

ANÁLISE DO FLUXO DE POTÊNCIA DE UM PARQUE EÓLICO EM CASA NOVA – BA

Arley Silva Mendes de Matos¹; Thamiles Rodrigues de Melo²

¹ Graduando em Engenharia de Controle e Automação; (Iniciação científica voluntária – SENAI CIMATEC); arley.matos@ba.estudante.senai.br

² Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador-BA; thamiles.melo@doc.senaicimatec.edu.br

RESUMO

Nesta pesquisa é proposto analisar o fluxo de potência do modelo computacional de um parque eólico, a fim de simular o estado operativo deste sistema elétrico de potência (SEP) de forma simplificada e em curtos tempos de processamento. O parque eólico em estudo será o do município de Casa Nova – BA, referente ao projeto da Chesf em cooperação técnico-científica com o SENAI CIMATEC e demais instituições parceiras. Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os modelos existentes para fontes de energia eólica, bem como sobre a análise do fluxo de potência pelo método linearizado. Para o exercício deste método, realizou-se o fluxo de potência de dois estudos de caso de SEPs retratados na literatura por meio de um algoritmo desenvolvido em MATLAB. A partir desses estudos de caso, espera-se extrair informações relevantes sobre como realizar o fluxo de potência do parque eólico real; compreender o funcionamento do sistema; e avaliar os impactos da geração de energia elétrica.

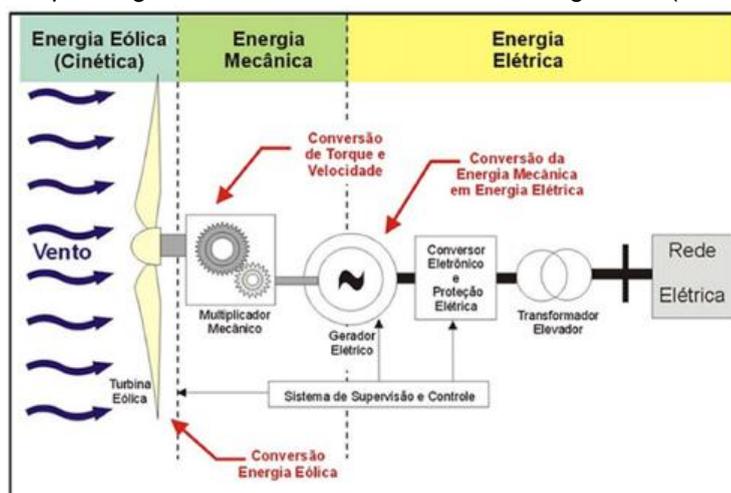
PALAVRAS-CHAVE: Sistemas de potência; fonte eólica; modelagem computacional; geração de energia elétrica.

1. INTRODUÇÃO

No que se refere à geração de energia elétrica através de fontes renováveis, o Brasil está em uma posição de destaque no cenário mundial pela sua abundância de recursos naturais, com a utilização de geradores eólicos se tornando cada vez mais presentes em diversas regiões do país. Segundo a GWEC (*Global Wind Energy Council*) num boletim postado em 2020¹, a potência eólica brasileira instalada em 2019 ultrapassou 15,1 GW, tornando o país com maior avanço neste mercado na América Latina e o quinto colocado no *ranking* mundial de capacidade eólica. Dessa forma, é notório o alto potencial nacional nesta produção de energia, sendo atrativo para investidores de todo o mundo.

As turbinas eólicas são capazes de converter a energia cinética dos ventos em energia mecânica, onde a mesma pode ser aplicada na geração de energia elétrica, tendo seu uso de imediato ou armazenado em baterias. Na Figura 1 são apresentados os elementos constituintes de um aerogerador. O vento que passa pelas pás do aerogerador aciona a turbina eólica, gerando energia mecânica no eixo (rotor). Por sua vez, o eixo movimentado o gerador (alternador) que converte energia mecânica em energia elétrica por meio de conversão eletromagnética².

