XVIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE
XVIII ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS EM SERGIPE

ANÁLISE DE DESEMPENHO DO ALGORÍTIMO GEOESPACIAL EM ESCALA- CHIRPS – PARA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO DOS PORCOS , SUL DO CEARÁ, BRASIL

Raimundo Glauber Lima Cunha [1]; Idembergue Barroso Macedo de Moura [2]

RESUMO – As estimativas de precipitação por satélite (SPE) têm sido amplamente empregadas em estudos hidrológicos, especialmente em regiões onde a disponibilidade e a distribuição espacial de postos pluviométricos são insuficientes para representar adequadamente a variabilidade espacial da chuva. Nesse contexto, o CHIRPS destaca-se pela sua elevada resolução espacial e temporal, constituindo uma importante ferramenta para estimar dados pluviométricos. O presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho do CHIRPS na estimativa da precipitação mensal e anual (1995 a 2024) da bacia hidrográfica do Riacho dos Porcos, sul do estado do Ceará, abrangendo oVale do Cariri e a Chapada do Araripe. As estimativas foram comparadas com dados in loco através dos indicadores estatísticos: Coeficiente de determinação (R^2), raiz do erro quadrático médio (RMSE), viés percentual (PBIAS) e eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE). Os resultados indicaram elevado desempenho do CHIRPS na escala mensal, apresentando $R^2 = 0,96$ e NSE = 0,95, enquanto na escala anual os resultados indicaram desempenho satisfatório, com $R^2 = 0,73$ e NSE = 0,69. O PBIAS de 3,4% indicou uma leve tendência de subestimativa pelo produto. Os resultados apontam uma ferramenta confiável na estimativa de precipitação para área estudada.

ABSTRACT – Satéllite Precipitation Estimates (SPE) have been widely applied in hydrological studies, especially in regions with limited rain gauge networks and inadequate spatial representation of rainfall variability. In this context, the CHIRPS dataset stands out due to its high spatial and temporal resolution, representing an important tool for estimating rainfall data. This study aimed to evaluate the performance of CHIRPS in estimating monthly and annual (1995 a 2024) rainfall in the Riacho dos Porcos watershed, southern Ceará State, including areas of the Cariri Valley and the Araripe Plateau. the estimates were compared with on-site data using statistical indicators: coefficient of determination (R^2), root mean square error (RMSE), percentage bias (PBIAS), and Nash-Sutcliffe efficiency coefficient (NSE). The results showed excellent CHIRPS performance at the monthly scale ($R^2 = 0,96$ and NSE = 0,95), whereas annual analyses indicated satisfactory performance $R^2 = 0,73$ and NSE = 0,69). The PBIAS of 3,4% indicated a slight underestimation trend. The results demonstrate that CHIRPS is a reliable data source for hydrological applications in the semi-arid region of southern Ceará. The results indicate a reliable tool for estimating precipitation in the studied area

Palavras-Chave – CHIRPS, Precipitação, Bacia Hidrográfica

[1]) Serviço Geológico do Brasil, sede de Fortaleza, Departamento de Hidrogeologia. Rua: Rodrigues Júnior, 840. CEP:60060-000 Fone:(85) 33071810 E-mail:glauber.cunha@sgb.gov.br
[2]) Serviço Geológico do Brasil, sede de Fortaleza, Departamento de Hidrogeologia. Rua: Rodrigues Júnior, 840. CEP:60060-000 Fone:(85) 33071810 E-mail:idembergue.moura@sgb.gov.br

INTRODUÇÃO

O Vale do Cariri está localizado na porção leste da Bacia Sedimentar do Araripe na Região do Cariri ao Sul do Estado do Ceará, sendo a segunda região mais desenvolvida e populosa desse estado, só perdendo para Região Metropolitana de Fortaleza (Cunha, R.L.C.; et al. 2023). Sua importância sócio-cultural e econômica para o estado do Ceará é imprescindível, e tem nos recursos hídricos subterrâneos sua principal fonte de abastecimento onde a grande parte das águas para consumo humano, animal, irrigação, industrias e recreação provém de poços. O conhecimento da pluviometria da região que por sua vez influenica diretamente na recarga dos aquíferos da região é imprescindível. Entretanto, em regiões semiáridas, como o Nordeste brasileiro, a reduzida densidade de estações pluviométricas e a presença de falhas nas séries históricas podem comprometer a representação espacial e temporal dos eventos de chuva.

