



ANÁLISE DO POTENCIAL DE GERAÇÃO EÓLICA NO ESTADO DA BAHIA

Adjeferson Custódio Gomes*¹, Victor Santos Matos¹, Vinícius de Souza Andrade Wanderley¹,
Giovanna Buscatti Gonçalves¹, Luís Ricardo Cândido Cortes² e Fabiano Rodrigues Soriano¹

¹DCET – Universidade Estadual de Santa Cruz

²FEELT – Universidade Federal de Uberlândia

Resumo - Este trabalho tem como objetivo a análise do potencial de geração eólica no estado da Bahia, com base em informações acerca do comportamento dos ventos na região e nos empreendimentos já existentes. Em um primeiro momento leva-se em consideração os aspectos técnicos envolvidos no estudo de viabilidade de instalação de um parque eólico, discutindo-se as variáveis pertinentes ao assunto e que influenciam, de forma definitiva, no potencial da região. Em seguida, são analisados os perfis de vento da região com discussões mais aprofundadas com relação àqueles pontos onde constata-se as maiores velocidades médias anuais. Por fim, é feito um estudo de caso através de simulação via Matlab/Simulink a qual busca avaliar o potencial de geração na região de Guanambi, cidade esta onde já se encontra operante um parque eólico.

Palavras-Chave - Análise, Empreendimentos, Eólica, Geração, Potencial.

ANALYSIS OF WIND GENERATION POTENTIAL IN THE STATE OF BAHIA

Abstract - This work aims to analyze the potential of wind generation in the state of Bahia based on information about the behavior of the wind in the region and in existing ventures. Firstly, the technical aspects involved in the study of the feasibility of installing a wind farm are discussed, discussing the variables relevant to the subject and that influence, in a definitive way, the potential of the region. Next, the wind profiles of the region are analyzed with more in-depth discussions with respect to those points where the highest average annual velocities are observed. Finally, a case study is done through simulation via Matlab/Simulink, which seeks to evaluate the generation potential in the region of Guanambi, where a wind farm is already operating.

Keywords - Analysis, ventures, wind, generation, potential.

I. INTRODUÇÃO

Segundo a presidente da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), Elbia Gannoum: “O cenário na Bahia é o melhor possível e muito em breve o estado vai ser o maior produtor de energia eólica. Ele tem, nos últimos três anos, participado dos leilões e é o maior investidor, que vendeu mais projetos nos leilões. E a Bahia tem o maior potencial eólico do mundo” [1].

Por seu território apresentar largas faixas com velocidades médias dos ventos relativamente altas, o território baiano possui elevado potencial eólico, sendo alvo de diversas empresas energéticas que objetivam a exploração deste recurso renovável como fonte viável de geração de energia elétrica.

É na Bahia onde está localizado o Complexo Eólico do Alto Sertão, considerado um dos maiores da América Latina e refletindo o quanto a geração eólica contribui para diversificação da matriz energética brasileira.

Neste sentido, este trabalho busca analisar o potencial de geração eólica em território baiano e analisar a viabilidade de projetos que busquem a exploração do mesmo como forma de geração de eletricidade de forma limpa e renovável.

II. O VENTO COMO FONTE DE ENERGIA

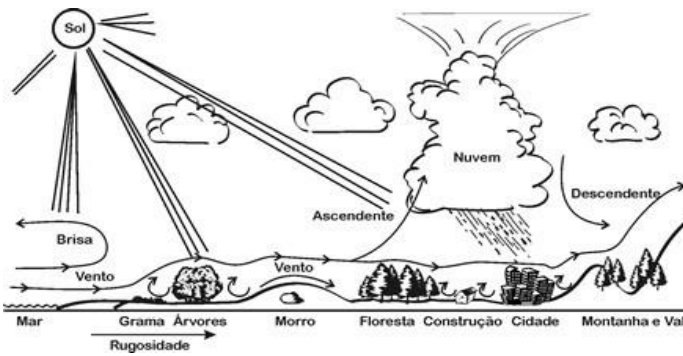
A. Características do recurso eólico

É pertinente a afirmação de que a energia cinética dos ventos decorre da radiação solar. Esta, através do perfil heterogêneo do aquecimento da superfície do planeta em função da orientação dos raios solares e do movimento da terra, provoca a movimentação das massas de ar com base no fenômeno convectivo [2].

