

ENERGIA EÓLICA: SISTEMAS ISOLADOS EM REGIÕES RURAIS NO BRASIL

SILVA, Flavio Rodrigues Vilas Boas¹

FORTE, Luiz Antônio²

MANGINI, Lígia Fernanda Kaefer³

RESUMO

O acesso à energia elétrica é considerado um importante meio para a existência humana. Para regiões rurais, esse acesso também se torna necessário, uma vez que precisam de energia elétrica para prover iluminação, movimento de máquinas e bombas, entre outras atividades. Uma solução para diversas partes do Brasil pode vir no uso de sistemas eólicos isolados que atenderiam estas comunidades com energia limpa e sustentável. A partir desse contexto, este estudo tem como objetivo apresentar um estudo de viabilidade técnico-financeira para instalação de sistemas isolados de energia eólica em regiões rurais. Como objetivos específicos estão pesquisar e descrever a evolução histórica da utilização da energia eólica; descrever os tipos de geração de energia eólica e quais suas aplicabilidades; apresentar um estudo de viabilidade técnico/financeira para instalação de sistemas isolados de energia eólica em regiões rurais. Como resultados encontrou-se que a geração de energia elétrica a partir dos ventos é considerada uma das menos poluentes e que a capacidade de geração de energia eólica do Brasil é uma das melhores do mundo. Com relação à instalação do sistema na região rural verificou-se que o sistema é financeiramente inviável em função do tempo de retorno do investimento. Mesmo tendo tido um resultado negativo nessa simulação é muito importante para a engenharia fazer esses estudos pois, somente assim, se terá uma real noção da possibilidade ou não de se fazer um projeto e um investimento em determinada obra ou serviço.

Palavras-chave: Energia eólica. Zona Rural. Viabilidade técnica. Viabilidade Financeira.

1 INTRODUÇÃO

Os ventos sempre foram objetos de admiração, interesse e, ao mesmo tempo, medo. Na história humana, em algumas ocasiões, o vento foi descrito como força e em outras como destruição (FADIGAS, 2011). O que se sabe, inequivocamente, é que o uso da energia no vento desempenhou um longo e importante papel na história da civilização humana (CORKE; NELSON, 2018).

A primeira aplicação de emprego do vento como fonte de energia remonta há

¹Graduando em Engenharia de Produção pelo Centro Universitário UNINTER.

²Graduado em Engenharia Ambiental pela UTP e pós-graduado em Engenharia de segurança do Trabalho pela UTFPR.

³Doutora em Engenharia e Ciência dos Materiais pela UFPR. Graduada em Engenharia Química pela UFPR. Professora Orientadora da UNINTER

mais de 5.000 anos ao Egito, onde as velas foram usadas como uma ajuda para impulsionar barcos. O primeiro verdadeiro moinho de vento, uma máquina movida pelo vento com palhetas presas a um eixo para produzir movimento circular, teve seu uso confirmado pelos persas por volta de 1700 a.C. Por volta do século X, os moinhos de vento estavam sendo usados para moer grãos na área hoje conhecida como leste do Irã e Afeganistão. O mundo ocidental começou a empregar o moinho muito mais tarde, com as primeiras referências escritas datadas do século XII. Estes também foram usados para moer grãos. Algumas centenas de anos depois, os moinhos de vento foram usados para bombear água e recuperar grande parte da Holanda do mar. Com a evolução tecnológica e a necessidade de outras fontes de energia elétrica foram criadas as primeiras turbinas eólicas modernas, com foco em produção de eletricidade, em meados do século 20 (CORKE; NELSON, 2018).

O interesse pelo desenvolvimento e produção dessas turbinas, afim de utilizar como uma fonte de energia, deu-se principalmente pós década de 1970 quando veio à tona a preocupação global sobre a descoberta de que as fontes de combustíveis fósseis eram limitadas (PINTO, 2013).

Desde a década de 1970 que a humanidade vem procurando desenvolver formas de suprir sua necessidade energética a partir de outras fontes (PINTO, 2013). Em centros urbanos essa necessidade, de uma forma geral, é suprida pelas companhias de energia elétrica, atendendo quase a totalidade da população (ANEEL, 2003). Ocorre que nas regiões rurais o fornecimento de energia elétrica ainda é precário. Como alternativa pensou-se em uma pesquisa sobre a viabilidade técnico financeira de instalação de sistemas isolados de energia eólica, delimitado às regiões rurais do país.

