

## Análise espacial das chuvas no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil

Análisis espacial de las precipitaciones en el Estado de Río Grande do Norte, Brasil

Spatial Analysis of Rainfall in Rio Grande Do Norte State, Brazil

*Francisco Monteiro<sup>1</sup>*

*Universidade federal do Rio grande do Norte (UFRN), Brasil*

*Raila Mariz Faria<sup>2</sup>*

*Universidade federal do Rio grande do Norte (UFRN), Brasil*

*João Santiago Reis<sup>3</sup>*

*Universidade federal do Rio grande do Norte (UFRN), Brasil*

*Rebecca Luna Lucena<sup>4</sup>*

*Universidade federal do Rio grande do Norte (UFRN), Brasil*



### Resumo

O objetivo principal desta pesquisa foi realizar uma análise espacial das precipitações no Estado do Rio Grande do Norte (RN), através de técnicas geoestatísticas, comparando a média histórica com anos padrão chuvoso e seco. Para análise geoestatística, foram utilizados três indicadores denominados Índice Global de Moran, Moran Map e

- 1 Francisco Monteiro - Físico, Mestre em Geografia, Universidade federal do Rio grande do Norte (UFRN), Brasil, E-mail: [juninho-monteiro91@hotmail.com](mailto:juninho-monteiro91@hotmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-0355-6106>
- 2 Raila Mariz Faria - Geógrafa, Mestre em Geografia, Docente do departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Brasil, E-mail: [railafaria@gmail.com](mailto:railafaria@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-3049-2363>
- 3 João Santiago Reis - Doutor em Agronomia, professor do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Brasil. E-mail: [joaosantiagor@gmail.com](mailto:joaosantiagor@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-3516-4334>
- 4 Rebecca Luna Lucena - Doutora em Geografia, Professora do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Brasil. E-mail: [rebeccaosvaldo@yahoo.com.br](mailto:rebeccaosvaldo@yahoo.com.br), <https://orcid.org/0000-00034670-265X>

Diagrama de Espalhamento de Moran. Os resultados mostraram que as precipitações seguem um padrão mais evidente na mesorregião Leste potiguar. Tanto no ano considerado chuvoso, quanto no ano considerado seco, a maior parte dessa mesorregião apresentou um padrão Alto-Alto (HH), indicando que os municípios formam um agrupamento que representa autocorrelação espacial associada a valores mais elevados de precipitação no estado. Por outro lado, as regiões do Agreste e Central potiguar foram as mais secas.

**Palavras-chave** autocorrelação espacial, semiárido brasileiro, precipitação pluviométrica, índice de Moran, recursos hídricos.



### Resumen

El objetivo principal de esta investigación fue realizar un análisis espacial de la precipitación en el Estado de Rio Grande do Norte (RN), a través de técnicas geoestadísticas, comparando el promedio histórico con años patrones lluviosos y secos. Para el análisis geoestadístico se utilizaron tres indicadores denominados Índice Global de Moran, Mapa de Moran y Diagrama de Dispersión de Moran. Los resultados mostraron que la precipitación sigue un patrón más evidente en la mesoregión oriental de Potiguar, ya que, tanto en el año considerado lluvioso, como en un año considerado seco, la mayor parte de esta mesoregión mostró un patrón Alto, Alto (HH), es decir, los municipios forman un conglomerado que representa la autocorrelación espacial asociada a los valores más altos de precipitación en el estado. Las regiones de Agreste y Potiguar Central fueron las más secas.

**Palabras clave:** autocorrelación espacial, semiárido brasileño, precipitación, índice de Moran, recursos hídricos.



### Abstract

The main goal of this research was to perform a spatial analysis of precipitation in the state of Rio Grande do Norte (RN) through geostatistical techniques, comparing the historical average data with rainy and dry standard years. Three indicators called Moran's Global Index, Moran Map, and Moran's Scattering Diagram were used for geostatistical analysis. The results showed that precipitation has a more evident pattern in the Eastern Potiguar mesoregion since both in the year considered rainy and, in a year considered dry, most of this mesoregion presented a (HH) pattern, that is, the municipalities form a cluster that represents spatial autocorrelation associated with higher values of precipitation in the state. The regions of Agreste and Central Potiguar were the driest.

**Keywords:** spatial autocorrelation, Brazilian semiarid, rainfall, Moran index, water resources.

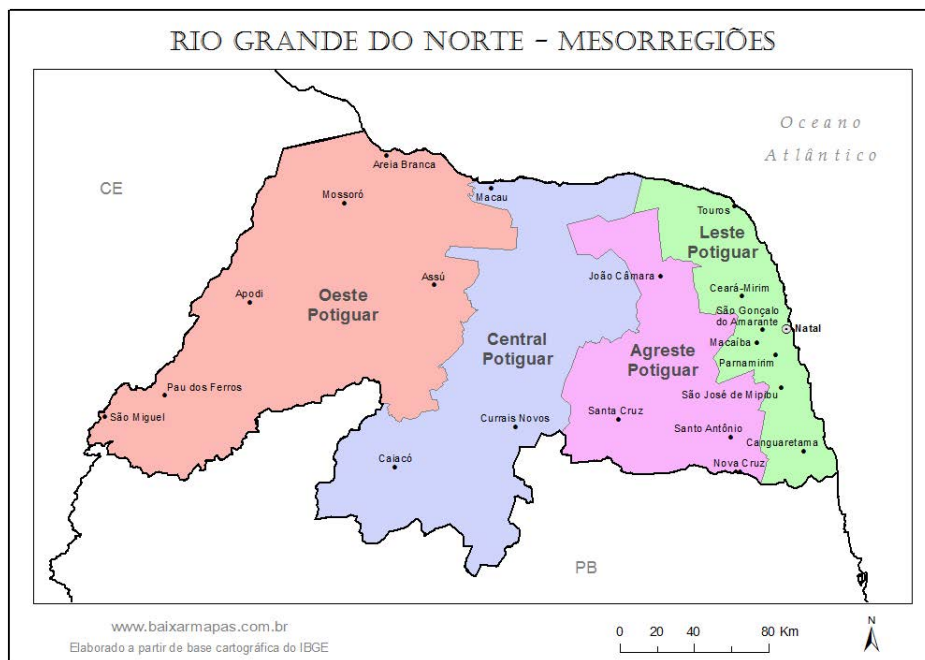
## Introdução

O Nordeste do Brasil (NEB) é uma região conhecida por possuir no seu interior o tipo climático semiárido, único no Brasil (Alvares et al, 2013), este apresentando uma alta variabilidade espaço-temporal no que se diz respeito ao regime pluviométrico (Ab' Saber, 2003, Sá e Silva 2010).

