

Método do Aerogerador Equivalente para dimensionamento de um Parque Eólico em Soure, Ilha do Marajó/PA

LIGIA DA PAZ DE SOUZA – UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ – LIGIADAPAZ@OUTLOOK.COM.

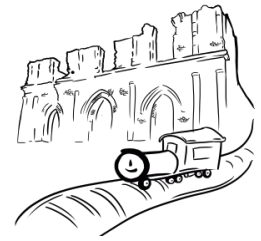
RESUMO

No Brasil, a geração de energia elétrica ainda é, predominantemente, resultado de Usinas Hidrelétricas e Termelétricas. Devido aos intensos impactos ambientais e sociais por essas atividades, a busca por fontes alternativas de energia ganham cada vez mais espaço na matriz energética do país, com destaque à energia eólica. Na fonte eólica, o movimento das massas de ar produz energia que é aproveitada pelos aerogeradores ou turbinas, transformando-as em energia elétrica. O Brasil, pela extensa região litorânea, apresenta grande potencial eólico, especialmente a Região Norte e Nordeste da Ilha de Marajó pela considerável velocidade dos ventos, sendo propícia a implantação de fonte eólica de energia, destacando-se o município de Soure. Atualmente, a cidade é atendida por usinas térmicas que vêm sendo substituídas pela geração hídrica e, como mencionado, tais fontes de energia resultam em inúmeros impactos, sendo preocupante especialmente em uma região amazônica rica em fauna e flora. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo dimensionar um Parque Eólico para o município de Soure, no Estado do Pará, através do método do Aerogerador Equivalente, de modo a avaliar as possíveis vantagens de sua implantação no local e incentivar as propostas desse serviço para a Ilha do Marajó e locais com semelhante potencial para energias renováveis. Para o uso de fonte eólica no município de Soure, na Ilha do Marajó, atender a demanda residencial de energia elétrica, seria necessário o fornecimento de 200 kW (duzentos kilowatts) em 19 aerogeradores compondo o parque eólico. Para sua implantação, seria necessário, também, estudo aprofundado da área de instalação, observando aspectos que viriam a influenciar na velocidade dos ventos no local, bem como os aspectos socioambientais, políticos e econômicos envolvidos. A implantação do projeto seria uma alternativa para se reduzir os impactos ambientais e sociais causados pelo uso das Usinas Termelétricas e incentivar o desenvolvimento local pela geração de empregos e investimentos na infraestrutura, além da abertura para outras medidas alternativas visando à melhoria da qualidade de vida da região e aproveitamento do potencial eólico da cidade.

PALAVRAS-CHAVE: Energia eólica. Sustentabilidade. Engenharia. Tecnologia. Fontes renováveis.

XV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL
12 a 14 de novembro de 2018
Alagoinhas- BA, Brasil





INTRODUÇÃO

No Brasil, a geração de energia elétrica ainda é, predominantemente, resultado de Usinas Hidrelétricas e Termelétricas. Estas fontes de energia, no entanto, vêm gerando diversos impactos negativos sobre o meio ambiente, como emissão de gases, morte de animais e vegetação pela inundação das áreas, comprometimento da qualidade da água, além dos impactos sociais. Visto isso, fontes alternativas de energia ganham cada vez mais espaço na matriz energética do país e, conforme Segundo (2009), a energia eólica se destaca:

[...] é uma das fontes de energia renováveis mais viáveis, sob o ponto de vista de investimento, retorno financeiro e impacto ambiental, pois essa forma de geração de energia elétrica não provoca emissão de GEE após sua implantação e exerce pouco impacto ambiental dentre todas as fontes de geração de energia elétrica hoje conhecidas.

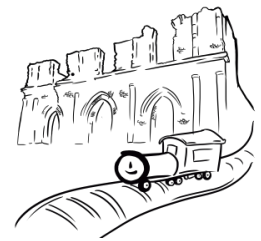
Miyashiro et. al (2013) cita que os países em destaque na geração eólica mostram resultados positivos com o rápido desenvolvimento tecnológico e do mercado, influenciando diretamente questões socioeconômicas. IPCC (2007) complementa que os novos investimentos em infraestruturas renováveis de energia em países que estão se desenvolvendo promove, além de uma segurança energética, meios para que se reduzam gases que intensificam o efeito estufa.

O processo de conversão à energia eólica age sobre a energia que a movimentação das massas de ar atmosféricas possui. Essa energia cinética do vento é aproveitada para movimentar as turbinas eólicas, segundo Miyashiro et. al (2013), resultando na movimentação dos geradores de energia. O autor acrescenta: “apresentam um grande benefício no setor econômico além de diminuir impactos na flora e na fauna que são causados devido a utilização de recursos fósseis”.

