

CORRELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO ESTIMADA POR SATÉLITE E DADOS DE SUPERFÍCIE PARA APLICAÇÃO EM ESTUDOS CLIMATOLÓGICOS

Francisco Jablinski Castellano¹
Gabriela Marques Pinheiro²
Wilson Flavio Feltrim Roseghini³

Resumo: Este trabalho tem como objetivo apresentar novas oportunidades na obtenção de dados pluviométricos diários, mensais e anuais, propondo como alternativa o uso de dados obtidos através de satélites como CHIRPS, CMORPH e TRMM. Para este artigo foram correlacionados dados provenientes destes três sensores com dados coletados em superfície junto a Estação Meteorológica Oficial do SIMEPAR em Curitiba/PR. Tais dados foram organizados em matrizes e gráficos de dispersão através da ferramenta “Corrplot” junto ao software RStudio. Os resultados apontaram que as melhores correlações foram encontradas nos dados em escala anual e mensal entre o sensor CHIRPS com valores de 0.85 e 0.86 respectivamente e em escala diária, a correlação foi baixa, registrando 0.52 para os sensores TRMM e CMORPH

Palavras-chave: Correlação; Precipitação; Coleta de dados; Satélites

CORRELATION BETWEEN ESTIMATED SATELLITE PRECIPITATION AND SURFACE DATA FOR APPLICATION IN CLIMATOLOGICAL STUDIES

Abstract: The objective of this paper is to purpose new opportunities on the collect of daily, monthly and annual precipitation data, purposing as an alternative the use of data obtained through satellites such as CHIRPS, CMorph and TRMM. For this article were correlated data from this three sensors with data collected on the surface from the Official Meteorological Station of SIMEPAR at Curitiba/PR. Such data were organized in matrix and dispersion graphics with the use of the “Corrplot” tool at the RStudio software. The results pointed that the best correlation were found at the annual scale and monthly scale at the CHIRPS sensor, with correlation values of 0.85 and 0.86 respectively and at the daily scale, the correlation were lower, registering 0.52 for the TRMM and CMORPH sensors.

Keywords: Correlation; Precipitation; Data collect, Satellites

CORRELACIONES ENTRE PRECIPITACION ESTIMADA POR SATELITE Y DATOS DE SUPERFÍCIE PARA APLICACIÓN EN ESTUDIOS CLIMATOLÓGICOS

Resumen: Este articulo tiene como objetivo presentar nuevas oportunidades en la obtención de datos pluviométricos diarios, mensuales y anuales, proponiendo como alternativa el uso de datos obtidos por satélites como el CHIRPS, CMORPH y el TRMM. Para este trabajo, fueran

¹ Doutorando em Geografia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná (fjcastelhano@gmail.com)

² Professora do Departamento de Geografia, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, Paraná, (gabimpinheiro20@hotmail.com)

³ Professor do Departamento de Geografia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná (feltrim@gmail.com)

correlacionados dados provindos de estos tres sensores con datos colectado en la superficie, por la Estacion Meteorologica Oficial del SIMEPAR, en Curitiba/PR. Estos datos fueron organizados en matrices y gráficos de dispersión con la herramienta “Corrplot”, en el software RStudio. Los resultados apuntan que las mejores correlaciones fueron encontradas en los datos con escala anual y mensual en el sensor CHIRPS con valores de 0.85 y 0.86 respectivamente y en la escala diaria, la correlacion fue baja, con 0.52 para los sensores TRMM e CMORPH.

Palabras clave: Correlación; Precipitación; Colecta de datos; Satélites

INTRODUÇÃO

O conhecimento detalhado do clima vem despertando interesse na sociedade atual por seu caráter altamente dinâmico e rompimento na variabilidade natural ou apenas por estabelecer previsão de futuras mudanças do sistema climático.

Dentre os estudos envolvendo a variabilidade climática em suas diferentes escalas que permitem descrever o clima, o estudo da precipitação em escala diária tornou-se objeto central devido à importância que este tem no Brasil em função de suas consequências para a sociedade, e apresentando grande variabilidade somando-se aos desequilíbrios hídricos (PINHEIRO, 2016).

Desde uma visão particular, nota-se que a precipitação no Brasil é muito irregular, devido a sua extensão territorial e às inúmeras massas de ar que atuam em todo o território, além de apresentar inúmeros fatores que contribuem para esta instabilidade, como a diversidade orográfica com importantes cadeias de montanhas, vales e rios, tornando, assim, os fenômenos locais únicos, os quais adquirem uma importância extraordinária (PINHEIRO, 2016). Estas condicionantes fazem com que as precipitações, sobre a escala diária, apresentem uma variabilidade tanto espacial quanto temporal, dificultando, assim, o seu entendimento (MARTIN-VIDE, 2002).

Esta variabilidade da precipitação também se traduz em uma variabilidade hidrológica, ao passo que a irregularidade do regime hídrico no espaço e no tempo torna-se um dos tópicos mais discutidos, o qual se traduz na falta ou excesso de água ao longo dos anos (MARTIN-VIDE, 2004).