Nesse contexto, o avanço das técnicas de sensoriamento remoto permitiu o desenvolvimento das Estimativas de Precipitação por Satélite (Satellite Precipitation Estimates – SPE), que oferecem informações contínuas em grandes extensões espaciais e em diferentes escalas temporais. Entre os produtos atualmente disponíveis, o CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations), desenvolvido pelo Climate Hazards Group da Universidade da Califórnia, combina observações de satélite com dados provenientes de estações pluviométricas, fornecendo séries históricas de precipitação com resolução espacial aproximada de 0,05° e cobertura temporal a partir de 1981. Diversos estudos têm demonstrado o potencial do CHIRPS para aplicações hidrológicas e climatológicas em diferentes regiões do mundo. No entanto, o desempenho desse produto pode variar em função das características climáticas, topográficas e da densidade da rede de observação local, tornando necessária a realização de avaliações regionais.

A bacia hidrográfica do Riacho dos Porcos, situada no sul do estado do Ceará e inserida em uma área de transição entre o Vale do Cariri e a Chapada do Araripe, apresenta significativa variabilidade espacial da precipitação em decorrência da influência orográfica exercida pelo relevo da chapada. Dessa forma, a validação do CHIRPS torna-se essencial para verificar sua aplicabilidade em estudos hidrológicos, modelagem ambiental e gestão dos recursos hídricos nessa região. Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho das estimativas de precipitação obtidas pelo produto CHIRPS em comparação com dados pluviométricos observados na bacia

hidrográfica do Riacho dos Porcos, considerando as escalas temporal mensal e anual no período de 1995 a 2024.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de interesse é a bacia hidrográfica do Riacho dos Porcos mostrada na figura 1, correspondente a porção oriental da bacia sedimentar do Araripe com área de drenagem de 4.298 km2 e extensão aproximada do rio principal (riacho dos Porcos) de 93 Km , delimitada pelas coordenadas geográficas: 38º 31’ a 39º 31’ de longitude oeste de Greenwich e 7º 03’ a 7º 46’de latitude sul.

Observa-se pela figura que a bacia se sobrepõe ao sistema aquífero Missão Velha – Rio da Batateira e ao aquífero Mauriti e que no seu exutório chegam os cursos d´água Riacho dos Porcos e Rio das Batateiras os quais confluem para formação do rio Salgado que tem bacia hidrográfica com área de 12.216 Km^2 , que por sua vez é afluene do rio Jaguaribe cuja bacia é de alta expressividade no Estado do Ceará .

Do ponto de vista climático, a área está inserida no domínio semiárido do Nordeste brasileiro, apresentando regime pluviométrico caracterizado por elevada irregularidade temporal e espacial. A precipitação concentra-se predominantemente entre os meses de janeiro e maio, em associação à atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), sistemas convectivos de mesoescala e outros sistemas atmosféricos atuantes na região Nordeste. O relevo constitui um fator importante na distribuição espacial das chuvas, destacando-se a influência da Chapada do Araripe, cuja topografia favorece a ocorrência de efeitos orográficos que contribuem para maiores índices pluviométricos em determinados setores da bacia. Essa heterogeneidade espacial abre um espaço para utilização de ferramentas capazes de representar adequadamente a variabilidade da precipitação, como os produtos de estimativa de precipitação por satélite.

A região em estudo representa parte da bacia sedimentar do Araripe que é constituída por um vasto planalto, a Chapada do Araripe a qual se caracteriza pela ausência de rede de drenagem e pelo setor torrencial nas vertentes da chapada até o seu sopé com contribuições em forma de fontes pontuais ou difusas e por planícies que circundam a chapada . No Vale do Cariri encontram-se o aquífero Mauriti e o Sistema Aquífero Missão Velha-Rio da Batateira responsável pelo abastecimento dos maiores centros urbanos da região tendo como cidades principais: Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha, Missão Velha, Abaiara, Milagres, Mauriti, Brejo Santo e Porteiras beneficiando uma

população aproximadamente de 753.697 habitantes segundo Censo do IBGE de 2022. A figura 1 mostra a bacia em estudo e os aquiferos que estão subjacentes.