As massas de ar, ao se movimentarem, adquirem energia cinética que pode ser aproveitada com o uso de aerogeradores ou turbinas eólicas, que convertem a mesma em energia elétrica. “Normalmente estas máquinas são utilizadas para a geração de energia elétrica através de acoplamento com geradores, mas também, turbinas eólicas podem ser utilizadas em sistemas de bombeamento ou outros sistemas mecânicos.” (WENZEL, 2007).

Pelo tamanho extenso da área litorânea do país, o potencial de energia eólica é registrado para atender o ano todo. De acordo com o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (Amarante et al., 2001), a Região Norte e Nordeste da Ilha de Marajó, pela considerável velocidade dos ventos, é propícia a implantação de fonte eólica de energia, destacando-se os municípios de Soure, Salvaterra, Cachoeira do Arari, Chaves e outras.

Atualmente, a maioria desses municípios é atendida por usinas térmicas que vêm sendo substituídas pela geração hídrica e, como mencionado, tais fontes de energia resultam em inúmeros impactos ambientais e sociais, sendo preocupante especialmente em uma região amazônica rica em fauna e flora. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo dimensionar um Parque Eólico para o município de Soure, no Estado do Pará, através do método do Aerogerador Equivalente, de modo a avaliar as possíveis vantagens de sua implantação no local e incentivar as propostas desse serviço para a Ilha do Marajó e locais com semelhante potencial para energias renováveis.



METODOLOGIA

Conforme dados do IBGE (2004), a Ilha do Marajó se configura em um conjunto de ilhas fluviais localizadas na Região Norte do Brasil, com clima equatorial úmido, localizando-se entre as latitudes 02°30' S e 01°00' N; longitudes 47°30' W e 52°00' W; com área total de 104.141,5 km² e 412.134 habitantes, com uma densidade populacional de 3,96 habitantes por km². Segundo a Secretaria Executiva de Planejamento, Orçamento e Finanças (SEPOF) (2006), a ilha é dividida em 16 municípios, apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Divisão da Ilha de Marajó/PA.

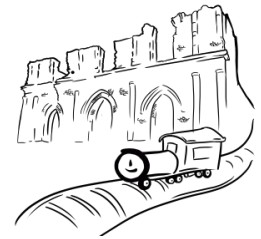


Fonte: Adaptado de SEGUNDO (2009).

Para o trabalho em questão, selecionou-se a cidade de Soure, localizada na região litorânea da ilha, com uma população total de 24.682 habitantes e extensão territorial de 3.517 km², conforme dados do IBGE (2017). De acordo com Segundo (2009), “os principais sistemas meteorológicos que atuam na região e influenciam no regime de vento basicamente são Célula de Hadley, Célula de Walker, Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), massas de ar, ventos alísios, brisas, Linhas de Instabilidade, Jatós de Baixos Níveis.”

Ainda de acordo com o autor, a Célula de Hadley ocorre nas baixas altitudes e no sentido do equador na superfície e nos pólos em altos níveis. Esta circulação provoca a ZCIT, vinda de áreas de alta pressão subtropical para região de baixa pressão próxima ao equador. A Célula de Walker também ocorre em baixos níveis, mas se relaciona com as mudanças na temperatura da superfície do mar.

XV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL
12 a 14 de novembro de 2018
Alagoinhas- BA, Brasil



As massas de ar atuantes na região são, conforme escreve Segundo (2009), tropical marítima (mT), tropical continental (cT) e equatorial continental (eT). As brisas são características na região Norte, pois há uma extensa área continental e rios também extensos. As linhas de Instabilidade estão associadas à formação sobre o oceano, no litoral, devido à brisa e os Jatos de Baixos Níveis se formam pela circulação da brisa marítima na região costeira.

Quanto aos serviços de energia na Ilha do Marajó, atualmente há obras da Companhia Elétrica do Pará (CELPA) para substituir as Usinas Termelétricas de Energia (UTE) a óleo Diesel, servidas pelo Sistema Isolado, conectando-a a geração hídrica pelo Sistema Interligado Nacional para atender a demanda local. De acordo com o Portal da Globo (G1), nove UTE já foram desligadas.

