Factory analysis applied to variability wind in the state of Paraíba

Welinagila G. de Sousa^{*}, Madson T. Silva^{**}, Santana L. de Lima^{***}, Mariana da S. Siqueira^{***}
Maria M. M. S. Melo^{***}, Antônia S. de Andrade^{***}

^{*}Bolsista de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande -UFCG, Campina Grande, Paraíba, Brasil, e-mail: welinagilagrango@gmail.com (autor correspondente)

^{**}Professor Doutor da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas-UACA, UFCG

^{***}Bolsista de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, UFCG

Received 22 August 2019; accepted 30 October 2019

Abstract

Wind is a weather variable of great importance in many applications. However, a detailed understanding of both temporal and spatial behavior is necessary in order to understand the factors that may interfere with its variability. The methodology used in the present study was based on the application of the multivariate statistical technique based on factor analysis (FA) in order to analyze the wind speed variability in the Paraíba State microregions. The data used to constitute the study are CFSR reanalysis data validated with data observed from six INMET stations covering the period from January 2000 to December 2010. According to the study, it was found that the lowest wind speed values Paraíba occur in the first semester and the highest values were obtained in the second semester. Through Factor Analysis (FA), greater weights were identified in the total variation explained by the first two factors, representing about 100% of the total data variance, where the first factor correlates with a period of lower wind variability for the region. the second with the most variable wind speed range.

Keywords: identification, multivariate analysis, factors.

Análise fatorial aplicada à variabilidade do vento no estado da Paraíba

Resumo

O vento é uma variável meteorológica de suma importância em diversas aplicações. Contudo, se faz necessário uma compreensão detalhada do seu comportamento tanto temporal quanto espacial, a fim de entender os fatores que possam interferir em sua variabilidade. A metodologia utilizada no presente estudo baseou-se na aplicação da técnica estatística multivariada a partir da análise fatorial (AF) com o objetivo de analisar a variabilidade da velocidade do vento nas microrregiões do Estado da Paraíba. Os dados utilizados para constituir o estudo foram de reanálises provenientes do CFSR validados com dados observados de seis estações do INMET compreendendo o período de janeiro 2000 a dezembro de 2010. De acordo com estudo, constatou-se que os menores valores de velocidade do vento sobre a Paraíba decorrem no primeiro semestre e os maiores valores foram obtidos no segundo semestre. Mediante Análise Fatorial (AF), identificou-se maiores pesos na variação total explicada por dois fatores (mínima e máxima), representando cerca de 100% da variância total dos dados, onde o primeiro fator correlaciona-se com período de menor variabilidade de vento para a região, já o segundo com o intervalo de maior variabilidade de velocidade do vento.

Palavras-Chave: identificação, análise multivariada, fatores.

1. Introdução

O vento é definido como o movimento do ar, cujo mecanismo inicial se dá em decorrência da diferença de gradientes de pressão atmosférica existente entre regiões, os quais se deslocam sempre de locais de maiores pressões para os de menores. Essas diferenças de pressão ocorrem por causa da distribuição desigual da radiação solar no globo

terrestre, além de outros fatores presentes, como por exemplo, continentalidade, oceano, latitude e altitude (Wallace e Hobbs, 2006). Para Moraes (2013), a variabilidade dos padrões de velocidade dos ventos acontece em escala espacial e temporal sendo regulada pela distribuição sazonal.

O conhecimento a respeito do vento próximo à superfície terrestre, bem como, nos altos níveis da atmosfera é de grande relevância para os mais diversos

setores da sociedade, devido sua influência direta no tempo e no clima. Sendo esta uma das variáveis meteorológicas mais importantes, porém, pouco estudada, possuindo grande variação tanto em curto quanto em longo prazo (Tomasini, 2011).

Cada lugar dispõe de fatores próprios que interferem tanto na probabilidade quanto na intensidade da velocidade vento, aumentando ou diminuindo o mesmo (Romero, 2000). Segundo Campanhoni (2011) uma peculiaridade de grande importância no deslocamento de massas de ar é a rugosidade do terreno, em decorrência da perda de energia por atrito. Tendo em vista que quanto mais rugosidade maior será o atrito e consequentemente menor a velocidade do vento, principalmente a superfície, aumentando a turbulência de seu fluxo.

Um dos maiores obstáculos relacionados ao estudo de variabilidade do vento é a falta de dados observados. Um banco de dados longo e de qualidade é fundamental para estudos dessa natureza. Uma forma de amenizar esse problema é a utilização de dados de reanálise devido à disponibilidade de informações, atendendo, assim, às necessidades da pesquisa (Mariano et al., 2017).