Essa variabilidade no total das precipitações tem como consequência fenômenos de estiagem e secas (Brito et al 2017) que, historicamente, têm afetado o ambiente e a população sertaneja (Malvezzi, 2007). Destaque também deve ser dado para o clima tropical úmido presente no litoral leste da região Nordeste, onde as chuvas são abundantes e por vezes intensas (Silva et al, 2007). Numa extensão territorial de 1.554,291 Km<sup>2</sup> e com uma população de ~57,36 milhões de habitantes (IBGE, 2017), essa porção do território brasileiro apresenta altos valores de radiação e temperatura uma grande diversidade climática no que diz respeito às precipitações. Nesse contexto, têm-se registrado historicamente tanto eventos extremos de chuva (enchentes/alagamentos/inundações), quanto extremos causados pela ausência e/ou concentração das chuvas (estiagens/secas) (Ab' saber, 2003, Silva et al, 2012).

No contexto da região Nordeste do Brasil, nosso recorte se deterá ao Estado do Rio Grande do Norte (RN), que segundo o IBGE (1990), foi compartimentado em quatro mesorregiões geográficas, quais sejam: Leste Potiguar, Agreste Potiguar, Central Potiguar e Oeste Potiguar, como pode ser observado na figura 1. Dos 167 municípios que o RN possui, 147 apresentam clima semiárido, correspondendo a 88% de todos os municípios do Estado (SUDENE, 2017, IBGE, 2017). Mesmo representando uma pequena porção do território nordestino, o Rio Grande do Norte possui uma diversidade climática elevada, uma vez que apresenta em seu território tipos climáticos úmido, subúmido e semiárido (Neves, 2010, Aprígio et al, 2019, Silva et al, 2021).

**Figura 1.** Mesorregiões geográficas do Estado do Rio Grande do Norte e seus principais municípios.



Fonte: IBGE (2021).

Segundo Santos et al (2012), no Estado do Rio Grande do Norte é verificada uma distribuição espaço-temporal de chuvas bastante peculiar, pois durante o mês de junho a mesorregião Leste atinge a precipitação máxima. Já no Agreste, percebe-se um comportamento similar ao visto na mesorregião Leste, porém com menor intensidade nas precipitações pluviais. Na mesorregião Central, onde está inserida a região imediata de Caicó, que é uma região típica de clima semiárido que sofre com secas prolongadas, o mês de maior precipitação é março (Lucena et al, 2018). No Oeste Potiguar, o máximo de precipitação também ocorre em março, porém essa mesorregião apresenta algumas características de clima tropical subúmido seco e registra maiores valores de chuvas do que a mesorregião Central Potiguar (Santos et al, 2012).

Por ter a maior parte dos municípios inseridos no semiárido, o Estado se destaca por apresentar maior fragilidade ante aos elementos climáticos,

especialmente aqueles associados à irregularidade da precipitação pluvial que, somada às elevadas temperaturas, resulta em déficit hídrico (Ambri- zzi et al, 2007; Lucena et al, 2018). O déficit hídrico tem consequências negativas no abastecimento das cidades assim nas atividades agrícolas, dentre outras atividades dependente das chuvas (Aprígio et al, 2019, Silva et al, 2021).

Para identificar padrões quantitativos, temporais e espaciais das chuvas, vários estudos geoestatísticos são realizados com relação às chuvas, onde, segundo Hartmann et al (2011), a ocorrência da precipitação é um processo aleatório, dessa forma, não é possível fazer uma previsão do tipo determinística, sendo assim, o tratamento de dados de precipitação é estatístico. Muitas são as vantagens da aplicação da geoestatística. Uma delas é o fato dela necessitar da interdisciplinaridade, assegurando uma maior troca de informações entre especialistas de diversas áreas e os estatísticos, com o intuito de uma melhor interpretação da realidade em estudo (Hartmann et al, 2011). Segundo Galas (2013), a geoestatística teve sua origem em problemas relacionados com a estimativa de reservas de exploração mineral e/ou mineração, sendo que seu desenvolvimento foi feito por Whittle (1954) e por Matérn (1960). Posteriormente, o desenvolvimento realizado por Matheron (1963) foi em grande parte independente da corrente principal existente da estatística espacial. Foi nesse período que o termo *krigagem* foi introduzido para descrever os métodos resultantes para a previsão espacial. Dentro da geoestatística, foi utilizado o conceito da autocorrelação espacial que se define como “a medição de uma autocorrelação entre as áreas”, no intuito de se observar como varia a dependência espacial, em comparação entre os valores de uma amostra e seus vizinhos.

Para realizar a espacialização dos dados de precipitação no Estado do Rio Grande do Norte, partimos de conceitos da estatística espacial, entre eles a análise espacial de dados, que é definida como um estudo quantitativo de fenômenos contidos no espaço (Galas, 2013). Deve-se entender que uma dependência espacial se dá pelo fato de que a maior parte das ocorrências naturais ou sociais apresenta entre si uma relação que depende da distância. A ideia é verificar como a dependência espacial varia, a partir da comparação entre os valores de uma amostra e de seus vizinhos (Monteiro, et al, 2004). Em suma, o objetivo central de se fazer uma análise espacial é identificar tendências com coordenadas ou covariáveis, a existência de

dados discrepantes (globais ou locais), assimetrias, necessidades de transformação e a presença de dependência espacial (Galas, 2013).