Estas massas, chamadas de ventos, tem seu movimento impactado por diferentes condições geográficas locais, como rugosidade do solo, função de vegetação, uso da terra e construções; presença de obstáculos; variação da velocidade com a altura; relevo e posicionamento geográfico, função da participação espacial no processo de formação dos ventos [2]. A Figura 1 é ilustrativa desses fenômenos.

*acgomes@uesc.br

Figura 1 - Fatores de influência sobre o vento [2].



B. Turbinas eólicas

Turbinas eólicas são conversores da energia cinética do vento em energia elétrica. A potência gerada pode ser descrita por:

$$P = \frac{1}{2} \rho A_r C_p \eta v^3 \quad (1)$$

Onde:

- ρ - Densidade do ar [kg/m³]
- A_r - Área do rotor.
- C_p - Coeficiente aerodinâmico de potência do rotor.
- η - Eficiência da máquina.
- V - Velocidade do vento. [m/s]

Essa potência vem da definição de energia cinética de uma massa “m” de ar de velocidade “v”, passando por uma área circular A. Apenas parte dessa energia pode ser absorvida, representada por “Cp”, que é resultado da razão entre as velocidades antes e após a turbina e do ângulo das pás do aerogerador [3]. Sendo que o gerador e as partes mecânicas/elétricas de eficiência contemplada por η .

É certo considerar que uma planta eólica necessita de condições adequadas de vento (frequência e intensidade) na área a ser instalada. Consagra-se que velocidades de vento partindo de 2.5 a 3m/s já é capaz de sensibilizar as turbinas e produzir energia elétrica. Velocidades acima da capacidade de potência do sistema são contornadas por sistemas de freio e controle.

C. Características construtivas das turbinas

De forma geral, há dois tipos básicos de turbinas, as de rotor de eixo vertical e as de eixo horizontal.

As de eixo horizontal, mais consolidadas e comuns, são construídas principalmente por (conforme Figura 2) fundação (1), conexão com a rede elétrica (2), torre (3), escadaria de acesso (4), controle de orientação do vento (5), nacela (6), gerador (7), anemômetro (8), freio (9), caixa de Câmbio (10), pá rotatória (11), controle de inclinação da pá (12) e cubo rotor (13).

Em relação ao sistema eletromecânico dos aerogeradores, há duas topologias consolidadas, as de velocidade constante (Figura 3) e as de velocidade variável (Figura 4).

Dentre essas topologias a que tem frequente uso é a de velocidade variável em decorrência dos perfis diários de

velocidade de vento por retirar a dependência da tensão gerada em relação a frequência de giro o gerador.

Figura 2 - Componentes da turbina de eixo horizontal.

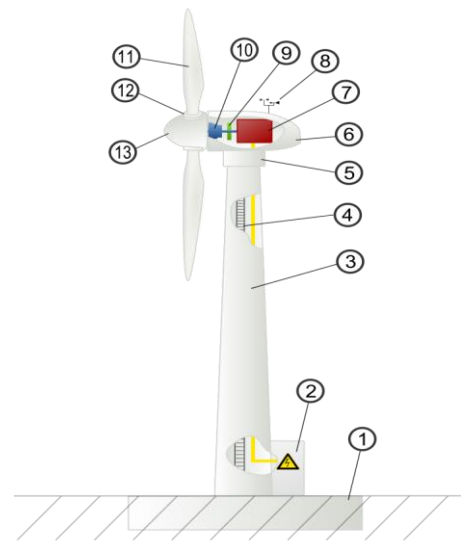


Figura 3 - Topologia de velocidade constante – máquina assíncrona conectada diretamente à rede [2].

