

Patricia de Souza Medeiros Pina Ximenes

**DROUGHT ANALYSIS IN NORTHEAST
BRAZIL - PROBABILITY DISTRIBUTION
MODELS AND MARKOV CHAIN
APPROACH**

Recife
August, 2022



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOMETRIA E ESTATÍSTICA APLICADA

**DROUGHT ANALYSIS IN NORTHEAST BRAZIL - PROBABILITY
DISTRIBUTION MODELS AND MARKOV CHAIN APPROACH**

Thesis considered adequate to obtain the doctor's degree in Biometrics and Applied Statistics, defended and approved on 18/08/2022 by the Examining Committee.

**Concentration Field: Biometry and Applied
Statistics**

Supervisor: Prof. Ph.D. Tatijana Stosic

**Co-Supervisor: Prof. Ph.D. Antonio Samuel
Alves da Silva**

Recife
August, 2022



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOMETRIA E ESTATISTICA APLICADA

**DROUGHT ANALYSIS IN NORTHEAST BRAZIL - PROBABILITY
DISTRIBUTION MODELS AND MARKOV CHAIN APPROACH**

Thesis considered adequate to obtain the doctor's degree in Biometrics and Applied Statistics, defended and approved on 18/08/2022 by the Examining Committee.

**Concentration Field: Biometry and Applied
Statistics**

Supervisor: Prof. Ph.D. Tatijana Stosic
**Co-Supervisor: Prof. Ph.D. Antonio Samuel
Alves da Silva**

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOMETRIA E ESTATÍSTICA APLICADA

**DROUGHT ANALYSIS IN NORTHEAST BRAZIL - PROBABILITY DISTRIBUTION MODELS
AND MARKOV CHAIN APPROACH**

Patricia de Souza Medeiros Pina Ximenes

Thesis considered adequate to obtain the
doctor`s degree in Biometrics and Applied
Statistics, defended and approved on
18/08/2022 by the Examining Committee.

Supervisor:

Prof. Ph.D. Tatijana Stosic

Examining Committee:

Prof. Ph.D. Fahim Ashkar (Université de Moncton - Canada)

Prof. Ph.D. Borko Stosic (UFRPE)

Prof. Ph.D. Rômulo Simões Cezar Menezes (UFPE)

Prof. Ph.D. Silvio Fernando Alves Xavier Junior (UEPB)

*Dedicated to my beloved parents José Renato Medeiros
and Elizabete Cristina de Souza Medeiros.*

Acknowledgements

I thank prof. Ph.D. **Fahim Ashkar** for his mentorship, support and assistance during my first year in Canada. Finishing my Ph.D. would not be possible without his help, and I will be grateful forever.

I thank prof. Ph.D. **Tatijana Stosic** for her mentorship and agreement to be my supervisor when I needed support. This project would not be the same without your ideas and advice.

I thank prof. Ph.D. **Samuel Silva** for his patience, dedication and the ideas that designed this thesis. Despite his young age, Samuel is an inspiration to many students. I hope one day to be like him.

I thank my **mom, dad, sister, nieces** and **brother-in-law** for standing the distance and making themselves close enough to keep me going.

I thank my **husband** for supporting me during my academic journey.

I thank **CAPES** (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) for the funding in the first year of this journey and **ANA** (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico) for providing the data.

Finally, but not least, **God**. For holding my hand in difficult times and allowing me to finish this study during a pandemic with health and a smile on my face.