Na conjuntura da importância de se realizar uma análise espacial das precipitações no Estado do Rio Grande do Norte, o objetivo principal desta pesquisa foi utilizar técnicas geoestatísticas para analisar o comportamento histórico das chuvas, avaliando seu quantitativo e distribuição espacial, tanto em um ano considerado chuvoso, quanto em um ano seco. Nesse contexto, é de suma importância compreender a dinâmica das chuvas tanto em termos quantitativos, quanto temporais e espaciais na região de estudo, uma vez que, identificando padrões, é possível realizar um melhor planejamento do uso e otimização dos recursos hídricos, de modo que todos os municípios possam se desenvolver em conformidade com o clima, ou recorrer, quando necessário e possível, a outras localidades que tenham tais recursos disponíveis.

### Material e métodos

Para realizar uma análise quantitativa das precipitações no Estado do RN, foram coletados dados da na Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio Grande do Norte - EMPARN (EMPARN, 2021). O preenchimento das falhas foi feito pelo método de interpolação dos vizinhos mais próximos (Tucci, 2002). Para análise geral da precipitação para o Estado, foram utilizadas medidas de tendência central e de dispersão. Para uma primeira classificação climática do Estado, baseada nos valores de precipitação da série histórica de 1963 a 2006, o Estado do Rio Grande do Norte foi mapeado, atribuindo-se 5 classes climáticas, como exposto na Tabela 1.

**Tabela 1.** Classes de precipitação utilizadas para identificação de regiões pluviométricas no Estado do RN

Classificação Climática	Desvio (+) ou (-) em %	Precipitação Anual (mm)
Normal	0-15%	660,5-894,5
Tendente a seco	15-30%	554,3-660,5
Seco	>30%	<554,3
Tendente a Chuvoso	15-30%	894,5-1000,7
Chuvoso	>30%	>1000,7

Fuente: Elaboração própria

A escolha dos anos “chuvoso” e “seco” se deu baseando-se em valores de pluviosidade fora do desvio padrão da população (fórmula 1), onde o ano chuvoso apresentou precipitações superiores a +1 DesvioPadP da média histórica, e o ano seco apresentou valores inferiores a -1 DesvioPadP da média histórica, para mais de 50% dos municípios do Estado. Encontrando-se os valores referentes aos desvios, para a escolha de um ano chuvoso e um seco, optou-se por aqueles anos mais recentes, sendo 2009 escolhido como chuvoso e 2013 como seco.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_1 - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1)$$

Para análise comparativa entre o ano chuvoso e seco, foram utilizados três indicadores da geoestatística, denominados de Índice Global de Moran, Moran Map e o Diagrama de Espalhamento de Moran.

### Índice Global de Moran

O Índice de Global de Moran ( $I$ ) é a expressão da autocorrelação que considera seus vizinhos. Esse coeficiente calcula a razão entre o produto da variável de interesse e a sua defasagem espacial, com o produto da variável de interesse, ajustado pelos pesos espaciais utilizados (Moran, 1950; Galas, 2013).

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (2)$$

Na equação (2),  $n$  é o número de áreas,  $y_i$  é o valor da variável para a área  $i$ ,  $\bar{y}$  é a média da variável na área estudada e  $w_{ij}$  é o peso espacial de conexão entre as regiões  $i$  e  $j$ . Esta equação calcula para matrizes de proximidade de ordem superior a primeira. O índice de Moran realiza um teste cuja hipótese nula ( $H_0$ ) é de independência espacial e a hipótese alternativa ( $H_1$ ), é de que existe dependência espacial. Seus valores podem ser positivos (entre 0 e 1), representando correlação direta; e negativos (entre 0 e -1) representando correlação inversa. Caso o valor seja zero, há indícios de um padrão espacial aleatório, ou seja, não se rejeita a hipótese nula (Neves et al, 2000).

## Diagrama de espalhamento de Moran

Segundo [Monteiro, et al \(2004\)](#), o diagrama de espalhamento (ou dispersão) de Moran, se caracteriza por representar uma maneira alternativa de visualização da dependência espacial existente no conjunto de dados. Uma vez que é, por meio desse diagrama, que é possível visualizar a correlação linear entre cada valor do atributo  $z$  em relação à média ( $wz$ ) dos valores dos atributos de seus vizinhos através do gráfico de duas variáveis. Ainda, segundo [Anselin \(1995\)](#), o coeficiente  $I$  de Moran, pode ser dado pela inclinação da reta de regressão da variável defasada espacialmente ( $wz$ ), situada na ordenada versus a variável em análise ( $z$ ), localizada na abscissa, e esta inclinação indicará o grau de ajustamento. Em geral, os valores de  $z$  e  $W$  são padronizados, e isso possibilita identificar valores discrepantes também chamados de outliers e pontos de alavancagem ([Campos et al, 2013](#)).

Se pode observar na Figura 2, a origem do gráfico de espalhamento de Moran está centrada na coordenada  $(0,0)$ , sendo assim, o gráfico é dividido em quatro quadrantes, de maneira que cada quadrante representa um tipo diferente de associação entre o valor de uma dada região e a média de seus vizinhos. Os quadrantes podem ser interpretados como:

- Q1 (valores positivos, médias positivas ou “alto-alto” - HH): assinalam pontos de espacialização semelhantes, significa que os municípios com o valor do atributo considerado estão cercados por município com comportamento similar,
- Q2 (valores negativos, médias negativas ou “baixo-baixo” - LL): indicam pontos de espacialização semelhantes, isto é, os municípios com o valor do atributo considerado estão cercados por município com comportamento similar.
- Q3 (valores positivos, médias negativas ou “alto-baixo” HL): indicam pontos de associação espacial negativa, uma vez que um município possui vizinhos com valores distintos, inversamente proporcional.
- Q4 (valores negativos, médias positivas ou “baixo-alto” LH): indicam pontos de associação espacial negativa, no sentido que um município possui vizinhos com valores distintos, indicando pontos de transições entre diferentes regimes de padrões espaciais ou pontos de não estacionariedade do atributo ([Campos et al, 2013](#)).