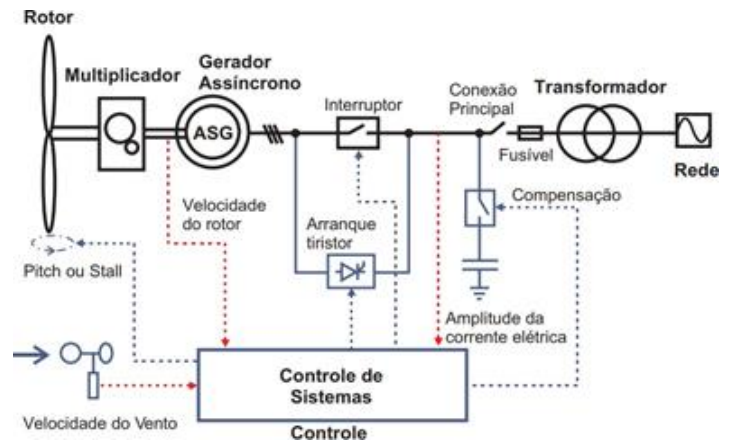
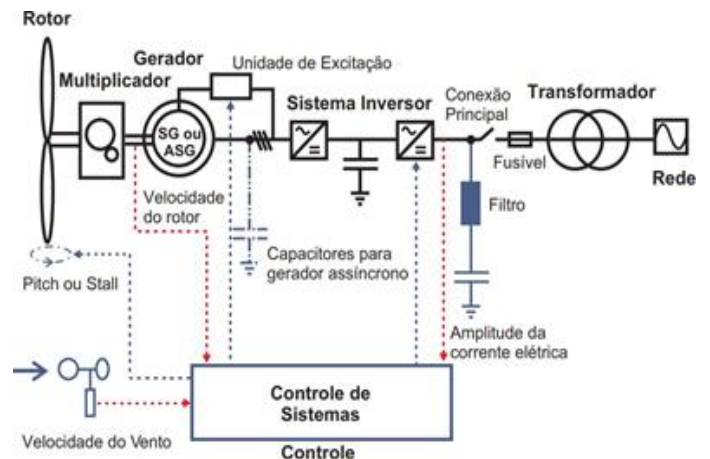


Figura 4 - Topologia de velocidade variável - máquina assíncrona ou síncrona conectada à rede via conversores [2].



D. Modelos de sistemas

Dependendo do porte e da aplicação do sistema eólico projetado, é possível classificá-lo quanto ao potencial de geração em três tipos como visto na Figura 5.

Figura 5 - Classificação dos sistemas eólicos quanto ao porte [2].



Os sistemas de pequeno e médio porte tem aplicabilidade limitada e complementar. Os sistemas de grande porte, ou parques eólicos que demonstram maior aproveitamento do recurso e maior indicação de desenvolvimento nos últimos anos.

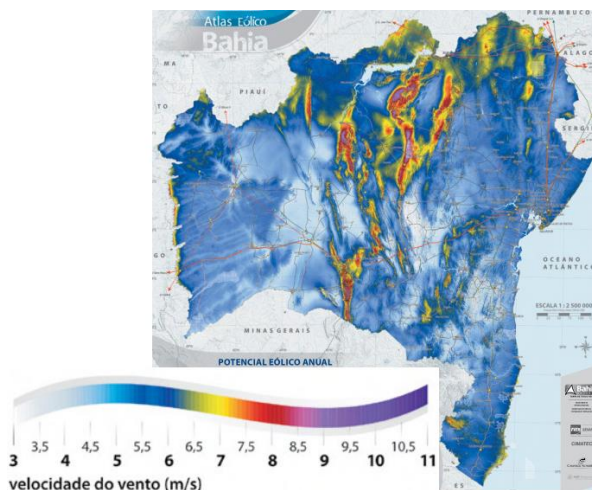
Existe, quanto ao local de implantação, os chamados sistemas offshore que se caracterizam pela instalação de parques eólicos sobre o mar, aproveitando a pouca influência negativa da localidade sobre os ventos.

