



INTER
FACES
CIENTÍFICAS

SAÚDE E AMBIENTE

ISSN IMPRESSO 2316-3313

ISSN ELETRÔNICO 2316-3798

DOI 10.17564/2316-3798.2015v3n3p9-24

ANÁLISES MULTIVARIADAS, ANÁLISES DE COMPONENTE PRINCIPAL (ACP) E DE AGRUPAMENTO (AA), PARA IDENTIFICAR FUTUROS SÍTIOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA

Amaury de Souza¹

RESUMO

Apresenta-se neste estudo a avaliação da metodologia de Análises Multivariadas, Análise em Componentes Principal (ACP) e Análises de Agrupamento (AA) aos dados de velocidade médias diárias dos ventos de 19 estações meteorológicas no estado de Mato Grosso do Sul. Todas as Estações estão bem distribuídas espacialmente e o período de dados diários entre 2008 e 2010. Os resultados da Análises de Componentes Principal (ACP) identificou as regiões R1 e R3 como

as mais favoráveis para a geração de energia eólica, em especial Campo Grande e Ivinhema. A análise de agrupamento (AA) pelo método de Ward, permitiu o agrupamento das estações em três regiões homogêneas.

PALAVRAS CHAVES

Vento, Energia eólica, Agrupamento.

ABSTRACT

We present in this study the evaluation of Multivariate Analysis methodology, analysis on Main Components Analysis (PCA) and Cluster Analysis (AA) to the daily average data rate of winds of 19 weather stations in the state of Mato Grosso do Sul. All stations are well distributed spatially and the period of daily data between 2008 and 2010. The Analyses of the results of Main Components Analysis (PCA) identified the R1

and R3 regions as the most favorable for wind power generation, especially Campo Grande and Ivinhema. Cluster analysis (AA) by Ward's method allowed the grouping of stations in homogeneous regions.

KEYWORDS

Wind. Wind Energy. Grouping.

RESUMEN

Presentamos en este estudio, la evaluación de la metodología de Análisis de variantes diversas, Análisis de Componentes Principales (ACP) y Análisis de Agrupación (AA) a los datos de velocidad medianas diarias de los vientos de 19 estaciones meteorológicas en el Estado de Mato Grosso do Sul. Todas las estaciones están bien distribuidas espacialmente y el período de los datos diarios centrado entre de 2008 y 2010. Los resultados de los Análisis de Componentes Principales

(PCA) identificaron las regiones R1 y R3, como las más favorables para la generación de energía eólica, sobretudo en Campo Grande e Ivinhema. El análisis de Agrupación (AA) por el método de Ward, permitió la agrupación de las estaciones en regiones homogéneas.

PALABRAS CLAVE

Viento, Energía Eólica, Agrupación.

1 INTRODUÇÃO

As fontes renováveis de energia terão participação cada vez mais relevante na matriz energética global nas próximas décadas. A crescente preocupação com as questões ambientais e o consenso mundial sobre a promoção do desenvolvimento em bases sustentáveis vêm estimulando a realização de pesquisas de desenvolvimento tecnológico, que vislumbram a incorporação dos efeitos da aprendizagem e a consequente redução dos custos de geração dessas tecnologias.

O debate sobre o aumento da segurança no fornecimento de energia, impulsionado pelos efeitos de ordem ambiental e social da redução da dependência de combustíveis fósseis, contribui para o interesse mundial por soluções sustentáveis, por meio da geração de energia oriunda de fontes limpas e renováveis. Nessa agenda, o Brasil ocupa posição destacada em função da sua liderança nas principais frentes de negociação e da significativa participação das fontes renováveis na sua matriz energética.

O Brasil apresenta situação privilegiada em termos de utilização de fontes renováveis de energia. No país, 43,9% da Oferta Interna de Energia (OIE) é renovável, enquanto a média mundial é de 14% e nos países desenvolvidos, de apenas 6%. A OIE, também denominada de matriz energética, representa toda a energia disponibilizada para ser: transformada, distribuída e consumida nos processos produtivos do País (PROINFA, 2002).

O desenvolvimento dessas fontes ingressa em uma nova etapa no país com a implantação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), criado no âmbito do Ministério de Minas e Energia (MME) pela Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, e revisado pela Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003. A iniciativa, de caráter estrutural, vai alavancar os ganhos de escala, a aprendizagem tecnológica, a competitividade industrial nos merca-

dos internos e externo e, sobretudo, a identificação e a apropriação dos benefícios técnicos, ambientais e socioeconômicos na definição da competitividade econômico-energética de projetos de geração que utilizem fontes limpas e sustentáveis (PROINFA, 2002).

A busca por alternativas às fontes tradicionais de produção de energia elétrica abre caminho para um novo mercado no País. Ainda em seus primeiros passos, mas com imenso potencial, a geração de energia elétrica que aproveita a irradiação solar (fotovoltaica), a força dos ventos (eólica) e a biomassa têm no Brasil o cenário ideal para desenvolver-se. A energia eólica é uma fonte alternativa, limpa e renovável para a produção de energia elétrica. É atrativa do ponto de vista ambiental, pelo seu caráter não poluente e também do ponto de vista econômico, por caracterizar-se como uma fonte inesgotável.