Entender a variabilidade climática e sua produção no espaço geográfico é fundamental para a implantação de ações que visam mitigar problemas que afetam diretamente ou indiretamente o cotidiano das pessoas e as atividades econômicas, como a agricultura, comércio, indústrias, produção de energia, abastecimento doméstico, turismo e meio ambiente. Dessa forma, o desenvolvimento de políticas adequadas relacionadas aos recursos hídricos é de vital interesse para a planificação e gestão do território, visto que muitas cidades

sofrem com as flutuações hídricas (inundações e secas). Sendo assim, os estudos climáticos, os quais buscam compreender a estrutura da precipitação, auxiliam no controle dos recursos hídricos e na previsão de possíveis eventos extremos.

A pluviosidade é uma das mais importantes variáveis meteorológicas para os estudos climáticos. Essa importância deve-se a sua função dentro da dinâmica climática e de sua variação no espaço e no tempo. Além disso, ela constitui uma das variáveis climáticas que mais influencia no cotidiano das pessoas e na qualidade do meio ambiente. Os volumes de precipitação pluvial, a distribuição temporal e a intensidade das chuvas afetam a sociedade, a economia e a dinâmica natural do planeta.

Portanto, observações cuidadosas sobre os registros climáticos em longo prazo são importantes para a sociedade moderna, na medida em que fornece uma base para o conhecimento de tendências climáticas e as suas causas potenciais, uma vez que os impactos das oscilações climáticas estão associados aos eventos de precipitação.

No Brasil, as primeiras estações meteorológicas foram implantadas no início do século XX e até os dias atuais, a maioria destes postos pluviométricos correspondem a um simples pluviômetro analógico, o qual requer atenção diária, ou seja, constante manutenção. Por isso, em alguns casos específicos podem incidir problemas de inconsistências, que causam falhas ou ruídos nas séries de registros históricos, os quais são repassados à ANA, a Instituição Pública responsável por gerenciar o banco de dados. Além disso, outros fatores podem contribuir para a disseminação de erros ou falhas, como as alterações de instrumentos, troca do método de observação, mudança de localização do equipamento (urbanização e/ou uso do solo); inclusive, as condições climáticas locais podem afetar ou induzir a erros de apontamento, para mais ou para menos e até mesmo motivar a omissão de registros.

Nos estudos climatológicos, uma série temporal é considerada homogênea se as variações existentes na mesma são originadas simplesmente pelo tempo e pelo clima, ou seja, não são afetadas por fatores não climáticos que fazem com que os dados não representem fielmente o comportamento do clima (COSTA e SOARES, 2009). A análise de dados históricos das variáveis meteorológicas é o principal fundamento de um estudo climatológico. Este estudo visa entender o comportamento do clima, detectando possíveis variações, mudanças ou tendências, de forma a caracterizar fatores climáticos de um local ao longo do tempo.

É sabido que ao se trabalhar com os dados climatológicos no Brasil, encontramos alguns problemas devido à sua grande extensão territorial e variação latitudinal, apresentando

diferentes dinâmicas atmosféricas e pluviométricas, influenciadas pelas características físicas do território. Sendo assim, os regimes de precipitação observados no Brasil são desiguais, sendo que a sua distribuição espacial e temporal (diária, mensal e anual) deriva efeitos diretos e indiretos no espaço.

Os registros meteorológicos são de fundamental importância para o entendimento da variabilidade climatológica do país, porém ao estudá-los encontramos muitas falhas e inconsistência de dados, desta forma este artigo tem como objetivo investigar e validar a existência de ganho na qualidade e rapidez da informação referente a precipitação, utilizando como base a integração de três diferentes fontes de dados, obtidos através dos satélites CHIRPS (*Climate Hazards Group Infra-Red Precipitation with Station*), CMORPH (*Climate Prediction Center Morphing Technique*) e TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*).

A área de estudo limitou-se ao estado do Paraná, mais precisamente ao município de Curitiba, **Erro! Fonte de referência não encontrada.** A área a ser estudada possui, segundo o IBGE (2015), um total de 1.879.355 habitantes, ocupando uma área total de 435,036 Km², com uma densidade média de 4.320 hab./Km² e a altitude 935m. A região foi escolhida como recorte espacial, pois experimentou intenso processo de crescimento da população nas últimas décadas, apresentando tendência de crescimento da população e continuidade na taxa deste crescimento.