O uso, em larga escala, da energia proveniente dos ventos só começou efetivamente na década de 1980 e, a partir disso novas técnicas e formas de exploração dessa fonte de energia surgiram e foram se desenvolvendo ao passo que o custo por kWh caiu consideravelmente (PINTO, 2013).

A utilização de fontes não renováveis de energia é um problema de debates nos meios políticos, sociais e acadêmicos. O uso da força dos ventos para geração de energia limpa tem sido apontado como uma das formas mais limpas e baratas de geração de energia (PINTO, 2013). Diante disso, este estudo buscará responder a seguinte problemática Os sistemas isolados de geração de energia eólica são técnica

e economicamente viáveis?

Para tanto, este trabalho tem como objetivo geral apresentar um estudo de viabilidade para instalação de sistemas isolados de energia eólica em regiões rurais. E, como objetivos específicos estão: (i) descrever a evolução histórica da utilização da energia eólica; (ii) descrever os tipos de geração de energia eólica e quais suas aplicabilidades; (iii) apresentar um estudo de viabilidade técnica para instalação de sistemas isolados de energia eólica em regiões rurais, delimitado à análise do potencial eólico nas regiões; (iv) apresentar um estudo de viabilidade financeira para instalação de sistemas isolados de energia eólica em regiões rurais, no tocante aos custos de instalação e tempo de retorno do investimento.

O acesso à energia elétrica é considerado um importante meio para a existência humana, seja para aquecer do frio, esfriar, garantir conservação dos alimentos perecíveis, manter luzes acesas e/ou prover água através de bombeamento em poços ou outras fontes. Atualmente, grande parte da energia elétrica gerada no mundo é proveniente de fontes não renováveis, principalmente, a ligada à queima de combustíveis fósseis que afeta, de uma forma geral, o equilíbrio ecológico da Terra.

Nas comunidades rurais a necessidade por energia vai mais além, pois é através do seu uso que podem ser providos alimentos para aquela população bem como, para escoamento para os centros urbanos. A energia elétrica é utilizada em várias atividades: manutenção de viveiros e galinheiros, ordenha de leite, produção de queijo e manteiga, resfriamento de produtos derivados do boi, manutenção de algumas frutas, bem como para a própria subsistência das famílias que residam nessas comunidades.

Uma solução para diversas partes do Brasil pode vir no uso de sistemas eólicos isolados que atenderiam estas comunidades com energia limpa e sustentável.

A partir desse contexto, este estudo buscará ampliar os conhecimentos sobre o uso da energia eólica em áreas rurais para atendimento das necessidades diárias de produtores agrícolas, bem como de órgãos e setores governamentais que estejam instalados nessas áreas (escolas, postos de saúde, sindicatos, etc.).

Por fim, serão realizados cálculos sobre a estimativa de custo e os prováveis benefícios dessa modalidade de geração de energia elétrica quando comparado à sistemas usuais de distribuição de energia em zonas rurais (linhas de transmissão).

Diante disso, justifica-se este trabalho pela necessidade de análise das

possibilidades de aproveitamento da energia proveniente dos ventos em áreas rurais. Servindo, futuramente, como base de pesquisa e/ou como manual para utilização nas diversas atividades profissionais que fazem ou farão uso dessa tecnologia.

O trabalho está dividido em seis capítulos principais sendo eles o primeiro surgimento histórico da energia eólica, depois a evolução da força do vento, posteriormente a metodologia do trabalho, discussão do resultado e por fim as considerações finais.

2 SURGIMENTO HISTÓRICO

A energia eólica vem sendo utilizada, desde a antiguidade, para mover barcos a vela ou para mover as pás de moinhos funcionados a engrenagem que nesse caso eram transformadas em energia mecânica utilizados na moagem de grãos ou para bombear água (DUTRA, 2001, p. 06)

Não é possível precisar em que momento histórico foi desenvolvida a energia gerada através do vento, porém existem relatos em alguns períodos que de maior incidência do uso dessa energia.

