

ANÁLISE DE SISTEMAS HÍBRIDOS COM GÁS NATURAL E ENERGIA RENOVÁVEL VISANDO O FORTALECIMENTO DA MATRIZ ENERGÉTICA POTIGUAR

Íris Florencio de Mélo ¹
Prof. Dr. Lindemberg de Jesus Nogueira Duarte ²

RESUMO

Os recursos gás natural, eólico e solar são responsáveis por uma representativa parcela da geração de energia elétrica no Brasil. A geração de energia através de recursos intermitentes, eólico e solar, proporciona certa insegurança, visto a irregularidade das fontes naturais. A alta penetração de fontes intermitentes, trazem alguns desafios para o sistema elétrico brasileiro. A disponibilidade, versatilidade, e as características de queima limpa do gás natural, tornam esse recurso fóssil o parceiro ideal para contrabalançar a geração renovável. A geração convencional de energia elétrica tem as suas vantagens, todavia nem sempre é possível trazer resultados que atendam efetivamente o combo: produção confiável de energia e baixo impacto ambiental. Desta forma, os sistemas híbridos trazem uma nova perspectiva para a geração de energia. A combinação de recursos em uma mesma planta, otimiza a produção visto a complementaridade da geração. O RN encontra-se no centro de discussões políticas e técnico-econômicas voltadas a expansão da produção de gás natural, e apresenta uma alta densidade de empreendimentos renováveis no estado. Diante deste cenário, analisou-se a viabilidade de um sistema híbrido no estado. O trabalho avaliou a experiência internacional e nacional no desenvolvimento de projetos híbridos a fim de investigar a aplicabilidade e resultados intrínsecos a utilização desses sistemas. O sistema híbrido proposto neste trabalho reuniu as vantagens do uso combinado do gás natural e da fonte solar na geração de eletricidade, os quais potencializarão juntos a entrega confiável de energia, fortalecendo a matriz elétrica do Rio Grande do Norte.

Palavras-chave: Sistema Híbrido, Gás natural, Energia renovável, Rio Grande do Norte.

1 INTRODUÇÃO

O gás natural sempre foi preterido ao petróleo, no entanto, nos últimos anos, vem se destacando fortemente no mercado graças a sua disponibilidade, características, versatilidade e baixo impacto ambiental, sendo considerado “o primo pobre que virou nobre” (GAUTO, 2015).

Este combustível fóssil de alto poder energético é utilizado em todos os setores econômicos, todavia a sua representatividade no setor de geração de eletricidade tem se tornado crescente devido a flexibilidade dessa fonte e sua complementaridade as fontes renováveis.

A inserção das fontes renováveis eólica e solar na matriz elétrica brasileira propaga o sentimento que os problemas relacionados a vulnerabilidade energética e aos danos ambientais

¹ Graduando do Curso de Engenharia de Petróleo da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - RN, irisflorenciodemelo@gmail.com;

² Prof. Dr. Lindemberg de Jesus Nogueira Duarte, PHD – INPT/France, ljnduarte@hotmail.com.

sejam sensivelmente cessados. O impacto positivo da disseminação da geração renovável é respaldado, porém se faz necessário analisar os *gaps* remanescentes e, ainda, causadores da instabilidade energética brasileira.

A geração de energia elétrica através de recursos intermitentes, eólico e solar, causa certa insegurança, visto a irregularidade das fontes naturais. A combinação de tecnologias e fontes já é utilizada em pequena escala e apresenta um elo entre a geração de energia confiável e sustentável, alinhado ao que a transição energética propõe.

Os sistemas híbridos estudam os aspectos favoráveis de uma região e os reúnem para a produção de energia, seja para um consumidor específico ou para o sistema elétrico. Neste sentido, a utilização de uma termelétrica flexível movida a gás natural e uma usina renovável, eólica ou fotovoltaica, operando através de um sistema híbrido de geração de eletricidade, será o principal objetivo discutido no presente trabalho.

