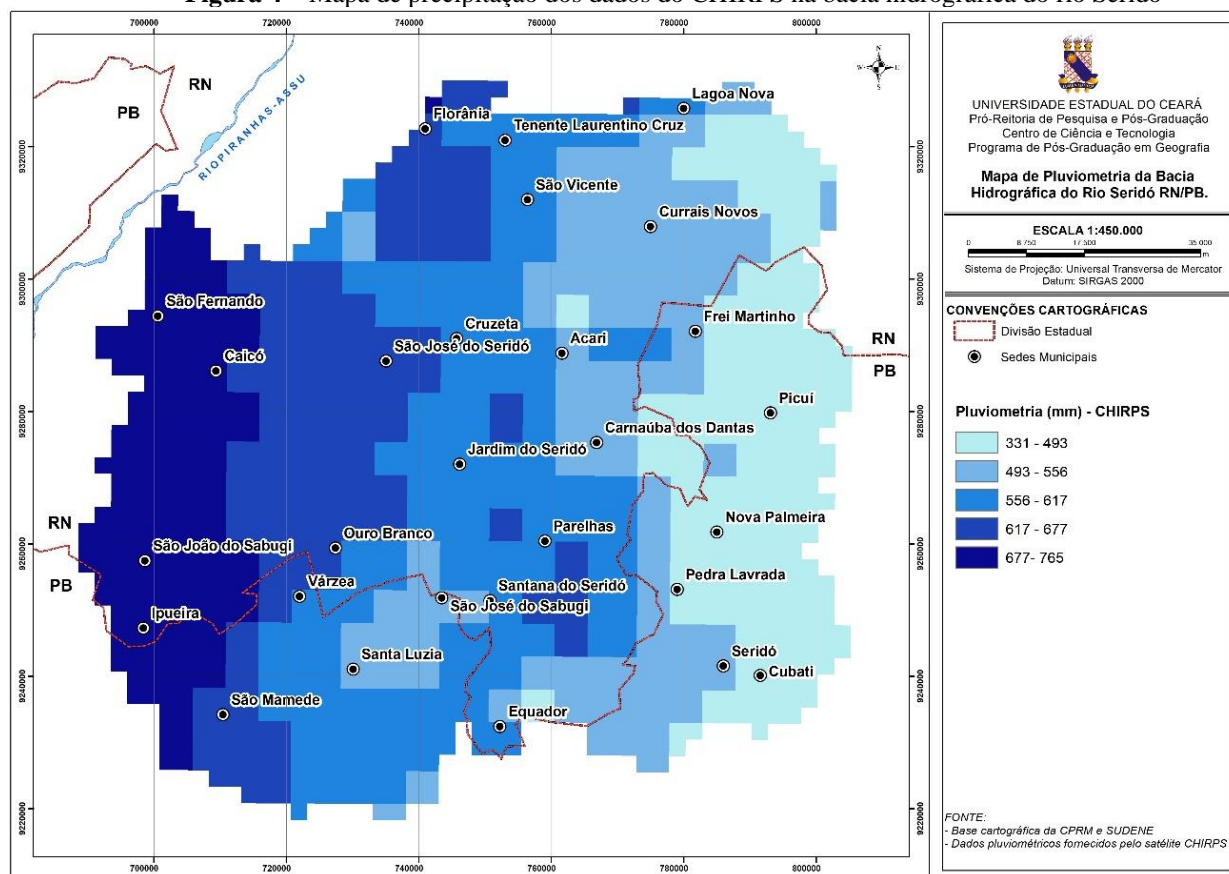
Tabela 2 - Comparação entre os dados de superfície e de satélite

Valores	Postos	CHIRPS
Mínimo	413 mm	331 mm
Máximo	639 mm	765 mm

Fonte: elaborado pelos autores.

Tal fato reforça os resultados encontrados por Paredes-Trejo et al. (2017), que o CHIRPS apresenta superestimação dos menores valores de precipitação e subestimação dos maiores valores (cerca de 100 mm/mês) para o semiárido nordestino. Os autores afirmam que verificamos que o CHIRPS apresenta seu melhor desempenho fora do semiárido do nordeste do Brasil. A mesma tendência foi apresentada por Santos et al. (2019), em que as análises quantitativas evidenciaram que o CHIRPS apresenta erros sistemáticos de subestimativa (viés negativo) e superestimava (viés positivo) nas quatro estações do ano. Já para Santos et al. (2019) que estudou a região costeira do Pará através da estimativa por sensoriamento remoto, os valores próximos de acumulados de precipitação são encontrados em anos de extremos de clima para a região costeira do Pará. A figura 4 apresenta a espacialização dos dados no CHIRPS.

