

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O POTENCIAL EÓLICO DE NATAL-RN E UBERLÂNDIA-MG

^{1,2}Andréia Crico dos Santos, ^{1,2}Bruna Beatriz Sousa Silva, ^{1,2}Lucas Manfrim Fedozzi, ²Sebastião Camargo Guimarães Júnior (Dr.)

¹Programa de Educação Tutorial-PET/Eng.Elétrica, ²Núcleo de Pesquisa e Extensão em Energias Alternativas (NUPEA)
Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Uberlândia-MG.

andreia.crico@gmail.com, brunabeatriz.ufu@gmail.com, lucasmandozzi@gmail.com, scguimaraes@ufu.br

Resumo - Existe uma considerável quantidade de fatores relevantes para a análise do potencial eólico de uma área. O presente estudo mostra o cálculo e a análise de parâmetros ligados à distribuição dos ventos em Uberlândia-MG e Natal-RN. Além disso, são apresentadas as diferenças entre a velocidade média e a raiz cúbica média (rmc), bem como a potência média anual e a distribuição de energia que pode ser obtida a partir do aproveitamento da matriz eólica em ambas as regiões. Vale ressaltar que um estudo completo para análise da possibilidade de instalação de um parque eólico em determinado local deve levar em consideração vários outros parâmetros não só ligados às características dos ventos, como também aspectos relacionados à infraestrutura do local e à viabilidade econômica.

Palavras-Chave - sistemas de energia, fonte alternativa, energia eólica, potencial eólico, distribuição de Weibull.

COMPARATIVE STUDY ON THE EOLIC POTENTIALS IN NATAL-RN AND UBERLÂNDIA-MG

Abstract - There are a few relevant factors that have to be considered in the analysis of the wind power potential of a region. This study shows methods to calculate and analyze the parameters of the wind distributions in Uberlândia-MG and Natal-RN. Besides the main differences between mean and root mean cube (rmc), speeds are presented, as well as the annual average power and the energy distribution that can be obtained from the Eolic matrix on both areas. One must consider that a complete study to analyze the viability of creating a wind power plant in a determined region depends on other parameters not only related to wind characteristics but to the infrastructure and economic viability as well.

Keywords - power systems, alternative energy sources, wind power, Weibull distribution.

I. INTRODUÇÃO

O aumento do consumo de energia elétrica é proveniente, em grande parte, dos avanços tecnológicos no panorama mundial globalizado e traz à tona a necessidade de buscar novas fontes de energia, visto que a utilização de combustíveis fósseis mostra-se cada vez mais inviável tanto sob o ponto de vista ambiental, quanto devido a fatores relacionados à escassez desses recursos.

Nesse contexto, com a implantação de programas de incentivo a utilização de fontes alternativas, tal como o que fora criado no Brasil depois do racionamento no ano de 2001, o Programa de Incentivo de Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA [5], a energia eólica tem ganhado maior representatividade na matriz energética não só nacional, mas também mundial, principalmente por ser uma fonte limpa, inesgotável e sustentável. Atualmente, os dez países de maior destaque no aproveitamento de recursos eólicos são: China, Estados Unidos, Alemanha, Espanha, Índia, França, Itália, Reino Unido, Canadá e Portugal. Estudos preveem que nos próximos anos o Brasil esteja entre os dez países de destaque no setor eólico devido a suas características geográficas e investimentos no setor [4].

Em linhas gerais, a energia eólica baseia-se na velocidade da movimentação das massas de ar. O aproveitamento desta fonte ocorre a partir do emprego de turbinas eólicas, responsáveis por capturar a energia cinética dos ventos e transformá-la em energia elétrica. Estas turbinas também podem ser utilizadas como cata-ventos e moinhos, e em trabalhos mecânicos como para o bombeamento d'água e para a moagem de grãos.

Antes de investir no setor eólico é necessário que se faça uma avaliação da região por meio da coleta e análise dos dados obtidos do regime dos ventos e da estrutura geográfica da área destinada para os parques eólicos. De acordo com dados fornecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica-ANEEL, no quesito técnico, para obter um melhor aproveitamento da energia eólica é necessário uma densidade de 500W/m² a uma altura de 50 metros, ou seja, o equivalente a uma velocidade do vento mínima de 7m/s a 8m/s[6]. No Brasil, os primeiros estudos relacionados ao tema foram feitos na região Nordeste, principalmente no Ceará e em Pernambuco.

