

RELATÓRIO TÉCNICO ITV DS

RECOMENDAÇÃO DE BASES DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO PARA ESTUDOS CLIMÁTICOS NO CORREDOR NORTE DA VALE

RELATÓRIO PARCIAL DO PROJETO

Vania dos Santos Franco
Cláudia Priscila Wanzeler da Costa
Fabrício dos Santos
Helber Gomes

Belém / Pará
Dezembro / 2022

Título: Recomendação de bases de dados de precipitação para estudos climáticos no Corredor Norte da Vale	
PROD. TEC. ITV DS N044/2022	Revisão 00
Classificação: () Confidencial () Restrita () Uso Interno (X) Pública	

Informações Confidenciais - Informações estratégicas para o Instituto e sua Mantenedora. Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da Informação.

Informações Restritas - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de empregados que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

Informações de Uso Interno - São informações destinadas à utilização interna por empregados e prestadores de serviço

Informações Públicas - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais corporativos apropriados

Citar como

FRANCO, Vânia dos Santos; *et al.* **Recomendação de bases de dados de precipitação para estudos climáticos no Corredor Norte da Vale.** Belém: 2022. (Relatório N044/2022) DOI 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2022.44.Franco

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

F825 Franco, Vânia dos Santos
 Recomendação de bases de dados de precipitação para estudos climáticos no Corredor Norte da Vale . / Vânia dos Santos Franco ... [et al.] - Belém: 2022.

 23 p. : il.

 Relatório Técnico (Instituto Tecnológico Vale) – 2022
 PROD.TEC.ITV.DS – N044/2022
 DOI 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2022.44.Franco

 1. Precipitação – Base de dados. 2. Base de dados. 3. Climatologia – estudos. 4. Corredor Norte - Vale. I. Costa, Cláudia Priscila Wanzeler da. II. Santos, Fabrício dos. III. Gomes Helber. IV. Título

Bibliotecário responsável: Eddie Saraiva / CRB 2 – 058P

RESUMO EXECUTIVO

O presente relatório refere-se a uma das entregas físicas do projeto “Vulnerabilidade da cadeia mineral aos eventos extremos de precipitação nos cenários de mudanças climáticas”, iniciado no ano corrente, no Instituto Tecnológico Vale. Realizou-se análise de destreza de conjuntos de dados de precipitação em pontos de grade, do tipo análise – CHIRPS, GPCC, CPC e CRU, e reanálise - Era5land, em representar o clima na Amazônia Brasileira, com enfoque para o Corredor Norte da Vale, objeto do presente relatório técnico, uma vez que esta região carece de medições consistentes e de longo prazo para monitoramento dos impactos meteorológicos na produção mineral. Para tanto, foi necessário previamente realizar a imputação de dados ausentes em séries históricas de precipitação registradas por estações meteorológicas *in situ* distribuídas na área de estudo. Posteriormente, determinou-se índices de destreza dos conjuntos de dados em pontos de grade relativos àqueles provenientes das observações *in situ*, a partir de métricas de avaliação amplamente empregadas pela comunidade científica. Os resultados demonstraram que os conjuntos CHIRPS, CPC e GPCC representam de uma forma mais acurada e significativa as principais características sazonais (3 meses) da precipitação no Corredor Norte da Vale. Estudos prévios realizados em vários locais do globo, em especial para grande parte do Brasil, demonstram que tais dados têm boa acurácia em comparação com os dados obtidos de estações meteorológicas. As bases de dados de precipitação recomendadas por este estudo podem ser utilizadas pela Vale no planejamento de ações preventivas frente as condições climáticas de médio e longo prazos. Além disso, os conjuntos de dados de precipitação, recomendados por esta pesquisa, serão utilizados para avaliar a performance da regionalização com o modelo climático RegCM4 em representar o clima presente no Corredor Norte da Vale, que será a próxima etapa do projeto.

RESUMO

No leste da Amazônia, destaca-se importante atividade econômica ligada à mineração de metais básicos, em que processos e atividades desta grande cadeia de produção e de logística ocorrem a céu aberto, ficando, assim, expostos às condições meteorológicas adversas. No entanto, esta região carece de pontos de monitoramento meteorológico contínuo e consistente, cujas dados poderiam ajudar no planejamento de ações preventivas mais assertivas, e assim reduzir a exposição ao risco frente as condições adversas de tempo e de clima. Uma alternativa à deficiência na cobertura do monitoramento meteorológico está na utilização de dados em pontos de grade. Deste modo, esta pesquisa objetivou-se avaliar conjuntos de dados do tipo análise e reanálise, no período de 1981 e 2020, sobre o Corredor Norte da Vale para recomendar para futuros estudos climáticos sobre a região. Os conjuntos de dados em pontos de grade avaliados foram: *Rainfall Estimates from Rain Gauge and Satellite Observations* (CHIRPS), do Climate Prediction Center (CPC), Climatic Research Unit gridded Time Series (CRU), Global Precipitation Climatology Centre (GPCC) e *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts - 5ª versão (ERA5-Land)*. Como referência à precipitação observada, utilizou-se registros diários provenientes de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e da Agência Nacional de Águas (ANA). Foi necessário realizar a imputação de dados ausentes em séries históricas de precipitação diárias de estações meteorológicas. Para todos os conjuntos de dados, determinou-se a precipitação mensal acumulada, sendo posteriormente agrupados por trimestres e por ano. A destreza dos conjuntos em pontos de grade em representar a precipitação observada foi feita através das métricas *BIAS*, *MAE*, *RMSE* e correlação de Pearson. Os resultados demonstraram que apesar de todos os conjuntos em pontos de grade avaliados neste estudo representarem de forma satisfatória a precipitação observada sobre o Corredor Norte da Vale, as bases CHIRPS, CPC e GPCC foram as que melhor demonstraram acurácia da precipitação sazonal.

Palavras-chave: CHIRPS; CPC; GPCC; CRU; ERA5-land; Cadeia mineração

ABSTRACT

In eastern Amazonia, there is an important economic activity linked to the mining of base metals, in which processes and activities in this large production and logistics chain take place in the open, thus being exposed to adverse weather conditions. However, this region lacks continuous and consistent meteorological monitoring points, whose data could help in planning more assertive preventive actions, and thus reduce exposure to risk in the face of adverse weather and climate conditions. An alternative to the lack of meteorological monitoring coverage is the use of data in grid points. Thus, this research aimed to evaluate analysis and reanalysis datasets, in the period between 1981 and 2020, on the North Corridor of Vale to recommend for future climate studies on the region. The data sets in grid points evaluated were: Rainfall Estimates from Rain Gauge and Satellite Observations (CHIRPS), from the Climate Prediction Center (CPC), Climatic Research Unit gridded Time Series (CRU), Global Precipitation Climatology Center (GPCC) and European Center for Medium-Range Weather Forecasts - 5th version (ERA5-Land). As a reference to the observed precipitation, daily records from meteorological stations of the National Institute of Meteorology (INMET) and the National Water Agency (ANA) were used. It was necessary to perform the imputation of missing data in historical series of daily precipitation from meteorological stations. For all data sets, the accumulated monthly precipitation was determined, which were later grouped by quarters and by year. The skill of the sets in grid points to represent the observed precipitation was done through the metrics BIAS, MAE, RMSE and Pearson's correlation. The results showed that although all sets of grid points evaluated in this study satisfactorily represent the precipitation observed over the North Corridor of Vale, the CHIRPS, CPC and GPCC databases were the ones that best demonstrated the accuracy of seasonal precipitation.

Keywords: CHIRPS; CPC; GPCC; CRUDE; ERA5-land; mining chain

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Mapa do Corredor Norte da Vale (nos Estados do Pará e Maranhão). Onde: A) Localização do Corredor Norte no Leste da Amazônia Legal. B) Posição geográfica dos pontos ao longo do Corredor Norte.	10
Figura 2 - Percentual de dados faltantes das estações localizadas no leste da Amazônia brasileira.....	15
Figura 3 - Controle de qualidade e preenchimento de falhas. Onde: A) série histórica da estação antes do controle; B) dado da estação pós controle e, C) dados completos.	15
Figura 4 - Análise comparativa da climatologia de precipitação (mm), , para o período de 1981- 2020 (OBS, CPC, CHIRPS, ERA5-Land e 1981-2019 (CRU e GPCC) entre os dados observados (OBS) e os conjuntos em pontos de grade para o verão.....	19
Figura 5 - Análise comparativa da climatologia de precipitação (mm), para o período de 1981- 2020 (OBS, CPC, CHIRPS, ERA5-Land e 1981-2019 (CRU e GPCC) entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade para o outono,.....	20
Figura 6 - Análise comparativa da climatologia de precipitação (mm), , para o período de 1981- 2020 (OBS, CPC, CHIRPS, ERA5-Land e 1981-2019 (CRU e GPCC) entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade para o inverno.....	21
Figura 7 - Análise comparativa da climatologia de precipitação (mm), , para o período de 1981- 2020 (OBS, CPC, CHIRPS, ERA5-Land e 1981-2019 (CRU e GPCC) entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade para a primavera.....	22
Figura 8 - Análise anual comparativa da climatologia de precipitação (mm)), para o período de 1981- 2020 (OBS, CPC, CHIRPS, ERA5-Land e 1981-2019 (CRU e GPCC) entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade.	23
Figura 9 - BIAS dos conjuntos em pontos de grade (mm) para o verão.....	24
Figura 10 - BIAS dos conjuntos em pontos de grade (mm) para o outono.....	25
Figura 11 - BIAS dos conjuntos em pontos de grade (mm) para o inverno.....	26
Figura 12 - BIAS dos conjuntos em pontos de grade (mm) para a primavera.....	27
Figura 13 – BIAS anual dos conjuntos em pontos de grade (mm).	28
Figura 14 – MAE (mm) entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade para o verão.	29
Figura 15 - MAE (mm) entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade para o outono.	30

Figura 16 - MAE (mm) entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade para o inverno.	31
Figura 17 - MAE (mm) entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade para a primavera	32
Figura 18 – MAE anual (mm) entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade.	33
Figura 19 - RMSE (mm) entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade para o verão.	34
Figura 20 - RMSE (mm) entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade para o outono.	35
Figura 21 - RMSE (mm) entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade para o inverno	36
Figura 22 - RMSE (mm) entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade para a primavera.	37
Figura 23 – RMSE anual (mm) entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade.	38
Figura 24 - Correlações entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade para o verão.	39
Figura 25 - Correlações entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade para o outono.	40
Figura 26 - Correlações entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade para o inverno.	41
Figura 27 - Correlações entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade para a primavera.	42
Figura 28 – Correlação anual entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade.	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 DADOS E METODOLOGIA	10
2.1 ÁREA DE ESTUDO	10
2.2 BASE DE DADOS	11
2.2.1 Dados de observação	11
2.2.2 Dado de análise	12
2.2.3 Dado de reanálise	13
2.3 METODOLOGIA	14
2.3.1 Organização das bases de dados de precipitação	14
2.3.2 Índices de destreza dos conjuntos de dados de precipitação em ponto de grade sobre o Corredor Norte da Vale	17
3 RESULTADOS	18
4 DISCUSSÃO	43
5 CONCLUSÃO	44
REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

A precipitação é uma variável importante do ciclo hidrológico, da vida e do bem-estar dos seres humanos. Três quartos da energia que comanda a circulação atmosférica provem do calor latente originado da precipitação tropical. A precipitação nos trópicos é uma das variáveis atmosféricas mais difíceis de medir, por causa da sua grande variação no espaço e no tempo, oscilando fortemente entre secas severas e cheias ocasionais (KUMMEROW et al, 2000).

No Brasil, existem várias bacias de grande porte (a Bacia Amazônica, por exemplo), as quais são quase sempre caracterizadas por escassez de postos de medição pluviométrica que coletam informações precisas da precipitação, mas que são representativas de pequenas áreas localizadas no entorno do dispositivo (YNOUE et al., 2017). Grande parte das regiões nestas bacias são de difícil acesso, impossibilitando a medição de chuva ou mesmo a instalação de instrumentos. Além disso, as incertezas sobre as medidas observacionais, bem como alterações de localização afetam diretamente a avaliação dos dados de precipitação (MARENGO, 2012). Uma alternativa para se obter informações da precipitação nessas regiões seria por estimativa por radar meteorológico, que também não se mostra uma solução economicamente viável para regiões remotas localizadas na Amazônia.

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a Agência Nacional de Águas (ANA), órgãos governamentais que realizam monitoramento meteorológico e recursos hídricos no Brasil, dispõem de uma quantidade considerável de postos de medição espalhados no país. No entanto, as estações de medição não apresentam distribuição homogênea sobre o território Brasileiro, como é o caso da região Amazônica.

Na região norte do Brasil, está localizada uma importante cadeia de mineração, onde processos operacionais ocorrem a céu aberto, ficando expostos às condições meteorológicas. Para mitigar os efeitos de condições meteorológicas adversas que possam vir a interromper atividades operacionais e/ou oferecer riscos à vida humana, se faz necessário um contínuo monitoramento de tais condições e suas alterações. Frente à sua exposição a tais condições adversas e a escassez de cobertura espacial e temporal de postos de monitoramento, a cadeia mineral localizada no leste da Amazônia pode não ter recursos científicos que embasem um planejamento mais assertivo, e que podem acarretar em redução na produção ou mesmo em paradas de atividades.

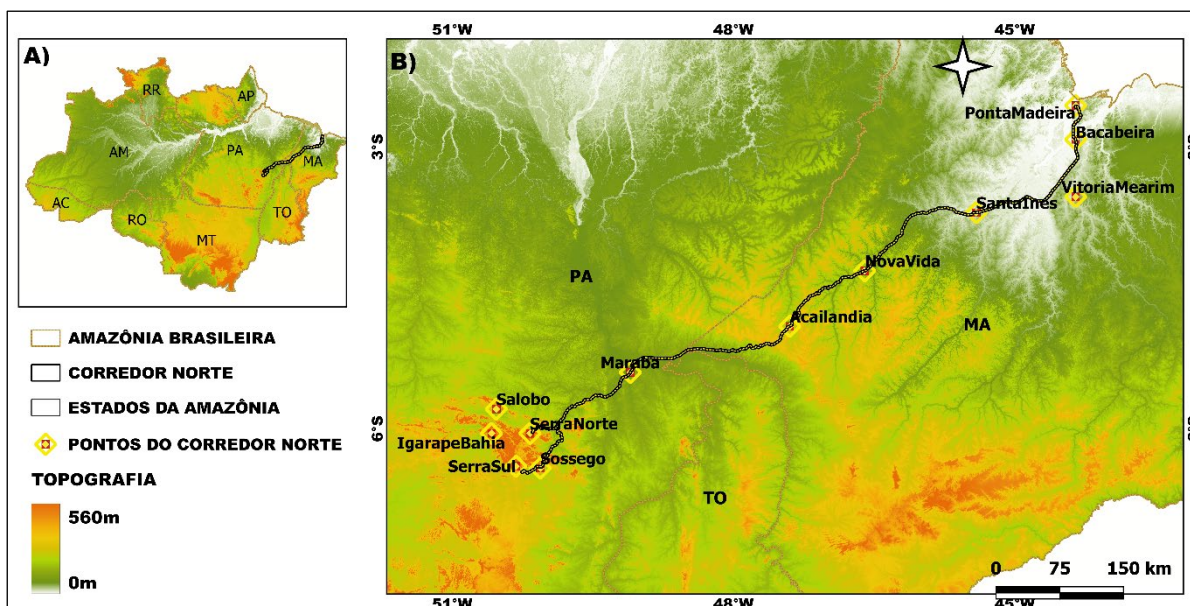
Assim, vê-se cada vez mais a necessidade da utilização de conjuntos de dados meteorológicos em pontos de grade, como àqueles provenientes de análises e de reanálises. Os conjuntos de análise combinam dados de satélites com medições in situ (FUNK et al, 2015), enquanto, os de reanálise são obtidos a partir de modelos climáticos (MUNOZ SABATER et al., 2021). Tais dados vem se destacando em estudos onde os dados de superfície são escassos em determinadas regiões, por estarem em constantes atualização para monitoramento meteorológico. Assim, a presente pesquisa objetivou-se avaliar diferentes conjuntos de dados em pontos de grade disponíveis sobre a Amazônia, e recomendar à VALE aquele(s) de melhor performance em representar a precipitação trimestral e anual sobre o Corredor Norte.

2 DADOS E METODOLOGIA

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A área utilizada neste estudo foi a região leste da Amazônia, onde está localizado o Corredor Norte da Vale (situado nos Estados do Pará e Maranhão). A região amazônica é uma das mais descobertas por dados climáticos in situ do Brasil quando comparada às outras regiões, devido principalmente as dificuldades de instalação de estações por ser área com floresta densa, logística, tratamento de dados, alto custo, dentre outras. E por tal, estudos são escassos para essa região, sendo utilizado cada vez dados de sensoriamento remoto e de modelos.

Figura 1- Mapa do Corredor Norte da Vale (nos Estados do Pará e Maranhão). Onde: A) Localização do Corredor Norte no Leste da Amazônia Legal. B) Posição geográfica dos pontos ao longo do Corredor Norte.



Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados de topografia disponibilizados pela EMBRAPA (MIRANDA, 2005).

2.2 BASE DE DADOS

Os conjuntos de dados utilizados foram baseados nos métodos de observação, análise e reanálise. Foram usadas duas fontes de dados de observação, a saber ANA – Agência Nacional de Águas e INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, a partir daqui serão chamados por **dados observados**. Da gama de bases de dados de precipitação em pontos de grade disponíveis, selecionadas àquelas que atenderam os seguintes critérios: 1) ter no mínimo 30 anos de dados de precipitação (recomendado pela Organização Meteorológica Mundial – OMM) e, 2) ser apresentar contínua atualização dos dados. Deste modo, foram selecionados para este estudo os conjuntos de dados di tipo análise CHIRPS (*Rainfall Estimates from Rain Gauge and Satellite Observations*), CPC (*Climate Prediction Center*), CRU (*Climatic Research Unit gridded Time Series*), GPCC (*Global Precipitation Climatology Centre*) e de reanálise, ERA5 LAND (5ª versão do produto de modelo do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*), a partir daqui denominados por **conjuntos em pontos de grade**.

2.2.1 Dados de observação

- **ANA** – A Agência Nacional de Águas disponibiliza dados desde o século XIX, como é o caso da estação Morro Velho, em Minas Gerais. Ela é responsável por 2.767 pontos de monitoramento de precipitação em todo o país. A Amazônia possui 286

pontos de monitoramento, que sugere uma quantidade razoável, porém se tornam insuficientes quando se busca estações com dados atuais, já que estes estão disponíveis até o ano de 2016 em algumas estações.

- **INMET** – Este órgão é um dos mais utilizados nos estudos por sua disponibilidade de dados que vão desde o ano de 1895 (estação Quixeramobim-CE) até os dias atuais nas estações em atividade no país. Na Amazônia os dados estão disponíveis desde 1909 (estação de Manaus-AM, por exemplo), com 48 estações convencionais e 142 automáticas, entre estações operantes e as com pane (como são classificadas pelo instituto). Neste estudo optou-se pelas estações convencionais por sua maior confiabilidade.