Os Persas por volta de 200 a.C foram os primeiros a terem um registro histórico da utilização da energia eólica e, por volta de 700 d.C, eles construíram moinhos de vento verticais elevados para a moagem de grãos. Porém, acredita-se que antes dos Persas, a China, por volta de 2000 a.C, e o Império Babilônico, por volta de 1700 a.C, já utilizavam cata-ventos rústicos para irrigação. (DUTRA,2001, p. 07, apud CHESF-BRASCEP, 1987; SHEPHERD, 1994)

Os cata-ventos primitivos, mesmo com a baixa eficiência pelas suas características, possuíam várias vantagens para suprir as necessidades básicas no bombeamento de água e moagem de grãos substituindo a força humana e animal nas atividades agrícolas. (DUTRA,2001, p. 07,08)

No século XII, as máquinas primitivas persistiram quando começaram a ser utilizados os moinhos de eixo horizontal na Inglaterra, França e Holanda, entre outros países, esse moinho tipo “holandês” se espalhou por em vários países da Europa. (DUTRA,2001, p. 08)

Na Holanda, o moinho de ventos foi muito utilizado para a drenagem de terra

coberto pelas águas entre os séculos de XVII e XIX (DUTRA,2001, p. 08).

Os moinhos no século XIX estavam em pleno funcionamento na Holanda e em diversos países da Europa até que por volta do final do século ocorreu um grande marco para a energia eólica na Europa, a Revolução Industrial, foi quando teve o surgimento da máquina a vapor e com ela veio o declínio do uso da energia eólica, porque até então os moinhos de vento eram as únicas máquinas de tração não animal capazes de fornecer energia mecânica. (DUTRA,2001, p. 08)

O uso do vento como fonte de energia começou na antiguidade. Moinhos de vento de eixo vertical para moagem de grãos foram relatados na Pérsia no século 10 e na China no século 13 (NELSON; STARCHER, 2019). Houve uma época em que o vento era uma importante fonte de energia para o transporte (veleiros), moagem de grãos e bombeamento de água. Moinhos de vento e moinhos de água foram as maiores fontes de energia antes da invenção do motor a vapor. Moinhos de vento, numerados aos milhares, para moer grãos e bombear água de drenagem eram comuns em toda a Europa, e alguns até eram usados para fins industriais, como serrar madeira. Como os europeus colonizaram o mundo, os moinhos de vento foram construídos em todo o mundo (CORKE; NELSON, 2018).

O principal uso a longo prazo do vento (exceto para a navegação) foi bombear água (PINTO, 2013). Além dos famosos moinhos de vento holandeses, outro exemplo famoso é o uso histórico de lâminas de asas de vela para bombear água para irrigação na ilha de Creta. Nesses aerogeradores, uma das pás tinha um apito para avisar o operador para mudar a área da vela quando os ventos estavam muito altos (NELSON; STARCHER, 2019).

É importante salientar que estes sistemas, baseados em moinhos de vento, ainda são usados nos dias de hoje e a maioria deles estão na África, Argentina, Austrália, Canadá e Estados Unidos. Com o passar do desenvolvimento tecnológico novas tarefas foram sendo realizadas com o uso da força dos ventos, entre elas a geração de energia elétrica. Outro grande avanço é o desenvolvimento e a comercialização de sistemas elétricos independentes para bombear água suficiente para irrigação, uso em aldeias ou ambos (CORKE; NELSON, 2018).

2.1 DESENVOLVIMENTO DOS SISTEMAS EÓLICOS

Como a eletricidade se tornou comercialmente prática, para alguns locais isolados, por estarem muito distantes de geradoras ou linhas de transmissão foi pensado a fabricação de sistemas eólicos autônomos para gerar eletricidade, com base em um rotor tipo hélice com duas ou três pás. A maioria dos carregadores de vento tinha geradores de corrente contínua (6–32V) e alguns modelos posteriores geravam 110V. A eletricidade era armazenada em baterias de chumbo-ácido de célula úmida que exigiam manutenção criteriosa para promover maior durabilidade (NELSON; STARCHER, 2019).

Os geradores eólicos tornaram-se obsoletos nos Estados Unidos quando a eletricidade barata (subsidiada pelo governo) tornou-se disponível nas cooperativas elétricas rurais nas décadas de 1940 e 1950. Porém, com a crise energética de 1973, várias dessas unidades foram consertadas para uso pessoal ou para venda. Pequenas empresas também importaram máquinas eólicas da Austrália e da Europa para vender nos Estados Unidos durante a década de 1970 (PINTO, 2013).