Este sistema otimizado de produção fortalece a entrega de energia confiável, visto a complementariedade da geração. A termelétrica a gás natural fornece segurança da produção, dada a flexibilidade de despacho da planta e do combustível, uma vez que o gás natural não depende de fatores climáticos ou sazonais; e a planta renovável diminui os custos da produção, já que as fontes renováveis (sol e vento) têm custo nulo, aproveitando a disponibilidade do recurso na região para a geração de energia limpa.

O estado do Rio Grande do Norte apresenta abundância nos recursos de interesse do trabalho. Nos últimos anos, essa região tem sido alvo de investimentos para a produção de energia eólica, solar e produção de gás natural. O processo de descentralização das atividades da estatal Petrobrás, através da venda dos ativos da bacia potiguar, a aprovação da nova Lei do Gás Natural, assim como a liberação do acesso da UPGN de Guamaré à novos produtores de gás, voltam todos os olhares para o estado, visto o eminente aquecimento da indústria petrolífera do RN.

Por último, a capacidade instalada de parques eólicos no estado não agrega necessariamente muita segurança aos novos sistemas, sobretudo pelas seguintes causas: intermitência do recurso eólico e venda da geração para outras regiões.

A identificação de todos esses *gaps* e oportunidades no RN, motivaram a investigação da viabilidade de uma usina híbrida a gás natural e energia eólica ou solar no estado, a fim de fortalecer a matriz elétrica da região.

- **Objetivo Geral**

O objetivo principal deste trabalho é analisar a viabilidade de um Sistema Híbrido que engloba de forma concomitante uma usina termelétrica flexível a gás natural e uma usina renovável, eólica ou fotovoltaica, a fim de fornecer energia elétrica segura e estável para o sistema elétrico do Rio Grande do Norte.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A inserção de novas unidades de geração elétrica, como parques eólicos e fotovoltaicos, vem se aliando a maior fonte de geração do país, as hidrelétricas, apresentando representativa contribuição na geração de eletricidade.

De acordo com o Balanço Energético Nacional 2020, ano base 2019, a matriz elétrica brasileira, é composta em 83% por fontes de energia renováveis e 17% por fontes não-renováveis.

Observou-se que o gás natural é a fonte não-renovável de maior representatividade na geração elétrica, cuja oferta é de 54,5%, sendo assim, o combustível fóssil que mais contribui na geração de energia elétrica do nosso país, principalmente, a partir da sua utilização em plantas termelétricas.

A inserção das fontes solar e eólica no Sistema Elétrico Brasileiro (SEB) representa mais um passo dado para a diminuição da emissão de carbono. Entretanto, a entrada em larga escala dessas fontes implica em intermitências de curto prazo no SEB (IEA, 2014; CAVADOS, 2015). Dessa forma, é relevante analisar como esse desafio pode ser contrabalançado pelo uso do gás natural.

2.1 Sistemas Híbridos como Medida Mitigadora

O presente trabalho visualiza os Sistemas Híbridos (SH) como uma usina flexível, na qual o problema da intermitência da geração por fontes renováveis (eólica e solar) pode ser ajustado a partir da utilização de uma termelétrica a gás natural flexível que atuará gerando energia nos períodos de indisponibilidade dos recursos renováveis.

Esse sistema facilita o intercâmbio de geração elétrica, balanceando cargas, dentro de uma mesma planta, graças a combinação da sazonalidade de uma fonte com a flexibilidade de outra. A capacidade de uma fonte suprir a falta temporária de outra permite que o sistema opere com o mínimo de interrupções, entregando ao sistema elétrico um montante de energia seguro e contínuo, *environment friendly* e mais barato do que um sistema unicamente térmico.

2.2 Fontes Energéticas em estudo

De acordo com a análise do perfil energético elétrico Brasileiro, serão apresentados a seguir as principais características dos recursos gás natural, eólico e solar, e suas respectivas formas de geração de energia elétrica. Sendo, assim os componentes a serem analisados no desenvolvimento de um sistema híbrido.