2.2.2 Dado de análise

- **CHIRPS** - Incorpora imagens de satélite com resolução de $0,05^\circ$ e dados de estação *in-situ*. Abrange as latitudes de 50° S a 50° N (e todas as longitudes), contendo dados desde 1981 até o presente. Tal dado, por sua alta resolução, pode ser utilizado para compensar a falta de estações meteorológicas (CAPAROCCI NOGUEIRA; MOREIRA; LORDELO VOLPATO, 2018; DOS SANTOS; DO AMARAL CUNHA; RIBEIRO-NETO, 2019). A descrição completa de tal dado se encontra em Funk et al. (2015).

- **CPC** - Análise gradeada baseada em medições pluviométricas sobre as áreas terrestres do Planeta. Mais de 30.000 estações de várias instituições de países membros da OMM compõem essa análise. Há um controle de qualidade baseado na comparação das medidas com registros históricos e dados de estações vizinhas, de observações de radar/satélites, e de previsões de modelos numéricos. A grade global possui resolução de $0,5^\circ$ de latitude/longitude e provê dados de 1979 ao presente. Este conjunto de dados tem duas grandes bases: a primeira usa medições de 30.000 estações no período 1979-2005 e a segunda, chamada "versão em tempo real", usa 17.000 estações e abrange o período 2006-presente. Isso quer dizer que os dados da segunda base podem ser reatualizados e serão reprocessados no futuro para serem mais consistentes com a primeira base.

- **CRU**: O conjunto de dados CRU TS v. 4.04 (Climatic Research Unit gridded Time Series) fornece uma grade mensal de alta resolução de observações terrestres (excluindo a Antártida) desde 1901 e consiste em dez variáveis observadas e derivadas. Não há valores ausentes no domínio definido. Séries de estações

individuais são normalizadas usando suas observações de 1961 a 1990 e, em seguida, dispostas em uma grade regular de $0,5^\circ$ usando o método da ponderação da distância angular (ADW); em seguida as grades de anomalias resultantes são convertidas em valores reais para publicação usando a climatologia CRU CL v1.0. Para mais informações: <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/#superseded>.

• **GPCC:** Em português “Centro Global de Climatologia da Precipitação”, da NOAA, disponibiliza dados mensais de precipitação de 1981 a 2019 a partir de mais de 53.000 estações de serviços meteorológicos e hidrológicos que fornecem dados diários para o sistema de telecomunicações globais da OMM. Um período climatológico é utilizado para gerar anomalias de precipitação que são espacializadas pelo método de interpolação empírica robusta SPHEREMAP, uma adaptação esférica do esquema de ponderação empírica de Shepard que leva em consideração (i) as distancias das estações ao ponto da grade, (ii) a distribuição direcional das estações em relação ao ponto da grade, que evita dar pesos excessivos a estações muito agrupadas e (iii) os gradientes do campo de dados no ambiente dos pontos de grade.

2.2.3 Dado de reanálise

O **ERA5-Land** é um conjunto de dados de reanálise que fornece uma visão consistente da evolução das variáveis terrestres ao longo de várias décadas com uma resolução aprimorada (0.1° de latitude x longitude) em comparação com o ERA5.

As resoluções temporais e espaciais do ERA5-Land tornam este conjunto de dados muito útil para todos os tipos de aplicações de superfície terrestre, como previsão de enchentes ou secas. A resolução temporal e espacial deste conjunto de dados, o período coberto no tempo, bem como a grade fixa utilizada para a distribuição de dados em qualquer período permite que tomadores de decisão, empresas e indivíduos acessem e usem informações mais precisas sobre os estados da terra.

Informações complementares sobre todos os dados utilizados estão disponíveis na Tabela 1.

Tabela 1- Descrição das informações das fontes de dados utilizados para a obtenção da precipitação.

Fonte	Método	Resolução	Cobertura	Período	Descrição	Referência
ANA	Observação	Raio de 100 m*	Brasil	1855 a 2016	Estações de superfície	Cristaldo et al (2017)
INMET	Observação	Raio de 100 m*	Brasil	1895 - Atual	Estações de superfície	Franco et al (2019)
CHIRPS	Análise	0.05° (~5Km)	Global	1981 - Atual	Sens. Remoto/Dados in situ	Funk et al (2015)
ERA5_LAND	Reanálise	0.1° (~9 km)	Global	1950 - Atual	Modelo climático	Munoz Sabater et al. (2021)
CPC	Análise	0.5° (~55 km)	Global	1979 - Atual	Interpolação de estações	Chen et al. (2008)
GPCC	Análise	0.25° (8 km)	Global	1981- Atual	Interpolação de estações	Schneider et al. (2014)
CRU	Análise	0.5° (~55 km)	Global	1901 - 2020	Interpolação de estações	Harris et al. (2020)

Fonte: Elaborado pelos autores.

*Ynoue et al., 2017

2.3 METODOLOGIA

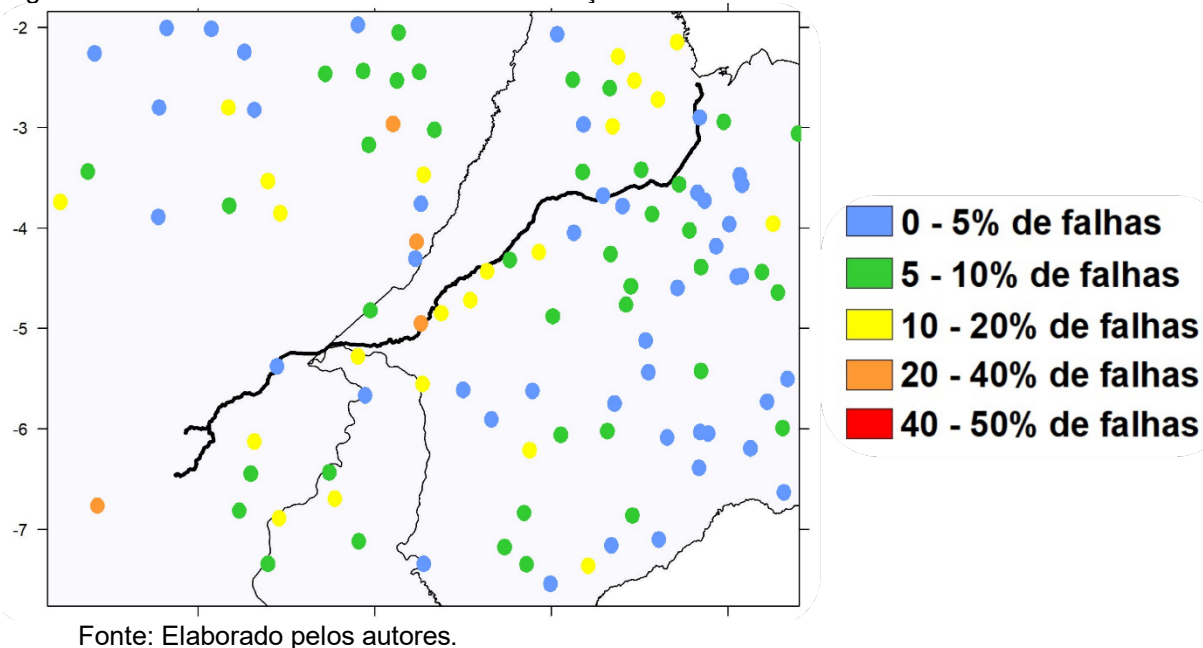
2.3.1 Organização das bases de dados de precipitação

A montagem de uma base de dados de precipitação a partir de observações nos estados que integram o leste da Amazônia brasileira, foi a primeira parte elaborada.

Acessou-se os dados pluviométricos disponibilizados pelo sistema Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA) e pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no selecionou-se cento e duas estações pluviométricas da ANA e nove do INMET, totalizando cento e onze estações.

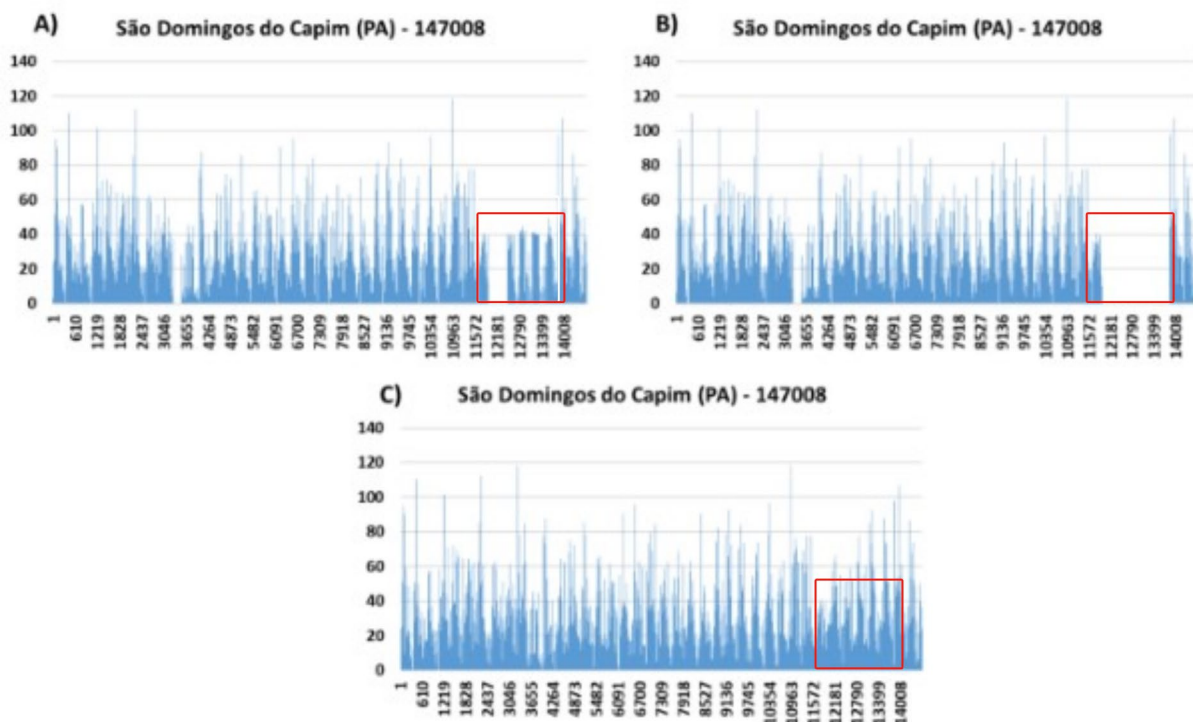
Os dados da ANA não são atualizados em tempo real na plataforma Hidroweb, assim como apresentam falhas e descontinuidade de algumas séries, problema em comum verificado nas séries do INMET, então buscou-se séries temporais diárias de precipitação relativas ao período 1981-2020 (40 anos), com percentual de falhas inferior a 50% em todas as estações, classificando-as com intervalos de 0-5% (estações em azul), 5-10% (estações em verde), 10-20% (estações em amarelo), 20-40% (estações em laranja), 40-50% de falhas (estações em vermelho), conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Percentual de dados faltantes das estações localizadas no leste da Amazônia brasileira.



Foram feitas uma verificação de todas as séries a fim de detectar inconsistências (controle de qualidade), ou seja, valores discrepantes com os demais valores da série e corrigi-las, fazendo o preenchimento de falhas dessas bases de dados, utilizando o pacote *MICE* do *software* R. Na Figura 3 (estação São Domingos do Capim) é apresentado um exemplo do executado nas estações utilizadas neste estudo, em que se extraiu a série histórica da estação utilizando dados diários (Figura 3A), em seguida faz-se um controle a fim de retirar dados inconsistentes com os dados da série (Figura 3B) e após isso, a série foi completada com dados preenchidos utilizando o método MICE (Figura 3C).

Figura 3 - Controle de qualidade e preenchimento de falhas. Onde: A) série histórica da estação antes do controle; B) dado da estação pós controle e, C) dados completos.



Fonte: Elaborado pelos autores.

O MICE (do inglês “*Multivariate Imputation by Chained Equations*”) gera imputações multivariadas por equações encadeadas, ou seja, é uma metodologia que emprega mais de uma forma para geração de dados onde há falhas em séries observadas (COSTA et al., 2012). Para tanto, essa técnica utiliza informações relevantes da própria série histórica onde há dados ausentes que precisam ser imputados, como de pontos de referência de sua vizinhança ou de um conjunto de pontos que servirão de referência. Neste estudo utilizou-se esta última metodologia. O método padrão é o *Predictive Mean Matching* (PMM), uma técnica de imputação que estima o valor mais provável para um dado ausente a partir do histórico de observações da própria série e de outras séries de referência.

A partir das informações diárias de precipitação preenchidas, fez-se o acumulado mensal. Com o acumulado mensal obteve-se o trimestral: DJF (verão): Dezembro, Janeiro e Fevereiro; MAM (outono): Março, Abril e Maio; JJA (inverno): Junho, Julho e Agosto; SON (primavera): Setembro, Outubro e Novembro. Posteriormente, determinou-se a precipitação acumulada anual. Por fim, obteve-se a climatologia (média de no mínimo 30 anos de dados) da precipitação para os períodos

de 1981 a 2020 (Observado-OBS, CPC, CHIRPS, ERA5-Land) e 1981 a 2019 (CRU e GPCC).

Os índices de destreza e correlação entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade primeiramente extraiu-se a série histórica da precipitação (diário) dos dados de cada estação pluviométrica da ANA e INMET e dos conjuntos em pontos de grade relativos à latitude e longitude das respectivas estações, e em seguida fez-se o

os cálculos (dos índices de destreza e correlação) para os períodos trimestrais e anual. Como as resoluções espaciais são variadas, e qualquer grade sempre fornecerá quatro pontos em torno de um ponto de interesse (estação meteorológica), cada série sintética foi extraída usando o método de interpolação bilinear simples (DA ROCHA JÚNIOR et al. 2019; SILVA et al. 2022)

2.3.2 Índices de destreza dos conjuntos de dados de precipitação em ponto de grade sobre o Corredor Norte da Vale

Para a verificação da destreza de cada fonte de dado foram utilizadas as seguintes métricas:

• **Viés (BIAS)** - Mede a tendência em superestimar ou subestimar a precipitação em relação ao dado observado.

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)$$

Onde: O, é o dado observado e P é o dado em ponto de grade.

• **Erro Médio Absoluto (MAE)** - Quantifica o erro relativo do dado em ponto de grade em relação ao dado observado.

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |P_i - O_i|$$

- **Erro Médio Quadrático (RMSE)** - Mede a quantidade de erro que existe entre dois conjuntos de dados Wilks (2011).

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

- **Correlação ($r_{o,p}$)** - Mede o grau da correlação entre duas variáveis de escala métrica. Este coeficiente, normalmente representado por ρ assume apenas valores entre -1 e 1.

$$r_{o,p} = \frac{Cov(o,p)}{\sigma_o}$$

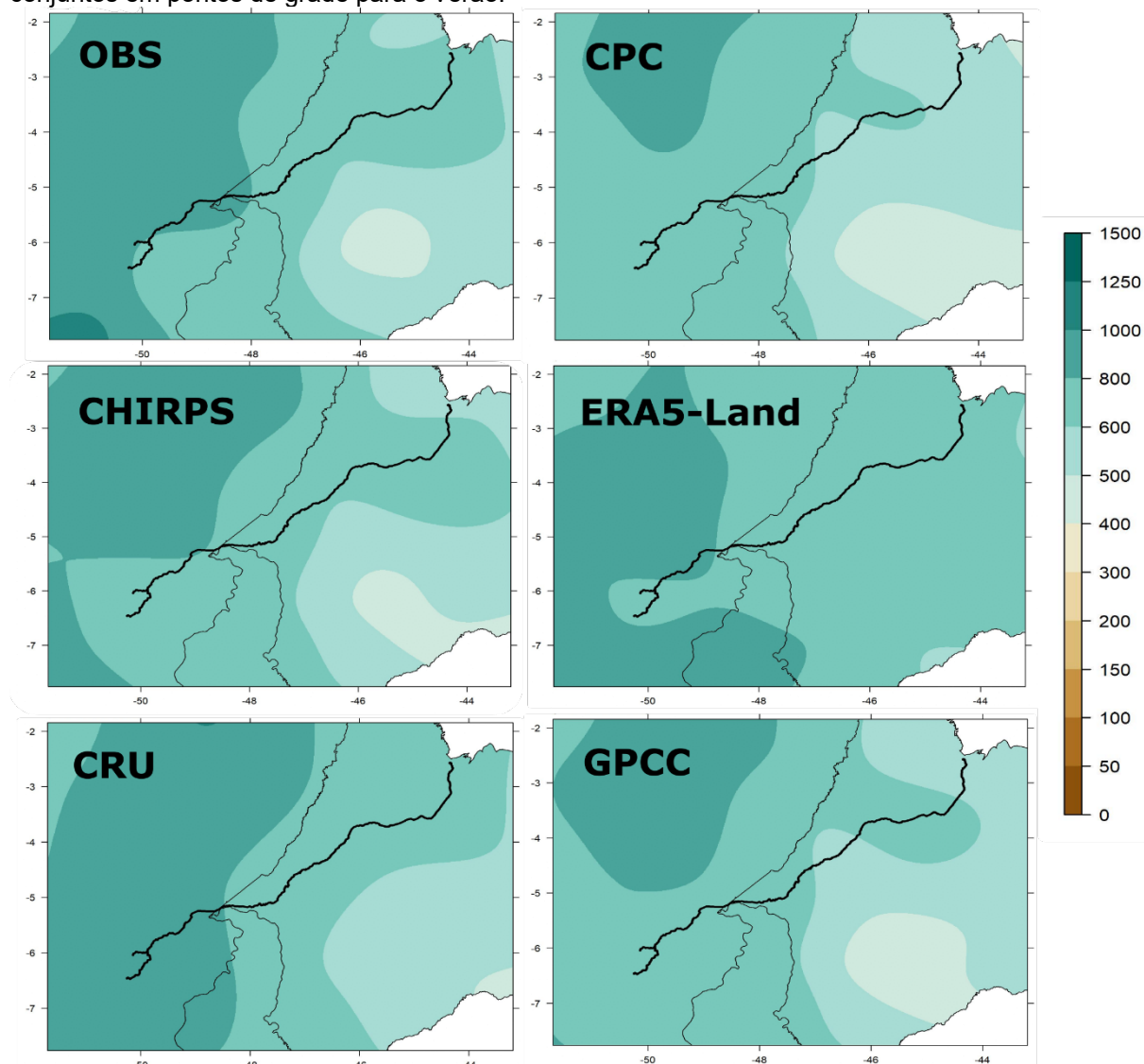
3 RESULTADOS

3.1 Análise comparativa da climatologia da precipitação sobre o Corredor Norte da Vale

A Figura 4 mostra a climatologia da precipitação dos dados observados e em ponto de grade para o verão (Dezembro, Janeiro e Fevereiro). Observam-se que os valores para o Corredor Norte da Vale, para esse período, de acordo com os dados observados, é entre 600 e 1000 mm, sendo o início da estação chuvosa para a região norte da região. Porém os maiores valores de chuva são observados de Marabá às minas, pois nessa área a estação chuvosa inicia em outubro.