**Figura 2.** Esquema do diagrama de espalhamento de Moran.



Fonte: Campos et al (2013).

Segundo Campos et al (2013), diante de uma autocorrelação espacial positiva, por exemplo, os outliers se caracterizam como sendo aqueles que se localizam nos quadrantes alto-baixo e baixo-alto, enquanto que as observações que se situam nas associações alto-alto e baixo-baixo representam pontos de alavancagem. Esses pontos, por definição, são observações que exercem influências exageradas na determinação do grau de associação espacial, embora acompanhem a mesma associação espacial do restante dos dados.

## Resultados e discussão

### Análise estatística dos dados médios de chuva

De posse dos dados de precipitação, verificou-se que a média pluviométrica para o Estado do Rio Grande do Norte é de 777,5 mm, sendo este um valor inferior ao valor utilizado pela SUDENE, quando da definição do total de precipitação anual como um dos critérios para delimitação do semiárido (SUDENE, 2017). Foi verificado que cerca de 58% dos municípios apresentaram precipitações médias anuais inferiores aos 800 mm, expondo assim a vulnerabilidade de parte do território em estudo com relação a baixa precipitação anual, quando associada às altas taxas de insolação e temperatura.

O município com a maior média histórica é Natal (capital do Estado) com 1699,5 mm/ano, e o município que apresentou a menor precipitação média do Estado é São Tomé, com apenas 382,9 mm/ano. Foi constatado ainda que o Estado do RN, apresentou uma amplitude de 1316,6 milímetros e um coeficiente de variação de 30%, com relação aos valores de precipitação entre os seus municípios. Os totais de precipitação anual encontrados para o ano chuvoso e para o ano seco são bem discrepantes quando comparados à média histórica. Valores geais para o estado do RN para a média histórica e para o ano chuvoso de 2009 e o ano seco de 2013, encontram-se na Tabela 2.

**Tabela 2.** Estatística descritiva das precipitações para o estado do Rio Grande do Norte (amostra n 167 municípios)

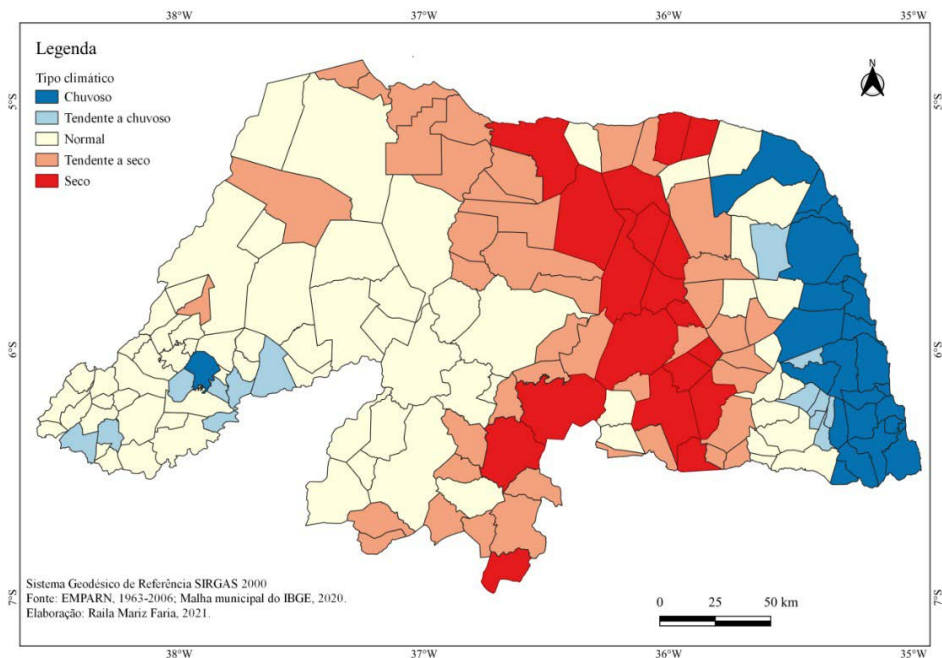
Análise	Média histórica	Ano chuvoso	Ano seco
Média	777,5	1146,4	599,7
Valor Máximo	1699,5	2340,5	1842,5
Valor Mínimo	382,9	366,7	58,0
Desvio Padrão	234,7	322,4	374,1
Coeficiente de Variação	30%	28%	62%

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 2 exhibe a realidade pluviométrica do Rio Grande do Norte, com destaque para os valores absolutos do ano seco, com precipitação semelhante a de climas desérticos, bem como o seu elevado coeficiente de variação.

Utilizando a método dos desvios percentuais para a média histórica, foi verificado que 23 municípios (13,8%) são considerados chuvosos, 14 municípios (8,4%) correspondem a tendente a chuvosos, 68 municípios (40,7%) são considerados normais, 43 municípios (25,7%) apresentam clima tendente a seco e 19 municípios (11,4%) são considerados secos, conforme Figura 3.

**Figura 3.** Mapa de classes de precipitação do Estado do Rio Grande do Norte. Em azul escuro pode-se observar municípios que apresentam clima chuvoso ( $P > 1000,7$ ) mm/ano, e em vermelho municípios que apresentam clima seco ( $P < 554,3$  mm/ano).