2.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS SISTEMAS DE ENERGIA EÓLICA

Como todo sistema de geração de energia, a energia eólica tem suas vantagens e desvantagens quanto à instalação, uso e desempenho. Diante disso, será tratado agora as particularidades existentes nesse sistema, suas vantagens e desvantagens com relação a outros sistemas de geração de energia.

A energia eólica oferece muitas vantagens, o que explica por que é a fonte de energia que mais cresce no mundo (ANEEL, 2003). Os esforços de pesquisa visam enfrentar os desafios para aumentar o uso da energia eólica e favorecer a construção de uma sociedade sustentável (PINTO, 2013).

2.2.1 Vantagens

Entre as principais vantagens está de que os sistemas de energia eólica são energizados pelo vento que flui naturalmente, portanto, pode ser considerado como uma fonte limpa de energia (WAGNER; MATHUR, 2018). Por se tratar de uma energia

limpa, traz a sociedade em geral é o benefício na redução do impacto ambiental que não emite partículas poluentes como as outras fontes de energias fósseis, o uso dessa energia renovável não contribui para o efeito estufa ou aquecimento global. (AMARANTE, 2001). Outra vantagem salientada por AMARANTE,2001 é que a energia é inesgotável, se regenerando constantemente.

Outro ponto bastante difundido no meio acadêmico é a de que a energia eólica está disponível como fonte interna de energia em muitos países do mundo e não está restrita a poucos países, como no caso do petróleo (PINTO, 2013).

Não se pode deixar de citar que a energia eólica é uma das tecnologias de energia renovável de menor preço disponível atualmente no mundo (ANEEL, 2003). E que as turbinas eólicas também podem ser construídas em áreas rurais, beneficiando, assim, a economia dessas regiões. Os agricultores e pecuaristas podem continuar a usar suas terras porque as turbinas eólicas usam apenas uma pequena fração desta. Proprietários de usinas eólicas fazem pagamentos de aluguel pelo uso da terra (NELSON; STARCHER, 2019).

2.2.2 Desvantagens

A energia eólica tem que competir com fontes convencionais de geração de energia em uma base de custo. Dependendo do perfil do vento no local, o parque eólico pode ou não ser tão competitivo quanto uma usina de energia baseada em combustível fóssil (PINTO, 2013).

A energia eólica não pode ser armazenada; e nem todos os ventos podem ser aproveitados para atender o calendário das demandas de eletricidade. A opção de armazenamento de energia em bancos de baterias está além dos limites economicamente viáveis para grandes turbinas eólicas (WAGNER; MATHUR, 2018).

Os bons locais de vento estão frequentemente localizados em locais remotos, longe das cidades existindo, portanto, um custo extra referente a instalação de redes para conectar fazendas eólicas remotas à rede de abastecimento, gerando custos adicionais à implantação do sistema (ANEEL, 2003).

O desenvolvimento de recursos eólicos pode competir com outros usos da terra e os usos alternativos podem ser mais valorizados do que a geração de eletricidade (WAGNER; MATHUR, 2018).

2.3 SISTEMAS ISOLADOS

No início do século XXI, quase todos os habitantes do mundo industrializado tinham acesso a um suprimento constante de eletricidade. A eletricidade agora se tornou uma característica importante da sociedade moderna, semelhante à necessidade de ar limpo e água doce. No entanto, isso pode não ser o caso de toda a população do planeta.

De acordo com o Relatório de Acesso à Energia Mundial da Agência Internacional de Energia (AIE) de 2017, cerca de 1,1 bilhão de pessoas ainda vivem sem acesso à eletricidade. Desse total, mais de 50% (cerca de 588 milhões) residem na África subsaariana e mais de 40% na Ásia subdesenvolvida. Dado que o crescimento populacional mais rápido é na África, esse número de 588 milhões pode aumentar para 935 milhões em 2030 se o ritmo das novas conexões de eletricidade permanecerem na taxa anual média dos últimos 10 anos (WBG 2016).

O que isso tem a ver com esse estudo? É fato que pela localização geográfica dessas populações há pouca probabilidade de haver um sistema interligado que consiga levar eletricidade para vilas localizadas nas mais diversas partes dos continentes Africano e Asiático. Fazendo uma mudança na geolocalização, pode-se trazer esse cenário para locais como a região Nordeste brasileira que ainda não dispõe de energia elétrica de qualidade em todos os locais (PINTO, 2013).