De modo a analisar a distribuição de ventos de uma região são determinados parâmetros que auxiliam na escolha de um local de melhor investimento, que podem ser calculados por meio de uma distribuição probabilística. Avaliações feitas no Brasil têm motivado a exploração do setor eólico no país [6],



X CEEL - ISSN 2178-8308
24 a 28 de setembro de 2012
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Uberlândia - Minas Gerais - Brasil

o que torna essencial o estudo de novos métodos, de forma a tornar o sistema de análise cada vez mais eficiente e preciso.

Assim, esse trabalho apresenta uma forma de comparar os perfis de duas cidades brasileiras de regiões distintas, a partir da determinação de parâmetros ligados à distribuição de ventos, diferentes tipos de velocidades e da estimativa da potência anual e da distribuição de energia que poderia provir de supostos sistemas eólicos instalados em ambas as regiões.

II. A DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL

O método de distribuição probabilística, em estatística, consiste na determinação da probabilidade de uma determinada variável estar em um intervalo específico. A distribuição de probabilidade de Weibull baseia-se nos parâmetros “k” e “c” para relacionar a velocidade v dos ventos com uma função $h(v)$. A representação do método é dada pela função densidade de probabilidade, conforme indica a equação (1).

$$h(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{(k-1)} \cdot e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (1)$$

Onde:

- $h(v)$ - Função densidade de probabilidade.
- k - Parâmetro de forma.
- c - Parâmetro de escala.
- v - Velocidade.

A curva hxv é obtida a partir da construção de um gráfico de *hem* função da velocidade dos ventos, sendo que *h* representa a porcentagem de tempo, em relação a certo período, em que a velocidade possui determinado valor v . O parâmetro “k” se refere à regularidade dos ventos, ou seja, quanto maior o seu valor mais regular é a distribuição de ventos da região analisada e mais estreita será a curva vista no gráfico. O parâmetro “c” indica período de tempo com vento a uma velocidade alta, ou seja, quanto maior o valor de “c”, maior será a quantidade de dias com valores elevados de velocidade.

O método de Weibull fornece uma distribuição de probabilidade que se aproxima de maneira satisfatória do real e, ao mesmo tempo, apresenta vantagens por depender apenas de dois parâmetros, enquanto a distribuição normal bivariada genérica requer cinco parâmetros para sua representação.

Além disso, com os parâmetros de Weibull “c” e “k” conhecidos para a velocidade dos ventos aferida em determinada altura, é possível usar uma relação que permite o ajuste de “c” e “k” para outra altura desejada.

III. OS TIPOS DE VELOCIDADES DOS VENTOS

Como o vento recebe influências principalmente do clima, da forma do terreno e da altura a ser considerada, sua velocidade nunca será constante e, devido a isso, para analisar as características de sistemas eólicos devem ser consideradas duas formas de velocidade do vento: a média e a raiz cúbica média (rmc).

A velocidade média é dada pela área abaixo da curva hxv , integrada para velocidades de zero a infinito, dividido pelo

período a ser analisado. Nesta análise utiliza-se um período genérico igual à unidade, conforme indicado na equação (2):

$$V_{média} = \int_0^{\infty} h \cdot v \cdot dv \quad (2)$$

A velocidade da raiz cúbica média representa a velocidade do vento no período analisado de forma mais eficiente, visto que minimiza o erro da estimativa do potencial energético de determinado local. Esta velocidade é dada pela equação (3):

$$V_{rmc} = \sqrt[3]{\int_0^{\infty} h \cdot v^3 \cdot dv} \quad (3)$$

IV. POTÊNCIA E ENERGIA

A. Potência gerada pelo ar em movimento

A energia cinética (E_C) de uma massa de ar (m), movendo-se com velocidade (V), é dada pela equação (4):

$$E_C = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2 [\text{Joules}] \quad (4)$$

