



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA

Jurema Maria Silva Araújo

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS COM PRECIPITAÇÃO PLUVIAL
HOMOGÊNEA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE**

Natal
2013

Jurema Maria Silva Araújo

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS COM PRECIPITAÇÃO PLUVIAL
HOMOGÊNEA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação, em Engenharia Sanitária, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

Orientadora: Prof^a Dr^a. Adelena Gonçalves Maia

Natal
2013

UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede.
Catalogação da Publicação na Fonte.

Araújo, Jurema Maria Silva.

Identificação de áreas com precipitação pluvial homogênea no Estado do Rio Grande do Norte. / Jurema Maria Silva Araújo. – Natal, RN, 2013. 79 f.: il.

Orientadora: Profa. Dra. Adelena Gonçalves Maia.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária.

1. Precipitação – Rio Grande do Norte - Dissertação. 2. Variabilidade - Precipitação - Dissertação. 3. Agrupamento – Precipitação - Dissertação. I. Maia, Adelena Gonçalves. II. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. III. Título.

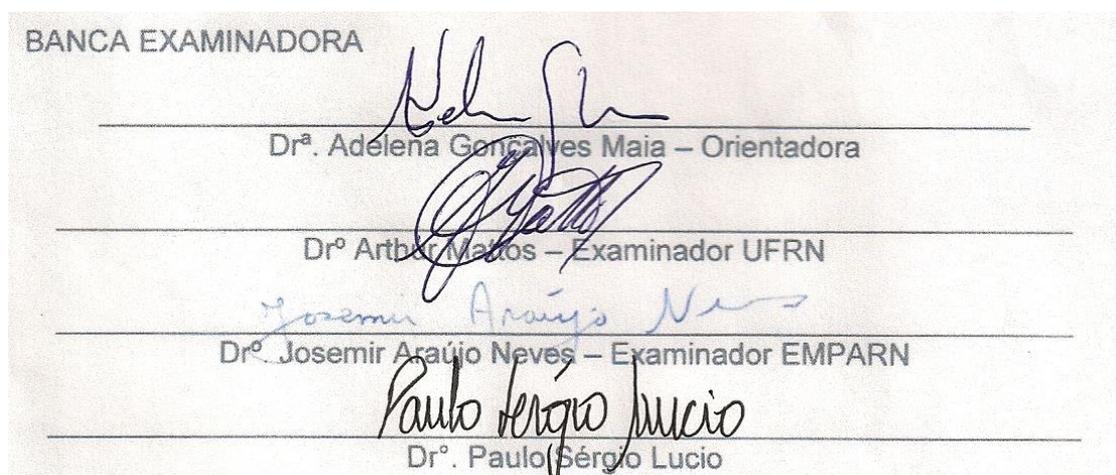
RN/UF/BCZM

CDU 551.577.21(813.2)

JUREMA MARIA SILVA ARAUJO

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS COM PRECIPITAÇÃO PLUVIAL HOMOGÊNEA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-graduação, em
Engenharia Sanitária, da Universidade
Federal do Rio Grande do Norte, como
requisito parcial à obtenção do título de
Mestre em Engenharia Sanitária.



Natal, 30 de agosto de 2013

Agradecimento a:

Primeiramente a DEUS, pela luz, força e bênçãos que me são entregues a cada dia.

Meus pais Maria do Carmo Silva Araújo e Eduardo Varela de Araújo pelo esforço, dedicação e apoio, que serviram e servem como fonte de estímulos para vencer cada etapa da minha vida.

A minha família (padrinhos, tios, primos) por serem exemplos de amor, dedicação, união. Bem como pelo apoio sempre que necessário em diversas fases de minha vida.

Ao meu namorado Herison Alves por toda a força, conselho e companheirismo.

Aos amigos, especialmente Sinara, Samara, Carolina, Noilton, Marcelo, Tâmara, Jéssica, e Rodrigo, pelos momentos de descontração e por muitas vezes entenderem minha ausência.

A minha professora orientadora Adelena Gonçalves Maia, pelo incentivo, simpatia e presteza no auxílio às atividades acadêmicas.

Aos meus amigos de outras jornadas, de Ensino Médio, Curso Técnico e Graduação, que sempre me deram forças e me proporcionaram momentos de alegria.

A todos os Professores que contribuíram na formação profissional.

Aos meus colegas de curso que estiveram comigo compartilhando momentos bons e ruins durante o mestrado.

Aos funcionários e amigos da CAERN, que por diversas vezes compreenderam a minha ausência e em meio à correria diária também proporcionarão momentos de descontração. Em especial: Erivan, Marcelo, Ana Raquel, Aline, Josilvan, Max, Aline, Sarah Júlia e Jairo.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	ix
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
APRESENTAÇÃO.....	xiii
1. Introdução.....	01
2. Capítulo 1 - Caracterização do regime pluvial do estado do Rio Grande do Norte.....	04
2.1 Introdução.....	05
2.2 Material e Métodos.....	06
2.3 Resultados e Discussão.....	24
2.4 Conclusões.....	28
2.5 Referências Bibliográficas.....	29
3. Capítulo 2 - Determinação de áreas com precipitação pluvial homogêneas no estado do Rio Grande do Norte.....	31
3.1 Introdução.....	33
3.2 Material e Métodos.....	36
3.3 Resultados e Discussão.....	47
3.4 Conclusões.....	59
3.5 Referências Bibliográficas.....	60
4. Considerações Finais.....	64
5. Referências Bibliográficas.....	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mesorregiões do Estado do Rio Grande do Norte.....	07
Figura 2 – Mapa de classificação climática segundo Thornthwaite.....	10
Figura 3 – Mapa das isoietas para o RN.....	11
Figura 4 – Altimetria do Rio Grande do Norte.....	13
Figura 5 – Variação espacial da média pluviométrica anual do RN.....	16
Figura 6 – Mapas de precipitação anual para os meses janeiro e fevereiro.....	17
Figura 7 – Mapas de precipitação anual para os meses março e abril.....	17
Figura 8 – Mapas de precipitação anual para os meses maio e junho.....	18
Figura 9 – Mapas de precipitação anual para os meses julho e agosto.....	18
Figura 10 – Mapas de precipitação anual para os meses setembro e outubro.....	19
Figura 11 – Mapas de precipitação anual para os meses novembro e dezembro.....	19
Figura 12 – Precipitação concentrada no mês de Maio ($PCP = 124,5^{\circ}$).....	22
Figura 13 – Precipitação mal distribuída ($PCD = 1$).....	22
Figura 14 – Precipitação bem distribuída ($PCD = 0$).....	23
Figura 15 – Grau de Concentração de Precipitação para o Estado do RN.....	24
Figura 16 – Período de Concentração da Precipitação para o Estado do RN.....	25
Figura 17 – Estações que tiveram suas médias mensais observadas.....	26
Figura 18 – Precipitação média mensal de diferentes estações.....	27
Figura 19 – Mapa de classificação climática segundo Thornthwaite.....	37
Figura 20 – Validação de estabilidade: agrupamento 1.....	48
Figura 21 – Validação de estabilidade: agrupamento 2.....	49
Figura 22 – Validação interna: agrupamento 1.....	50
Figura 23 – Validação interna: agrupamento 2.....	51
Figura 24 – Dendrograma com separação dos 4 grupos (Agrupamento 1).....	52
Figura 25 – Dendrograma com separação dos 4 grupos (Agrupamento 2).....	52
Figura 26 – Agrupamento das estações (Agrupamento 1).....	53
Figura 27 – Agrupamento das estações (Agrupamento 2).....	53

Figura 28 – Precipitações médias mensais das cidades que migraram, suas vizinhas e do grupo 3.....	54
Figura 29 – Precipitações médias mensais das cidades que migraram, suas vizinhas e do grupo 2.....	56
Figura 30 – Agrupamento através do método K-means para as variáveis PCD, PCP e precipitações médias anuais.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Meses correspondentes a cada valor de PCP.....	20
Tabela 2 – Valores de PCD e PCP para as estações analisadas.....	26
Tabela 3 – Tipo de validação e seus respectivos valores para agrupamento.....	51
Tabela 4 - Valores de PCD e PCP para as estações que migraram, suas vizinhas e do grupo 3.....	55
Tabela 5 - Valores de PCD e PCP para as estações que migraram, suas vizinhas e do grupo 2.....	57
Tabela 6 – Média dos valores de PCD, PCP e precipitação média anual para as cinco regiões homogêneas.....	58

LISTA DE SIGLAS

PCD – Grau de Concentração de Precipitação

PCP – Período de Concentração de Precipitação

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

POA's - Perturbações Ondulatórias dos Alísios

TSM – Temperatura da Superfície do Mar

VCAS – Vórtices Ciclônicos da Atmosfera Superior

AA – Análise de Agrupamento

SQD – Soma dos Quadrados dos Desvios

APN – Average Proportion of Nonoverlap

AD – Average Distance

ADM – Average Distance between Means

FOM – Figure of Merit

RESUMO

O estudo da variabilidade da precipitação é importante para o planejamento das atividades econômicas, possibilitando o uso mais eficiente e racional dos recursos hídricos. Dessa forma, o objetivo desta pesquisa é caracterizar o estado do Rio Grande do Norte com relação à variabilidade temporal da precipitação, agrupá-lo em regiões homogêneas e comparar diferentes técnicas de agrupamento. Para o estudo da variabilidade pluvial foram utilizados os índices: Grau de Concentração de Precipitação (PCD), que representa o grau em que a precipitação é distribuída ao longo do ano; e o Período de Concentração de Precipitação (PCP), que reflete o período no qual a precipitação está mais concentrada. Para a realização dos agrupamentos foram escolhidas as variáveis: PCD, PCP, médias da precipitações anuais e médias das precipitações mensais. Posteriormente, foi aplicada a análise de agrupamento para obter grupos com características similares. Os resultados mostraram que as precipitações são melhor distribuídas na região leste do estado, neste caso, os meses mais chuvosos são de maio a agosto. Os municípios localizados nessa área possuem dois picos de chuvas, devido à atuação de dois sistemas: Perturbações Ondulatórias dos Alísios (POA's) e Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Nas regiões localizadas a oeste os meses que possuem maior concentração de chuvas são março e abril, neste caso temos apenas um pico de precipitação, devido a atuação da ZCIT. A identificação de áreas homogêneas favorece o planejamento adequado de acordo com as características de cada grupo formado e o RN pode ser dividido em 4 (quatro) regiões homogêneas. As técnicas de agrupamento utilizadas apresentaram resultados semelhantes, porém, sugere-se o uso de mais de uma técnica para que se possa analisar qual delas reflete melhor a realidade local. O estudo da variabilidade de precipitação, através dos índices estudados e do agrupamento realizado, são ferramentas adequadas ao planejamento ambiental e econômico.

Palavras-chave: Precipitação. Variabilidade. Agrupamento.

ABSTRACT

The study of rainfall variability is important for planning of economic activities, enabling more efficient and rational use of water resources. Thus, the objective of this research is to characterize the Rio Grande do Norte state with respect to rainfall temporal variability, grouping it into homogeneous regions and comparing different clustering techniques. To study the variability indices were used: Precipitation Concentration Degree (PCD), which represents the degree to which the precipitation is distributed throughout the year, and the Precipitation Concentration Period (PCP), which reflects the period in which the precipitation is more concentrated. To achieve the groupings were chosen variables: PCD, PCD, average annual precipitation and average monthly precipitation. Subsequently, we applied the cluster analysis to obtain groups with similar characteristics. As we have concluded that the precipitations are more distributed in the eastern region of the state, in this case, the wettest months are from May to August. The municipalities in this area have two peaks of rainfall, due to action of two systems: wavy perturbations of the Trade winds (POA's) and the Intertropical Convergence Zone (ITCZ). In west the months that have a higher concentration of rains are March and April and in this case we have only one peak rainfall, because the performance of the ITCZ. The identification of homogeneous areas favors proper planning according to the characteristics of each group of newborns and can be divided into four (4) homogeneous regions. The clustering techniques used showed similar results, however, suggest the use of more than one technique to be able to analyze which one best reflects local realities. The study of the variability of precipitation, through clustering indexes studied and performed, are appropriate tools to economic and environmental planning.

Keywords: Rainfall. Variability. Cluster Analysis.

APRESENTAÇÃO

Esta pesquisa foi desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária – PPGES, sob a orientação da professora Adelena Gonçalves Maia. O trabalho faz parte da pesquisa intitulada “Dimensionamento de cisternas de aproveitamento de água de chuva para o Estado do Rio Grande do Norte”, coordenado pela referida professora.

O objetivo principal do projeto é realizar o dimensionamento de reservatório de aproveitamento de água de chuva de acordo com os diferentes regimes pluviais da região, considerando as peculiaridades do uso deste sistema em áreas urbanas e rurais. Neste projeto o dimensionamento das cisternas deve ser realizado para regiões com regime pluvial semelhante, para tanto o primeiro passo deve ser a definição de áreas homogêneas em relação à precipitação pluvial, objetivo principal da pesquisa realizada nesta dissertação de mestrado.

Esta dissertação foi dividida em dois artigos. O primeiro denominado de “Caraterização do regime pluvial do estado do Rio Grande do Norte através de índices de concentração” teve como objetivo estudar a variabilidade temporal da precipitação no estado através do uso de índices que caracterizam a distribuição de chuva ao longo do ano e o período de maior concentração da mesma. O segundo artigo foi intitulado “Determinação de áreas com precipitação pluvial homogêneas no estado do Rio Grande do Norte através da análise de conglomerados” e trata da definição das áreas homogêneas e da comparação de duas técnicas de agrupamento

1. INTRODUÇÃO

A caracterização das chuvas é de grande importância para o planejamento e aproveitamento dos recursos hídricos. O estudo de parâmetros como médias mensais e anuais de precipitação, áreas de ocorrência e variabilidade espaço-temporal dão subsídio a um melhor planejamento hídrico e desenvolvimento econômico de uma região.

A região Nordeste do Brasil onde está inserida a área de estudo deste trabalho é caracterizada pela variabilidade espacial e temporal da precipitação e pela irregularidade dos processos de escoamento, que por sua vez contribui para processos como a erosão dos solos. Devido à disponibilidade de energia solar e de altas temperaturas durante todo o ano outra característica peculiar da região são os elevados índices de evaporação. Dessa forma, a região Nordeste do Brasil é considerada como uma região anômala no que diz respeito à distribuição espacial e temporal da precipitação ao longo do ano (SOUZA et al., 1998).

A disponibilidade hídrica nas bacias hidrográficas está diretamente relacionada com a variabilidade da precipitação, sobretudo naquelas localizadas em regiões semiáridas, como ocorre na maior parte do estado do Rio Grande do Norte, e, portanto, o seu estudo tem ganhado espaço dentro da área de recursos hídricos. O estudo do comportamento espacial da precipitação cria subsídios para o mapeamento de áreas de aptidão para agricultura, além de ajudar no planejamento das atividades agrícolas e no gerenciamento dos recursos hídricos.

A identificação de regiões homogêneas quanto ao padrão individual ou combinado de diferentes elementos meteorológicos tem sido utilizada para que se possa analisar a variabilidade espacial e temporal dessas variáveis. Para a análise de variáveis em que exista um grande número de dados é necessário o uso de ferramentas estatísticas, dentre as mais utilizadas no meio científico temos análise multivariada. Neste caso podemos ter uma redução da dimensão da matriz de dados. Dentro da análise multivariada temos a técnica chamada de Análise de Agrupamento (MACHADO et al, 2010).

Esta técnica além de poder investigar o comportamento espacial e temporal de variáveis, obtêm grupos homogêneos e favorece o planejamento

de atividades econômicas. Essas pesquisas dão subsídio ao uso mais eficiente e racional dos recursos hídricos, permitem um maior entendimento de regiões que não possuem um número elevado de dados sobre determinada variável, através da similaridade com outras áreas (UNAL et al, 2003).

Os métodos de agrupamento são utilizados em diversas áreas de pesquisa, usando-se técnicas hierárquicas e não-hierárquicas. As técnicas hierárquicas geralmente são utilizadas na fase inicial e necessitam de medidas de dissimilaridade para procurar pares de estações que tenham maior similaridade (UNAL et al, 2003).

Na literatura estão disponíveis vários métodos de agrupamento que por sua vez estão associados às várias funções de agrupamento. Em cada caso temos diferentes grupos formados (FECHINE; GALVÍNCIO, 2008). Portanto, uma opção para este tipo de análise seria testar mais de um método para a verificação do qual melhor se adequa ao estudo realizado.

De acordo com Landim (2000), existe uma série de testes estatísticos com a finalidade de avaliar os resultados obtidos nas diversas técnicas de agrupamento, portanto a escolha do agrupamento deve ter como base a consistência com a realidade em estudo.

Nery et al. (1996) utilizaram a técnica de análise de agrupamento para períodos com chuva intensa no estado do Paraná, neste estudo, cinco grupos foram encontrados. Machado et al. (1996) estudaram a duração da estação chuvosa para o estado de Minas Gerais através da análise de agrupamento, o que subsidiou o melhor planejamento econômico na região. Keller *et al.* (2005) determinaram 25 zonas homogêneas em relação ao regime pluvial no Brasil através de variáveis de análise a proporção de pântadas secas e medidas de posição, escala e forma das distribuições de frequência de quantidade de chuva.

Machado et al. (2010) utilizaram o método da ligação completa para determinar regiões homogêneas em relação a temperatura e precipitação no Rio Grande do Sul. Raziei et al. (2008) utilizaram o método de Ward para determinar a regionalização da precipitação base para o Oeste do Irã e a variabilidade regional da seca. Muñoz-Díaz e Rodrigo (2004) utilizaram o mesmo método com o objetivo de comparar os resultados de Ward com os da Análise de Componentes Principais, segundo os autores a técnica estatística

multivariada mais amplamente utilizada em ciências atmosféricas. Unal et al. (2003) testaram cinco diferentes técnicas de agrupamento para determinar zonas climáticas homogêneas através das variáveis temperaturas média, máxima e mínima, e a precipitação total para o período de 1951 a 1998. O método de Ward foi indicado como o mais provável a produzir resultados aceitáveis. De acordo com Fachine e Galvêncio (2008), Ward é o método mais utilizado em estudo de agrupamento.

Outros trabalhos que utilizaram a técnica de Ward para determinação de área homogênea com dados de precipitação foram Lyra et al., (2006), Fachine; Galvêncio, (2008), Silva et al, (2009).

Dessa forma o objetivo geral da pesquisa é caracterizar o estado do Rio Grande do Norte com relação ao regime de precipitação, levando em consideração sua variabilidade temporal e espacial, através do uso de diferentes técnicas estatísticas de agrupamento.

Este trabalho é dividido em dois artigos. O primeiro é denominado "Caraterização do regime pluvial do estado do Rio Grande do Norte através de índices de concentração" que objetiva estudar a variabilidade temporal da precipitação, através dos índices PCD e PCP, visto a sua importância para o planejamento socioeconômico da região. O segundo artigo é intitulado "Determinação de áreas com precipitação pluvial homogênea no estado do Rio Grande do Norte através da análise de conglomerados" e tem como objetivo determinar áreas homogêneas em termos do regime de precipitação, a partir da análise de agrupamento hierárquica de Ward e não hierárquica de k-means, bem como comparar os dois métodos.

2. Capítulo 1 - CARATERIZAÇÃO DO REGIME PLUVIAL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE ATRAVÉS DE ÍNDICES DE CONCENTRAÇÃO

RESUMO

O objetivo desse trabalho é estudar a variabilidade temporal da precipitação no estado do Rio Grande do Norte, visto a sua importância para o planejamento regional, caracterizando a distribuição ao longo do ano das precipitações e o período de maior concentração das mesmas. Os índices utilizados para caracterizar a variabilidade da precipitação foram: o Grau de Concentração de Precipitação (PCD), que representa o grau em que a precipitação total anual é distribuída ao longo dos doze meses; e o Período de Concentração de Precipitação (PCP), que reflete o período (mês), no qual a precipitação está mais concentrada. Através dos resultados obtidos concluiu-se que a medida que nos deslocamos para o oeste do estado, os valores de PCD são maiores, ou seja, a distribuição da precipitação fica pior. Já os valores de PCP são menores, o que significa que a estação chuvosa é adiantada para os meses de março e abril. Os índices estudados não são capazes de identificar os dois padrões de precipitação encontrados na região, porém caracterizaram o estado do Rio Grande do Norte quanto ao seu regime pluvial, que poderá ser útil ao planejamento ambiental e econômico da região.

Palavras-chave: Índices de variabilidade. Grau de Concentração de Precipitação. Período de Concentração de Precipitação.

ABSTRACT

The aim of this study is to study the temporal variability of rainfall in Rio Grande do Norte state, since their importance for regional planning, characterizing the distribution of rainfall throughout the year and the period of highest concentration of same. The indices used to characterize the rainfall variability were: Precipitation Concentration Degree (PCD), which represents the degree to which the total annual rainfall is distributed over the twelve months, and the Precipitation Concentration Period (PCP), which reflects the period (in months), in which precipitation is most concentrated. From the results was conclude that as we move towards the west of the state, PCD values are higher, ie, the

distribution of rainfall gets worse. The values of PCP are lower, which means that the rainy season is early for the months of March and April. The indices studied are not able to identify the two precipitation patterns found in the region, but characterized the state of Rio Grande do Norte as its rainfall patterns, which may be useful in environmental planning and economic development of the region.

Keywords: Variability indices. Degree of Concentration of Precipitation. Precipitation Concentration Period.

