

## Sazonalidade do vento na cidade de Natal/RN pela distribuição de Weibull

*Jocilene Dantas Barros<sup>1</sup>*

*Maria Luiza Silva Furtado<sup>2</sup>*

*Ana Mônica de Britto Costa<sup>3</sup>*

*George Santos Marinho<sup>4</sup>*

*Fernando Moreira da Silva<sup>5</sup>*

### **Resumo**

O objetivo do artigo é avaliar o comportamento sazonal da velocidade do vento na cidade de Natal/RN, a partir de dados históricos no período de 1984 a 2012. Como metodologia fez-se uso de pesquisa bibliográfica e documental a respeito do tema, técnicas da estatística descritiva, bem como do comportamento probabilístico da intensidade do vento pela distribuição de Weibull. Os resultados mostraram que a cidade de Natal está sob o domínio dos ventos alísios de sudeste, cuja estimativa de ocorrência da sua velocidade, segundo a distribuição de Weibull é de 95% em ocorrer ventos com intensidade menor ou igual a 5,2 m/s e 90% de ocorrer ventos com velocidade menor ou igual a 5,0 m/s, apresentando uma constância sazonal.

**Palavras-chave:** Clima Urbano; Distribuição de Weibull; Estatística Descritiva.

### **Abstract**

The objective of the paper is to evaluate the seasonal behavior of the wind speed in the city of Natal/RN, from historical data for the period 1984-2012. The methodology became use of bibliographic and documentary research on the subject, techniques of descriptive statistics, and the probabilistic behavior of the wind strength by Weibull distribution. The results showed that the city of Natal is under the domination of the trade winds from the southeast, which is estimated to occur in its speed, according to the Weibull distribution, is 95% occur in intensity with winds less than or equal to 5.2 m / 90% occur if wind speeds equal or lower than 5.0 m / s, with a constant seasonal.

**Key words:** Urban Climate; Weibull distribution; Descriptive Statistics.

<sup>1</sup> Discente em Geografia Bacharelado, UFRN. Contato: jocilene\_db@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Discente em Geografia Bacharelado, UFRN. Contato: luizafurtado756@gmail.com

<sup>3</sup> Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte.

<sup>4</sup> Docente do Departamento de Engenharia Mecânica, UFRN.

<sup>5</sup> Docente do Departamento de Geografia, UFRN. Contato: fmoreyra@ufrnet.br

## Introdução

Os ventos são caracterizados por ser uma fonte de energia limpa e renovável. Isso se torna uma vantagem para o meio ambiente, para a saúde humana e como fonte de energia. Os ventos não geram emissões de gases tóxicos, não contaminam a água e também facilitam a dispersão de poluentes. O entendimento da dinâmica dos ventos e da probabilidade de seus acontecimentos é de fundamental importância, visto que interfere na vida cotidiana e possui diferentes aplicações: Geográficas, Meteorológicas, Náuticas entre outros, cujo entendimento da circulação dos ventos pode permitir avaliar melhor ações tomadas em modelos de desenvolvimento, ações e decisões.

Para a compreensão do comportamento do vento, usa-se funções estatísticas, uma forma de estudo muito utilizada pelos pesquisadores da área. Na circunstância em que a variação do vento é lenta e gradual, o uso de distribuições estatísticas é utilizado.

Desta forma, estabelecer a climatologia dos ventos no município estudado, permite uma análise das características do perfil de ventos ao longo do ano e um bom conhecimento da sua variabilidade interanual.

A fim de conhecer os efeitos adversos do vento e assim elaborar planejamentos eficazes, cada vez mais veem sendo utilizados cálculos de distribuição de probabilidade, especialmente a distribuição de Weibull, usada inicialmente em estudos de tempo de vida de equipamentos e estimativa de falhas, mas que ganhou destaque pela sua adequação na modelagem da ocorrência de ventos extremos e velocidade máxima dos mesmos.

A cidade de Natal/RN destaca-se nesse contexto, sendo uma área litorânea, que de acordo com o censo 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE tem uma população 803.739 habitantes. Nesta cidade há grande incidência de radiação solar, onde atuam constantemente ventos alísios de direção predominantemente sudeste. Estes deslocam massas de ar das zonas de alta pressão localizadas nos trópicos para a zona de baixa pressão no Equador, trazendo consigo umidade para a região.

A fim de compreender a importância dos estudos sobre vento em diferentes áreas da sociedade, foi feito um breve levantamento bibliográfico sobre o comportamento do vento numa perspectiva geográfica, sendo estes descritos a seguir.

Alguns autores abordam questões inerentes ao clima urbano e à formação de ilhas de calor, mostrando que o impedimento da circulação dos ventos nos centros urbanos, propicia, dentre outros fatores, o aumento da temperatura nestes centros em relação às suas regiões periféricas. É o caso da pesquisa de Amorim (2005), que objetivou analisar a intensidade da ilha de calor em Birigui/SP, tendo como metodologia uma coleta da

temperatura em Dezembro de 2004 e Janeiro de 2005, num período de 8 dias representativos do verão, quente e chuvoso. Dentre as causas da formação de ilhas de calor a autora destaca a “menor perda de calor sensível, devido à redução da velocidade do vento originada pelas edificações” (AMORIM, 2005, p. 10).

Veleda, Soares e Araujo (2004, n.d.) no trabalho intitulado “*Ajuste do campo de vento sobre topografia complexa aplicado a um modelo de dispersão de poluentes*” tratam da utilização do campo de vento através de ajuste de massa, para elaboração de um modelo de dispersão de poluentes na região de Iperó (SP). Depois das simulações realizadas, os autores concluem que a utilização de campo de vento homogêneo em modelos de poluição pode gerar erros de cálculo de concentração dos poluentes, por não considerar que o vento varia de um local para outro da superfície e que a Camada Limite Atmosférica também difere em sua espessura de acordo com o período do dia.

Uma análise sobre a frequência das velocidades do vento no município de Rio Grande (SP) é feita por Braga e Krusche (1998). Neste trabalho, os autores destacam que os ventos de maior velocidade apresentaram maior frequência para a direção sul, 3% e menor para a direção leste, 0,07%, trazendo assim uma relação entre velocidade e direção do vento. Justificam a importância dos estudos relacionados ao vento através de alguns exemplos, dentre eles a relação do comportamento do vento com o padrão de circulação da água superficial da Lagoa dos Patos (pertencente ao município).

Nesse contexto, verifica-se a validade da análise climatológica sobre a velocidade do vento, concordando com o objetivo do artigo, que é avaliar o comportamento sazonal da velocidade do vento na cidade de Natal/RN, fazendo uso de técnicas da estatística descritiva e paramétrica.