Notam-se que os conjuntos em pontos de grade apresentam valores semelhantes aos observados, porém o CHIRPS, CPC, CRU e GPCC foram os que se destacaram e, ERA5-Land foi o que menos se destacou na análise comparativa desse período.

Figura 4 - Climatologia da precipitação (mm) sobre o Corredor Norte para o período de 1981- 2020 (OBS, CPC, CHIRPS, ERA5-Land e 1981-2019 (CRU e GPCC) entre os dados observados (OBS) e os conjuntos em pontos de grade para o verão.



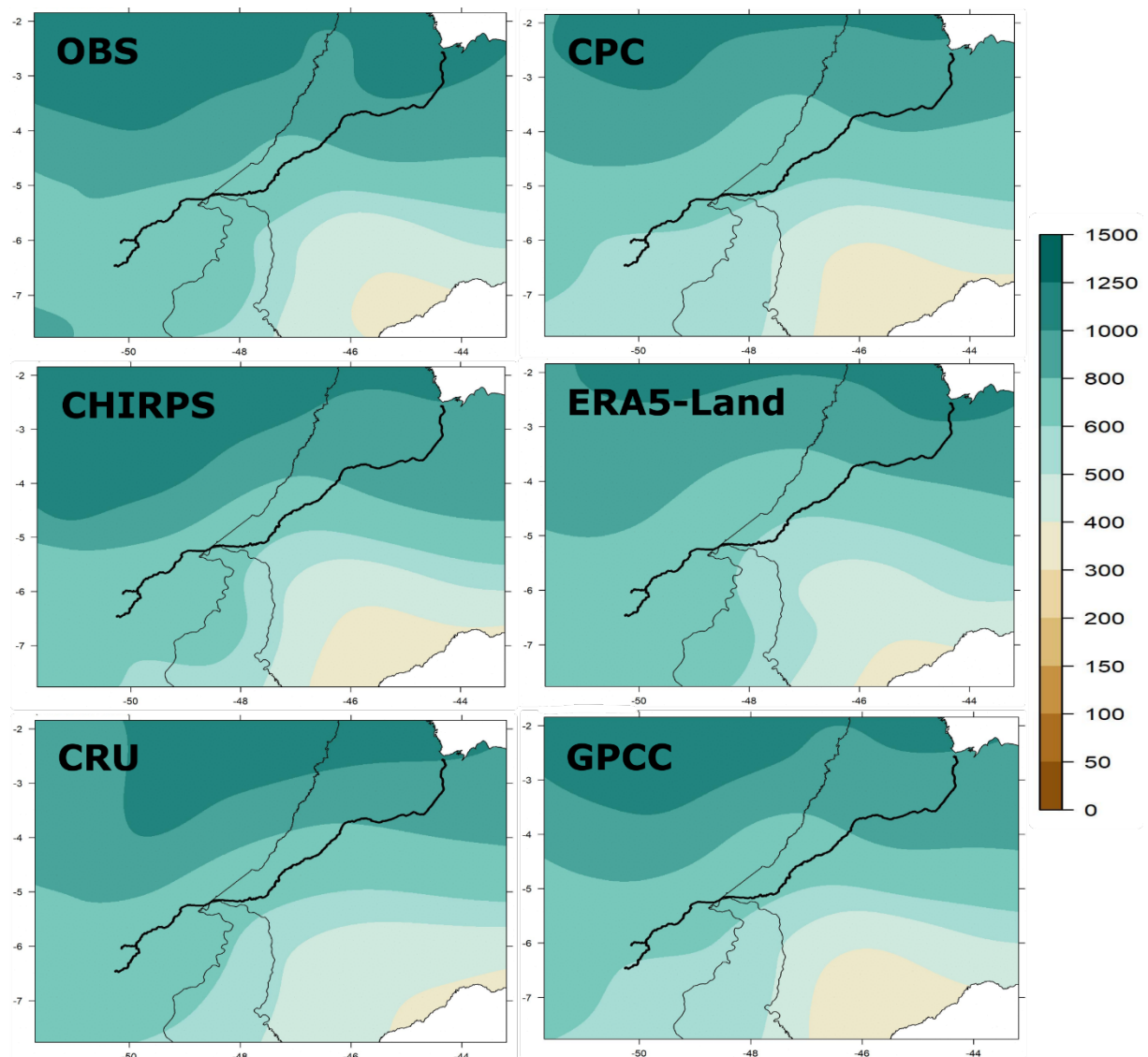
Fonte: Elaborado pelos autores

A Figura 5 apresenta a análise comparativa entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade para o outono (Março, Abril e Maio). Nesse período a precipitação tem valores entre 600 e 1200 mm para o Corredor Norte. Os maiores valores são na região localizada do norte da Ferrovia até o Porto Ponta da Madeira, no qual é o trimestre mais chuvoso nessa área. Na parte sul da Ferrovia as chuvas começam a diminuir.

No que se refere a análise comparativa, todos os conjuntos de conjuntos em pontos de grade demonstram representar bem os dados observados, com destaque

para o dado do ERA5-Land que se destacou com valores semelhantes na região do Porto. Nas demais regiões do Corredor Norte os conjuntos são análogos aos dados observados.

Figura 5 - Climatologia da precipitação (mm) sobre o Corredor Norte para o período de 1981- 2020 (OBS, CPC, CHIRPS, ERA5-Land e 1981-2019 (CRU e GPCC) entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade para o outono.



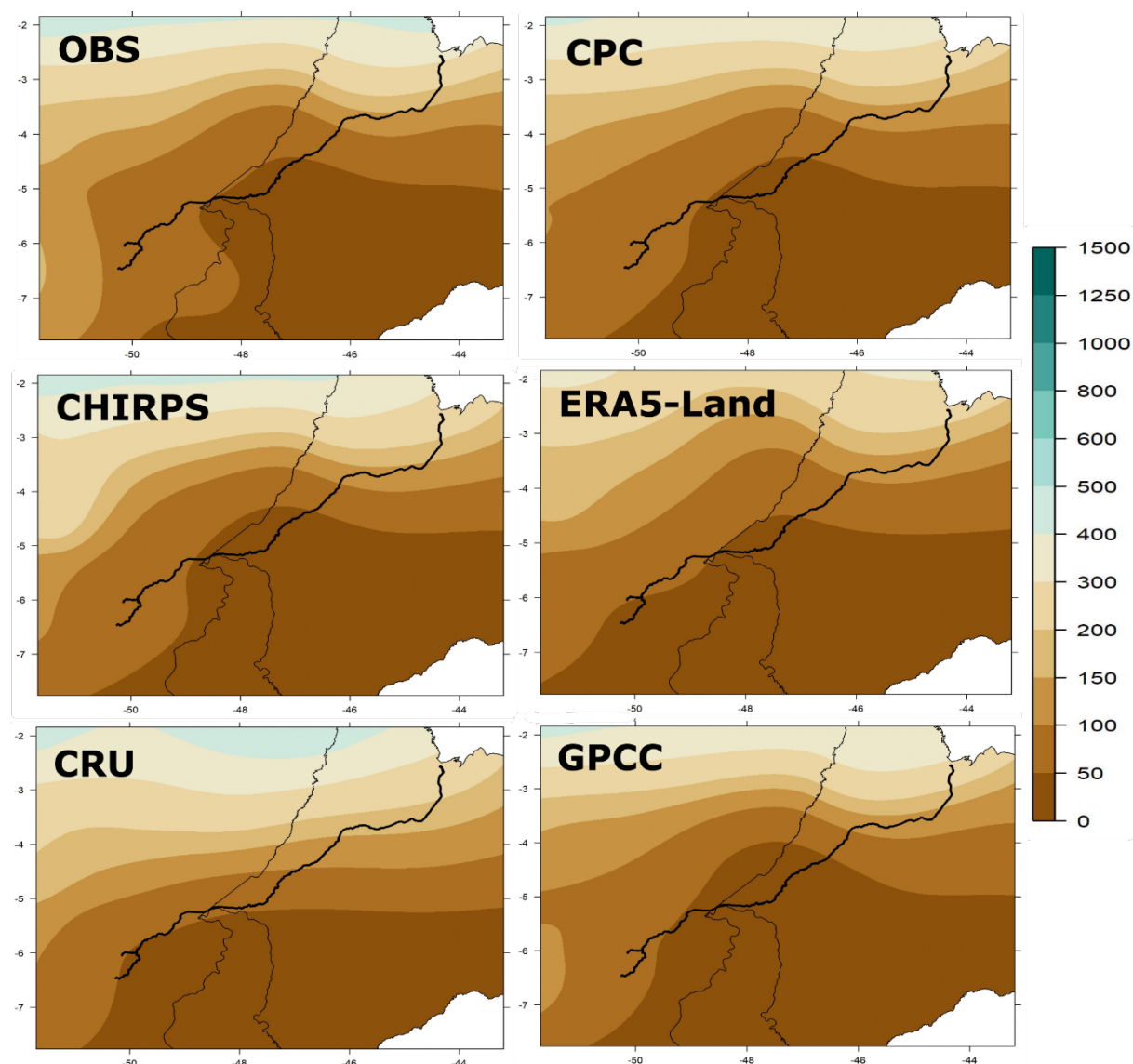
Fonte: Elaborado pelos autores

O inverno (Junho, Julho e Agosto) representa a estação menos chuvosa na maior parte do Corredor Norte da Vale (Fifura 6), com valor máximo de 400 mm de precipitação para o trimestre. Em que os menores valores (até 50 mm) são os dos

municípios de Marabá e Açailândia e os maiores valores são os da região norte do Corredor, que se encontram no início da estação menos chuvosa.

Na análise comparativa todos os conjuntos de dados demonstraram valores conforme os dados observados em todo o Corredor Norte.

Figura 6 – Climatologia da precipitação (mm) sobre o Corredor Norte para o período de 1981- 2020 (OBS, CPC, CHIRPS, ERA5-Land e 1981-2019 (CRU e GPCC) entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade para o inverno.

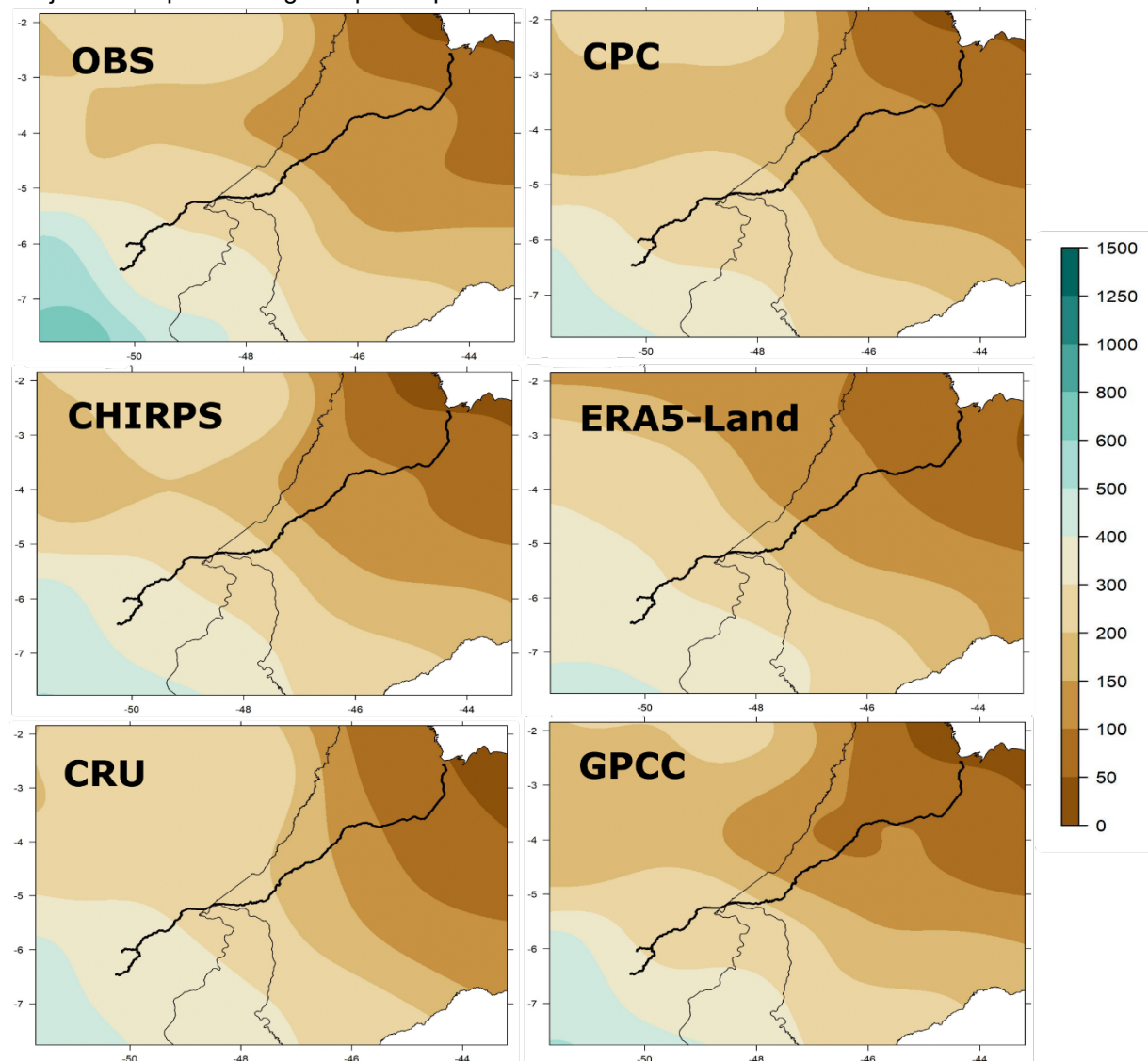


Fonte: Elaborado pelos autores

Na primavera (Setembro, Outubro e Novembro) inicia o período chuvoso para sul do Corredor Norte, mais especificamente na região das minas (Figura 7) em que os valores pluviométricos são entre 300 a 400 mm, por outro lado é período menos chuvoso na região norte.

Os conjuntos em pontos de grade são correlatos aos dados observados para a região norte do Corredor até o Porto, com destaque para CHIRPS, CPC e GPCC, porém para a região do extremo sul os dados em ponto de grade mostram a área com menos volumes pluviométricos.

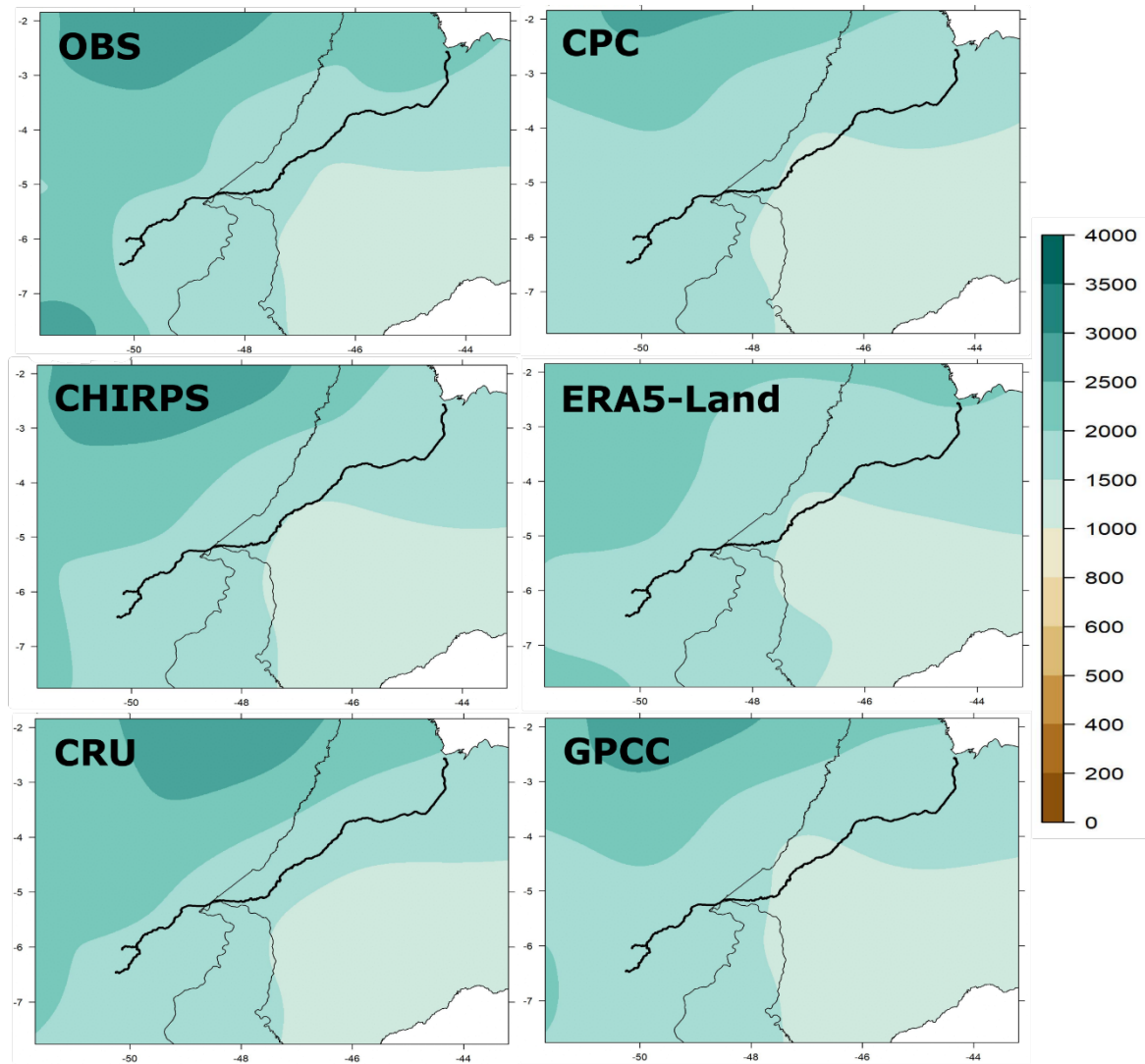
Figura 7 - Climatologia da precipitação (mm) sobre o Corredor Norte para o período de 1981- 2020 (OBS, CPC, CHIRPS e ERA5-Land) e 1981-2019 (CRU e GPCC) entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade para a primavera.



Fonte: Elaborado pelos autores

No geral, os dados anuais em ponto de grade (Figura 8), assim como os dados trimestrais, se equiparam aos dados observados na região Corredor Norte da Vale, sobressaindo os conjuntos de dados do CHIRPS e CRU.

Figura 8 - Análise anual comparativa da climatologia de precipitação (mm), para o período de 1981-2020 (OBS, CPC, CHIRPS, ERA5-Land e 1981-2019 (CRU e GPCC) entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade.