A potência (P) gerada pelo ar em movimento é igual à taxa do fluxo de energia cinética por segundo. Dessa maneira, é possível escrever a equação (5):

$$P = \frac{1}{2} \cdot (\text{taxa de fluxo de massa}/s) \cdot V^2 \quad (5)$$

A taxa de fluxo de massa do ar é o produto entre a área varrida pelas pás do rotor (A), a velocidade do ar (V) e a densidade do ar (ρ). Dessa forma, tem-se a equação (6):

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 [\text{W}] \quad (6)$$

A potência real extraída pelas pás do rotor (P_0) é a diferença entre a potência do vento à montante, onde a velocidade é denotada por V , e a potência do vento à jusante das pás do rotor, onde a velocidade é denotada por V_0 , conforme indica a equação (7):

$$P_0 = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\text{taxa de fluxo de massa}}{s}\right) \cdot (V^2 - V_0^2) [\text{W}] \quad (7)$$

A taxa de fluxo de massa do ar através das pás rotativas é, no entanto, procedente da multiplicação da densidade do ar, da área varrida pelas pás do rotore da velocidade média entre V e V_0 , conforme mostra a equação (8):

$$P_0 = \frac{1}{2} \cdot \left[\rho \cdot A \cdot \frac{(V+V_0)}{2}\right] \cdot (V^2 - V_0^2) \quad (8)$$

A expressão acima pode ser algebricamente rearranjada da maneira mostrada na equação (9):

$$P_0 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot C_p \quad (9)$$

De forma que C_p é definido pela equação (10):

$$C_p = \frac{(1 + \frac{v_0}{V}) \cdot [1 - (\frac{v_0}{V})^2]}{2} \quad (10)$$

O parâmetro C_p é chamado de coeficiente de potência do rotor ou eficiência do rotor e representa a fração da potência do vento a montante que é capturada pelas pás do rotor.

A potência máxima é extraída do vento quando a velocidade à jusante é 1/3 da velocidade a montante. Nesta condição, $C_p = 0,59$. Toma-se $C_p = 0,5$ como valor prático máximo da eficiência do rotor e, assim, a equação (10) pode ser escrita na forma indicada na equação (11):

$$P = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot V^3 \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (11)$$

B. Curvas de Distribuição de Energia

As curvas de distribuição de energia permitem estimar qual a porcentagem de energia entregue em um ano foi produzida com ventos em determinada velocidade.

Nesse estudo, foram feitas curvas de distribuição de Weibull de energia $[e(v)]$, as quais foram elaboradas a partir da multiplicação da função de densidade de probabilidade de Weibull $[h(v)]$ pela razão entre a potência do vento gerada a partir de dada velocidade V e a potência média anual, conforme indica a equação (12):

$$e(v) = \frac{P_{\text{gerada à velocidade } v}}{P_{\text{média anual}}} \cdot h(v) \quad (12)$$

V. CÁLCULO DOS PARÂMETROS “C” E “K” DA DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL

As velocidades de vento dos dois locais a serem estudados, Uberlândia-MG e Natal-RN, foram obtidas a partir da estação de medição de ventos da Universidade Federal de Uberlândia e da Estação Climatológica Principal da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, respectivamente. Os dados obtidos são referentes a medições efetuadas a uma altura de 10 metros, durante todo o ano de 2011. As tabelas I e II apresentam as médias da velocidade dos ventos para três horários distintos em cada mês do referido ano para cada cidade.

TABELA I
Velocidade dos ventos (m/s) x período do ano
Natal-RN

	12h	18h	24h
Janeiro	3,1	3,7	2,4
Fevereiro	4,5	4,3	2,8
Março	3,1	3,6	1,9
Abril	3,2	3,3	1,9
Mai	3,6	4,4	2,3
Junho	3,7	4,0	2,5
Julho	4,1	4,6	2,6
Agosto	4,5	5,0	3,2
Setembro	6,1	6,5	4,3
Outubro	5,3	5,3	4,3
Novembro	4,8	5,0	4,0
Dezembro	4,8	4,6	3,8

TABELA II
Velocidade dos ventos (m/s) x período do ano
Uberlândia-MG

	12h	18h	24h
Janeiro	1,8	2,2	0,9
Fevereiro	1,8	2,1	0,6
Março	1,5	2,0	0,8
Abril	2,4	2,1	0,9
Mai	2,3	1,8	0,7
Junho	2,2	1,9	0,5
Julho	2,7	2,1	0,7
Agosto	2,9	2,7	0,9
Setembro	3,4	2,3	1,2
Outubro	2,4	2,4	1,4
Novembro	2,5	2,2	1,0
Dezembro	1,7	2,0	0,7