É importante reportar aqui que os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas determinaram que cada habitante deste planeta precisa ter acesso a serviços de energia acessíveis, confiáveis, sustentáveis e modernos até 2030 (ROY; BANDYOPADHYAY, 2019).

Uma solução para isso, de acordo com o Banco Mundial (WBS, 2016), é a produção localizada e o fornecimento de eletricidade usando tecnologias de energia renováveis. As tecnologias que contribuem para este tipo de geração incluem, mas não se limitam a motores alternativos (à base de diesel/gás), microturbinas, turbinas a gás de combustão, células de combustível, energia solar fotovoltaica e geradores eólicos. Sistemas de energia isolados formam um subconjunto da geração distribuída e incluem unidades de geração pequena, tipicamente na capacidade de cerca de 10

a 250 kW (PINTO, 2013). Os benefícios da geração de energia distribuída são enumerados da seguinte forma, de acordo com Roy e Bandyopadhyay (2019):

- ✓ Reduz o custo do fornecimento de energia, pois não há rede de transmissão e distribuição envolvida.
- ✓ Pode ser dimensionado para fornecer alta confiabilidade no fornecimento de energia.
- ✓ Facilidade de gerenciamento de energia, tensão e frequência.
- ✓ Resposta mais rápida ao crescimento da demanda, por serem modulares e extensíveis por natureza.
- ✓ Flexibilidade para incluir tecnologias de geração mais novas e econômicas.
- ✓ Proporciona economia de escala na fabricação, já que muitas unidades pequenas são facilmente replicadas.
- ✓ A integração de várias tecnologias de geração de energia aumenta a confiabilidade.
- ✓ Serve como sistemas essenciais de backup de eletricidade para aplicativos críticos.
- ✓ Fornece uma plataforma para o uso de fontes renováveis não poluentes.
- ✓ Auxilia na redução da demanda de pico quando conectado ao sistema de utilidade central.

3. METODOLOGIA

O tipo de estudo é pesquisa aplicada, pois se atém a um problema específico, porém, necessita incluir uma explicação teórica aos elementos estudados. Sendo assim, e pela natureza do produto esperado ao final da pesquisa, este estudo é basicamente bibliográfico, pois foi elaborado com base em material já publicado (GIL, 2017). Nesse sentido Fonseca (2002) já afirmou que:

A pesquisa bibliográfica é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de web sites. Qualquer trabalho científico inicia-se com uma pesquisa bibliográfica, que permite ao pesquisador conhecer o que já se estudou sobre o assunto. Existem, porém, pesquisas

científicas que se baseiam unicamente na pesquisa bibliográfica, procurando referências teóricas publicadas com o objetivo de recolher informações ou conhecimentos prévios sobre o problema a respeito do qual se procura a resposta (FONSECA, 2002, p. 32).

A metodologia utilizada, como já mencionado, foi a pesquisa bibliográfica com revisão da literatura e, para tanto, serão utilizadas como fonte de pesquisa manuais técnicos, Normas Brasileiras de Regulamentação, livros técnicos que abordam a temática, além de artigos publicados em periódicos de renome nacional e internacional sobre a aplicação prática de sistemas de geração de energia eólica isolados em comunidades rurais. A busca pelas fontes de informação para elaboração desse trabalho foi em livros existentes na biblioteca virtual disponibilizada no UNIVIRTUS, em dados estatísticos do Ministério de Minas e Energia e da ANEEL, bem como, nos agrupadores de pesquisa científica Google Scholar e SCIELO.

Os dados buscados foram com relação a custos com instalação, operação e manutenção de sistemas isolados de geração energia eólica, o valor médio pago por kWh de energia consumida e o tempo de retorno do investimento, determinando assim a existência ou não de viabilidade financeira.

Os dados obtidos, em formato numérico, serão despojados em tabelas e gráficos com o auxílio do software Microsoft Office Excel 2019 para que possam ser analisados de forma quantitativa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 O ACESSO À ELETRICIDADE: UM DESAFIO PARA AS REGIÕES RURAIS

Em hipótese, pode-se ter melhores condições socioeconômicas nos países que estão se desenvolvendo se tiver acesso à eletricidade. Questões como educação, meio ambiente e saúde são os principais componentes que se podem melhorar e influenciar cada vez mais o desenvolvimento. (KANAGAWA; NAKATA, 2008).