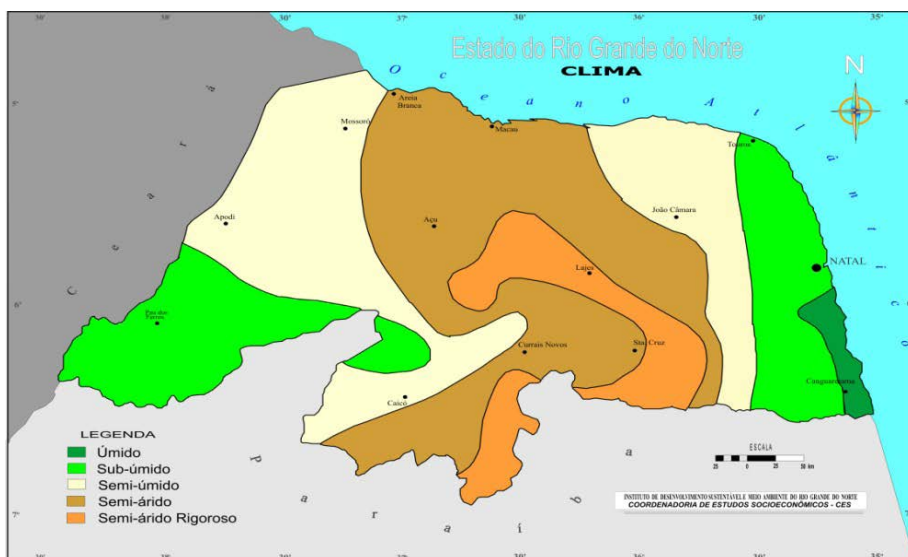


Fonte: Elaboração própria.

O Estado do RN tem a maior parte dos municípios considerados chuvosos localizados na mesorregião Leste Potiguar, são aqueles banhados pelo Atlântico leste sob da brisa marítima e dos ventos alísios, além dos Distúrbios ondulatórios de leste (Palharini, 2017, Monteiro 2022). Na mesorregião Agreste e na parte oriental da mesorregião Central Potiguar, se encontram os municípios considerados tendentes a secos e secos. Nessas mesorregiões Agreste e Central, além da condição à subexposição aos ventos úmidos de leste, as mesmas estão sob atuação de sistemas atmosféricos, geralmente, associados ao período de final de verão e início de outono, como a Zona de Convergência Intertropical e os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (Monteiro, 2022). Estes se conexos a padrões de teleconexão, a exemplo, do El Niño Oscilação Sul, podem desencadear uma grande variação no total

das precipitações de um ano para outro (Kayano; Andreoli, 2009, Monteiro, 2022). Ademais, a maioria dos municípios considerados “normais” se encontram na parte ocidental da mesorregião Central Potiguar e na mesorregião do Oeste Potiguar. Considerando que a classe “normal” equivale a valores de precipitação média anual inferiores aos 800 mm, podemos assumir uma classificação climática que converta os valores encontrados da seguinte maneira: tipo climático “chuvoso” = “subúmido-úmido”; o tipo climático “tendente a chuvoso” = “subúmido-seco”; tipo climático “normal” = “semi-árido”; tipo climático “tendente a seco” = “semiárido acentuado”; e o tipo climático “seco” = “semiárido rigoroso”. Os tipos climáticos associados têm por base o mapa climático proposto pelo IDEMA - Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte (Figura 4), para o Estado do Rio Grande do Norte, com adaptações.

**Figura 4.** Tipos de clima presentes no estado do Rio Grande do Norte.



Fonte: IDEMA (2021).

Percebe-se também semelhança entre os tipos climáticos (Figuras 3 e 4) com a divisão de mesorregiões proposta pelo IBGE (1990), Figura 1, havendo nitidamente condições de maior umidade no Leste no estado, subumidade no Oeste e predomínio de semiaridez na região Central do RN atingindo o litoral norte e em parte do Agreste potiguar.

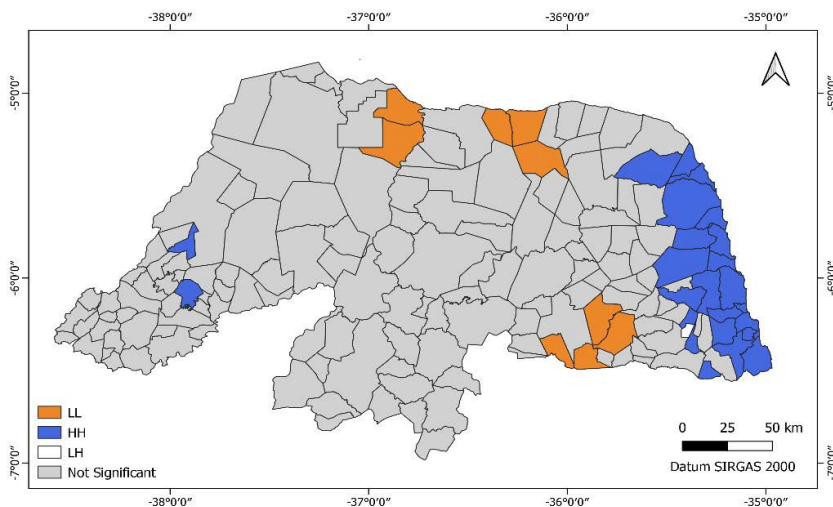
## Mapas de Moran (Moran Map)

Para um ano chuvoso, foi verificado que a maior parte dos municípios do RN não possuem significância na autocorrelação espacial, mas pode-se notar padrões de agrupamentos do tipo Alto-Alto (HH), municípios com alto índice de precipitação. Esses agrupamentos HH, se concentram na mesorregião do Leste potiguar, então pode-se concluir que a precipitação nessa área é concentrada e bem especializada de acordo com o que foi encontrado no mapa de Moran (Figura 5). Ainda em relação a padrões HH, nota-se dois municípios na mesorregião Oeste Potiguar, que são eles Martins e Itaú (Figura 5).

No que se diz respeito ao padrão Baixo-Baixo (LL) municípios com baixo índice de precipitação, destacam-se três agrupamentos, sendo um na parte sul da mesorregião Agreste, um na parte norte da mesorregião Central Potiguar e outro na parte norte da mesorregião Oeste, como pode ser visto na Figura 5.