A partir da equação (1), que mostra a função densidade de probabilidade de Weibull, pode-se escrever a equivalente função de probabilidade acumulada, conforme indicado a pela equação (13):

$$h(v \leq v_x) = \int_0^{v_x} h(v) dv = 1 - e \left[- \left(\frac{v_x}{c} \right)^k \right] \quad (13)$$

A fim de facilitar a representação dos cálculos, a frequência acumulada $h(v \leq v_x)$ foi referenciada como P e, assim, a equação (13) pode ser escrita conforme aparece na equação (14):

$$P = 1 - e \left[- \left(\frac{v_x}{c} \right)^k \right] \quad (14)$$

Para encontrar os parâmetros “c” e “k”, foi feita a linearização da equação (14). Aplicando o logaritmo neperiano em ambos os lados desta, obtém-se a equação (15):

$$- \ln(1 - P) = \left(\frac{v}{c} \right)^k \quad (15)$$

Aplicando novamente o logaritmo neperiano em ambos os lados da equação (15), tem-se a equação (16):

$$\ln[- \ln(1 - P)] = \ln \left(\frac{v}{c} \right)^k \quad (16)$$

Usando as propriedades dos logaritmos, a função (16) pode ser escrita conforme a equação (17):

$$\ln[- \ln(1 - P)] = k \cdot \ln v - k \cdot \ln c \quad (17)$$

A equação (17) encontra-se representada na forma linear e, assim, por comparação à forma da equação linear $y = a + b \cdot x$, pode-se escrever as igualdades expressas nas equações (18), (19), (20) e (21):

$$y = \ln[- \ln(1 - P)] \quad (18)$$

$$a = -k \cdot \ln c \quad (19)$$

$$b = k \quad (20)$$

$$x = \ln v \quad (21)$$

Para encontrar “c” e “k” basta, então, calcular os coeficientes “a” e “b” da reta representada na equação (17). Foi utilizado o Método dos Mínimos Quadrados, técnica

matemática que procura encontrar o melhor ajustamento para um conjunto de dados ao minimizar a soma dos quadrados das diferenças entre o valor estimado e os dados observados.

Dessa forma, ao realizar os cálculos anteriormente discutidos, os valores encontrados para o parâmetro de escala “c” e parâmetro de forma “k” para as cidades de Uberlândia e Natal são mostrados na Tabela III.

TABELA III
Parâmetros “c” e “k” da Distribuição de Weibull para altitude de 10 m

	Uberlândia-MG	Natal-RN
Parâmetro de escala “c”	1,925456	4,216663
Parâmetro de forma “k”	2,289944	3,762105

Esses valores foram obtidos a partir dos dados das velocidades dos ventos medidas a uma altura de 10 m. Como as torres de instalação de turbinas eólicas possuem uma altura superior, foi necessário fazer a correção dos valores dos parâmetros encontrados, a partir da utilização das seguintes relações dadas pelas fórmulas (22) e (23):

$$c(z) = c_a \cdot \left(\frac{z}{z_a}\right)^{\frac{[0,37-0,088 \cdot \ln c_a]}{[1-0,088 \cdot \ln(z_a/10)]}} \quad (22)$$

$$k(z) = k_a \cdot \frac{[1-0,088 \cdot \ln(z_a/10)]}{[1-0,088 \cdot \ln(z/10)]} \quad (23)$$

Os valores c_a e k_a são os valores anteriormente obtidos para a altitude de 10 m e $c(z)$ e $k(z)$ são os valores dos parâmetros “c” e “k”, respectivamente, corrigidos para a nova altura. Para esse estudo, foi considerada uma altura característica de 75m para as torres de um sistema eólico.

Ao aplicar as equações (22) e (23), os valores encontrados para os parâmetros da Distribuição de Weibull corrigidos para a altura de 75m na cidade de Uberlândia e Natal estão representados na Tabela IV.