A cidade de Soure, segundo os dados fornecidos pela Fundação Amazônia Paraense de Amparo à Pesquisa - FAPESPA (2016), possui uma demanda total de 16.606.861 kWh. Para o dimensionamento do Parque Eólico, considerou-se apenas atendimento à demanda residencial de 7.974 kWh. Como aplicado por Terciotte & Jannuzi (2001), calculou-se a área de varredura de um aerogerador para atender a demanda desejada utilizando a equação 1:

Equação 1: cálculo da área de varredura do Aerogerador Equivalente.

$$Ar = \frac{2 \times Pm}{(V^3 \times Cp \times \eta \times p)}$$

Onde,

Pm = potência em Watts;

ρ = densidade do ar (1,29 kg/m³)

Ar = área de varredura do rotor em m² ($\pi \cdot d^2/4$, d=diâmetro do rotor);

V = velocidade do vento em m/s;

Cp= coeficiente aerodinâmico de potência do motor (para V = 6 m/s, 0,45);

η = eficiência.

Por fim, pelo método do Aerogerador Equivalente, verificou-se a turbina a ser considerada e calculou-se sua área de varredura. Dividindo a área de varredura do Aerogerador Equivalente pela área de varredura da turbina, obteve-se o número N de turbinas necessárias para suprir a demanda.

A potência média necessária para o cálculo na Equação 1 foi definida pela Equação 2:

Equação 2: cálculo da potência média.

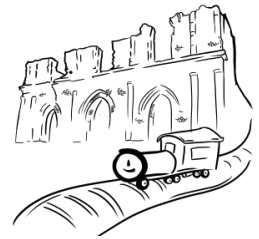
$$Pm = \frac{P \times 720}{(h \times d)}$$

Onde,

Pm = Potência média em kW;

h = hora de funcionamento/dia;

d= número de dias de funcionamento.



DESENVOLVIMENTO (RESULTADOS E DISCUSSÕES)

A velocidade do vento, pelo Atlas do Potencial Eólico Brasileiro para a região Norte (Amarante et. al, 2001), possui valores maiores que 6 m/s, sendo possível o aproveitamento energético eólico. Chiuso & Silva (2004) discorrem:

Usualmente, o aproveitamento do conteúdo energético do vento se justifica apenas a partir de velocidades de vento da ordem de 2,5 a 3 m/s. Velocidades superiores a aproximadamente 12-15 m/s ativam o sistema automático de limitação de potência do aerogerador. A potência da máquina pode ser controlada a partir da variação do ângulo de passo das pás ou por estol aerodinâmico, dependendo do modelo de turbina.

A velocidade do vento irá, ainda, influenciar no coeficiente aerodinâmico da potência do motor, além de considerar a rotação das pás e o funcionamento da turbina. Para a velocidade característica de Soure, o coeficiente adotado foi de 0,45. Levando em consideração um rendimento o funcionamento por 8 horas diárias em 25 dias, a potência média foi calculada igual a 200 kW.

Chiuso& Silva citam “a potência máxima é definida pela soma das potências dos equipamentos que são simultaneamente utilizados no processo de produção do setor em horário de exigência máxima dos equipamentos.” Portanto, 200 kW é a soma dessas potências. Para um rendimento de 98%, obteve-se:

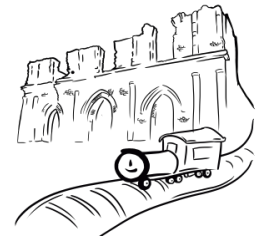
$$Ar = \frac{2 \times 200 \times 10^3}{(6^3 \times 0.45 \times 0.98 \times 1,29)}$$
$$Ar = 3255,20 \text{ m}^2$$

Em suma, o aerador equivalente necessita de uma área mínima igual a 3255,20 m² para suprir a demanda de 200 kW. Obtendo como base uma turbina com diâmetro de 15 metros, tem-se uma área de varredura igual a 176,71m². Relacionando ambas as áreas, o número de turbinas resultou em 18,42, arredondando para que o atendimento à demanda seja total, 19 turbinas seriam necessárias no Parque Eólico para fornecer energia às residências de Soure.

Apesar de ser uma fonte inesgotável de energia, é importante considerar que alguns fatores podem influenciar na geração eólica, alterando seu rendimento, por exemplo. Em um terreno mais rugoso, a dificuldade de movimentação do ar é maior, aumentando a possibilidade de turbulências. Na escolha do local de implantação, é necessária a realização de um estudo para que se evitem barreiras naturais (árvores, construções, plantações) que podem interferir na velocidade do vento. Ocácia (2002) discorre:

Devem ser considerados, além do potencial eólico promissor, o espaço disponível para instalação da fazenda eólica, preço da terra, distância em relação à rede onde a energia pode ser injetada, acessibilidade, condições para a montagem das turbinas de infra-estrutura na região, custos de manutenção, remuneração pela energia produzida. Este tipo de empreendimento requer necessariamente, análises que considerem longas séries de registros de dados de vento, além de pelo menos um ano de medidas no exato local da futura instalação.