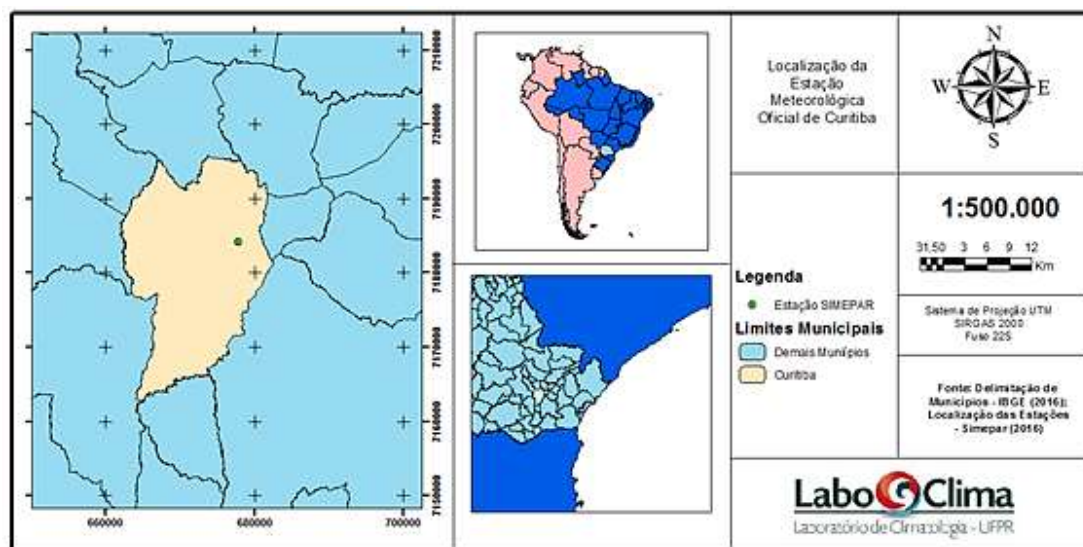


Figura 1 - Localização do Município estudado e sua Estação Meteorológica.

Toda esta dinâmica populacional depara-se com importantes restrições físicas, bióticas e legais, representadas tanto pela alta rugosidade do relevo (porção centro-norte da área),

quanto pelas extensas áreas planas nas quais o espraiamento das águas decorre em históricos problemas de inundações urbanas.

Dessa forma, os estudos no sentido de compreender e investigar a variabilidade pluviométrica espaço-temporal, ligados à dinâmica pluviométrica no município de Curitiba/PR, desempenham papel importante como ferramenta de auxílio no manejo dos riscos e vulnerabilidades perante os eventos de inundação, assim como no enfrentamento/mitigação e adaptação em áreas de assentamentos humanos.

MÉTODOS

O banco de dados envolveu séries meteorológicas de precipitação cedidas pelo Instituto Tecnológico SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná) para a cidade de Curitiba, Paraná – Brasil, abrangendo o período de 1998 a 2014, possibilitando correlacioná-los com os dados provenientes de sensores orbitais, obtidos através do *International Research Institute for Climate and Society* (IRI), através da *IRI Data Library* (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/index.html>).

Dentre os dados do IRI, foram selecionadas as informações provenientes da NASA através do sensor *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), com 25 km de resolução espacial e 3 horas em escala temporal. Os produtos TRMM fornecem uma boa estimativa de chuvas em escala mensal, mas têm menor resolução nos eventos moderados e leves em intervalos de tempo curtos, como na escala diária (DINKU, 2008).

Também foram utilizados dados do CMORPH (*Climate Prediction Center Morphing Technique*), técnica que utiliza estimativas de precipitação derivadas a partir de observações de micro-ondas de satélites de órbita baixa correlacionadas com dados infravermelho de satélites geoestacionários. O CMORPH incorpora estimativas de precipitação derivadas das micro-ondas dos satélites DMSP 13, 14 e 15 (SSM / I), NOAA-15, 16, 17 e 18 (AMSU-B), e AMSR-E, TMI a bordo do AQUA e TRMM (todos da NASA), respectivamente (JOYCE, 2004).

Esta técnica não é um algoritmo de estimativa de precipitação, mas um meio pelo qual as estimativas de algoritmos de precipitação de micro-ondas podem ser combinadas, permitindo a incorporação de quaisquer estimativas de precipitação de satélite de micro-ondas.

Quanto ao CHIRPS (*Climate Hazards Group Infra-Red Precipitation with Station*), é um conjunto de dados de precipitação de cobertura espacial quase global, abrangendo as

latitudes entre 50°S e 50°N por um período superior a 30 anos (iniciando em 1981), com resolução espacial de 0,05° interpolados com dados de estações *in situ* para criar séries temporais que permitam a análise de tendências e monitoramento da precipitação. O método utilizado baseia-se em estimativas de dados de precipitação obtidos pela técnica *Cold Cloud Duration* (CCD) combinados aos dados de superfície, na escala diária.

Os dados coletados junto a tais sensores representam a totalidade de um pixel, o que não se encaixa perfeitamente no território de Curitiba, que compreende um mosaico de quatro pixels (Figura 2). Para uma melhor estimativa, foram coletados os dados dos quatro pixels que compõe a cidade e realizada a média aritmética dos valores extraídos de cada pixel.