TABELA IV
Parâmetros “c” e “k” da Distribuição de Weibull para altitude de 75 m

	Uberlândia-MG	Natal-RN
Parâmetro de escala “c”	3,612896	6,885372
Parâmetro de forma “k”	2,783488	4,572940

Com base nos valores dos parâmetros obtidos anteriormente, é possível representar a função de probabilidade de Weibull para as duas regiões estudadas, conforme é mostrado nas equações (25) e (27):

Para Uberlândia:

$$h(v) = \frac{2,783488}{3,612896} \cdot \left(\frac{v}{3,612896}\right)^{(2,783488-1)} \cdot e^{-\left(\frac{v}{3,612896}\right)^{2,783488}} \quad (24)$$

$$h(v) = 0,077948 \cdot v^{1,783488} \cdot e^{-\left(\frac{v}{3,612896}\right)^{2,783488}} \quad (25)$$

Na Figura 1 está representada a curva da Função de Distribuição de Weibull para os ventos de Uberlândia.

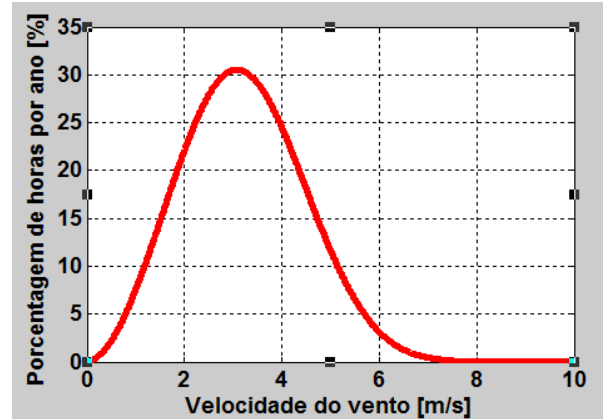


Fig. 1. Função de Distribuição de Weibull referente à cidade de Uberlândia

Para Natal:

$$h(v) = \frac{4,572940}{6,885372} \cdot \left(\frac{v}{6,885372}\right)^{(4,572940-1)} \cdot e^{-\left(\frac{v}{6,885372}\right)^{4,572940}} \quad (26)$$

$$h(v) = 0,000674 \cdot v^{3,572940} \cdot e^{-\left(\frac{v}{6,885372}\right)^{4,572940}} \quad (27)$$

Na Figura 2 está representada a curva da Função de Distribuição de Weibull para os ventos de Natal.

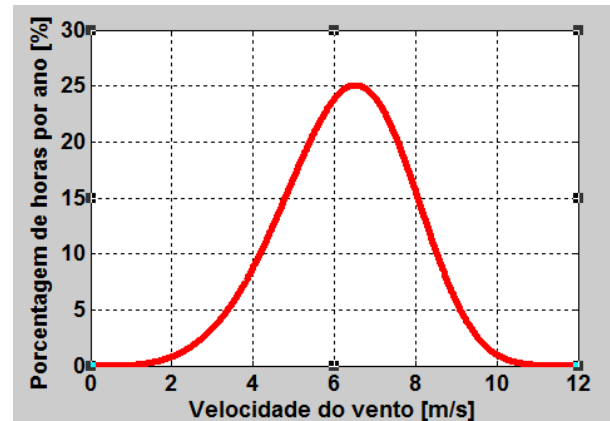


Fig. 2. Função de Distribuição de Weibull referente à cidade de Natal

VI. CÁLCULO DA VELOCIDADE MÉDIA E DA VELOCIDADE CÚBICA MÉDIA (RMC)

A partir da manipulação das equações (2) e (3), que mostram as expressões para cálculo das velocidades média e rmc, e das funções de probabilidade de Weibull de ambas as cidades, expressas nas expressões (25) e (27), é possível determinar o valor da velocidade média e rmc, conforme encontra-se indicado nas equações (28), (29), (30) e (31):

Para Uberlândia:

$$V_{média} = \int_0^{\infty} 0,077948 \cdot v^{2,783488} \cdot e^{-0,028004 \cdot v^{2,783488}} dv \quad (28)$$

$$V_{rmc} = \sqrt[3]{\int_0^{\infty} 0,077948 \cdot v^{4,783488} \cdot e^{-0,028004 \cdot v^{2,783488}} dv} \quad (29)$$

Para Natal:

$$V_{média} = \int_0^{\infty} 0,000674 \cdot v^{4,572940} \cdot e^{-0,000147 \cdot v^{4,572940}} dv \quad (30)$$

$$V_{rmc} = \sqrt[3]{\int_0^{\infty} 0,000674 \cdot v^{6,572940} \cdot e^{-0,000147 \cdot v^{4,572940}} dv} \quad (31)$$

A Tabela V mostra os valores encontrados a partir da solução das expressões (28), (29), (30) e (31).