Uma quantidade significativa de estudos tem sido realizada a fim de avaliar as características do vento, assim como, o potencial eólico em locais específicos, aplicando, por exemplo, funções estatísticas, objetivando estimativas confiáveis para tomadores de decisões (Shoaib et al., 2019).

Oliveira (2013) utilizou alguns índices estatísticos para avaliar os modelos numéricos BRAMS e WRF, como ferramentas para gerar cenários com condições favoráveis de vento no estado da Paraíba no período de 2007 a 2009. Shu et al. (2015) buscaram investigar as características do vento em diferentes localizações em Hong Kong, além de estimar o potencial de energia eólica por meio de análise estatística.

Silva (2017) analisou a variabilidade do vento no litoral do Ceará e na região do Lago de Sobradinho, através de métodos de previsão de vento em curto prazo, empregando modelos estatísticos lineares e não-lineares. Qing (2018) apresenta uma análise estatística das características do vento na ilha de Santiago, utilizando dados históricos de velocidade e dados de potência do parque eólico de Santiago em 2014.

Sabe-se que o vento é um elemento meteorológico que apresenta grande importância para as atividades humanas, onde alterações em seu comportamento precisam ser compreendidas, principalmente em áreas nas quais a demanda de seu uso é crescente, a exemplo do estado da Paraíba. Contudo, nenhum estudo foi realizado com a finalidade de caracterizar o vento nas microrregiões paraibanas, auxiliando na identificação e compreensão de mecanismos físicos que influenciam em seu regime.

Nesse contexto, esse estudo tenta prover informações sobre o comportamento mensal, sazonal e anual do vento, bem como, avaliar a variabilidade da velocidade dessa variável nas microrregiões do estado da Paraíba por meio da aplicação da técnica estatística de análise multivariada (Análise Fatorial).

2. Material e métodos

Área de estudo

O Estado da Paraíba localiza-se na região Nordeste do Brasil com uma área de 56.372 km², correspondente a 0,66% do território nacional, estando posicionado entre os paralelos 6°02'12" e 8°19'18"S, e entre os meridianos de 34°45'54" e 38°45'45"W. Ao norte, limita-se com o Estado do Rio Grande do Norte; a leste, com o Oceano Atlântico; a oeste, com o Estado do Ceará; e ao sul, com o Estado de Pernambuco (Francisco, 2010). Na Figura 1 é retratada a localização da Paraíba juntamente com suas microrregiões.

Figura 1 - Localização do Estado da Paraíba e suas microrregiões.

Clima e Relevo

Situado próximo à linha do Equador, o Estado da Paraíba tem clima quente, com médias de temperatura que variam de 28 °C no litoral, 22 °C no Planalto da Borborema, chegando a 30°C no interior do Estado. Quanto à geomorfologia, encontram-se dois grupos compostos pelos tipos climáticos mais importantes do Estado: úmido, subúmido e semiárido. São eles: Setor Oriental úmido e subúmido e Setor Ocidental subúmido e semiárido (PARAÍBA, 2006).

O relevo do Estado da Paraíba (Figura 2) apresenta-se bastante diversificado de forma geral, constituindo-se por formas de relevo distintas trabalhadas por diferentes processos, atuando sob climas diferentes e sobre rochas pouco ou muito diferenciadas (PARAÍBA, 2006).

A cobertura vegetal do Estado da Paraíba é bastante variada devido a suas condições ambientais, caracterizando-se por formações florestais definidas, como caatinga arbustiva arbórea aberta, caatinga arbustiva arbórea fechada, caatinga arbórea fechada, tabuleiro costeiro, mangues, mata-úmida, mata semidecidual, mata atlântica e restinga (Rodriguez, 2012).

O litoral do estado apresenta matas, mangues e cerrados, que recebem a denominação de tabuleiro, composto por gramíneas e arbustos tortuosos, principalmente representados, entre outras espécies por batiputás e mangabeiras. As matas, formadas por floresta Atlântica registram a presença de árvores altas como a peroba e a sucupira, já os manguezais, localizados nos estuários, apresentam árvores com raízes de suporte, adaptadas à sobrevivência neste tipo de ambiente natural. Ao que diz respeito à vegetação do planalto da Borborema e do Sertão, ambas caracterizam-se pela presença da caatinga, em virtude do clima quente e seco característico da região. A caatinga pode ser do tipo arbóreo, com espécies como a baraúna, ou arbustivo representado, entre outras espécies pelo xique-xique e o mandacaru (Andrade et al., 2005; Rodriguez, 2012).

De acordo com Sales e Ramos (2000), em todo o Nordeste brasileiro assim como no território paraibano, as oscilações de temperatura do ar baseiam-se mais nas condições topográficas locais do que daquelas decorrentes de variações latitudinais.