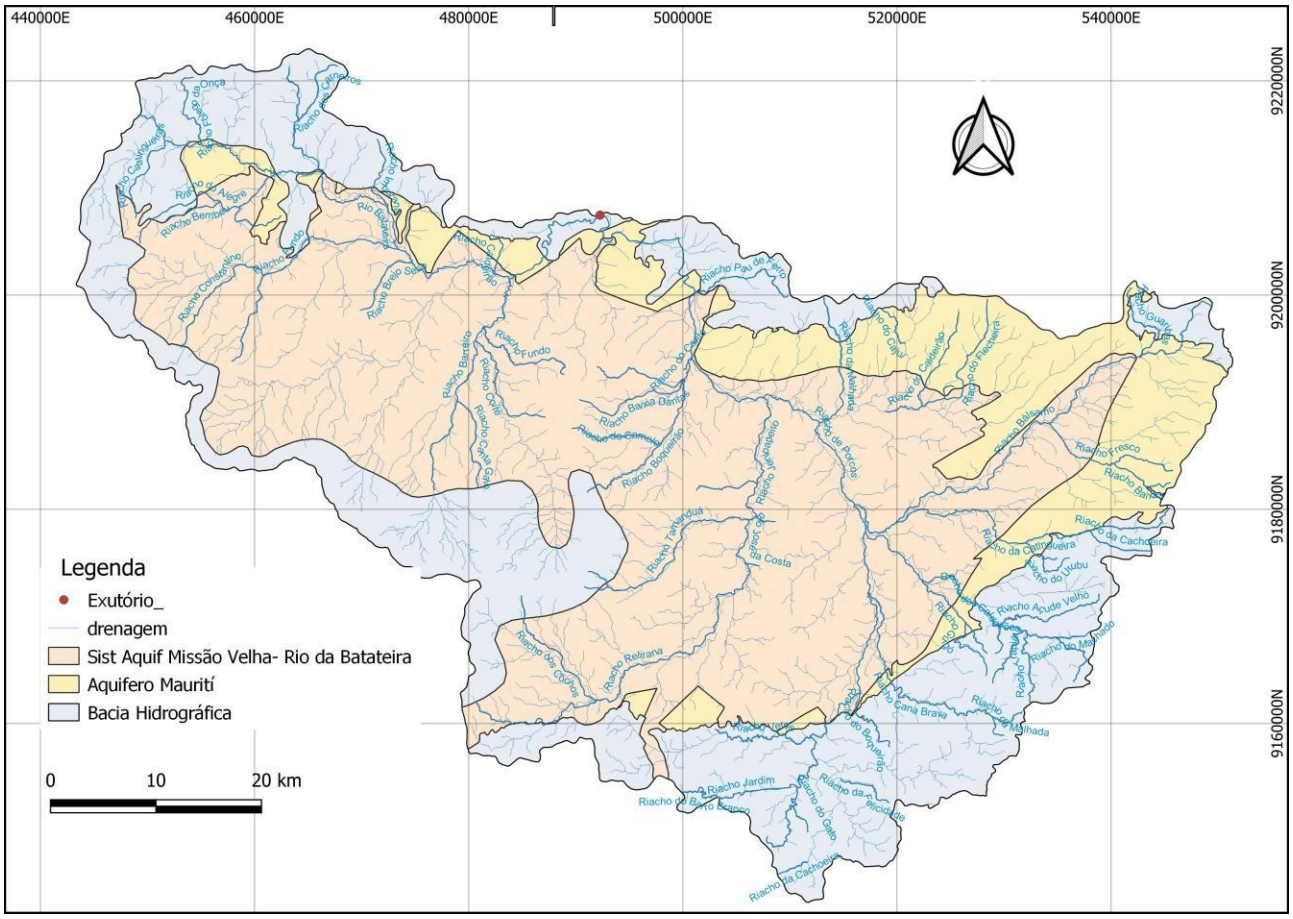


Figura 1 – Bacia Hidrográfica e Aquíferos: Cunha, R.L.C.; et al. 2023

METODOLOGIA

Para efeitos comparativos, primeiro constituiu-se a normal climatológica pluviométrica para a bacia hidrográfica em questão. Foram selecionadas 32 estações pluviométricas, dentro da bacia, para montagem da série histórica. Foi feito todo o estudo necessário de preenchimento de falhas e análise de consistência de dados de precipitação para os postos pluviométricos que apresentaram falhas mensais ou lacunas. A normal climatológica adotada para este estudo vai de 1995 a 2024 (30 anos). A aquisição dos dados das estações pluviométricas se deu através do portal Web da Fundação Cearense de Meteorologia (www.funceme.br). A tabela 1 evidencia as estações pluviométricas selecionadas com as respectivas coordenadas.

Tabela 1 - Estações Pluviométricas selecionadas para o estudo e suas respectivas coordenadas

Coordenadas	Porteiras	Missão Velha	Milagres	Mauriti	Crato	Juazeiro do Norte	Brejo Santo	Barbalha	Abaiara	Quixabinha	Jamacaru	Poço do Pau	Caririaçu	Água Vermelha	Comun Valdevido	Vila São Gonçalo
Latitude	07° 31' 59"	07° 14' 55,7"	07° 18' 41,4"	07°23' 40,2"	07° 07' 07"	07° 14' 45,6"	07° 29' 21,0"	07° 18' 25,9"	07° 21' 41,4"	07° 30' 10,1"	07° 24' 31"	07° 32' 56,4"	07° 02' 47,8"	07° 24' 27,0"	07° 12' 58,0"	07° 10' 59,9"
Longitude	39° 07' 14,2"	39° 08'47,8"	38° 57' 2,5"	38° 46' 26,7"	39° 25' 45,1 "	39° 18' 5,8"	38° 59' 7,4"	39° 18' 5,8"	39° 02' 7,8"	38° 44' 52,4"	39° 07' 39"	38° 50' 16,4"	39° 17' 7,4"	38° 55' 53,8"	39° 00' 42,8"	39° 13' 52,7"