O potencial para a produção de energia elétrica, por meio da fonte eólica, não identificado na Região Centro Oeste, pode dar uma contribuição significativa ao suprimento de energia elétrica à região, como substituto ou complemento às alternativas hidroelétricas e térmicas.

No entanto, a energia eólica pelas suas características de intermitência e variabilidade, requer uma avaliação detalhada de sua interação, no momento da operação, com o sistema gerador convencional a fim de que se possa definir, no momento do planejamento da expansão, qual o montante de geração eólica que poderá ser inserido na Matriz Energética da região, sem comprometer a eficiência e o desempenho do sistema gerador convencional atual e futuro (CAVALCANTI ET AL., 2004; GUIMARÃES ET AL., 2004).

Nesse contexto, cita-se que com o apoio da ANEEL e do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), o Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE), da Univer-

sidade Federal de Pernambuco (UFPE), publicou, em 1998, a primeira versão do Atlas Eólico da Região Nordeste, no qual a continuidade desse trabalho resultou no Panorama do Potencial Eólico no Brasil (SILVA, 2003; CAMPO, 2004).

Dessa forma, os diversos levantamentos e estudos observacionais realizados e em andamento (locais, regionais e nacionais), particularmente na região Nordeste do País, vêm fornecendo suporte e motivando a exploração comercial da energia eólica, pela implantação de parques de geração, chamados de parques eólicos, em diversas regiões, que são denominadas de sítios eólicos (SAUER ET AL., 2006).

Embora o conhecimento gerado por esses levantamentos sejam relevantes do ponto de vista observacional, ainda existem grandes divergências entre especialistas e instituições quanto ao emprego de metodologias para identificação dos potenciais sítios de geração de energia eólica. Isso se deve principalmente à falta de informações, ou seja, a séries temporais longas, sem falhas nos conjuntos de dados de velocidade do vento observados em superfície e à falta de dados de velocidade do vento em altitude, particularmente, na altura em que são instalados os aerogeradores (entre 80 e 120 m).

Em relação aos estudos observacionais, que visam caracterizar os regimes predominantes de vento, bem como quantificar os recursos eólicos e identificar possíveis áreas de geração de energia na região Nordeste do Brasil, pode-se destacar o estudo de Barreto e outros autores (2002) que usaram dados de direção e velocidade do vento à superfície, a 10 metros de altura, proveniente de 77 estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para estudar seu ciclo diário em todo o Nordeste brasileiro.

Esses autores mostraram que, nas áreas litorâneas, o vento intensifica-se no período diurno, atingindo intensidade máxima início-meio da tarde em resposta ao escoamento médio de grande escala e à brisa

marítima. Desintensifica-se no período noturno com a atuação da brisa terrestre, no sentido contrário ao escoamento médio de grande escala, o que ocasiona um mínimo de intensidade no final da noite e início da manhã. Há fortes indícios da penetração da brisa marítima continente adentro em estados do norte do Nordeste, que interage com o escoamento médio e outras circulações locais em áreas de orografias complexas, com máximo secundário em algumas áreas.

O estudo observacional de Silva (2003), para caracterizar os regimes de ventos na região Nordeste do Brasil, para aplicação em projetos de centrais eólicas em regiões litorâneas, mostrou que a climatologia observada dos ventos na região Litoral Norte do Nordeste, onde se encontra o litoral do Estado do Ceará, é condicionada principalmente por dois mecanismos eólicos: o comportamento dos ventos alísios, em grande escala, e as brisas marítimas, em escala regional. O primeiro – com periodicidade anual – é regulado pela movimentação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), e o segundo pela periodicidade diária, regulado apenas pelo gradiente térmico terra-mar.

O potencial eólico de Campo Grande e Dourado, MT, foi investigado por Sousa e Granja (1997) a partir do registro de seis anos de dados do INMET, ocasião em que obtiveram os parâmetros de Weibull, para períodos semanais e mensais, baseados na velocidade e direção do vento, medidos a 10 m. Concluíram que as densidades de potência média anual em Campo Grande e Dourado foram, respectivamente, de 40,2 e 49,8 $W m^{-2}$ e que o Método Gráfico foi o que proporcionou a melhor estimativa dos parâmetros de Weibull, pois resultou nos menores erros dentre os métodos apresentados por Justus e outros autores (1976).

Assim, concordando com o exposto acima, tem-se como objetivo deste trabalho, investigar a aplicação de metodologias de Análises Multivariadas, por meio da Análise de Componente Principal (ACP) e de Agrupamento (AA), para identificar futuros sítios de geração de energia eólica, no estado de Mato Grosso do Sul.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados utilizados neste estudo são séries temporais de velocidades horária média do vento, observadas em estações meteorológicas localizadas no Mato Grosso do Sul, totalizando 19 estações obtidas junto ao banco de dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Informações referentes ao processamento e análise desses dados, visando determinar o potencial para aproveitamento de energia eólica são encontradas

em Bastos e outros autores (1987). A distribuição das estações é indicada na Figura 1, cujas cidades, latitudes, longitudes e altitudes constam na Tabela 1.