III. POTENCIAL EÓLICO BAIANO

Conforme mencionado anteriormente, a análise do potencial de geração eólica depende de diversos fatores climáticos e geográficos. Desta forma, a seguir será realizada a análise de viabilidade de instalação de parques de geração eólicos a partir de informações acerca da dinâmica dos ventos na região de interesse, o território baiano.

Inicialmente, a análise será feita com base nos mapas eólicos apresentados no Atlas Eólico da Bahia [7]. A Figura 6 mostra o potencial eólico anual da Bahia a 80m de altura. A análise do mesmo mostra que boa parte do estado apresenta ventos a velocidade médias de 5,0 a 6,0 m/s.

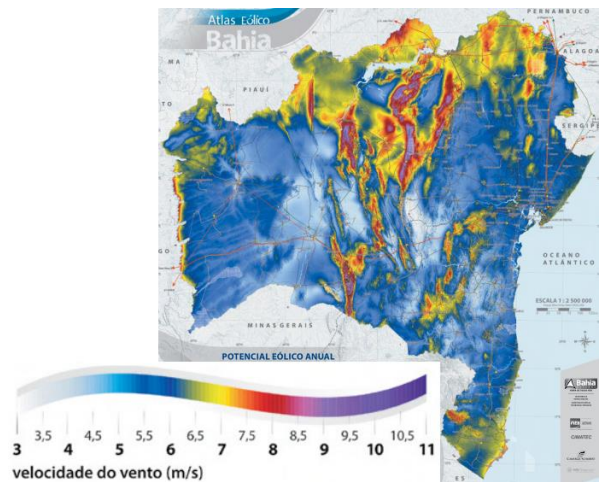
Figura 6 - Potencial eólico anual a 80m [7].



Ainda assim, existem regiões que facilmente apresentam médias que compreendem valores entre 7,0 e 8,0 m/s, além de pontos específicos onde registram-se velocidades médias anuais que podem ultrapassar os 10 m/s. Verifica-se que a região do sertão baiano apresenta médias anuais mais favoráveis à geração eólica quando comparadas ao restante do estado.

Na Figura 7 é exibido o mapa com as velocidades médias anuais da Bahia, mas desta vez levando em consideração uma altura maior: 120 m. Com isso, obtém-se informações acerca da influência da altitude as torres sobre o potencial de geração.

Figura 7 - Potencial eólico anual a 120m [7].



Conforme pode ser visto, há uma considerável elevação do potencial eólico da região serrana do estado, onde a alteração de altura de 80 m para 120 m, ou seja, um aumento de 40 m, acarreta em aumento das áreas com maiores velocidades, em especial das áreas com velocidades compreendidas entre 6,5 e 7,0 m/s e daquelas superiores a 10 m/s.

Dessa forma, estando a velocidade medida diretamente relacionada com a altura especificada, é possível melhorar o aproveitamento do potencial eólico da região por meio da elevação da altitude das turbinas eólicas.

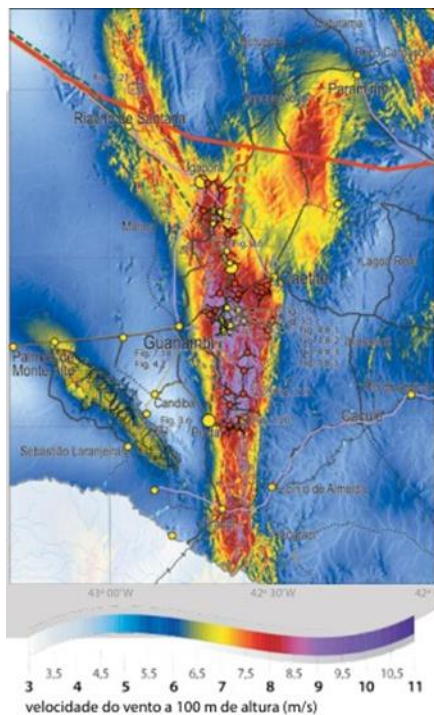
Conforme [8], o aumento das torres proporciona a captação de ventos de maiores velocidades e com menos turbulência. Tal fato leva áreas que antes não eram consideradas de grande potencial se tornarem interessantes para a geração de energia elétrica.