	Sitio Saco_Milagres	**Sitio Saco_Porteiras**	**Serra Brava**	**São Miguel**	**Mararupa**	**Lameiro**	**Gameleira São Sebastião**	**Dom Quintino**	**Sitio Macapá**	**Penaforte**	**Serra Brejinho**	**Jardim**	**Santa Fé**	**Serra Boca da Mata**	**Jardim Mirim**	**Jati**
Latitude	07° 11' 0,2"	07° 30' 6,5"	07° 15' 1,1"	07°23' 11,0"	07° 15' 4,0"	07° 13' 58,8"	07° 24' 34,6"	07° 02' 29,00"	07° 40' 39,72"	07° 49' 45,5"	07° 35' 55"	07° 35' 00"	07° 09' 42,5"	07° 32' 13,9"	07° 35' 22,6"	07° 41'24,4"
Longitude	39° 13' 52,7"	39° 10' 23,2"	38° 48' 31,7"	38° 40' 14,2"	38° 45' 51,5"	39° 25' 0,1"	39° 12' 46,4"	39° 28' 16,3"	39° 00' 41,7"	39° 04' 18,5"	39° 19' 174"	39° 16' 44,04"	39° 32' 11,0"	39° 15' 48,2"	39° 12' 1,1"	39° 00' 32,4"

Foi utilizado para geração dos dados pluviométricos por satélite o algorítimo geoespacial: Climate Hazards Center InfraRed Precipitation with Station Data (CHIRPS Daily Versão 2.0 Final), o CHIRPS foi desenvolvido pelo Climate Hazards Center da Universidade da Califórnia em Santa Bárbara, tem um conjunto de dados de precipitação diária quase global de mais de 30 anos com data inicial de 01/01/1981, incorpora imagens de satélite com resolução 0,05º x 0,05º (5,3 Km), abrangência espacial de 60º S – 60º N - 180ºW -180º E , método de estimativa infravermelho, com dados de estações in situ, empregando técnicas de interpolação e correção estatística que possiblitam melhorar a representação espacial da precipitação, principalmente em regiões com baixa densidade de estações para monitoramento.