Figura 2 - Relevo do Estado da Paraíba.

Dados utilizados

Neste estudo foram utilizados dados observados de velocidade do vento obtidos de seis estações observacionais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), assim como dados de reanálises da velocidade do vento do Climate Forecast System Reanalysis (CFSR), ambos para o período de janeiro de 2000 a dezembro de 2010. Na Figura 3 observa-se a distribuição dos pontos de grades para as estações de reanálise, assim como a identificação das estações observacionais inseridas na região da Paraíba, as quais foram usadas para obtenção dos índices de correlação e determinação quando comparadas com os pontos de reanálise próximos.

Análise Estatística

Coefficiente de Determinação

Para contribuir na validação dos dados, foi empregado o coeficiente de determinação (R^2) a fim de medir a quantidade da variação entre as variáveis indicando o quanto o modelo consegue explicar os valores observados. O coeficiente de determinação é o quadrado do coeficiente de correlação dada pela Eq. (1), proposta por Morettin (1991):

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x}_i) \cdot (x_0 - \bar{x}_0)}{\sqrt{[\sum(x_i - \bar{x}_i)^2] \cdot [\sum(x_0 - \bar{x}_0)^2]}} \quad (1)$$

em que:

x_i representa o valor dos dados estimados e

x_0 representa o valor dos dados observados.

Figura 3. Distribuição das estações observacionais (INMET) e pontos de grades (CFSR).

Análise Fatorial (AF)

Essa técnica propiciou a identificação de dimensões isoladas da estrutura dos dados, indicando em seguida o grau em que cada variável é elucidada por dimensão ou fator (Manly, 2008). A partir da Eq. (2) a composição do modelo de análise fatorial foi estimada.

$$X_i = a_i F + \varepsilon_i \quad (2)$$

em que:

$X = (X_1, X_2, \dots, X_m)$ é um vetor transposto p dimensional de variáveis aleatórias observáveis;

$F = (F_1, F_2, \dots, F_m)$ é um vetor transposto r dimensional com ($r < m$) de variáveis não observáveis ou fatores (ou variáveis latentes);

$\varepsilon_i = (\varepsilon_{i1}, \varepsilon_{i2}, \dots, \varepsilon_{in})$ é um vetor transposto p dimensional de erros aleatórios ou fatores únicos, e

$a_i =$ é a matriz (p, q) de constantes desconhecidas, chamadas de cargas fatoriais.

O critério desenvolvido pelo teste Kaiser Meyer Oklin (KMO) foi usado na escolha do número de fatores adequados ao estudo, com base no grau das correlações simples com as correlações parciais de

acordo com a Eq. (3) (Garayalde et al., 1996).

$$KMO = \frac{\sum_{i \neq j} \sum r_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} \sum r_{ij}^2 + \sum_{i \neq j} \sum a_{ij}^2} \quad (3)$$

em que:

r_{ij}^2 = para todo $i \neq j$ é o coeficiente de correlação original entre variáveis;

a_{ij}^2 é o quadrado dos elementos fora da diagonal da matriz anti-imagem da correlação e este corresponde ao coeficiente de correlação parcial.

Com o objetivo de redistribuir a variância dos primeiros fatores para os demais alcançando um padrão fatorial mais simples e teoricamente mais significativo fez-se uso da técnica de rotação dos fatores a partir do método "Varimax" (Hair et al., 2005). Sendo necessário aferir se a matriz de correlações é uma matriz identidade e avaliar a provável adequação da análise fatorial. Portanto, foi usado o teste de esfericidade de Bartlett a partir da Eq.(4).

$$X^2 = - \left[n - 1 - \frac{1}{6} (2p + 5) \right] \sum_{i=1}^p \ln \lambda_i \quad (4)$$

em que:

λ_i representa a variância explicada por cada fator;
n é o número de observações e
p o número de variáveis envolvidas no processo.

A cumunalidade foi utilizada como critério para validação das variáveis no ajuste do modelo fatorial e foi determinada pela estimativa da variância de X_i explicada através dos fatores comuns e foi determinada seguindo a Eq.(5).

$$h_i^2 = a_{i1}^2 + a_{i2}^2 + \dots + a_{im}^2 \quad (5)$$

Por meio do número de observações que constituem o conjunto de dados analisados torna-se crucial a delimitação ou a seleção das dimensões que venham a descrever com maior grau a variabilidade presente na análise. A técnica de raiz latente como método restritivo para limitar a quantidade de fatores foi usada no devido estudo.