### **Características geográficas da área**

Natal está situada na região Nordeste do Brasil, mais especificamente ao leste do Estado do Rio Grande do Norte, com localização precisa entre as latitudes 5° 43'S e 5° 54'S entre as longitudes 35° 09'W e 35° 17'W, com altitude média de 40 metros. A cidade limita-se ao norte com Extremoz, a oeste com São Gonçalo do Amarante, ao sul com Parnamirim e a leste com o Oceano Atlântico.

O município de Natal possui 35 bairros, subdividido em quatro regiões administrativas (Figura 1), regulamentados pelo Plano Diretor em vigor, desde 1994, estabelecidos pela Lei complementar nº 07 de 05 de agosto de 1994. Possui uma

população de 803.739 habitantes (IBGE, 2010), sobre uma área total de 169,9 Km<sup>2</sup>, que resulta em uma densidade demográfica de 4.808,20 hab/ha (IBGE, 2010).

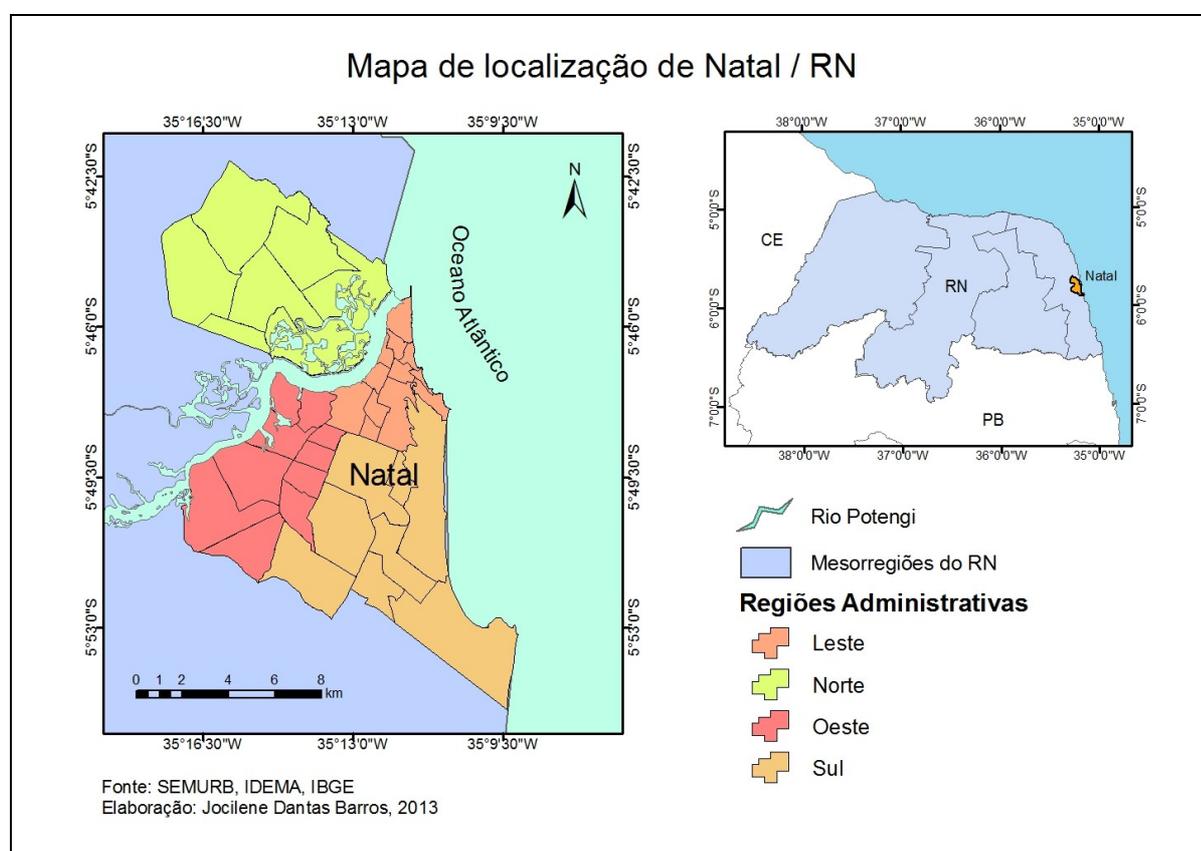


Figura 1: Localização cidade de Natal.

O município possui um relevo plano com pequenas ondulações, embora contenha alguns elementos bem definidos que diferenciam sua paisagem, como as falésias e as dunas. Temos, ainda, a presença de estuários, planícies de mangues, praias, terraços fluviais e vales fluviais, de acordo com Nunes (1996).

O mapa a seguir (Figura 2) representa as unidades geomorfológicas da Cidade de Natal / RN, segundo dados do Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte – IDEMA, nele percebe-se a presença predominante de dunas fixas e planície fluviomarinha (na região do manguezal). Também são observadas dunas móveis (dinamizadas pela ação constante do vento), planície de inundação fluvial, praias e tabuleiros com formas tabulares.