Além disso, os mapas eólicos apresentados, refletem na distribuição dos empreendimentos ao longo do estado. O Complexo Eólico do Alto Sertão localiza-se nas cidades de Caetité, Guanambi, Igaporã e Pindaí, as quais encontram-se em uma região extremamente favorável ao aproveitamento do recurso eólico. Este é constituído por 184 aerogeradores e possui uma capacidade instalada de 293,5 MW [9], configurando-o como um dos maiores parques eólicos da América Latina.

Conforme pode ser visto na Figura 8, a 100 m de altitude, ao longo de toda região que liga as cidades mencionadas, registram-se velocidades médias a partir de 6,5 a 7,0 m/s. Entretanto, há claramente o predomínio das regiões atingidas por velocidades superiores a 8,0 m/s. Tal região é justamente

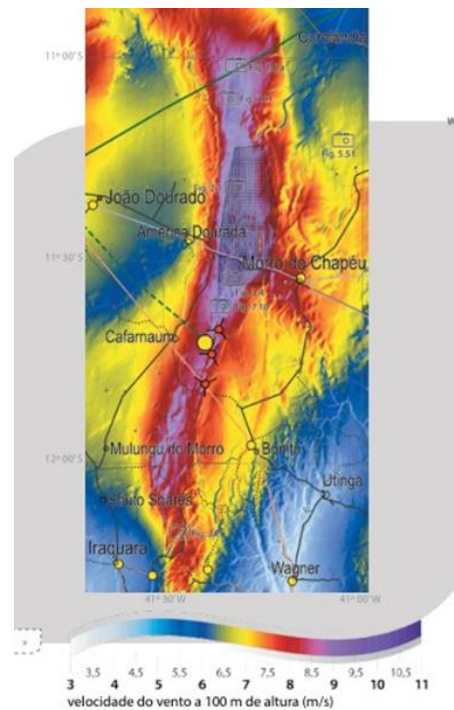
aquela na qual houve a instalação dos parques eólicos, refletindo a viabilidade da mesma para tal empreendimento.

Figura 8 - Potencial eólico no Alto Sertão baiano [7].



identificadas áreas com velocidades superiores aos 9,0 m/s. A Figura 10 exibe o mapa eólico da região.

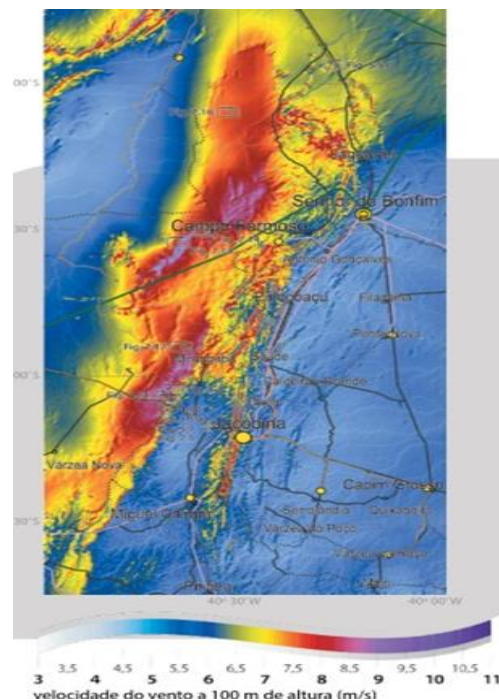
Figura 9 - Potencial eólico da região de Morro do Chapéu - BA [7].