Barnes et al. (2009) afirmam que em relação às áreas rurais, a falta de acesso à eletricidade é uma enorme problemática e impedimento ao desenvolvimento econômico, sendo essa ideia aplicada, de forma geral, a todos os países, mas com um foco maior nos que estão da fase de subdesenvolvidos ou então em desenvolvimento.

Sabe-se também que a eletricidade é um enorme fator para atividades

produtivas. Chaurey et al. (2004) argumentam que há uma densa relação entre o acesso à eletricidade e a pobreza rural, pois com esse tipo de energia é possível permitir que as pessoas passem mais horas trabalhando e, conseqüentemente, aumentará o acesso aos mercados, melhorará a renda e, conseqüentemente, a qualidade de vida. A eletricidade melhora a produtividade e permite acesso a meios de produção mais eficazes.

Nota-se que, não ter acesso à energia elétrica também gera uma certa desigualdade social. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia (IBGE,2010) essa parcela de pessoas que residem na zona rural é 1,4 vezes mais pobre que a média da população urbana e que a pobreza no meio rural brasileiro é um fato histórico.

No Brasil, não se deve esquecer que é um enorme desafio oferecer energia elétrica a todos, principalmente, por ser um país de grande dimensão e que, além dos grandes consumidores que se localizam nos centros urbanos, há também os consumidores das localidades rurais, que em sua grande maioria das vezes são afastadas em centenas de quilômetros da rede que gera energia mais próxima (BARROS et al., 2014).

4.2 SISTEMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ISOLADOS: UMA SOLUÇÃO POSSÍVEL?

Como solução para vencer essas distâncias continentais, seria a instalação de sistemas de geração de energia *off-grid*, que geraria energia diretamente para localidades específicas, sem necessidade de interligação nas linhas de distribuição ligadas à uma subestação (BARROS, et al., 2014).

Uma alternativa, como já mencionado no início deste trabalho, seria o uso da energia eólica como solucionador deste problema. Mas, a priori, deve-se fazer alguns levantamentos sobre a viabilidade técnica e financeira de tal medida para poder determinar se pode ou não ser executado e quais benefícios podem ser sentidos a curto, médio e longo prazos. É o que será apresentado a seguir.

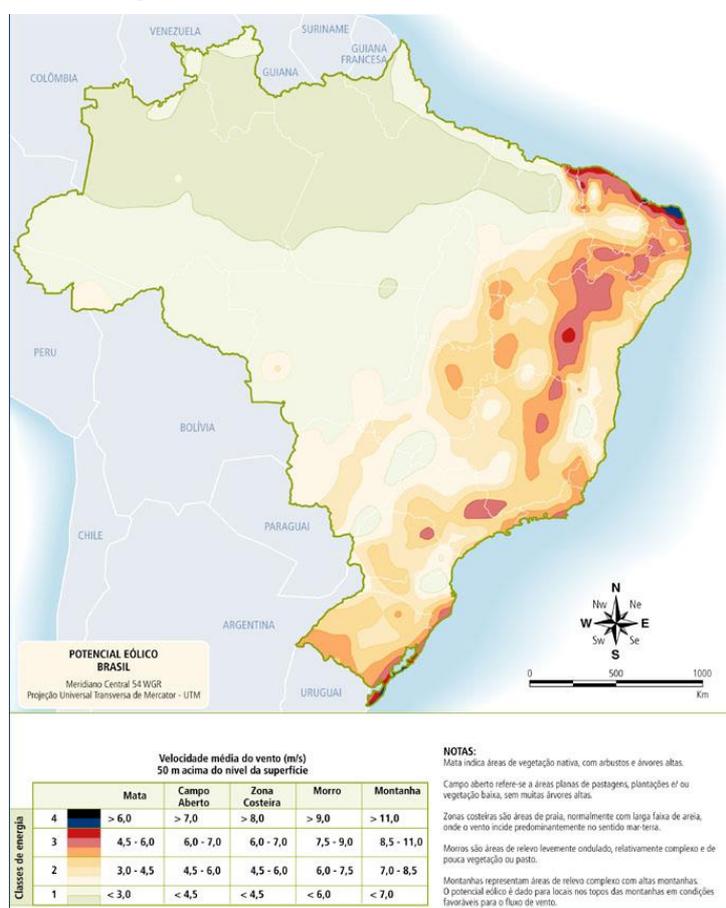
4.2.1 Viabilidade técnica: os ventos no Brasil

“O Brasil tem os melhores ventos do mundo”, foi assim que iniciou um congresso sobre o potencial eólico brasileiro, informando que os ventos que correm

pelo país nas regiões sul, sudeste, centro-oeste e, principalmente, nordeste (GWEC, 2018).