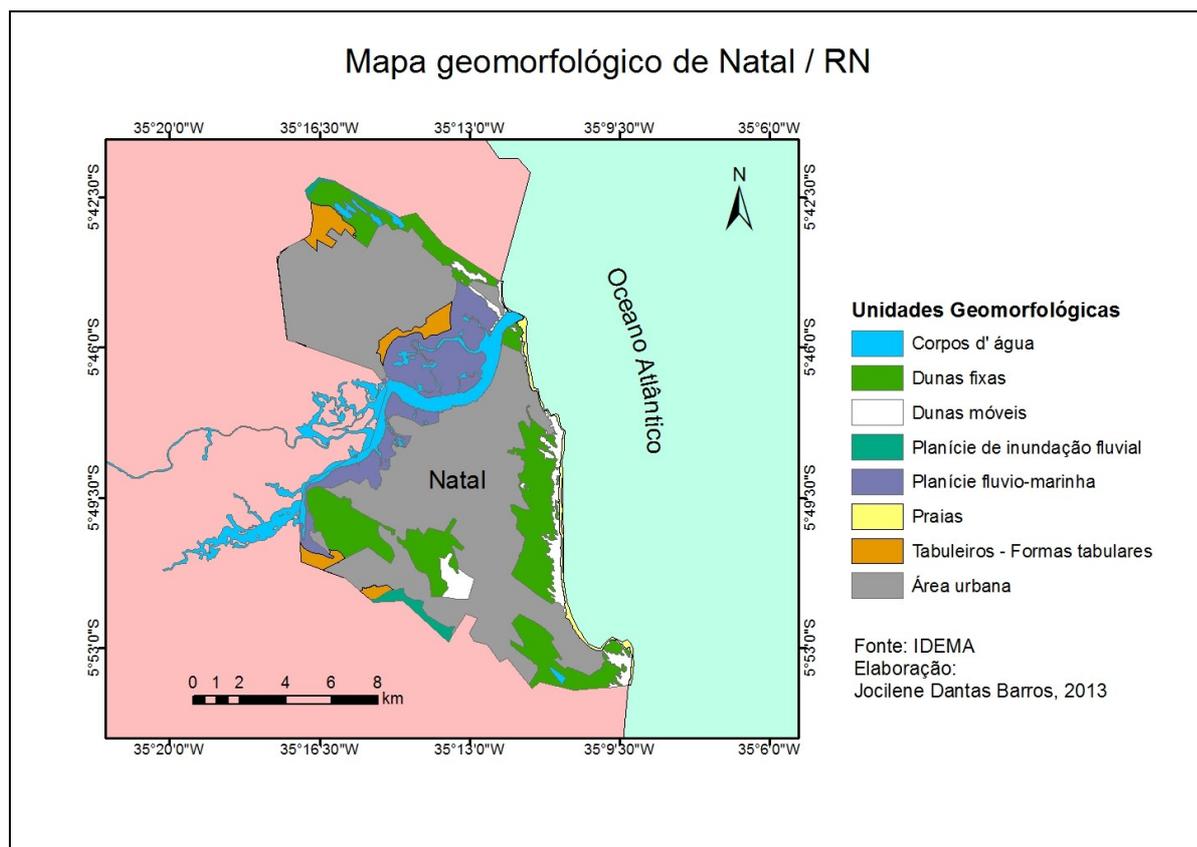


Figura 2: Unidades geomorfológicas da cidade de Natal /RN.

A hidrografia da cidade é composta por rios, lagoas naturais e artificiais. Os principais rios são os que formam a bacia do Potengi-Jundiaí, o Jundiaí, Doce, Potengi e os riachos Guarapes, das Lavadeiras e o Rego Moleiro. Na sub-bacia do Pitimbu encontramos o rio Pitimbu e a Lagoa do Jiqui, que fornecem água para o abastecimento da cidade. Segundo Castro (1995), as lagoas mais conhecidas são a do Preá, a Manuel Felipe e dos Potiguares. Além do potenciais subterrâneo que são utilizados para abastecimento do município.

Predomina na cidade as vegetações de mangues, restingas, arbustos arbóreos e savana arbustiva - arbórea. A principal reserva de vegetação natural da de Natal é o Parque das Dunas, com uma extensão de 15 quilômetros e conserva várias espécies da nossa fauna e flora.

A cidade é formada por solos Aluviais, Indiscriminados de Mangues e as Areias Quartzosas Marinhas - de origem dunar - e ainda solos originados de Formação Barreira que são os Latossolos, Areias Quartzosas Distróficas e Podzólicas. Os solos de origem dunar caracterizam-se por serem arenosos ricos em matéria orgânica, e/ou ocorrerem em terrenos planos, de várzeas e em áreas próximas aos rios. De acordo com Prefeitura

(2007), os solos de origem da Formação Barreira possuem como características principais a baixa fertilidade, são profundos, normalmente ácidos, bem drenados com teores de argila.

Nunes (1996) considerou a existência de três blocos estruturais na Região da Grande Natal. Em seu estudo pode-se verificar que a cidade de Natal está dentro das áreas classificadas como de uso inadequado à restritos para implementação de cemitérios, fossas sépticas, aterros sanitários, lagoas de rejeitos industriais, lagoas de captação e infiltração de águas pluviais, devido as coberturas serem friáveis, bastantes espessas e bem drenadas, com o lençol freático bastante superficial, podendo ocorrer contaminação.

As variáveis meteorológicas que, diretamente ou indiretamente, estão inseridas na qualidade ambiental ou no conforto climático da população natalense, abaixo apresentadas, foram analisadas conforme dados da Estação Climatológica da UFRN.

A temperatura do ar é, relativamente, elevada e bem mais uniforme que em outras regiões do Brasil, possuindo uma média diária de 24,4°C. Em média a amplitude térmica é de 8,4°C, enquanto há uma oscilação média diária de 21,8°C a 30,2°C.

A elevada umidade relativa do ar em Natal é bastante homogênea e estável, atinge um valor médio anual de 79,3%, raramente ultrapassa valores menores que 74%. Isto situa a área, em termos de conforto da umidade do ar, dentro das médias ideais (70 - 85%). Assim sendo, mesmo com a problemática do lixo, atualmente a cidade de Natal é, ainda, considerada como a capital do ar mais puro do Continente Americano.

A cidade de Natal, em virtude de estar situada geograficamente na região equatorial, apresenta uma média mensal de insolação bastante elevada, sendo que sete (7) meses no ano superam 200 horas de sol, o que favorece ao desenvolvimento na área do turismo, bem como um melhor controle na decomposição de matéria orgânica.

Os ventos que sopram em Natal são 86% de sudeste com pouca intensidade numa média de 4,4m/s, porém contínuos, qualificados como os ventos Alísios de sudeste, o que proporcionam condições agradáveis na qualidade de vida da população.

De uma maneira geral, a pressão atmosférica não oscila com grande amplitude em Natal, 4.5 hPa, porém pode interferir na concentração de poluentes na baixa troposfera, muito embora com pouca frequência.

A precipitação apresenta-se com grande oscilação temporal, onde observamos variações mensais de 17.5mm a 204.5mm, com revezamento de chuvas intensas no verão-outono e estiagem no inverno-primavera com características do clima mediterrâneo.

A partir dos dados acima, bem como da literatura, o clima da cidade é AS' classificação de Köppen, caracterizado como tropical chuvoso (Figura 3), com chuvas no verão-outono, e seca no inverno-primavera, durante o ano chove em média 1.500 mm, com homogeneidade no campo da temperatura e umidade, ventos com pouca velocidade, em geral, de sudeste – ventos alísios – e uma forte heterogeneidade no campo da precipitação, características essas discutidas por Silva, Lima e Chaves (2011).