2.2.1 Gás Natural

De acordo com o artigo 6º da Lei 9.478, de 06/08/1997, gás natural é todo hidrocarboneto que permanece em estado gasoso nas condições atmosféricas normais, extraído diretamente a partir de reservatórios petrolíferos ou gasíferos, incluindo gases úmidos, secos, residuais e gases raros. O Gás Natural é o combustível fóssil mais limpo e eficiente, sendo produzido na forma de gás associado ou independente, denominado de gás não-associado.

A cadeia de produção do gás natural é um conjunto de atividades de produção, processamento, transporte, comercialização e utilização do GN. A interconexão dessas atividades resulta em valor agregado a molécula de gás final.

O processo de geração de eletricidade a partir da queima de combustíveis fósseis responde pela maior parte da geração de energia elétrica no mundo. Segundo a CCEE, o gás natural é um dos combustíveis mais utilizados em termelétricas no Brasil, no qual é queimado transformando energia térmica em energia mecânica e conseqüentemente, em energia elétrica.

Usinas termelétricas são conhecidas por serem peças-chave na geração de energia, nas quais são despachadas, fundamentalmente, para a correção de flutuações e balanceamento de carga do sistema. A flexibilidade de uma termelétrica é caracterizada pela competência do sistema em gerar mais ou menos eletricidade em resposta a variabilidade de carga esperada ou não pelo operador.

2.2.2 Energias Renováveis

Considera-se como energia renovável a geração de energia a partir de recursos naturais, ou seja, fontes limpas de infinita abundância que não contribuem com a emissão de gases de efeito estufa.

2.2.2.1 Energia Eólica

A energia eólica consiste no aproveitamento da potência contida no vento como recurso para a geração de eletricidade. Aplicações mais simples dessa fonte foram desenvolvidas há

milhares de anos, no entanto, a utilização do vento para a geração de energia elétrica é considerada recente.

Segundo Cavados (2015), as principais características inerentes a esta fonte de energia são: custo de geração baixo, em vista a disponibilidade natural deste recurso; priorização de despacho das usinas eólicas a fim de evitar desperdício de energia; baixa previsibilidade de mudanças inesperadas nas condições de vento, condição que aumenta a incerteza sobre a geração; intermitência ou variabilidade de curto prazo na produção, que levam a variações de geração de energia ainda maiores, visto que a potência disponível no vento tem relação cúbica com a velocidade do vento.

O termo parque eólico é definido como um conjunto de turbinas eólicas distribuídas em uma mesma área gerando eletricidade. Os principais componentes presentes nessas máquinas são o rotor, o eixo e o gerador e outros elementos secundários que variam de acordo com o tipo e o projeto do aerogerador (TOLMASQUIM, 2016).

2.2.2.2 Energia Solar

A luz solar é um recurso essencial no desenvolvimento de atividades conectadas a existência do homem e da natureza. A aplicação da energia solar pode ser classificada em duas tecnologias de geração, fotovoltaica e heliotérmica (TOLMASQUIM, 2016). A primeira e tecnologia de interesse do trabalho, consiste na conversão direta da luz solar em eletricidade através do uso de painéis fotovoltaicos. O efeito fotovoltaico consiste na geração de eletricidade a partir da energia absorvida por células fotovoltaicas, material semicondutor (PINHO e GALDINO, 2015).

2.3 Estudos de Caso

O presente trabalho avaliou a experiência internacional no desenvolvimento de sistemas híbridos para o fornecimento confiável de energia, também foi realizado um levantamento de projetos já implantados no Brasil com potencial de replicação no estado do RN.

2.3.1 Projeto Híbrido na Austrália

- *Chichester Solar Gas Hybrid Project e Newman Power station*

A Alinta Energy vem desenvolvendo um sistema híbrido fotovoltaico-gás natural, o qual fornecerá energia híbrida para duas minas de ferro em Pilbara – Austrália. As minas

beneficiadas serão alimentadas durante o dia por geração renovável advinda de uma planta fotovoltaica de 60 MW. A geração renovável tem como suporte uma bateria de armazenamento e a usina termelétrica a gás natural em *Newman*.

