

## PARÂMETROS PRIMÁRIOS PARA PROJETOS DE WIND FARM.

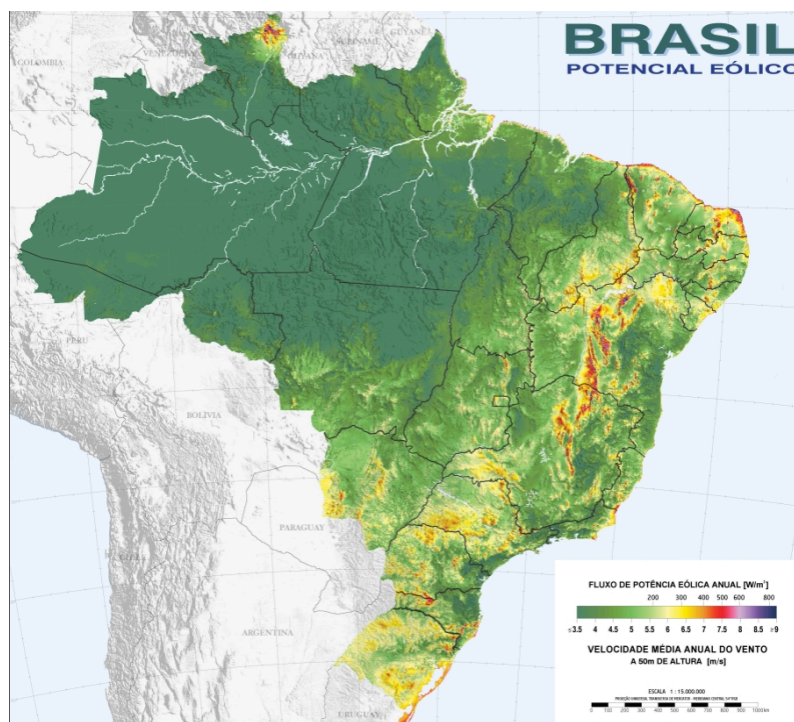
Para utilizar esse projeto em aplicações do mundo real é importante avaliar precisamente o custo necessário de implantação de parques eólicos que reflita as condições reais. Todos os dados sobre os custos de turbinas eólicas, instalação, operação e manutenção foram obtidos em fontes disponíveis em revistas e sites oficiais de órgãos normativos e regulamentadores do Brasil (EPE, 2020), (WINDUSTRY, 2020) e (CCEE, 2020).

Os parâmetros do projeto incluem características que são mais críticas para a viabilidade técnica e econômica do parque eólico como, por exemplo, os custos específicos do local onde será instalado o parque. Um exemplo de estudo de caso de um projeto de parque eólico pode ser encontrado em (WEKKEN, 2007). Os fatores que foram considerados mais importantes e, portanto, considerados neste projeto, serão explicados a seguir.

### a). Seleção de regiões para implantação do parque eólico no Brasil

Dividiu-se o Brasil em regiões norte, nordeste, sudeste, centro-oeste e sul. Observou-se que cada uma das regiões do Brasil requer diferentes valores de investimento de capital para implantação de parques eólicos, pois tem características intrínsecas diferentes como velocidade média do vento e custo da terra. A Figura 3 ilustra um mapa com as velocidades médias do vento em todo o Brasil.

Figura 3 – Mapa de Vento no Brasil



Fonte: (CRESESB, 2001)

## b). Potência instalada, fator de capacidade e energia e produção de energia anual

Para poder comparar diversas alternativas de projetos de investimentos de parques eólicos nas regiões do Brasil e decidir qual projeto é viável economicamente, foram padronizados alguns parâmetros. Com essa finalidade, considerou-se que o parque eólico teria 100 aerogeradores com potência nominal de 1,5 MW cada, totalizando uma potência instalada de 150MW. Essa padronização não é limitada no aplicativo, sendo que o usuário pode escolher qualquer quantidade e potência de aerogeradores para o parque eólico.

Um outro parâmetro importante para conhecer a capacidade de geração de um parque eólico é o Fator de Capacidade (FC), o qual é a relação entre a produção efetiva de uma usina, em um período de tempo e a capacidade total máxima neste mesmo período. A tabela 1, a seguir, contém valores dos Fatores de Capacidade para as cinco regiões do Brasil (CCEE, 2020).