Destaca-se ainda o município de Passagens, localizado na mesorregião do Agreste Potiguar que apresentou um padrão tipo Baixo-Alto (LH), município com baixa precipitação, rodeado por município com precipitações altas, como pode ser visto em cor branca na Figura 5.

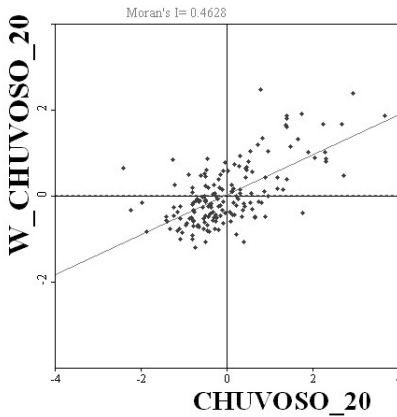
**Figura 5.** Correlação espacial das chuvas no RN para um ano chuvoso (2009), indicando o índice global de Moran com padrões HH em azul, LH em branco, LL em laranja, e os municípios em cor cinza não apresentaram dependência espacial.



Fonte: Elaboração própria.

Na Figura 6, observa-se que a maioria dos municípios se encontram próximos as coordenadas (0,0), indicando assim que a maioria não apresenta agrupamentos com autocorrelação espacial.

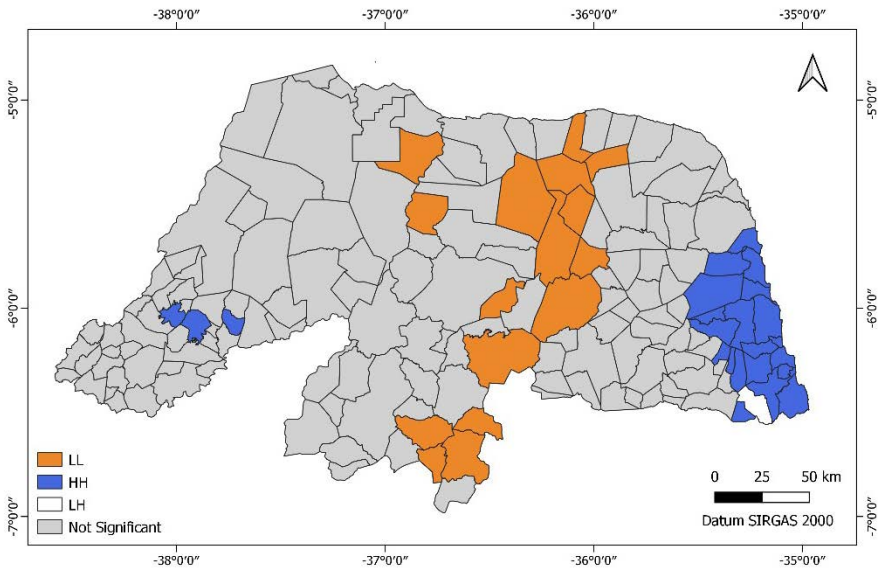
**Figura 6.** Diagrama de Espalhamento de Moran para o ano de 2009.



Fonte: Elaboração própria.

Para um ano seco, também é evidente que a maior parte dos municípios não apresenta agrupamentos com autocorrelação espacial, no entanto observa-se que o agrupamento de padrão HH tem maior concentração na parte sul da mesorregião Leste Potiguar, aparecendo também um agrupamento HH na mesorregião Oeste potiguar (Figura 7).

**Figura 7.** Mapa de Moran do ano seco 2013.



Fonte: Elaboração própria.

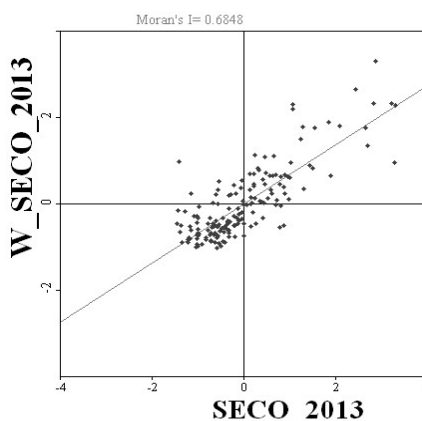
Quanto aos agrupamentos que possuem o padrão LL, observa-se um grande agrupamento de municípios que se estende desde o Agreste até a parte oriental da mesorregião Central Potiguar, e outros dois municípios na divisa das mesorregiões Central e Oeste potiguar (Figura 7). Pode-se observar também um padrão LH no município de Pedro Velho, ao sul da mesorregião Leste Potiguar.

Ao fazer a análise do diagrama de espalhamento de Moran para o ano seco de 2013 (Figura 8), observa-se assim como em 2009, que a maioria dos municípios se situam próximos a coordenada (0,0). No entanto é notável que existem mais outliers no quadrante HH (Alto-Alto), isso quer dizer que alguns municípios que se situam no alto do segundo quadrante, tiveram precipitações elevadas e formaram agrupamentos do tipo HH. Já o ponto isolado no primeiro quadrante LH, remete ao município de Pedro Velho que apresentou uma baixa precipitação, estando rodeado de municípios com precipitação alta.

No terceiro quadrante observamos os pontos referentes aos municípios com padrão LL, que são correspondentes a parte dos municípios do Agreste e da mesorregião Central Potiguar, nesse quadrante não foram observados outliers, ou seja, esses municípios tiveram precipitações baixas, porém não muito distintas de seus vizinhos (Figura 8).