A Alinta Energy também encontra-se expandindo a usina termelétrica a gás natural em Newman, a fim de oferecer suporte técnico a crescente penetração de energias renováveis na região de Pilbara. A expansão da termelétrica *Newman* consiste na substituição gradual das atuais turbinas industriais a gás por máquinas de tecnologia de ponta, as quais irão proporcionar maior flexibilidade de geração, de maneira eficiente e a custo justo. Quatorze máquinas de alta eficiência a gás natural serão instaladas e isso adicionará 60 MW de capacidade para rápida partida. A substituição mencionada resultará na redução da emissão de CO₂, a qual é estimada em 100.000 toneladas por ano.

2.3.2 Projetos Híbridos no Brasil

- **Sistema Híbrido do Oiapoque**

Em 2017, o grupo internacional Voltalia instalou uma usina híbrida no município Oiapoque, no estado do Amapá. Esse sistema é composto por uma usina fotovoltaica de 4 MW e uma usina térmica de 12 MW com geradores a diesel. A cidade não se encontra interligada ao SIN, no entanto, esse sistema é capaz de suprir as necessidades energéticas da população local, que é de aproximadamente de 28.000 habitantes, segundo o IBGE (2020). A usina híbrida de Oiapoque também conta com outro tipo de tecnologia utilizada em site, a Sky Cam Vision™ da empresa Reuniwatt, a qual é um sistema de previsão que identifica as condições meteorológicas locais atuais e no curto prazo (ARAUJO, 2020).

Durante o *blackout* que aconteceu no Amapá em novembro de 2020, e no mais recente em abril de 2021, o município de Oiapoque foi um dos três (em novembro) e o único (em abril), entre dezesseis, que não tiveram o abastecimento comprometido devido ao incidente (GLOBO, 2021). Isto só foi possível, devido ao atendimento da cidade pelo sistema híbrido citado acima, o qual não é interligado à rede de transmissão do Sistema Interligado Nacional (SIN).

3 METODOLOGIA

Os estudos de caso apresentados motivaram a análise do desenvolvimento de um sistema híbrido no RN. O estado do Rio Grande do Norte é rico em irradiação solar, vento, gás natural, entre outros recursos. As atividades de produção de energia elétrica através dos recursos citados movimentam a economia local e nacional, abastece o estado e entre outras regiões do Brasil. No entanto, o RN ainda se encontra em um cenário passível de instabilidade energética.

Desta forma, foi proposta uma metodologia capaz de avaliar os critérios e as condições relacionados a viabilização de um projeto híbrido no Rio Grande do Norte. O sistema híbrido em proposição, foi avaliado em 2 configurações: sistema híbrido fotovoltaico-gás natural e sistema híbrido eólico-gás natural.

Inicialmente, foram analisados os aspectos técnicos de seleção da localização como: dados de disponibilidade do gás natural e dos recursos eólico e solar na região escolhida; a acessibilidade do local e infraestrutura de escoamento existente, como: termelétricas, malha de gasodutos, acesso à região, linhas de transmissão; e questões quanto a escolha do sistema renovável e interligação do sistema híbrido à rede; a partir de relatórios e anuários de entidades como ABEEólica, ANP, ANEEL, EPE, MME, ONS, entre outros.

A potencialidade das fontes solar e eólica foram obtidas através do *Nasa Power*, Atlas Solarimétrico do Brasil, *Global Solar Atlas* e *Wind Solar Atlas*. Os estudos de caso apresentados, foram utilizados como *cases* auxiliando na aplicação de um sistema híbrido no RN.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção foram apresentados os resultados da avaliação dos estudos de caso e dos parâmetros levantados na análise da viabilidade de um sistema híbrido a gás natural e recurso eólico ou solar no RN, explicando detalhadamente os motivos que levaram a decisão do modelo proposto.

4.1 Discussões sobre os Estudos de Casos Analisados

A análise dos sistemas híbridos em operação e em desenvolvimento, no Amapá e na Austrália, foram de extrema relevância para o presente trabalho. Os estudos de casos avaliados demonstraram que sistemas híbridos vêm sendo desenvolvidos no cenário internacional e nacional, retratando um novo tipo de sistema que foge do padrão convencional de geração de

energia. Estes sistemas vêm fornecendo, assim, maior confiabilidade e a entrega de energia limpa aos seus consumidores.