2.1 INTRODUÇÃO

O estudo do regime da precipitação pluvial é importante para o planejamento regional, pois pode definir a forma de ocupação e os tipos de atividades econômicas desenvolvidas em uma determinada região. A precipitação pluvial também modifica o ambiente em relação à umidade e temperatura do ar e do solo e o balanço hídrico da região. Portanto, existe a necessidade de se estudar as características pluviais locais para que estes dados possam subsidiar o planejamento do tipo de desenvolvimento regional adequado para a região e as intervenções necessárias para adequação entre a disponibilidade e a demanda hídrica.

A seca afeta todas as atividades econômicas de uma região em função do seu grande impacto na disponibilidade dos recursos hídricos, e, por conseguinte, na produção agrícola, e no abastecimento de água para a população. No semiárido brasileiro, visto a disponibilidade limitada do recurso hídrico esse problema tem sido mais enfatizado. Esse problema é agravado de acordo com a intensidade e a duração do período de deficiência hídrica. A média pluviométrica mensal e a distribuição das chuvas dentro do ano também estão ligados diretamente a esse fenômeno (ARAÚJO FILHO, 2005).

Valores mais elevados de precipitação total anual em um curto período, ou seja, uma grande concentração de precipitação em determinado mês, tem o potencial de originar enchentes e secas, ocasionando uma maior pressão sobre os recursos hídricos (ZHANG et al, 2009).

Zhang e Qian (2003) apresentaram as características de concentração da precipitação na região noroeste da China, através do uso dos índices “Grau

de Concentração de Precipitação” (Precipitation Concentration Degree - PCD) e “Período de Concentração da Precipitação” (Precipitation Concentration Period - PCP). O PCP representa o período (mês), em que a precipitação concentra e o PCD representa o grau em que a precipitação total anual é distribuído em 12 meses.

Portanto em função do exposto acima este trabalho teve como objetivo estudar a variabilidade temporal da precipitação no estado do Rio Grande do Norte, através do uso dos índices PCP e PCD, caracterizando a distribuição ao longo do ano das precipitações e o período de maior concentração das mesmas, bem como os fatores que interferem nos resultados encontrados.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estado do Rio Grande do Norte possui uma área de 52.810,7 km², correspondendo a 0,62% do território nacional. A distância entre os pontos extremos Norte-Sul é de 233 km e entre os pontos extremos Leste-Oeste, 403 km. Limita-se ao Norte e a Leste com o Oceano Atlântico; ao Sul com o Estado da Paraíba e a Oeste com o Estado do Ceará (IDEMA, 2010). Politicamente está subdividido em quatro mesorregiões da área de estudo (Figura 1).

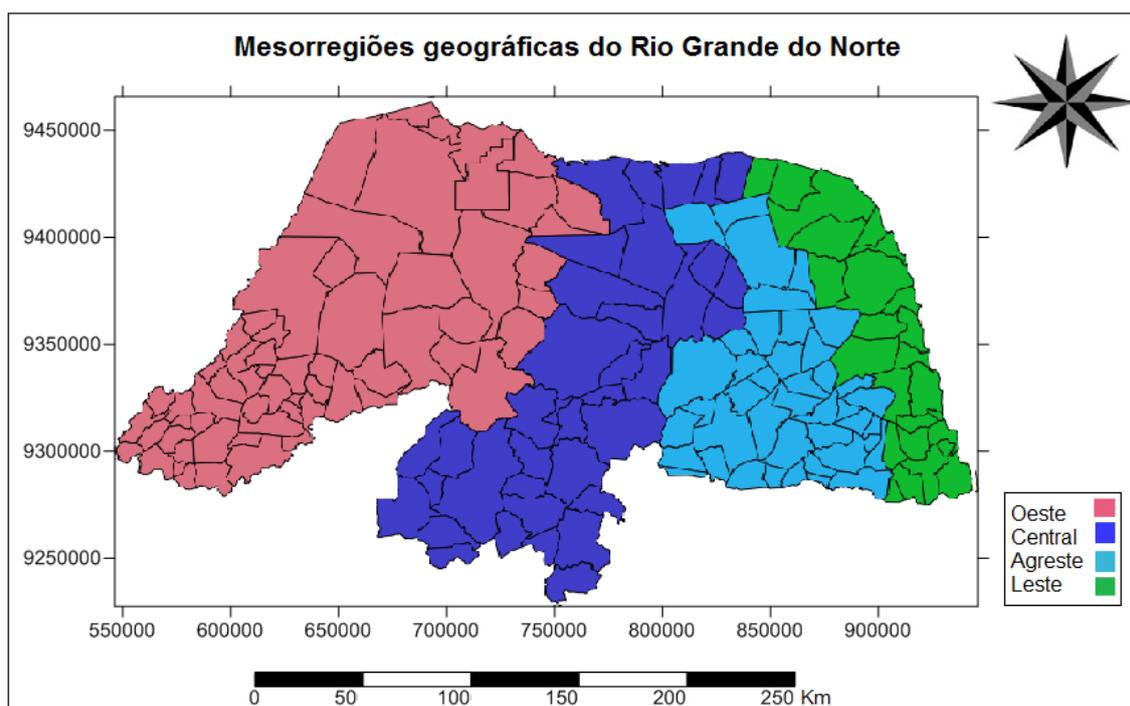


Figura 1 – Mesorregiões do Estado do Rio Grande do Norte. Fonte: Elaborado pela pesquisadora.

A mesorregião Oeste potiguar abrange uma área que se estende do litoral até o trecho sudoeste do Estado, caracterizada por diferentes tipos de relevo, que correspondem a áreas serranas, a Chapada do Apodi e o litoral. O clima varia de semiárido a sub-úmido em virtude da ação do relevo. O rio Apodi-Mossoró é responsável pela drenagem da mesorregião. O litoral apresenta grande variação pluviométrica anual e forte evaporação, favorecendo o desenvolvimento de grandes salinas. (IDEMA, 2010).

A mesorregião central também abrange uma área que estende-se de norte a sul, englobando as áreas do Seridó e alcançando o litoral norte do Estado, sendo esta região drenada pelo rio Piranhas-Açu. Correspondem a áreas semiáridas, e semiúmidas em virtude da baixa precipitação e as variações climáticas existentes. No primeiro caso temos solos pedregosos, com a vegetação caatinga e com o desenvolvimento de salinas no litoral. As regiões serranas estão localizadas na porção semiúmida (IDEMA, 2010).

O agreste está situado numa região de transição entre o litoral úmido e o interior de clima semiárido. Localiza-se paralelamente a zona da mata e sua vegetação varia de mata a caatinga (IDEMA, 2010).

Por fim temos a mesorregião do Leste Potiguar, que se destaca no ponto de vista populacional e econômico, estando estruturado pela cidade do Natal, centro político-administrativo. Possui rios de curto percurso, localizados em um relevo plano de tabuleiros sedimentares, formando extensos vales aluvionais (IDEMA, 2010).

Dentre as atividades econômicas que se destacam no Estado temos a exploração petrolífera terrestre, a atividade salineira, o turismo e a agricultura, com a exportação de frutas irrigadas como a banana, melão e abacaxi. Ainda temos importantes atividades econômicas em expansão, dentre as quais: o comércio, a agroindústria e a indústria têxtil (IDEMA, 2010).

A temperatura média anual do Estado está em torno de 25,5°C, com máxima de 31,3° e mínima de 21,1°, sendo sua pluviometria bastante irregular. O número de horas de insolação mostra pouca variação de 2.400 a 2.700 horas por ano e a umidade relativa do ar apresenta uma variação média anual entre 59 e 76%. A região litorânea possui características ímpares, o clima a individualiza das outras regiões: Temperatura média da água do mar 27° C; 300 dias aproximadamente de sol por ano (SEPLAN, 2002).

O clima semiárido abrange a maior parte da área de estudo, avançando até o Litoral Norte, com baixa precipitação pluviométrica, distribuídas nos meses de janeiro a abril. São regiões sujeitas à seca e com maior influência dos ventos alísios secos do Nordeste, que incidem no Litoral Norte e se interiorizam pelo território potiguar. Já os ventos alísios e úmidos do sudeste predominam no Litoral Oriental, sendo o clima dessa região classificado como úmido e sub-úmido, e chuvas entre os meses de fevereiro a julho. Este tipo de clima abrange também os municípios vizinhos desta zona e as regiões de serras no Estado (SEPLAN, 2002).

Em relação aos recursos hídricos o RN se caracteriza pela maioria de rios com regime intermitente (maior parte do ano com leito seco). Os rios apresentam papel importante na interiorização e na estrutura socioeconômica da região. Os açudes construídos no estado perenizam os rios e também influenciam os aspectos sociais e econômicos da região. Historicamente, os aspectos hidrográficos foram elementos impulsionadores de formação de aglomerados humanos, posteriormente vindo a se transformar em cidades (SEMARH, 2005).

Em relação a geologia tem-se basicamente o embasamento cristalino e estruturas sedimentares. O embasamento cristalino corresponde a terrenos antigos, formados por rochas resistentes como granitos e gnaisses e ocupam grande parte do sul e o centro-oeste do Estado, representando a sua formação geológica dominante. Os rios intermitentes presentes nesses locais são frutos da baixa capacidade de infiltração/retenção de água e à elevada evaporação. A geologia sedimentar é representada pelo Calcário Jandaíra, Arenito Açú, Grupo Barreiras e Dunas. Esses locais possuem grande importância econômica, pois possuem recursos minerais como petróleo e gás natural, calcário e argila (SEMARH, 2005).

A região apresenta algumas áreas de solos férteis e com bom potencial agrícola, mas a maior parte é caracterizada por solos rasos, erodidos e de fertilidade mediana. Os tipos climáticos associados às formas de relevo e aos diferentes solos permitem reconhecer no Estado a existência de sete ecossistemas: Caatinga, Mata Atlântica, Cerrado, Florestadas Serras, Floresta Ciliar de Carnaúba, Vegetação das Praias e Dunas e Manguezal (SEMARH, 2005).

De acordo com a classificação climática de Thornthwaite, o RN possui 4 diferentes tipos climáticos, que estão descritos a seguir e ilustrados no mapa abaixo (Figura 2) (SEMARH, 2005):

DdA'a': Clima semi-árido com pequeno ou nenhum excesso de água, megatérmico, com baixa variação estacional;

EdA'a': Clima árido com pequeno ou nenhuma excesso de água, megatérmico, com baixa variação estacional;

C1wA'a': Clima seco e sub úmido, com moderado excesso de água, megatérmico, com baixa variação estacional;

C1dA'a': Clima seco e sub úmido, com pequeno ou nenhum excesso de água, megatérmico, com baixa variação estacional.

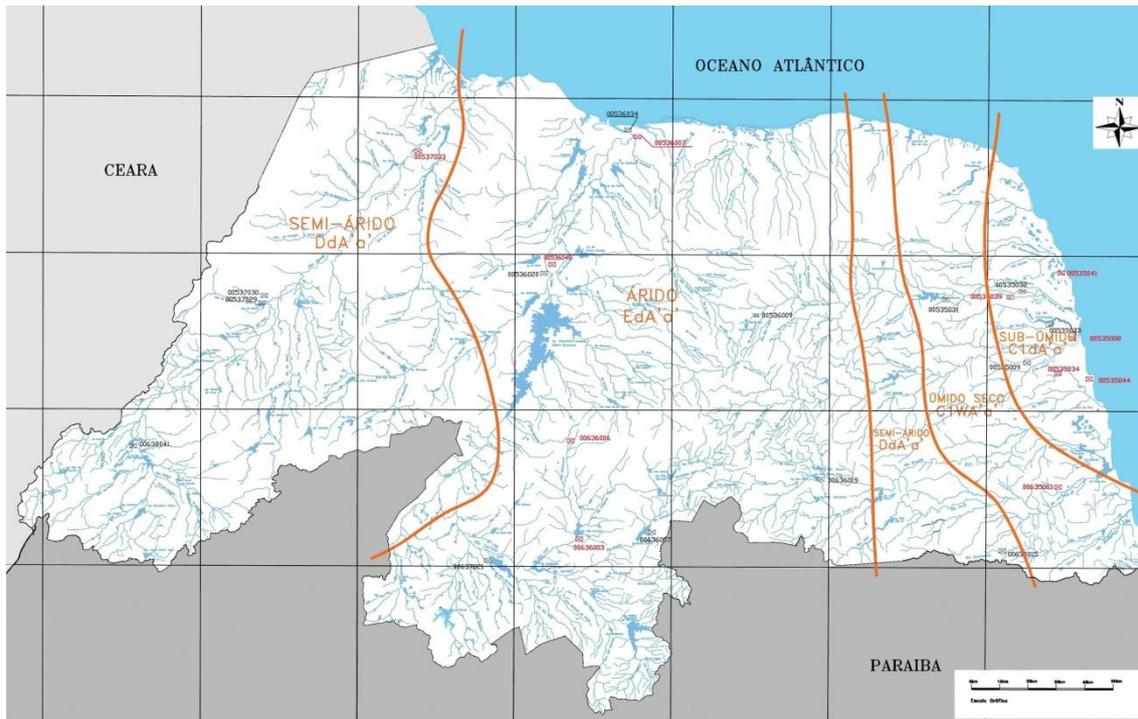


Figura 2 – Mapa de classificação climática segundo Thornthwaite. Fonte: SEMARH, 2005.

O comportamento do clima é extremamente complexo e muitas são as variáveis que interferem em seus valores. Dentre as principais variáveis que influenciam a variabilidade espacial e temporal do regime de precipitação temos as características do relevo e da hidrografia, tipos de solos e o tipo de vegetação, além dos fatores globais que interferem no clima local como a latitude da região, os efeitos do El Niño (Oscilação Sul, ENOS) e da La Niña (Oscilação do Atlântico Norte), fenômenos atmosféricos oceânicos que alteram os padrões de circulação atmosférica global, e conseqüentemente, os regimes de chuva em áreas tropicais e de latitudes médias.

Como a maior parte da área de estudo está inserida na região semiárida nordestina, em relação às características de regime de chuvas, destacam-se a sazonalidade e a variabilidade inter e intra anual.

O regime pluvial do RN é determinado pelo deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), atuando no período de fevereiro a maio na região semiárida central, oeste e norte do estado. O deslocamento da ZCIT para a posição mais ao sul do equador contribui para que ocorram chuvas mais intensas (ARAÚJO et al., 2008).

No litoral leste e no agreste do estado as Perturbações Ondulatórias dos Alísios (POA's) são determinantes na ocorrência de chuvas, atuando especialmente de maio a agosto (NOBRE & MOLION, 1998). Podem gerar chuvas intensas e inundações, além de terem a capacidade de adentrar até 300 km para o continente. A intensidade ou dissipação depende de fatores como a Temperatura da Superfície do Mar (TSM), do cisalhamento do vento e dos efeitos da orografia e da circulação de brisa marítima e terrestre (ARAÚO et al., 2008). As médias das precipitações anuais estão dispostas abaixo (Figura 3).

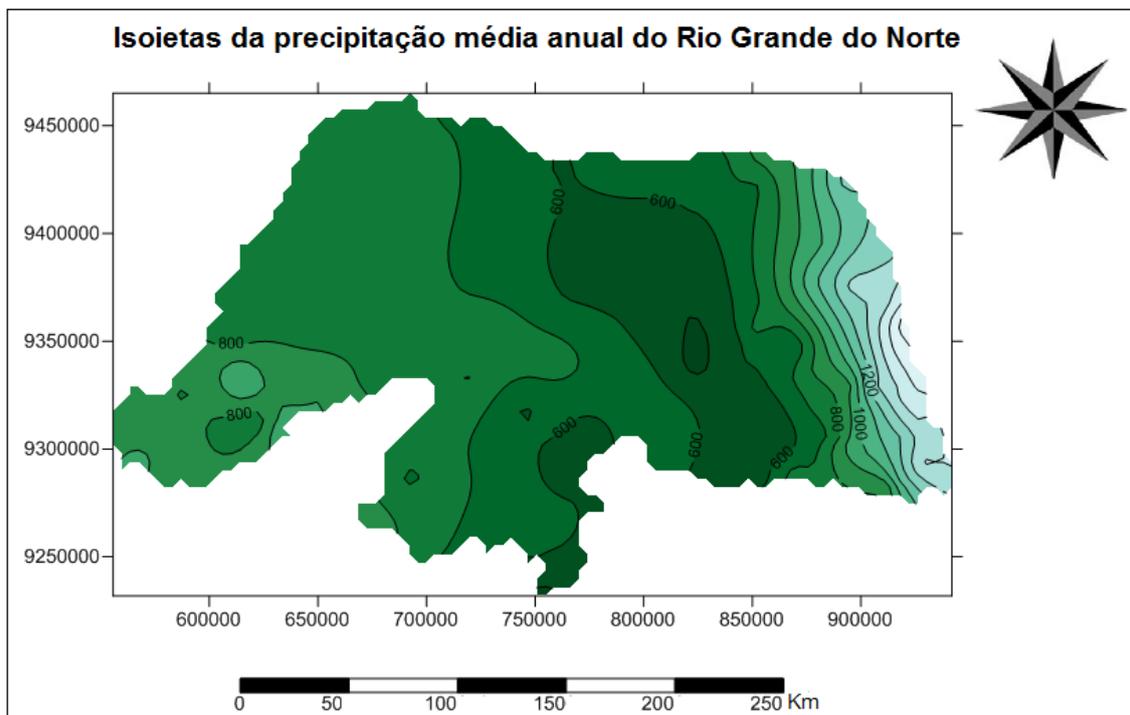


Figura 3 – Mapa das isoietas para o RN. Fonte: Elaborado pela pesquisadora.

Segundo o Anuário Estatístico do IDEMA (2010) o relevo do estado (Figura 4) é composto por:

- Planície Costeira – estende-se por todo o litoral do Estado e é formada por praias que se limitam de um lado com o mar e do outro com os tabuleiros costeiros, apresentando, ainda, a formação de dunas. Em sua extensão encontram-se as principais praias de nosso litoral: Ponta Negra, Pirangi, Genipabu, Pipa e Galinhos.
- Planícies Fluviais – terrenos baixos e planos, situados às margens dos rios. São conhecidos também por vales, como o Vale do Açú e o Vale do

Rio Ceará-Mirim, e por várzea, inundados pela enchente dos rios Ceará-Mirim, Potengi, Trairi etc.

- Tabuleiros Costeiros – também denominados de planaltos rebaixados, são formados basicamente por argila e possuem áreas planas e de baixa altitude. Estão localizados próximo ao litoral, às vezes chegando até o mar, como em Barra de Tabatinga e em Pipa.
- Depressão Sub-Litorânea – são os terrenos rebaixados localizados entre os Tabuleiros Costeiros e o Planalto da Borborema.
- Planalto da Borborema – formação que se estende por terras potiguares, paraibanas e pernambucanas, aqui estão localizadas as serras e os picos mais altos do Estado.
- Depressão Sertaneja – são os terrenos baixos situados entre as partes mais altas do Planalto da Borborema e da Chapada do Apodi.
- Chapada do Apodi - são terrenos planos, ligeiramente elevados e que são cortados pelos rios Apodi-Mossoró e Piranhas-Açu.
- Chapada da Serra Verde – formação que também apresenta terrenos planos e ligeiramente elevados localiza-se entre os Tabuleiros Costeiros e o relevo residual do chamado “Sertão de Pedras”, estendendo-se pelos municípios de João Câmara, Jandaíra, Pedra Preta, Pedro Avelino e Parazinho.

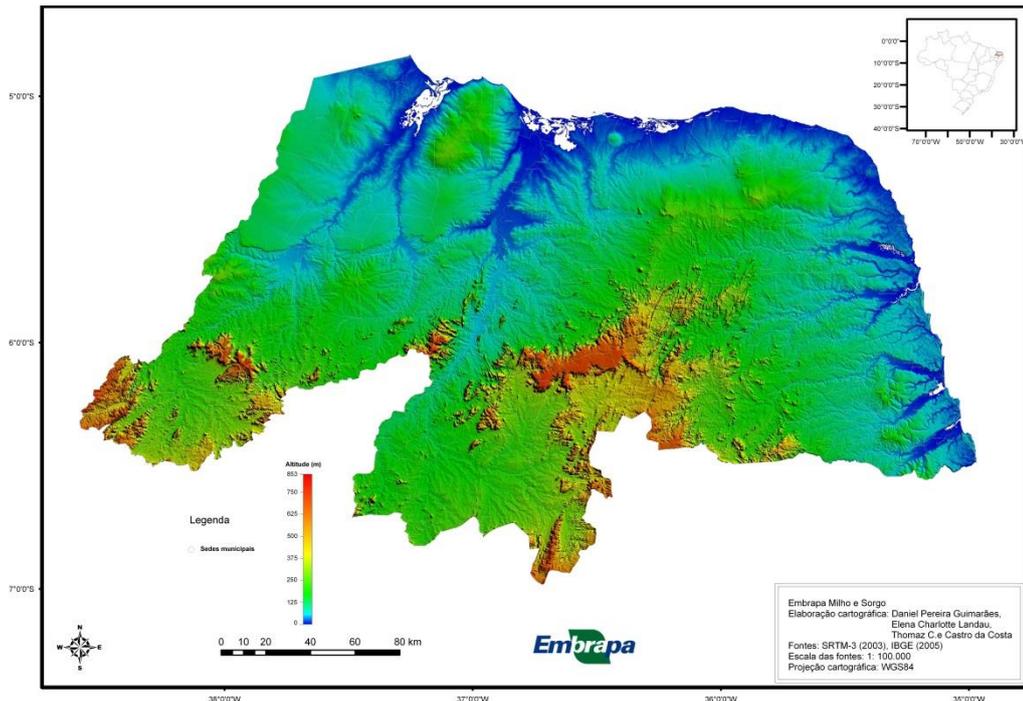


Figura 4 – Altimetria do Rio Grande do Norte. Fonte: Agritempo, 2010.