É importante acrescentar que as características eólicas presentes no país são consideradas ideais para a geração de energia em função, especialmente, da sua estabilidade, constância, não há mudanças bruscas de velocidade e/ou direção e, além disso, apresentam intensidade adequada à geração de energia nos reatores eólicos (ANEEL, 2003). A figura 1 apresenta o mapa do potencial eólico no Brasil:

Figura 1 – Potencial eólico brasileiro



Fonte: Feitosa et al. (2003)

Como pode ser verificado, os lugares com alto potencial eólico são os marcados em azul (Classe 4) em vermelho, laranja e amarelo (Classes 2 e 3) podem ou não favorecer a geração de energia eólica pois dependem das condições topográficas do local. A Classe 1 representa as regiões com baixo potencial eólico e vermelho.

4.2.2 VIABILIDADE FINANCEIRA: CUSTOS DE INSTALAÇÃO DE SISTEMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA

Ano após ano, os custos com investimentos em geração de energias renováveis têm caído no Brasil. Para se ter uma real noção desses custos, com relação à geração de energia eólica, em 2007 os custos com investimento por kW, de acordo com a EPE (2018), eram da ordem de 6.800. Nota-se que este é o investimento inicial do sistema. Esse valor caiu, em 2018, para 5.100 R\$/kW.

Este dado pode servir de parâmetro para cálculo, em fase inicial, dos custos de instalação de um sistema de microgeração de energia para uma residência com consumo de cerca de 100 kWh/mês.

É importante frisar que os geradores nessa faixa de consumo são projetados para ter seu funcionamento com ventos que variam entre 4 e 30 m/s.

De acordo com a Enersud, o custo para instalação de um aerogerador gira em torno de R\$ 17.000 (dezesete mil reais), com vida útil de 20 anos (ENERSUD, 2019).

Este investimento garantiria a geração de cerca de 124 kWh/mês para a residência, trazendo um *payback* (retorno do investimento), conforme cálculos, de acordo com Wakamatsu (2012), apresentados a seguir:

Valor do investimento: **R\$ 17.000,00**

Vida útil: **20 anos**

Consumo médio: **100 kWh**

Tarifa baixa tensão rural (COELBA, 2019): **R\$ 0,41961/ kWh**

Consumo anual = 100kWh x R\$ 0,41964 x 12 = **R\$ 503,57**

Payback Simples = Valor do investimento / Consumo anual

Payback Simples = R\$ 17.000,00 / 503,57 = **33,76 anos**

Esses dados demonstram que o investimento para o consumo apresentado não é viável, haja vista que o *payback* é maior que o tempo de vida útil do equipamento, o que inviabiliza, por ora, a instalação de sistemas isolados de geração de energia eólica em regiões rurais, principalmente em decorrência do custo do kWh para aquelas regiões, que ainda, por força de Lei é menor que os custos para consumidores da zona urbana o que atrasa, em função do alto custo inicial do investimento na

instalação, o retorno financeiro do investimento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no que foi pretendido por este estudo, o objetivo geral foi atendido, haja visto que se pretendia avaliar a possibilidade técnica e financeira de instalação de sistemas de geração de energia eólica para regiões rurais.

É fato que a força dos ventos tem trazido inúmeros benefícios à humanidade, tendo sido empregado como fonte de energia para transporte, moagem de grãos, bombeamento de água e outras aplicações que facilitaram a vida das pessoas.

Com preocupações sobre o esgotamento das fontes de energia, viu-se que era viável voltar a investir na energia eólica para suprir a crescente demanda que pairava sobre a humanidade na década de 1970. Com esse desenvolvimento tecnológico, viu-se que a opção por essa fonte de energia era economicamente viável e ambientalmente sustentável haja vista que não poluía o meio ambiente e sempre estaria disponível para uso, sem se esgotar.