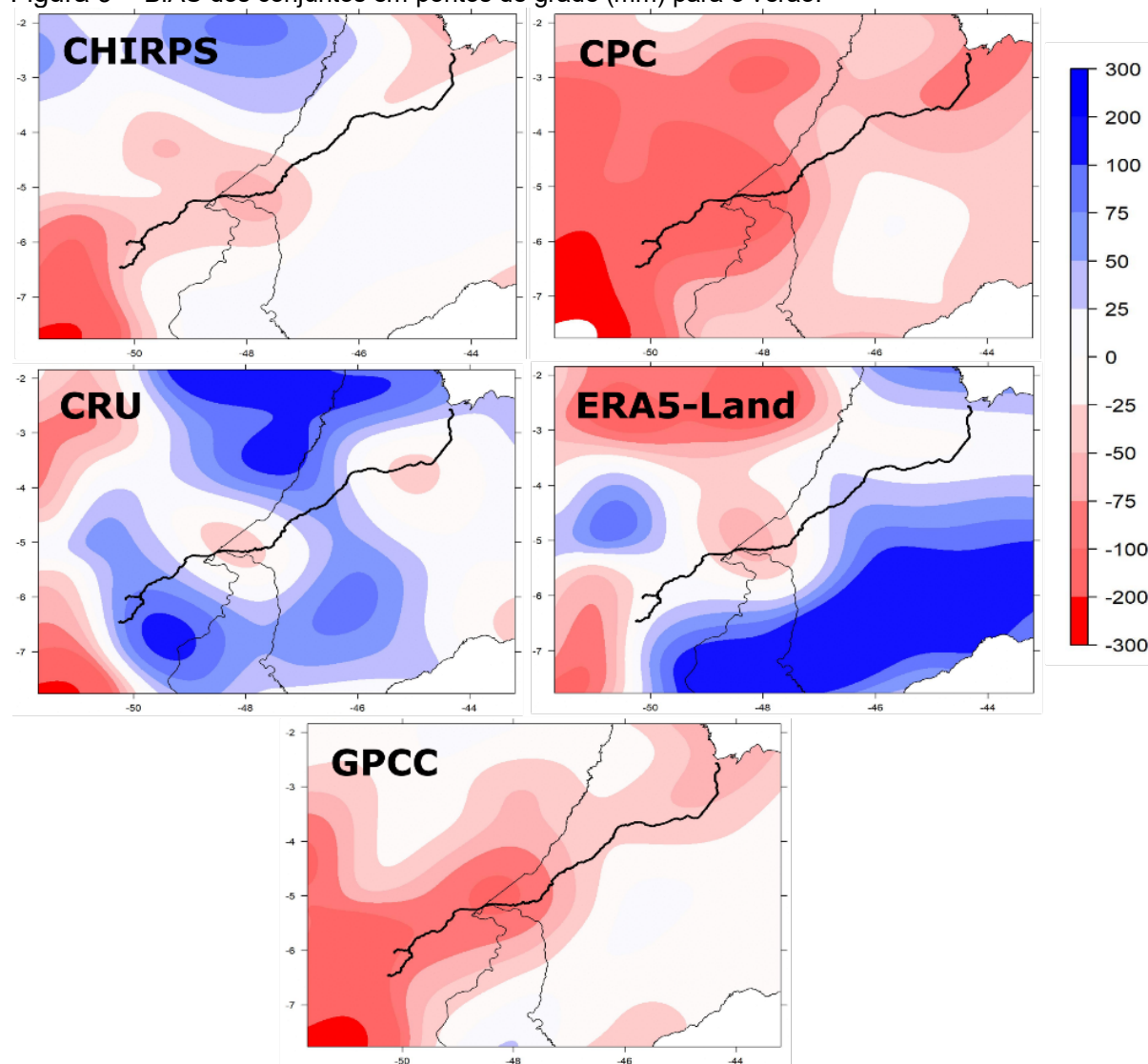


3.2 Análise da destreza dos conjuntos em pontos de grade

O índice de destreza BIAS mostra se o dado subestima ou superestima um dado em detrimento de outro. A Figura 9 mostra o BIAS entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade para o verão.

É notável, que no geral, todos os conjuntos de dados subestimam ou superestimam os dados observados na região do Corredor Norte, porém uns menos que outros, como é o caso do CHIRPS, ERA5-Land e do GPCC que apesar de subestimarem (especialmente nas minas e Porto), o valor não é considerável já que os dados são para três meses. Por outro lado, CPC e CRU apresentam valores maiores (nas três áreas: Porto, ferrovia e minas).

Figura 9 - BIAS dos conjuntos em pontos de grade (mm) para o verão.

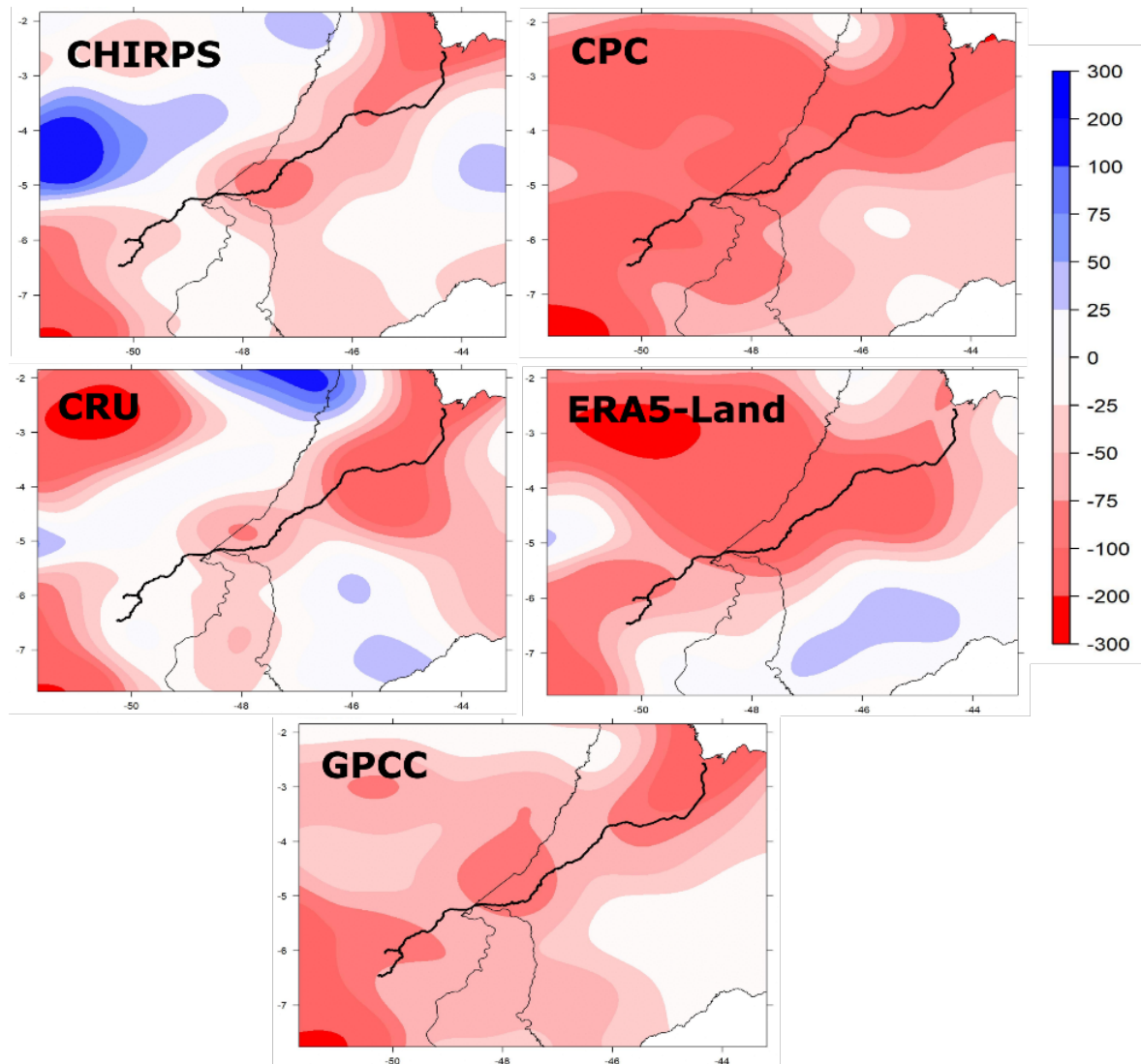


Fonte: Elaborado pelos autores

A Figura 10 apresenta o BIAS para o outono sobre o Corredor Norte da Vale. Notam-se que os conjuntos de dados, no geral, subestimam os dados em todo o Corredor Norte, com maiores valores na região do Porto, principalmente os dados do

CPC e ERA5-Land. O CHIRPS e o CRU são os que apresentam os menores valores. Vale ressaltar que esse trimestre possui os maiores volumes de precipitação, sendo passível de maiores valores do BIAS.

Figura 10 - BIAS dos conjuntos em pontos de grade (mm) para o outono.

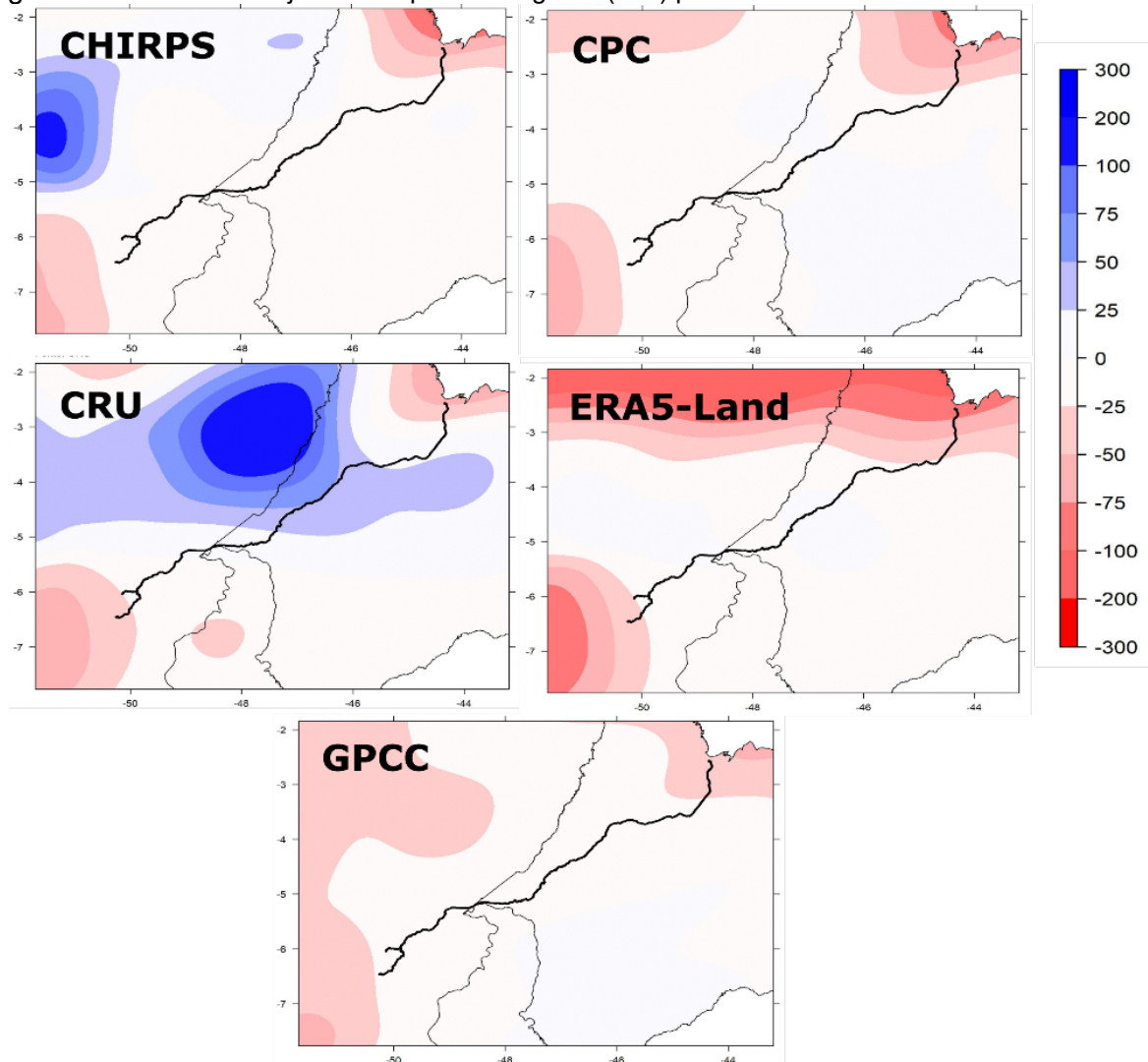


Fonte: Elaborado pelos autores

Na Figura 11 é mostrado o BIAS para o inverno. Nota-se que, neste trimestre, os conjuntos de dados não superestimam e subestimam os dados observados na maior parte do Corredor Norte, com exceção da região do Porto, no qual os dados foram subestimados. Os conjuntos em pontos de grade com melhores valores foram CHIRPS, GPCC e CPC.

Como o verão é o trimestre com os menores valores de precipitação era de esperar menores valores de BIAS.

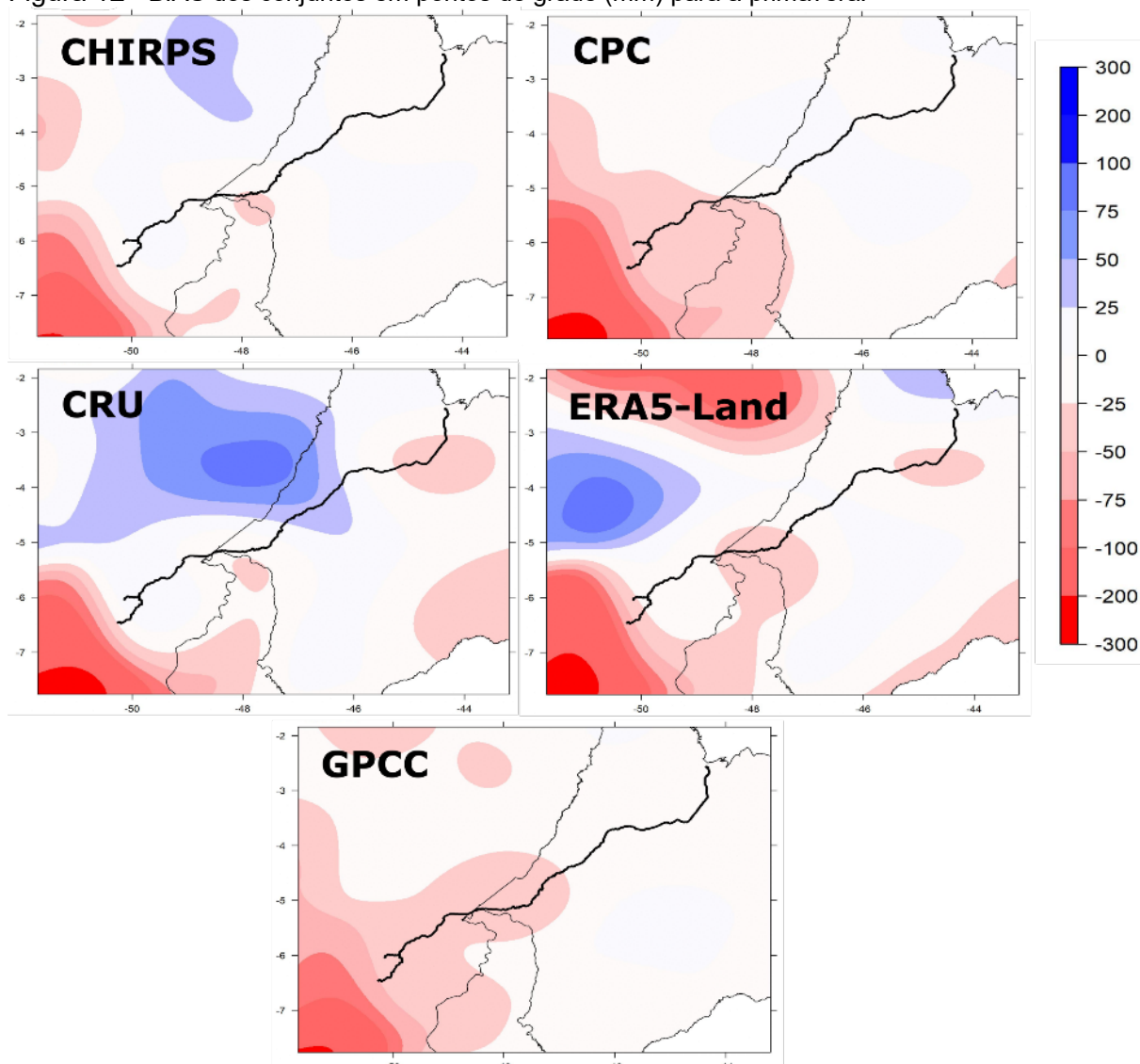
Figura 11 - BIAS dos conjuntos em pontos de grade (mm) para o inverno.



Fonte: Elaborado pelos autores

Ao contrário do trimestre do verão, na primavera (Figura 12) os conjuntos em pontos de grade subestimam os valores observados na região das minas e apresentam os menores valores nas demais regiões (Ferrovia e Porto). Os conjuntos de dados que apresentaram melhores resultados foram CHIRPS, CPC e GPCC.

Figura 12 - BIAS dos conjuntos em pontos de grade (mm) para a primavera.