De acordo com Goovaerts (2000) a altitude tem grande efeito sobre a precipitação, influenciando em sua intensidade. Cardim (2001) afirma que diversos autores correlacionam a variabilidade espacial de chuvas com a altitude da região.

Precipitação e sua variabilidade temporal e espacial

A ascensão do ar úmido, que é necessário a formação da precipitação, ocorre segundo diferentes mecanismos. Portanto, as chuvas são classificadas de acordo com os mecanismos de formação, e podem ser orográfica, convectiva ou frontal.

Temos uma precipitação classificada como orográfica quando a sua ocorrência é devido à necessidade de elevação do ar úmido ao encontrar-se com uma barreira orográfica, que dá origem a uma convecção forçada. Devido a elevação, o ar úmido se resfria adiabaticamente e condensa, formando nuvens e precipitação de fraca a moderada (COSTA, 2010).

Outro mecanismo de formação ocorre quando a superfície é aquecida pela radiação, o ar é aquecido por condução e por ser mais leve passa por um processo de ascensão e ao atingir determinado nível, é condensada e forma

nuvens. Ocorrem principalmente no verão e apresenta grande variabilidade espacial, intensidade de moderada a forte e duração de curta a média (COSTA, 2010).

Quando as massas de ar se encontram com diferentes propriedades de temperatura e umidade do ar temos as frentes, que podem ser frias, quentes ou oclusas, dependendo do tipo de massa que se desloca sobre a outra. Assim como no mecanismo orográfico, temos a convecção forçada onde a massa de ar quente e úmida se sobrepõe à massa fria e seca, gerando o processo de resfriamento adiabático, condensação e precipitação. As frentes frias ocasionam chuva de intensidade fraca a moderada e com duração de 2 a 3 dias. As frentes quentes têm precipitação com menor intensidade e maior duração (COSTA, 2010).

O regime hidrológico e a disponibilidade desse recurso em uma determinada região dependem de características da localização geográfica, altitude, distância de fontes de umidade, temperatura, direção e intensidade dos ventos (SANTOS et al., 2011). A temperatura, a umidade e o vento são indispensáveis para suas formações e influenciam diretamente no comportamento da precipitação e da evaporação (SALGUEIRO, 2005).

O Nordeste brasileiro possui grande irregularidade na precipitação, devido a fatores como características fisiográficas e influência de vários sistemas atmosféricos. Portanto existe grande variabilidade espacial e temporal das chuvas na região, causando eventos extremos e que podem ocasionar tanto enchentes como secas (ARAÚJO, 2008).

Segundo o SECTMA (1998) existem pelo menos seis sistemas de circulação atmosférica que atuam na região Nordeste, dentre eles temos as Frentes Frias, provenientes de regiões subantárticas e as Brisas terrestres e marítimas, que ocorrem no litoral do Nordeste durante todo o ano.

As Perturbações Ondulatórias dos Alísios são perturbações de pequena amplitude comumente observadas nos ventos alísios que atuam no Nordeste, principalmente no período de maio a agosto. O deslocamento dessas ondas é de leste para oeste a partir do Oceano Atlântico até atingir o litoral da região (ARAÚJO et al., 2008). Segundo Ratisbona (1976) os distúrbios de leste têm o seu máximo em junho, atuando sobre o litoral Leste do nordeste brasileiro.

Essas massas de ar atuantes são instáveis, profundas e úmidas, por causa da atuação dos ventos alísios de sudeste.

O principal sistema que atua na região norte do nordeste é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), de fevereiro a maio, nos estados do Ceará, oeste do Rio Grande do Norte e interior da Paraíba. Sua origem é devido a junção dos ventos alísios de nordeste e os ventos alísios de sudeste resultando em movimento ascendente do ar com alto teor de vapor d'água. Com a ascensão, o ar se resfria e origina nuvens (ARAÚJO, 2008). De acordo com Nobre e Molion (1988), existe uma ligação entre a ZCIT e as anomalias de chuvas no nordeste. Em anos de seca, a ZCIT fica bloqueada mais ao norte de sua posição normal, inibindo a precipitação. Em anos chuvosos a ZCIT move-se cerca de 5°S, favorecendo a ocorrência de chuvas na região.

Os Vórtices Ciclônicos da Atmosfera Superior - VCAS atuam no Nordeste, sobretudo nos meses de novembro a fevereiro. Seu aparecimento é devido a circulação geral da atmosfera e por vários dias permanecem sem movimento aparente. Então, se movimentam para sudoeste, adentrando o continente (SECTMA, 1998).

A Oscilação Madden-Julian (30-60 dias) são pulsos de energia que se movem de oeste para leste. Esse sistema permanece por um período de 10 a 30 dias, e podem gerar enchentes ou chuvas que venham a beneficiar a região em períodos de seca (SECTMA, 1998).

No Rio Grande do Norte os maiores quantitativos de precipitação concentram-se na região litorânea, com índices pluviométricos que variam de 800 a 1550 mm (Figura 5).

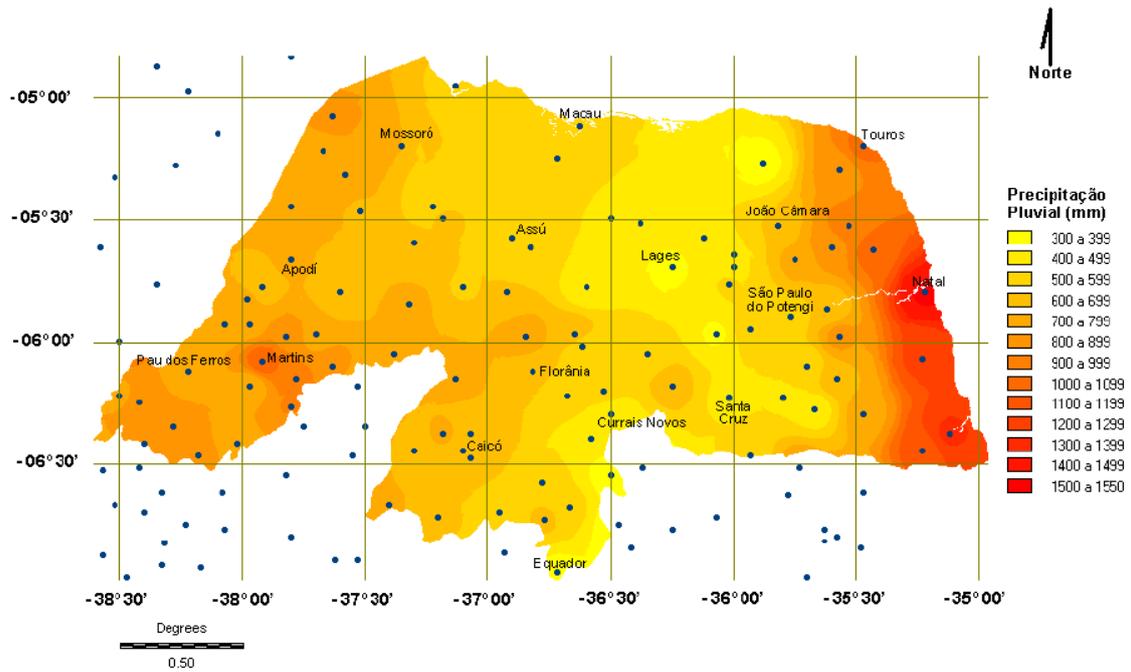


Figura 5 – Variação espacial da média pluviométrica anual do RN. Fonte: Alcindo Filho, 2005.

As figuras 6, 7, 8, 9, 10 e 11 apresentam a variabilidade temporal das precipitações no RN, onde são apresentados os mapas com as precipitações médias mensais de Janeiro a Dezembro.

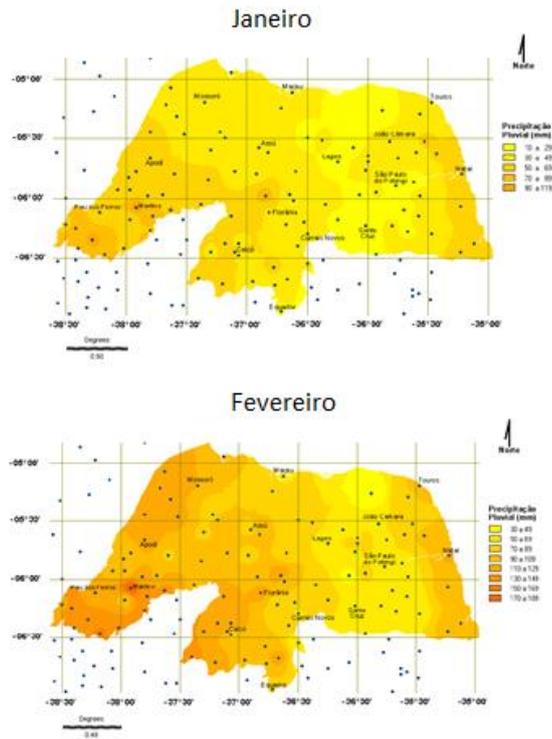


Figura 6 - Mapas de precipitação anual para os meses janeiro e fevereiro. Fonte: Alcindo Filho, 2005.

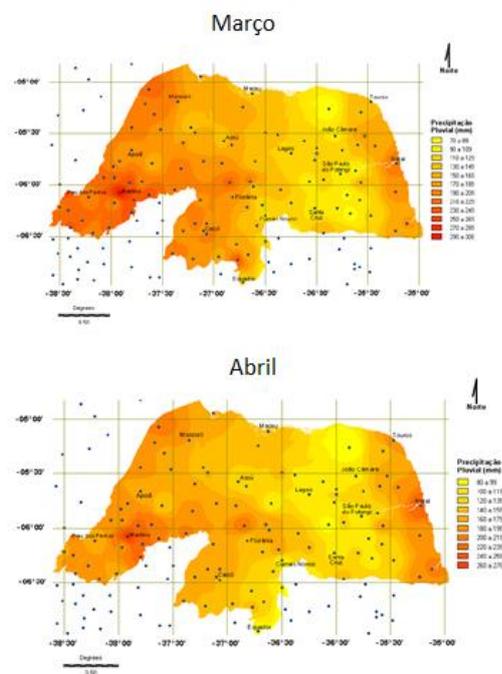


Figura 7 - Mapas de precipitação anual para os meses de março e abril. Fonte: Alcindo Filho, 2005.

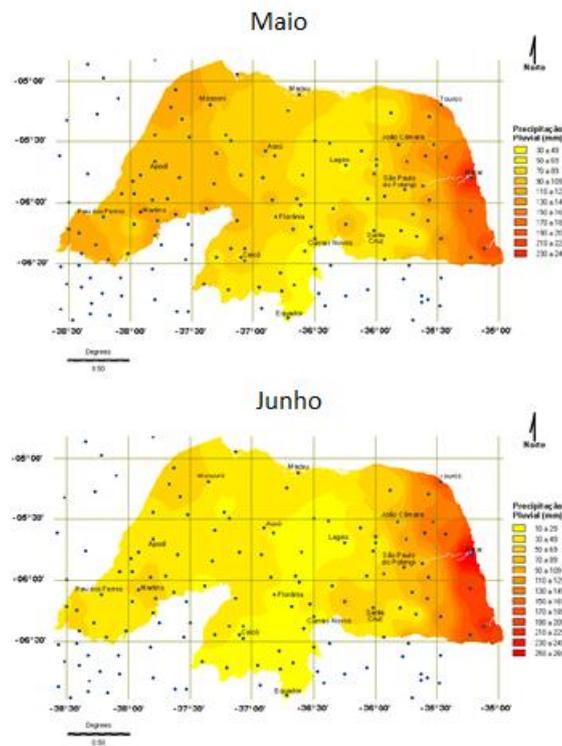


Figura 8 - Mapas de precipitação anual para os meses de maio e junho. Fonte: Alcindo Filho, 2005.

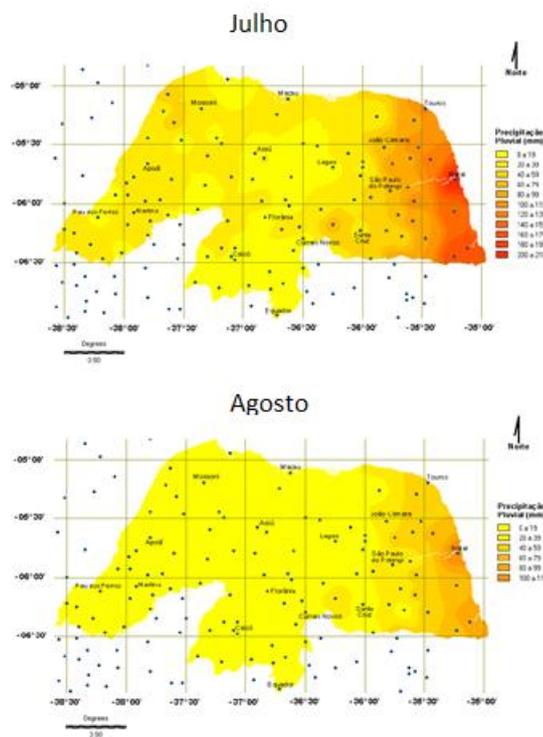


Figura 9 - Mapas de precipitação anual para os meses de julho e agosto. Fonte: Alcindo Filho, 2005.

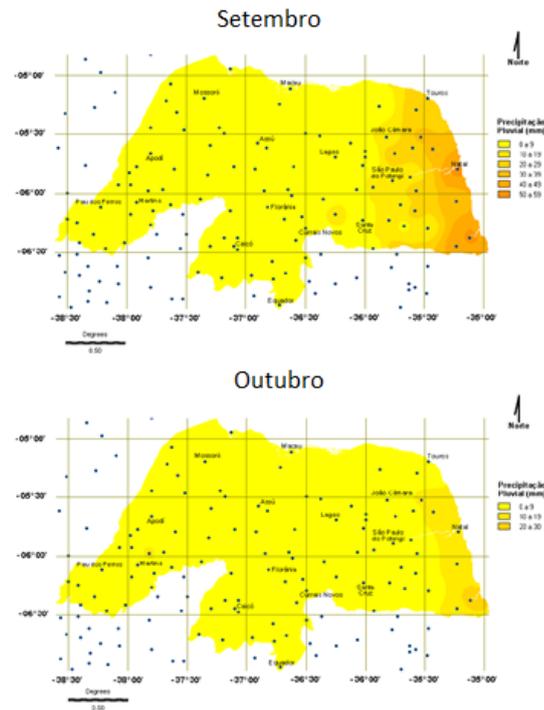


Figura 10 - Mapas de precipitação anual para os meses de setembro e outubro. Fonte: Alcindo Filho, 2005.

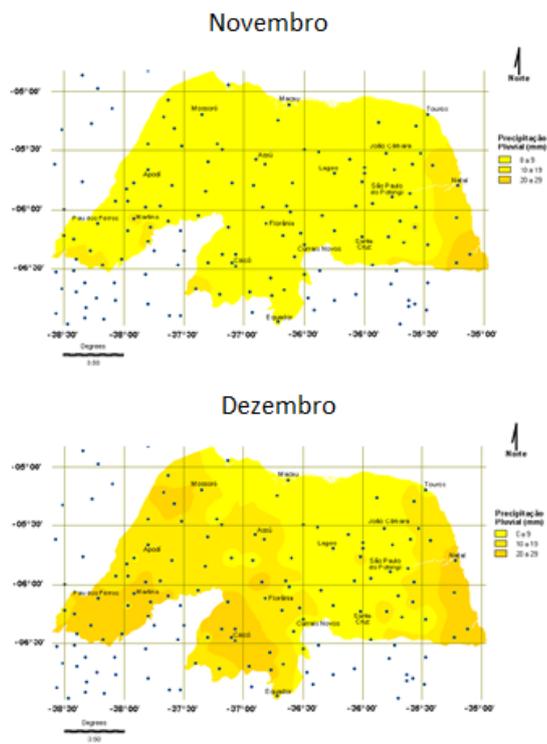


Figura 11 - Mapas de precipitação anual para os meses de novembro e dezembro. Fonte: Alcindo Filho, 2005.

Dados de precipitação e quantificação da sua variabilidade

Os dados de precipitação diária utilizados neste trabalho foram cedidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do RN (EMPARN) e pela (ANA, 2011). Só foram utilizadas as estações que apresentam no mínimo 30 anos de dados, tendo sido totalizadas 144 estações pluviométricas distribuídas na área de estudo, com dados de 1963 a 2010.

Os índices utilizados neste estudo são: o Grau de Concentração de Precipitação (PCD) e o Período de Concentração de Precipitação (PCP) sendo esses parâmetros utilizados por Li et al., (2011) para caracterizar a variabilidade temporal e espacial na China. O PCP refere-se ao mês em que o total de precipitação dentro de um ano se concentra e o PCD reflete o grau em que o total anual de precipitação é distribuído em 12 meses (Xie et al., 2005).

Estes índices foram utilizados por Zhang e Qian (2003), que analisaram as características da distribuição espacial e temporal e variação de precipitação em uma região da China. Os parâmetros conseguiram identificar heterogeneidade temporal na precipitação. Li et at. (2011), estudou a variabilidade espacial e temporal de precipitação em Xinjiang, na China. O índice PCP determinou que a precipitação se concentra no verão, e a estação das chuvas chega mais cedo no oeste do que no leste ocidental de Xinjiang. O PCD indicou que a precipitação no norte da região foi mais dispersa dentro de um ano do que no sul.

Para o cálculo do PCD e do PCP parte-se do pressuposto que as precipitações mensais são grandezas vetoriais, orientadas em um círculo trigonométrico, onde a direção destes vetores é determinada em função do mês de ocorrência, de acordo com a Tabela 1, que apresenta a correspondência entre os valores de PCP e o mês ao qual ele corresponde.

Tabela 1 – Meses correspondentes a cada valor de PCP.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
PCP	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°

Fonte: Li, et at., 2011

Para se obter os valores de PCP e PCD calcula-se o vetor resultante das precipitações mensais, sendo PCP o ângulo deste vetor e PCD a relação entre o módulo do vetor resultante e a precipitação total anual. O cálculo destes índices é feito de acordo com as equações apresentadas a seguir (LI et al., 2011):

$$\begin{aligned}
 R_i &= \sum r_{ij} \\
 R_{xi} &= \sum r_{ij} \cdot \text{sen}\theta_j \\
 R_{yi} &= \sum r_{ij} \cdot \text{cos}\theta_j \\
 PCP_{ij} &= \arctan\left(\frac{R_{xi}}{R_{yi}}\right) \\
 PCD_{ij} &= \frac{\sqrt{R_{xi}^2 + R_{yi}^2}}{R_i}
 \end{aligned}$$

Onde “i” é o ano, e “j” representa o mês (j = 1, 2, ..., 12) em um ano; “r_{ij}” representa a precipitação total mensal no mês “j” no ano “i”, e “θ_j” é o azimute do mês “j”. PCP_{ij} representa o período (meses), no qual o total precipitação do ano “i” está concentrado e “PCD_{ij}” representa o grau em que a precipitação total do ano “i” está concentrada em 12 meses (LI, et al., 2011). No exemplo a seguir (figura 12) temos a representação das precipitações mensais na forma de vetores (em azul) e o vetor resultante (em vermelho), que caracteriza a concentração da precipitação no mês de maio.

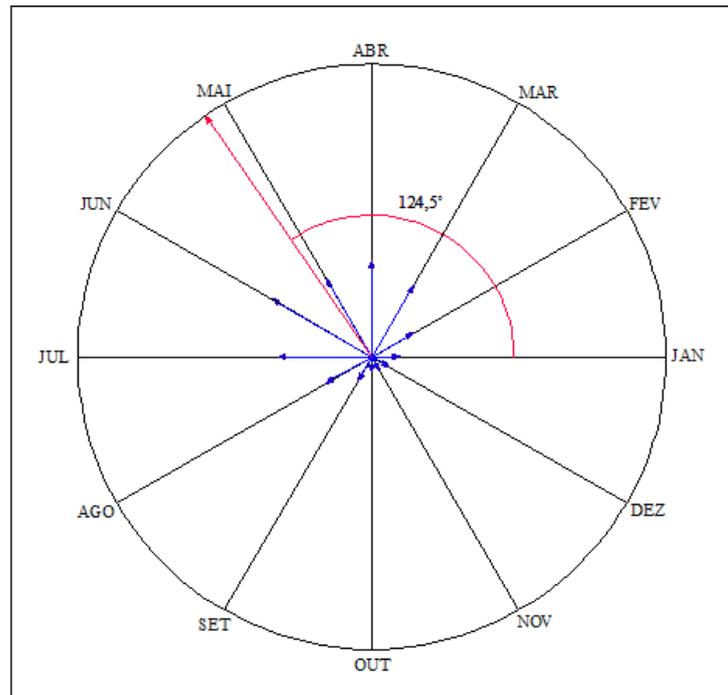


Figura 12 – Precipitação concentrada no mês de Maio (PCP = 124,5°).