Os resultados encontrados nessa pesquisa corroboram com pesquisas realizadas por Silva e Lucio (2015), Palharini (2017), Lucena et al (2018), Silva et al (2018), Aprígio et al (2019), Silva et al (2021), sobre as condições pluviométricas e de aridez do Estado do Rio Grande do Norte, onde se identificaram regiões com climas distintos, sendo o tipo chuvoso e úmido está presente no litoral Leste e em poucas serras do Oeste potiguar, ocorrendo no Agreste e parte da região Central Potiguar e até o litoral Norte Central o clima mais seco presente no estado (semiárido acentuado e rigoroso), e na parte ocidental da região Central

**Figura 8.** Diagrama de Espalhamento de Moran para o ano de 2013



Fonte: Elaboração própria.

potiguar e Oeste potiguar, um tipo climático semiárido e subúmido-seco, com chuvas próximas ao valor que representa a média do Estado.

O ano seco apresentou uma maior variabilidade das chuvas além do maior agrupamento LL, com ênfase nas mesorregiões agreste e central potiguar. Os agrupamentos HH do oeste potiguar ocorrem principalmente em áreas serranas, o que pode ter como explicação os efeitos orográficos dessas áreas (Medeiros, 2016; Medeiros e Cestaro, 2018, Silva et al, 2021).

De modo geral, as precipitações no RN são relativamente baixas tendo em vista que 58% dos municípios apresentam totais anuais inferiores aos 800 mm. Esse valor não colocaria o Estado numa situação de vulnerabilidade hidroclimatológica, não fossem os elevados valores de temperatura, evaporação e evapotranspiração potencial presentes em todo o território potiguar, que favorece um balanço hídrico negativo na maior parte do ano (Silva et al, 2021). Políticas públicas para a convivência nas regiões mais secas do estado e obras estruturantes capazes de perenizar os solos e as água, devem ser tratadas com a atenção que necessita (Guilhermino et al 2019). As regiões mais críticas do estado são aquelas localizadas entre o Agreste e a região central potiguar, ao passo que o litoral leste também pode estar susceptível a acumulados significativos de chuva associados a frequência de nuvens precipitantes na zona costeira leste (Palharini, 2017), o que carece de uma infraestrutura adequada à recepção e direcionamento dessas precipitações.

## Conclusões

Através da análise aqui realizada, ficou evidente que as precipitações seguem um padrão mais homogêneo na mesorregião Leste potiguar, já que tanto no ano considerado chuvoso quanto num ano considerado seco, a maior parte dessa mesorregião geográfica apresentou um padrão HH, isto é, os municípios formam um agrupamento que representam uma autocorrelação espacial positiva e associada aos valores mais elevados de chuva no Estado do Rio Grande do Norte. Vale salientar que a mesorregião Leste, representa a parte do Estado com os mais altos volumes de precipitação anual e também maior susceptibilidade a eventos intensos de chuva. Com uma ressalva, em um ano considerado seco a extensão da área em que há maior concentração da precipitação, se “desloca” mais ao Sul da mesorregião Leste.

Quanto ao padrão LL, pode-se concluir que em um ano considerado chuvoso, esses agrupamentos se localizam nos extremos Sul e Norte da



mesorregião Agreste, e ao Norte da mesorregião Central potiguar, alcançando o litoral norte do Estado. Quando analisamos o ano seco, a abrangência desses agrupamentos do tipo LL, estende-se para a parte central do Agreste, unindo assim os extremos Sul e Norte do Agreste Potiguar, se estendendo até a parte oriental da mesorregião Central até atingir o litoral norte.

Destaca-se ainda o município de Martins, localizado na mesorregião Oeste, que se apresenta com um padrão HH, tanto em anos considerados secos, como em anos considerados chuvosos. Entre os destaques, ainda aparecem os municípios de Pedro Velho e Passagens, que apresentam padrões LH, em anos secos e chuvosos, respectivamente.

Os valores de precipitação encontrados e a espacialização das mesmas indicam que o Estado do Rio Grande do Norte necessita de um olhar especial, principalmente nas mesorregiões Agreste e Central potiguar, mas também no setor oriental do Oeste potiguar, já que os menores volumes de precipitações anuais, são encontrados nessas áreas. É aconselhável, portanto, que haja uma gestão voltada a priorizar a captação e o armazenamento das águas, a economia da água e também sistemas de adutoras interligando municípios inseridos em tipos climáticos chuvosos e secos. Através dos resultados gerados, essa pesquisa traz contribuições no âmbito das políticas públicas, uma vez que apresenta o comportamento espacial do total anual das precipitações em anos normais, chuvosos e secos, considerando uma série histórica de 40 anos.

### Referências bibliográficas

- Ab'saber, A. (2003). *Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas*. 1ª Ed. São Paulo: Ateliê Editorial.
- Alvares, C., Stape, J., Sentelhas, P., Gonçalves, J., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, n.6, p.711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Ambrizzi, T; Da Rocha, R; Marengo, J; Pissnitchenko, I; Alves, L; Fernandez, J. (2007). *Cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais*. Relatório 3. CPTEC/INPE; IAG/ USP; FBDS. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Diretoria de Conservação da Biodiversidade.
- Anselin, L. (1995). Local Indicators of Spatial Association – LISA. *Geographical Analysis*, v.27, n.2, p.93-115. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>