3. Resultados e discussão

Validação

A comparação entre as séries temporais das duas bases de dados mostra que no período apresentado, compreendido entre os anos de 2000 e 2010, os dados da reanálise do CFSR são representativos do observado nas estações do INMET utilizadas. Tais representatividades podem ser observadas nos diagramas de dispersão na Figura 4.

Ressalta-se que, neste processo, os resultados obtidos apresentaram correlações forte e muito forte com os valores de coeficiente de correlação (r) variando entre 0,7940 (Areia) e 0,9692 (São Gonçalo). Contudo, no que diz respeito ao coeficiente de determinação na representação dos dados velocidade do vento, Areia apresentou o menor coeficiente dentre todas as outras estudadas (0,6304), no entanto os efeitos orográficos podem ter vindo a atenuar a capacidade de previsão do modelo. Já a estação com o valor mais satisfatório foi São Gonçalo (0,9394).

Ainda em relação à validação, os meses nos quais denotaram melhor ajuste, ou seja, com valores mais próximos de zero para todas as estações compreenderam o período chuvoso na qual as mesmas estão localizadas. Ainda assim as estações de Patos, Monteiro, Areia, João Pessoa e São Gonçalo superestimaram os valores observados, onde apenas Campina Grande subestimou os resultados, segundo Reboita et al. (2016) este fato pode vir a ser explicado em decorrência do Planalto da Borborema, o qual reduz os valores de velocidade do vento assim como a umidade do ar.

Considerando-se os valores das médias mensais da velocidade do vento e os valores de correlação, de maneira geral os resultados adquiridos pela reanálise do CFSR apresentadas neste trabalho sugerem que o modelo é capaz de representar bem o comportamento do vento de forma satisfatória. A partir de então, os resultados mostrados foram obtidos somente por meio do uso dos dados da reanálise meteorológica do CFSR.

Figure 3 - Tendências dos valores diários da precipitação (P) e da evapotranspiração de referência (ET_0) durante o ano de 2016 no município de Camocim, estado do Ceará, Nordeste do Brasil.

Variabilidade da velocidade do vento

A Paraíba caracteriza-se por dois regimes de chuvas, o primeiro compreende de fevereiro a maio, nas regiões do Alto Sertão, Sertão e Cariri/Curimataú; e o segundo de abril a julho, no Agreste, Brejo e Litoral. Essas regiões homogêneas foram estabelecidas

por Braga e Silva (1990) por meio de técnicas objetivas de análise multivariada, distribuídas em mesorregiões, facilitando o estudo do estado.

Na Paraíba as variações do vento podem estar relacionadas tanto a movimentação da ZCIT quanto a efeitos de mesoescala, tais como fatores térmicos

oceano-continente no litoral assim como variações térmicas no interior. No decorrer dos meses de março e abril, em razão da maior proximidade da ZCIT, provocando forte convecção e chuvas constantes, a intensidade dos ventos tendem a diminuir. Nos meses subsequentes, o retorno da ZCIT para as latitudes equatoriais promove maiores gradientes de pressão atmosférica, favorecendo a intensificação dos ventos, com ápice em setembro (Silva, 2003).

A Figura 5 exibe média histórica da variabilidade mensal do vento para o Estado da Paraíba durante o período estudado, constatando diferentes intensidades dessa variável ao longo dos meses que abrange o intervalo de 2000 a 2010. As maiores velocidades de vento estão presentes no quadrimestre de agosto a novembro e as menores nos primeiros cinco meses, apresentando os meses com menores intensidades, março e abril, ambos com médias em

torno de 3,0 m/s e com maiores intensidades, setembro e outubro, os dois com média em volta de 4,5 m/s. Desta forma, fica evidente que os valores menores ocorrem no período chuvoso das regiões, enquanto que os maiores valores de velocidade do vento ocorrem no período mais seco.

Em estudo parecido Malacarne e Ribeiro (2018) a fim de analisar a frequência e o padrão dos ventos na região da Grande Vitória, observou que ventos mais velozes sopram em setembro e outubro, e continuam no verão, um pouco menos intensos, seguidos de abril e março com ventos mais fracos. Lima (2011) avaliando o potencial eólico de cinco localidades do Estado da Paraíba constatou o mesmo regime de velocidade do vento citado acima, com presença de ventos máximos no segundo semestre (período seco das regiões) e valores menores ocorrem no primeiro semestre (período chuvoso das regiões).

Figura 5 - Variabilidade média mensal da velocidade do vento para o estado da Paraíba no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2010.