O intervalo do PCD anual varia de 0 a 1. Se a precipitação total anual concentra-se em um mês específico (figura 13), o valor máximo de PCD pode ser obtido. Se a precipitação total de cada mês dentro de um ano é distribuída uniformemente (figura 14), o PCD anual pode atingir seu valor mínimo de zero.

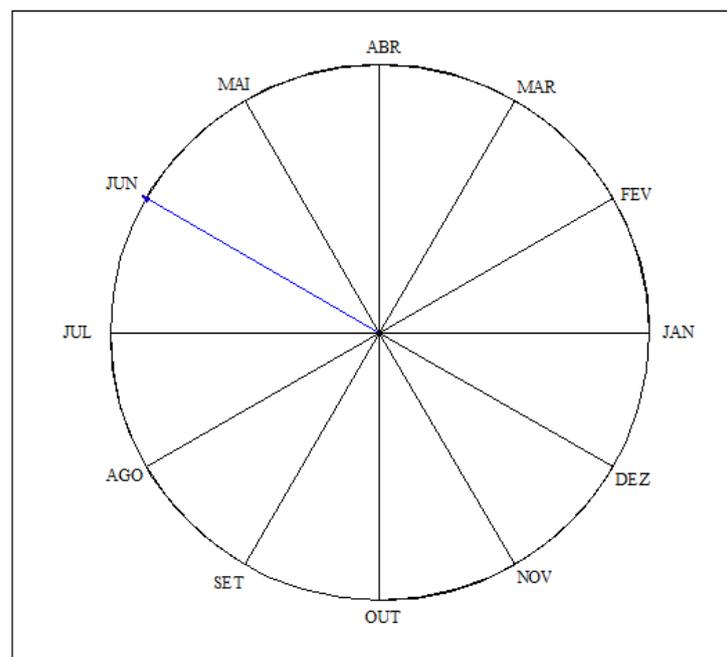


Figura 13 – Precipitação mal distribuída (PCD = 1).

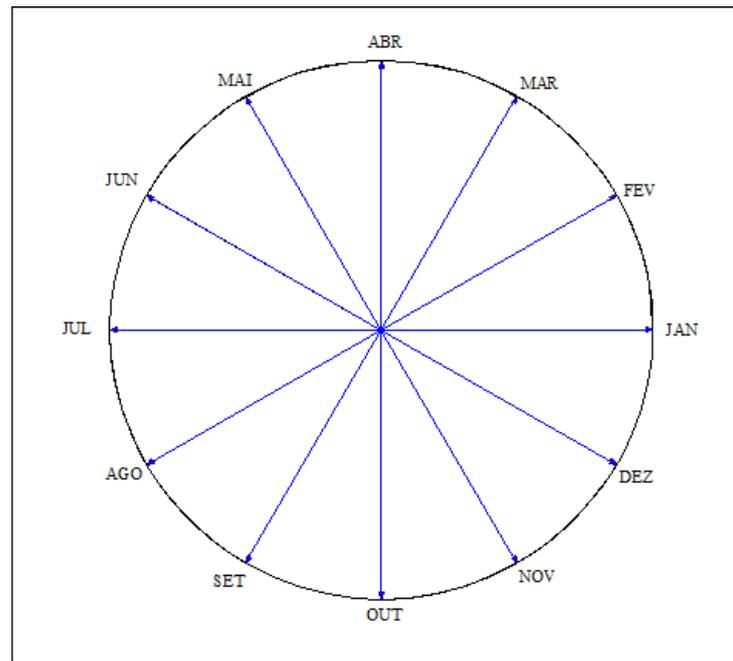


Figura 14 – Precipitação bem distribuída (PCD = 0).

No nosso caso foram calculados os valores de PCP e PCD para as 144 localidades apenas com os dados de precipitação média mensal, sendo assim, o índice “i” não foi considerado.

No nosso estudo a espacialização dos resultados foi realizada através do software “*Surfer*”, através da ferramenta chamada “*kriging*”.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através das informações da variável PCD das 144 estações georreferenciadas foi feito a interpolação dos dados resultando no mapa da figura a seguir (Figura 15).

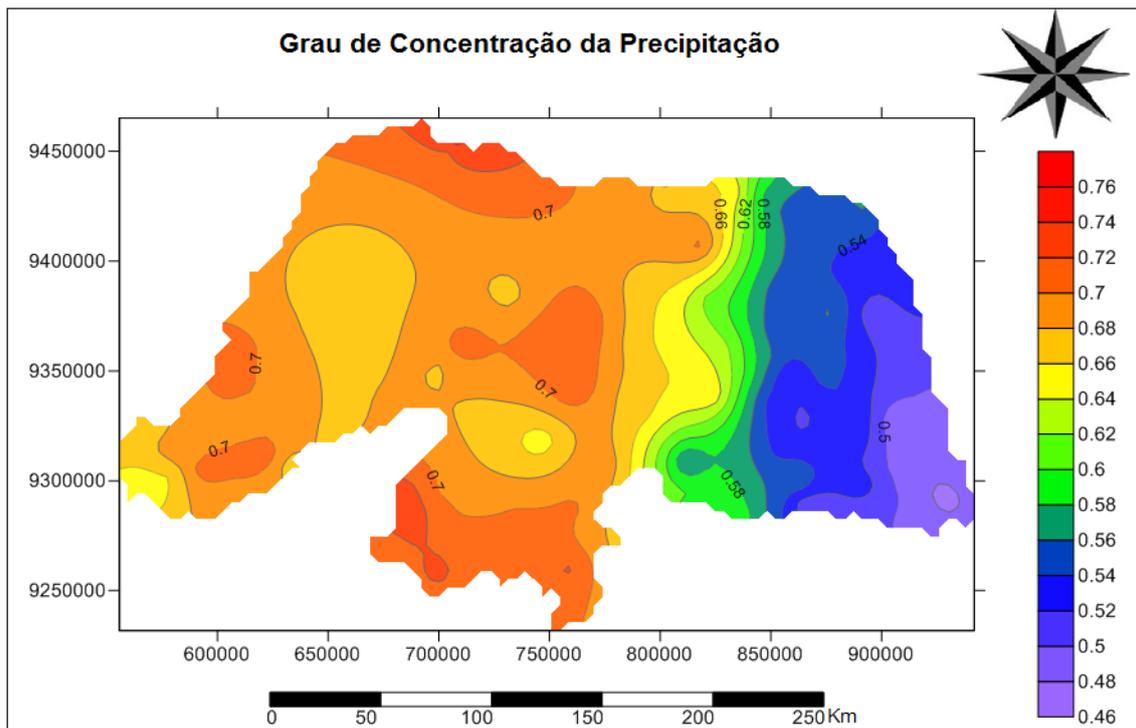


Figura 15 – Grau de Concentração de Precipitação para o Estado do RN.

Como podemos observar, na área de estudo as precipitações são melhores distribuídas ao longo do ano, ou seja, possuem menores valores de PCD, na região leste. A medida que nos dirigimos para a região oeste, os índices aumentam, refletindo áreas com más distribuições de precipitação. Municípios localizados na região central e na região oeste potiguar apresentam valores de PCP acima de 0,72.

Existem regiões no alto oeste e no Seridó do estado onde as precipitações são melhores distribuídas, como valores de PCD em torno de 0,65. Esses locais correspondem a estações localizadas em municípios com elevadas altitudes e sujeitas ao efeito orográfico. No alto oeste temos melhor distribuição nas estações localizadas principalmente nos municípios de Venha Ver (local onde se encontra a Serra do Coqueiro) e a Serra de Luís Gomes.

Outra região que se destaca por ter uma melhor distribuição de precipitação em relação às áreas vizinhas é a da Chapada do Apodi, possui PCD em torno de 0,67 e são regiões mais propícias às práticas agrícolas.

O litoral Sul do estado também merece destaque, pois é a região com melhor distribuição de chuvas. O que pressupõe, nessas localidades, a ação das ondas de leste, em maior intensidade.

A Figura 16 a seguir apresenta os resultados obtidos com a outra variável utilizada para a área de estudo, o índice PCP.

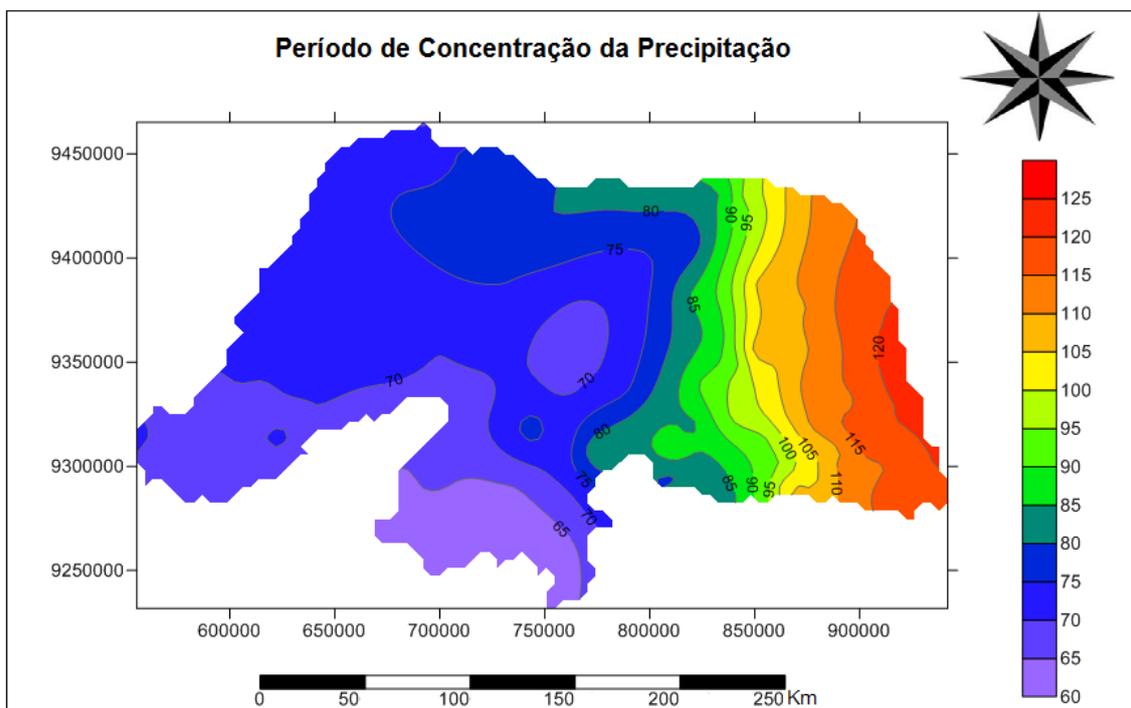


Figura 16 – Período de Concentração da Precipitação para o Estado do RN.

As áreas localizadas no leste do estado tem como período mais chuvoso o mês de maio (120^o, Tabela 2), pois nessa região (leste e agreste) além da atuação da Zona de Convergência Intertropical temos a ocorrência das Perturbações Ondulatórias dos Alísios, que atuam de maio a agosto.

Esse período vai sendo alterado para abril (90^o) e março (60^o) a medida que se desloca para o oeste do estado, pois neste caso o fator determinante de chuvas é o deslocamento da Zona de Convergência Intertropical. A atuação da

ZCIT é no período de fevereiro a maio na região semiárida central, oeste e norte do estado.

A seguir, para que fosse feita uma comparação entre os índices estudados e as precipitações médias mensais das estações, foram selecionados diferentes municípios do RN para a análise dos dados (Figura 17).

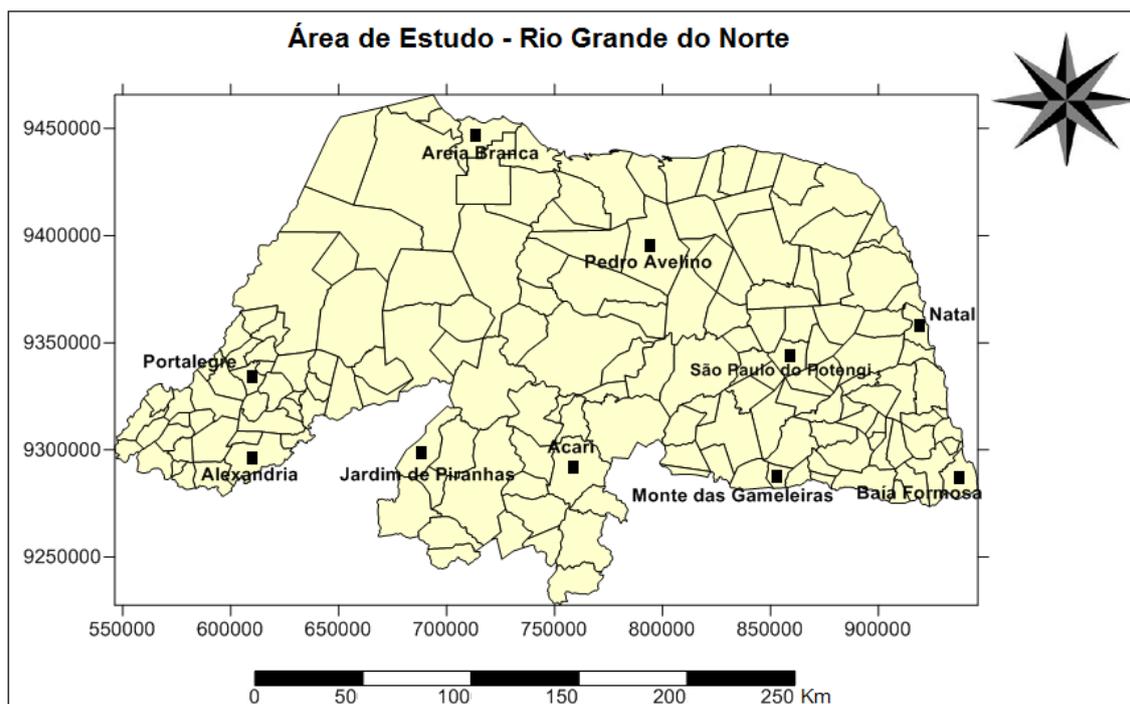


Figura 17 – Estações que tiveram suas médias mensais observadas.

Na Tabela 2 temos os valores dos índices para as cidades selecionadas.

Tabela 2 – Valores de PCD e PCP para as estações analisadas.

Localidades	PCD	PCP (°)	Mês
Natal	0,48	124,5	Maio
Baía Formosa	0,46	120,9	Maio
São Paulo do Potengi	0,52	104,4	Abril
Monte das Gameleiras	0,54	93,9	Abril
Acari	0,70	70,0	Março
Pedro Avelino	0,67	71,7	Março
Jardim de Piranhas	0,74	64,2	Março
Areia Branca	0,74	74,9	Março
Portalegre	0,65	74,3	Março
Alexandria	0,69	66,7	Março

Analisando as médias mensais das estações (Figura 18), podemos verificar que no estado do RN as precipitações apresentam dois padrões. As cidades de Natal, Baía Formosa, São Paulo do Potengi e Monte das Gameleiras apresentam dois picos de precipitação, enquanto as demais apresentam apenas um pico. As cores utilizadas no gráfico representam as diferentes mesorregiões do estado.

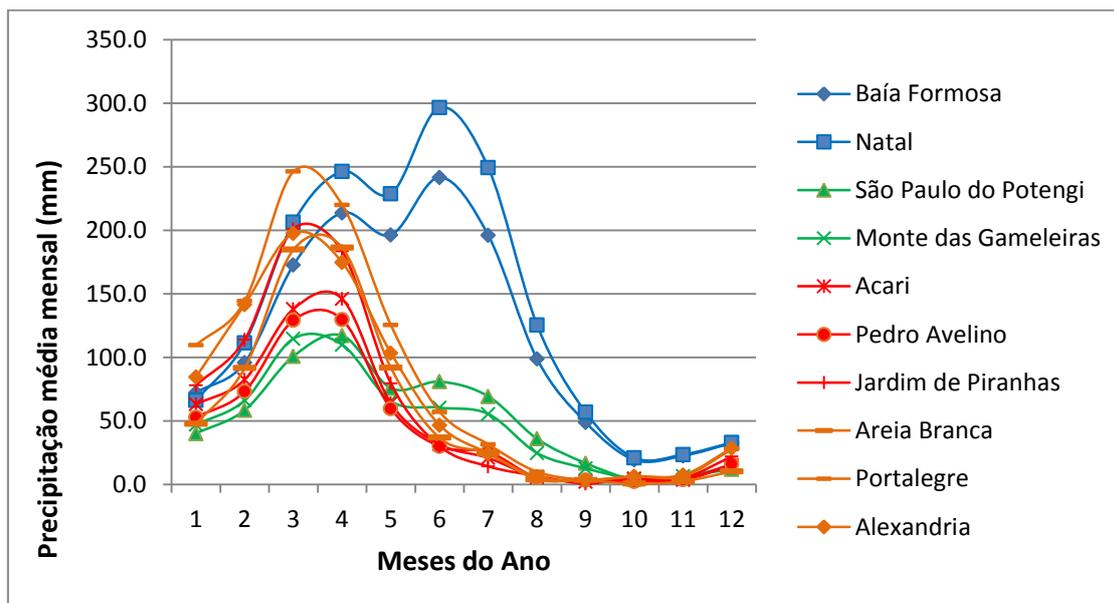


Figura 18 – Precipitação média mensal de diferentes estações.

Na figura 18 podemos observar que as regiões que apresentam dois picos de precipitação coincidem com aquelas que possuem maiores valores de PCP, com valores aproximadamente entre 90° e 125° , que correspondem aos meses de abril e maio.

Embora o PCD não mostre os dois picos de precipitação ele dá uma indicação deste fato através de índices menores, que refletem uma melhor distribuição, seja pela atuação de um sistema meteorológico por mais tempo, ou pela atuação de dois sistemas.

O padrão de dois picos é encontrado nos municípios localizados ao leste do estado porque nessa região existem dois principais mecanismos de formação de chuvas atuando: a Zona de Convergência Intertropical e as perturbações ondulatórias dos alísios, que atuam em diferentes períodos.

Os municípios de cada mesorregião além de apresentarem padrões semelhantes, exibem valores de PCD e PCP, também próximos. Os municípios de Natal e Baía Formosa têm concentração de chuva no mês de Maio e possuem menores valores de PCD, ou seja, melhor distribuição da precipitação ao longo do ano.

As localidades de São Paulo do Potengi e Monte das Gameleiras também apresentaram dois picos de precipitação, e suas características relacionadas aos índices PCD e PCP também são semelhantes. A precipitação se concentra no mês de abril e possuem uma distribuição da precipitação pior do que os locais citados anteriormente.

As cidades pertencentes a mesorregião central e oeste potiguar concentram suas chuvas no mês de março. E possuem características de distribuição semelhantes. Os municípios de Alexandria e Portalegre possuem melhor distribuição. Como são regiões de altitude maior, esse fato pode influenciar neste cenário.

2.4 CONCLUSÕES

Os índices PCD e PCP foram capazes de determinar regiões semelhantes em relação ao regime de precipitação. Eles não são capazes de identificar diferentes padrões de precipitação, quando ao longo do ano existe mais de um pico de precipitação média mensal, situação essa encontrada nos municípios localizados no leste e agreste do estado. Porém, são capazes de indicar esse padrão através de valores que refletem melhor distribuição nessas áreas.

Os municípios localizados no leste e agreste potiguar possuem os menores valores de PCD e maiores valores de PCP, ou seja, nessa região do estado é onde ocorre a melhor distribuição de precipitação e o mês que mais chove é maio. Essa situação ocorre devido à ação de outro sistema além da ZCIT, as POA's, que começam a ocorrer nesse mês.

Na medida em que nos deslocamos para o oeste do estado, a distribuição da precipitação fica pior, e a estação chuvosa é adiantada para os meses de março e abril, fato este que se deve a atuação apenas da ZCIT.

Apesar de não conseguirem identificar o padrão bi modular de precipitação encontrado na região Leste e Agreste, os índices estudados apresentam-se como ferramentas adequadas ao planejamento ambiental e econômico da região.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO FILHO, A. G. de. **Análise espaço-temporal do regime de chuvas e do índice de severidade de seca de Palmer para o Estado do Rio Grande do Norte**. 2005. 91f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, MOSSORÓ, 2005.

ARAÚJO, L. E. de; SOUSA, F. de A. S. de; RIBEIRO, M. A. de F. M.; SANTOS, A. S. dos; MEDEIROS, P. da C. Análise estatística de chuvas intensas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.2, p. 162-169, 2008.

CARDIM, M. **Mapeamento do comportamento multivariado das principais variáveis climáticas de interesse agrícola do Estado de São Paulo**. 2001. 124 f. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2001.

COSTA, C. D. da. Variabilidade intranual da precipitação pluvial mensal no estado do Rio de Janeiro. 2010. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2010.

GOOVAERTS, P. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. **Journal of Hydrology**, 228: 113–129, 2000.

IDEMA, Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente. Anuário Estatístico 2010. Disponível em: http://www.idema.rn.gov.br/contentproducao/aplicacao/idema/socio_economico_s/arquivos/Anuario-CDROM%202010/index.htm Acesso em: 11 ago. 2011.

LI, X.; JIANG, F.; LI, L. WANG, G. Spatial and temporal variability of precipitation concentration index, concentration degree and concentration period in Xinjiang, China. **Int. J. Climatol**. 31: 1679–1693, 2011.

NOBRE, C. A., MOLION, L. C. The climatology of droughts and drought predictions. In: PARRY, M.L., CARTER, T.T., KOIJN, N.T. The impact of climate variations on agriculture. Dordrecht, Netherlands: KluwerAcademic, v.2, p.115-134, 1988.