Figura 4 – Mapa de precipitação dos dados do CHIRPS na bacia hidrográfica do rio Seridó



Fonte: Elaborado pelos autores.

Observa-se na Figura 4 um resultado demonstrando-se bastante satisfatório, pois, sem precisar extrapolar informações, a espacialização da chuva se mostrou muito parecido com os dados de superfície. Houve, então, uma certa correlação dos dados espaciais de superfície com os dados de satélite. O resultado do CHIRPS ainda apresentou maior riqueza em regiões onde não há postos pluviométricos, apesar de subestimar em algumas ocasiões. Estudos sobre precipitação estão fundamentados em dados de superfície, evidenciando que a representação da variabilidade espaço-temporal das chuvas pode estar severamente limitada aos dados pontuais, e são geralmente obtidos por meio de interpolação da precipitação pontual medida por estações meteorológicas (Moraes et al., 2005; Amanajás e Braga, 2012; Rogelis e Werner, 2013), assim como foi feita nesse estudo. A interpolação por métodos geoestatísticos representa, nessas áreas que não possuem postos, bastante incertezas. Os dados de satélite espacializaram tão bem quanto a interpolação dos dados de superfície sem a necessidade de usar um interpolar geoestatístico.

Os dados, em termos espaciais, reforçam a concepção de Zambrano-Bigiarini et al. (2017), que os dados de sensoriamento remoto são uma alternativa eficiente para estudos de variabilidade espaço temporal da chuva em extensas regiões com escassos dados, sanando as limitações provenientes das estações meteorológicas de superfície. Além disso, outras pesquisas apontaram o método como ferramenta eficaz (Santos et al., 2017; Santos et al., 2019; Cavalcante et al., 2020) em avaliar processos meteorológico em áreas com ausência de dados de superfície.

4. Conclusão

Diante da climatologia, o trabalho procurou demonstrar, sobretudo, a correlação entre dados de superfície (postos) e dados de satélite (CHIRPS). O trabalho apresentou resultados satisfatório em relação a espacialização dos dados, tanto os postos pluviométricos interpolados pela Krigeagem como os dados obtidos pelo CHIRPS mostraram-se com a espacialização muito parecidas.

Os dados do CHIRPS apresentaram maior detalhamento em áreas onde há ausência de postos pluviométricos, ou seja, apresenta maior representação espacial dos dados. Tal fato, justifica-se pela resolução do satélite. Além disso, não há carência de informações, todos os dados gerados são completos. No entanto, muitos dos pontos do CHIRPS apresentam uma subestimação quando comparado aos dados dos postos pluviométricos.

Os postos pluviométricos apresentam melhor resultado, quando em uma determinada área a quantidade de postos seja suficientemente capaz de suprir boa parte dos espaços. No Seridó, os 28 postos pluviométricos apresentaram boa distribuição, no qual ajudou a fazer a correlação entre os dados de satélite. No entanto, ausência de alguns dados anuais e mensais prejudica uma análise mais precisa na área.

5. Referências

Aceituno, P. (1988). On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector: Part I. surface climate. **Monthly Weather Review**, v. 166, p. 505–524.

Alves, L. M.; Coelho, C.A.S.; Melo, A.B.C.; Pesquero, J.F. (2009). Condições Climáticas observadas no Brasil em 2009. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**. v. 35.

Alves, J. M. B.; Silva, E. M.; Sombra, S. S.; Barbosa, A. C. B.; Santos, A. C. S.; Lira, M. A. T. (2017). Eventos extremos diários de chuva no Nordeste do Brasil e características atmosféricas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S. I.], v. 32, n. 2, p. 227-233.

Alves, J. M. B.; Ferreira, F. F.; Campos, J. N. B.; Filho, F. A. S.; Souza, E. B.; Duran, B. J.; Servain, J.; Stuart, T. M. C. (2006). Mecanismos atmosféricos associados à ocorrência de precipitação intensa sobre o Nordeste do Brasil durante Janeiro de 2004. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S. I.], v. 1, n. 21, p. 56-76.

Amanajás, J. C.; Braga, C. C. (2012). Padrões espaço-temporal Pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando Análise Multivariada. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.27, n.4, 323 – 338.

Arowolo, A. O.; Bhowmik A. K.; Qi, W.; Deng, X. (2017). Comparison of spatial interpolation techniques to generate high - resolution climate surfaces for Nigeria. **Int. J. Climatol.**, v.37, p. 179-192.

Ayehu, G. T.; Tadesse, T.; Gessesse, B.; Dinku, T. (2018). Validation of new satellite rainfall products over the upper Blue Nile Basin, Ethiopia. **Atmos. Meas. Tech.**, ed.11, v. 4,p. 1921-1936.