Figura 1. Esquema geral de funcionamento de uma aerogerador (eixo horizontal)



Fonte: (PICOLO; RÜHLER; RAMPINELLI, 2014)

Para ponderar a geração, transmissão e distribuição dos sistemas de energia é realizada uma análise de fluxo de potência, sendo este, segundo Monticelli ³ a “determinação do estado da rede, da distribuição dos fluxos e de outras grandezas de interesse” de um Sistema Elétrico de Potência (SEP). A fim de analisar tais sistemas, foram criados diversos métodos de análises de fluxo de potência com suas respectivas aplicações. No caso desta pesquisa, tem-se como objetivo obter um modelo computacional de um parque de geração de energia elétrica composto por fonte renovável do tipo eólica, no município de Casa Nova – BA, visando a simulação do comportamento deste parque em diferentes cenários de geração e a avaliação da estabilidade do sistema elétrico em termos dos níveis de tensão nas barras.

2. METODOLOGIA

Antes da modelagem computacional, foi feito um levantamento bibliográfico para obtenção do estado da arte da modelagem de SEP e assuntos relacionados à pesquisa. Dentro deste levantamento foram delimitados parâmetros do modelo e estudos de caso para realização de prova de conceito.

Existem diversos métodos para analisar um fluxo de potência, tais como, Método Newton-Raphson, Método desacoplado rápido, Método linearizado e dentre muitos outros⁴. No caso desta pesquisa, optou-se por aplicar o método linearizado para resolução do cálculo de fluxo de potência, utilizando de aproximações e equivalências que ajudam na simplificação do sistema, tornando-o linear. Entretanto, o método linearizado não pode substituir, em alguns casos, os métodos não lineares, pois suas aproximações começam a não ser válidas sob as condições de contorno, comprometendo toda a análise do sistema.

O método linearizado possui alguns processos de atribuições e equivalências que contribuem para obtenção de um cálculo linear do fluxo de potência. Primeiramente, define-se que a impedância, constituída pela soma da resistência (parte real) e da reatância (parte imaginária), terá sua resistência desprezada ($R = 0$), conforme a Equação (1):

$$Z = R + jX \Rightarrow Z = jX \quad (1)$$

onde: Z = Impedância [Ω], R = Resistência [Ω] e X = Reatância [Ω].

Como o fluxo de potência ativa na linha é proporcional aos ângulos e estes se deslocam de maneira decrescente, pode-se fazer uma atribuição de equivalência dos ângulos, sendo o seno do ângulo aproximadamente igual ao valor do ângulo em radianos ($\text{sen}(\theta_{km}) \approx \theta_{km}$), para ângulos próximos de zero. A fim de simplificar a análise nos ramos, atribuiu-se os valores de tensão das barras k e m por 1 pu ($V_k \approx V_m \approx 1$), e obteve-se a susceptância $b_{km} = -\frac{1}{x_{km}}$ devido a resistência desprezada. Manipulando a Equação (2) para potência ativa que flui na linha de transmissão (P_{km}), tem-se que:

$$P_{km} = -V_k \cdot V_m \cdot b_{km} \cdot \text{sen}(\theta_{km}) = -1 \cdot 1 \cdot \left(\frac{-1}{x_{km}}\right) \cdot \theta_{km} \quad (2)$$

Portanto, o fluxo de potência do SEP pode ser aproximado pela Equação (3):

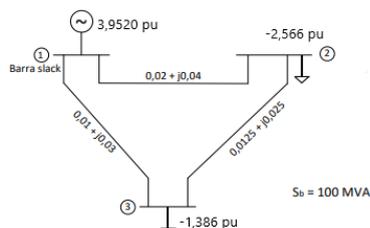
$$P_{km} = \frac{\theta_{km}}{x_{km}} \therefore P = B' \cdot \theta \quad (3)$$

onde: P = Vetor das injeções líquidas de potência ativa no SEP, B = Matriz de susceptância nodal e θ = Vetor dos ângulos das tensões das barras.

