

Nanorrede CC como Solução de Geração de Energia e Telecomunicação para Microestações e Perfiladores Micrometeorológicos

Hellen Dianne Pereira de Souza* Mayara Martins Pereira*
Aline Mayara Santos Costa Costa* Shigeaki Leite de Lima*
Denisson Queiroz Oliveira*

* Instituto de Energia Elétrica, Universidade Federal do Maranhão, MA,
(hellen.souza, mayara.martins, costa.aline)@discente.ufma.br,
(shigeaki.lima, dq.oliveira)@ufma.br

Abstract: In the last 10 years the wind industry has developed and intensified investments in more specialized studies. Seeking to keep up with this growth, many countries have intensified the development of technologies to meet this demand, as there is a latent market in expansion and this can be measured by the increase in the dimensions of the turbines and in the generation capacity. As it develops techniques and as application tools it is a point to use techniques and techniques as well places with plenty of important resources. Direct measurements, in general, require a high cost of installation and maintenance of the towers. This problem increases in countries with an extensive territorial area, as is the case of Brazil, which would require the installation of a large number of towers for a more complete structure. This article discusses the activities analyzed for the elaboration of a power generation and telecommunication solution, in the form of a direct current.

Resumo: Nos últimos 10 anos indústria eólica têm se desenvolvido e intensificado os investimentos em estudos mais especializados. Buscando acompanhar essa crescente, muitos países têm intensificado o desenvolvimento de tecnologias para atender essa demanda, pois há um mercado latente em expansão e isto pode ser mensurado pelo aumento nas dimensões das turbinas e na capacidade de geração. À medida disso, técnicas desenvolvidas e como ferramentas de aplicação é um ponto para o uso de técnicas e técnicas, bem locais com abundância de recursos importantes. Medições diretas, no geral, exigem um alto custo de instalação e manutenção das torres. Esse problema se amplia em países com uma extensa área territorial, como é o caso do Brasil, que necessitaria da instalação de um grande número de torres para uma estrutura mais completa. Neste artigo aborda as atividades analisadas para a elaboração de uma solução de geração de energia e telecomunicação, no formato de uma corrente contínua.

Keywords: DC Nanogrid; Solar energy; Profilers; Micrometeorological stations.

Palavras-chaves: Nanorrede CC; Energia solar; Perfiladores; Estações micrometeorológicas.

1. INTRODUÇÃO

A produção de energia oriunda da produção eólica tem crescido em todo o mundo. Isto pode ser explicado pelo direcionamento ambiental, no qual há um incentivo internacional em cuidado ao meio ambiente e consequentemente a eliminação progressiva da geração fóssil e nuclear. Há também a descoberta de novas áreas em que é possível extrair energia verde, com eficiência e com bom rendimento financeiro por parte dos investidores (Rosa, 2016).

Todavia, uma vez que a indústria eólica está em plena expansão é necessário investir em estudos especializados voltados para este segmento. Visando acompanhar este crescimento das eólicas, muitos países tem intensificado o desenvolvimento de tecnologias para atender essa demanda, pois há um mercado e isto pode ser mensurado pelo aumento nas dimensões das turbinas e na capacidade de

geração. À vista disso, desenvolver técnicas e ferramentas voltadas para o recurso eólico é um ponto importante para o entendimento destas tecnologias, bem como aplicação em locais com abundância de ventos (Moreira, 2017).

Com o aumento da penetração da geração distribuída (GD) na matriz elétrica brasileira iniciada com a geração eólica o qual representa 11 % da matriz elétrica, sendo acompanhada com a geração solar fotovoltaica 2,5 % iniciada com as aplicações em uso residencial, mas avançando para o segmento da geração em grande escala (Abeolica, 2020).

Tanto nos casos da geração eólica como da geração solar, o potencial energético deve ser medido (instalação de estações meteorológicas em campo) e/ou estimado (por meio de informações secundárias, dados de satélite, mapas, entre outros) para que se possa obter, com segurança, o percentual disponível do recurso eólico e/ou solar. Isto é

importante se o investidor pretende concorrer aos leilões de energia ou atuar no mercado livre de venda de energia (dos Reis, 2017).