XV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL
12 a 14 de novembro de 2018
Alagoinhas- BA, Brasil



O vento possui características sazonais, assim pode haver ventos de maior ou menor intensidade e situações de escassez. Com isto, torna-se obrigatório, conforme Gavino (2011), a implantação de uma capacidade adicional, geralmente usinas termelétricas. A região de Soure, por já possuir instalações dessa natureza, garantiria uma reserva energética em caso de operação abaixo do que se é demandado sem adição de custos no projeto.

Gavino (2011) pontua que o investimento inicial de um parque eólico corresponde até 80% dos custos totais do projeto. Comparado a outras fontes renováveis, o parque eólico se mostra como uma fonte que demanda custos altos. No entanto, a instalação do sistema possui vantagens de necessitar de investimentos maiores apenas na instalação e, posteriormente, na manutenção. Os gastos com combustíveis são ausentes, pois a operação irá utilizar a movimentação do ar da região. Os aerogeradores, também, são instrumentos resistentes a maioria dos climas não desgastando facilmente, além de não produzir ruído.

A economia de Soure é, basicamente, movimentada pela agricultura, pecuária, extrativismo e turismo. Assim, o alto investimento necessário para implantação do mesmo, requer considerações a cerca dos financiamentos necessários e os recursos financeiros disponíveis. Uma forma de financiar o parque é fazer convênio com alguma instituição financeira ou com interesse de desenvolvimento na região, facilitado pelo potencial turístico e cultural da cidade.

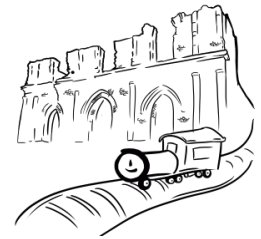
A elaboração, a análise e a implantação do parque eólico envolvem um complexo estudo de fatores ambientais, socioculturais, econômicos e políticos que são essenciais para a definição dos objetivos e dos métodos a serem adotados. É importante analisar de que forma o projeto iria impactar a vida dos moradores da região, a garantia de acesso aos benefícios por todos, as políticas necessárias para conscientização e fornecimento de informações a população, tanto para preservação quanto para o bom funcionamento do parque, entre outros.

A cidade de Soure possui pouca infraestrutura urbana, com inúmeros problemas de saneamento e moradia, e o turismo como um dos meios de destaques de desenvolvimento local. A implantação de um parque eólico na matriz energética da região incentivaria, não só o desenvolvimento econômico pela geração de empregos e serviços, como possíveis investidores no local e maior visibilidade para estudos. Ambientalmente, reduziria os impactos causados pelo uso de Usinas Termelétricas que abastecem parte da ilha e a tornaria referência nacional pelo incentivo ao uso de energia limpa, induzindo medidas de conservação dos recursos naturais presentes na região e inclinando o desenvolvimento da cidade a um viés mais sustentável.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelo método do Aerador Equivalente, o uso de fonte eólica para atender a demanda residencial de energia elétrica do município de Soure, na Ilha do Marajó, exige o fornecimento de 200 kW em 19 aerogeradores, de porte grande (15 metros de diâmetro) compondo o parque eólico. Para sua implantação, seria necessário, o estudo da área mais apropriada, bem como a vegetação, topografia, existência de barreiras entre outros aspectos que viriam a influenciar na velocidade dos ventos no local.

XV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL
12 a 14 de novembro de 2018
Alagoinhas- BA, Brasil



Além disso, a análise dos aspectos culturais, sociais, políticos e econômicos são essenciais para a implantação e bons resultados do projeto. Para financiamento do parque, é importante que se elabore um planejamento levando em consideração todas as características da cidade e da população, facilitando a apresentação do mesmo às instituições e fundos de financiamentos com algum interesse na região. O potencial turístico e cultural, por serem destaques da cidade, são os maiores atrativos para esses recursos, e a instalação de um Parque Eólico se mostra como um acelerador do desenvolvimento local também nesses aspectos.

Outrossim, a geração de empregos e atrativo para outros investimentos em Soure também seriam esperados, a discussão ambiental se expandiria à Ilha e os ideais de desenvolvimento sustentáveis com outras medidas alternativas para melhoria da qualidade de vida da região poderiam ser exploradas conjuntamente.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2 ed. Brasília: ANEEL, 2005. 243 p. Disponível em:< http://www3.aneel.gov.br/atlas/atlas_2edicao/download.htm> Acesso: 22 ago. 2018.