As medições da velocidade do vento observado, em cada uma dessas estações, são realizadas a 10 metros acima do nível do solo, como recomenda a Organização Meteorológica Mundial (OMM), sendo que os registros são do período de janeiro de 2008 a dezembro de 2010.

Tabela 1 – Relação das estações meteorológicas, com suas respectivas coordenadas geográficas

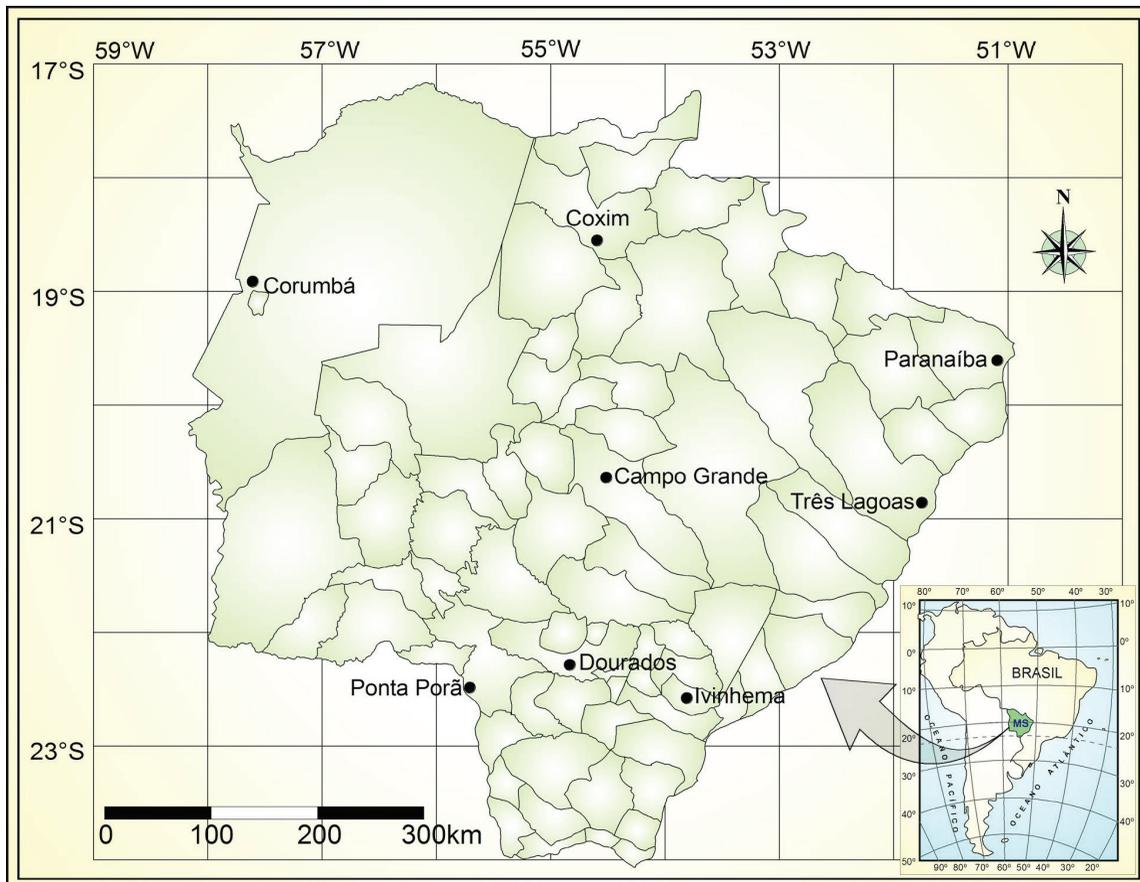
Estação	Latitude	Longitude	Altitude	SIGLA
<i>Amambai</i>	-23,14	-55,2	464	1
<i>Aquidauana</i>	-20,45	-55,67	174	2
<i>Campo Grande</i>	-20,5	-54,62	528	3
<i>Cassilândia</i>	-19,09	-51,8	514	4
<i>Chapadão do Sul</i>	-18,08	-52,6	818	5
<i>Corumbá</i>	-19,02	-57,65	185	6
<i>Coxim</i>	-18,5	-54,76	292	7
<i>Dourados</i>	-22,19	-54,91	469	8
<i>Juti</i>	-22,86	-54,61	379	9
<i>Maracaju</i>	-21,61	-55,18	401	10
<i>Miranda</i>	-20,4	-56,43	140	11
<i>Nhumirim</i>	-18,2	-56,62	104	12
<i>Paranaíba</i>	-19,41	-51,11	424	13
<i>Ponta Porã</i>	-22,53	-55,53	650	14
<i>Porto Murtinho</i>	-21,71	-57,55	85	15
<i>Rio Brilhante</i>	-21,78	-54,53	329	16
<i>São Gabriel</i>	-19,42	-54,59	670	17
<i>Sete Quedas</i>	-23,97	-55,02	402	18
<i>Sidrolândia</i>	-20,55	-54,57	484	19

Fonte: Organização Meteorológica Mundial (OMM)

Na análise de dados, utilizaram-se as técnicas de Análise Componentes Principais (ACP) e Análise de Agrupamento (AA) nos modos espacial e temporal para definir os principais sistemas contribuintes de variabilidade da velocidade média diária do

vento à superfície e suas regiões homogêneas no Estado em estudo.