RATISBONA, C. R. The climate of Brazil. In: Climates of Central and South America. **World Survey of Climatology, Elsevier**, 12: 219-293, 1976.

SALGUEIRO, J. H. P. de B. **Avaliação de rede pluviométrica e análise de variabilidade espacial da precipitação: estudo de caso na Bacia do Rio Ipojuca em Pernambuco**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.

SANTOS, E. H. M. dos; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. de. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite-GO. **Eng. Agríc**, v. 31, n. 1, p. 78-89, 2011.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E DE RECURSOS HIDRICOS. **Programa de desenvolvimento sustentável e convivência com o semiárido potiguar: Relatório de Avaliação Ambiental**. SEMARH-RN, Natal, 2005. 132 p.

SECTMA (1998). **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco**. Recife – PE, v. 1 p. 74-82 e v. 2, p. 46-59.

SEPLAN - Secretaria de Estado do Planejamento e das Finanças do Rio Grande do Norte - Instituto de Desenvolvimento Econômico e do Meio Ambiente. **Perfil do Estado do Rio Grande do Norte**. Natal, 2002. 85 p.

ZHANG, L. J.; QIAN, Y. F. A study on the feature of precipitation concentration and its relation to flood-producing in the Yangtze River Valley of China. **Chinese journal of geophysics**. 47: 709-718, 2003.

ZHANG, Q.; XU, C.Y.; MARCO, G.; CHEN, Y. P.; LIU, C. L. Changing properties of precipitation concentration in the Pearl River basin, China. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, 23: 377–385, 2009.

XIE, Z. Q.; DU, Y.; JIANG, A. J.; DING, Y. G. Climatic trends of different intensity heavy precipitation events concentration in China. **Journal of Geographical Sciences**, 15: 459–465, 2005.

3. Capítulo 2 – DETERMINAÇÃO DE ÁREAS COM PRECIPITAÇÃO PLUVIAL HOMOGÊNEA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE ATRAVÉS DA ANÁLISE DE CONGLOMERADOS

RESUMO

Os resultados dos estudos de delimitação de áreas homogêneas de precipitação têm sido utilizados no planejamento das atividades econômicas, possibilitando o uso mais eficiente e racional dos recursos hídricos e também em regiões com dados de precipitação escassos. O objetivo da pesquisa é determinar áreas homogêneas em termos do regime de precipitação do Rio Grande do Norte, a partir da análise de agrupamento e duas técnicas: hierárquica de Ward e a não hierárquica de k-means, bem como comparar os dois métodos. Foram realizados agrupamentos com variáveis distintas. O primeiro utilizou como variáveis: médias das precipitações anuais, Grau de Concentração de Precipitação e Período de Concentração de Precipitação; o segundo agrupamento foi realizado através das precipitações médias mensais. A área de estudo pôde ser caracterizado por 4 (quatro) regiões homogêneas. O agrupamento que levou em consideração o PCD, PCP e média anual de precipitação, apresentou grupos com padrões de precipitação mais semelhantes. As técnicas hierárquica e a não hierárquicas apresentaram resultados semelhantes, com apenas 5 estações diferindo. No entanto é indicado o uso de mais de um método para observar qual deles reflete melhor a situação local. Os dois padrões de precipitação encontrados no estudo são referentes principalmente à ação da Zona de Convergência Intertropical, que é o mecanismo formador de chuvas na maior parte do estado, e das ondas de leste. Os dois mecanismos atuam na região leste do estado, ocasionando dois picos de precipitação. A medida que nos deslocamos para o oeste, o primeiro mecanismo passa a atuar em maior dimensão.

Palavras-chave: Análise de agrupamento. Áreas homogêneas. Índices de variabilidade.

ABSTRACT

The results of studies of delimitation of homogeneous areas of precipitation have been used in the planning of economic activities, enabling more efficient and rational use of water resources and also in regions with scarce rainfall data. The objective of the research is to determine homogeneous areas in terms of the precipitation regime of Rio Grande do Norte State, from the cluster analysis and techniques: hierarchical (Ward) and non-hierarchical (k-means), as well as to compare the two methods. Groups were conducted with different variables. The first cluster analysis used the variables: mean annual precipitation, Precipitation Concentration Degree and Concentration of the rainfall Period, the second was made by the average monthly rainfall. The study area could be characterized by four (4) homogeneous regions. The group that took into account the PCD, PCP and average annual rainfall, presented groups with precipitation patterns more similar. The hierarchical and non-hierarchical techniques showed similar results, with only 5 stations differ. However, it is more suitable to use a method for observing which of them best reflects the local situation. The two precipitation patterns found in the study are related to the action of the Intertropical Convergence Zone, which is the mechanism forming rainfall in most of the state, and easterly waves. The two mechanisms operate in the eastern region of the state, resulting in two peaks of precipitation. As we move to the west, the first mechanism begins to operate in larger.

Keywords: Cluster analysis. Homogeneous areas. Variability indices.

3.1 INTRODUÇÃO

Áreas com precipitação pluvial homogênea são regiões com características similares em termos de algumas variáveis pluviométricas. Os resultados dos estudos de delimitação de áreas homogêneas de precipitação têm sido utilizados no planejamento das atividades econômicas, sobretudo da atividade agrícola, já que a precipitação pluvial é o principal agente regulador desse tipo de produção, possibilitando o uso mais eficiente e racional dos recursos hídricos.

Estudos nessa área também são realizados para regiões que possuem dados de precipitação escassos nas quais a retirada de conclusões ocorre através de similaridades existentes com outra região mais favorecida de dados. Em condições de diversidade da distribuição espaço-temporal da precipitação pluvial também são necessários estudos com a finalidade de identificar regiões similares de precipitação, dando suporte à decisão dos gestores dos recursos hídricos.

A determinação de áreas homogêneas apenas através da análise das precipitações médias anuais pode nos dar como resultado o mapa de isoietas, que são linhas de mesma precipitação anual dentro de uma área. Neste mapa se considera apenas precipitações médias anuais, não sendo consideradas as variações intranuais e interanuais das precipitações.

Os agrupamentos através das variáveis de precipitações podem ser úteis ao criar classificações mais atuais, visto que as classificações climáticas existentes possuem dados antigos. Apesar da precipitação não ser capaz de traduzir o clima propriamente dito, tendo em vista que seriam necessários uma série de parâmetros a mais, podemos comparar os dados de precipitação e de clima e verificar se seguem padrões parecidos.

Para realizar o estudo de uma determinada área em que estejam envolvidos diversas variáveis meteorológicas é preciso utilizar determinada(s) técnica(s) estatística(s). Uma das mais utilizadas, em diversas áreas do conhecimento científico, é a análise multivariada, onde um dos objetivos pode ser a redução do número de variáveis utilizadas, ou ainda a possibilidade de se investigar o comportamento espacial e temporal das variáveis consideradas a partir da obtenção de grupos homogêneos.

Dentro da análise multivariada existem várias técnicas empregadas, como a análise de componentes principais, análise fatorial, decomposição do valor singular, correlação canônica, análise de agrupamento (AA), dentre outras. A técnica escolhida para o desenvolvimento deste trabalho foi a Análise de Agrupamento, em virtude de sua ampla e simples utilização em processos de classificação.

A análise de agrupamento consiste em determinar o nível de similaridade ou dissimilaridade entre indivíduos, aplicando uma função de agrupamento a uma determinada variável, transformando um conjunto heterogêneo de unidades, neste caso estações meteorológicas, em grupos caracterizados pela homogeneidade interna e pela heterogeneidade externa. A técnica é dividida em dois grupos: hierárquicos e não hierárquicos. Dentro deles existe uma vasta variedade de métodos que foram desenvolvidos ao longo das últimas décadas, destacando-se o da ligação simples, o da ligação completa, o do centróide e o de Ward.

Dentro de cada método estatístico temos também uma gama de algoritmos de agrupamento que podem ser utilizados. Além da diversidade de técnicas para a análise multivariada existem diversos testes estatísticos que tem como objetivo avaliar os resultados obtidos em cada uma delas, sendo indicado aquele resultado que tiver mais coerência com a realidade em estudo (LANDIM, 2000).

Nos trabalhos desenvolvidos com o intuito de definir regiões homogêneas é indicada a utilização de vários métodos, optando-se por aquele cujos resultados sejam mais coerentes com o fenômeno em estudo. Dessa forma, a aplicação de várias técnicas estatísticas se justifica pelo fato de que cada uma gera diferentes resultados, podendo-se optar por aquela que melhor reflita as características climáticas da área de estudo (NERY, 1996).

Neste trabalho foi utilizado o método hierárquico de Ward, e o método não hierárquico k-means, que são simples e largamente utilizados em estudos climatológicos com resultados satisfatórios. O método de Ward foi utilizado por Raziei et al. (2008), que determinou a regionalização da precipitação base para o Oeste do Irã e da variabilidade regional da seca. Muñoz-Díaz e Rodrigo (2004), utilizaram o mesmo método com o objetivo de comparar os resultados de Ward com os da Análise de Componentes Principais. Segundo os autores

esta é a técnica estatística multivariada mais amplamente utilizada em ciências atmosféricas. Unal et al. (2003), testaram cinco diferentes técnicas de agrupamento para determinar zonas climáticas homogêneas através das variáveis temperaturas (média, máxima e mínima) e precipitação total no período de 1951 a 1998, sendo o método de Ward indicado como o mais provável a produzir resultados aceitáveis. De acordo com Fachine e Galvêncio (2008), o método Ward é o mais utilizado em estudo de agrupamento. Diversos outros trabalhos também utilizaram a técnica de Ward para determinação de áreas homogêneas com dados de precipitação, entre os quais: Lyra et al. (2006), Fachine e Galvêncio (2008), Keller et. al. (2005) e Silva et al., (2009).

Seidel et al. (2008) compararam os resultados obtidos pelos métodos Ward e k-means, no agrupamento por similaridade de produtores de leite da região de Santa Maria, Rio Grande do Sul. Os resultados encontrados tiveram alta concordância, evidenciando a robustez dos agrupamentos formados pelos dois métodos. Anderson et al. (2009) utilizaram Ward e k-means para regionalizar a média sazonal de precipitação no sudoeste dos Estados Unidos, e ambas as técnicas apresentaram 4 grupos idênticos.

Herrera et al. (1996) compararam a classificação climática de Köppen (1931) e um método multivariado, utilizaram a análise de agrupamento usando médias, de dez variáveis meteorológicas que caracterizam o clima, de 16 estações do Estado de São Paulo para um período de 13 anos de observações. Os resultados obtidos foram concordantes com a classificação climática para o Estado de São Paulo.

Becker (1992) fez a classificação climatológica para o Rio Grande do Sul através de regiões homogêneas de precipitação pluvial e de temperatura decendiais e mensais. No mesmo trabalho, esses grupos foram também usados para simular séries temporais e preencher valores faltantes no conjunto de dados.

Sendo assim, o objetivo desta pesquisa é determinar áreas homogêneas em termos do regime de precipitação do Rio Grande do Norte, a partir dos métodos de Ward e de K-means e comparar os dois agrupamentos alcançados.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

Como dito no capítulo 1 no Estado do Rio Grande do Norte os principais sistemas de circulação atmosférica são as Perturbações Ondulatórias dos Alísios (POA's) e a Zona de Convergência Intertropical. As POA's se deslocam do Oceano Atlântico de leste para oeste, quando atingem o litoral nos meses de maio a agosto. A ZCIT, formada pela união dos ventos alísios de nordeste e ventos alísios de sudeste, atua de fevereiro a maio em toda a área de estudo. Nos períodos de seca a ZCIT fica bloqueada mais ao norte de sua posição normal, não favorecendo a formação de chuvas (ARAÚJO, 2008).

De acordo com a classificação climática de Thornthwaite, o estado possui 4 diferentes tipos climáticos (Figura 19), que são descritos a seguir (SEMARH, 2005):

DdA'a': Clima semi-árido com pequeno ou nenhum excesso de água, megatérmico, com baixa variação estacional;

EdA'a': Clima árido com pequeno ou nenhuma excesso de água, megatérmico, com baixa variação estacional;

C1wA'a': Clima seco e sub úmido, com moderado excesso de água, megatérmico, com baixa variação estacional;

C1dA'a': Clima seco e sub úmido, com pequeno ou nenhum excesso de água, megatérmico, com baixa variação estacional.

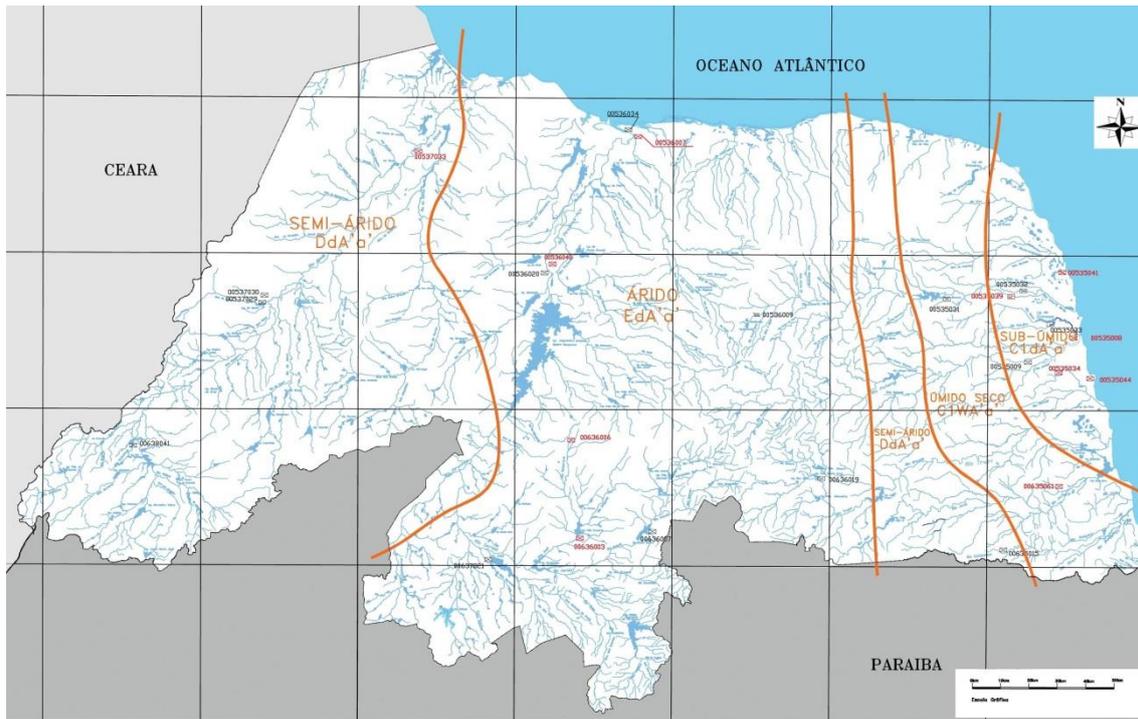


Figura 19 - Mapa de classificação climática segundo Thornthwaite. Fonte: SEMARH, 2005.

Dados de precipitação e quantificação da sua variabilidade

Os dados de precipitação diária que serão utilizados neste estudo foram as precipitações médias anuais, provenientes de 144 estações distribuídas ao longo do estado, e foram cedidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do RN (EMPARN) e pela (ANA, 2011).

Foram utilizados também os índices citados no capítulo 1 e apresentados em Li et al. (2011), Grau de Concentração de Precipitação (PCD) e o Período de Concentração de Precipitação (PCP). O PCP representa o período (meses), no qual a precipitação está mais concentrada e o PCD representa o grau em que a precipitação total anual é distribuída ao longo dos doze meses.

Análise de Agrupamento

A análise de agrupamento é uma técnica estatística de análise multivariada que tem como objetivo a análise de grupos ou variáveis através da similaridade de características, sejam elas geográficas, propriedades físicas ou

estatísticas, ou seja, cada grupo contém a menor variância das variáveis (menor dissimilaridade) (HASSAN; PING, 2012). Os indivíduos de uma população em grupos devem ser homogêneos dentro de cada grupo formado e heterogêneos entre grupos.

O fato da Análise de Agrupamento não restringir o banco de dados de entrada para determinadas distribuições estatísticas (Gaussian) e levando em consideração as coincidências com resultados de técnicas como Análise de Componentes Principais, permitem afirmar que, pelo menos numa primeira abordagem, a primeira é uma ferramenta adequada para descrever a variabilidade da precipitação (MUÑOZ-DÍAZ; RODRIGO, 2004).

Ward

Na Análise de Agrupamento hierárquica, temos a determinação de sequências de partições em classes cada vez mais vastas, e a união de dois grupos numa determinada etapa, produz um dos agrupamentos da etapa superior, caracterizando o processo hierárquico.

A disposição dos indivíduos em grupos distintos é feita a partir de uma função de agrupamento chamada distância ou similaridade e de um critério matemático de agrupamento. Na análise de agrupamento, todos os processos de hierarquização são similares, iniciando-se pela determinação da função de agrupamento. A função é empregada como critério para determinar a distância entre dois pontos x_i e x_j ou para definir o quanto eles são semelhantes (WILKS, 2006).

Os métodos hierárquicos são diferentes em relação a maneira com que a distância entre as entradas é calculada e como os dois pontos mais próximos são definidos. Os diferentes algoritmos utilizam critérios diferentes para formação de grupos, portanto, o número e as características dos agrupamentos podem ser distintos. Porém, todos os métodos hierárquicos seguem as seguintes fases: a medida de distância entre as estações climáticas é calculada; as duas melhores entradas são fundidas para formar um novo grupo; a distância entre todas as entradas é recalculada e o segundo e o quarto passo são repetidos até que todas as entradas estejam em um grupo (UNAL, et al, 2003).

Um exemplo de medida de similaridade é o coeficiente de correlação e de dissimilaridade é a distância euclidiana. A maioria dos algoritmos utiliza medidas de similaridade e dissimilaridade entre os elementos de um conjunto, cujos valores de similaridade(dissimilaridade) calculados com base na matriz de dados originais $X(n \times p)$ são representados por uma matriz de distâncias ou de similaridade denominada matriz de parença.

Neste trabalho foi utilizada a distância euclidiana, que é expressa pela seguinte equação:

$$d_{ij} = \left[\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2 \right]^{1/2}$$

Onde “ x_{ik} ” e “ x_{jk} ” são, respectivamente, o valor da k -ésima variável das observações p -dimensionais para os indivíduos “ i ” e “ j ”. Esta medida de distância tem a propriedade atraente, pois o coeficiente d_{ij} pode ser interpretado como distâncias físicas entre dois pontos p -dimensionais $x_i = (x_{i1}, \dots, x_{ip})$ e $x_j = (x_{j1}, \dots, x_{jp})$ no espaço euclidiano (EVERITT et al., 2011).

Nos métodos hierárquicos existem diversos critérios de agrupamentos. No método da ligação simples (vizinho mais próximo) cada indivíduo representa inicialmente um grupo. Os elementos se fundem de acordo com a menor medida de dissimilaridade (ou maior medida de similaridade), sendo que grupos com menor (maior) medida se fundem primeiro. Os indivíduos que entram para um novo grupo são os que apresentarem maiores coeficientes de associação com elementos que já estão presentes dentro do agrupamento. Já no método da ligação completa (vizinho mais distante) os grupos são formados fundindo os membros mais distantes entre os grupos (MEZZOMO, 2005).

O método do centroide é o mais direto, pois cada fusão de grupos é considerada como um único ponto, representado pelas coordenadas de seu centroide, que por sua vez é a média de todas as variáveis. A distância dos centros é considerada como a distância entre os grupos. Os grupos que possuem a menor distância entre si são fundidos (BUSSAB et al., 1990).

Ao realizar um agrupamento entre indivíduos, seja ele em qualquer estágio, informações são perdidas, porém podem ser medidas, segundo Ward (1963), pela soma total do quadrado dos desvios de cada ponto, da média do conglomerado ao qual ele pertence. Os grupos formados são aqueles em que a fusão resulte no mínimo incremento da inércia do conjunto.

Grupos são criados em cada etapa do procedimento, de forma que a solução resultante tenha o menor SQD dentro de grupos. Nessas etapas, são consideradas as uniões de todos os possíveis pares de grupos e, os dois que resultam em menor aumento de SQD são agrupados até que todos os grupos formem um único, reunindo todos os indivíduos (LYRA, 2006).

A soma dos quadrados dos desvios de p indivíduos organizados em k grupos é definida como:

$$SQD = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2$$

Onde n é o número total de elementos do agrupamento e x_i é o n -ésimo elemento do agrupamento.

O método de Ward pode ser resumido nas seguintes fases, para cada série: 1) cálculo das médias das variáveis; 2) obtenção da distância euclidiana entre essas médias; 3) soma das distâncias para todos os indivíduos e 4) minimização da variância dentro dos grupos (SILVA et al., 2001).

O método de Ward tem tendência em criar grupos de tamanhos semelhantes e pequenos, fato este que pode distorcer a realidade de determinado local, sendo uma desvantagem apontada pelos pesquisadores da área de Climatologia. Porém, esse método tem se mostrado bastante eficiente, pois os resultados obtidos após sua aplicação confirmam o número de clusters pré-estabelecidos, com base em outras informações climatológicas para áreas de estudos.

Apesar de sua tendência em criar grupos de tamanhos semelhantes e pequenos, sendo uma desvantagem apontada pelos pesquisadores da área de metodologia, em Climatologia, esse método tem se mostrado bastante eficiente, pois os resultados obtidos, após sua aplicação, confirmam o número

de clusters pré-estabelecidos, com base em outras informações climatológicas para áreas de estudos (SILVA, 2001).