Tabela 1: Fator de Capacidade (FC) nas Região do Brasil.

Região	Fator de capacidade
Norte	0,30
Nordeste	0,43
Sul	0,22
Sudeste	0,42
Centro-Oeste	0,30

Fonte: Adaptado de (CCEE, 2020).

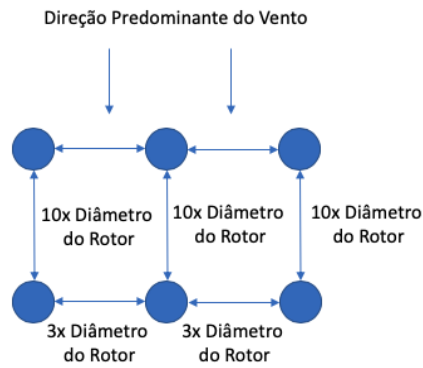
Com o Fator de Capacidade e a Potência Instalada (PI) pode-se calcular a Produção de Energia Anual (PEA) do parque eólico, através da Equação (1).

$PEA(MWh) = FC.PI.8.760hrs$	(1)
-----------------------------	-----

## c). Layout dos aerogeradores e a área necessária para o parque eólico

Podem existir diversos layouts para a disposição dos aerogeradores em um parque eólico. Como regra geral, adotou-se que cada coluna de aerogeradores (espaçada perpendicularmente à direção predominante do vento) deve ser separada por três vezes o diâmetro do rotor do aerogerador, enquanto cada linha dele (espaçadas paralela à direção predominante do vento) deve ser separada por dez vezes o diâmetro do rotor do aerogerador. Essa configuração pode ser visualizada na Figura 4.

Figura 4 – Layout dos Aero geradores.



Fonte: Autor (2020).

Então, a área necessária para a implantação do parque eólico em  $m^2$  é dada pela Equação (2) e, neste caso,  $C$  é considerado o comprimento (calculado pela Equação (3)) e  $L$  é a largura (calculada pela Equação (4)).

$Area(m^2) = Comprimento(C).Largura(L)$	(2)
---	-----

$C = (n^0\_colunas\_aerogeradores - 1).(3.diametro\_aerogeradores)$	(3)
---	-----

$L = (n^0\_linhas\_aerogeradores - 1).(3.diametro\_aerogeradores)$	(4)
--	-----

A área obtida pela Equação 2 é em  $m^2$ , sendo necessária convertê-la para Acres, tal como Equação 5.

$Area(Acres) = \frac{Area(m^2)}{4.046,86}$	(5)
--	-----

#### d). Custos com terreno e sistema de interconexão (subestação e linha de transmissão) com sistema elétrico

Uma vez calculada a área necessária para implantar o parque eólico, deve-se definir se a área será comprada ou arrendada. Neste trabalho, considerou-se que a área será em regime de arrendamento, tendo como referência o trabalho de (WINDUSTRY, 2014). A seguir, apresenta-se a Tabela 2 com os custos anuais de terra, tendo como referência (EPE, 2020).

Tabela 2: Custos Anuais da terra em cada região.

Região	Dólar/Acre	Reais/Acre
Norte	US\$ 443,23	R\$ 1.861,56
Nordeste	US\$ 684,11	R\$ 2.873,27
Sul	US\$ 3.632,54	R\$ 15.256,67
Sudeste	US\$ 2.572,65	R\$ 10.805,61
Centro-Oeste	US\$ 1.175,52	R\$ 4.937,17

Fonte: (EPE, 2020)

As linhas de transmissão, subestações e outros custos da subestação também serão levados em consideração neste projeto. Existem muitas leis e regulamentos para permitir a interconexão de um novo parque eólico no sistema elétrico existente. A autorização para a interconexão depende das agências reguladoras em níveis regional e estadual, bem como do serviço público, de consultores de engenharia e de advogados com experiência em contratos de interconexão. Estima-se que o tempo para concluir os estudos de interconexão pode se arrastar por mais de um ano e pode custar um valor significativo do projeto. Esses estudos são importantes para decidir se é viável continuar com o projeto ou se os custos de interconexões inviabilizarão a implantação do parque eólico (WINDUSTRY, 2014). Neste trabalho, foram utilizados os custos de interconexão baseados em (MILLS, 2009) e podem ser vistos na Tabela 3.