TABELA V
Velocidade Média e rmc para as regiões de Uberlândia e Natal

	Uberlândia-MG	Natal-RN
Velocidade média [m/s]	3,216347	6,308739
Velocidade cúbica média [m/s]	3,655032	6,659166

VII. CÁLCULO DA POTÊNCIA MÉDIA ANUAL E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA

De acordo com a equação (11), o cálculo da potência média anual em $[W/m^2 \text{ de área varrida}]$ envolve o valor da velocidade e da densidade do ar. A densidade do ar depende da temperatura e pressão e, por isso, varia de acordo com a altitude do local analisado. A equação (32) fornece um meio de estimar a densidade do ar (ρ) em determinada altura H_m .

$$\rho = \rho_0 \cdot e^{\frac{-0,297 \cdot H_m}{3048}} \quad (32)$$

Onde:

ρ_0 - Densidade do ar à temperatura de 15°C e pressão de 1atm ($\rho_0 = 1,225 \text{ [kg/m}^3\text{]}$).

Como a altitude de Uberlândia é 776 m e anteriormente foi adotado um valor de 75 m como a altura característica para a torre de um sistema eólico, foi utilizado um valor de H_m igual a 851 m. Assim, a densidade do ar encontrada para essa altitude é dada pela equação (33).

$$\rho_{Uberlândia} = 1,225 \cdot e^{\frac{-0,297 \cdot 851}{3048}} = 1,127518 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (33)$$

Já para Natal, cidade cuja altitude é 30 m, ao levar novamente em consideração a altura de uma torre de 75 m, o valor de H_m usado foi 105 m. Dessa forma, obteve-se a equação (34).

$$\rho_{Natal} = 1,225 \cdot e^{\frac{-0,297 \cdot 105}{3048}} = 1,212531 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (34)$$

Assim, fazendo uso da equação (11) foi possível encontrar o valor da potência média anual, utilizando a velocidade cúbica média, conforme mostrado nas equações (35), (36), (37) e (38).

Para Uberlândia:

$$P_{rmc} = \frac{1}{4} \cdot 1,127518 \cdot 3,655032^3 \quad (35)$$

$$P_{rmc} = 13,763758 \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (36)$$

Na Figura 3 encontram-se representadas as curvas da função de Distribuição de Weibull de tempo e de energia para a cidade de Uberlândia.

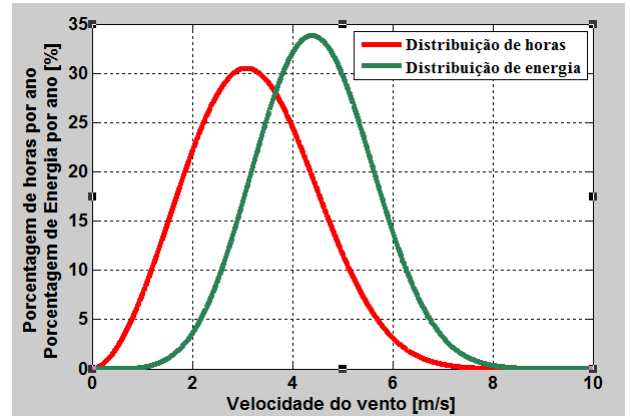


Fig. 3. Função de Distribuição de Weibull de horas e energia em Uberlândia

Para Natal:

$$P_{rmc} = \frac{1}{4} \cdot 1,212531 \cdot 6,659166^3 \quad (37)$$

$$P_{rmc} = 89,514292 \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (38)$$

A Figura 4 mostra as curvas da função de Distribuição de Weibull de tempo e de energia para a cidade de Natal.