O resultado final da análise de agrupamento através de Ward é um gráfico, denominado dendrograma, que auxilia a definição dos agrupamentos similares para o conjunto de variáveis envolvidas com base no conhecimento da área escolhida.

K-means

A outra metodologia de agrupamento utilizada neste trabalho foi o método k-means, que tem como objetivo separar um conjunto de dados em grupos consistentes, cada um é agrupado em um determinado grupo, que inicialmente são formados aleatoriamente, e o processo de agrupamento continua até que seja obtida a maior semelhança dentro de cada grupo (MUÑOZ-DÍAZ; RODRIGO, 2004).

O método k-means é um método não hierárquico por repartição. Consiste de uma metodologia onde, dado um número de grupos previamente determinado, é feito o cálculo de pontos que representam os “centros” destes grupos e que são espalhados homoganeamente no conjunto de respostas obtidas através do questionário e movidos, heurísticamente, até alcançar um equilíbrio estático (HAIR et al., 2005).

Após esse processo há uma divisão de todos os casos obtidos pelos ‘k’ grupos preestabelecidos e a melhor partição dos ‘n’ casos será aquela que otimize o critério escolhido. Em outras palavras, o método inicia-se usando os valores dos primeiros k casos como estimativas temporárias das médias dos grupos.

Os centróides iniciais são desenvolvidos através da designação de cada caso ao grupo de centro mais próximo. Dessa forma, a média altera-se, alterando assim o centróide. Um processo iterativo é usado para achar os centróides finais de cada grupo. A cada passo, os casos são agrupados ao grupo de centro mais próximo, e novamente as médias são calculadas. Este procedimento permanece até que não haja mais alterações nas médias ou que

um número pré-determinado de iterações aconteça, encerrando-se o processo (HAIR et al.,2005).

O critério de agrupamento do K-means pode ser descrito como sendo:

$$E = \sum_{k=1}^k \sum_{x_i \in C_k} d(x_i, x_{0k})$$

Onde X_{0k} é o centróide do grupo C_k e $d(X_i, X_{0k})$ é a distancia entre os pontos X_i e X_{0k} . O centróide pode ser a média ou a mediana de um grupo de pontos. Ou seja, a finalidade do método é minimizar a distância entre cada ponto e o seu respectivo centroide.

Com a aplicação de critério de otimização que divida uma amostra em 'k' grupos homogêneos, deseja-se que, dentro de cada grupo, os elementos sejam os mais parecidos possíveis entre si, ao passo que as semelhanças entre os elementos de grupos distintos sejam as menores possíveis (LOURENÇO; MATIAS, 2000).

Contrariamente ao procedimento de agrupamento hierárquico, o processo não-hierárquico de cluster que será aplicado, o algoritmo k-means, exige que o número de clusters seja conhecido e que os objetos sejam distribuídos entre eles. Este algoritmo é amplamente utilizado nos casos em que uma informação a priori sobre a natureza das medições está disponível. Um exemplo é a classificação dos tipos de aerossóis (OMAR et al., 2005).

O método não hierárquico de k-means necessita de um número de grupos previamente determinado, e a partir dele calcula-se os pontos que representam os seus "centros", sendo eles espalhados homogeneamente no conjunto de respostas obtidas através do questionário e movidos, heurísticamente, até alcançar um equilíbrio estático (HAIR et al., 2005). A divisão de todos os dados em "n" grupos é realizada e a melhor divisão será a que optimize o critério escolhido.

Gordon e Norris (2010) afirmam que definir o número de grupos para o método k-means é o aspecto mais subjetivo deste agrupamento. Os autores definiram o número de grupos analisando as propriedades das variáveis utilizadas e as características locais da região em estudo. Zeng et al., (2011) utilizaram o mesmo método para elaborar a previsão sazonal de precipitação

no Canadá. O número de grupos variou de 2 a 8, e 6 foi escolhido devido a consistência espacial e a interpretação física e geográfica. Dessa forma, a análise conjunta de dois tipos de agrupamento, um hierárquico e outro não, é importante na definição do número de grupos.

Ramos (2001) utilizou o método k-means e o método de Ward para estudar as variações das precipitações pluviais no Mediterrâneo, as quais são responsáveis pelo clima da região. Os métodos foram aplicados às precipitações pluviais diárias do período de 1889 a 1999 do Alt Penedès, região Nordeste da Espanha. Foram analisados, também, valores de precipitações pluviais anuais das estações da primavera e outono. A utilização de mais de um método de agrupamento, permitiu extrair um número maior de informações. O uso da técnica hierárquica permite visualizar a combinação das observações para formar os grupos, o que não é possível na técnica não hierárquica. O método de Ward permite interpretar melhor os resultados.

André et al. (2008) utilizaram o método de Ward para determinar quantas regiões pluviometricamente homogêneas existiam no Rio de Janeiro e o método de k-means para realizar o agrupamento propriamente dito.

Para o agrupamento de surtos meteorológicos, a metodologia hierárquica de Ward (WARD, 1963) produziu resultados parecidos com o aglomerado produzido por meio de k-means, portanto, pode ser usada como uma alternativa (SHAFER; DOSWELL, 2010)

Uma incerteza no método k-means é a convergência do algoritmo de *clustering* para resultados diferentes considerando-se diferentes sementes iniciais. Essa ambiguidade pode ser resolvida pelo agrupamento de conjuntos diferentes de sementes aleatórias iniciais e pela escolha do cluster final com a menor soma de variância em torno de cada centróide do cluster (GORDON et al., 2010).

A partir da definição do número de grupos adotados através de técnica hierárquica de Ward foi realizado o agrupamento através da análise não hierárquica de agrupamento, utilizando o algoritmo k-means (Wilks, 2006).

Neste trabalho os agrupamentos serão realizados a partir do uso de diferentes grupos de variáveis, sendo eles:

- Agrupamento 1: será realizado através da técnica de Ward, com as variáveis: médias das precipitações anuais, "Grau de Concentração

de Precipitação” (*Precipitation Concentration Degree* - PCD) e “Período de Concentração de Precipitação” (*Precipitation Concentration Period* - PCP);

- Agrupamento 2: as variáveis utilizadas serão as doze precipitações médias mensais, sendo aplicada a técnica de Ward;

- Agrupamento 3: será realizado através da técnica de k-means, com as variáveis: médias das precipitações anuais, “Grau de Concentração de Precipitação” (*Precipitation Concentration Degree* - PCD) e “Período de Concentração de Precipitação” (*Precipitation Concentration Period* - PCP).

Definição do número de grupos

Como afirma Brock et al. (2008), as métricas utilizadas para validação do número de agrupamentos são divididas em dois grandes grupos: Interna e Estabilidade. Na validação interna os índices existentes são: índice de Dunn, índice de Conectividade e a largura de Silhouette (Everitt et al., 2001).

Na validação interna foram selecionadas medidas que reflitam a compactação, conectividade e separação dos agrupamentos gerados. A conectividade refere-se a extensão na qual uma instância está alocada a um mesmo agrupamento dos seus vizinhos mais próximos. A compactação avalia a homogeneidade do agrupamento, usualmente calculando a variância intra-agrupamento, enquanto a separação quantifica o grau de separação dos agrupamentos, usualmente pela medida da distância dos centróides. Uma vez que a compactação e a separação apresentam tendências opostas, ou seja, compactação aumenta com o número de agrupamentos e a separação diminui, uma opção é unir as duas métricas. Duas medidas que representam uma combinação não linear de compactação e separação são o índice de Dunn e a largura de Silhouette (EVERITT et al., 2001).

O índice Dunn é a razão entre a menor distância entre instâncias que não estejam no mesmo agrupamento e a maior distância intra-agrupamento. O valor do índice Dunn varia de 0 a 1 e quanto mais próximo de 1 melhor é o resultado (BROCK et al., 2008).

A largura de Silhouette também é recomendada por Everitt et al. (2001). Segundo Rao e Srinivas (2006), a largura de Silhouette para um vetor de característica é uma medida de quão semelhante aquele vetor de

característica é para os vetores de características do seu próprio agrupamento comparado com os vetores de características dos outros agrupamentos.

Para cada instância i é definido um índice $S(i)$ e $[-1, 1]$ que mede a diferença entre $b(i)$ e $a(i)$, onde $a(i)$ é a dissimilaridade média da instância i em relação ao seu agrupamento e $b(i)$ é a dissimilaridade média da instância i em relação a todas instâncias no agrupamento mais próximo. Quando $S(i)$ está próximo de 1^a instância i está mais próxima do seu agrupamento do que do agrupamento vizinho, e, portanto representa uma boa alocação. Quando $S(i)$ está próximo de -1 , a instância está mal alocada. Os autores da proposta indicam ainda que valores acima de $0,5$ representam um bom resultado e que valores abaixo de $0,2$ podem indicar ausência de estruturação clara dos dados (CARDOSO JUNIOR, 2010).

A conectividade refere-se a extensão na qual uma instância está alocada a um mesmo agrupamento dos seus vizinhos mais próximos. É definida por:

$$Conn(C) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^L x_i n_{i(j)}$$

onde N representa o número total de observações e L o número de dimensões, $n_{i(j)}$ é o j -ésimo vizinho mais próximo da instância i na dimensão j , e $x_i, n_{i(j)} = 0$ se i e j estiverem no mesmo agrupamento e $1/j$ caso contrário.

A conectividade tem valores entre $0 \leq Conn(C) \leq \infty$, e é uma métrica que deve ser minimizada, ou seja, quanto menor o valor melhor será a estrutura proposta pelo algoritmo (EVERITT et al., 2001).

Everitt et al. (2001), também alertam não ser prudente confiar em apenas uma das métricas para selecionar o número ideal de agrupamentos.

A validação de estabilidade tem como métricas: Average Proportion of Nonoverlap - APN, Average Distance - AD, Average Distance between Means - ADM, e Figure of Merit – FOM. Se baseiam na retirada de uma coluna por vez da matriz inicial para comparar os agrupamentos formados antes e depois da retirada (CARDOSO JUNIOR, 2010).

A APN mede a proporção média de instâncias não alocadas ao mesmo agrupamento quando a matriz completa é utilizada e quando uma coluna é

retirada. Seja o agrupamento que contém a instância i usando a matriz completa e quando uma coluna l foi retirada.

Considerando o número total de agrupamentos igual a C , define-se:

$$APN(C) = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^N \sum_{l=1}^M \left(1 - \frac{n(C^{i,l} \cap C^{i,0})}{C^{i,0}} \right)$$

Com $APN(C) \in [0, 1]$, sendo que valores próximos a zero correspondem a um agrupamento consistente (BROCKET et al., 2008).

AD mede a distância média entre instâncias de um mesmo agrupamento baseada na matriz completa e com a retirada de uma coluna, é definida por:

$$AD(C) = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \left(\frac{1}{n(C^{i,0})n(C^{i,l})} \right) \left[\sum_{i \in C^{i,0}, j \in C^{i,l}} dist(i, j) \right]$$

com $AD(C) \in [0, \infty]$, sendo que valores próximos a zero os melhores resultados.

ADM mede a distância média entre centros dos agrupamentos, e é definida por:

$$ADM(C) = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (dist(x_{C^{i,l}}, x_{C^{i,0}}))$$

com $ADM(C) \in [0, \infty]$, e da mesma forma que AD, quanto menor melhor.

E finalmente FOM mede a variância média intra-agrupamento das instancias na coluna suprimida, onde o agrupamento está baseado nas colunas restantes. É estimado o erro médio usando previsões baseadas nas médias dos agrupamentos. Para uma coluna l deixada de fora, temos:

$$FOM(l, C) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^K \sum_{i \in C_k(l)} (dist(x_{i,l}, x_{C_k(l)}))}$$

Onde $x_{i,l}$ é o valor da i -ésima instancia da l -ésima coluna no agrupamento $C_{k(l)}$ e $x_{C_k(l)}$ é a média do agrupamento. Finalmente FOM é multiplicado por um fator

RAIZ(N/N-K), para minimizar a tendência de FOM decrescer à medida que K cresce. O escore final é calculado pela média de todas as colunas removidas, e os valores obtidos estão entre zero e ∞ , com os menores valores representando a melhor configuração (BROCK et al., 2008).

O software utilizado para o desenvolvimento da pesquisa foi o Programa R - The R Project for Statistical Computing (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011). Para realizar a validação foi utilizado o pacote “cIValid”.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O agrupamento foi inicialmente realizado através do método hierárquico de Ward, e posteriormente, com a utilização dos índices de validação, foi escolhido o número de grupos.

Para que fosse definido o número de grupos foram aplicados os testes de validação, para os Agrupamentos 1 e 2, e os resultados estão expressos nas figuras 20, 21, 22 e 23, e na Tabela 3. Nesta tabela, para cada um dos dois agrupamentos e cada teste, são apresentados os dois melhores valores de número de grupos encontrados para os agrupamentos testados. O número de grupos escolhidos foi 4, devido a sua elevada frequência entre os melhores agrupamento, aliado ao fato de que essa divisão reflete melhor a realidade da área de estudo em relação a classificação climática.

Para os índices de validação interna, os melhores resultados, no caso do índice de Dunn e Silhouette, são aqueles que em eu seus valores são maximizados, e no caso de conectividade, os menores valores representam os melhores agrupamentos. Todos os índices de validação de estabilidade apresentam melhores resultados quando seus valores são minimizados.

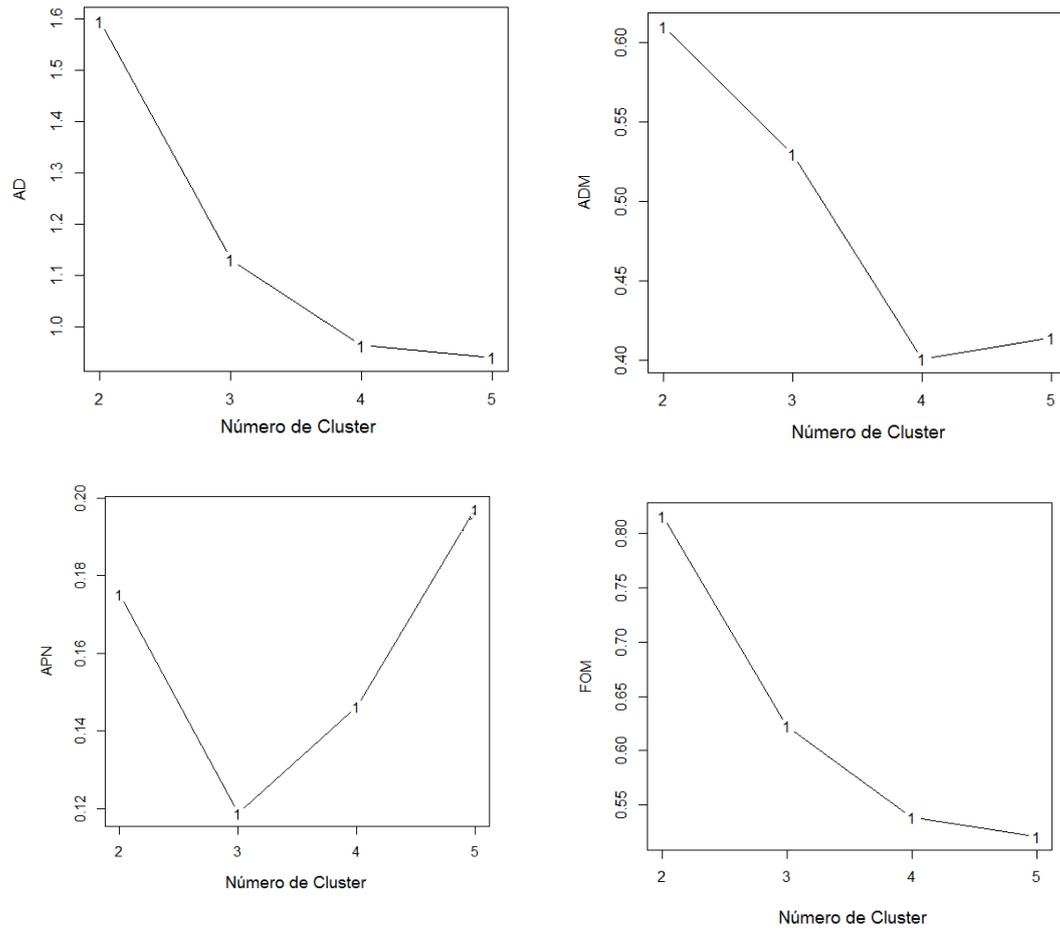


Figura 20 – Validação de estabilidade (Agrupamento 1).

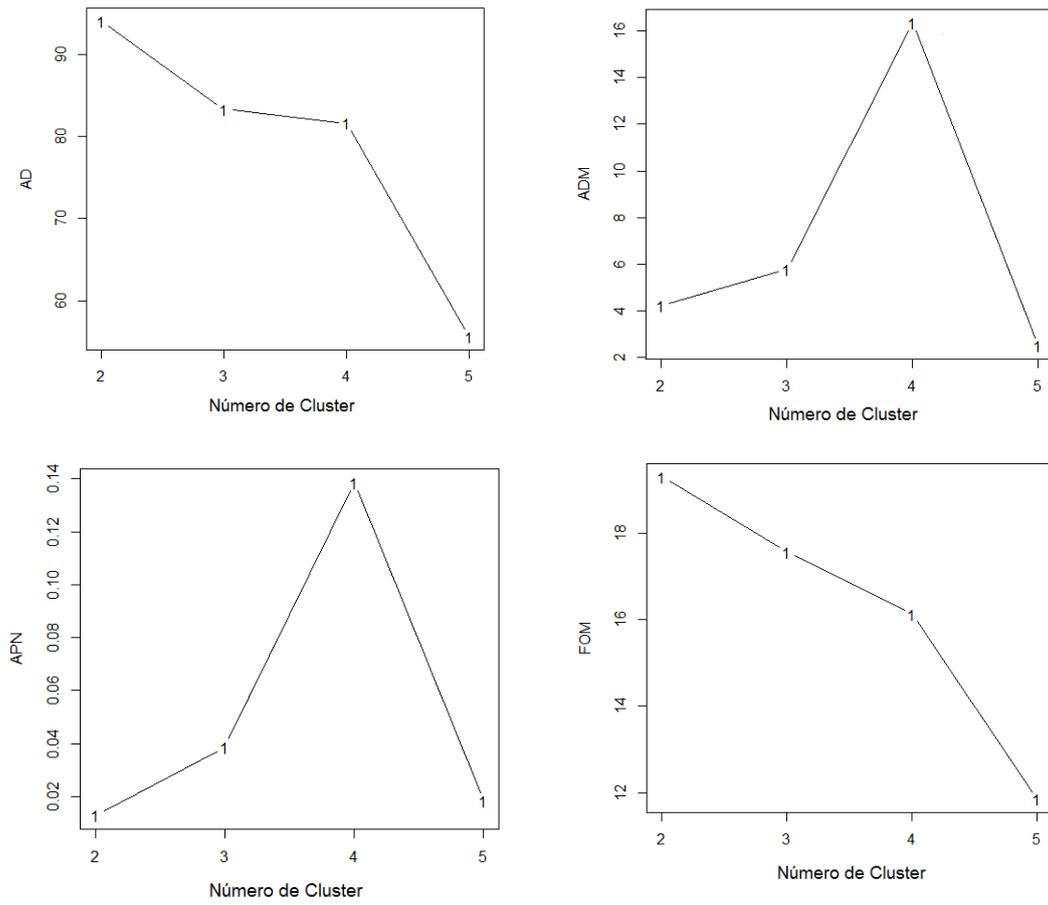


Figura 21 – Validação de estabilidade (Agrupamento 2).

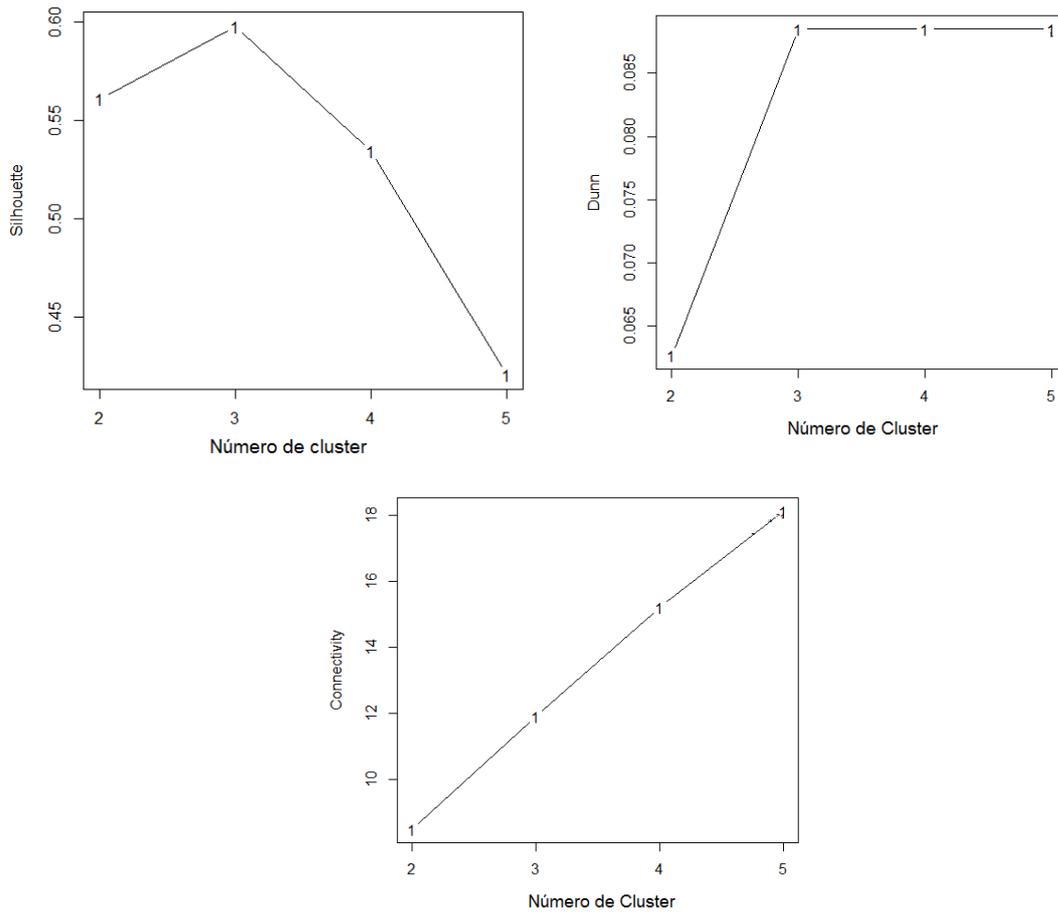


Figura 22 – Validação interna (Agrupamento 1).