Ao longo do ano a circulação geral da atmosfera sofre algumas alterações, ocasionando variações sazonais na velocidade do vento. Contudo, no que diz respeito a essa variabilidade sazonal tem-se que de acordo com a Figura 6, no verão e outono o vento tem as menores intensidades, 3,7 e 3,2 m/s (média) (ambas no terceiro quartil) e amplitudes, 1,4 e 1,3 m/s, ao passo que o inverno e primavera apresentam uma maior intensidade, 4,1 m/s (primeiro quartil) e 4,5 m/s (terceiro quartil) (média) e amplitude 1,9 e 2,0 m/s. Observa-se que o período de menores amplitudes deve-se eventualmente aos fatores atuantes

na atmosfera, como baixa intensidade dos raios solares, alta cobertura de nuvens, flutuações irregulares da umidade relativa do ar e oscilação da pressão atmosférica (Francisco et al., 2016).

Os dados demonstram que existe uma sazonalidade bem definida ao longo do período estudado, com maiores velocidades do vento em torno do período mais seco para a região, os quais compreendem o inverno e a primavera. Em estudo similar a fim de verificar a variabilidade do vento em algumas localidades do Nordeste, Chaves Filho (2016) denotou que Palmeira dos Índios, Remanso, Acaraú,

São Luís, São Gonçalo e Petrolina, nos meses do outono se encontram os ventos mais fracos e os meses da primavera os ventos mais fortes.

Nota-se a existência de valores discrepantes tanto no outono quanto na primavera, configurando

meses que tiveram velocidades anormais quando comparada com os mesmos meses dos outros anos, sendo as mesmas estações de transição, denotando assim possivelmente mais turbulência que o inverno e verão.

Figura 6- Variabilidade média sazonal da velocidade do vento para o estado da Paraíba no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2010, referente às estações do ano

Regime semelhante foi evidenciado por Silva (2017) ao ilustrar o padrão de sazonalidade do vento durante o ano de 2010 para o nordeste, assim como o período de transição entre o intervalo de máximas e o de mínimas intensidades do vento. Em estudo correlato os autores Carneiro e Carvalho (2015) em uma avaliação estatística para caracterização do potencial eólico para três municípios (Maracanaú-CE, Petrolina-PE e Parnaíba-PI) observaram que nas localidades estudadas existe uma sazonalidade bem definida, com maiores velocidades do vento também em torno do período mais seco (segundo semestre).

Análise fatorial

A partir dos resultados obtidos e mostrados na Tabela 2, conseguiu-se analisar mediante teste de Kaiser Meyer Olkin – KMO os padrões que existem entre as correlações presentes entre os indicadores usados, além de constatar a relação dos grupos de meses (estações) com padrões espaciais semelhantes

(microrregiões) no estado paraibano. O Teste KMO indicou um valor de 0,8343, superior ao patamar crítico de 0,60, mostrando assim que existe correlações entre as variáveis, e, por conseguinte a matriz de correlação identidade pode ser rejeitada de acordo com (Hair et al., 2005) e, dessa forma, o passo seguinte foi determinar o número de fatores a serem extraídos.

Ao observar que os dados estão adequados, foi possível extrair os fatores nos quais irão explicar a variância total do conjunto de dados. Segundo Silva (2014) quando o conjunto de variáveis é transformado em fatores, o método extrai as combinações de variáveis que explicam a variância máxima e, em seguida, as combinações que explicam as menores variâncias. O mesmo autor ressalta que o melhor ajuste dos dados é obtido a partir da explicação da variância pela ordem decrescente dos autovalores que correspondem a quanto o fator é capaz de explicar da variância ou, ainda, quanto da variância total dos dados pode ser associada ao fator.

Tabela 1- Teste Kaiser Meyer Olkin – KMO

Indicadores	KMO
Janeiro	0,9263
Fevereiro	0,9252
Março	0,8514
Abril	0,7622
Maio	0,8549
Junho	0,8013
Julho	0,7523
Agosto	0,8487
Setembro	0,8489
Outubro	0,7950
Novembro	0,8997
Dezembro	0,7869
KMO	0,8343

A Figura 7 apresenta a distribuição do Scree plot da dispersão da quantidade de fatores, juntamente com a curva de variância de cada fator particularmente, e verificando assim o momento em que a curva tende a

decair de forma brusca ou tornar-se horizontal, sendo possível identificar o momento em que se deve parar de extrair os fatores.

Figura 7-Scree plot - curva de variância de cada fator.

A partir dos resultados identificaram-se de início quatro fatores de maior influência na variável velocidade do vento, Tabela 3, os quais apresentam capacidade de explicar 98,15% da variabilidade total existente. Cada fator apresenta um conjunto de variáveis que caracteriza a variabilidade do vento nas microrregiões do Estado da Paraíba de acordo com os valores mensais de vento. Por conseguinte, os

autovalores obtidos na análise fatorial foram submetidos à rotação VARIMAX com intuito de identificar quais variáveis melhor representam os fatores facilitando a interpretação dos resultados, por meio da rotação dos eixos. Os dois primeiros fatores explicam cerca de 100% da variância total, onde o primeiro representa 53,21 e o segundo 43,67.