Dessa forma, caso o investidor queira aplicar capital em empreendimentos como parques eólicos, a Empresa de Pesquisa em Energia (EPE), vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), disponibiliza a Nota Técnica DEE 057/2016 (EPE, 2016), com:

- Instruções para medições meteorológicas em parques eólicos, o qual incorporam desde 2016 a aceitação de equipamentos de medição remota, *Light Detection And Ranging (LIDAR)* e *Sound Detection And Ranging (SODAR)*;
- Flexibilização dos índices de indisponibilidade;
- Atualização dos procedimentos para aceitação de novos equipamentos;
- Flexibilização no posicionamento dos anemômetros.

Com base nestas mudanças, em outubro de 2020 foi aprovado pela concessionária de energia do Estado do Maranhão, Equatorial Energia, por meio de chamada de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento da Agência Nacional de Energia Elétrica (P&D ANEEL) um projeto apresentado pelo Instituto de Energia Elétrica da Universidade Federal do Maranhão (IEE/UFMA) como foco na avaliação dos efeitos micrometeorológicos em diferentes escalas temporais e espaciais no planejamento e operação de parques eólicos e fotovoltaicos (Assireu et al., 2022).

Neste projeto, um dos objetivos foi desenvolver estudos de turbulência, determinação de camada limite e elaboração de um mapa eólico e solar *online* (plataforma WEB), cuja prospecção de potencial eólico da região do Estado do Maranhão, esta sendo realizada por meio de perfiladores de vento e torres micrometeorológicas que permitem analisar, além de direção e velocidade de vento, outras grandezas necessárias para esta estimativa. Uma vez que os locais de análise são áreas remotas, foi necessário desenvolver formas para o transporte de equipamentos e uma solução de geração de energia, com autonomia, robustez e eficiência.

Neste trabalho são abordadas as atividades desenvolvidas para a elaboração uma solução de geração de energia e telecomunicação, no formato de uma nanorede em corrente contínua (CC), no qual são descritos: o projeto básico, o dimensionamento, as peculiaridades e a instalação em campo com estudo de caso na região de Paulino Neves/Maranhão/Brasil.

2. MICROESTAÇÕES E PERFILADORES METEOROLÓGICOS

Nos estudos sobre dimensionamento e viabilidade técnica e econômica de um projeto é imprescindível o conhecimento com a maior precisão possível do comportamento dos ventos da região pretendida (Moreira, 2017).

Todavia, as informações necessárias nem sempre estão disponíveis, logo se faz necessária a aquisição de dados de outras plataformas que possam viabilizar as escolhas dos pontos de estudos iniciais, embora esses mesmos dados não são resultados de procedimentos de medição, são portanto oriundos de extrapolação.

A partir das informações iniciais foi possível obter dados de diversos locais, que deram origem aos mapas ou atlas eólicos. Nos atlas são contidos importantes estimativas do potencial eólico, apesar de não serem dados com o nível de precisão necessário para o desenvolvimento de projetos eólicos (Moreira, 2017).

À vista disso, é fundamental a instalação, na região de interesse, de um sistema que realize as medições e coletas dos dados de pelo menos um ano, para ser possível o entendimento das características de sazonalidade da velocidade e direção dos ventos.

Os dados relativos ao vento são fundamentais para qualquer ferramenta de análise computacional que realize o cálculo relacionado a produção energética de parques eólicos, sendo também a principal causa de incertezas no processo de levantamento do potencial eólico de uma região, por isso diversas tecnologias vêm aprimorando o modo de medição desses dados (Nunes, 2012).

Atualmente, é exigido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) que os projetos eólicos desenvolvidos no Brasil cumpram o Art. 6º, da II da Portaria do Ministério de Minas e Energia nº102/2016, documento que apresenta as condições para cadastramento e habilitação técnica dos projetos, constando obrigatoriamente o histórico de medições contínuas da velocidade e da direção dos ventos, entre outras medidas necessárias. Dessa forma, garantir a confiabilidade das medições realizadas para projetos eólicos é imprescindível para a viabilidade do negócio.