Conforme dito, foram utilizados dados de postos pluviométricos inseridos na bacia hidrográfica do Riacho dos Porcos como base para validar a qualidade dos dados produzidos por satélite (1995-2024), tanto a nível mensal quanto anual. Utilizou-se as métricas de desempenho amplamente utilizadas em estudos hidrológicos para avaliar o grau de incerteza do estimador CHIRPS. Os indicadores utilizados foram: **R^2 (**coeficiente de determinação), **MSE** (Erro Médio Absoluto), **RMSE** (Root Mean Square Error), **Percent BIAS** (Viés Percentual) e **NSE** (coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe).

- Coeficiente de determinação (R^2) - É uma medida que indica o quanto da variabilidade dos dados observados é explicada pelo modelo. Varia entre 0 e 1 (0 a 100%) , quanto mais próximo de 1 (100%) melhor o ajuste.

$$R^2 = \left[\frac{[\sum_{i=1}^{n} (y_i^p - \bar{y}^p) \cdot (y_i^o - \bar{y}_i^o)]^2}{\sqrt{(\sum_{i=1}^{n} (y_i^p - \bar{y}^p)^2) \cdot (\sum_{i=1}^{n} \cdot (y_i^o - \bar{y}_i^o)^2)}} \right]^2 \quad (1)$$

onde:

y^o: valores observados

y^p: valores estimados

$\bar{y}^o$: média dos valores observados

$\bar{y}^p$: média dos valores estimados

n: número de observações

Moriasi et al. (2007) classificou os podrões da seguinte forma:

- Root Mean Square Error (RMSE) – É uma medida da magnitude do erro entre os valores previstos e os valores observados. Indica o quão distantes estão os valores previstos dos observados. Quanto menor, melhor é o desempenho do modelo, ou seja, quanto menor o RMSE menor a incerteza dos dados .

$$RSME = \sqrt{\frac{1}{n}} \sum_{i=1}^{n} (y_o - y_p)^2 \quad (2)$$

onde:

y_o: valores observados

y_p: valores previstos

$\bar{y}$: média dos valores observados

n: número de observações

- Coeficiente de Eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) - É uma métrica que compara o desempenho do modelo com uma previsão baseada apenas na média dos dados observados. NSE > 0,75 ajuste **"muito bom"**, 0,65 < NSE< 0,75 ajuste **"bom",** 0,5 < NSE< 0,65 ajuste **"ruim"** e NSE< 0,5 ajuste "**inadequado**" .

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} (y_o - y_p)^2}{\sum_{i=1}^{n} (y_o - \bar{y})^2} \quad (3)$$

onde:

y_o: valores observados

y_p: valores previstos

$\bar{y}$: média dos valores observados

n: número de observações

- Percent Bias (PBIAS) - Mede a tendência do modelo em superestimar ou subestimar os valores observados. Expressa o viés em termos percentuais

  PBIAS < ± 10% ajuste **"muito bom"**, 10% ≤ PBIAS < ± 15% ajuste **"bom",** 15% ≤ PBIAS < ± 25% ajuste **satisfatório** , PBIAS ≥ ± 25% ajuste **insatisfatório**

$$PBIAS = 100\ x\ \frac{\sum_{i=1}^{n} (y_o - y_p)}{\sum_{i=1}^{n} y_o} \quad (4)$$

onde:

y_o: valores observados

y_p: valores previstos

n: número de observações

Um outro indicador estatístico bastante utilizado em estudos hidrológilcos é o Erro Médio Abasoluto.