Tabela 3- Variância total explicada pelos fatores antes e após a rotação.

Fatores	Início			Rotação Varimax	
	Autovalores	Variabilidade (%)	% Variância acumulada	Variabilidade (%)	% Variância acumulada
F1	10,35	86,27	86,27	53,21	53,21
F2	1,27	10,61	96,88	43,67	96,87
F3	0,14	1,15	98,03	-	-
F4	0,01	0,12	98,15	-	-

De acordo com os fatores obtidos após a rotação Ortogonal, Figura 8, o primeiro fator correlaciona-se com o intervalo de outubro a maio com atributos mais significativos, compreendendo a primavera, verão e outono, período de menor variabilidade de velocidade do vento para a região. Ao estudar a variação da velocidade e direção do vento, bem como determinar a densidade de potência eólica para as estações de São Gonçalo, Monteiro, Patos, Campina Grande e João Pessoa Lima et al. (2010a) destacou que valores menores ocorrem no primeiro semestre do ano, período chuvoso das regiões.

O segundo fator, Figura 8, reteve as melhores correlações no intervalo entre os meses de junho a setembro como mais significantes, abrangendo o inverno e início da primavera, período no qual apresenta as maiores velocidades de vento. Lima et al. (2010a) com base nas medições da velocidade média dos ventos para cinco estações no Estado da Paraíba destacou como característica interessante a presença de ventos máximos no segundo semestre do ano, período em que as chuvas cessam na região (final do inverno, primavera e início do verão).

Os autores Lima et al. (2010b) por meio da análise fatorial aplicada a diferentes regiões do Nordeste, a fim de avaliar a velocidade do vento, constataram o mesmo padrão de correlação dos fatores com o presente estudo, onde o primeiro fator rotacionado apresentou correlações mais significativas com o período de primavera, verão e início do outono, e o segundo fator com o inverno. Com base no Atlas Solarimétrico do Brasil (2000) a maior quantidade de energia solar para o Estado da Paraíba é verificada

entre os meses de agosto e março, o mês de maior incidência é outubro, para os meses de abril a julho menor disponibilidade de energia solar.

O regime de ventos determina a intermitência na geração de energia eólica, sendo esta proveniente em parte da radiação solar que aquece a superfície terrestre possibilitando o aparecimento dos ventos. Contudo, tais fenômenos acontecem de maneira não uniforme devido à incidência dos raios solares e sua variação sazonal, à rotação da Terra, diferença de capacidade térmica de absorção de calor entre os elementos de cada região, entre outros fatores, formando deslocamentos de massa de ar distribuídos de forma característica para cada região do planeta (Dutra, 2008).

Marinho et al. (2006) e Marinho e Aquino (2009) retratam a elevada produção de energia elétrica a partir da utilização do potencial eólico da região Nordeste, a qual o Estado está inserido, evitando a utilização de recursos hídricos, em especial no segundo semestre do ano, período em que se verificam as menores vazões afluentes e ao mesmo tempo as maiores velocidades dos ventos que sopram na região.

A configuração espacial dos dois fatores é apresentada na Figura 9. O primeiro fator é bem correlacionado com as microrregiões de Cajazeiras, Cariri Ocidental, Cariri Oriental, Catolé do Rocha, Curimataú Ocidental, Curumataú Oriental, Itaporanga, João Pessoa, Litoral Norte, Piancó, Seridó Oriental e Sousa. O segundo fator apresenta boa correlação com as microrregiões do Brejo Paraibano, Campina Grande, Esperança, Guarabira, Itabaiana, Litoral Sul, Patos, Sapé, Seridó Ocidental, Serra do Teixeira e Umbuzeiro.

Figura 8- Contribuição dos dois fatores, variação temporal.

Figura 9- Distribuição das microrregiões relacionadas com os fatores.

O padrão espacial do fator um, mostra contribuições negativas na faixa que abrange o Sertão da Paraíba (Cajazeiras, Catolé do Rocha, Itaporanga, Piancó e Sousa). Este fator também apresenta contribuições positivas para as microrregiões do Cariri Ocidental, Cariri Oriental, Curimataú Ocidental, Curimataú Oriental, João Pessoa, Litoral Norte e Seridó Oriental. As contribuições negativas estão associadas a menores variabilidades da velocidade do vento, enquanto que as contribuições positivas se associam aos maiores valores de variabilidade da velocidade do vento nas devidas localidades.