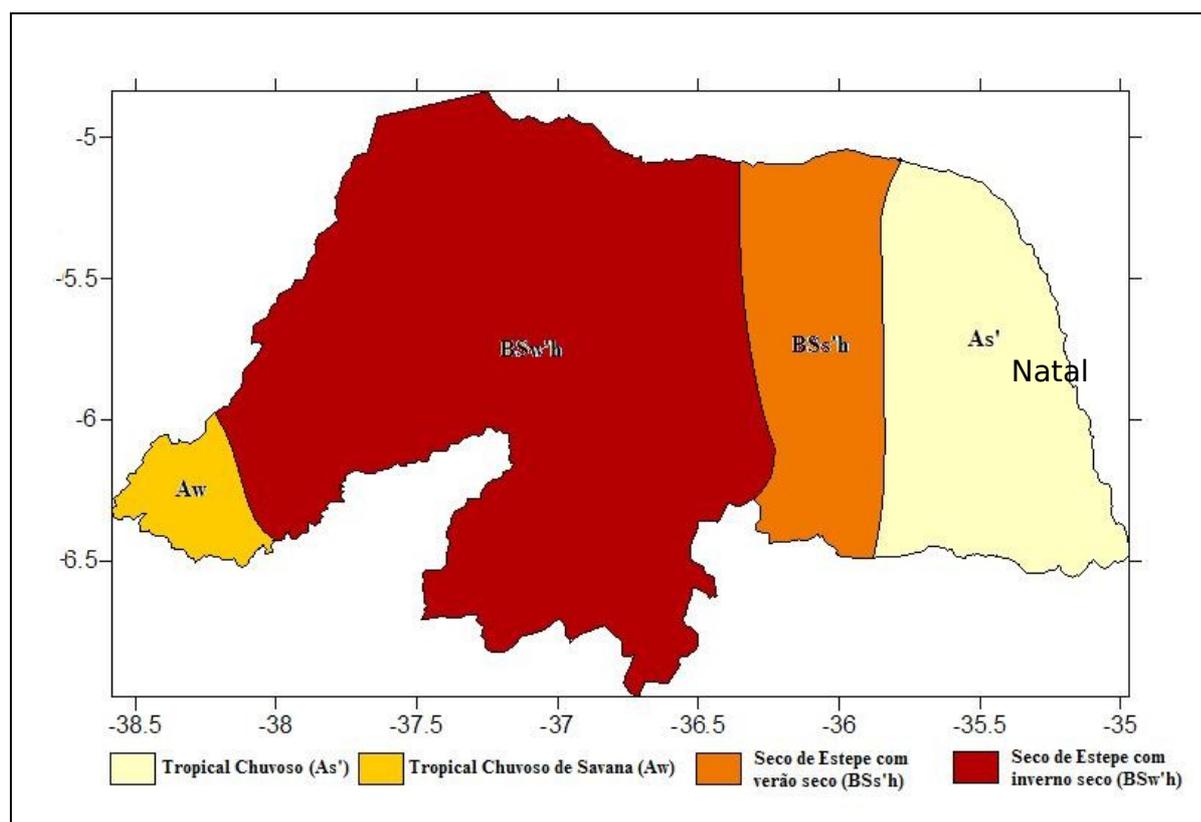


Figura 3: Classificação climática de Köppen para o RN.

Fonte: SILVA, 2009 (adaptado).

### Metodologia de Trabalho

Foram coletados dados, em horário sinótico, da velocidade do vento em Natal/RN entre os anos de 1984 a 2012, através de um anemógrafo universal, marca R. Fuess, instalado na Estação Climatológica Principal, vinculada ao Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte/UFRN, cujas coordenadas geográficas são: latitude 05° e 55' Sul, longitude 35° e 12' Oeste e altitude de 48,6 metros. Também foi realizada pesquisa bibliográfica sobre o tema, que contribuiu no entendimento da importância dos estudos sobre vento e na base teórica para a elaboração do trabalho.

Galgado em métodos estatísticos foi feita uma análise descritiva dos dados, que consistiu no cômputo da dispersão, medidas de tendência central, valores extremos, bem como na elaboração de gráficos. Em seguida foi aplicada a distribuição de Weibull na série temporal, a fim de verificar o comportamento probabilístico da velocidade do vento em Natal/RN.

A função distribuição de Weibullé dada pela equação abaixo, onde  $\beta$  e  $k$  são os parâmetros de escala e de forma, respectivamente, e  $x$  é a variável velocidade do vento (SILVA, 2011):

$$F(x) = \int_0^x \frac{k}{\beta} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{(k-1)} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^k} dX$$

## Resultados e Discussão

Avaliando as medidas de tendência central em torno (média, mediana e moda), tem-se quê: o valor menos frequente corresponde ao mês de abril com 3,3 m/s, e o mês mais frequente é outubro com 5,2 m/s. A média e a mediana se comportam de forma praticamente similar, apresentando o mês com menor intensidade, abril, com 3,7 m/s e com maior intensidade, setembro, com 5,2 m/s (mediana) e 5,1 m/s (média). Neste caso, observamos no gráfico da figura 1 que a velocidade média do vento variou entre 3,7 e 5,1 m/s, respectivamente.

Observando por estação, tem-se que, no outono o campo de vento tem menor intensidade, 3,8 m/s, ao passo que na primavera apresenta uma maior intensidade, 4,9 m/s. Essa dinâmica deve-se ao comportamento da circulação geral da atmosfera, essas estações são de transição e apresentam mais turbulência que o inverno e verão. Na primavera, o gradiente horizontal do vento apresenta-se mais intenso. As medidas de tendência central são expressas nas figuras 4 a 7 a seguir.