Da mesma maneira, outras regiões apresentam características similares e são ideais para a instalação de parques eólicos. Uma delas é aquela que se localiza entre os municípios de Morro do Chapéu e Cafarnaum. Ambas se encontram em uma localidade privilegiada com ventos que facilmente superam os 9,0 m/s, tal como pode ser constatado a partir da análise da Figura 9, a qual apresenta uma larga faixa de terra com potencial digno de investimentos do gênero.

Figura 10 - Potencial eólico da Serra do Tombador [7].

Recentemente, a Enel Green Power Brasil (EGPB) iniciou as operações do mais novo parque eólico da Bahia, Morro do Chapéu Sul, localizado nas duas cidades mencionadas anteriormente, aproveitando-se do favorável ambiente analisado. Tal parque possui uma capacidade total instalada de 172 MW e é constituído por seis usinas: Ventos de Santa Esperança (28 MW), Ventos de Santa Dulce (28 MW), Ventos de São Mário (30 MW), Ventos de São Paulo (28 MW), Ventos de São Abraão (28 MW) e Boa Vista (30 MW) [11].



Ainda nesta região baiana que se provou bastante promissora no âmbito da geração, outras cidades também se tornaram alvos de investimentos da ENEL, a qual iniciou as operações de mais um parque no estado, o Complexo Eólico de Serra Azul.

Os Complexo Eólico Serra Azul e Esperança (Parques Dois Riachos, Damascena, Maniçoba e Esperança) possui capacidade instalada de 118 MW, e estão localizados nos municípios de Mulungu do Morro, Bonito e Cafarnaum – BA. O estimulante perfil anual dos ventos apresentados na região são aqueles exibidos na Figura 9.

O Complexo Eólico de Morrinhos, sob responsabilidade da Atlantic Energias Renováveis SA, está localizado em Campo Formoso (BA), na região do Centro Norte Baiano. O Complexo conta com 6 parques eólicos, 90 aerogeradores e possui capacidade instalada total de 180 MW, suficientes para abastecer 500 mil residências.

Outra região baiana que atraiu o interesse devido ao seu potencial eólico foi a área da Serra do Tombador. Trata-se de uma região extensa pertencente à Chapada Diamantina e que apresenta ventos que variam em torno de 8,0 m/s, sendo

Desta forma, fica claro que as regiões com os maiores potenciais de aproveitamento eólico são aquelas de maiores altitudes, uma vez que a velocidade é diretamente proporcional à altura.

Além disso, aqueles pontos de vegetações mais baixas também coincidiram com os principais pontos de instalação dos parques eólicos baianos, uma vez que, com vegetações mais baixas, menores são os obstáculos à circulação de ar, e maiores as velocidades médias registradas.

Seguindo este raciocínio, espera-se que as localidades que possibilitem a instalação de parques offshore apresentem maiores velocidades médias anuais a uma altitude especificada. A Figura 11 ilustra o mapa eólico da região sobre o mar no extremo sul no estado.

Figura 11 - Potencial eólico offshore no extremo sul da Bahia.



Verifica-se a existência de regiões que apresentam velocidades médias anuais em torno de 8,0 a 10,0 m/s, destacando-se as cidades de Porto Seguro, Prado, Caravelas e Nova Viçosa.

IV. ESTUDO DE CASO

A fim de verificar a potencialidade da região, foi proposto um estudo em plataforma *Matlab - Simulink*®. A partir do perfil médio diário de ventos na cidade de Guanambi, Figura 12, obtido com dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) entre os meses de outubro de 2017 a setembro de 2018, estimou-se a potência gerada para um sistema elétrico de potência (SEP) conectado a uma planta eólica de 9 MW de potência instalada [14] (Wind Farm (IG) - Figura 13).

Pela Figura 14, pode-se observar a potência média diária gerada pelo complexo para a SEP. Visualiza-se que a taxa média de ventos é capaz de manter o sistema próximo à potência nominal na maior parte do dia.