Figura 1 – Localização espacial das estações meteorológicas utilizadas neste estudo



2.1 ANÁLISE EM COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP)

A técnica estatística da ACP tornou-se popular nas análises de dados atmosféricos após Lorenz (1956). A partir daí, inúmeros pesquisadores fizeram uso de tais técnicas como Ceballos e Braga, (1995), Nery e outros autores (1999), Esteban e outros autores (2006), Fragozo e Gomes (2008) e outros que empregaram em uma variedade de aplicações meteorológicas. Outra técnica de análise multivariada muito utilizada em ciências atmosféricas, seja isoladamente ou em conjunto com a ACP, é a AA.

As técnicas de análise multivariadas, a exemplo da ACP, são ferramentas poderosas na análise de um número grande de variáveis. Elas permitem reduzir a dimensão da matriz de observações sem perder as informações importantes dos dados originais, investiga o comportamento espaço-temporal das variáveis envolvidas no problema, assim como detecta grupos de variáveis que apresentem comportamento homogêneo. Esse método tem por objetivo a descrição dos dados contidos numa matriz indivíduos-caracteres numéricos: p caracteres são medidos em n indivíduos (BOUROCHE e SA-PORTA, 1982).

A coleta básica de informações na Análise em Componentes Principais é a matriz de dados (PAN-DIZIC, 1988). Em n observações existem m variáveis, então a matriz de dados normalizada (com média zero e variância um) de velocidade do vento pode ser apresentada como $m \times n$, e designada por Z , a partir da qual se obtém a matriz de correlação R dada pela Equação 1.

$$R = \frac{1}{n-1} (Z)(Z') \quad (1)$$

em que $(Z)^\dagger$ é a matriz transposta de Z . R é uma matriz simétrica positiva de dimensão $(k \times k)$, ela é diagonalizável por uma matriz A , de mudança de base, denominada autovetores. A matriz diagonal D

cujos elementos diagonais são os autovalores (λ) de R é expressa pela Equação 2.

$$D = A^{-1}(RA) \quad (2)$$

Pela ortogonalidade dos autovetores, a inversa de A (A^{-1}) é igual a sua transposta (A^\dagger). Logo as Componentes Principais (CPs) Z_1, Z_2, \dots, Z_n são obtidas por combinações lineares entre a transposta dos autovetores (A^\dagger) e a matriz de observações (Y), ou seja:

$$Z = A^\dagger Y \quad (3)$$

$$Y = A Z \quad (4)$$

Cada linha de Z corresponde a uma CP que forma as séries temporais associadas aos autovalores. Os valores de Y no n -ésimo local podem ser calculados pela Equação 5.

$$Y_i = a_{j1}Z_1 + a_{j2}Z_2 + \dots + a_{jk}Z_k + a_{np}Z_p \quad (5)$$

A solução dessa equação é única. Essa solução considera a variação total presente no conjunto das variáveis iniciais, em que a CP1 explica o máximo possível da variância dos dados iniciais, enquanto a CP2 explica o máximo possível da variância, ainda, não explicada e assim por diante, até a última CPm que contribui com a menor parcela de explicação da variância total dos dados iniciais.

No caso deste estudo, a cada CP tem uma porção de variância total dos dados mensais da velocidade do vento, e são ordenadas por ordem decrescente dos autovalores mais significativos de a_1 em A , dada pela Equação 6.

$$Z_i = \sum_{j=1}^n a_{j,i} Y_j \quad (6)$$

A variância total do sistema (V) é definida como a soma das variâncias das variáveis observadas, assim V é dada pela Equação 7.

$$V = \text{traço } S = \sum_{i=1}^p S_{ii} = \sum_{i=1}^p \lambda_i \quad (7)$$

em que S é a variância das variáveis observadas e λ_i são os autovalores. O traço da matriz pode ser entendido, também, como somatório da diagonal principal da matriz de correlação.

A variância explicada por cada componente é:

$$\alpha_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{l=1}^p \lambda_l} \times 100\% \quad (8)$$

O número escolhido de CPs foi baseado no critério de truncamento da Kaiser, que considera como mais significativos os autovalores cujos valores sejam superiores a unidade (GARAYALDE ET AL., 1986).

Neste trabalho, utilizou-se uma rotação ortogonal, mantendo a correlação entre as componentes igual a zero, portanto independentes, sendo que tal critério que usa a maximização em cada componente dá origem à técnica chamada de VARIMAX.