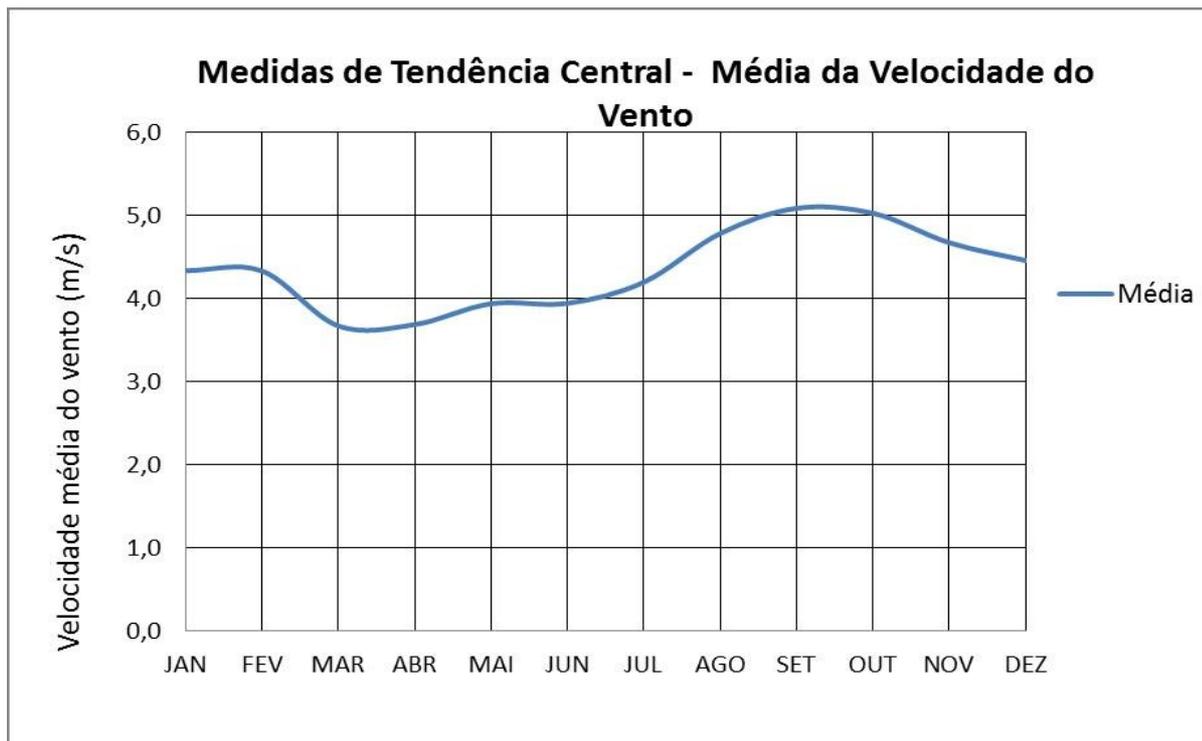


Figura 4: Média da velocidade do vento (1984 – 2012).

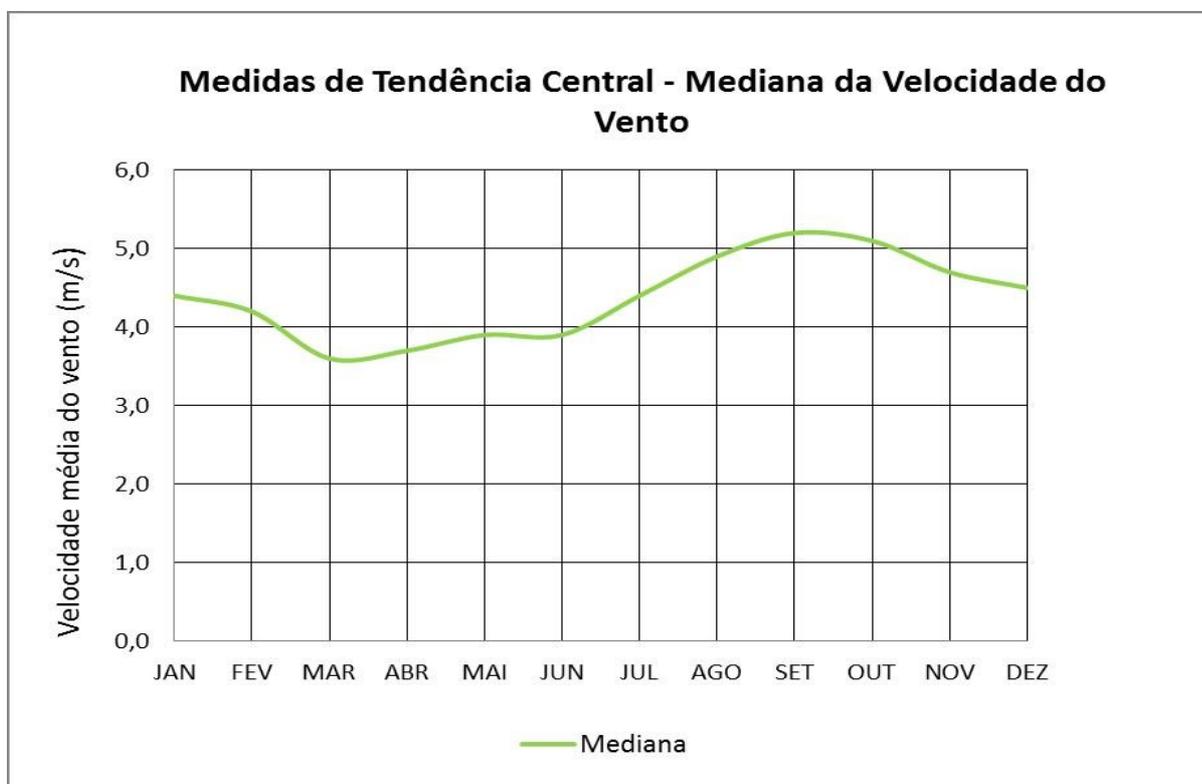


Figura 5: Mediana da velocidade do vento (1984 – 2012).