É possível realizar as medições *in situ* (medição direta), por meio de uma torre anemométrica e/ou perfiladores atmosféricos do tipo LIDAR, SODAR, instalada no local para a aquisição de informações referentes ao perfil de velocidade do vento em função da altura e outros parâmetros meteorológicos. As medições também ocorrem por meio de sensoriamento remoto (medição indireta), ou ainda por meio de sensores aerotransportados ou instalados a bordo de satélites, como os do tipo escaterômetro e do tipo radar de abertura sintética (Nunes, 2012).

As medições diretas, no geral, demandam um alto custo de instalação e manutenção das torres. Esse problema se amplia em países com uma extensa área territorial, como é o caso do Brasil, que necessitaria da instalação de um grande número de torres para uma medição mais completa. Nesses casos, a utilização de perfiladores do tipo LIDAR e SODAR para medições de ventos tem crescido consideravelmente por apresentar alta precisão, portabilidade e preços baixos se comparados às torres anemométricas (Nunes, 2012).

2.1 Microestações

Uma microestação meteorológica é composta por um conjunto de equipamentos configurados com diversos parâmetros meteorológicos com o objetivo de realizar medições diretas na região onde está instalada. Esses equipamentos podem ser separados em três categorias principais: sensores, registradores e telemetria (Rockenbach et al., 2019).

Os sensores convertem eventos físicos em sinais elétricos e eletrônicos e tem a função de quantificar tais parâmetros, sendo os mais comuns nas microestações meteorológicas: de velocidade do vento, de precipitação, de umidade relativa do

ar, de temperatura do ar, de direção do vento, de radiação solar e de pressão atmosférica (Rosa, 2016).

Nas Estações Meteorológicas Automáticas (EMA) geralmente é utilizado apenas um único registrador central, denominado *datalogger*, no qual são registradas as leituras dos sensores, podendo também controlar a transmissão telemétrica dos dados armazenados, por meio de saídas seriais, paralelas, ethernet, etc (Braga et al., 2011).

As microestações meteorológicas alimentadas pela nanorede foram desenvolvidas para medições em microescalas temporais e espaciais de forma a medir efeitos micrometeorológicos do tipo turbulência, identificação de camada limite, topologia do terreno, irregularidade da superfície, clima, obstáculos, entre outros, conforme ilustrada na Figura 1.

Figura 1. Torre Micrometeorológica instrumentalizada.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Ainda na Figura 1, é possível observar a instrumentação adicionada para medição dos efeitos micrometeorológicos, sendo constituída de um anemômetro 3D, colocado a 3 metros do solo, 3 anemômetros 2D, colocadas a cada 1,5 metros acima do anemômetro 3D, um sensor de temperatura, pressão e umidade (*Pressure, Temperature and Humidity Sensor (PTC)*), instalado do lado oposto ao anemômetro 3D, um pluviômetro, fixado ao solo a 0,5 metro da torre e finalmente o quadro de comando, ponto de conexão dos sensores com o *datalogger*.

Os tipos de torres utilizados para medição do potencial eólico podem variar de autoportantes (treliçadas ou tubulares) à treliçadas estaiadas (suportada por cabos de aço) (Moreira, 2017). Neste projeto a torre micrometeorológica é do tipo treliçada estaiada, montada em uma estrutura de lastro em aço carbono, tipicamente utilizada para diversos tipos de transporte, com uma estrutura que permite içar a torre de forma eficiente e também transportar para outros pontos de investigação.

2.2 Sodar

O SODAR é um instrumento acústico utilizado principalmente para medições remotas de perfis tridimensionais da velocidade e direção do vento, e intensidade de turbulência. O instrumento utilizado no projeto é ilustrado na Figura 2 (SCINTEC, 2017).

Figura 2. Perfilador Sodar instalado em campo.



Fonte: Elaborada pelos autores.