Bai, L.; Shi, C.; Li, L.; Yang, Y.; Wu, J. (2018). Accuracy of CHIRPS satellite-rainfall products over mainland China. **Remote Sens.**, 10, p. 362.

Brito, S.S.B., Cunha, A.P.M.A, Cunningham,C.C., Alvalá, R.C., Marengo, J.A., Araujo, M. (2018). Frequency, duration and severity of drought in the Brazilian Semiarid. **International Journal of Climatology**. v.38, n.2, p.517-529

Cavalcante, R. B. L.; Da Silva Ferreira, D. B.; Pontes, P. R. M.; Tedeschi, R. G.; Da Costa, C. P. W.; De Souza, E. B. (2020). Evaluation of extreme rainfall indices from CHIRPS precipitation estimates over the Brazilian Amazonia. **Atmospheric Research**, v. 238, p. 104879.

Conti, J. B; Furlan, S. A. (1995). Geoeologia: o clima, os solos e a biota. In: Ross, Jurandyr L. (org). **Geografia do Brasil**. 2ed. São Paulo: Edusp.

Coutinho, M. D. L; Gan, M. A.; Rao, V. B. (2010). Método objetivo de identificação dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis na região Tropical Sul: validação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, p. 311-323,.

Conway, D.; Van Garderen, E.A.; Deryng, D.; Dorling, S.; Krueger, T.; Landman, W.; Lankford, B.; Lebek, K.; Osborn, T.; Ringler, C.; Thurlow, J. ; Zhu, T.; Dalin, C. (2015). Climate and southern Africa's water-energy-food nexus. **Nat. Clim. Change**, v. 5, p 837-846.

Cunha, A.P.M.A., Tomasella J, Ribeiro-Neto Gg, et al. (2018). Changes in the spatial–temporal patterns of droughts in the Brazilian Northeast. **Atmospheric Science Letters**. v.19, n.10.

Dembele, M.; Zwart, S. J. (2016). Evaluation and comparison of satellite-based rainfall products in Burkina Faso, West Africa. **Int. J. Remote Sens.**, ed. 37 v. 17, p. 3995-4014.

Duc, K. N.; Ancev, T.; Randall, A. (2019). Evidence of climatic change in Vietnam: Some implications for agricultural production. **Journal of Environmental Management**, V. 231, p. 524-545.

Ferreira, A. G.; Mello, N. G. S. (2005). Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, vol. 1, nº 1, Presidente Prudente.

- Funk, C.; Verdin, A.; Michaelsen, J.; Peterson, P.; Pedreros, D.; Husak, G. (2015). A global satellite-assisted precipitation climatology. **Earth Syst. Sci. Data**, v. 7, p. 275-287.
- Gan M. A.; Kousky, V.E. (1986). Vórtices ciclônicos da alta troposfera no oceano Atlântico Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 1, 19-28.
- Gois G.; Oliveira-Júnior J.F.; Silva Junior, C.A.; Obral, B.S.S, Bodas Terassi, P.M.; Junior, A.H.S.L. (2020). Statistical normality and homogeneity of a 71-year rainfall dataset for the state of Rio de Janeiro Brazil Theor. **Appl. Climatol.**, v. 14, 1 E.3, p. 1573-1591.
- Grimm, A.M.; Barros, V.R.; Doyle, M.E. (2000). Climate variability in southern South America associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, v. 13, p. 35-58.
- Grimm, A.M. (2004). How do La Niña events disturb the summer monsoon system in Brazil? **Climate Dynamics**, v.22, p. 123-138.
- Javari, M. (2017). Geostatistical modeling to simulate daily rainfall variability in Iran. **Cogent Geosci.**, v. 3, e. 1, p. 1416877.
- Kayano, M.T.; Moura, A.D. (1986). O El Niño de 1982-83 e a precipitação sobre a América do Sul. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.4, p. 201-214.
- Kundu S.; Khare, D.; Mondal, A.; Mishra, P. K. (2015). Analysis of spatial and temporal variation in rainfall trend of Madhya Pradesh, India (1901–2011). **Environ. Earth Sci.**, v. 73, p. 8197-8216.
- Landim, P. M. B.; Sturaro, J. R. (2002). **Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos**. Rio Claro: IGCE/UNESP, Lab. Geomatemática, Texto Didático 06.
- Marengo, J.A. (1992). Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. **International Journal of Climatology**, v. 12, p. 853-863.
- Medeiros, E. S. D.; Lima, R. R. D.; Olinda, R. A. D.; Santos, C. A. C. D. (2019). Modeling spatiotemporal rainfall variability in Paraíba, Brazil. **Water**, v. 11, e. 9, p. 1843, 2019.
- Miranda, J. I. (2005). Embrapa Informação Tecnológica. **Fundamentos de sistemas de informações geográficas**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 425p.
- Moraes, B. C. D., Costa, J. M. N. D., Costa, A. C. L. D., Costa, M. H. (2005). Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. *Acta amazônica*, v.35, p.207-214.
- Nam, W.H, Hong, E.-M, Baigorria, G.A. (2016). How climate change has affected the spatio-temporal patterns of precipitation and temperature at various time scales in North Korea Int. **J. Climatol.**, v. 36, p. 722-734.
- Nawaz, M.; Iqbal, M. F.; Mahmood, I. (2021). Validation of CHIRPS satellite-based precipitation dataset over Pakistan. **Atmospheric Research**, v. 248, p. 1-20.