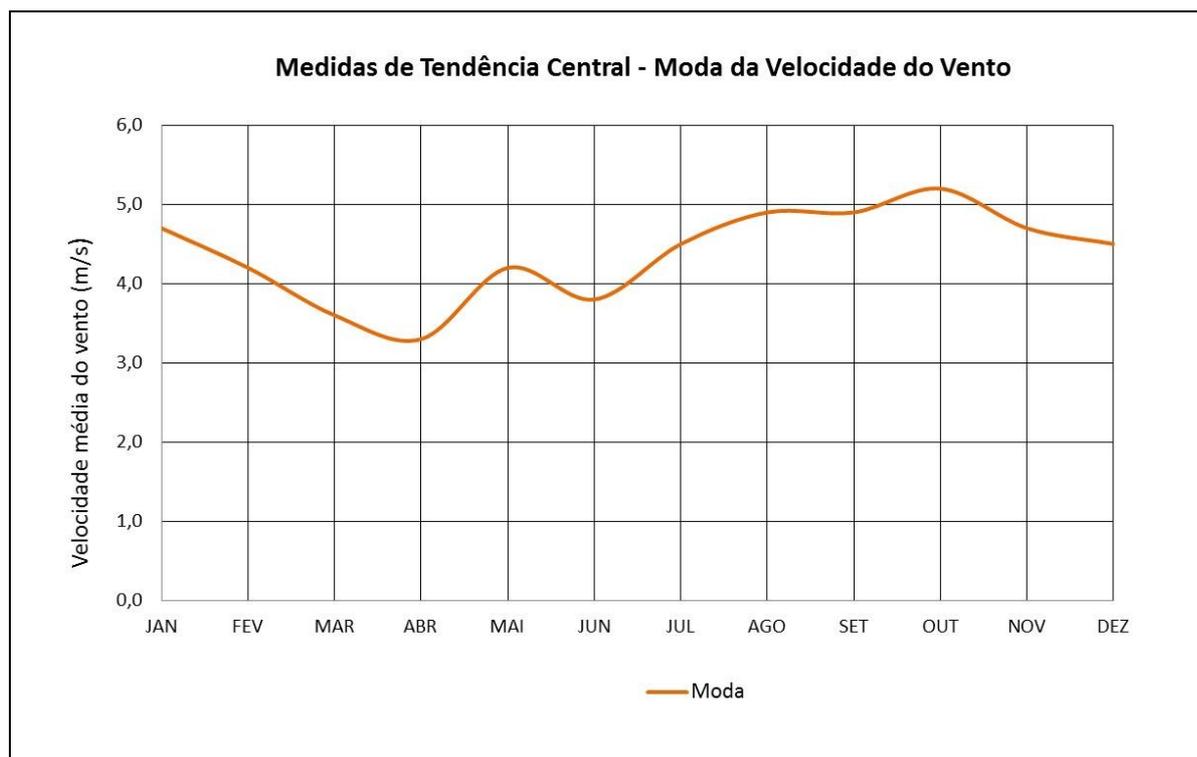


Figura 6: Moda da velocidade do vento (1984 – 2012).

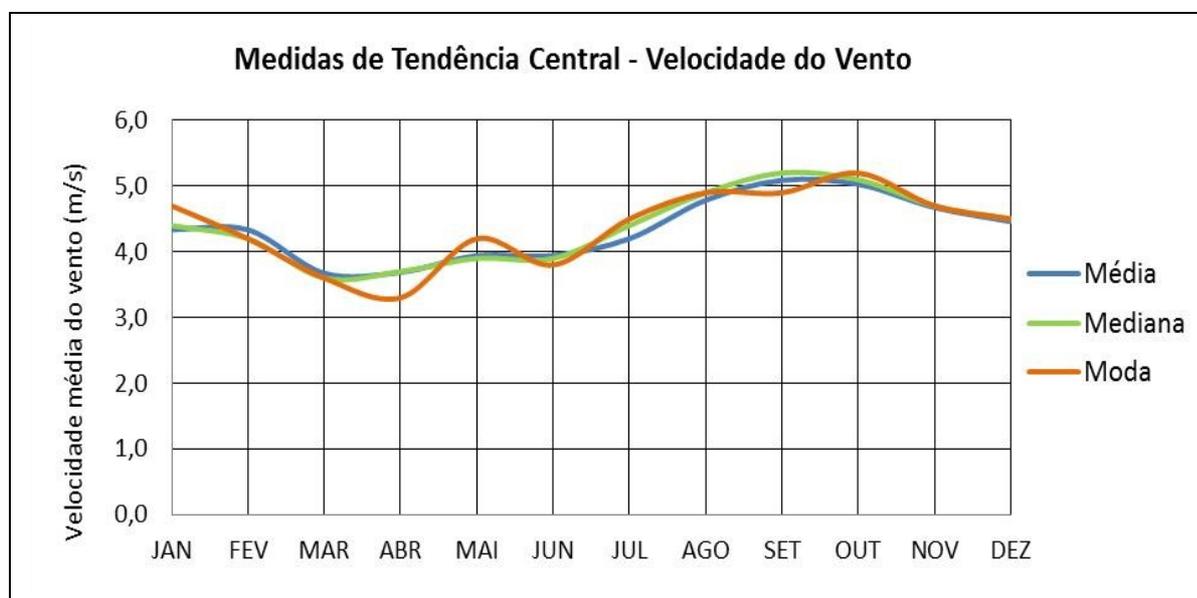


Figura 7: Comparação entre as medidas de tendência central da velocidade do vento (1984 – 2012).

Tomando como base os valores mínimos e máximos do mesmo período, respectivamente 1,3m/s e 7,8m/s, de uma amplitude total no valor de 6,5m/s. Percebe-se que os valores de maior repetição não se afastaram da média do período em análise.

Quanto às medidas de dispersão (Figura 8), com o desvio padrão percebe-se que nos meses de abril, julho e outubro houve picos dessa variação, mas apresentam pouca dispersão, entre 0,4 e 0,9 m/s, respectivamente. Desta forma, o coeficiente de variação apresenta valores baixos, entre 7,9 e 23,8%, respectivamente. Esses resultados demonstram que a média é uma boa medida para ser utilizada na representação do comportamento do vento.

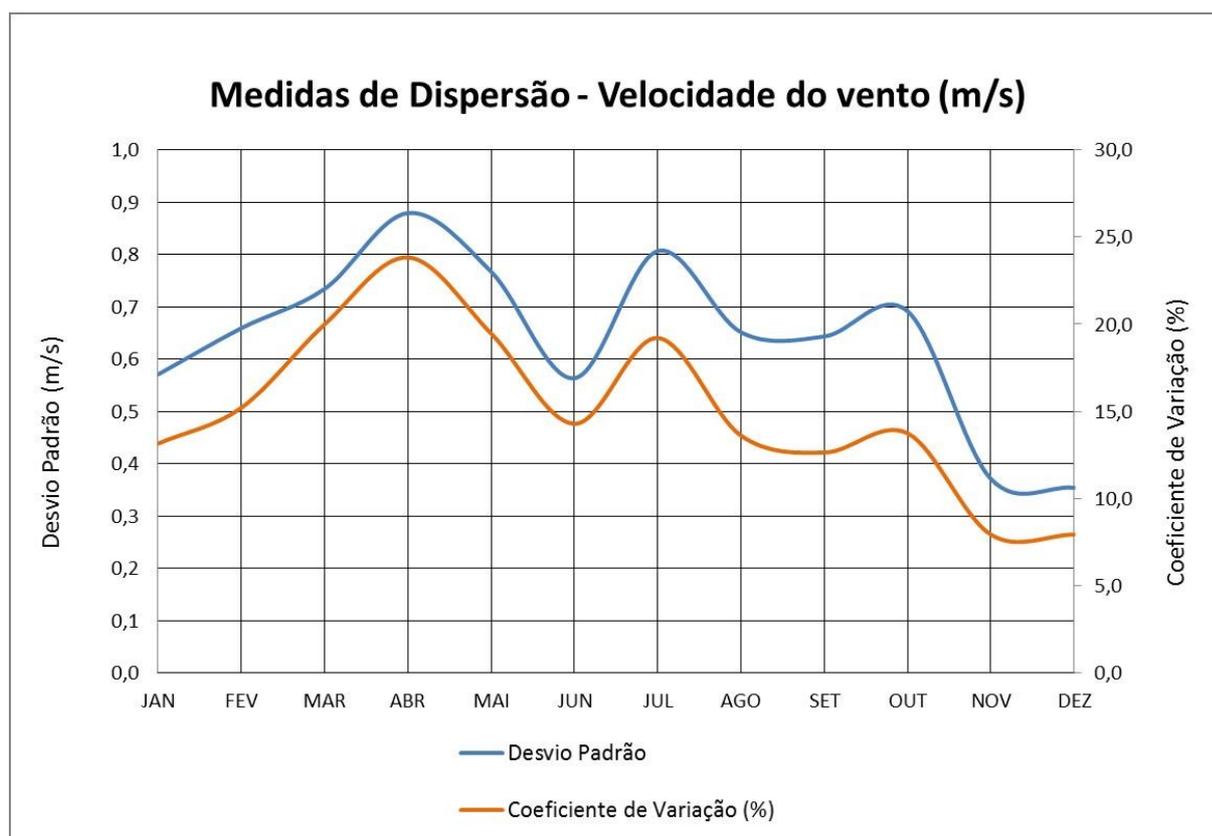


Figura 8: Medidas de dispersão da velocidade do vento.