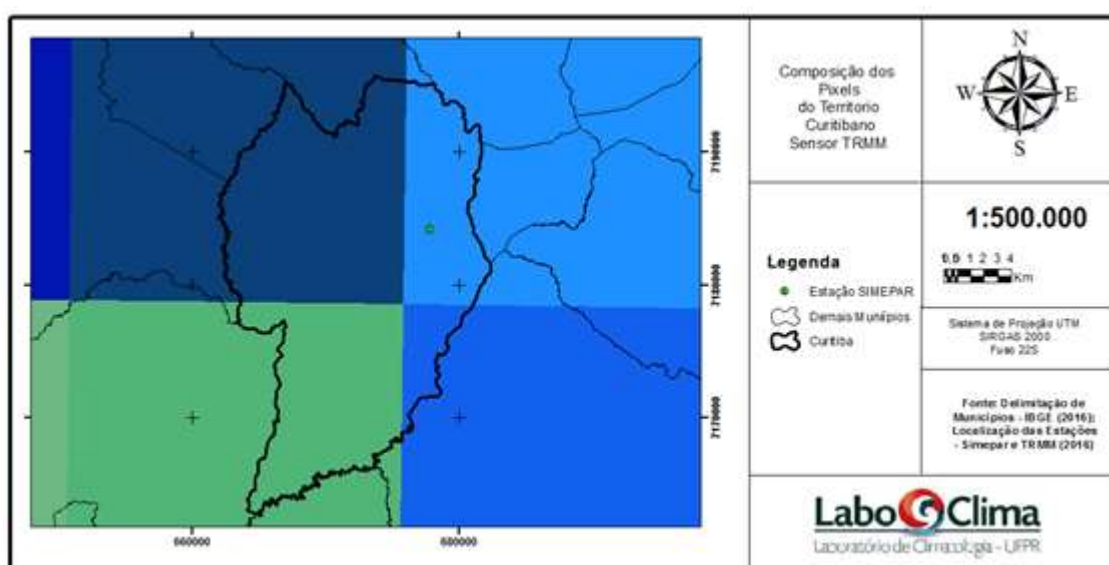


Figura 2 – Composição dos Pixels da Imagem do Sensor TRMM em Curitiba/PR.

A relação entre variáveis distintas se expressa através de valores de correlação. A relação esperada entre os valores obtidos pelos dados de satélite e pela estação meteorológica é linear, uma vez que, são apenas métodos distintos para mensurar um mesmo fenômeno. Assim, optou-se por realizar uma correlação linear simples através do método de Pearson, dado que, as variáveis eram todas numéricas e não categóricas.

Foi realizado o cálculo de p-valor com nível de significância de 0.05 para todos os valores de correlação obtidos, indicando resultados significantes e validando as hipóteses.

Para uma compreensão íntegra dos valores de correlação foram elaboradas matrizes de correlação. Esta técnica permite a visualização da força e da direção das correlações de um grande número de variáveis e dando-lhe um aspecto visual claro e objetivo (MURDOCH;

CHOW, 1996). Para tanto, utilizou-se o pacote de dados “Corrplot”, que permite a criação e visualização de matrizes de correlação.

Aos dados, devidamente alinhados por colunas foi aplicada a função “cor”, originando assim uma primeira matriz de valores. Já nesta primeira função indicou-se o método de correlação utilizado (Pearson) e a necessidade de não serem levadas em conta no cálculo de correlação possíveis falhas nas séries.

A criação da matriz de correlação propriamente dita se deu através da função “corrplot”, a qual se indicou além dos valores a serem plotados, o método gráfico de plotagem. Esta função possui uma série de variáveis gráficas que podem ser utilizadas para ressaltar os valores da matriz, entre os quais citamos gráficos e formas geométricas como círculos, elipses e quadrados.

Para este estudo, optou-se por manter os valores numéricos e utilizar apenas a variável de cor para indicar sua força e direção. O resultado é uma matriz de fácil assimilação e pouco poluída.

Os valores obtidos pelo cálculo de correlação linear de Pearson flutuam entre -1.0 e 1.0 sendo que o valor zero representa ausência total de relação e os valores -1 e 1 uma correlação perfeita. Valores negativos indicam que à medida que um valor aumenta o outro diminui caracterizando uma relação inversa, enquanto que, valores positivos representam o oposto (RUMSEY, 2014).

Por fim, para a complementação desta informação foram gerados gráficos de dispersão envolvendo as amostras em todas as suas escalas. Para a criação de tais gráficos, utilizou-se a função “pairs”, do pacote básico do *software*.

Desenvolvimento

A figura 3 representa os valores encontrados quando da análise realizada na escala de dados anuais. Os valores apontam o satélite CHIRPS como aquele que mais se aproxima dos dados coletados pelo SIMEPAR, com um alto valor de correlação positiva, 0.85.