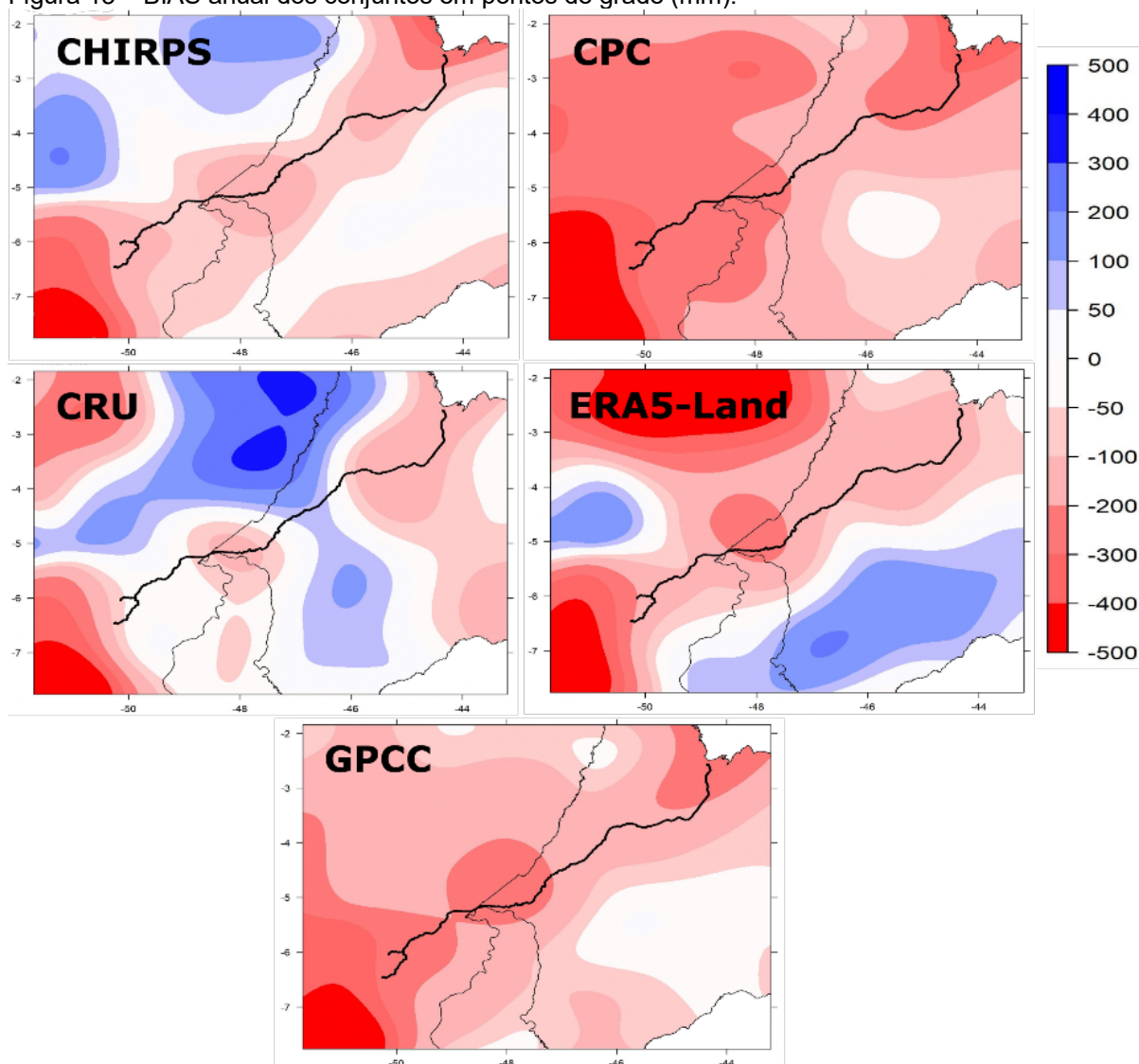


Fonte: Elaborado pelos autores

O BIAS anual mostra que, em geral, os conjuntos de conjuntos em pontos de grade subestimam os dados observados no Corredor Norte (Figura 13). Notam-se que os dados do CPC, ERA5-Land e o GPCC apresentam os maiores valores de BIAS, por outro lado, o CHIRPS e CRU os menores valores.

Três conjuntos de dados mostram que a região do Porto apresenta os maiores valores de BIAS.

Figura 13 – BIAS anual dos conjuntos em pontos de grade (mm).

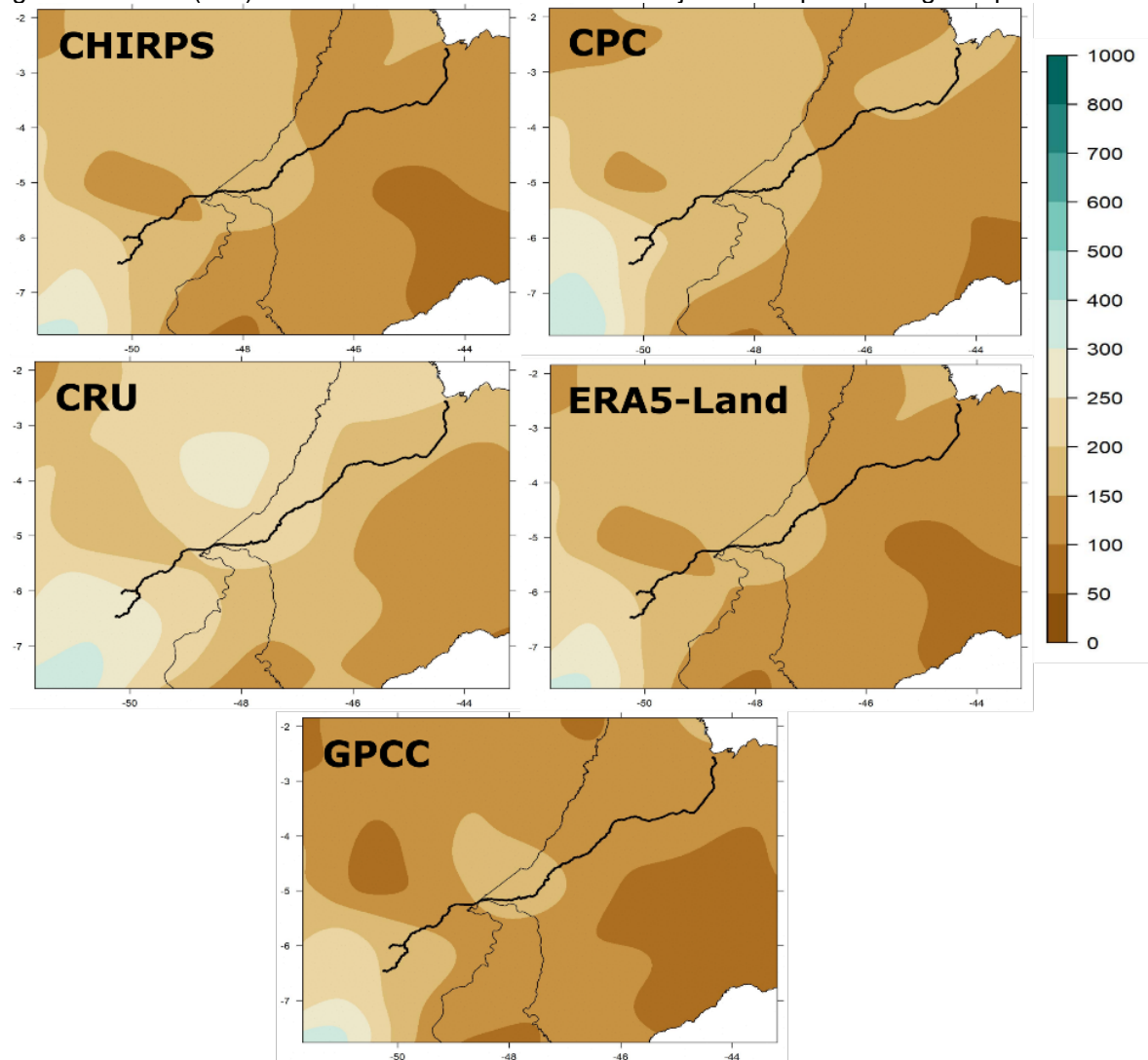


Fonte: Elaborado pelos autores

A Figura 14 mostra o Erro Médio Absoluto (MAE) para o verão, em que os tons de marrom mais escuro significam que a região tem menores erros.

Notam-se que, em geral, os conjuntos de conjuntos em pontos de grade apresentam erros inferiores a 200 mm na região do Corredor Norte da Vale, especialmente os dados do CHIRPS, CPC, GPCC e ERA5-Land para a região do Porto e Ferrovia. O CRU apresentou os maiores valores de erros. Para a região das minas todos os conjuntos de dados demonstraram valores superiores a 200 mm.

Figura 14 – MAE (mm) entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade para o verão.

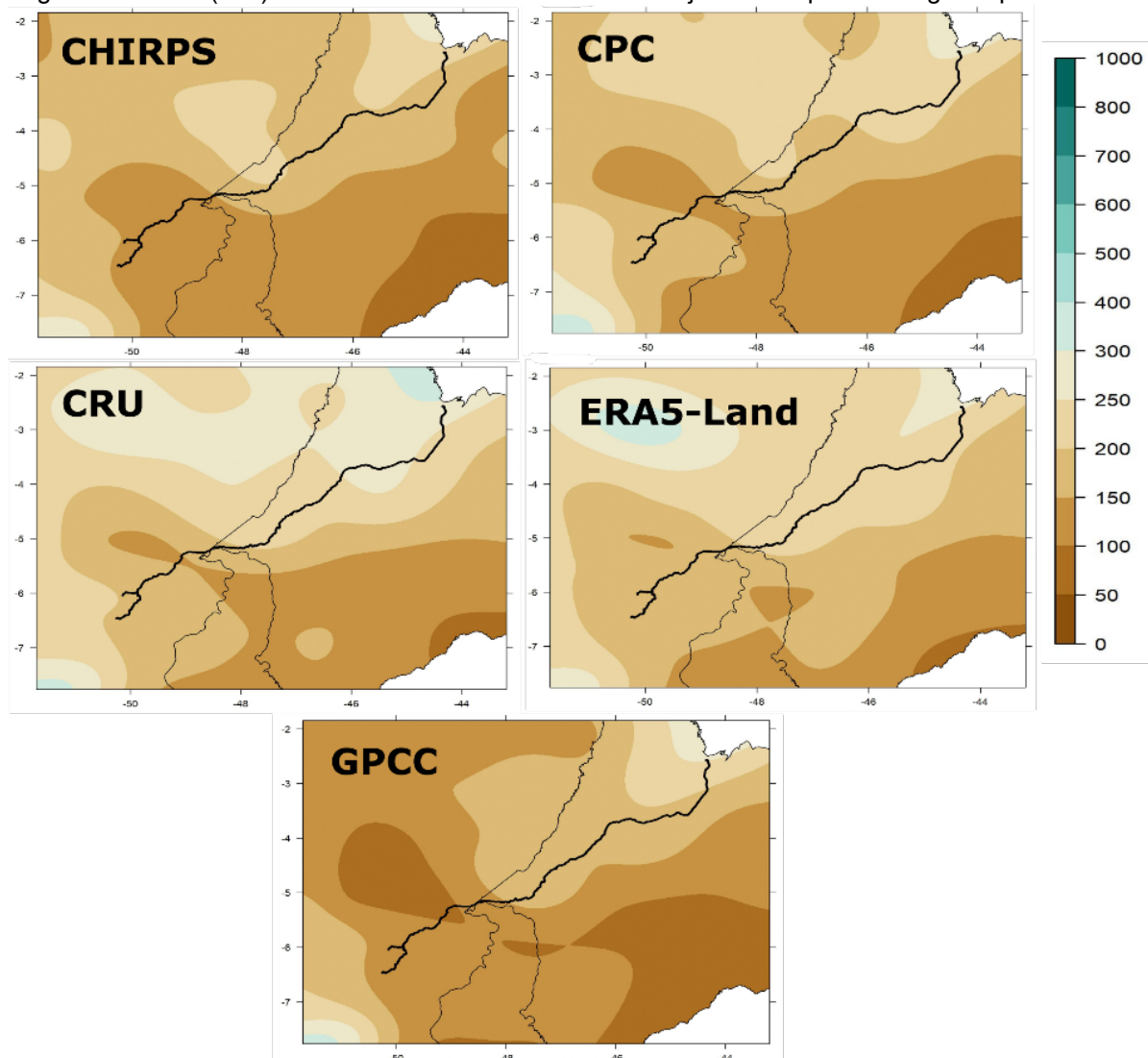


Fonte: Elaborado pelos autores

Enquanto no verão os maiores valores de erros estão na região das minas, no outono esses valores são mostrados na região do Porto (Figura 15) em todos os conjuntos em pontos de grade. Por outro lado, a região das minas detem os menores valores de MAE.

Destacam-se com os menores valores de erro absoluto para o Corredor Norte para esse trimestre os seguintes dados: CHIRPS, CPC e GPCC.

Figura 15 - MAE (mm) entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade para o outono.

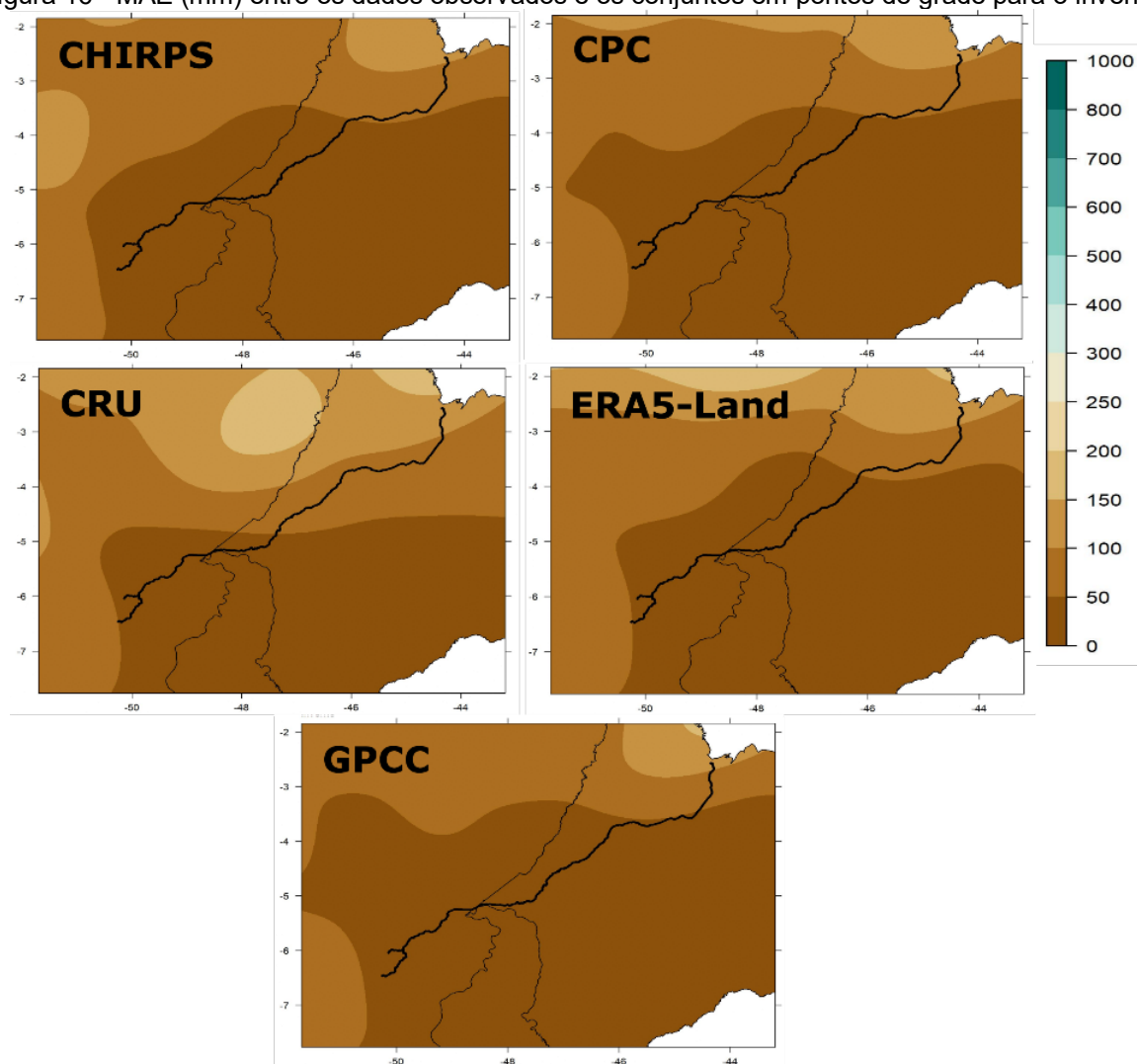


Fonte: Elaborado pelos autores

No inverno, como já era de se esperar, por ser o trimestre com a menor quantidade de chuva, os menores valores de erro na maior parte do Corredor Norte (Figura 16), porém a região do Porto apresenta os maiores valores.

CHIRPS, CPC e GPCC se destacam por mostrarem os menores valores na região do Corredor Norte.

Figura 16 - MAE (mm) entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade para o inverno.

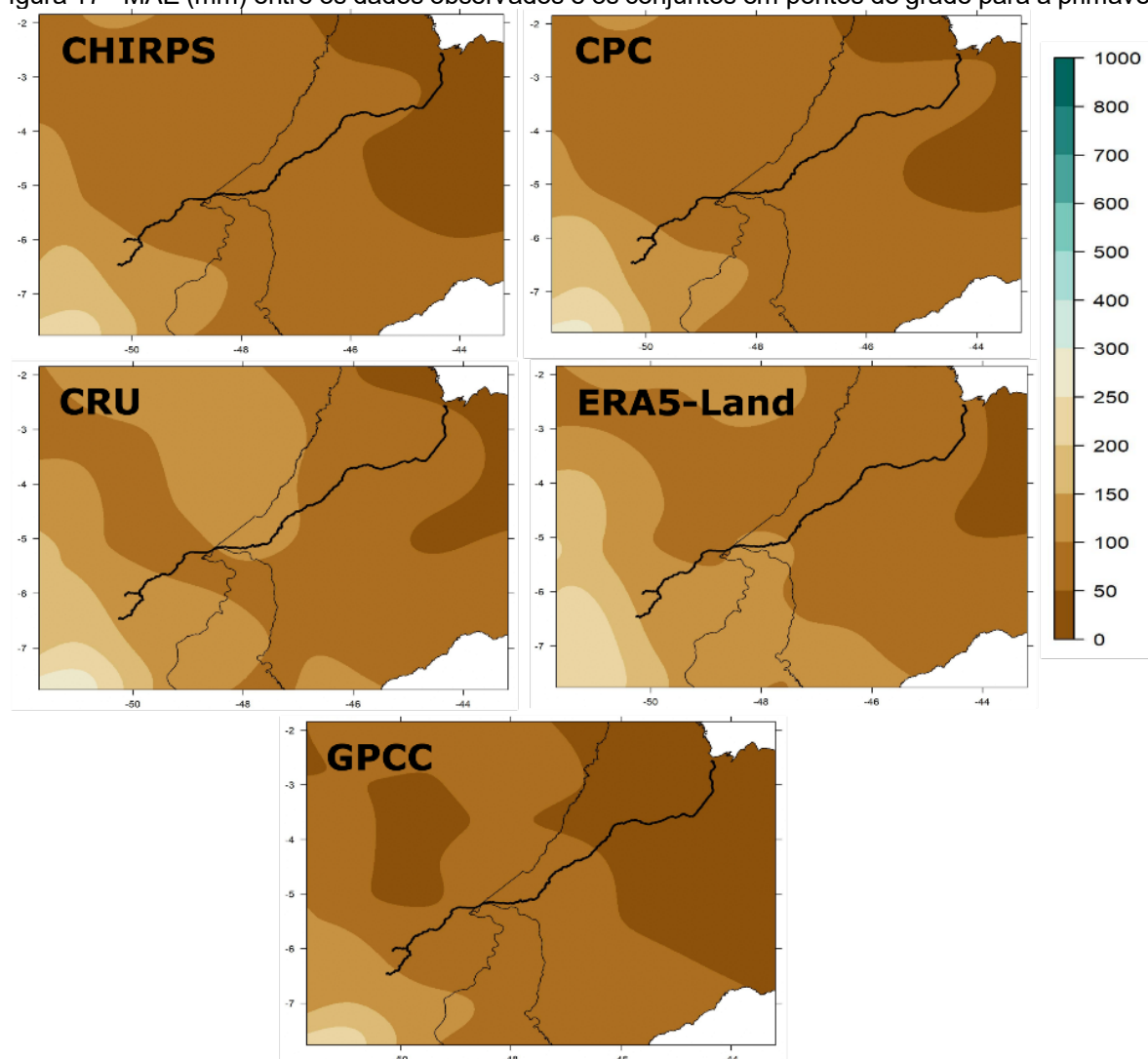


Fonte: Elaborado pelos autores

Na Figura 17 é mostrado o Erro Médio Absoluto para a primavera. Percebe-se que os conjuntos em pontos de grade que se destacam com os menores valores para o Corredor Norte são: CHIRPS, CPC e GPCC.