Na análise dos quartis (figura 9), cujo principal objetivo é a redução de dados e que são subdivididos, de acordo Crespo (2002) em quartil 1 (25%), quartil 2 (50%) e quartil 3 (75%), vê-se que, em média: 25% dos dados estão entre 2,9 m/s e 4,0 m/s, 50% entre 2,9 m/s e 4,4 m/s e 75% entre 2,9 m/s e 4,7 m/s. As médias dos limites de velocidade ficam entre 2,9 e 6,0 m/s, respectivamente.

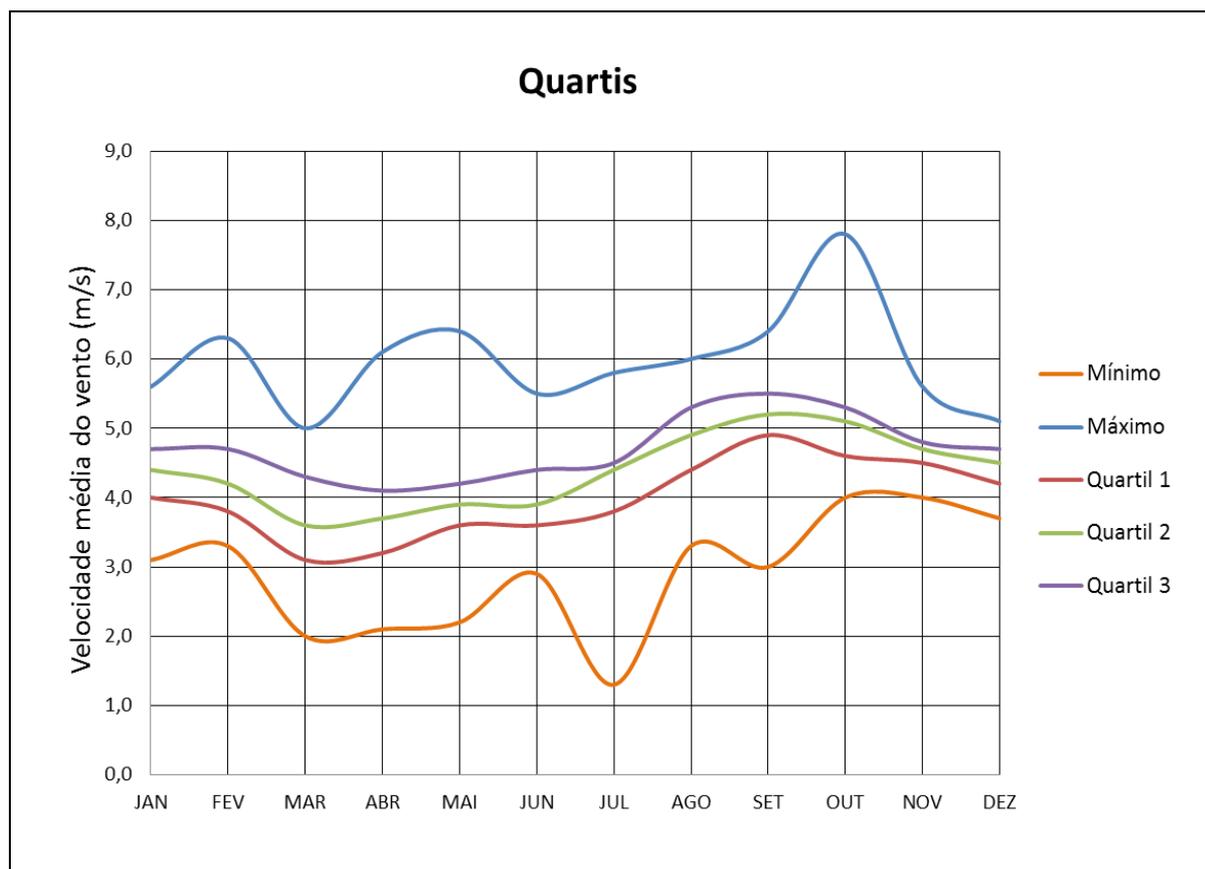


Figura 9: Quartis da velocidade do vento.

Conforme a escala de qualificação proposta pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC (Quadro 1) foram analisados os níveis de frequência do vento pela Distribuição de Weibull.

Probabilidade (%)	Qualificação do IPCC
95	Extremamente provável
90	Muito provável
66	Provável
50	Mais provável que improvável
10	Muito improvável
5	Extremamente improvável

Quadro 1 – Níveis de probabilidade propostos pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC.

A distribuição de Weibull é uma distribuição de probabilidade contínua, usada em estudos de tempo de vida de equipamentos e estimativa de falhas, entretanto como o vento é uma variável aleatória, com bastante oscilação no tempo, é a distribuição mais utilizada na análise do vento.

O gráfico da figura 10 abaixo representa a probabilidade do comportamento médio da frequência dos ventos, segundo Weibull ( $\alpha = 9,1769$  e  $\beta = 4,5763$ ). Observa-se que é extremamente improvável (5%) ocorrer ventos abaixo de 3,4 m/s, muito improvável (10%) de ventos com intensidade de menor que 3,6 m/s, mais provável que improvável (50%) com velocidade menor que 4,4 m/s, uma provável probabilidade (66%) de ocorrer velocidade abaixo de 4,6 m/s, é muito provável (90%) ocorrer ventos com velocidade de 5,0 m/s e extremamente provável (95%) ocorrer ventos com intensidade menor ou igual a 5,2 m/s.