2.2 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO (CLUSTER ANALYSIS)

Análise de Agrupamento foi aplicada a pesquisa geofísica desde 1960. Foi durante essa década que essa técnica se proliferou. Uma pesquisa detalhada da literatura de análise de agrupamento usado nos campos de geofísica foi realizada dando conta que vários métodos de análise de agrupamento foram extensamente usados em tipos diferentes de problemas em pesquisas atmosféricas (GONG e RICHMAN, 1995).

Essa técnica estatística de análise multivariada tem como objetivo principal classificar os indivíduos de uma população que são conhecidos por suas características, em grupos que sejam homogêneos intragrupos e heterogêneos intergrupos. As técnicas objetivas de agrupamentos diminuem a subjetividade, pois quantificam a similaridade ou dissimilaridade entre indivíduos. Dentre os vários métodos ou algorit-

mos de classificação de grupos estão aqueles que utilizam as técnicas hierárquicas. Neste a partição se dá a partir de um número de grupo não definido inicialmente, em que os grupos majoritários são divididos em subgrupos minoritários, agrupando aqueles indivíduos que apresentam características semelhantes.

A classificação desses indivíduos em grupos distintos é feita a partir de uma função de agrupamento denominada distância ou similaridade e de um critério matemático de agrupamento (BOUROCHE e SAPORTA, 1982).

A distância Euclidiana é a medida de dissimilaridade mais comumente usada em agrupamentos, embora muitas outras medidas de distância existam. Uma discussão detalhada de varias dissimilaridades é apresentada em Duran e Odell (1974).

Considere $p \times n$ dados uma matriz X em espaço dimensional p as distâncias euclidianas entre as entidades X_i e X_j é dada pela Equação 9.

$$d_{i,j} = \|x_i - x_j\| = \left(\sum_{k=1}^p (x_{i,k} - x_{j,k})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

Tanto a distância euclidiana, medida de dissimilaridade, quanto o coeficiente de correlação, medida de dissimilaridade, podem ser usadas na determinação dos grupos. Para esse fim existem dois métodos de agrupamento, os hierárquicos e os não hierárquicos. Nos métodos hierárquicos vários critérios de agrupamento são possíveis, dentre eles optou-se pelo método de Ward (1963).

Esse método procura por partições que minimizam a perda associada a cada agrupamento (EVRITT, 1974; BUSSAB ET AL., 1990; MINGOTI, 2005). Essa perda é quantificada pela diferença entre a soma dos erros quadráticos de cada padrão e a média da partição em que está contido. A soma dos erros quadrados é definida como:

$$SQD = \sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \quad (10)$$

em que n é o número total de elementos do agrupamento e X_i é o i -ésimo elemento do agrupamento.

Algumas características desse método são: apresenta bons resultados tanto para distâncias euclidianas quanto para outras distâncias; pode apresentar resultados insatisfatórios quando o número de elementos em cada grupo é praticamente igual; tem tendência a combinar grupos com poucos elementos.

As etapas descritas anteriormente, embora instrutivas acerca do processo de agrupar indivíduos, não facilitam a interpretação dos resultados a respeito de como serão obtidos os grupos e os números deles

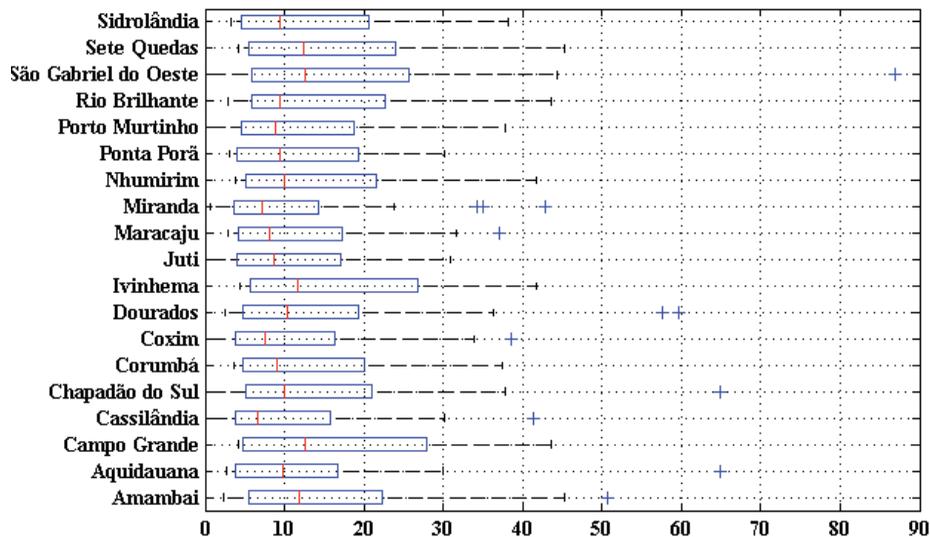
num processo de agrupamento. Necessita-se de instrumentos mais apropriados, um deles é o dendrograma que é uma representação gráfica muito usada na análise de agrupamento para apresentar o resultado de um agrupamento.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Figuras 1 e 2 mostram a variabilidade espacial e temporal das velocidades médias diárias dos ventos observada nas 19 estações meteorológicas em estudo.