Nesse trimestre os menores valores estão nas regiões do Porto e Ferrovia e os maiores na região das minas, pois nesse período a quantidade de chuva é maior nessa área, fazendo com que os dados apresentem maiores erros.

Figura 17 - MAE (mm) entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade para a primavera

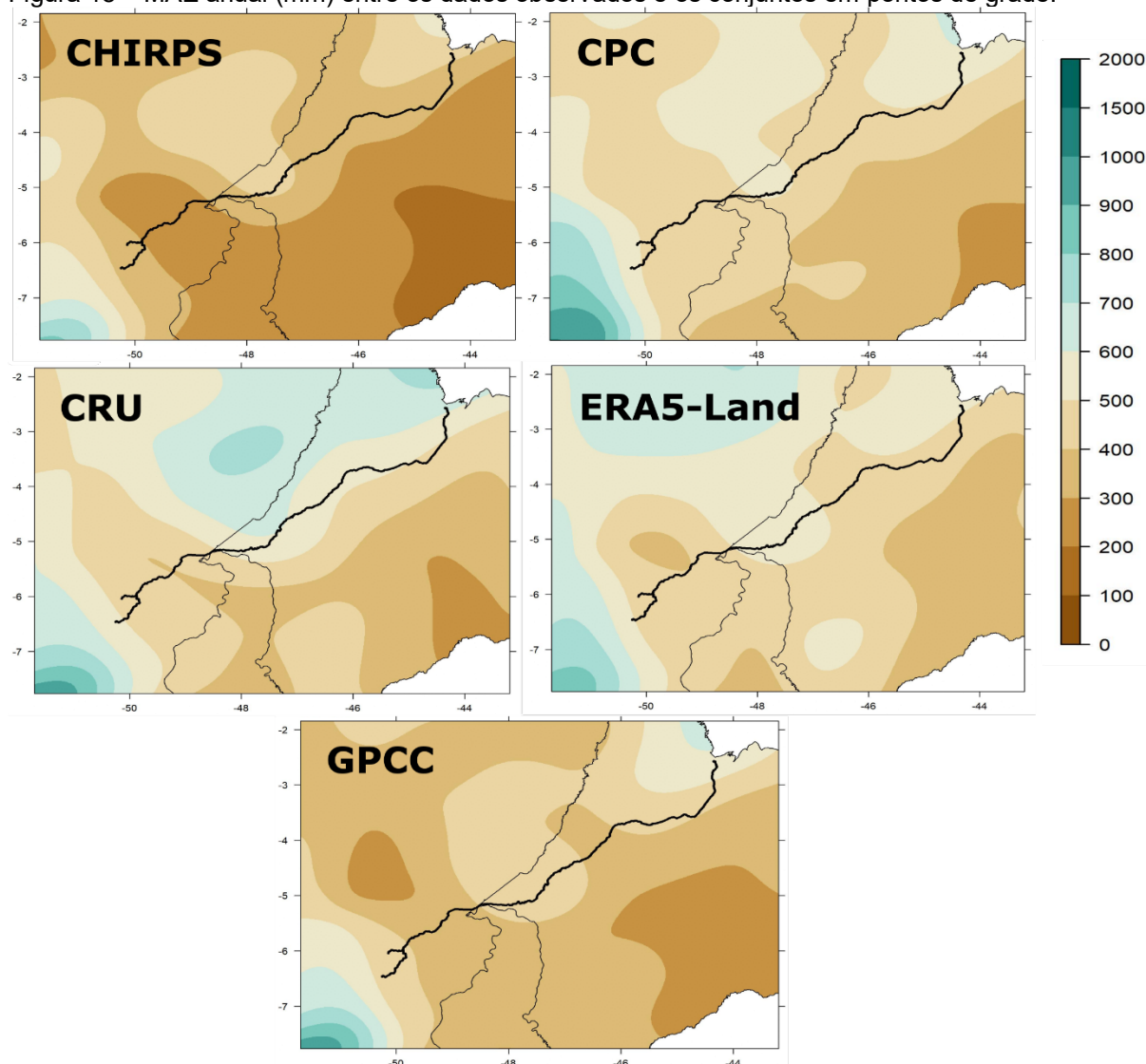


Fonte: Elaborado pelos autores

Na análise anual do MAE (Figura 18), observam-se que os conjuntos de conjuntos em pontos de grade com os menores valores são CHIRPS, CPC e GPCC, com destaque para o CHIRPS, com erros inferior a 300 mm na maior parte da região.

A região do Porto e das minas são as área com os maiores valores de erro e a Ferrovia apresenta os menores valores.

Figura 18 – MAE anual (mm) entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade.



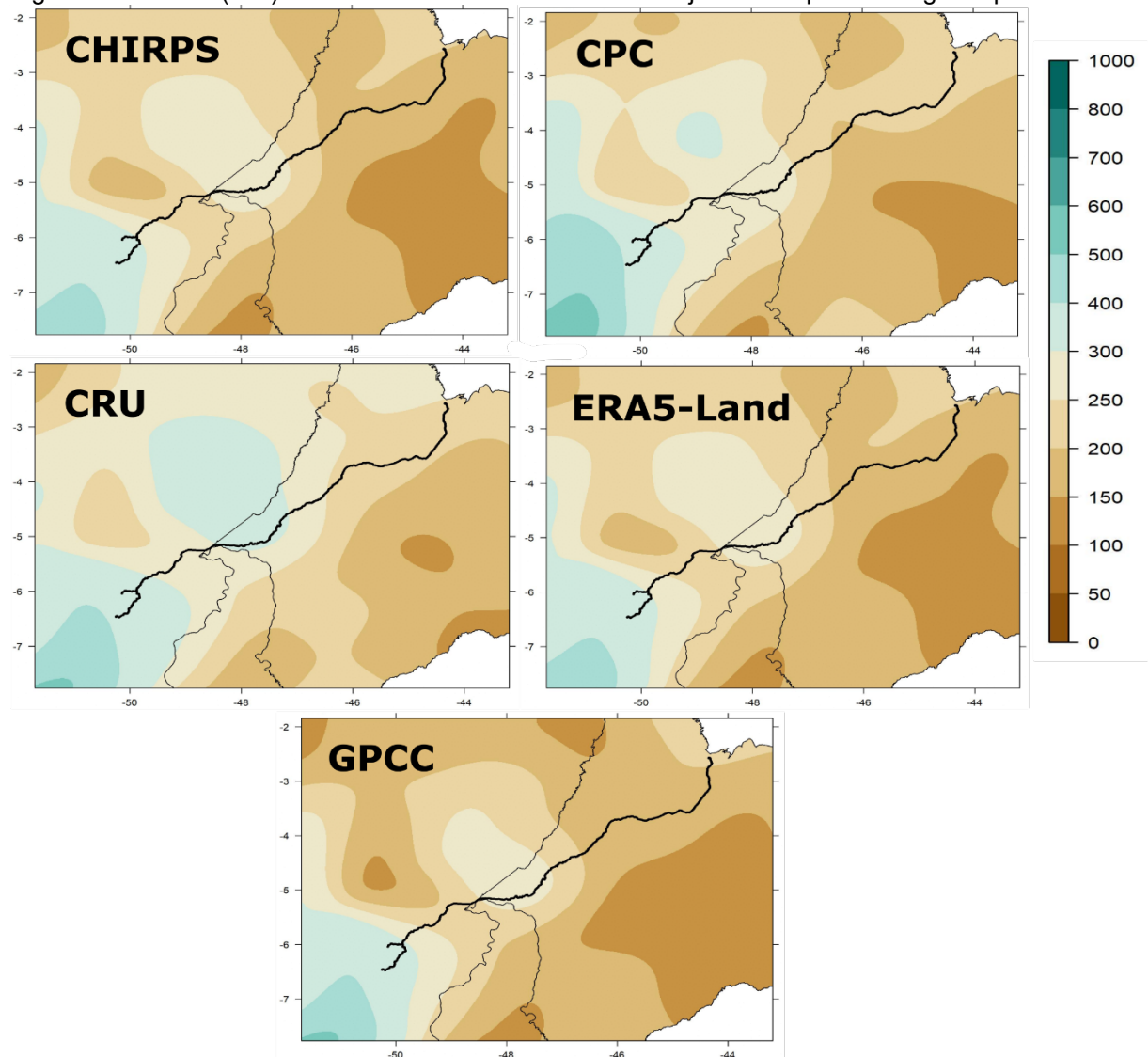
Fonte: Elaborado pelos autores

Através do RMSE, é possível verificar a magnitude média dos erros estimados em dois conjuntos de dados. As figuras 19 a 23 apresentam tal magnitude entre os dados observados e cada dado em ponto de grade.

Na Figura 19 é apresentado o RMSE para o verão, no qual é observado que os conjuntos de dados, em geral demonstram valores consideráveis para a maior parte da região do Corredor Norte.

A região das minas apresenta os maiores valores de erros médios para todos os conjuntos de dados. O Porto e a Ferrovia demonstram menores valores, com destaque para os dados do CHIRPS e GPCC.

Figura 19 - RMSE (mm) entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade para o verão.

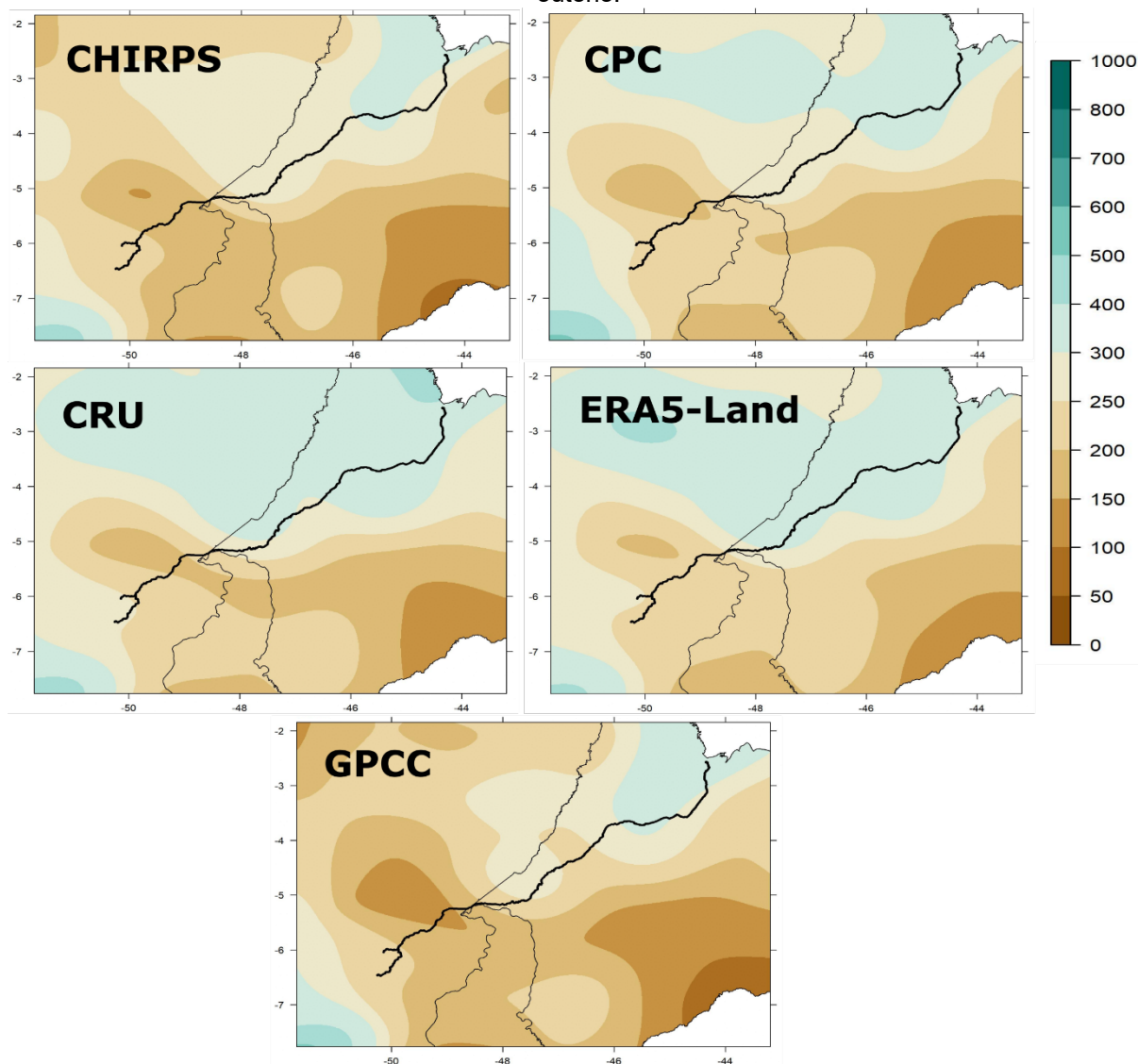


Fonte: Elaborado pelos autores

O erro médio dos conjuntos em pontos de grade para o outono é apresentado na Figura 20. É perceptível que os dados com os menores erros médios para o Corredor Norte são: CHIRPS e GPCC.

A região do Porto e a área norte da Ferrovia detem os maiores valores neste trimestre e, por outro lado, as minas os menores valores.

Figura 20 - RMSE (mm) entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade para o outono.

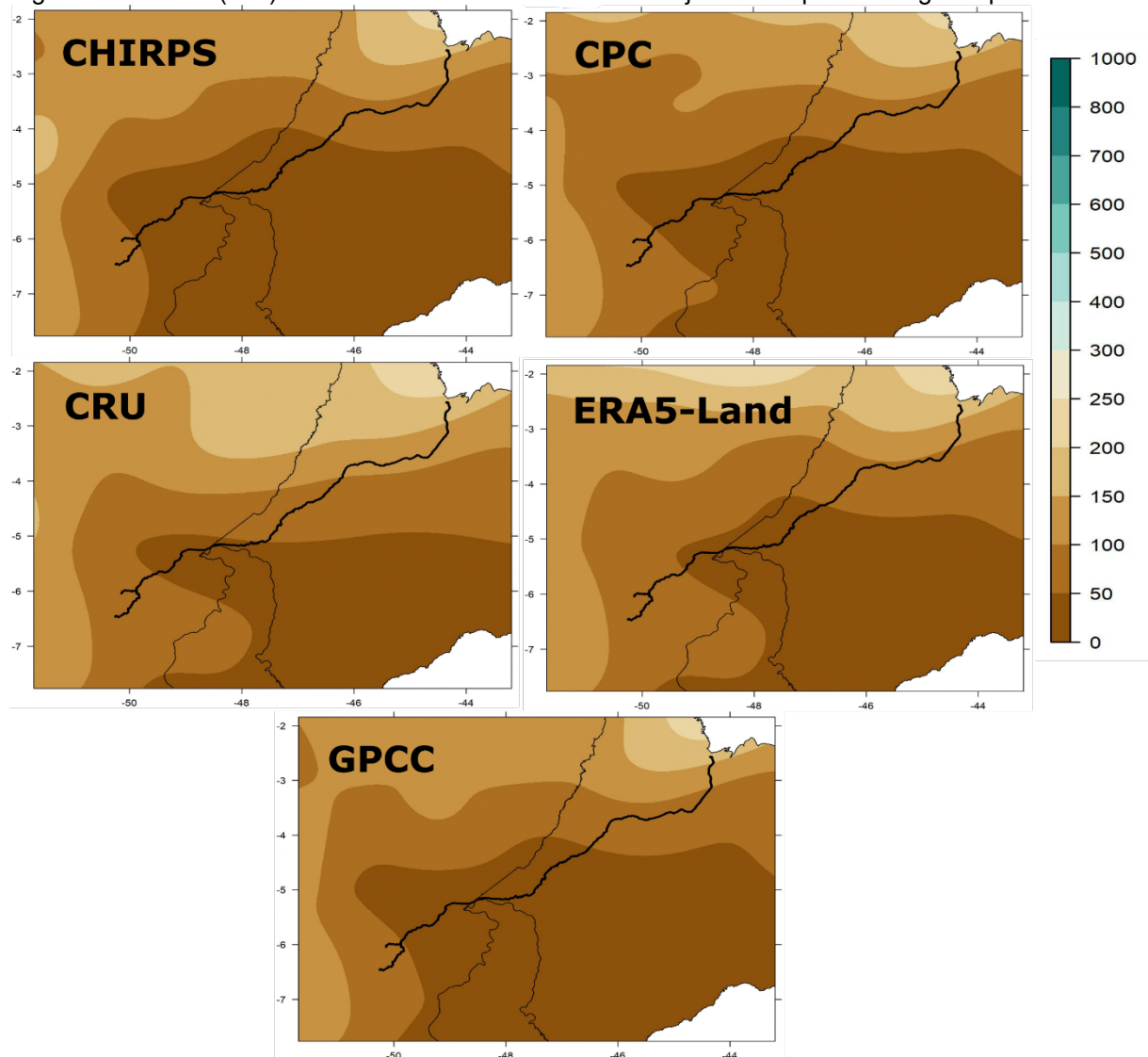


Fonte: Elaborado pelos autores

Assim como nas métricas anteriores, são observados os menores valores de RMSE no inverno (Figura 21). Todos os dados mostraram valores consideráveis para o dado trimestral, com destaque para CHIRPS, CPC e GPCC, que apresentaram os menores valores para a maior área do Corredor Norte.

Considerando as três áreas do Corredor Norte, nota-se que a região do Porto apresenta os maiores valores e a região sul da Ferrovia os menores.