Em geral, os *cases* apresentaram a necessidade do uso de um recurso confiável (gás ou diesel) na planta de geração, a fim de tornar o processo de geração renovável confiável.

Em adição, através dos estudos de caso, percebeu-se que a produção de energia por sistemas híbridos, ou seja, a partir da combinação da geração de eletricidade por uma fonte confiável e fonte intermitente, pode ser utilizada com o objetivo de atender diferentes demandas.

A avaliação do sistema híbrido em desenvolvimento em Pilbara, deixou claro a aplicabilidade de sistemas híbridos para o fortalecimento do setor de geração de energia no cenário internacional, principalmente, visto que um importante setor da indústria Australiana depende dessa geração para a execução das suas atividades, assim como, no cenário nacional, visto que o município do Oiapoque-AM é abastecido graças a utilização do sistema híbrido para o atendimento da demanda energética local.

4.2 Discussões sobre o Sistema Híbrido Proposto

No que se refere ao sistema híbrido proposto para o Rio Grande do Norte, a configuração fotovoltaica-gás natural *on-grid* se apresentou, para o presente trabalho, como o modelo mais oportuno para a geração confiável de energia elétrica e de menor impacto socioambiental para o RN. A seleção da configuração do sistema híbrido regional foi feita a partir da avaliação dos valores listados a seguir:

- De acordo com a análise feita no Atlas Solarimétrico do Brasil, *Nasa Power e System Adviser Model – SAM*, o nível de irradiação solar na região do RN é bastante favorável, produzindo em torno de 2200 kWh/m²/ano, a depender da área escolhida, sendo interessante e propício à produção fotovoltaica;
- O impacto da implantação de uma usina fotovoltaica sob o meio ambiente e população é consideravelmente pequeno, diminuindo assim a complexidade do projeto;
- O transporte de módulos fotovoltaicos é prático e não demanda enormes proporções como o transporte de equipamentos de um sistema eólico;
- O Brasil já dispõe de grupos estrangeiros instalados e em operação, produzindo módulos fotovoltaicos. Desta forma, os custos são minimizados uma vez que não é obrigatória a importação do produto;

- O sistema fotovoltaico tem vida útil em torno de 25 anos e pode ser estendido a 30 anos, variando conforme o fabricante;
- A produção de energia fotovoltaica encontra-se em ascensão no RN;
- O acesso à malha de gasodutos nacional, assim como o alcance da rede de gasodutos da Potigás que garante o abastecimento da termelétrica do sistema híbrido proposto;
- O acesso da região ao sistema interligado nacional e à rede de distribuição.

4.3 Características do Sistema Híbrido Fotovoltaico-Gás Natural *on-grid* no RN

Este trabalho prevê o projeto de um sistema híbrido fotovoltaico-gás natural o qual irá garantir a entrega contínua, a depender da demanda energética, de energia limpa e confiável para o sistema elétrico do RN. A planta fotovoltaica do sistema híbrido funcionará durante os períodos de disponibilidade solar, enquanto a planta termelétrica a gás natural será despachada nos momentos de baixa ou ausência de irradiação solar.

Visto a existência de termoelétricas no estado, este trabalho propõe o aproveitamento da estrutura já existente. É sugerido a adequação da termelétrica Jesus Pereira Soares, a Termoçu, a fim de evitar o projeto de uma termelétrica redundante no estado e maximizar o aproveitamento da infraestrutura desta usina.

Trazendo a expertise identificada nos estudos de caso da termoelétrica de *Newman* e do sistema híbrido do Oiapoque, e alinhando esses *cases* para a realidade do RN foram feitas as seguintes sugestões: Upgrade da infraestrutura da UTE e Expansão da planta fotovoltaica.

Ao analisar as especificações da UTE JPS, constatou-se a necessidade da melhoria na capacidade de resposta da usina. Nesse sentido, é recomendável a adição de máquinas térmicas de fluxo mais flexíveis na Termoçu, a fim de proporcionar melhor desempenho na geração de energia híbrida.