Observa-se na Figura 2 que as Amambai, Campo Grande, Ivinhema, São Gabriel do Oeste e Sete Quedas, Ponta Porã e Chapadão do Sul possuem velocidade média diária superior a 15 km/h, e as cidades Coxim e Maracaju apresentam velocidade média diária abaixo de 10 Km/h, as demais cidades estão entre 10 e 15 Km/h.

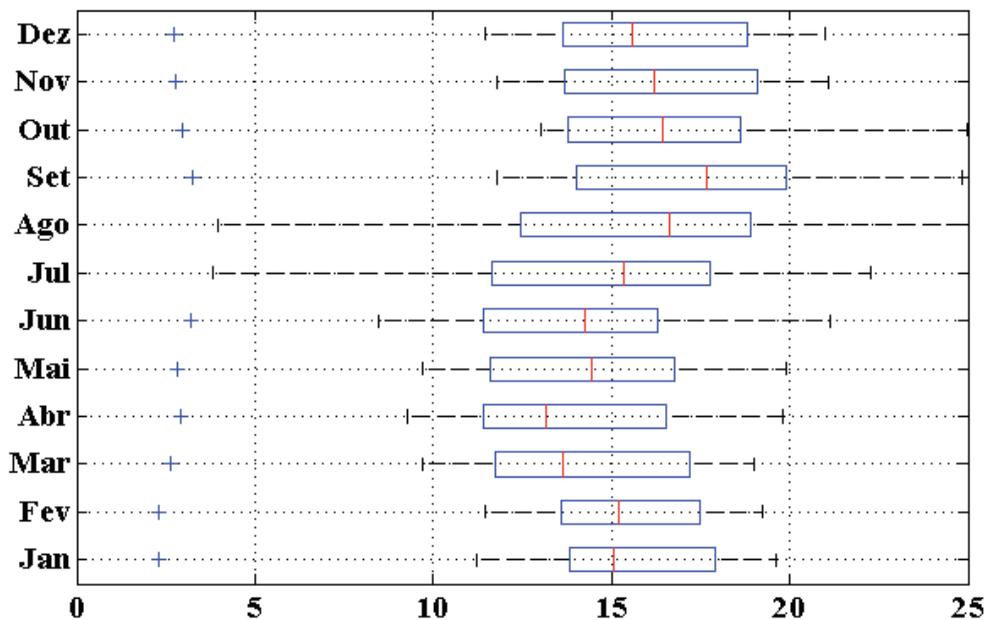
Figura 2 – Variabilidade espacial dos dados da velocidade média para as estações meteorológicas em estudo



Fonte: Dados da pesquisa

A Figura 3 mostra a variação temporal dos dados velocidade média do vento na região ocorrem nos meses de março a junho e o maior valor em setembro.

Figura 3 – Variabilidade espacial dos dados da velocidade média para as estações meteorológicas em estudo



Fonte: Dados da pesquisa

Segundo a sequência dos autovalores mostrada na Tabela 2, obtidos a partir do critério de Kaiser, as 10 primeiras componentes explicam 80% da variância do vento observada na região em estudo

Tabela 2 – Sequência dos autovalores em ordem decrescente e a contribuição da variância total dos dados

	<i>Autovalores</i>	<i>% total da variância</i>	<i>Autovalor acumulado</i>	<i>% acumulada</i>
<i>Componente 1 =</i>	<i>68,154</i>	<i>35,87%</i>	<i>68,154</i>	<i>35,87%</i>
<i>Componente 2 =</i>	<i>15,173</i>	<i>7,99%</i>	<i>83,328</i>	<i>43,86%</i>
<i>Componente 3 =</i>	<i>12,956</i>	<i>6,82%</i>	<i>96,284</i>	<i>50,67%</i>
<i>Componente 4 =</i>	<i>12,131</i>	<i>6,39%</i>	<i>108,415</i>	<i>57,06%</i>
<i>Componente 5 =</i>	<i>0,9641</i>	<i>5,07%</i>	<i>118,056</i>	<i>62,13%</i>
<i>Componente 6 =</i>	<i>0,7902</i>	<i>4,16%</i>	<i>125,959</i>	<i>66,29%</i>
<i>Componente 7 =</i>	<i>0,7632</i>	<i>4,02%</i>	<i>133,591</i>	<i>70,31%</i>
<i>Componente 8 =</i>	<i>0,7415</i>	<i>3,90%</i>	<i>141,006</i>	<i>74,21%</i>
<i>Componente 9 =</i>	<i>0,6218</i>	<i>3,27%</i>	<i>147,223</i>	<i>77,49%</i>
<i>Componente 10 =</i>	<i>0,5734</i>	<i>3,02%</i>	<i>152,958</i>	<i>80,50%</i>
<i>Componente 11 =</i>	<i>0,5458</i>	<i>2,87%</i>	<i>158,415</i>	<i>83,38%</i>
<i>Componente 12 =</i>	<i>0,5189</i>	<i>2,73%</i>	<i>163,605</i>	<i>86,11%</i>
<i>Componente 13 =</i>	<i>0,4836</i>	<i>2,55%</i>	<i>168,440</i>	<i>88,65%</i>
<i>Componente 14 =</i>	<i>0,4361</i>	<i>2,23%</i>	<i>172,801</i>	<i>90,95%</i>
<i>Componente 15 =</i>	<i>0,4004</i>	<i>2,11%</i>	<i>176,805</i>	<i>93,06%</i>
<i>Componente 16 =</i>	<i>0,3686</i>	<i>1,94%</i>	<i>180,491</i>	<i>95,00%</i>
<i>Componente 17 =</i>	<i>0,3388</i>	<i>1,78%</i>	<i>183,879</i>	<i>96,78%</i>
<i>Componente 18 =</i>	<i>0,3079</i>	<i>1,64%</i>	<i>186,958</i>	<i>98,40%</i>
<i>Componente 19 =</i>	<i>0,3042</i>	<i>1,60%</i>	<i>190,000</i>	<i>100,00%</i>