- Erro Médio Absoluto (MAE) - Avalia a magnitude média dos erros

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} |(y_{p-} y_o)| \quad (5)$$

y_o: valores observados

y_p: valores previsto

n: número de observações

RESULTADOS E CONCLUSÕES

A avaliação do desempenho do produto de estimativa de precipitação por satélite (SPE) **CHIRPS** (*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data*) revelou uma elevada concordância a nivel mensal entre os conjuntos de dados, reproduzindo significativamente o regime pluviométrico da bacia hidrográfica do riacho do Porcos, conforme demonstrado pelo diagrama de dispersão com histogramas marginais da figura 2. A linha tracejada representa a regressão linear entre as variáveis, enquanto a linha contínua 1:1 indica a condição de concordância perfeita. Os pontos acima da linha de identidade correspondem a eventos superestimados pelo CHIRPS, enquanto os pontos abaixo representam eventos subestimados. A distribuição dos pontos em torno da linha de identidade (1:1) revela que o produto foi capaz de reproduzir adequadamente a variabilidade temporal da precipitação na área de estudo apresentando pequenas discrepâncias entre os valores estimados e observados, porém dentro dos padroões aceitáveis. O elevado coeficiente de correlação de Pearson (r = 0,977) e o coeficiente de determinação (R^2 = 0,96) indicam forte relação linear entre as séries, evidenciando que aproximadamente 96% da variabilidade observada foi representada pelo CHIRPS. A análise do viés sistemático revelou um PBias de 3,4%, indicando uma leve tendência do produto em subestimar a precipitação. Entretanto, a magnitude reduzida desse erro (menor que 10%) demonstra que a subestimação não compromete a capacidade do CHIRPS em representar o regime pluviométrico local. As métricas de erro absoluto médio (MAE = 11,2 mm) e raiz do erro quadrático médio (RMSE = 20,1 mm) indicam que os desvios entre as estimativas e as observações foram relativamente baixos, considerando a amplitude dos eventos de precipitação registrados durante o período analisado. Além disso, a elevada eficiência de Nash–Sutcliffe (NSE = 0,95) classifica o desempenho do CHIRPS como excelente, reforçando a confiabilidade do produto para aplicações em estudos hidrológicos, climatológicos e de monitoramento de recursos hídricos.

A análise dos histogramas marginais demonstra que o CHIRPS reproduziu satisfatoriamente o padrão de distribuição das chuvas observadas, mantendo maior concentração de eventos de baixa e média precipitação e reduzida ocorrência de eventos extremos. Apesar da presença de alguns

episódios pontuais de superestimação e subestimação, a proximidade da maior parte dos pontos em relação à linha 1:1 confirma a elevada precisão do produto para a região estudada.