Tanto o TRMM quanto o CMORPH, para esta escala temporal, tiveram resultados aquém do esperado, com correlações moderadas de 0.55 e 0.51 respectivamente. Entre os sensores também foi possível identificar uma correlação de magnitude mais elevada entre TRMM e CHIRPS (0.77), as demais novamente foram de média para baixa magnitude, com valores abaixo de 0.5. Os gráficos de dispersão da figura 4 apontam as incongruências citadas nos dados. Pode-se observar que, para valores de até 1500 mm/ano, o sensor CMORPH

apresenta uma linearidade bem definida para com os dados do SIMEPAR, o mesmo ocorre com os dados do sensor TRMM.



Figura 3 - Matriz de Correlação de dados anuais de Precipitação. Fonte: SIMEPAR, CHIRPS, CMORPH e TRMM.

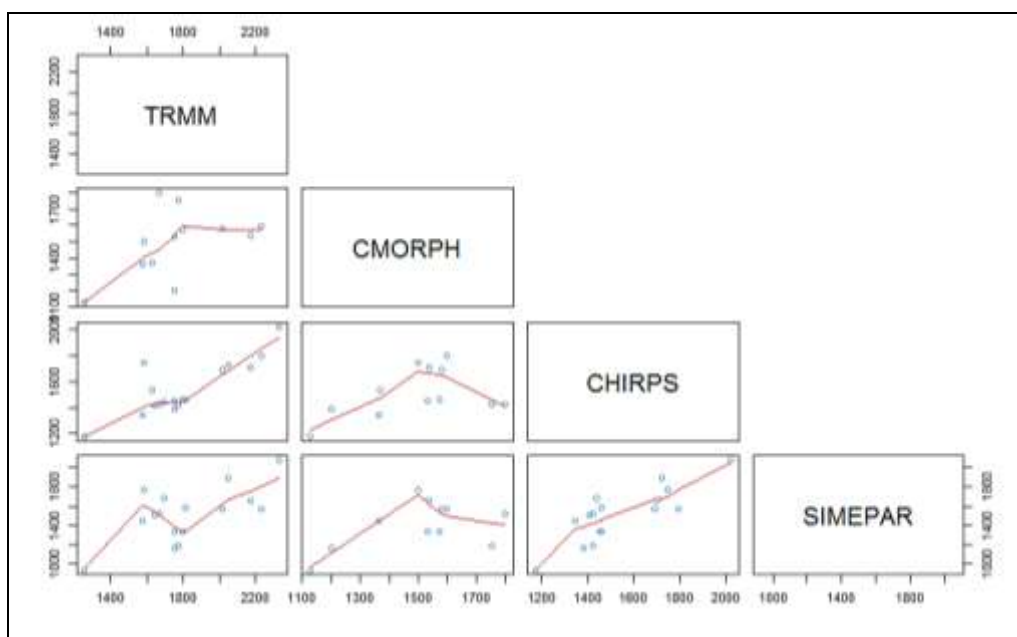


Figura 4 - Gráficos de Dispersão dos dados anuais de precipitação. Fonte: SIMEPAR, CHIRPS, CMORPH e TRMM.

Passando para a escala mensal (Figura 5), observamos um significativo aumento nos índices de correlação para todos os sensores em relação aos dados da estação oficial. Desta

vez, todos tiveram índices fortes com o CHIRPS novamente apresentando o maior valor (0.86) seguido por TRMM (0.81) e CMORPH (0.73).

A correlação entre os sensores também aumentou, de modo que, nesta escala, todas se configuraram com alta correlação, destacando o valor entre o sensor TRMM e CHIRPS (0.93). Constatou-se no TRMM e no CHIRPS que em valores acima de 250 mm/mês começa-se a perder a linearidade com o SIMEPAR, enquanto que no CMORPH, o mesmo fato ocorre a partir 200 mm/mês (Figura 6).



Figura 5 - Matriz de Correlação de dados mensais de Precipitação. Fonte: SIMEPAR, CHIRPS, CMORPH e TRMM.