O Sodar opera emitindo pulsos sonoros curtos, na vertical e em várias direções inclinadas. Em seguida este sinal é retro-espelhado e então a mesma antena recebe pulsos sonoros ecoados. Como resultado a amplitude e frequência das ondas invertidas são avaliadas para obter informações detalhadas sobre a velocidade do vento e sobre a estrutura da turbulência na camada limite atmosférica.

De acordo com SCINTEC (2017) as principais características técnicas do Sodar incluem:

- Operação em modo de frequência única, em que um único pulso é emitido, retro-espelhado e avaliado, ou em modo multi-frequência, em que são emitidas sequências compostas de pulsos de diferentes frequências;
- Emissão de feixes sônicos em 9 direções diferentes;
- Operação da antena acústica em modo não sombreado, em que a emissão na direção principal da antena é maior, e em modo sombreado, em que a emissão na direção diferente da principal é menor, entretanto emissão na direção principal e ligeiramente alargada;
- Como sistema monostático, ou seja, as posições do transmissor e do receptor são idênticas.

2.3 Lidar

O Lidar é uma tecnologia amplamente utilizada na indústria de energia eólica *onshore* e *offshore*, possuindo configurações variadas que permite extrair de forma precisa dados

do vento, incluindo monitoramento atmosférico e de perfis de vento (CUBE, 2017)(Figura 3), possuindo as seguintes características:

- Varredura rápida em 3D completo;
- Estratégia de digitalização Lidar totalmente configurável com base em *Plan Position Indicator (PPI)*, *Range Height Indicator (RHI)*, *Doppler Beam Swinging (DBS)* e varreduras de feixe único para atender a todas as necessidades;
- Gerenciamento flexível de dados por meio de solicitações de *Application Programming Interface (API)*, comunicação com um servidor *File Transfer Protocol (FTP)* ou por meio de uma gráfica amigável, robusta interface de usuário e fornece arquivos NetCDF;
- Formatos que permitem flexibilidade ao usuário;
- API disponível para configuração de usuário e acesso a dados.

Figura 3. Lidar instalado em campo.



Fonte: Elaborada pelos autores.

A tecnologia Lidar faz referência a medição dos ventos a partir de *lasers* que operam em uma frequência infravermelho (Ishii et al., 2017). Esse equipamento detalha a camada limite da atmosfera, com alta precisão na medição da velocidade e direção do vento (Barker et al., 2014).

O Lidar utiliza uma tecnologia semelhante a de radares, emitido pulsos a laser em direção a atmosfera, utilizando um sistema de interpretação das informações obtidas baseado no efeito Doppler. Com esse método é possível determinar a velocidade de partículas e aerossóis, a partir da diferença entre o tempo de emissão do pulso laser e a detecção do sinal refletido por essas partículas dispersas na atmosfera (Nassif et al., 2017).

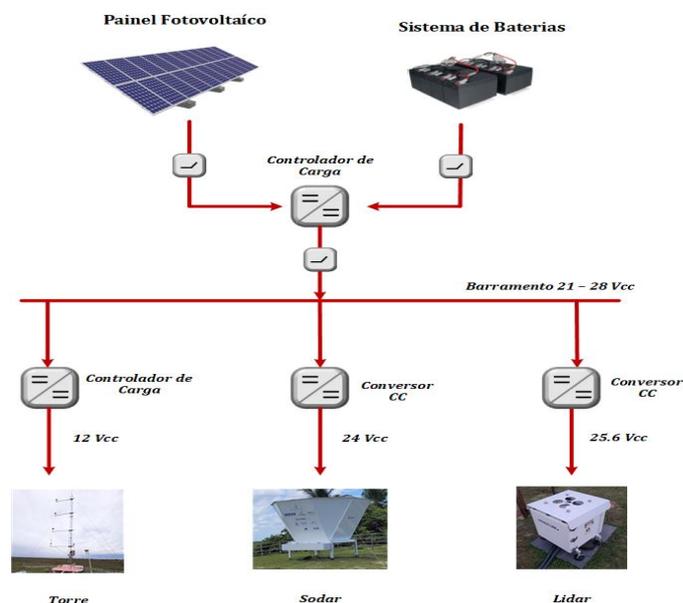
Neste projeto os perfiladores Sodar e Lidar foram configurados para realizar medições a partir dos 50 metros até 280 metros, com uma variação de medidas a cada 10 metros de altitude.