Abstract

Brazil is one of the tropical countries most affected by drought. The Brazilian territory contains 18.26% of dry lands concentrated mainly in Northeast Brazil (NEB). Droughts have been reported in NEB since the XVI century, and several facts about their impacts were observed during this period. Some facts that could be highlighted are livestock loss, people migrating to other regions and land degradation. In this scenario, this study aimed to identify drought characteristics in the NEB that could provide beneficial information for water resources professionals to plan possible measures to minimize drought's negative impacts. To do that, an initial study was developed to analyze the fit of 2-parameter distributions gamma (GAM), log-normal (LNORM), Weibull (WEI), generalized Pareto (GP), Gumbel (GUM), and normal (NORM) to precipitation data from 293 rainfall stations across NEB, in the period 1988 - 2017. The maximum likelihood (ML) method was used to estimate the parameters to fit the models and the choice of the model was based on a modification of the Shapiro-Wilk statistic. The results showed that the LNORM, GAM, GP and WEI models were better fitted to the data. After that, the Standardized Precipitation Index (SPI) related to the 30 years of information was used with a Markov Chain approach to characterize drought. The results showed that a station that experienced a moderate drought recovered to a non-drought condition in about 10 to 19 months. The values increase when the initial state is severe, taking a minimum of 16 to 19 months to recover. The states of *Ceará*, the west portion of *Rio Grande do Norte*, *Paraíba* and *Pernambuco* are highlighted, presenting some spots where recovery to a non-drought condition can take up to 46 months. The mean residence time commonly varies between 1.1 to 1.2 months when the region has experienced a moderate drought condition and 1.1 to 2.2 months to recover from a severe drought condition. The probability of transitions from any category to a moderate or severe drought class was smaller than a transition to a non-drought or near-normal class. When analyzing the changes to a severe condition, the probabilities increased as the drought's severity increased. The same behaviour was observed in the moderate condition, highlighting some points in the north of NEB that showed a higher probability of transition from a state of severe drought to a state of moderate drought. The method proved to be robust and easy to apply to precipitation data.

Keywords: Markov Chain, standardized precipitation index, drought, Brazil.

Resumo

O Brasil é um dos países tropicais mais afetados pela seca. O território brasileiro contém 18,26% de terras secas concentradas principalmente no Nordeste do Brasil (NEB). As secas são relatadas no NEB desde o século XVI, e vários fatos sobre seus impactos foram observados nesse período. Alguns fatos que podem ser destacados são a perda de gado, a migração de pessoas para outras regiões e a degradação da terra. Nesse cenário, este estudo teve como objetivo identificar características de seca no NEB que possam fornecer informações benéficas para profissionais de recursos hídricos planejarem possíveis medidas para minimizar os impactos negativos da seca. Para isso, foi desenvolvido um estudo inicial para analisar o ajuste das distribuições de 2 parâmetros gama (GAM), log-normal (LNORM), Weibull (WEI), Pareto generalizada (GP), Gumbel (GUM) e normal (NORM) a dados de precipitação de 293 estações pluviométricas espalhadas em todo o NEB, no período de 1988 a 2017. O método de máxima verossimilhança (ML) foi utilizado para estimar os parâmetros para ajustar os modelos e a escolha do modelo foi baseada em uma modificação da estatística Shapiro-Wilk. Os resultados mostraram que os modelos LNORM, GAM, GP e WEI apresentaram melhor ajuste aos dados. Em seguida, foi utilizado o Índice de Precipitação Padronizado (SPI) referente aos 30 anos de informação com uma abordagem de cadeia de Markov para caracterização da seca. Os resultados mostraram que uma estação que passou por um período de seca moderada transitou para um estado de não-seca em aproximadamente 10 a 19 meses. Os valores aumentaram quando o estado inicial era severo, demorando no mínimo 16 a 19 meses para retornar a um estado de não seca. O estado do Ceará, oeste do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, destacaram-se por apresentar alguns pontos onde a recuperação pode levar até 46 meses. O tempo de residência em média variou entre 1,1 a 1,2 meses quando a região passou por uma condição de seca moderada e 1,1 a 2,2 meses para se recuperar de uma condição de seca severa. A probabilidade de transição de qualquer categoria para uma classe de seca moderada e severa foi menor do que uma transição para uma classe de não-seca ou quase normal. Ao analisar as mudanças para uma condição severa, as probabilidades aumentaram à medida que a severidade da seca aumentou. O mesmo comportamento foi observado na condição moderada, com destaque para alguns pontos ao norte do NEB que apresentaram maior probabilidade de transição de um estado de seca severa para um estado de seca moderada. O método mostrou ser robusto e de fácil aplicação a dados de precipitação.

Palavras-chave: Cadeia de Markov, índice de precipitação padronizado, seca, Brasil.

Divulgação não autorizada por se tratar
de material temporariamente restrito.