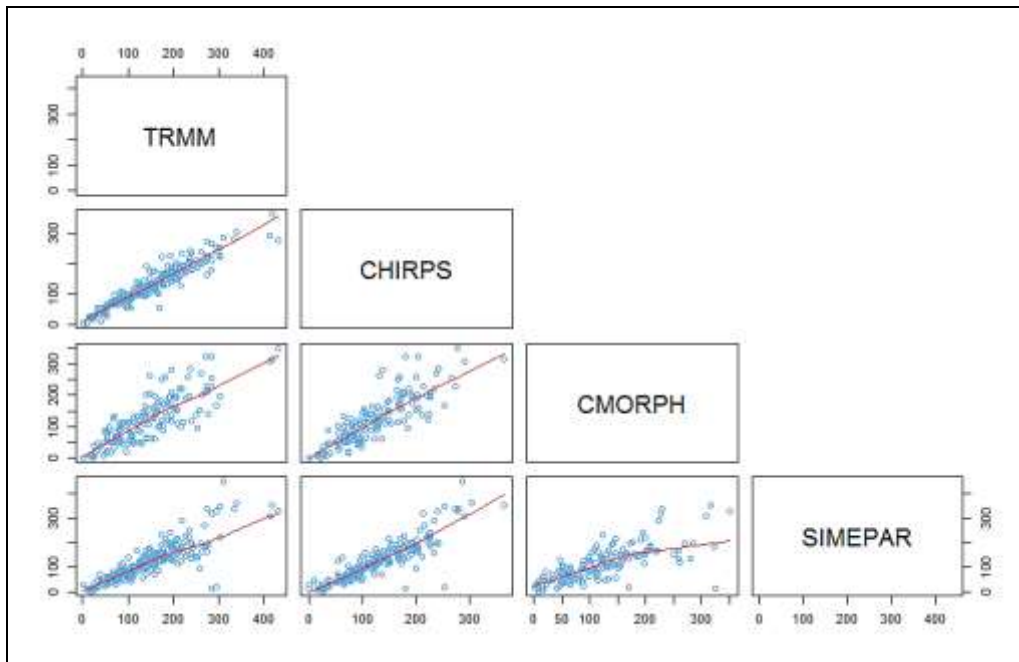


Figura 6 - Gráficos de Dispersão dos dados mensais de Precipitação. Fonte: SIMEPAR, CHIRPS, CMORPH e TRMM.

Aplicados os testes a escala diária, observamos uma queda nos índices de correlação entre todos os sensores (Figuras 7 e 8). Entre si, os sensores novamente acusaram uma correlação forte, com destaque para os sensores TRMM e CMORPH (0.84), contudo, quando observada a relação com o SIMEPAR volta-se a constatar valores baixos e considerados como uma correlação de força média.

O sensor CHIRPS desta vez apresentou o pior valor, 0.48, enquanto que os demais, TRMM e CMORPH registraram 0.52.



Figura 7 - Matriz de Correlação de dados diários de Precipitação. Fonte: SIMEPAR, CHIRPS, CMORPH e TRMM.

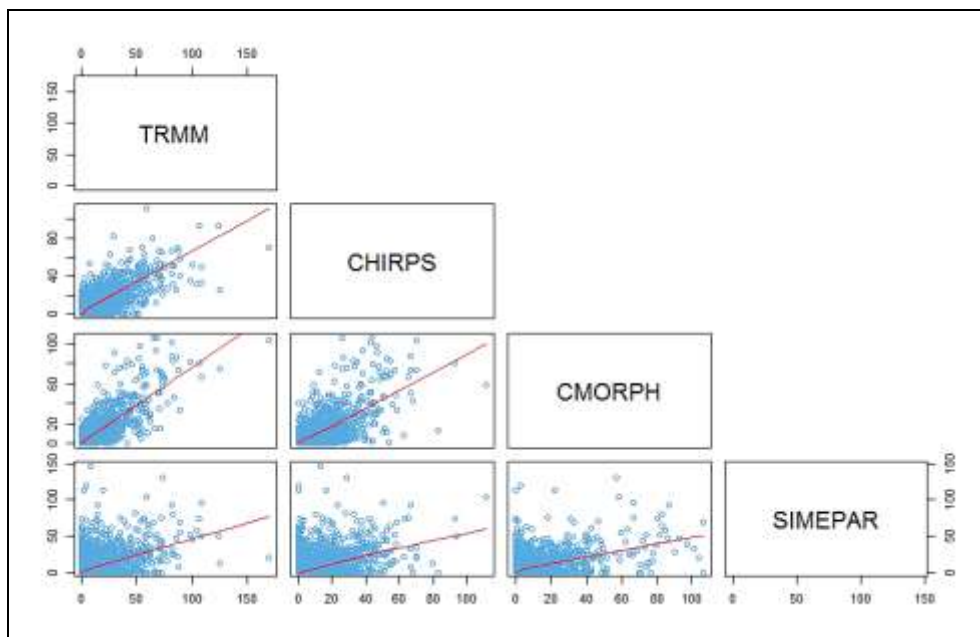


Figura 8 - Gráficos de Dispersão dos dados diários de Precipitação.

Fonte: SIMEPAR, CHIRPS, CMORPH e TRMM.

Também foram verificadas análises de regressão para as escalas anual, mensal e diária. Na escala anual (Figura 9), a baixa amostragem retornou um R^2 ajustado de apenas 0.38 para o TRMM, 0.67 para o CHIRPS e 0.18 para o CMORPH.

A análise de variância (ANOVA) apresentou valores pouco significantes para o TRMM e CMORPH, mas significativas para o CHIRPS ($6.274e^{-05}$).