- Aprígio, T., Faria, R., & Lucena, R. (2019). Mapeamento da aridez no estado do Rio Grande do Norte. In: Lidriana de Souza Pinheiro; Adryane Gorayeb. (Org.). *Geografia física e as mudanças globais. 1ed. v.1*, p.1-12, Fortaleza: UFC.
- Brito, S; Cunha, A; Cunningham, C; Alvalá, R; Marengo, J & Carvalho, M. (2017). Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region. *International Journal of Climatology*. Review. <https://doi.org/10.1002/joc.5225>
- Campos, A; Viola, D; Cunha, M; Vilar, G & Van Der Lindem, V. (2013). Identificação da existência de padrão espacial aleatório na distribuição dos pacientes portadores de deficiência física decorrente de doença genética da AACD de Pernambuco. *Revista Brasileira de Biometria*. v.31, n.4, p.598-616.
- Monteiro, A; Câmara, G; Carvalho, M & Druck, S. (2004). Análise Espacial de dados geográficos. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados.
- EMPARN - Empresa de Pesquisa Agropecuária do RN – EMPARN. (2021). Gerência de Meteorologia. Climatologia Rio Grande do Norte. <http://meteorologia.emparn.rn.gov.br:8181/climaRN/prec.html>
- Galas, S. (2013). Estatística espacial utilizando o software r aplicado em dados de precipitação pluviométrica do Estado do Ceará. 2013. 80f. Monografia- Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.
- Guilhermino, M; Santos, M; Lishtom, J; Lucena, R; De Acevedo, T & Moreira, S. (2019). Defesa da caatinga: proposta de política pública para o desenvolvimento sustentável da agricultura familiar em bioma caatinga. *Revista Brasileira de Educação Ambiental (impresso)*, v.14, p.372-386. <https://doi.org/10.34024/revbea.2019.v14.2716>
- Hartmann, M; Moala, F; Mendonça, M. (2011). Estudo das precipitações máximas anuais em Presidente Prudente. *Revista Brasileira de Meteorologia*, [online], v. 26, n. 4, p.561-568. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862011000400006>
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (1990). Divisão das Mesorregiões 1990. <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/area-territorial/principal.shtm>
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE. (2017). <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/divisao-regional/15778-divisoes-regionais-do-brasil.html?=&t=o-que-e>

- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2021). Banco de Dados Agregados (IBGE- SIDRA). [www.sidra.ibge.gov.br](http://www.sidra.ibge.gov.br).
- IDEMA – Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. (2021). Perfil do Rio Grande do Norte. Anuário estatístico 2012. <http://www.idema.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=1357&ACT=&PAGE=0&PARM=&LBL=Socioecon%F4micos>
- Kayano, M.; Andreoli, R. (2009). Variabilidade decenal e multidecenal. In: Cavalcanti, I. F. A. (Org) Tempo e Clima no Brasil, Oficina de Textos, Sao Paulo.
- Lucena, R; Cabral, J; Steinke, E. (2018). Comportamento hidroclimático do estado do Rio Grande do Norte e do município de Caicó. *Revista Brasileira de Meteorologia*. N.33, p.485-496. <https://doi.org/10.1590/0102-7786333008>
- Malvezzi, R. (2007). Semi-Árido Uma Visão Holística. Confea: Brasília.
- Matérn, B. (1960). Spatial Variation. Statens Skogsforsningsinstitut. Stockholm.
- Matheron, G. (1963). Principles of geostatistics. *Economic geology*, v.58, p.1246–1266. <https://doi.org/10.2113/gsecongeol.58.8.1246>
- Medeiros, J. (2016). Da Análise Geossistêmica à Serra dos Martins: Contribuição Teórico Metodológica aos Brejos de Altitude. Rio Grande do Norte: Tese, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Medeiros, J; Cestaro, L. (2018). Os Brejos de Altitude no contexto das Áreas de Exceção do Nordeste brasileiro. *Revista de Geociências do Nordeste*, v.4, (nº Especial), p.127-246. <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2018v4n0ID16088>
- Moran, P. (1950). Notes on Continuous Stochastic Phenomena. *Biometrika*, n.37, p.17-23. <https://doi.org/10.2307/2332142>
- Monteiro, J. (2022). A influência de teleconexões e sistemas meteorológicos produtores de precipitação no semiárido nordestino. *Revista brasileira de Geografia Física*, v. 15, p.312-332. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.1.p312-332>
- Neves, M; Ramos, F; Camargo, E; Câmara, G; & Monteiro, A. (2000). Análise Exploratória Espacial de Dados Sócio-Econômicos de São Paulo. Salvador: GIS Brasil.
- Neves, J. (2010). Um índice de susceptibilidade ao fenômeno da seca para o semiárido nordestino. 2010. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, UFPE.

- Palharini, R.; Vila, D. (2017). Climatological Behavior of Precipitating Clouds in the Northeast Region of Brazil. *Advances in Meteorology*, v.2017, p.1-12. <https://doi.org/10.1155/2017/5916150>
- Sá, I.; Silva, P. (2010). *Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação*. Petrolina: EMBRAPA Semiárido.
- Santos & Silva, C. M.; Lucio, P. S; Spyrides, M. H. C. (2012). Distribuição espacial da precipitação sobre o Rio Grande do Norte: estimativas via satélites e medidas por pluviômetros. *Revista Brasileira de Meteorologia*, n.3, v. 27, p. 337-346. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862012000300008>
- Silva, A.; Dos Santos, A; Dos Santos, J; & Lucena, R. (2021). Balanço hídrico climatológico e classificação climática do estado do Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Climatologia*, v.30, p.798-816. <https://doi.org/10.55761/abclima.v30i18.15240>
- Silva, C.; Lucio, P.; Spyrides, M. (2012). Distribuição espacial da precipitação sobre o Rio Grande do Norte: estimativas via satélites e medidas por pluviômetros. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.27, n.3, p.337-346. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862012000300008>
- Silva, B.; Lucio, P. (2015). Characterization of risk/exposure to climate extremes for the Brazilian Northeast—case study: Rio Grande do Norte. *Theoretical and Applied Climatology* n.122, p.59–67. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1275-z>
- Silva, P.; Andrade, L; Reis, G. (2018). Regiões pluviométricas e saúde no Rio Grande do Norte. *Confins - Revista franco-brasileira de Geografia*. n.34, p.1-19. <https://doi.org/10.4000/confins.12855>
- Silva, V.; Acevedo, P; Silva, B. (2007). Surface energy and evapotranspiration of a mango orchard frown in a semiarid environment. *Agronomy Journal*, v.1, p.1391-1396. <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0232>
- SUDENE- Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. (2017). Nova delimitação do Semiárido (2017). <http://antigo.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>
- Tucci, C. (2002). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 3ª Edição. Porto Alegre: Ed. da Universidade.
- Whittle, P. (1954). On stationary processes in the plane. *Biometrika*, v.41, p.434–449. <https://doi.org/10.2307/2332724>