Fonte: Dados da pesquisa

3.1 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO DA VELOCIDADE MÉDIA DOS VENTOS

A Figura 4 apresenta o dendrograma para a velocidade média dos ventos. Nota-se que para o Estado do MS apresenta três regiões para as velo-

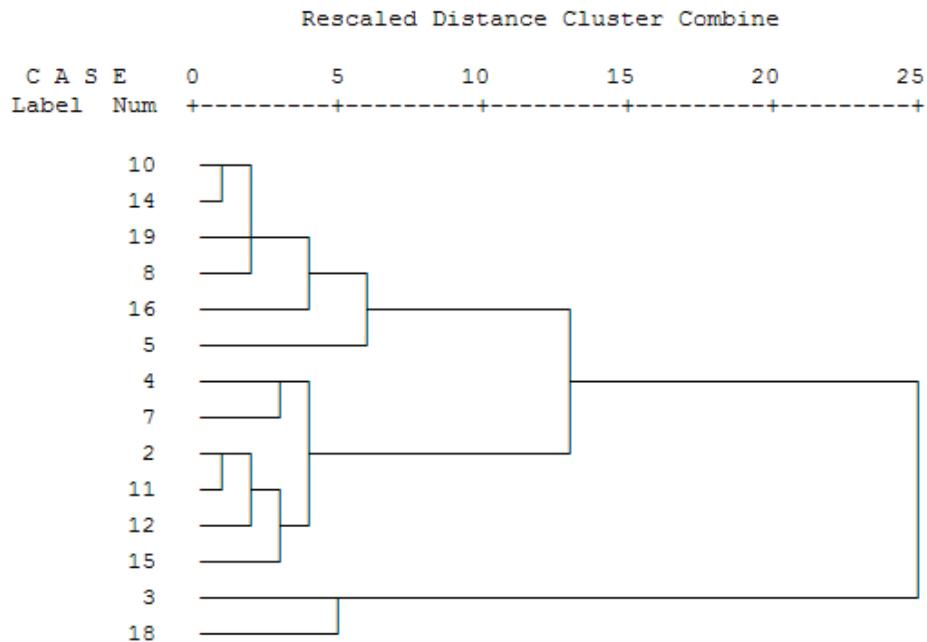
cidade dos ventos homogêneas.

Como a proximidade física das localidades não garante semelhança entre as velocidades dos ventos entre elas ocorreram casos em que aparece a mesma região homogênea em áreas distintas do Estado, de acordo com a Tabela 1.

Figura 4 – Dendrograma do agrupamento obtido pelo método de WARD com dados padronizados da velocidade média diária nas 19 estações meteorológicas do MS

***** H I E R A R C H I C A L C L U S T E R A N A L Y S I S *****

Dendrogram using Ward Method



Fonte: Dados da pesquisa

A Tabela 3 mostra as três regiões homogêneas determinadas pelo método de Ward, onde mostra a velocidade média das regiões. Na região 1 com uma velocidade média de 14,8 Km/h com um mínimo de 13,3 a

17,9 Km/h a região 2 com um mínimo de 10 a um máximo de 15 km/h e a região com 3 com uma variação de 16,5 a 19,1 Km/h.

Tabela 3 – Regiões homogêneas com velocidade média diária dos ventos

Região	Estações Meteorológicas	Velocidade média dos ventos Km/h
<i>R1</i>	<i>Maracaju, Ponta Porã, Sidrolândia, Dourados, Rio Brilhante, Chapadão do Sul</i>	<i>14,8</i>
<i>R2</i>	<i>Cassilândia, Coxim, Aquidauana, Miranda, Nhumirim, Paranaíba.</i>	<i>11,4</i>
<i>R3</i>	<i>Campo Grande, Sete Quedas</i>	<i>17,8</i>

Fonte: Dados da pesquisa

4 CONCLUSÃO

Os métodos no processo de caracterização do potencial eólico do estado de Mato Grosso do Sul, segundo a variabilidade espacial e temporal da velocidade média dos ventos diários e a classificação da velocidade dos ventos, usando o método aglomerativo de Wards, segundo o critério da inércia, possibilitou a obtenção de três grupos homogêneos na região em estudo e as regiões que apresentaram maiores valores de velocidade média diária dos ventos foi a região três. As duas primeiras componentes principais explicaram em 80% da variância dos dados estudados.