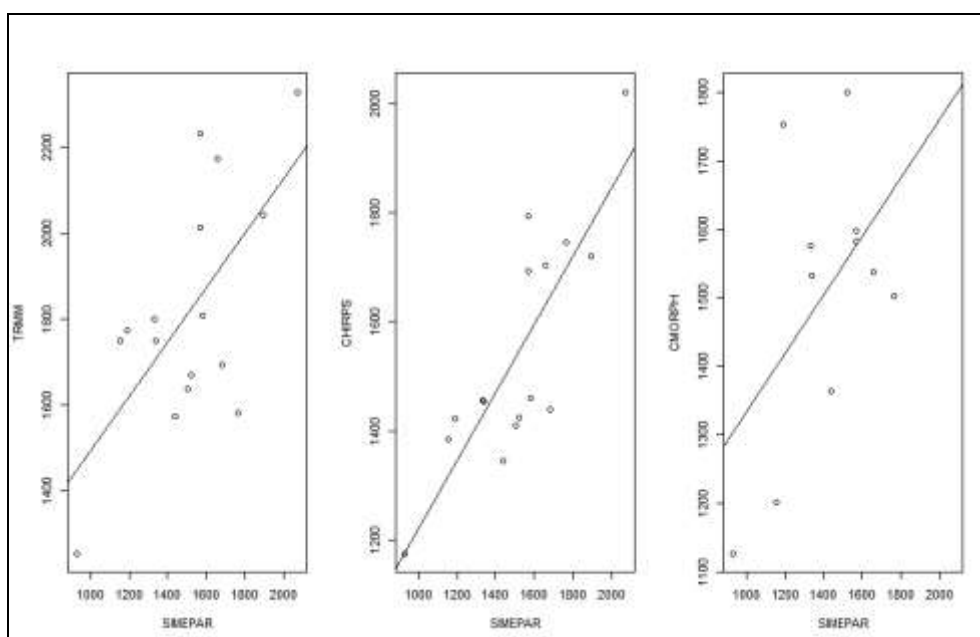


Figura 9 – Regressão linear dos dados de superfície e de satélite – escala anual.

Fonte: SIMEPAR, CHIRPS, CMORPH e TRMM.

Na escala mensal, as regressões retornaram os valores com maior R^2 , sendo eles: 0.71 para o TRMM, 0.77 para o CHIRPS e 0.53 para o CMORPH (Figura 10), corroborando também com a matriz de correlação já apresentada. Na ANOVA, todas as amostras foram significantes, com valor de $2.2e^{-16}$.

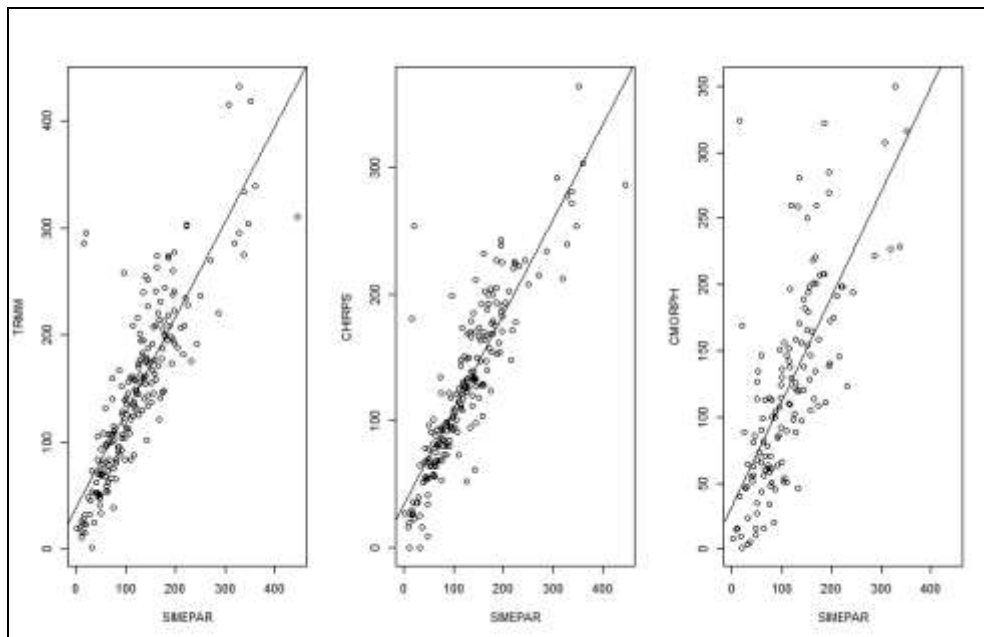


Figura10 – Regressão linear dos dados de superfície e de satélite – escala mensal.

Fonte: SIMEPAR, CHIRPS, CMORPH e TRMM.

Já na figura 11 é apresentada a regressão na escala diária, onde se obteve um R^2 de 0.25 para a correlação dos dados de superfície com o TRMM, 0.22 com o CHIRPS e 0.27 com o CMORPH. A ANOVA foi significativa em $2.2e^{-16}$, possivelmente devido a alta amostragem de dados.