Tabela 3: Custo para Interconexão.

Subestação e Linha de Transmissão.	
Linha de Transmissão (A)	US\$187.500,00/km
Subestação (B)	US\$1.150.000,00
Conexão com uma linha-T existente (C)	US\$1.200.000,00

Fonte: (EPE, 2020)

Assim, o custo de interconexão (CT) pode ser calculado pela Equação (6).

$CT = [Km \text{ da linha de transmissão. } (A)] . +(B) + (C)$	(6)
--	-----

#### e). Custos de operação e manutenção

Depois que o parque eólico estiver implantado e estiver operando, algumas despesas devem ser consideradas também nos custos anuais do projeto. Alguns desses custos são considerados anualmente na manutenção preventiva dos equipamentos do parque eólico. Outros tipos de custos que podem aparecer de forma menos frequente ou até mesmo de forma aleatória é o caso da manutenção corretiva que não estava prevista anteriormente.

Com base em Worcester *et al.* (2013), foi utilizado nesta pesquisa a Equação 7 para calcular o custo de manutenção anual (CMA) do parque eólico, sendo “y” os anos de funcionamento do parque eólico.

$CMA = -0,0002y^3 - 0,0084y^2 - 0,0081y + 0,514$ centavos/kwh	(7)
---	-----

#### f). Preço da energia elétrica

O preço da energia elétrica varia de acordo com vários fatores como, por exemplo, a demanda, o nível dos reservatórios, estações do ano, etc. Abaixo, podem-se analisar os preços de venda de energia elétrica informado pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) através de (CCEE, 2020).

Tabela 4: Preços da Energia Elétrica.

Turno	Estação			
	Primavera	Verão	Outono	Inverno
<b>Manhã</b>	R\$ 1,20	R\$ 1,20	R\$ 1,20	R\$ 1,20
<b>Dia</b>	R\$ 0,90	R\$ 0,90	R\$ 0,90	R\$ 0,90
<b>Tarde</b>	R\$ 1,00	R\$ 1,00	R\$ 1,00	R\$ 1,00
<b>Noite</b>	R\$ 1,40	R\$ 1,40	R\$ 1,40	R\$ 1,40

Fonte: (CCEE, 2020)

#### g). Outros custos

Outros fatores importantes foram levados em consideração para a concepção do projeto e a obtenção de resultados mais realísticos. Por exemplo, o custo de financiamento do projeto foi incluído na análise porque é um fator importante que afeta a viabilidade e a estrutura de custos dos projetos. Outros fatores também foram incluídos, como seguros, custos administrativos e energia (quando as turbinas não estão operando).

### REFERÊNCIAS

CCEE. Comissão de Comercialização de Energia Elétrica. 2020. Disponível em: <<http://www.ccee.org.br/>>. Acesso em: 24/04/2020.

CRESESB. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. 2001. Disponível em:<[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas\\_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf)>. Acesso em: 04 mai. 2020.

EPE. Informe Técnico - Banco de Preços de Referência da ANEEL. 2020. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/informe-tecnico-banco-de-precos-de-referencia-da-aneel-atualizacao-dos-valores-para-a-data-base-maio-de-2019>>. Acesso em: 24/04/2020.

MILLS A., "The Cost of Transmission for Wind Energy: A Review of Transmission Planning Studies", Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory from the Environmental Energies Technology Division, 2009. Disponível em: <<https://emp.lbl.gov/sites/all/files/report-lbnl-1471e.pdf>>. Acesso em: 24/04/2020.

WINDUSTRY. Leasing Your Land. 2014. Disponível em: <http://www.windustry.org/leases>>. Acesso em: 24/04/2020.

WEKKEN, T. VAN DE, "Distributed Generation and Renewables - Wind Farm Case Study", Power Quality and Utilization Guide. 8. Copper Development Association, 2007. Disponível em: <<http://copperalliance.org.uk/uploads/2018/03/851-wind-farm-case-study.pdf>>. Acesso em: 24/04/2020.

WORCESTER, A. C.; HICKOX, V. M.; KLIMASZEWSKI, J. G.; BERNAL, F. W.; CHOW, J. H.; CHEN, C. The sky's the limit!: designing wind farms: a hands-on STEM activity for high school students, IEEE Power and Energy Magazine, vol. 11, no. 1, p. 18-29, 2013.