O padrão espacial associado ao fator dois apresenta em grande parte contribuição (escores) negativa para as microrregiões pertencentes ao Agreste

(Brejo Paraibano, Campina Grande, Esperança, Guarabira, Itabaiana, Sapé e Umbuzeiro) e uma pequena porção da Mata Paraibana (Litoral Sul). Estas localidades denotam as menores variabilidades da velocidade do vento para a Paraíba, onde a atenuação do mesmo pode ser explicada em decorrência da topografia com a presença do Planalto da Borborema (Moreira, 2002; Rodriguez, 2012). A contribuição positiva desse fator abrange as microrregiões de Patos, Seridó Ocidental e Serra do Teixeira, as quais retratam os maiores valores de variabilidade da velocidade do vento, sendo razoável supor que fatores ambientais, como temperatura do ar, diferenças de pressão e a orografia dessas localidades são condições influenciadoras na velocidade do vento, produzindo

variações em suas velocidades (Reboita et al., 2016; Shoaib et al., 2019).

4. Conclusões

Os dados de reanálises do CFSR mostraram-se representativos quando validados aos observados. Quanto aos coeficientes de determinação verifica-se que o menor valor foi apresentado para Areia, onde os efeitos orográficos podem ter vindo a atenuar a capacidade de previsão do modelo para essa determinada região.

Diante dos resultados, constata-se que os menores valores de velocidade do vento sobre a Paraíba decorrem no primeiro semestre, ou seja, entre o verão e o outono. De antemão os maiores valores foram obtidos entre o inverno e a primavera (segundo semestre), primordialmente na primavera para a qual se alcançaram os valores mais elevados. Com relação ao cenário mensal os meses de março e abril, apresentam velocidades relativamente baixas para o período averiguado, todavia setembro e outubro apontaram valores máximos, revelando a coerência da intensificação e desintensificação dos ventos de acordo com as características sazonais.

Os resultados da Análise Fatorial indicaram maiores pesos na variação total explicada pelos dois primeiros fatores, retratando cerca de 100% da variância total dos dados de velocidade do vento onde o primeiro fator correlaciona-se com o período de menores velocidades de vento para a região, a segunda componente reteve as melhores correlações para o período de maiores velocidades.

Referências

- Andrade, L.A., Pereira, I.M., Leite, U.T., Barbosa, M. R. V., 2005. Análise da cobertura de duas fitofisionomias de caatinga, com diferentes históricos de uso, no município de São João do Cariri, estado da Paraíba. *Revista Cerne* 11, 253-262.
- Atlas Solarimétrico do Brasil, 2000. Banco de Dados Solarimétricos. Ed. Universitária da UFPE, Recife.
- Braga, C.C., Silva, B.B., 1990. Determinação de regiões pluviometricamente homogêneas no estado da Paraíba. Congresso Brasileiro de Meteorologia, Salvador.
- Campanhoni, A., 2011. Implantação dos Edifícios em Águas Claras- DF: Influência no Desempenho Térmico Ambiental dos Espaços Abertos. Dissertação (Mestrado). Brasília, UNB.
- Carneiro, T.C., Carvalho, P.C.M., 2015. Caracterização de potencial eólico: estudo de caso para Maracanaú (CE), Petrolina (PE) e Parnaíba (PI). *Revista Brasileira de Energia Solar* 6, 61-10.
- CFSR. Climate Forecast System Reanalysis. Disponível: <https://globalweather.tamu.edu/>. Acesso: 3 jun. 2019.
- Dutra, R., 2008. Energia eólica princípios e tecnologias. CRESESB - Centro de referência para energia solar e eólica Sérgio de Salvo Brito. Rio de Janeiro.
- Chaves Filho, J.B., 2016. Variabilidade da velocidade do vento a 10 metros para a região nordeste do Brasil. Dissertação (Mestrado). Campina Grande, UFCG.
- Francisco, P.R.M., 2010. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. Dissertação (Mestrado). Areia, UFPB.
- Francisco, P.R.M., Santos, D., Guimarães, C.L., Cabral, D.E.C., Araújo, S.R.D., 2016. Aptidão climática da mamona (*Ricinus communis* L.) para o Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física* 9, 737-75.
- Garayalde, E.J.G., Silva, M.G.A., Tavares, S.A., 1996. Classificação Mesoclimática da região Sul do Brasil pela análise de componentes principais. Congresso Interamericano de Meteorologia, Brasília.
- Hair, J.J.F., Anderson, R.E., Tatham, R.L. Black, W.C., 2005. Análise Multivariada de Dados. Bookman, Porto Alegre.
- Lima, F.J.L., Cavalcanti, E.P., Souza, E.P.V., 2010a. Avaliação do potencial eólico em cinco regiões do estado da Paraíba. *Revista de Geografia* 27, 138-153.
- Lima, F.J.L., Braga, C.C., Silva, E.M., 2010b. Emprego da análise de componente principal e agrupamentos a dados de vento em regiões do nordeste do Brasil. Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém.
- Lima, F.J.L., 2011. Avaliação do potencial eólico no estado da Paraíba: um estudo observacional e numérico. Dissertação (Mestrado). Campina Grande, UFCG.
- Malacarne, M., Ribeiro, F.K., 2018. Análise da frequência e do padrão dos ventos na região da Grande Vitória entre 2006 e 2016. *Revista Geonorte* 9, 137-159. doi: 10.21170/geonorte.
- Manly, B.F.J., 2008. Multivariate Statistical Methods: A Primer. Chapman and Hall, London.
- Mariano, E.B., Cavalcanti, E.P., Beserra, E.A., 2017. Análise comparativa da velocidade do vento simulado Pelo BRAMS com dados observados e de