No que se refere a planta fotovoltaica, são apresentados a seguir os equipamentos necessários para a montagem do parque conectado à rede, assim como as características esperadas para esses itens. Vale ressaltar a necessidade de um estudo mais aprofundado sobre o montante que pode ser produzido na usina fotovoltaica, de acordo com as especificações do sistema de transmissão em operação, entre outras características, a fim de elaborar um dimensionamento preciso.

A Termoçu conta com uma usina fotovoltaica de 1,1 MW de capacidade instalada (CERNE, 2017), a qual fornece eletricidade para o consumo elétrico da termoelétrica.

Para a expansão do parque fotovoltaico, sugere a avaliação do desempenho do sistema fotovoltaico em operação, e utilizar os resultados obtidos como *case* para a escolha dos equipamentos do novo parque. Ressalta-se a importância de módulos fotovoltaicos de alta eficiência, bom *range* de potência, longo tempo de vida útil, assim como, disponibilidade no mercado local.

Os inversores *on-grid* são os mais utilizados do mercado, tendo em vista o seu custo-benefício. Sugere o emprego de equipamentos que apresentem competitividade, versatilidade, eficiência e disponibilidade no mercado brasileiro.

O uso da tecnologia de mapeamento do céu no sistema fotovoltaico identificará as variações acentuadas da produção fotovoltaica no curto prazo e notificará a UTE para o subsequente despacho rápido da usina a fim de corrigir a irregularidade da geração. Este *gadget* contribuirá para a otimização da operação do sistema híbrido.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Identificou-se, inicialmente, os sistemas híbridos como uma tecnologia capaz de utilizar o gás natural a fim de contrabalançar o impacto da intermitência a curto prazo causada pela entrada das fontes eólica e solar no sistema elétrico brasileiro. Através dos estudos de caso e da investigação dos parâmetros relacionados a viabilidade de um SH a gás natural e fonte eólica ou solar, no RN, chegou-se à conclusão de que o RN reúne os critérios e as condições necessárias para a implantação de um sistema híbrido na região.

O sistema híbrido fotovoltaico-gás natural escolhido utiliza os recursos favoráveis do Estado de forma combinada a fim de fortalecer a matriz energética do RN. Identificou-se também que os sistemas híbridos são uma aplicação eficiente para a produção de energia elétrica confiável, ininterrupta e de qualidade. Assim como, a atuação desses sistemas no suporte à crescente geração renovável.

A motivação em adotar um sistema híbrido fotovoltaico-gás natural interligado à rede baseou-se na localização favorável do RN, na infraestrutura já existente de linhas de transmissão e conexão ao SIN, e na necessidade de aumentar a confiabilidade do sistema elétrico do RN, dada a alta penetração de fontes intermitentes na rede elétrica do estado.

O sistema eólico foi preterido ao fotovoltaico, principalmente, devido a presença de uma usina fotovoltaica na Termoaçú, assim como, os maiores impactos associados a implantação

desse sistema no meio ambiente e na sociedade no entorno, o alto custo dos componentes e a complexidade desses sistemas também foram levados em consideração.

O sistema híbrido proposto oferecerá mais segurança na geração elétrica do Rio Grande do Norte, atribuindo confiabilidade no montante entregue de energia à rede elétrica e menor impacto no meio ambiente. Sendo, assim, um conjunto de medidas que minimizarão a vulnerabilidade da matriz energética e elétrica do RN.

Para trabalhos futuros seria interessante o estudo da área da Termoçu para a expansão do parque fotovoltaico, assim como a capacidade do *grid*, com a finalidade de elaborar um dimensionamento da planta mais detalhado. Apesar do sistema eólico ter sido descartado neste trabalho, o Rio Grande do Norte apresenta relevante potencial para geração eólica, desta forma, sugere-se que próximos trabalhos estudem a viabilidade de um sistema híbrido eólico-gás natural no estado, a partir da proposição de uma parceria com empresas que têm parques eólicos em operação, a fim de evitar a construção de um novo empreendimento.