O perfil diário apresenta pouca variação, ainda que seja possível observar a redução da potência nos horários de

considerável redução da velocidade dos ventos, entre 8 e 10h, e entre 22 e 24h.

Reafirma-se, portanto, a dependência da potência gerada com a velocidade do vento e o potencial da cidade de Guanambi em geração eólica, comprovando-se a viabilidade do parque eólico já instalado na localidade.

Figura 12 - Velocidade dos ventos em Guanambi – BA: perfil diário médio.

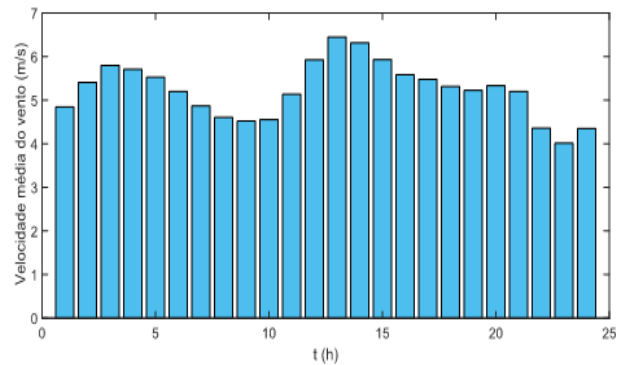


Figura 13 - Diagrama do estudo de caso [14].

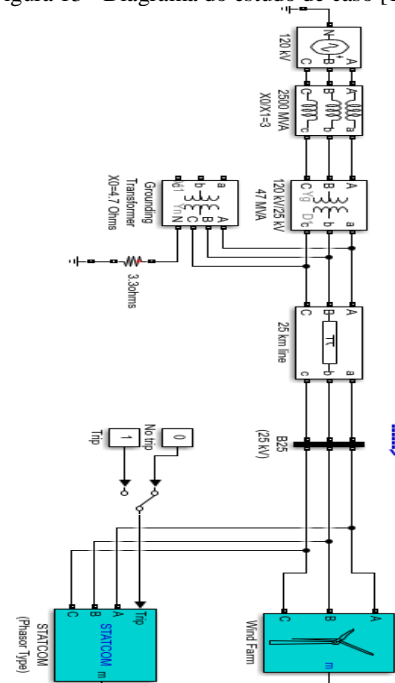
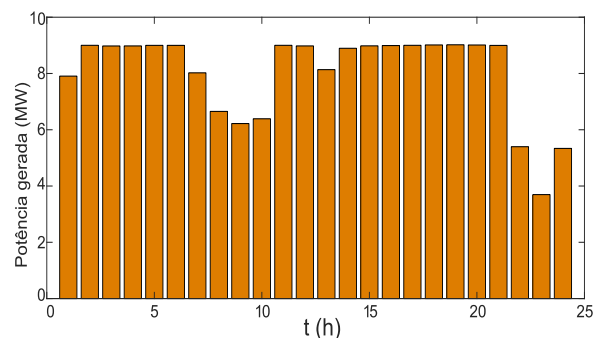


Figura 14 - Potência gerada pelo complexo eólico de $P_N = 9\text{MW}$ associado ao perfil de ventos na cidade de Guanambi - BA.



V. CONCLUSÃO

Como anunciado por Elbia Gannoum, o estado da Bahia tem a capacidade de se tornar o maior produtor de energia eólica do país. Além da implantação de grandes empreendimentos já em operação, o estado se beneficia pelas características geoclimáticas pertinentes aos perfis cinéticos dos ventos no território.

Verifica-se que altura é uma variável importante no quesito aproveitamento da energia dos ventos, indicando que a Bahia, devido as suas formações topográficas, se beneficia de turbinas de maior porte, capaz de aproveitar essas maiores velocidades registradas. É no sertão baiano em que se destacam essas maiores velocidades, indicando a região de maior capacidade do estado, comprovada pela concentração dos empreendimentos já instalados.