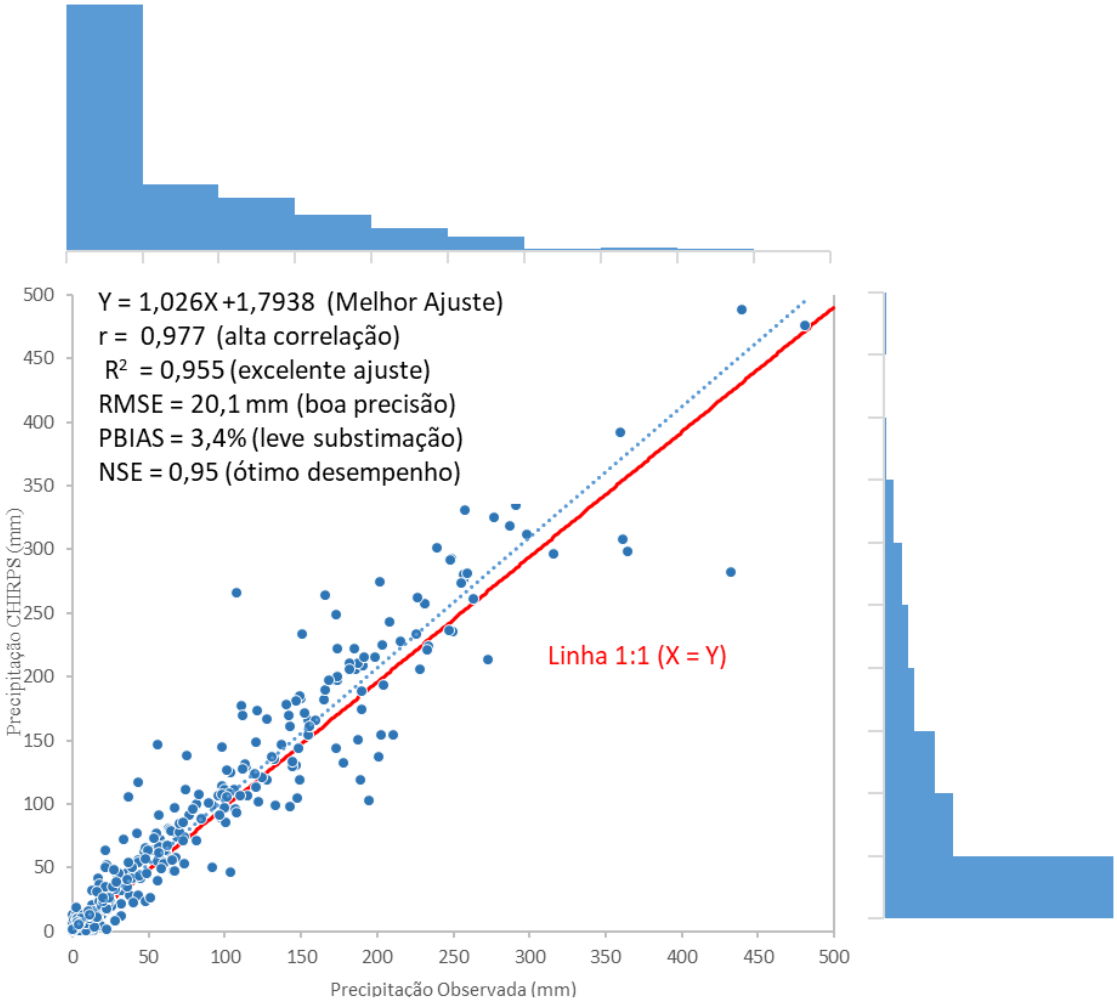


Figura 2 - Diagrama de dispersão entre a precipitação mensal observada e estimada pelo produto CHIRPS no período de 1995 a 2024, com histogramas marginais representando a distribuição de frequência dos dados.

Para a escala anual, o desempenho do satélite manteve-se estatisticamente robusto, sendo classificado como **bom.**