Além disso, seria interessante estudar a viabilidade de um sistema híbrido fotovoltaico-gás natural e um sistema híbrido eólico-gás natural, ambos *off-grid*, no RN, para o atendimento de consumidores específicos, como: indústrias de alto consumo de energia elétrica; comunidades localizadas em regiões remotas; sistemas de tratamento de água produzida; usinas de dessalinização de água salgada; visto a relevância do cenário isolado à rede em situações de falha no sistema de transmissão da rede elétrica.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA (IEA). The power of transformation: wind, sun and the economics of flexible power systems. Paris, França. OECD/IEA, 2014. 234p.

_____. *Chichester Solar Gas Hybrid Project*. s.d. Disponível em: <https://www.alintaenergy.com.au/qld/about-alinta-energy/power-generation/chichester-project/>. Acesso em: 8 de dezembro de 2020.

ARAUJO, E. Sistema Híbrido Alimenta Cidade de Oiapoque Durante Blackout do Amapá. Canal Solar, 2020. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/sistema-hibrido-alimenta-cidade-de-oiapoque-durante-blackout-do-amapa/>. Acesso em: 16 de março de 2021.

BARBOSA, C. F. O. Avaliação Tecnológica, Operacional e de Gestão de Sistemas Híbridos para Geração de Eletricidade na Região Amazônica. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2006.185f.

CAVADOS, Gabriel de Azevedo. Análise do Impacto da Introdução das Fontes Intermitentes no Setor Elétrico Brasileiro: Estudo de Caso da Região Nordeste. 2015. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - PPE - COPPE - UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2015.

CCEE. Fontes. Disponível em: https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/fontes?_afzLoop=665415565609123&_adf.ctrlstate=tt6b4yi48_1#!%40%40%3F_afzLoop%3D665415565609123%26_adf.ctrl-state%3Dtt6b4yi48_5. Acesso em: 1 de dezembro de 2020.

CERNE. Resumo Executivo do Setor Energético do RN 2017. Disponível em: <https://portal.ifrn.edu.br/ifrn/campus/natalcentral/observatoriodaenergia/lateral/documentos/setor-energetico-do-rn>. Acesso em: 1 de fevereiro de 2021.

EPE. Balanço Energético Nacional 2020: Ano Base 2019/Empresa de Pesquisa Energética. - Rio de Janeiro: EPE, 2020.

FUHRMANN, Gustavo Lamim. Análise dos Novos Condicionantes da Oferta Nacional de Gás Natural e a Demanda Termelétrica no Próximo Decênio. 2016. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - PPE - COPPE - UFRJ, Rio de Janeiro, 2016.

GAUTO, Marcelo Antunes. Petróleo S.A. Exploração, produção, refino e derivados. 2. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2015.

GLOBO. Novo apagão total atinge 15 dos 16 municípios do Amapá; energia foi retomada, diz ONS. Disponível em: <https://g1.globo.com/ap/amapa/noticia/2021/04/08/cidades-do-amapa-registram-novo-apagao-total.ghtml>. Acesso em: 14 de abril de 2021.

IBGE. População do Oiapoque estimada em 2020 – AM. 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ap/oiapoque/panorama>. Acesso em: 5 de fevereiro de 2021.

NASA POWER. NASA Prediction of Worldwide of Energy Resources. Disponível em: <https://power.larc.nasa.gov>. Acesso em 1 de fevereiro de 2021.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro, 2014. 530p.

TOLMASQUIM, M. 2016. Termelétricas: Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

VOLTALIA. Voltalia fecha parceria com Reuniwatt em seu primeiro parque solar no Brasil. 2018. Disponível em: https://www.voltalia.com/uploads/08_Not%C3%ADcias/Press_Releases/2018/Voltalia_fecha_parceira_com_Reuniwatt_em_seu.pdf. Acesso: 17 de janeiro de 2021.

WORLD BANK GROUP; ESMAP; SOLARGIS. GLOBAL SOLAR ATLAS. 2021. Disponível em: <https://globalsolaratlas.info/map?c=11.609193,8.349609,3>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2021.