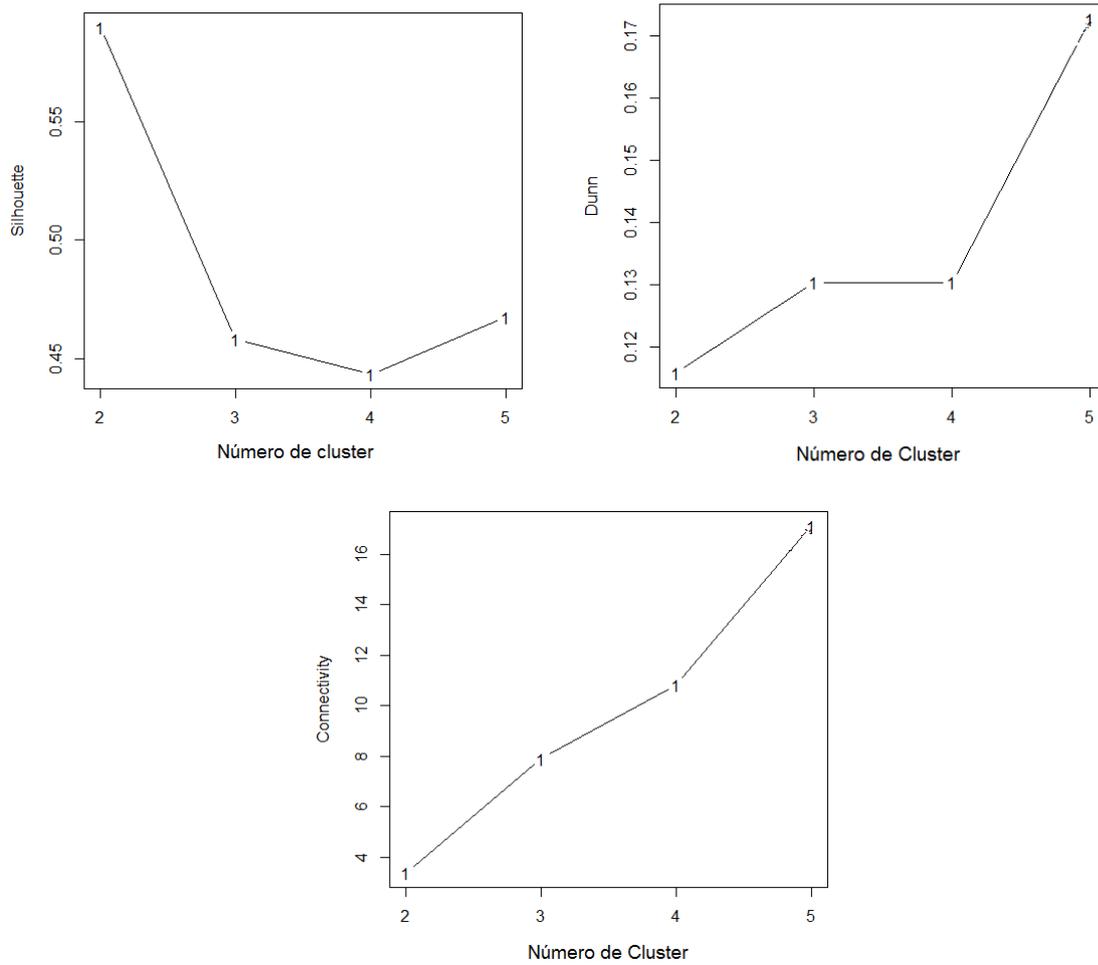


Figura 23 – Validação interna (Agrupamento 2).

Tabela 3 – Tipo de validação e seus respectivos valores para agrupamento.

Testes de Validação	Tipo	Agrupamento 1	Agrupamento 2
Validação Interna	Conectividade	2, 3	2, 3
	Silhouette	2, 3	2, 5
	Dunn	3, 4	4, 5
Validação de Estabilidade	ADM	4, 5	2, 5
	APN	3, 4	2, 5
	AD	4, 5	4, 5
	FOM	4, 5	4, 5

Os dendrogramas obtidos estão representados nas figuras 24 e 25.

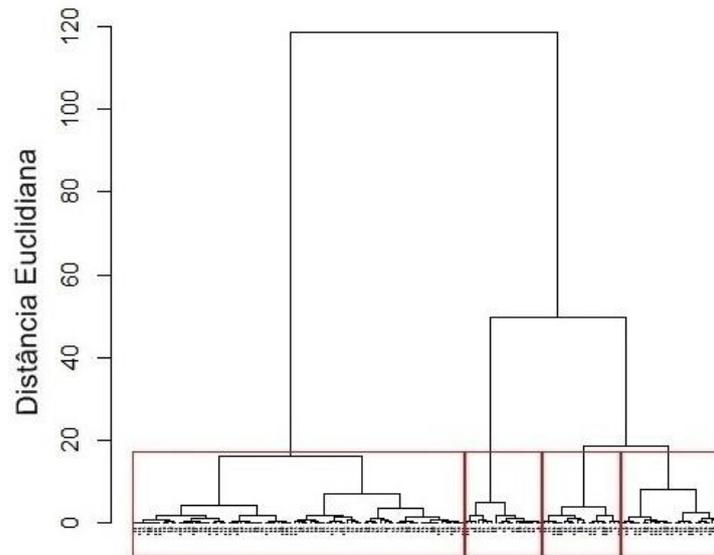


Figura 24 – Dendrograma com separação dos 4 grupos (Agrupamento 1)

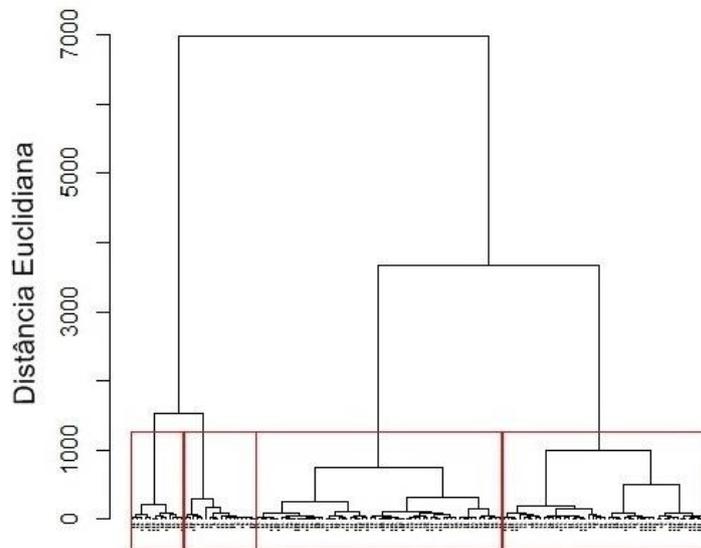


Figura 25 – Dendrograma com separação dos 4 grupos (Agrupamento 2)

Os agrupamentos com a separação dos quatro grupos são apresentados nas figuras 26 e 27, onde a figura 26 apresenta o resultados para o uso das variáveis: PCD, PCP e precipitações médias anuais (Agrupamento 1) e a figura 27 apresenta o agrupamento realizado com 12 variáveis que se referem as médias mensais das 144 estações (Agrupamento 2).

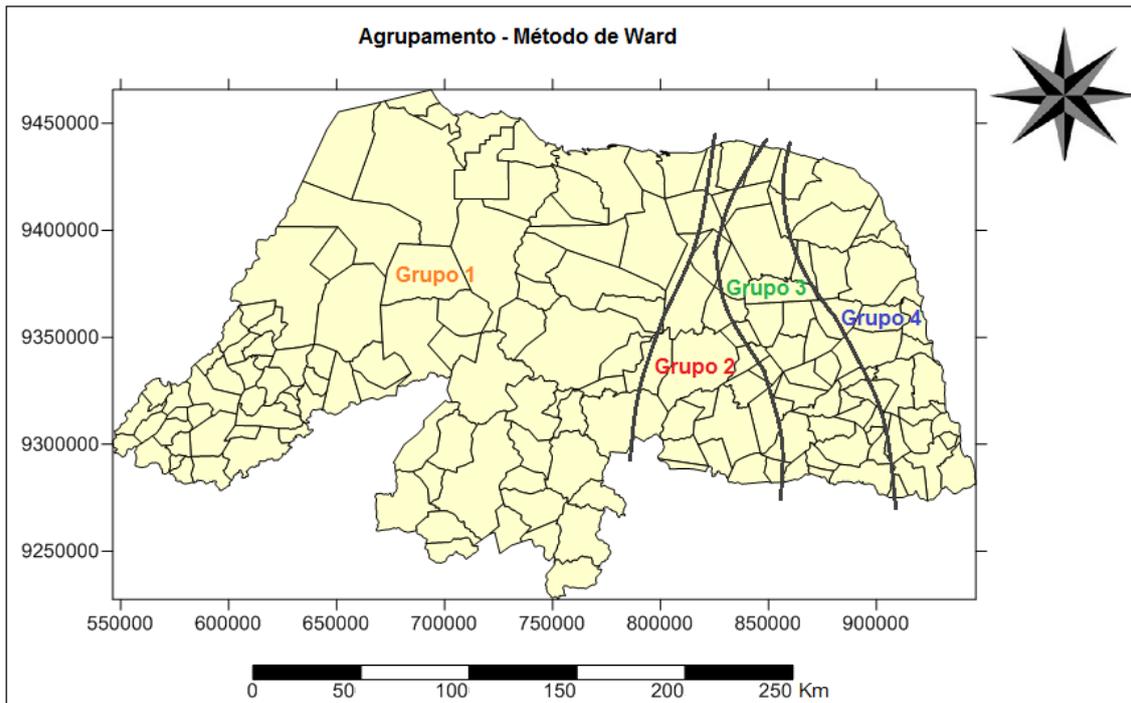


Figura 26 – Agrupamento das estações (Agrupamento 1)

No agrupamento 2, apesar dos testes de validação apontarem para um número ideal de 5 grupos (tabela 4) optou-se por agrupar em conjuntos, para favorecer a comparação com o resultado do agrupamento 1.

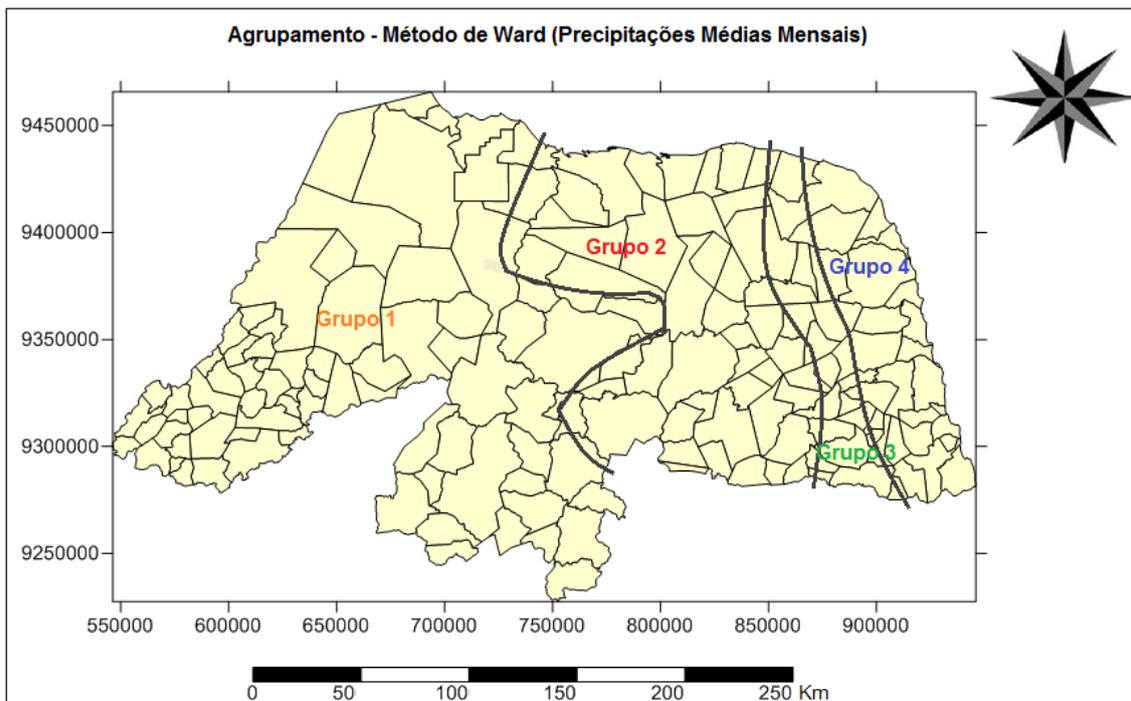


Figura 27 – Agrupamento das estações (Agrupamento 2).

Estações dos grupos 2 e 4 (agrupamento 1) migraram para o grupo 3, quando o agrupamento foi feito com as médias mensais. Os municípios do grupo 2 que migraram foram: Bento Fernandes, Santa Maria, Riachuelo, Serrinha, Passa e Fica, Senador Eloi de Souza, Serra de São Bento, Boa Saúde, Serra Caiada, São Paulo do Potengi, João Câmara e São Pedro. Já os do grupo 4 foram: Angicos, Jandaíra, Pedro Avelino, São Vicente, Lagoa Nova, Guamaré, Macau, Acari, Currais Novos, Equador, Cerro Corá, Assú, Tenente Laurentino Cruz, Bodó, Fernando Pedroza, Galinhos, Caiçara do Norte, Alto do Rodrigues, Porto do Mangue e Itajá. Taipu pertencia a grupo 1 e na segunda aglomeração migrou para o grupo 2.

A figura 28 apresenta a análise da migração de algumas cidades do grupo 4 para o grupo 3, na cor preta são representados os municípios que migraram, em laranja estão os municípios do grupo 4 que permaneceram neste mesmo grupo e em vermelho os municípios que eram e permaneceram no grupo 3. A figura permite a observação de qual o padrão dos municípios que migraram e quais possuem maior semelhança.

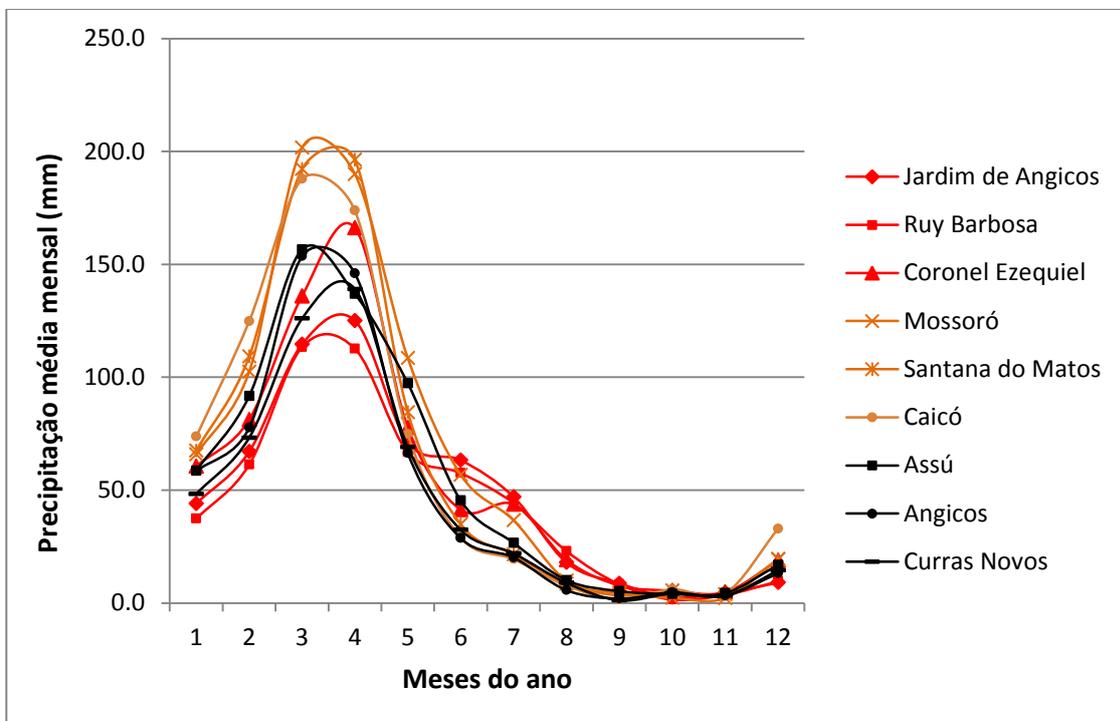


Figura 28 – Precipitações médias mensais das cidades que migraram, suas vizinhas e do grupo 3.

Podemos observar que o regime pluviométrico das estações que migraram (Assú, Angicos e Currais Novos) se parecem mais com os elementos do grupo 4 (Mossoró, Santana do Matos, Caicó), por possuírem apenas um pico de chuva. No entanto em termos dos valores de precipitação média mensal, as estações que migraram se assemelham mais ao grupo 3 (Jardim de Angicos, Ruy Barbosa, Coronel Ezequiel).

Também podemos verificar que o primeiro agrupamento reflete melhor a realidade local através das observações nos valores de PCD, PCP (Tabela 4). Os municípios do grupo 3 possuem menores valores de PCD e maiores de PCP. Essa característica se deve ao fato de que nessa região começa a haver influência das POA's como mecanismo formador de chuva. Dessa forma as estações passam a ter outro padrão, com dois picos de chuva, que faz com que as precipitações sejam bem mais distribuídas (menores valores de PCD) e que as concentrações de chuvas se atrasem para o mês de abril (maiores valores de PCP).

Tabela 4 - Valores de PCD e PCP para as estações que migraram, suas vizinhas e do grupo 3.

Cidade	PCD	PCP	Mês
Jardim de Angicos	0.590	90.929	Abril
Ruy Barbosa	0.595	92.097	Abril
Coronel Ezequiel	0.607	78.664	Março
Mossoró	0.691	75.676	Março
Santana do Matos	0.717	68.034	Março
Caicó	0.698	62.459	Março
Assú	0.671	74.459	Março
Angicos	0.717	68.797	Março
Currais Novos	0.694	84.333	Março

A mesma análise foi feita para as estações do grupo 2 que migraram para o grupo 3 (em preto), os municípios que eram e permaneceram no grupo 3 (em vermelho) e os municípios que eram e permaneceram no grupo 2 (em verde).

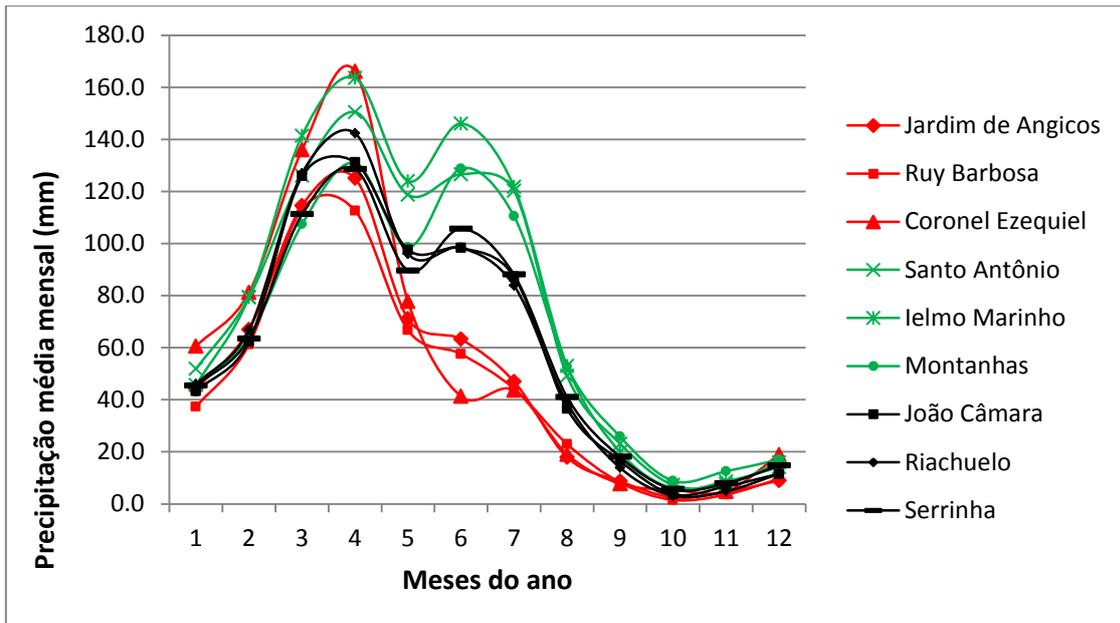


Figura 29 - Precipitações médias mensais das cidades que migraram, suas vizinhas e do grupo 2.