Em análise do caso Guanambi, que faz parte da área da Serra do Espinhaço, comprova-se o potencial da região pelo perfil diário com pouca variação e considerável capacidade energética, já aproveitada no parque ali instalado.

O estado como um todo se destaca, ainda que no contexto *offshore*, onde apresenta médias anuais favoráveis para a geração pelo recurso eólico. Com novas construções e investimentos o estado pode se tornar o futuro da energia eólica no país.

REFERÊNCIAS

- [1] PACHECO, C. Bahia tem o maior potencial eólico do mundo, diz especialista. *Correio 24 horas*, Oct 2015. Acesso em: 20 set. 2018, em: <https://www.correio24horas.com.br/noticia/nid/bahia-tem-o-maior-potencial-eolico-do-mundo-dizespecialista/>.
- [2] DUTRA, R. Energia eólica—princípios e tecnologia. Rio de Janeiro: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Britto, 2008.
- [3] AMARANTE, O. d.; SILVA, F. d. Atlas do potencial eólico do estado da bahia. Camargo Schubert Engenharia Eólica, COELBA/Iberdrola Empreendimentos do Brasil, p. 61, 2001.
- [4] HUGHES, K. Let's go solar - solar or wind : Weighing the differences. 2018. Acesso em: 14 set. 2018, em: <https://www.letsgosolar.com/consumer-education/solar-power-wind-power/>.
- [5] NORDMANN, A. Composição básica de um aerogerador. 2007. Acesso em: 20 set. 2018, em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Aerogerador#/media/Filme:Wind_turbine_int.svg
- [6] THE UK has more offshore wind power than all other countries... combined. 2014. Acesso em: 30 set. 2018, em: <https://www.treehugger.com/renewable-energy/uk-has-more-offshore-wind-power-all-other-countries-combined.html>.
- [7] CHUBERT, C. Atlas eólico/wind power atlas: Bahia. Salvador: SECTI/SEINFRA, CIMATEC/SENAI, 2013.
- [8] JUNGES, C. Com torres mais altas, potencial eólico brasileiro pode ser seis vezes maior. 2016. Acesso em: 30 set. 2018, em: <https://www.gazetadopovo.com.br/economia/energia-e-sustentabilidade/com-torres-mais-altas-potencial-eolico-brasileiro-pode-ser-seis-vezes>.
- [9] ENERGY, S. Parque eólico caetité. Acesso em: 20 set. 2018, em: <https://smartenergy.org.br/portal/empresas/brazil/bahia-1/caetite-1/eolica/parque-eolico-caetite/>.
- [10] PITOMBO, J. P. Parque híbrido muda cenário do sertão baiano. 2016. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2016/07/1795967-parque-hibrido-muda-cenario-do-sertao-baiano.shtml>. Acesso em: 30 set. 2018.
- [11] ENEL. Enel inicia operação do parque eólico morro do chapéu sul. 2017. Disponível em: <https://www.enel.com.br/pr/midia/press/d201802-enel-inicia-operacao-do-parque-eolico-morro-do-chapeu-sul.html>. Acesso em: 30 set. 2018.
- [12] RIO ENERGY FECHA O FINANCIAMENTO DO PARQUE EÓLICO SERRA DA BABILÔNIA COM O BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES) NO BRASIL. Acesso em: 30 set. 2018, em: <http://leoricardonoticias.com.br/dia-a-dia/rio-energy-fecha-o-financiamento-do-parque-eolico-serra-da-babiloni>.
- [13] PARQUE EÓLICO DAMASCENA ENTRA EM OPERAÇÃO COMERCIAL. 2016. Acesso em: 30 set. 2018, em: <https://www.bahiadevalor.com.br/2016/05/parque-eolico-damascena-entra-em-operacao-comercial/>.
- [14] MATHWORKS - Matlab. Wind farm (ig). Acesso em: 30 set. 2018, em: <https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/examples/wind-farm-ig.html>.