Nimer, E., (1979). **Climatologia do Brasil**. SUPREN/IBGE. Volume 4.

Paredes-Trejo, F. J.; Barbosa, H. A.; Kumar, T. V. (2017). Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 139, p. 26-40.

Rabelo, D. R.; Almeida, I. C. S. (2019). Uso do geoprocessamento na interpolação de dados pluviométricos no município de Junco do Seridó, PB. **Revista CC&T –Centro de Ciências e Tecnologia da UECE**, Fortaleza/CE, v. 1, n. 1, p. 36-53. Disponível em: <https://revistas.uece.br/index.php/CCiT/>.

Rabelo, D. R.; Araújo, J. C. (2019). Estimativa e Mapeamento da Erosão Bruta na Bacia Hidrográfica do Rio Seridó, Brasil. **Rev. Bras. Geomorfol.** (Online), São Paulo, v.20, n.2, p.361-372.

Rogelis, M. C.; Werner, M. G. F. (2013). Spatial interpolation for real-time rainfall field estimation in areas with complex topography. **Journal of Hydrometeorology**, v. 14, n. 1, p. 85-104.

Santos, M. R. S., Vitorino, M. I., Da Silva Pimentel, M. A., De Oliveira Souto, J. I. (2017). Análise da distribuição espaço-temporal da chuva, na mesorregião metropolitana de Belém-Pará: contribuições da técnica de sensoriamento remoto. **Caminhos de Geografia**, v.18, n.62, p.49-58.

Santos, M. R. S., Vitorino, M. I., Pereira, L. C. C. (2019). Spatiotemporal variation in the precipitation of the amazon coastal zone: use of remote sensing and multivariate analysis. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.25, n. p. 35-53.

Santos, S. R. Q.; Cunha, A. P. M. A.; Ribeiro-Neto, G. G. (2019). Avaliação de dados de precipitação para o monitoramento do padrão espaço-temporal da seca no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, p. 80-100.

Silva, M. V.; Pandorfi, H.; Jardim, A. M. R. F.; Oliveira Júnior, J. F.; Divincola, J. S.; Giongo, P. R.; Silva, T. G. F.; Almeida, G. L. P.; Lopes, P. M. O. (2021). Spatial modeling of rainfall patterns and groundwater on the coast of northeastern Brazil. **Urban Climate**, V. 38, 100911.

Sodré, G. R. C., Rodrigues, L. L. M. (2013). Comparação entre estimativa da precipitação observada pela técnica CMORPH e estações meteorológicas do INMET em diferentes regiões do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 02, p. 301-307.

Sousa Filho, M. R. P.; Rabelo, D. R.; Santos, M. R. S.; Girão, I. R. F. (2022). Uso do geoprocessamento na espacialização de dados pluviométricos na região metropolitana de Fortaleza. **International Journal of Development Research**, v. 12, p. 54473-54479.

Vessia, G.; Di Curzio, D.; Chiaudani, A., Rusi, S. (2020). Regional rainfall threshold maps drawn through multivariate geostatistical techniques for shallow landslide hazard zonation. **Sci. Total Environ**, v. 705, p. 135815.

Xavier Júnior, S. F.; Jale, J. S.; Stosic, T.; Santos, C. A. C.; Singh, V. (2020). Precipitation trends analysis by Mann-Kendall test: a case study of Paraíba, Brazil. **Rev. bras. meteorol.** V. 35, Apr-Jun.

Wanderley, H. S.; Amorim, R. F. C.; Carvalho, F. O. (2014). Interpolação espacial de dados médios mensais

pluviométricos com redes neurais artificiais. **Rev. bras. meteorol.** V. 29, Set. <https://doi.org/10.1590/0102-778620130639>.

Zambrano-Bigiarini, M., Nauditt, A., Birkel, C., Verbist, K., Ribbe, L. (2017). Temporal and spatial evaluation of satellite-based rainfall estimates across the complex topographical and climatic gradients of Chile. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.21, n.2, 1295-1320.