Com relação ao objeto de estudo deste trabalho, viu-se que há grande dificuldade em levar energia para comunidades rurais isoladas tanto pela distância quanto pela falta, muitas vezes, de estradas para acesso a essas regiões. Porém, com relação à possibilidade de instalação de sistemas de geração de energia eólico nessas comunidades. Os resultados do trabalho demonstraram que, no momento, não é economicamente viável, pois o tempo para retorno financeiro com a energia gerada pelo equipamento é superior ao tempo de vida útil do equipamento, o que inviabiliza o investimento.

Mesmo tendo tido um resultado negativo nessa simulação é muito importante para a engenharia fazer esses estudos pois, somente assim, se terá uma real noção da possibilidade ou não de se fazer um projeto e um investimento em determinada obra ou serviço. Espera-se que em breve os custos com esses equipamentos diminuam e permitam que possam ser instalados nas regiões rurais do país.

REFERÊNCIAS

AMARANTE, Odilon A. C., et al. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília: MME, 2001.

ANEEL. **Atlas de Energia Eólica do Brasil**. Brasília: ANEEL, 2003.

BARNES, Douglas French; KHANDKER, Shahidur R.; NGUYEN, Minh Huu; SAMAD, Hussain A.; Welfare Impacts of Rural Electrification: Evidence from Vietnam. **Policy Research Working Paper Series 5057**, 2009, The World Bank. Disponível em <<http://documents.worldbank.org/curated/pt/369601468027552078/Welfare-impacts-of-rural-electrification-evidence-from-Vietnam>>. Acesso em 14 julho. 2023.

BARROS, Benjamin Ferreira de; BORELLI, Reinaldo; GEDRA, Ricardo Luis. **Geração, transmissão, distribuição e consumo de energia elétrica**. 1. ed. São Paulo: Erica, 2014.

CHAUREY, Akanksha; RANGANATHAN, Malini; MOHANTY, Parimita. Electricity access for geographically disadvantaged rural communities - technology and policy insights, **Energy Policy**, vol 32, n.15, pp. 1693-1705. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421503001605>>. Acesso em 17 julho. 2023.

CORKE, Thomas; NELSON, Robert. **Wind energy design**. Boca Raton: CRC Press, 2018.

ENERSUD. Turbina eólica Notus 138. **Enersud**, 21 de abril de 2019. Disponível em <<http://www.enersud.com.br/produtos/turbina-eolica-notus-138/>>. Acesso em 21 junho. 2023

FADIGAS, Eliane A. Faria Amaral. **Energia eólica**. Barueri, SP: Manole, 2011.

FEITOSA, E. A. N. et al. **Panorama do Potencial Eólico no Brasil**. Brasília: Dupligráfica, 2003.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. Ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GWEC. Global Wind Energy Council. **Relatório Anual**, 2017. Genebra: Word Bank, 2018.

IBGE. Diretoria de Pesquisas. Coordenação de População e Indicadores Sociais. Gerência de Estudos e Análises da Dinâmica Demográfica. **Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

KANAGAWA, Makoto; NAKATA, Toshihiko. Assessment of access to electricity and the socio-economic impacts in rural areas of developing countries, **Energy Policy**, vol. 36, n6, june 2008, p. 2016-2029. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421508000608>>. Acesso em 17 julho. 2023.

NELSON, Vaughn; STARCHER, Kenneth. **Wind energy: renewable energy and the environment. Third edition.** Boca Raton: Taylor & Francis, 2019.

PINTO, Milton de Oliveira. **Fundamentos de energia eólica.** Rio de Janeiro: LTC, 2013.

ROY, Anindita; BANDYOPADHYAY, Santanu. **Wind power based isolated energy systems.** Mumbai: Springer, 2019.

WAGNER, Hermann-Josef; MATHUR, Jyotirmay. **Introduction to Wind Energy Systems: Basics, Technology and Operation. Third Edition.** Cham: Springer International Publishing, 2018.

WAKAMATSU, André. **Matemática financeira.** São Paulo: Pearson, 2012.

WBG. *World Bank Group. **Reliable and affordable off-grid electricity services for the poor: Lessons from World Bank Group experience.*** Washington DC: WBG, 2016. Disponível em: <<https://ieg.worldbankgroup.org/evaluations/offgrid-electricity-services>>. Acesso em 15 julho. 2023.