3. NANORREDE CC

Com o objetivo de atender o fornecimento de energia elétrica e de telecomunicação para os equipamentos (torre micrometeorológica, Sodar e Lidar), foi desenvolvido uma solução baseada em corrente contínua, com fontes renováveis e acumuladores. Esta solução permite manter os equipamentos em operação constante (24 horas) com autonomia de três dias, em caso de perda da fonte renovável.

Na Figura 4 é ilustrado um diagrama unifilar da nanorrede em que o painel solar e o sistema de baterias são ligados a um controlador de carga CC, conectado ao barramento CC com tensões entre 21-28 Vcc. Neste barramento estão ligados os conversores dos equipamentos que mantêm as tensões de entrada em: Lidar 24 Vcc, Sodar 25,6 Vcc e para o *datalogger* em 12 Vcc.

Figura 4. Diagrama esquemático da nanorrede CC.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Esta solução como mencionada no texto, tem as características de uma nanorrede CC, ou seja, pode ser definida como uma rede de distribuição, geração e consumo que pode operar de forma isolada ou interligada a rede elétrica convencional (Oliveira et al., 2017; Barcelos et al., 2020).

A nanorrede pode ser classificada com base no tipo, tamanho ou conectividade. A partir das correntes e tensões adotados são divididos em três tipos: Corrente Alternada (CA), Corrente Contínua (CC) ou Híbridas (Oliveira et al., 2017; Barcelos et al., 2020).

Um sistema de distribuição comumente é operado em CA, embora sistemas que utilizam baterias são CC. A conversão de CA-CC para abastecer as baterias e CC-CA para descarga (conexão no ponto de consumo) torna a distribuição em CA menos eficiente que um sistema que não precisa de conversão, ou seja um sistema CC-CC (Oliveira et al., 2017).

Nesse sentido, uma nanorrede CC se torna mais atraente que uma nanorrede CA, considerando que a não conversão evita perdas de conversão contribuindo para a economia de energia armazenadas nas baterias, permitindo maior eficiência ao sistema (Oliveira et al., 2017).

3.1 Dimensionamento

A nanorrede desenvolvida, conforme ilustrada na Figura 5, é composta por um sistema de transporte com rodas em estrutura de aço, no formato retangular, de dimensões 2m x 1,5m x 1m (LxCxA), com portas de acesso por ambas as extremidades. Este aspecto construtivo tem como objetivo fornecer estrutura mecânica para a instalação do sistema de geração, bem como proporcionar proteção às intempéries climáticas para o sistemas de armazenamento e controle internos.

Figura 5. Estrutura fabricada para transporte e instalação da nanorrede CC.



Fonte: Elaborada pelos autores.

O sistema de geração da nanorrede é formado por 2 painéis solares fotovoltaicos, com potência 285 Wp (Watt-pico), ligadas em paralelo, com tensão e corrente em circuito aberto é de 38 Vcc, e 16 A respectivamente. Os painéis foram colocados diretamente sobre a estrutura do transportador e fixados por meio de cabos nas laterais, de modo a não se deslocarem sob ação dos ventos, apresentando ao final da instalação uma estruturação física robusta e compacta.

Com relação a configuração interna, estão organizados os sistemas de armazenamento de energia e controle da nanorrede. Com o objetivo de manter a temperatura interna dentro de um valor aceitável para os acumuladores (até 30 °C), foram feitas entradas de ar na parte superior e inferior da estrutura para garantir a circulação de ar, além da instalação de camadas de poliestireno expandido para isolar todas as paredes da estrutura (Figura 6).

Figura 6. Detalhamento interno da nanorrede CC.



Fonte: Elaborada pelos autores.