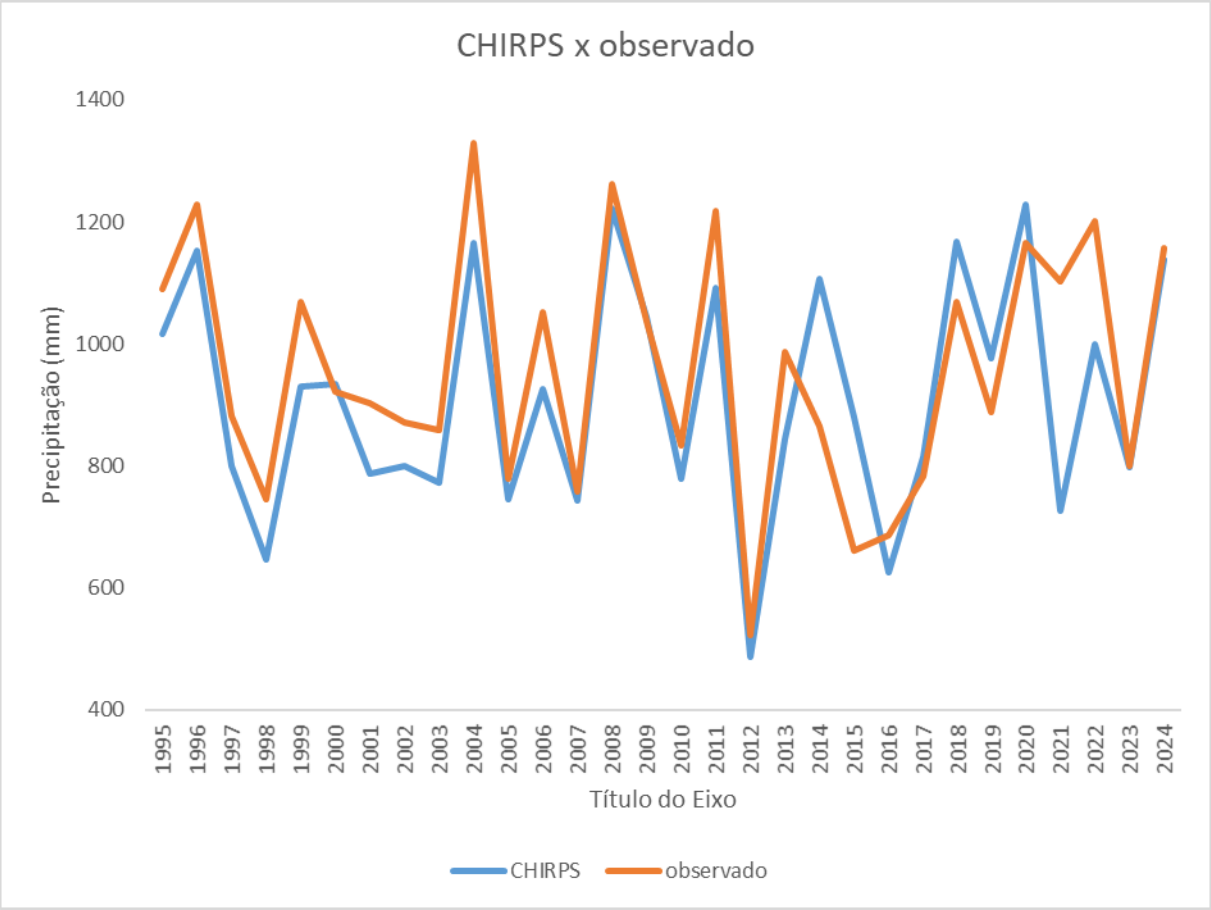


Figura 3 – Precipitação anual gerada pelo CHIRPS e valores observados em pluviômetros

O gráfico da figura acima mostra que o algoritimo acompanha bem a variabilidade interanual da precipitação, sendo útil para análises climáticas regionais, no entanto observa-se um leve substimação de 1995 a 2013, tanto para os períodos secos como chuvosos que é confirmado pelo valor do PBIAS = 3,4%. A partir daí, os anos 2014, 2018 e 2020 mostram superestimação considerável indicando que o CHIRPS estimou mais chuva do que os pluviômetros registraram. O R^2 de 0,73 e o NSE de 0,69 ratificam a habilidade do algoritmo em representar as flutuações interanuais da bacia. O valor do PBIAS anual que se iguala ao mensal, gera indicação de estabilidade no balanço de massa hídrica anual, enquanto o RMSE = 109,32 mm/ano refletiu a propagação natural dos erros de amostragem diários acumulados ao longo do ano.

Em suma, a forte aderência dos dados mensais e anuais aos registros pluviométricos valida a representatividade espacial do CHIRPS para a área de estudo. Os resultados obtidos consolidam o

produto CHIRPS como uma ferramenta geoespacial estratégica para o monitoramento hidrológico da bacia hidrográfica em estudo e porque não dizer em regioões semiáridas, sobretudo em bacias hidrográficas caracterizadas pela escassez crônica ou descontinuidade de dados de estações pluviométricas convencionais. Adicionalmente, destaca-se a relevância do uso de produtos de precipitação por satélite em áreas sob influência de controles orográficos, como a Chapada do Araripe, onde a variabilidade espacial das chuvas pode não ser adequadamente representada apenas por estações pluviométricas pontuais.

REFERÊNCIAS

Cunha, R.L.C.; et al. (2023) Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2023 Pluviometria Média na Bacia Hidrográfica do Riacho dos Porcos a qual alimenta o Sistema Aquífero Missão Velha - Rio Da Batateira e o Aquífero Mauriti. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2023.

Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME), www.funceme.br, acessado em 25.05.2025

FUNK, Chris et al. The climate hazards ranging infrared precipitation with stations—a new monthly precipitation dataset for rainfall monitoring. *Scientific Data*, v. 2, n. 1, p. 1-21, 2015.

IBGE. Cidades@. **Cidades e Estados do Brasil**, 2023. Acesso em: Setembro 2025.

MORIASI, D. N. et al. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, v. 50, n. 3, p. 885-900, 2007.