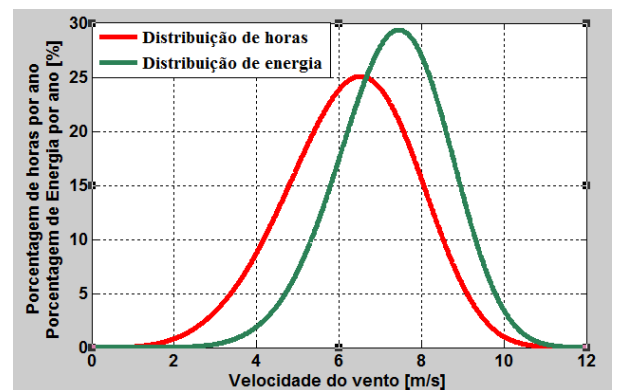


Fig. 4. Função de Distribuição de Weibull de horas e energia em Natal

VIII. CONCLUSÕES

A. Análise dos parâmetros “c” e “k”

Observando os dados presentes na Tabela IV, constata-se uma considerável diferença entre os valores encontrados para os parâmetros da distribuição de Weibull em ambas as

regiões. O maior valor de “k” em Natal indica uma maior regularidade dos ventos nesta região. A diferença entre os valores de “c” foi ainda mais discrepante, indicando maior número de dias com ventos de alta velocidade em Natal. A análise desses dois fatores combinados permite concluir que esta cidade possui ventos mais intensos e distribuídos de maneira mais regular ao longo do ano, fato que pode ser confirmado também após comparação criteriosa entre as curvas presentes nas Figuras 1 e 2.

B. Diferença na potência média anual

A partir da observação da Tabela 5, pode-se verificar a diferença entre as velocidades dos ventos nas cidades estudadas. Como a potência extraída é diretamente proporcional ao cubo da velocidade do vento, esta é a informação mais crítica ao se avaliar o potencial de um terreno candidato a ser usado como parque eólico. Muitas vezes, parques eólicos podem apresentar a mesma velocidade média, porém diferentes valores de velocidade cúbica média porque o parâmetro “k”, ligado à forma das curvas de distribuição, não altera essencialmente a velocidade média, enquanto que exerce efetiva influência sobre o valor da velocidade cúbica média. Por isso, o uso da velocidade média na equação de densidade de potência pode produzir um erro significativo na estimativa anual de energia, fazendo com que esta não se torne confiável.

C. Curvas de distribuição de energia

A potência média anual P_{mnc} em Uberlândia resultou em um valor 6,50 vezes menor que em Natal. As curvas de distribuição de energia das Figuras 3 e 4 seguem o mesmo padrão de análise das curvas de distribuição de velocidade dos ventos, permitindo concluir que em Natal é possível obter um fornecimento de maior quantidade de energia, com distribuição mais regular ao longo do ano.

De acordo com essas observações, verifica-se que a implantação de parques eólicos preferencialmente na região próxima à Natal está relacionada ao alto potencial dos ventos dessa região. Devido à diferença entre os parâmetros

calculados, por efeito de comparação, conclui-se que a região de Uberlândia, mesmo sendo localizada em um grande centro consumidor de energia elétrica, apresentaria baixo rendimento e, provavelmente, elevados custos para produzir energia elétrica através de geradores eólicos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Estação Climatológica Principal da Universidade Federal do Rio Grande do Norte e ao Laboratório de Climatologia e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Uberlândia, que viabilizaram tecnicamente a realização desse trabalho ao disponibilizarem os dados referentes às velocidades dos ventos durante o ano de 2011 nas duas cidades estudadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Patel, Mukund R. “Wind and Solar Power Systems”, Kings Point, New York: CRC Press, 1999, 348 p.
- [2] Justus, C.G.; Hargraves, W.R., Mikail, A. Graber, D. Methods for Estimating Wind Speed Frequency Distributions. *Journal Applied Meteorology*, 12(3) 350-353, 1978.
- [3] Conradsen, K; Nielsen, L. B.; Prahm, L. P. Review of Weibull statistics for estimation of wind speed distributions. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23(8), 1173-1183, 1984.
- [4] GWEC – Global Wind Energy Council. Global Wind Report. Annual market update 2011.
- [5] PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/>>. Acesso em: 27/03/2012.
- [6] Energia Eólica – Informações e Perspectivas. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-Energia_Eolica\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-Energia_Eolica(3).pdf)>. Acesso em: 10/04/2012.