Figura 21 - RMSE (mm) entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade para o inverno

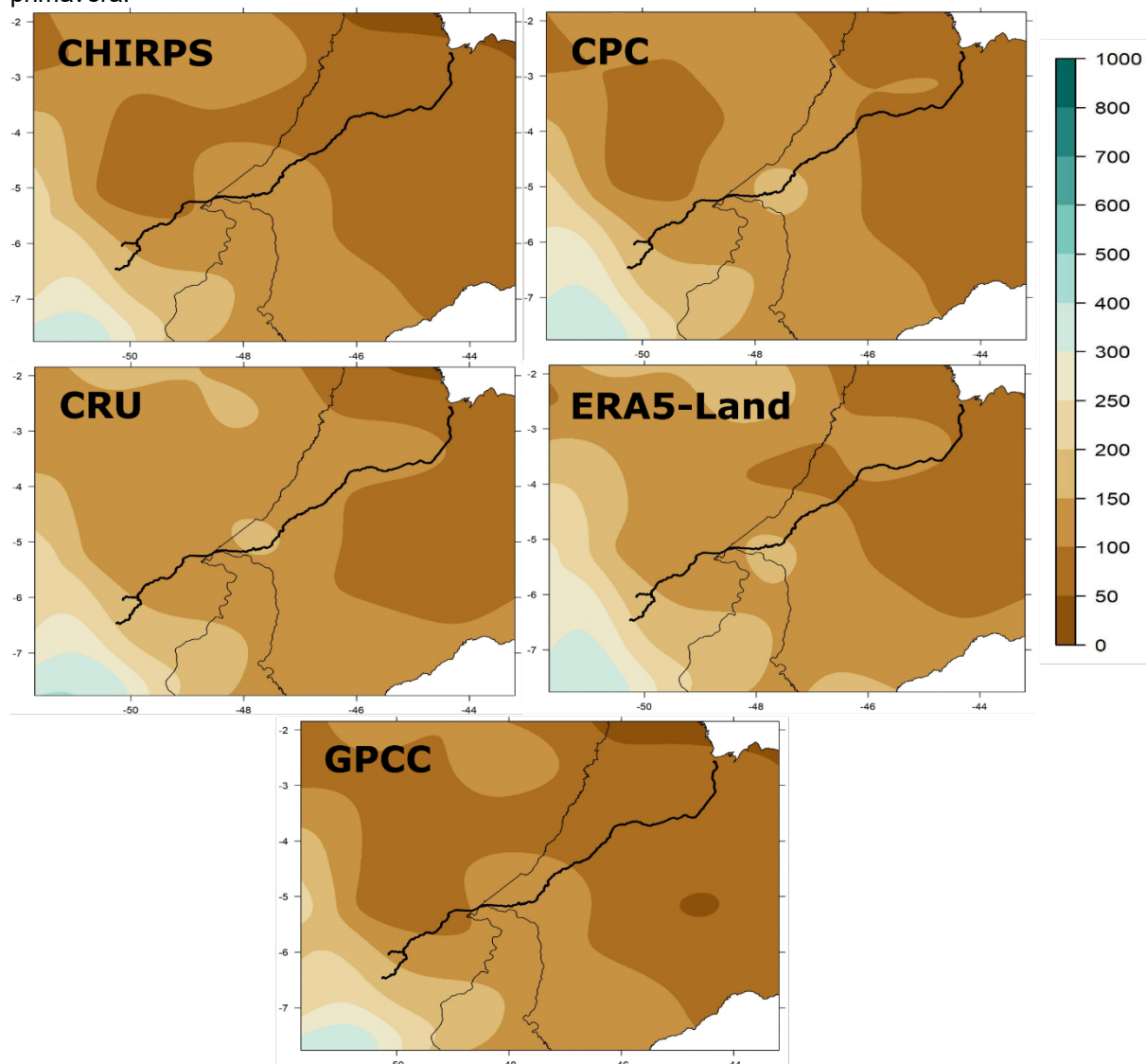


Fonte: Elaborado pelos autores

A Figura 22 mostra o RMSE dos conjuntos em pontos de grade para a primavera. Observam-se que todos os conjuntos de dados mostram valores inferiores a 150 mm na maior parte do Corredor Norte. Os conjuntos de dados que apresentam os melhores resultados foram CHIRPS, CPC e GPCC.

Os menores valores do erro médio estão na região do Porto e Ferrovia e o maiores na região das minas.

Figura 22 - RMSE (mm) entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade para a primavera.

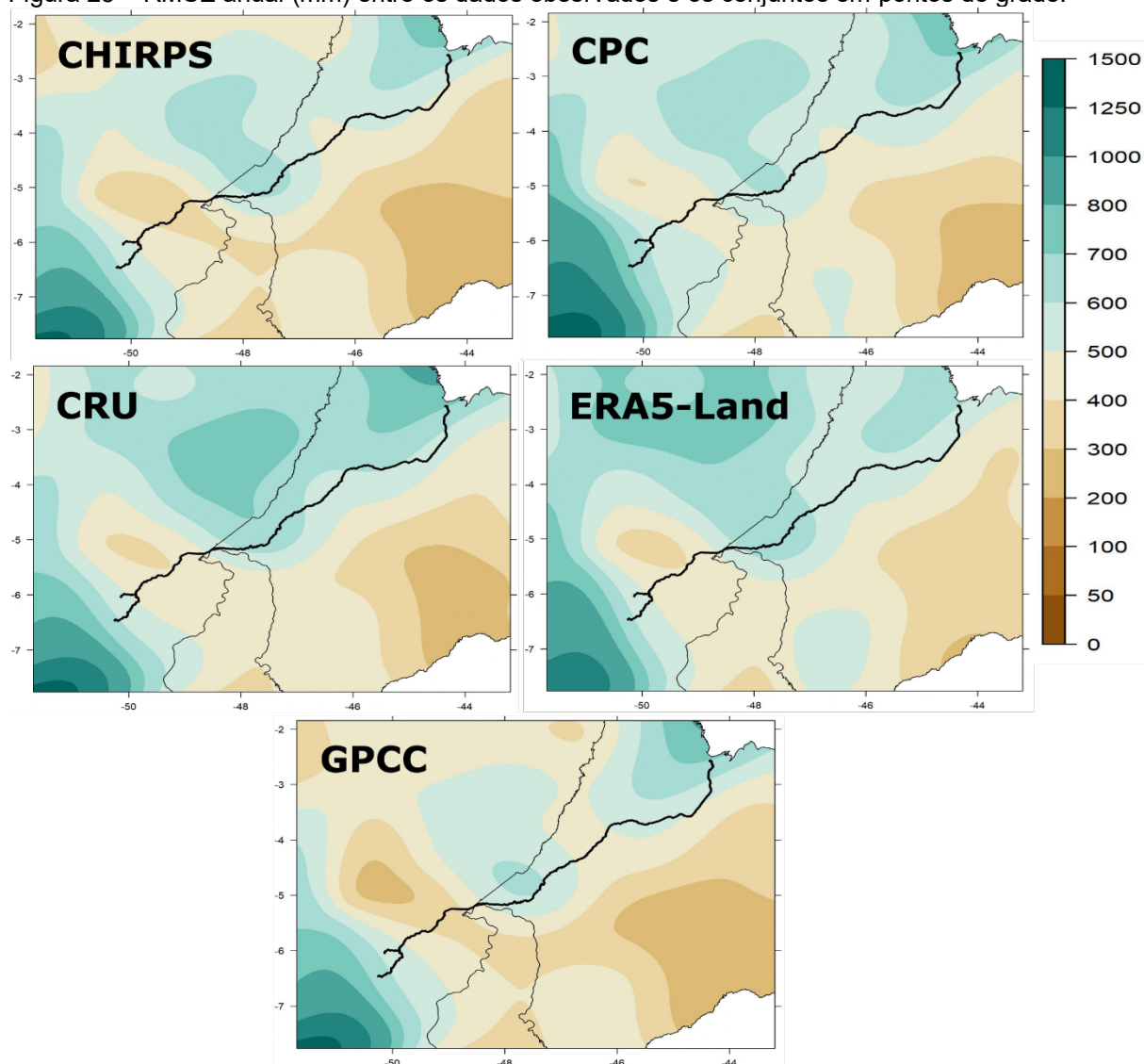


Fonte: Elaborado pelos autores

No RMSE anual (Figura 23), os conjuntos de dados demonstram um erro maior na região do Porto e nas minas (entre 500 e 800 mm), somente na área sul da Ferrovia predomina erro inferior a 400 mm.

Em geral, os dados com melhor resultado no Corredor Norte são CHIRPS e GPCC.

Figura 23 – RMSE anual (mm) entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade.



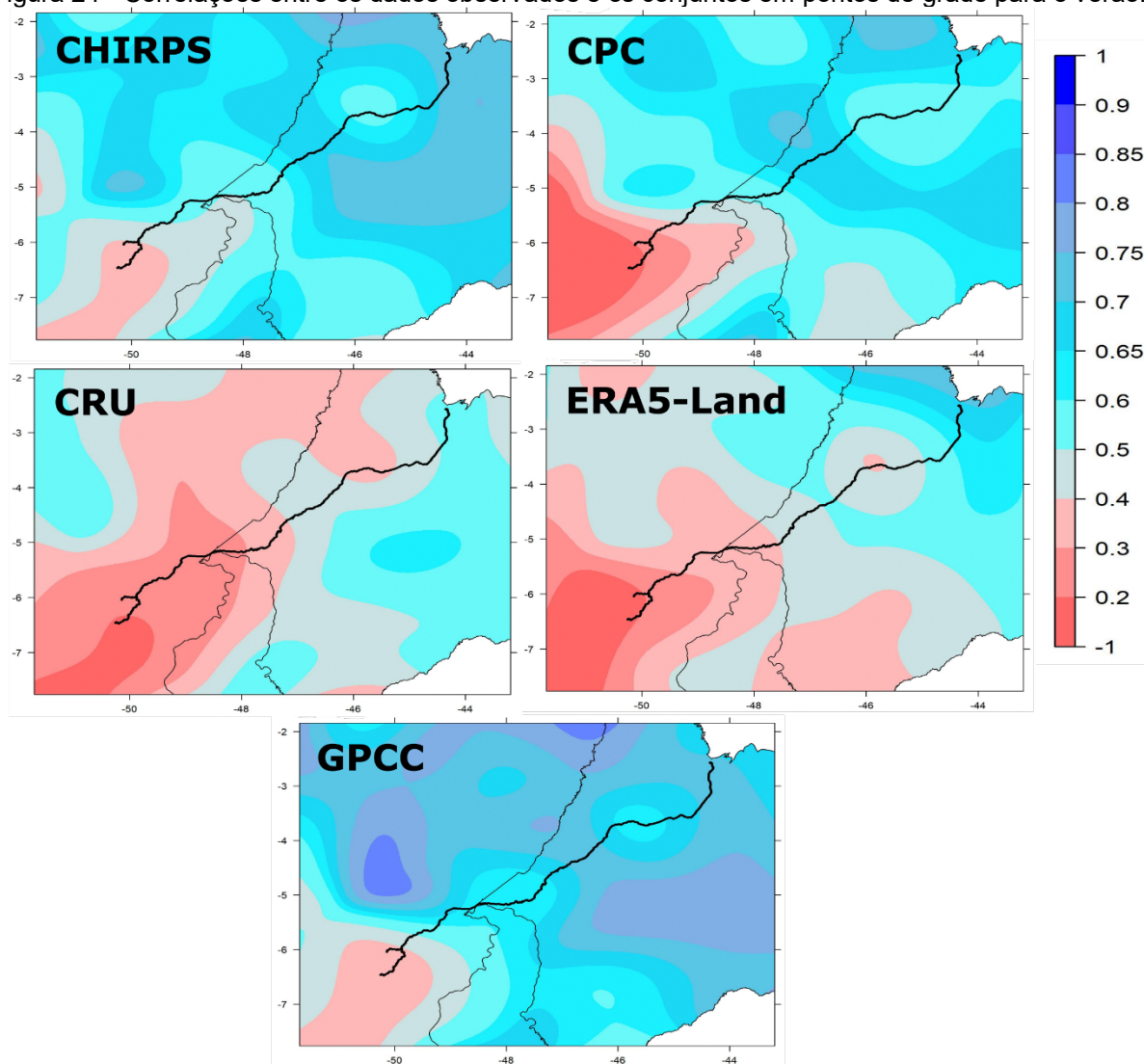
Fonte: Elaborado pelos autores

Nas Figuras de 24 a 28 são apresentados os resultados da correlação entre o dado observado e cada conjunto de dado em ponto de grade.

A Figura 24 apresenta o resultado da correlação para o verão. Observam-se que nesse trimestre os conjuntos de dados mostram melhores resultados para a região do Porto.

O CHIRPS, CPC e GPCC apresentam valores significativos entre o sul da Ferrovia e o Porto, com valores acima de 0,6, os demais mostram valores no sul da Ferrovia até as minas inferiores a 0,5.

Figura 24 - Correlações entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade para o verão.

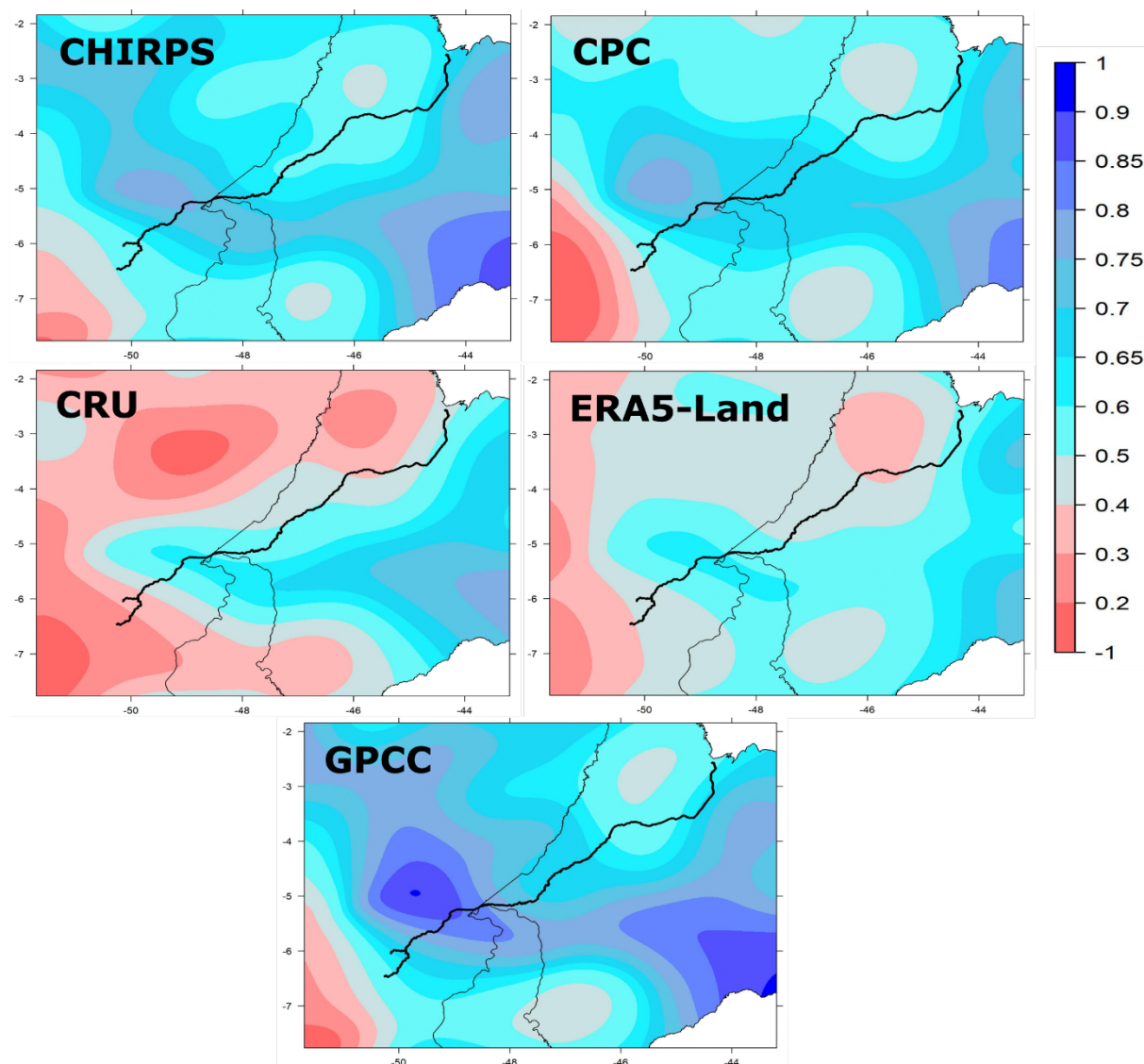


Fonte: Elaborado pelos autores

A Figura 25 apresenta o resultado da correlação para o outono. Notam-se que todos os dados detêm resultados significativos para a maior parte da região do Corredor Norte.

Os dados com melhores valores foram CHIRPS, CPC e GPCC, no qual em algumas regiões nota-se correlação acima de 0,7, especialmente do sul da Ferrovia até o Porto. Na região das minas os valores foram inferiores para os conjuntos de dados do CRU e ERA5-Land.

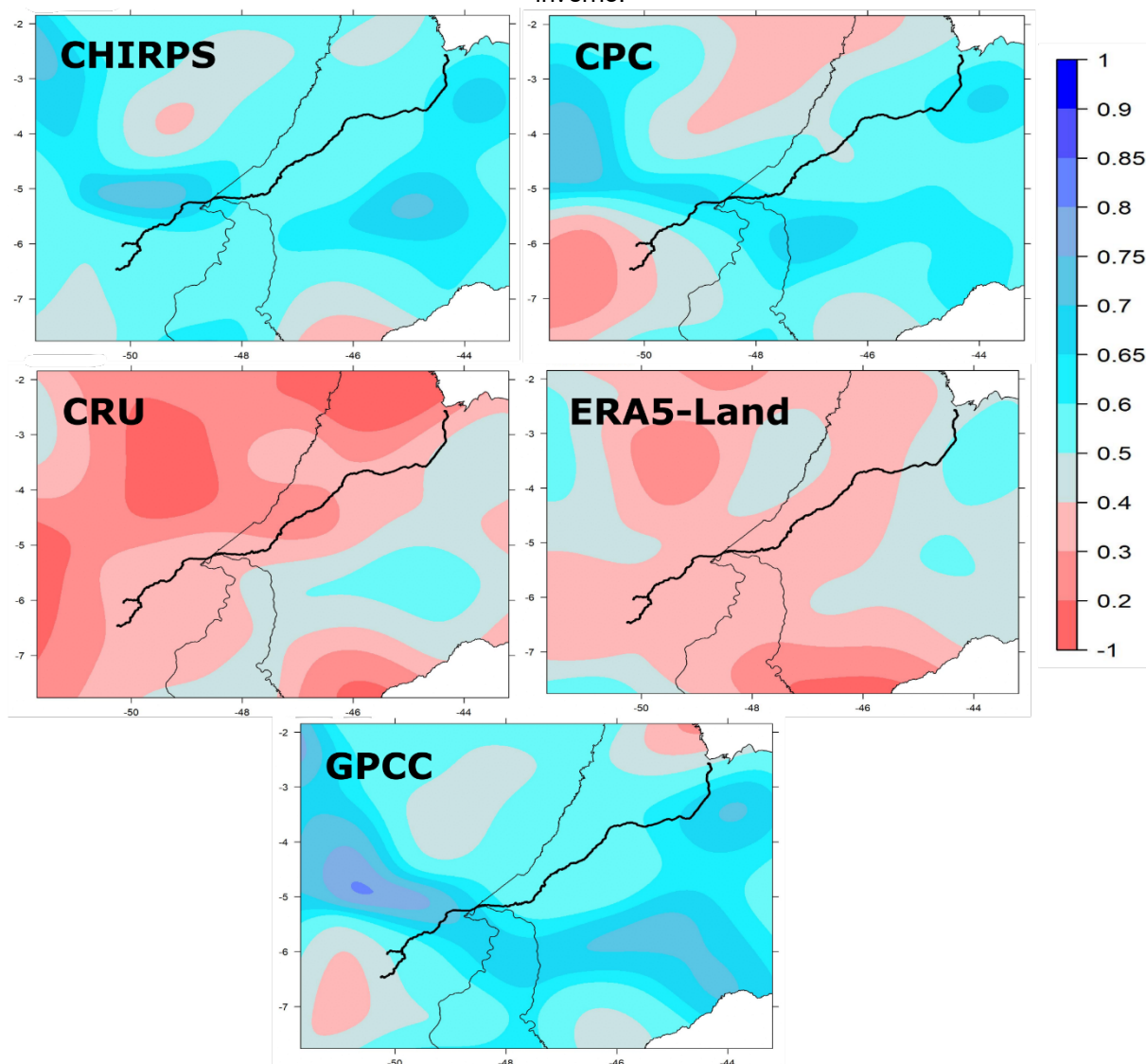
Figura 25 – Correlações entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade para o outono.