REFERÊNCIAS

- BARRETO, A. B.; ARAGÃO, M. R. S. Estudo do ciclo diário do vento à superfície no nordeste do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2002. 1 CD-ROM.
- BASTOS, E. J. B.; CEBALLOS, J. C.; SOBRAL, Z. R.; SIMÕES, F. Distribuição estatística da energia eólica no nordeste. Inventário Energético do Nordeste. **Fontes Energéticas Brasileiras**, v.1, 1987. p.29-33.
- BOUROCHE, J. M.; SAPORTA, G. **Análise de Dados**. Rio de Janeiro: Zahar, 1982. 117p.
- BUSSAB, W. O.; MIAZAKI, E. S.; ANDRADE, D. **Introdução à análise de agrupamentos**. São Paulo: Associação Brasileira de Estatística, 1990. 105p.
- CAMPOS, F. G. R. **Geração de Energia a partir da fonte eólica com gerados assíncrono conectado a conversor estático duplo**. 2004. 137f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- CAVALCANTI, J. A.; MELO, P. A.; PINTO, M. S. L.; NETO, P. B. C. **Planejamento de Redes Elétricas com Alto Grau de Penetração**. 2004.
- CEBALLOS, J. C.; BRAGA, C.C. Missing data assessment in a solarimetric network. **Int. J. Climatol.**, v.15, 1995. p.325-340.
- DURAN, B. S.; P. L. ODELL. **Cluster Analysis**. Velarg: Asurvey Springer, 1974. 137p.
- ESTEBAN, P.; MARTIN-VIDE, J.; MASES, M. Daily atmospheric circulation catalogue for western Europe using multivariate techniques. **Int. J. Climatol.**, v.26, 2006. p.1501-1515.
- EVERITT, B.S. **Cluster analysis**. London: Heinemann Educational Books, 1974. 121p.
- FRAGOSO, M.; GOMES, P. T. Classification of daily abundant rainfall patterns and associated large-scale atmospheric circulation types in Southern Portugal. **Int. J. Climatol.**, v.28, 2008. p.537-544.
- GARAYALDE, E. J. G.; SILVA, M. G. A. DA; TAVARES, A. DE SÁ. Classificação meso-climática da região sul do Brasil pela análise de componentes principais. In: Congresso Interamericano de Meteorologia, 1º Congresso Brasileiro de Meteorologia, Brasília, 1986. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1986. p.119-124.
- GONG, X.; RICHMAN, M. B. On the application of analysis to growing season precipitation data in North East of the Rockies. **J. Climate**, v.8, 1995. p.897-924.
- GUIMARÃES, A. S. L.; NEVES, F. A. S.; CARVALHO JR.; M. A., CAVALCANTI, M. C.; AQUINO, R.R.B. **Modeling Wind Generation**

JUSTUS, C.G; MIKAIL, A. **Height variation of wind speed and wind distribution. Geophysical Research Letters**, Boston, v.3, 1976. p.261-264.

LORENZ, E. N. **Empirical orthogonal function and statistical weather prediction.** Cambridge: MIT, 1956. 49p. Disponível em: <<http://WWW.o3d.org/abracco/Atlantic/Lorenz1956.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2010.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada:** uma abordagem aplicada. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

NERY, J. T.; SANSIGOLO, C. A.; MARTINS, M. L. O. F. Análise de fatores comuns e agrupamentos das temperaturas mínimas de inverno no Estado do Paraná. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 11., Florianópolis, 1999. **Anais...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1999. p.1036-1043.

OFICIAL da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 29 abr. 2002. Seção 1. p.2.

PANDZIC, K. Principal component analysis of precipitation in the Adriatic-Pannonian area of Yugoslavia. **J. Climatol** , v.8, 1988. p.357-370.

PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, BRASIL. **Lei nº 10.438**, de 26 de abril de 2002.

SAUER, I. L.; QUEIROZ, M. S.; MIRAGAYA, J. C. G.; MASCARENHAS, R. C.; QUINTINO JUNIOR, A. R. Energias Renováveis: ações e perspectivas na Petrobrás. **Bahia e Análise e Dados**, v.16, n.1, 2006. p.9-22.

SILVA, G. R.; **Características de vento da região nordeste:** análise modelagem e aplicações para projetos de centrais eólicas. 2003. 131f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

SOUZA, A; GRANJA, S.C. Estimativa dos parâmetros “C” e “K” do modelo de Weibull e da direção dos ventos para Campo Grande e Dourados, MS, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, 1997. p.109-114.

WARD, J. H. hierarchical grouping of optimize an objective function. **J. American Statistical Association**, v.58, 1963. p.236-244.

Recebido em: 13 de Abril de 2015
Avaliado em: 15 de Maio de 2015
Aceito em: 15 de Maio de 2015

1. Graduado em Física, Mestrado em Meteorologia e Doutorado em Tecnologias Ambientais Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. E-mail: amaury.de@uol.com.br).