AMARANTE, Odilon. A. Camargo; et. al. **Atlas do potencial eólico brasileiro**. Brasília: Ministério de Minas e Energia / Eletrobrás / CEPEL / Cresesb, 2001.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Brasil em Síntese: Soure**. 2017. Disponível em:<<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/soure/panorama>> Acesso: 15 ago. 2018.

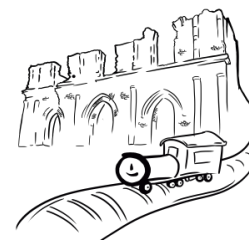
CHIUSO, José Evangelista & SILVA, Adriano Jeronimo da. Propostas para dimensionamento de um parque eólico na região de Araraquara. In: **IV Congresso Brasileiro de Planejamento Energético**.2004, Minas Gerais. Disponível em:< <http://www.seeds.usp.br/pir/arquivos/congressos/CBPE2004/Artigos/PROPOSTAS%20PARA%20DIMENSIONAMENTO%20DE%20UM%20.pdf>> Acesso: 14 ago. 2018.

DUTRA, M. R.; SZKLO, S. A.; TOLMASQUIM, T. M. Experiência de políticas para o desenvolvimento de mercados eólicos, perspectivas e transformações no parque gerador de energia elétrica Brasileiro. In: **Coletânea de Artigos: Energias Solar e Eólica**. 1 ed. Rio de Janeiro: CRESESB – CEPEL, 2005.

GAVINO, N. A. **Energia eólica: uma análise de incentivos à produção (2002-2009)**. 2011, 117 f. Monografia (Bacharelado em Economia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

GLOBO – G1. **Energia de Qualidade chega à Ilha de Marajó**. 2017. Disponível em:< <http://g1.globo.com/pa/para/especial->

XV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL
12 a 14 de novembro de 2018
Alagoinhas- BA, Brasil



publicitario/celpa/noticia/2017/05/energia-eletrica-de-qualidade-chega-ilha-do-marajo.html> Acesso: 15 ago. 2018.

IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. **Mudanças Climáticas: impactos, adaptações e vulnerabilidade.** 2007. Disponível:<https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4_wg2_full_report.pdf> Acesso: 20 ago. 2018.

MYIASHIRO, Carolina Sayury. et al. DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS EÓLICOS NO ENTORNO GEOGRÁFICO DO MUNICÍPIO DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, p. 25-36, 2013. Disponível em:<<https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/33805/Dimensionamento%20de%20sistemas%20e%C3%B3licos%20no%20entorno%20geogr%C3%A1fico%20do%20munic%C3%ADpio%20de%20Marechal%20C%C3%A2ndido%20Rondon>> Acesso: 20 ago. 2018.

PARÁ. Fundação Amazônia Paraense de Amparo à Pesquisa – FAPESPA. **Radar de Indicadores das Regiões de Integração.** 2016. Disponível em:<http://www.fapespa.pa.gov.br/sistemas/radar2018/tabelas/08marajo/tabela_49_consumo_de_energia_eletrica_total_kwh_e_consumidores_de_energia_eletrica_por_tipo_2016_ri_marajo.html> Acesso: 23 ago. 2018.

PARÁ. Secretaria Executiva de Planejamento, Orçamento e Finanças – SEPOF. **2006 – 2 semestre.** 2006. Disponível em:<<http://www.sefa.pa.gov.br/index.php/receitas-despesas/tesouro/ipi/2095-2006-2semestre-ipi.>> Acesso: 22 ago. 2018.

OCÁCIA, G. C. Energia Eólica – Estado da Arte e Algumas Projeções. **Revista do Centro de Tecnologia da Ulbra.** Rio Grande do Sul: ULBRA, vol. 3, nº2, 2002.

SEGUNDO, Eliudelntrovini da Cruz. **Estudo de energia eolica para a ilha de Marajó– PA.** (2009). 99 f. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-graduação em Meteorologia – INPE, São José dos Campos, 2009.

TERCIOTE, R.; JANNUZZI, G. M. Avaliação Técnica e Econômica de um Aerogerador de 500W em Campinas, SP.In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica – COBEM**, Campinas, 2001.

WENZEL, Guilherme München. **Projeto aerodinâmico de pás de turbinas eólicas de eixo horizontal.** 2007, 74 f. Tese (Graduação em Engenharia Mecânica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.