3. RESULTADOS PARCIAIS

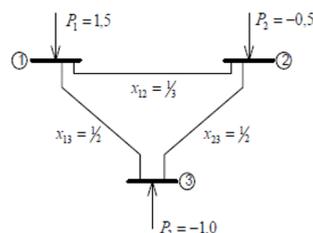
Para exercício do método linearizado, realizou-se a análise de fluxo de potência de dois estudos de caso de SEPs contidos nos artigos de referência^{1,5}. Estes casos possuem 3 barras de interligadas, duas de carga e uma de referência, como pode ser observado a seguir:

Figura 2: Estudo de caso 1 em modelo linear.



Fonte: Autoria própria, adaptado de
(SAADAT, 1999, p.214).

Figura 3: Estudo de caso 2 em modelo linear.



Fonte: Autoria própria, adaptado de
(MONTICELLI, 1983).

A partir dos dois casos apresentados, realizou-se a construção de um algoritmo em MATLAB com o objetivo de obter os ângulos das barras [rad] e o fluxo de potência entre as barras [p.u.] de cada modelo. Os resultados em rosa simbolizam a potência retirada e as células verdes, a potência injetada nas barras.

Tabela 1: Estado do sistema elétrico do caso 1 - Modelo Linear.

Barra	Tipo	Ângulo	Pot. entre barras
			Ativa (p.u.)
1	Vθ	$\theta_1 = 0$	P12 = 1,9233
2	PQ	$\theta_2 = -0,0769$	P13 = 2,0287
3	PV	$\theta_3 = -0,0609$	P23 = -0,6427

Fonte: Autoria própria

Figura 4: Resultado do algoritmo do caso 1 em MATLAB.

```

Ângulo de fase em radianos
0.0000 -0.0769 -0.0609

Fluxo de potência ativa em pu
1.9233 2.0287 -0.6427
    
```

Fonte: Autoria própria

Tabela 2: Estado do sistema elétrico do caso 2 - Modelo Linear .

Barra	Tipo	Ângulo	Pot. entre barras
			Ativa (p.u.)
1	Vθ	$\theta_1 = 0$	P12 = 0,75
2	PQ	$\theta_2 = -0,25$	P13 = 0,75
3	PV	$\theta_3 = -0,375$	P23 = 0,25

Fonte: Autoria própria

Figura 5: Resultado do algoritmo do caso 2 em MATLAB.

```

Ângulo de fase em radianos
-0.0000 -0.2500 -0.3750

Fluxo de potência ativa em pu
0.7500 0.7500 0.2500
    
```

Fonte: Autoria própria

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a resolução de casos de fluxo de potência a partir da análise do sistema elétrico de potência, obteve-se a prova de conceito do método linearizado, a fim de desenvolver os estudos iniciais da pesquisa. Os próximos passos para a conclusão do trabalho será a análise de casos de SEP mais complexos e, ao final, representar o parque eólico em Casa Nova - BA como uma única unidade geradora para modelar e resolver seu sistema de fluxo de potência.

5. REFERÊNCIAS

- SILVA, Leonardo Notaroberto Custódio Leão Nunes. Desenvolvimento de um tutorial do programa ANAREDE com base em configurações típicas de sistemas elétricos de potência. 2016.
- FARRET, Felix Aberto. Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica. Santa Maria: Ed. UFSM, 2010.
- MONTICELLI, A. J.; GARCIA, A., Introdução a Sistemas de Energia Elétrica. Editora UNICAMP, 1a. Edição, Campinas, 2003.
- GLOVER, J. Duncan; SARMA, Mulukutla S.; OVERBYE, Thomas. Power system analysis & design, SI version. Cengage Learning, 2012.
- SANTOS, Liedson Oliveira dos. Ferramenta Computacional Para Determinação Do Fluxo De Potência Linearizado Em Sistemas Elétricos De Potência. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 06, Ed. 03, Vol. 12, pp. 95-110. Março de 2021.