O sistema de armazenamento foi constituído por 6 baterias de 220 Ah (Ampère-Hora), do tipo chumbo-ácido, de 12 Vcc cada, ligadas em série e paralelo de forma a permitir uma tensão de operação em 24 Vcc e com capacidade total de 660 Ah. A autonomia do sistema é de 72 horas caso haja problemas com a fonte de geração solar. Na Figura 7 é ilustrado um controlador de carga CC, montado em um quadro de comando com as proteções adequadas (chaves, disjuntores, dispositivos de proteção de surtos, fontes, entre outros).

Figura 7. Quadro de comando da nanorrede CC.



Fonte: Elaborada pelos autores.

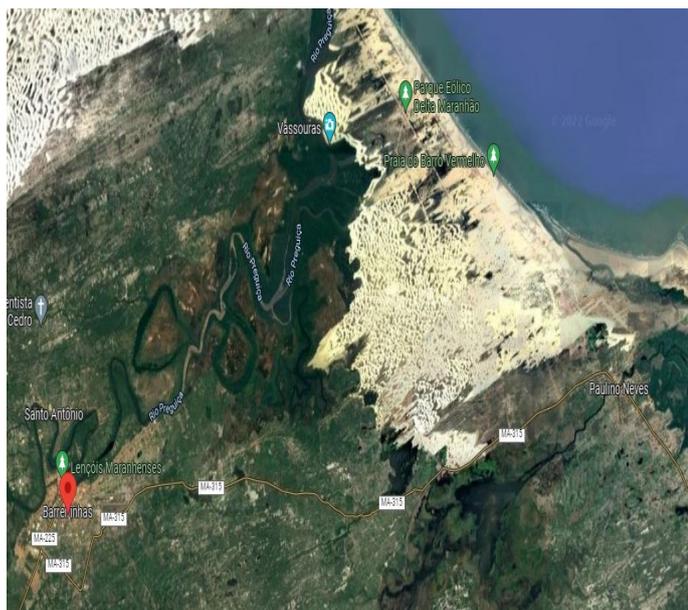
Além do sistemas de controle, no quadro de comando também está o microcomputador industrial responsável pelo processamento das informações e pelo gerenciamento e controle dos dados (backup de todos os sistemas: sodar, lidar e *datalogger*). Outros elementos que compõem o quadro estão os sensores de corrente e tensão (painel solar e acumuladores) e um micro *datalogger* com telemetria, o qual envia periodicamente o status da geração/armazenamento. Isto permite, na ausência de dados, analisar se o problema está na geração ou em algum dos sistemas.

3.2 Instalação

A nanorrede foi colocada em campo em meados de setembro de 2021, no local denominado ponto 0 (ponto fixo), a qual alimenta um Sodar e uma microestação. Contudo há uma segunda nanorrede que alimenta um Lidar e uma microestação que é deslocada a cada 30-45 dias para pontos de observação, denominados ponto 1, 2, 3 e 4.

Na Figura 8 é ilustrada a região em que se desloca a nanorrede móvel, no qual os pontos de observação abrangem áreas das cidades de Barreirinhas/MA a Paulinho Neves/MA.

Figura 8. Região de de deslocamento da nanorrede.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Estes pontos de medição são importantes para uma correlação de dados que permitirão, além da elaboração do mapa solar e eólico do Maranhão, entender comportamentos atmosféricos e efeitos de turbulência, rugosidade, camadas limites, entre outros importantes para entender o recurso eólico.

4. CONCLUSÃO

Este projeto, tem como uma das finalidades desenvolver estudos de turbulência, determinação de camada limite e elaboração de um mapa eólico e solar online, cuja

prospecção de potencial eólico da região do Estado do Maranhão, está sendo realizada por meio de perfiladores de vento e torres micrometeorológicas que permitem analisar, além de direção e velocidade de vento, outras grandezas necessárias para esta estimativa. Em virtude dos locais de análise serem em áreas remotas, foi necessário desenvolver formas para o transporte de equipamentos e uma solução de geração de energia, com autonomia, robustez e eficiência.