Neste segundo caso, podemos observar que as estações que migraram possuem características mais próximas das estações do agrupamento em que pertenciam no primeiro caso (agrupamento 1), pois as curvas em preto se assemelham mais com as curvas em verde.

Analisando os valores médios de PCD, PCP neste segundo caso, também podemos observar uma maior semelhança entre as estações que migraram (João Câmara, Riachuelo e Serrinha) e o grupo ao qual elas pertenciam no primeiro agrupamento (Santo Antônio, Ielmo Marinho e Montanhas), com chuvas bem mais distribuídas (menores valores de PCD) e com concentrações de chuvas se aproximando do mês de maio (tabela 5). Dessa forma, é indicado o primeiro agrupamento, que reflete melhor a variação temporal da precipitação na área de estudo.

Tabela 5 - Valores de PCD e PCP para as estações que migraram, suas vizinhas e do grupo 2.

Cidade	PCD	PCP	Mês
Jardim de Angicos	0.590	90.929	Abril
Ruy Barbosa	0.595	92.097	Abril
Coronel Ezequiel	0.607	78.664	Março
Santo Antônio	0.533	111.000	Abril
Ielmo Marinho	0.543	111.307	Abril
Montanhas	0.494	116.655	Abril
João Câmara	0.550	106.557	Abril
Riachuelo	0.556	108.511	Abril
Serrinha	0.521	107.007	Abril

O agrupamento através do método de K-means (Figura 30) foi elaborado para 4 grupos e através da utilização do PCD, PCP e das médias da precipitação anual, como indicado pelos resultados analisados do agrupamento pelo método hierárquico de Ward.

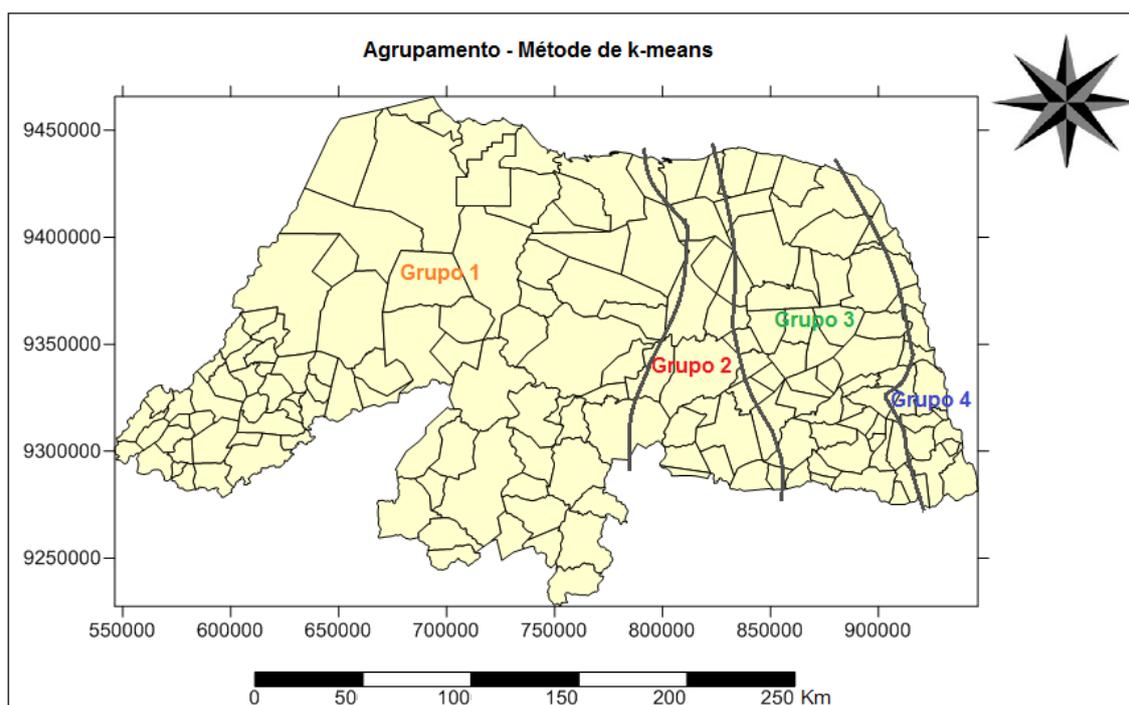


Figura 30 – Agrupamento através do método K-means para as variáveis PCD, PCP e precipitações médias anuais (Agrupamento 3).

Podemos perceber que das 144 estações classificadas, 5 (3,47%) delas foram alocadas em grupos distintos, do agrupamento de Ward (Agrupamento 1, figura 17). Isso aconteceu com estações de Lagoa Nova, Galinhos e Caiçara do Norte, que em Ward pertenciam ao grupo 4 e em K-means migraram para o

grupo 3. Já o município de Pedra Grande passou do grupo 3 para o grupo 2. E por fim, Taipú que fazia parte do grupo 1 migrou para o grupo 2.

A migração de apenas 5 estações evidencia a eficiência da robustez dos agrupamentos formados pelos métodos de Ward e K-means. A utilização dos dois métodos conjuntamente foi adequado, pois foi possível utilizar o número de agrupamentos encontrado pelo método Ward, para a definição do número de grupos que devem ser formados pelo método K-means, de modo a encontrar grupos bem homogêneos internamente.

A tabela 6 apresenta os valores médios das variáveis que caracterizam o regime pluvial de cada região homogênea, encontrada pelo método k-means.

Tabela 6 – Média dos valores de PCD, PCP e precipitação média anual para as cinco regiões homogêneas.

GRUPOS	PCD MÉDIO	PCP MÉDIO (°)	PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL (mm)
Grupo 1	0.506	118.529	1339.269
Grupo 2	0.525	109.903	803.229
Grupo 3	0.582	90.186	588.688
Grupo 4	0.690	70.435	751.156

O grupo 1 é formado por 18 estações, que é composto por municípios localizados na região leste do estado. É a porção do estado com precipitações mais bem distribuídas, com PCD médio de 0,506, e chuvas concentradas entre os meses de abril e maio, com PCP médio de 118,5°. A precipitação média anual é de 1.339,3mm. Os sistemas atuantes na região são as POA's e a ZCIT.

O segundo grupo é composto por 27 estações, com PCD médio de 0,525, e PCP médio de 109,9°. Neste caso temos uma pior distribuição de chuva em relação ao grupo 1, porém as precipitações também são concentradas entre os meses de abril e maio, porém neste caso a concentração de chuva se adianta um pouco mais para o mês de abril. Nesta área também podemos observar a atuação dos dois sistemas principais de formação de chuva no estado. Pois os dois primeiros grupos possuem estações com dois picos de chuva, característica que é explicada devido a atuação dos dois sistemas. A precipitação média é de 803,2mm.

No terceiro grupo temos 21 estações, que possuem PCD médio de 0,582, PCP médio de 90,2° e a menor precipitação média anual, com um valor

de 588,7mm, sendo a região com maior déficit hídrico do estado, demandando maiores cuidados em relação a gestão das águas. Através da análise das médias mensais realizadas na figura 24, podemos notar um efeito discreto dos dois sistemas de formação de chuva, já que em alguns municípios ainda podemos observar dois picos de chuva durante o ano. Porém, a ZCIT, que atua em todo o estado nos períodos de fevereiro a maio, tem uma maior influência na região, pois em alguns locais a maior concentração de chuva se adianta para março.

Por fim, temos o grupo 4, com PCD médio de 0,690, PCP médio de 70,4 e precipitação média anual de 751,2mm. Como podemos observar, essa é a região com a pior distribuição de chuvas do estado e como mecanismo principal formador de chuva temos apenas a ZCIT.

3.4 CONCLUSÕES

Podemos concluir que o estado do Rio Grande do Norte pode ser caracterizado por 4 (quatro) regiões homogêneas. Apesar dos dois agrupamentos obtidos pela técnica de Ward apresentarem resultados aceitáveis, o agrupamento com três variáveis pode ser escolhido, pois este agrupou as estações com padrões de precipitação mais semelhantes.

As regiões leste e agreste possuem dois picos de precipitação e as regiões central e oeste possuem apenas um pico. O padrão de um pico está relacionado com o fato da área possuir um único mecanismo principal para a ocorrência de chuva, que trata-se da ZCIT. Os dois padrões de precipitação corresponde às áreas que sofrem a influência de dois sistemas, a Zona de Convergência Intertropical e as Perturbações Ondulatórias dos Alísios.

A técnica hierárquica e a não hierárquica apresentaram resultados semelhantes, com apenas 5 estações diferindo e os dois resultados podem ser utilizados como resultado final de agrupamento. Porém, é importante que ao realizar agrupamentos sejam utilizados mais de um método para que possa ser feita a comparação de qual reflete melhor as características da área em estudo.

A classificação observada tem similaridade com a divisão do estado em mesorregiões e a pouca diferença encontrada deve-se ao fato de que foram

consideradas outras questões observadas para o agrupamento em mesorregiões, como as características econômicas das localidades.

Em relação à classificação climática de Thorthwaite existe diferença significativa, pois o estado é dividido em 5 (cinco) regiões climáticas, apesar de serem identificados 4 climas. A diferença observada se compararmos com o resultado dessa pesquisa é justificado pelo uso de outras variáveis para a classificação climática.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRÉ, R. G. B.; MARQUES, V. da S.; PINHEIRO, F. M. A. P.; FERRAUDO, A. S. Identificação de regiões pluviometricamente homogêneas no estado do Rio de Janeiro, utilizando-se valores mensais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.4, p. 501-509, 2008.

ANDERSON, B. T.; WANG, J.; GOPAL, S.; SALVUCCI, G. Influence of Daily Rainfall Characteristics on Regional Summertime Precipitation over the Southwestern United States. **American Meteorological Society**, 10: 1218-1230, 2009.

ARAÚJO, L. E. de; SOUSA, F. de A. S. de; RIBEIRO, M. A. de F. M.; SANTOS, A. S. dos; MEDEIROS, P. da C. Análise estatística de chuvas intensas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.2, 162-169, 2008.

BECKER, C. T. et al. Regionalização da precipitação e temperatura no Estado do Rio Grande do Sul a partir da análise de agrupamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 7., 1992, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBMet, 1992. p. 225 - 229.

BROCK, G.; PIHUR, V.; DATTA, S; DATTA, S. (2008) cIValid: An R Package for Cluster Validation Journal of Statistical Software 25(4) <http://www.jstatsoft.org/v25/i04>

BUSSAB, W. DE O; MIAZAKI, E. S; ANDRADE, D. **Introdução à análise de agrupamentos**. São Paulo: Associação Brasileira de Estatística, 1990. 105p.

CARDOSO JUNIOR, M. M.; MADEIRA JUNIOR, A. G. Uso de técnicas de geração de agrupamentos para determinação no número de classes dos pontos que movimentam granéis sólidos. In: XLII SBPO, 2010, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves, 2010.

EVERITT B. S.; LANDAU S. E.; MORVEN, L. **Cluster Analysis**. Vol. 4, Arnold, London, 2001.

EVERITT, B. S.; LANDAU, S.; LEESE, M.; STAHL, D..(2011) Cluster Analysis (5th Edition), King's College London, UK.

FECHINE, J. A. L.; GALVÍNCIO, J. D. Agrupamento da precipitação mensal da bacia hidrográfica do rio Brígida-PE, através da multivariada. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife-PE. 1: 39-46, 2008.

GORDON, N. D.; NORRIS, J. R..Cluster analysis of midlatitude oceanic cloud regimes: mean properties and temperature sensitivity. **Atmos. Chem. Phys.**, 10: 6435–6459, 2010.

HAIR Jr., J.F. et al. **Análise Multivariada de Dados**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HASSAN, B. G. H.; PING, F. Formation of Homogenous Regions for Luanhe Basin – by Using L-Moments and Cluster Techniques. **International Journal of Environmental Science and Development**, 3: 205-210, 2012.

HERRERA, O. M. et al. Agrupamento de estações climatológicas localizadas no estado de São Paulo, Brasil, utilizando-se análise multivariada: comparação com classificação de Koppen. In: CONGRESSO ARGENTINO DE METEOROLOGIA, 7., 1996, Buenos Aires CONGRESSO LATINAMERICANO E IBÉRICO DE METEOROLOGIA, 7., 1996, Buenos Aires. **Anais...** Buenos Aires: Biblioteca Nacional, 1996. p. 233-234.

KELLER FILHO, T.; ASSAD, E. D.; LIMA, P. R. S. R.. Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. **Pesq. agropec. bras.**, v. 40, n.4, p.311-322, abr. 2005.

LANDIM, P. B. M. **Análise estatística de dados geológicos multivariados**. Lab. Geomatémática. DGA. IGCE. UNESP/Rio Claro, Texto Didático 03, 128 p. 2000. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/DIDATICOS/LANDIM/multivariados.pdf> Acesso em: jan 2013.

LI, X.; JIANG, F.; LI, L. WANG, G. Spatial and temporal variability of precipitation concentration index, concentration degree and concentration period in Xinjiang, China. **Int. J. Climatol**. 31: 1679–1693, 2011.

LOURENÇO, A.; MATIAS, R. P. **Estatística Multivariada**. Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2000.

LYRA, G. B.; GARCIA, B. I. L.; PIEDADE, S. M. S. SEDIYAMA, G. C.; SENTELHAS, P. C.. Regiões homogêneas e funções de distribuição de probabilidade da precipitação pluvial no Estado de Táchira, Venezuela. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.41, n.2, p.205-215, 2006.

MEZZOMO, D. **Modelos prognósticos da temperatura mínima média numa região homogênea do Rio Grande do Sul**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências) Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, Rio Grande do Sul, 2005.

MUÑOZ-DÍAZ, D.; F. S. RODRIGO, F. S.. Spatio-temporal patterns of seasonal rainfall in Spain (1912–2000) using cluster and principal component analysis: comparison. **Annales Geophysicae**, 22: 1435–1448, 2004.

NERY, J. T.; VARGAS, W. M.; MARTINS, M. L. O. F. Caracterização da precipitação no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.4, n.2, p.81-89, 1996.

R Development Core Team (2011). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>

RAO, A. R.; SRINIVAS, V. V. Regionalization of watersheds by hybrid cluster analysis. **Journal of Hydrology**, 318: 37-56, 2006.

RAMOS, M. C. Divisive and hierarchical clustering techniques to analyse variability of rainfall distribution patterns in a Mediterranean region. **Atmospheric Research**, 57: 123–138, 2001.

OMAR, A. H.; WON, J-G.; WINKER, D. M.; YOON, S-C.; DUBOVIK, O.; McCORMICK, M. P.. Development of global aerosol models using cluster analysis of Aerosol Robotic Network (AERONET) measurements. **Journal of geophysical research**, 110: 148-227, 2005.

RAZIEI, T. et al. A precipitation-based regionalization for Western Iran and regional drought variability. *Hydrology and Earth System Sciences*, v.12, p.1309-1321, 2008. Disponível em: <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/12/1309/2008/hess-12-1309-2008.html> Acesso em: 16 ago. 2012.

UNAL, Y.; KINDAP, T.; KARACA, M. Redefining the climate zones of Turkey using cluster analysis. *Int. J. Climatol.* 23: 1045–1055, 2003.

SEIDEL, E. J.; MOREIRA JÚNIOR, F.de J.; ANSUJ, A. P.; NOAL, M. R. C. Comparação entre o método Ward e o método K-médias no agrupamento de produtores de leite. **Ciência e Natura**. v. 30, n. 1, p. 7- 15, 2008.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E DE RECURSOS HIDRICOS. **Programa de desenvolvimento sustentável e convivência com o semiárido potiguar: Relatório de Avaliação Ambiental**. SEMARH-RN, Natal, 2005. 132 p.

SHAFER, C. M.; DOSWELL III, C. A.: A multivariate index for ranking and classifying severe weather outbreaks. **Electronic J. Severe Storms Meteor.**, 5 (1), 1–39, 2010.

SILVA, F. M.; LERMEN, V. K.; NERY, J. T.. Variabilidade interanual da precipitação na bacia do rio Iguazu. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 6, p. 1439-1444, 2001.

SILVA, E. S.; TRINCA, L. A.; NERY, J. T.. Áreas espacialmente homogêneas de níveis de precipitação nas regiões Sudeste e Sul do Brasil. **Revista Energia na Agricultura**, v. 24, n.3, p. 34-59, 2009.

WARD, J.H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal American Association**, 58: 236 –244 p, 1963.

WILKS, D. S. Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. **International Geophysics Series**. v. 91, Elsevier, 627 p. 2006.

4. CONCLUSÕES FINAIS

- No estado do Rio Grande do Norte as precipitações são bem mais distribuídas na região leste, à medida que nos deslocamos para o oeste as chuvas vão se concentrando em curto espaço de tempo. No primeiro caso, os meses mais chuvosos são de maio a agosto. Já nas regiões a oeste do estado os meses que possuem uma maior concentração de chuvas são março e abril.
- A área de estudo possui dois padrões de precipitação, algumas regiões possuem dois picos de chuvas e essa característica ocorre devido principalmente a atuação de dois sistemas formadores de chuvas, que são POA's e a ZCIT. Nas áreas que temos apenas um pico de precipitação temos a ZCIT atuando em maiores proporções.
- O estudo da variabilidade de precipitação que ocorre no estado, através dos índices estudados, são ferramentas adequadas ao planejamento ambiental e econômico.
- O índice PCD não é capaz de nos dar a informações sobre o padrão de precipitação de uma localidade, como o número de picos de precipitação mensal, mas dá uma indicação disto pela melhor distribuição das chuvas. O seu uso como variável para o agrupamento das estações foi importante para que estações com maior similaridade de padrão pluviométrico fossem agrupadas.
- A identificação de uma determinada região homogênea favorece o planejamento adequado de acordo com as características de cada grupo formado. O Rio Grande do Norte pode ser dividido em 4 (quatro) regiões homogêneas que podem ser utilizadas para se obter um melhor gerenciamento dos recursos hídricos e planejamento das atividades econômicas.
- A técnica hierárquica de Ward e a não hierárquica de K-means apresentaram resultados semelhantes, porém, tendo em vista a infinidade de metodologias dentro da análise multivariada sugere-se que em trabalhos de agrupamento sejam utilizadas mais de uma técnica

para que se possa analisar qual delas reflete melhor a situação encontrada na realidade.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FECHINE, J. A. L.; GALVÍNIO, J. D. Agrupamento da precipitação mensal da bacia hidrográfica do rio Brígida-PE, através da multivariada. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife-PE. 1: 39-46, 2008.

KELLER, T.; ASSAD, E. D.; SCHUBNELL, P. R. Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 4, p. 311-322, 2005.

LYRA, G. B.; GARCIA, B. I. L.; PIEDADE, S. M. S. SEDIYAMA, G. C.; SENTELHAS, P. C.. Regiões homogêneas e funções de distribuição de probabilidade da precipitação pluvial no Estado de Táchira, Venezuela. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 2, p.205-215, fev. 2006.

LANDIM, P. B. M. **Análise estatística de dados geológicos multivariados**. Lab. Geomatématica. DGA. IGCE. UNESP/Rio Claro, Texto Didático 03, 128 p. 2000. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/DIDATICOS/LANDIM/multivariados.pdf> Acesso em: jan 2013.

MACHADO, M. A. M.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, M. H. Duração da estação chuvosa em função das datas de início do período chuvoso para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 4, n. 2, p.73-79, 1996.

MACHADO, J. P.; BLANK, D. M. P.; ZONTA, J. H.; JUSTINO, F. B. Comportamento da precipitação e da temperatura no Rio Grande do Sul baseado na análise de agrupamento. **Ciência e Natura**, v. 32, n. 1, p. 49-63, 2010.

MUÑOZ-DÍAZ, D.; F. S. RODRIGO, F. S.. Spatio-temporal patterns of seasonal rainfall in Spain (1912–2000) using cluster and principal component analysis: comparison. **Annales Geophysicae**, 22: 1435–1448, 2004.

NERY, J. T.; VARGAS, W. M.; MARTINS, M. L. O. F. Caracterização da precipitação no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 4, n. 2, p. 81-89, 1996.

RAZIEI, T. et al. A precipitation-based regionalization for Western Iran and regional drought variability. **Hydrology and Earth System Sciences**, 12: 1309-1321, 2008. Disponível em: <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/12/1309/2008/hess-12-1309-2008.html> Acesso em: 16 ago. 2012.

SILVA, E. S.; TRINCA, L. A.; NERY, J. T. Áreas espacialmente homogêneas de níveis de precipitação nas regiões Sudeste e Sul do Brasil. **Revista Energia na Agricultura**, v. 24, n. 3, p. 34-59, 2009.

SOUZA, E. B.; ALVES, J. M. B.; NOBRE, P. Anomalias de precipitação nos setores norte e leste do nordeste brasileiro em associação aos eventos do padrão de dipolo observados na bacia do atlântico tropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 13, n. 2, p. 45-55, 1998.

UNAL, Y.; KINDAP, T.; KARACA, M. Redefining the climate zones of Turkey using cluster analysis. **Int. J. Climatol.** 23: 1045–1055, 2003.