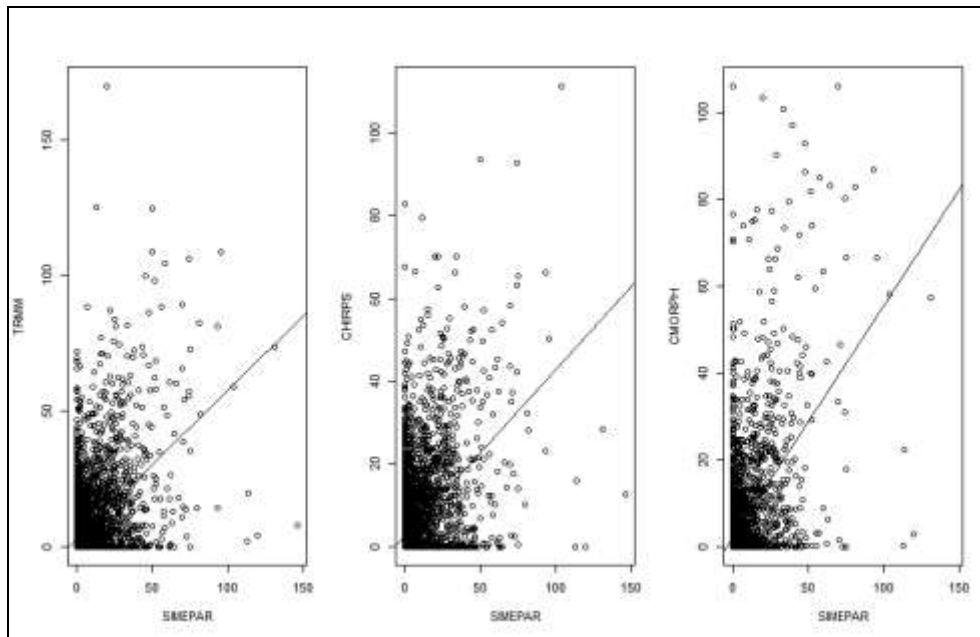


Figura 11 – Regressão linear dos dados de superfície e de satélite – escala diária.

Fonte: SIMEPAR, CHIRPS, CMORPH e TRMM

Considerações Finais

No estudo apresentado, observou-se que, a correlação entre os dados de superfície e os dados de sensores em escala diária foi baixa, entre 0,48 e 0,52. Portanto não é recomendada a utilização de dados destes sensores para estudos nesta escala temporal.

Já em escala mensal, os resultados apontaram uma correlação significativa entre os dados de superfície e os de satélites, com destaque para o sensor CHIRPS com um valor de 0,86. Em escala anual, novamente as correlações foram significativas para o sensor CHIRPS, com um valor de 0,85, enquanto para os demais sensores, os valores foram de 0,55 para o TRMM e 0,51 CMorph. O sensor CMorph se mostrou como o mais recomendado para a coleta de dados pluviométricos em escalas anuais e mensais.

Todas as análises de regressão corroboraram as correlações de matriz realizadas.

Ressalta-se que para este trabalho, foram realizadas correlações apenas para a cidade Curitiba, e que, portanto, os valores podem sofrer alterações quando aplicados em diferentes latitudes.

A utilização de dados provenientes de satélite pode ser uma ferramenta útil para regiões onde as séries sejam curtas, de má qualidade ou ausentes. Desta forma, este estudo colabora apresentando uma alternativa para os estudos de climatologia, meteorologia, agrometeorologia e planejamento.

Referencias Bibliográficas:

- COSTA, A. C.; SOARES, A. **Trends in extreme precipitation indices derived from a daily rainfall database for the South of Portugal.** *International Journal of Climatology*, v. 29, p.1956– 1975, 2009
- DINKU, T., CHIDZAMBWA, S., CECCATO, P., CONNOR, S.J., ROPELEWSKI, C.F. **Validation of High-Resolution Satellite Rainfall Products over Complex Terrain in Africa.** *International Journal of Remote Sensing*, 29(14): 4097-4110, 2008.
- JOYCE, R. J; J. E. JANOWIAK ; P. A. ARKIN ; P. XIE. **CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution.** *J. Hydromet.*, 5, 487-503, 2004.
- MARTIN-VIDE,J, **El Temps I el Clima**, Barcelona, Departament de Medi Ambient I Rubes, 2002, p. 127.
- MARTIN-VIDE,J. **Spatial Distribution of a Daily Precipitation Concentration Index in Peninsular Spain**, *International Journal of Climatology*, V. 24, p. 959-971, 2004.
- MURDOCH, D.J; CHOW, E.D, *A graphical display of large correlation matrices.* *The American Statistician*, 50, 178–180, 1996.
- PINHEIRO,G.M. **Variabilidade Temporo-Espacial da Pluviosidade da Bacia do Alto Iguaçu**, Tese de Doutorado, UFPR, Curitiba, 2016
- RUMSEY, D. **Estatística II para Leigos**, Rio de Janeiro, Alta Books, 2014.

Recebido em julho de 2016

Aceito em junho de 2017