Fonte: Elaborado pelos autores

Os resultados das correlações para o inverno são apresentados na Figura 26. Observam que os conjuntos de dados mostram valores mais significativos nas regiões do Porto e Ferrovia, com valores acima de 0,5 (CHIRPS, CPC e GPCC), com destaque para CHIRPS, em os resultados significativos são para todo o Corredor Norte.

Figura 26 - Correlações entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade para o inverno.

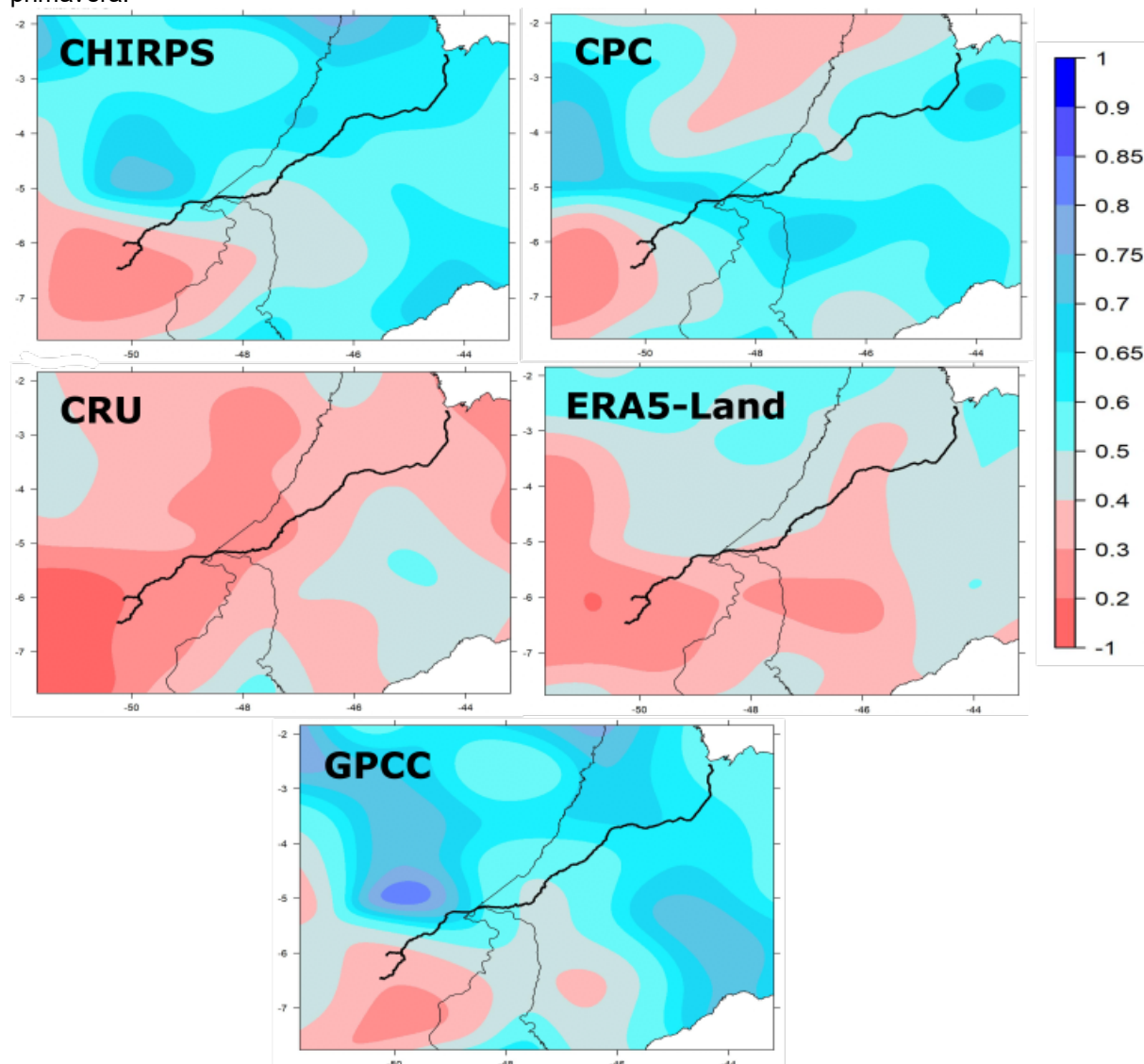


Fonte: Elaborado pelos autores

Na Figura 27 é apresentado os resultados da correlação para a primavera. Percebe-se, que assim como nos demais trimestres os dados que demonstraram os valores mais significativos foram CHIRPS, CPC e GPCC e os dados do CRU e ERA5-Land foram os que apresentaram resultados menos significativos.

As regiões do Porto e Ferrovia apresentam valores acima de 0,5 e a região da minas valores menos significativos.

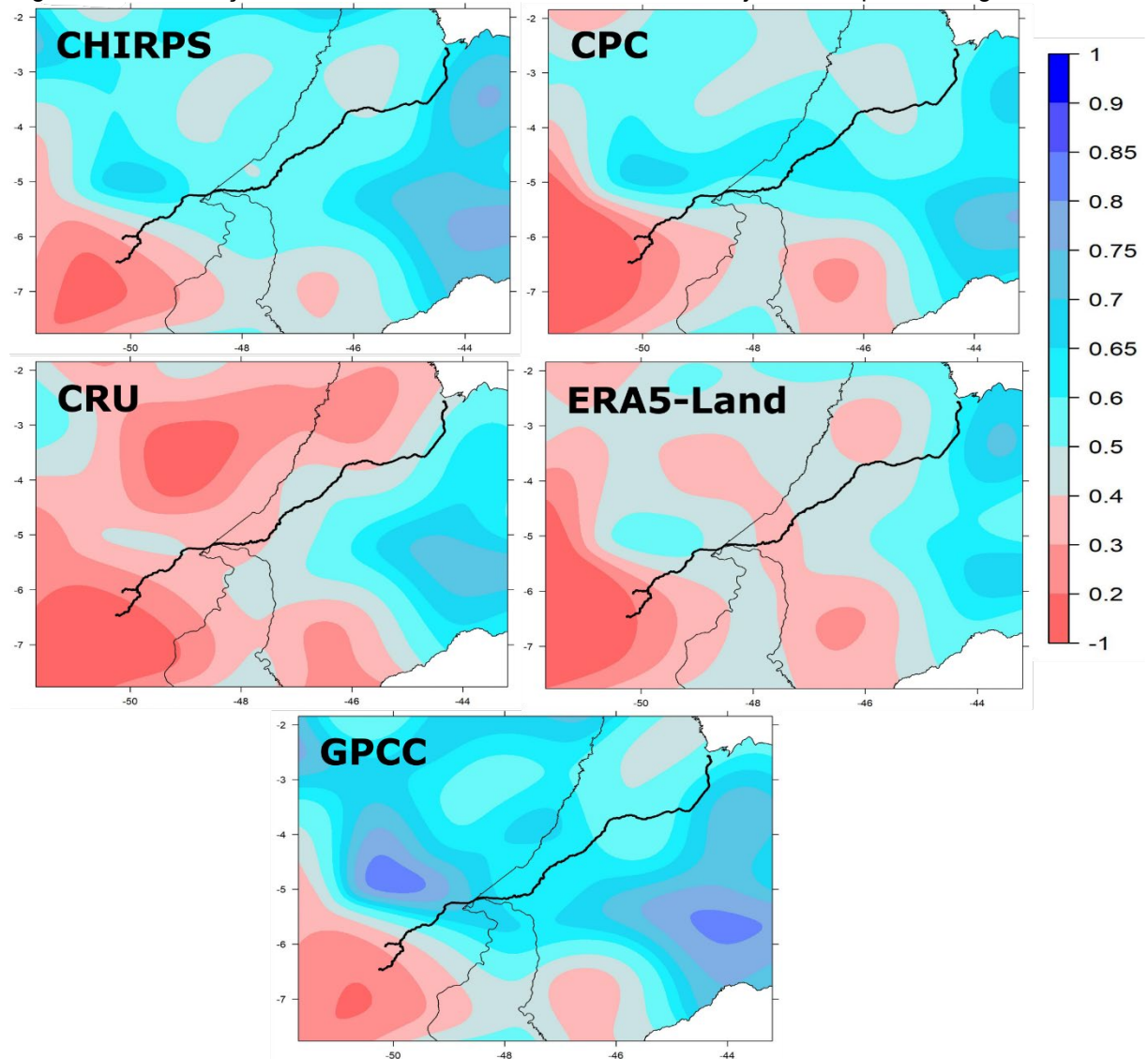
Figura 27 - Correlações entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade para a primavera.



Fonte: Elaborado pelos autores

Os resultados dos dados anuais da correlação (Figura 28) não foram diferentes dos trimestrais, pois mostram que o CHIRPS, CPC e GPCC apresentaram valores significativos também no resultado anual para o Porto e Ferrovia. CRU e ERA5-Land detem valores mais significativos apenas para o Porto.

Figura 28 – Correlação anual entre os dados observados e os conjuntos em pontos de grade.



Fonte: Elaborado pelos autores

4 DISCUSSÃO

Estudos científicos comprovam que a Amazônia é carente de dados *in situ* e uma forma de suprir essa carência são os estudos utilizando dados advindos de outras formas de monitoramento.

Atualmente, conjuntos de dados de precipitação em grade foram desenvolvidos com diferentes fontes de dados, com resoluções espaciais, intervalos temporais etc. (SUN et al., 2018).

Várias pesquisas no globo (JIAO et al, 2021; KUMAR et al., 2021; SHEN et al., 2019), Continente americano (VEGA-DURÁN et al, 2021; SILVA et al, 2019) e no Brasil (COSTA et al., 2019; SILVA et al., 2022; DOS SANTOS et al., 2019) corroboram os dados de análise e reanálise utilizados em estudos comparativos com dados de observação de superfície.

Na Amazônia, estudos como os de Silva et al. (2020), Da Costa Barbosa et al. (2020) e Cavalcante et al. (2020) demonstraram que os dados de precipitação em grade se assemelham aos dados obtidos com os dados de pluviômetro.

Os resultados, desses estudos, mostraram que três das cinco bases de dados obtiveram melhor resposta foram o CHIRPS, CPC e GPCC em comparação aos dados *in situ* em função do menor erro e correlações significativas, estando em acordo com os estudos de Cavalcante et al (2020) que utilizou técnicas estatísticas de validação semelhantes para estudo na Amazônia e Silva et al. (2020) de forma mais pontual, no Estado do Pará.

Tais pesquisas são de suma importância para a inserção dos dados em estudos que necessitem de dados com atualizações constantes para alertas de desastres naturais (REIS et al., 2022) e para desvendar questões relacionadas à padronização e interferência das mudanças climáticas (XAVIER et al., 2021)

5 CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo recomendar a melhor base de dados para estudos climáticos sobre a cadeia mineral localizada no leste da Amazônia. Para tal, foram analisados índices estatísticos aos dados de forma trimestral e anual para o Corredor Norte da Vale.

Os conjuntos em pontos de grade representaram de forma satisfatória os dados *in situ* na região do Corredor Norte, porém tendem a subestimar a precipitação na região, principalmente no período chuvoso (verão e outono), embora haja um ajuste melhor ao observado no período menos chuvoso (inverno e primavera). Contudo, os resultados mostraram que três bases de dados se adequam melhor aos dados observados com menores erros e correlações significativas, sendo eles: CHIRPS, CPC e GPCC.

Esta pesquisa é fruto do Projeto de Eventos Extremos, iniciado no ano corrente no Instituto Tecnológico Vale, em que o resultado encontrado servirá como dado de entrada no estudo de modelagem de eventos extremos sobre o Corredor Norte da Vale.

REFERÊNCIAS

CAPAROCI NOGUEIRA, Sulimar Munira; MOREIRA, Maurício Alves; Lordelo Volpato, Margarete Marin. Avaliando estimativas de precipitação a partir de dados Eta, TRMM e CHRIPS na região sul-sudeste de Minas Gerais—Brasil. **Sensoriamento Remoto**, v. 10, n. 2, pág. 313, 2018.

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. Evaluation of extreme rainfall indices from CHIRPS precipitation estimates over the Brazilian Amazonia. **Atmospheric Research**, v. 238, p. 104879, 2020.

CHEN, Mingyue et al. Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 113, n. D4, 2008.

COSTA, J. C., PEREIRA, G., SIQUEIRA, M. E., DA SILVA CARDOZO, F., DA SILVA, V. V. Validação dos Dados de Precipitação Estimados pelo CHIRPS para o Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, 2019.

COSTA, R. L., SILVA, F. S., SARMANHO, G. F., LUCIO, P. S. Imputação multivariada de dados diários de precipitação e análise de índices de extremos climáticos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 3, p. 661-675, 2012.

CRISTALDO, MF, SOUZA, CCD, JESUS, LD, PADOVANI, CR, OLIVEIRA, PTSD, VIGANÓ, HHDG L. Analysis and distribution of the rainfall monitoring network in a Brazilian Pantanal Region. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, p. 199-205, 2017.

DA COSTA BARBOSA, I. C., DA SILVA, E. R. M., DA SILVA, H. J. F., DA SILVA COSTA, L. G., VITORINO, M. I., DE SOUSA, A. M. L. Avaliação da precipitação baseada em dados do CHIRPS e GPCC com medições na superfície para a sub-bacia do rio Guamá no Nordeste Paraense. **Ciência e Natura**, v. 42, p. e32-e32, 2020.

DA ROCHA JÚNIOR, Rodrigo Lins et al. Analysis of the Space–Temporal Trends of Wet Conditions in the Different Rainy Seasons of Brazilian Northeast by Quantile Regression and Bootstrap Test. **Geosciences**, v. 9, n. 11, p. 457, 2019.

DOS SANTOS, S. R. Q., DO AMARAL CUNHA, A. P. M., RIBEIRO-NETO, G. G. Avaliação de dados de precipitação para o monitoramento do padrão espaço-temporal da seca no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, 2019.

FRANCO, V., SOUZA, E., COSTA, C., FERREIRA, D., OLIVEIRA, J., SODRÉ, G., AZEVEDO, F. Prognóstico sazonal da precipitação para o verão e outono austral da Amazônia oriental **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 1, p. 057-070, 2019.

FUNK, C., PETERSON, P., LANDSFELD, M., PEDREROS, D., VERDIN, J., SHUKLA, S., MICHAELSEN, J. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific data*, v. 2, n. 1, p. 1-21, 2015.

HARRIS, Ian et al. Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. **Scientific data**, v. 7, n. 1, p. 1-18, 2020.

JIAO, D., XU, N., YANG, F., XU, K. Evaluation of spatial-temporal variation performance of ERA5 precipitation data in China. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 1-13, 2021.

KUMAR, M., HODNEBROG, O., DALOZ, A. S., SEN, S., BADIGER, S., KRISHNASWAMY, J. Measuring precipitation in Eastern Himalaya: Ground validation of eleven satellite, model and gauge interpolated gridded products. **Journal of Hydrology**, v. 599, p. 126252, 2021.

KUMMEROW, C., SIMPSON, J., THIELE, O., BARNES, W., CHANG, A. T. C., STOCKER, E., NAKAMURA, K. The status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after two years in orbit. *Journal of applied meteorology*, v. 39, n. 12, p. 1965-1982, 2000.

MARENGO, J. A. Mudanças Climáticas e eventos extremos no Brasil. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento sustentável. Brasília: MMA, 2012. Disponível em: http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS_MudancasClimaticas.pdf.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). Brasil em Relevô. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 31 mar. 2022

MUÑOZ-SABATER, J., DUTRA, E., AGUSTÍ-PANAREDA, A., ALBERGEL, C., ARDUINI, G., BALSAMO, G., ... & THÉPAUT, J. N. ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. **Earth System Science Data**, v. 13, n. 9, p. 4349-4383, 2021.

REIS, Jean Souza dos et al. Evaluation of Atmospheric Features in Natural Disasters due Frontal Systems over Southern Brazil. **Atmosphere**, v. 13, n. 11, p. 1886, 2022.

SCHNEIDER, Udo et al. GPCC's new land surface precipitation climatology based on quality-controlled in situ data and its role in quantifying the global water cycle. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 115, n. 1, p. 15-40, 2014.

SHEN, Gaoyun et al. WHU-SGCC: a novel approach for blending daily satellite (CHIRP) and precipitation observations over the Jinsha River basin. **Earth System Science Data**, v. 11, n. 4, p. 1711-1744, 2019.

SILVA, C. B., SILVA, M. E. S., AMBRIZZI, T., TOMMASELLI, J. T. G., PATUCCI, N. N., MATAVELI, G. A. V., CORREA, W. C. Precipitação na América do Sul—dados

obtidos por estações meteorológicas automáticas e por sistemas orbitais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, 2019.

SILVA, E. H. D. L., SILVA, F. D. D. S., JUNIOR, R. S. D. S., PINTO, D. D. C., COSTA, R. L., GOMES, H. B., HERDIES, D. L. Performance Assessment of Different Precipitation Databases (Gridded Analyses and Reanalyses) for the New Brazilian Agricultural Frontier: SEALBA. **Water**, v. 14, n. 9, p. 1473, 2022.

SILVA, ERMD, BARBOSA, ICDC, SILVA, HJFD, Costa, LGS, ROCHA, EJPD. Análise do Desempenho da Estimativa de Precipitação do Produto CHIRPS para Sub-Bacia do Rio Apeú, Castanhal-PA. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.13, n.03, 1094-1105. 2020.

SILVA, Ewerton Hallan de Lima et al. Performance Assessment of Different Precipitation Databases (Gridded Analyses and Reanalyses) for the New Brazilian Agricultural Frontier: SEALBA. **Water**, v. 14, n. 9, p. 1473, 2022.

SUN, Q., MIAO, C., DUAN, Q., ASHOURI, H., SOROOSHIAN, S., HSU, K. L. A review of global precipitation data sets: Data sources, estimation, and intercomparisons. **Reviews of Geophysics**, v. 56, n. 1, p. 79-107, 2018.

VEGA-DURÁN, J., ESCALANTE-CASTRO, B., CANALES, F. A., ACUÑA, G. J., & KAŻMIERCZAK, B. Evaluation of areal monthly average precipitation estimates from MERRA2 and ERA5 reanalysis in a colombian caribbean basin. **Atmosphere**, v. 12, n. 11, p. 1430, 2021.

XAVIER, Ana Carolina Freitas et al. Evaluation of satellite-derived products for the daily average and extreme rainfall in the Mearim river drainage basin (Maranhão, Brazil). **Remote Sensing**, v. 13, n. 21, p. 4393, 2021.

YNOUE, R. Y., REBOITA, M. S., AMBRIZZI, T., DA SILVA, G. A. Meteorologia: noções básicas. **Oficina de Textos**, 2017.