- reanálises. *Revista Brasileira de Meteorologia* 32, 269-276. doi: 10.1590/0102-778632220160128.
- Marinho, M.H.N., Cerqueira, J.J.F., Martinez, L., 2006. Estudo da complementaridade hidro-eólica para regularização sazonal de energia elétrica. *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos (SBSE)*. Campina Grande.
- Marinho, M.H.D.N., Aquino, R.R.B., 2009. Oferta de energia através da complementariedade sazonal hidro-eólica. *Revista Hidro & Hydro – PCH Notícias & SHP News* 40, 7.
- Morais, P.H.L.S., 2013. Variabilidade Espaço-temporal do padrão de ventos do setor Oeste do Oceano Atlântico Equatorial. TCC (Oceanografia). Fortaleza, UFC.
- Moreira, E.R.O., 2002. Espaço Natural Paraibano. DGEOC, João Pessoa.
- Moretin, L.G., 1991. Estatística Básica. Editora McGraw-Hill do Brasil, São Paulo.
- Oliveira, S.S., 2013. Análise do potencial eólico do estado da Paraíba utilizando modelos de Mesoescala. Tese (Doutorado). Campina Grande, UFCG.
- PARAÍBA, 2006. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo e Atlas. Brasília.
- Qing, X., 2018. Statistical analysis of wind energy characteristics in Santiago Island, Cape Verde. *Revista Renewable Energy* 115, 448- 461. doi: 10.1016/j.renene.2017.08.077.
- Reboita, M.S., Rodrigues, M, Armando, R.P., Freitas, C., Martins, D., Miller, G., 2016. Causas da semi-aridez do sertão nordestino. *Revista Brasileira de Climatologia*, 19, 254-277.
- Rodriguez, J.L., 2012. Atlas Escolar Paraíba: espaço geo-histórico e cultural. Grafiset, João Pessoa.
- Romero, M.A.B., 2000. Princípios bioclimáticos para o desenho urbano. São Paulo: Pro Editores
- Sales, M.C.L., Ramos, V.M., 2000. Caracterização ambiental das áreas sob influência do reservatório de Bocaina (PI) com base na compartimentação geomorfológica. *Carta CEPRO* 18, 149-161.
- Shoaib, M., Rehman, S., Khan, S., Alhems, L. M., 2019. Assessment of wind energy potential using wind energy conversion system. *Journal of Cleaner Production* 216, 346-360. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.01.128
- Shu, Z.R., Li, Q.S., Chan, P.W., 2015. Statistical Analysis of wind characteristics and wind energy potential in Hong Kong. *Revista Energy Conversion and Management* 10, 644-657. doi: 10.1016/j.enconman.2015.05.070.
- Silva, G.R., 2003. Características de vento da região Nordeste. Dissertação (Mestrado). Recife, UFPE.
- Silva, A.B., 2014. Análise em componentes principais das condições atmosféricas em episódios de rajadas de vento na região metropolitana de Salvador. Dissertação (Mestrado). Campina Grande, UFCG.
- Silva, P.K.O., 2017. Análise e previsão de curto prazo do vento através de modelagem estatística em áreas de potencial eólico no Nordeste do Brasil. Tese (Doutorado). Campina Grande, UFCG.
- Tomasini, J., 2011. Padrão de variabilidade do vento à superfície, em Lajeado, Rio Grande do Sul, Brasil: implicações ambientais. Tese (Doutorado). Lajeado, UNIVATES.
- Wallace, J.M., Hobbs, P.V., 2006 *Atmospheric Science: an introductory survey*. Academic Press.