A nanorrede CC apresentada neste artigo tem sido uma solução viável e eficaz na geração de energia e telecomunicação para microestações e perfiladores micrometeorológicos, com resultados satisfatórios quanto aos problemas de deslocamento, autonomia energética e resistência às intempéries climáticas que advém da pesquisa *in situ*.

Desta forma o conceito da nanorrede pode ser explorado em uma aplicação real, no qual está sujeita condições que permitirão melhorar e se apropriar desta tecnologia. A aplicação em um sistema de transporte é apenas uma das aplicações interessantes para nanorredes, e neste caso em particular está bem dimensionada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - Brasil, a Equatorial Energia e a Gera Maranhão pelo apoio financeiro e cessão dos dados para o estudo.

REFERÊNCIAS

- Abeolica (2020). Boletim anual de geração eólica.
- Assireu, A.T., Pimenta, F.M., de Freitas, R.M., Saavedra, O.R., Neto, F.L.A., Júnior, A.R.T., Oliveira, C.B.M., Lopes, D.C.P., de Lima, S.L., Veras, R.B.S., Saraiva, N.P., Marcondes, L.G.P., and Oliveira, D.Q. (2022). Eosolar project: Assessment of wind resources of a coastal equatorial region of Brazil & overview and preliminary results. *Energies*, 15(7). doi:10.3390/en15072319. URL <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/7/2319>.
- Barcelos, S.L., de Matos, J.G., and de Souza Ribeiro, L.A. (2020). Análise de diferentes cenários de integração de geração intermitente na microrrede isolada da ilha de lençóis através de modelagem no pscad/emtdc. *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos-SBSE*, 1(1).
- Barker, W., Harris, M., Pitter, M., des Rozières, E.B., Medley, J., and Slinger, C. (2014). Lidar turbulence measurements for wind turbine selection studies: design turbulence. *Proc. EWEA Annual Event (Barcelona, Spain, 2014)*, PO. ID, 169.
- Braga, A.S., Braga, S.M., and Fernandes, C.V.S. (2011). Estações meteorológicas automáticas: relato de uma experiência com sensores independentes em bacia experimental. *XIX Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos*, 1-16.
- CUBE, W. (2017). V2 lidar remote sensor user manual version 06. *Leosphere, France*.
- dos Reis, L.B. (2017). *Geração de energia elétrica*. Editora Manole.
- EPE (2016). Estudos para a licitação expansão da geração-leilões de energia: Instruções para as medições anemométricas e climatológicas em parques eólicos. Technical report, EPE-DEE-RE-057/2016-r0, 17, Brasília.

- Ishii, S., Okamoto, K., Baron, P., Ishibashi, T., Tanaka, T., Sekiyama, T., Maki, T., Kubota, T., Satoh, Y., Sakaizawa, D., et al. (2017). Study on measurement performance of future space-based doppler wind lidar in japan. In *2017 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 4238–4245. IEEE.
- Moreira, J.R.S. (2017). Energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética. *Rio de Janeiro: LTC*.
- Nassif, F.d.B. et al. (2017). A tecnologia lidar aplicada a medições eólicas sobre corpos hídricos e oceano. *Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina*.
- Nunes, H.M.P. (2012). Avaliação do potencial eólico ao largo da costa nordeste do brasil. *Universidade Federal de Brasília*.
- Oliveira, H.A. et al. (2017). Rede híbrida de distribuição de energia em cc e ca como solução alternativa para microrredes isoladas. *Universidade Federal do Maranhão*.
- Rockenbach, F.R. et al. (2019). *Projeto e fabricação de uma estrutura modular para o uso em estações meteorológicas de baixo custo*. Master's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Rosa, A. (2016). *Processos de Energia Renováveis*, volume 3. Elsevier Brasil.
- SCINTEC (2017). *Scintec Flat Array Sodars. Theory Manual SFAS, MFAS, XFAS, including RASS RAE2 and windRASS™*, volume Version 1.03. Scintec AG.