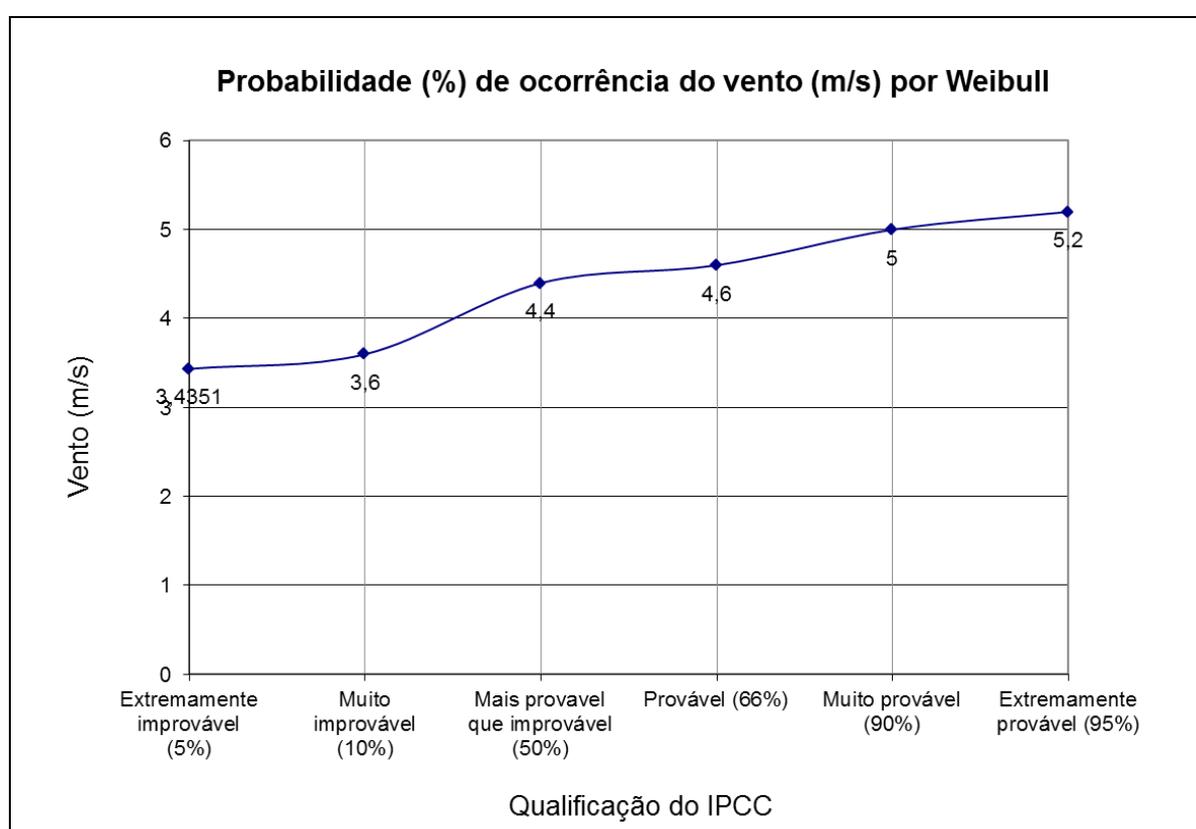


Figura 10: Análise Weibull da velocidade do vento analisada.

Os resultados mostraram que há uma constância no campo da velocidade do vento na Cidade de Natal, com 95% de probabilidade de ocorrer ventos com velocidade entre 2,9 e 5,2 m/s, respectivamente.

Pode-se dizer que a variabilidade do vento em Natal/RN é explicada pela sua proximidade do litoral do estado, associado ao fato que se encontra sob a predominância dos ventos alísios de sudeste. É importante destacar que estes são ventos globais, mesmo que as análises sejam feitas dentro da camada limite atmosférica, a turbulência

na superfície é menor, pois o deslocamento dos alísios acontece sobre o Oceano Atlântico, antes de chegar à cidade de Natal.

## Conclusões

A modelagem do vento na Cidade de Natal pode ser galgada na distribuição de Weibull, pois o desvio padrão mostrou baixa oscilação (0,6 m/s), e as medidas de tendência central têm pouca variação, entre 4,3 e 4,4 m/s, respectivamente.

A cidade de Natal está sob o domínio dos ventos alísios, cuja estimativa de ocorrência da velocidade do vento, segundo a distribuição de Weibull é de: 95% de ocorrer ventos com intensidade menor ou igual a 5,2 m/s e 90% de ocorrer ventos com velocidade menor ou igual a 5,0 m/s.

O entendimento da dinâmica dos ventos e da probabilidade de seus acontecimentos é de fundamental importância, visto que interfere na vida cotidiana e possui diferentes aplicações, entretanto há necessidade de aplicação com novas abordagens para um maior entendimento do escoamento no clima urbano de Natal/RN.

## Referências

AMORIM, Margarete C. de C.T. **Ilhas de calor em Birigui/SP**. Revista Brasileira de Climatologia, v. 1, n.1. Dez., 2005.

BRAGA, M.F.S; KRUSCHE, N. **Análise da Frequência das Velocidades do Vento em Rio Grande, RS**. Edição X, Brasília, 1998. Disponível em <<http://www.cbmet.com/edicoes.php?cgid=13&imageield2.x=39&imageField2.y=6>>. Acesso em: 14 Fev. 2013.

CASTRO, Paulo Venturele de Paiva. **Natal para jovens cidadãos: o nosso município**. Natal: Secretaria Municipal de Educação, 1995.

CRESPO, Antônio A. **Estatística fácil**. 17 ed. São Paulo: Saraiva, 2002.

PREFEITURA MUNICIPAL DO NATAL. **Anuário de Natal 2007**. Natal: SEMURB, 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010**. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/resultados>>. Acesso em: 15 Fev. 2013.

NUNES, Elias. **Aspectos morfo-estrutural, fisiográficos e de coberturas de alterações intempéricas da Grande Natal (RN), como base para o macrozoniametogeo-ambiental**. Tese (Doutorado) – UNESP, Geociências, Rio Claro, 1996.

SILVA, Fernando. M. da. **Fundamentos de Cálculo e Estatística**. Natal: CTGÁS-ER, 2011.

SILVA, Fernando. M. da.; LIMA, Zuleide, Maria C.; CHAVES, Macelo dos Santos. **Geografia física II**. Natal: UFRN/SEDIS, 2011

VELEDA, D.; Soares, J; ARAÚJO, Moacyr. **Ajuste do campo de vento sobre topografia complexa aplicado a um modelo de dispersão de poluentes**. Edição XIII, Fortaleza, 2004. Disponível em <<http://www.cbmet.com/edicoes.php?cgid=22&imageField2.x=40&imageField2.y=13>>. Acesso em: 14 Fev. 2013.

***Recebido em Junho de 2013.***

***Publicado em Agosto de 2013.***