
PROJETO DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA COMUNIDADES ISOLADAS

Marcela de Pinho Nunez

Sílvia Maria Stortini González Velázquez

Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM)

Resumo

O setor elétrico brasileiro é composto por 57,12% de geração proveniente de hidrelétricas, 24,04% de termelétricas e o restante de energia eólica ou importação de energia de outros países, compondo o Sistema Interligado (SIN), que faz o intercâmbio da energia na maior parte do território, e apenas 0,6% do mercado nacional faz parte do Sistema Isolado (SI). Existem, ainda, dois milhões de brasileiros sem acesso à eletricidade, que são moradores de comunidades isoladas, cuja população tem baixa renda e um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) muito baixo, visto que a falta de energia proporciona um grande atraso no desenvolvimento dessas comunidades, que não têm acesso à educação e aos meios de produção para aumentar a renda familiar e a qualidade de vida. Nesse cenário, este trabalho apresenta o desenvolvimento de projeto de um sistema de geração de energia solar fotovoltaica para essas comunidades isoladas, onde as concessionárias de energia não operam. São apresentados os estudos realizados a partir do *software* PVSyst para verificar a viabilidade técnica e econômica de tais projetos para áreas da Amazônia Legal e do Nordeste brasileiro, locais que apresentam o maior número de pessoas sem acesso à eletricidade do país e um grande potencial para implantação de sistemas fotovoltaicos. Entretanto, por causa do alto custo desses sistemas, sua instalação em pequenas comunidades é inviável, pois conflita com o restrito orçamento das famílias dessas regiões. Então são

também analisados os impactos socioeconômicos de tal projeto para as comunidades beneficiadas, além das políticas públicas de incentivo à sua instalação.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica. Comunidades isoladas. PVSystem.

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2021), as preocupações com o clima reforçaram a reflexão sobre uma transformação na matriz energética no mundo. Para isso, os países têm se concentrado na diminuição da utilização de fontes fósseis nas suas matrizes e no aumento da eficiência energética.

Entre as fontes de energia renováveis, destacam-se as usinas solares fotovoltaicas (UFV), cuja tecnologia transforma energia solar em energia elétrica e vem experimentando grande avanço. Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica – Absolar (2020), desde 2013, a geração distribuída (GD) fotovoltaica tem crescido 230% ao ano no Brasil, chegando a 3 GW de potência instalada em junho de 2020. De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel (2021a), em 2021 a potência total de usinas fotovoltaicas em operação estava na faixa de 4,5 GW.

O Brasil tem uma taxa de irradiação solar média diária de 4.500 a 6.300 Wh/m². Porém, apesar do grande potencial para exploração, a energia solar fotovoltaica ainda representa uma parte muito pequena da matriz elétrica brasileira (Boreal Solar, 2016).

As recentes crises hídricas, com conseqüente crise energética, em razão das características do setor de elétrico brasileiro, têm ocorrido pelo fato de a principal fonte de geração ser a hidroeletricidade, correspondendo a 57,12% da capacidade instalada em operação no país, seguida das termelétricas, que ocupam 24,04% da produção. O restante é proveniente de usinas eólicas e importação de energia de outros países (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2023).

Esse cenário gera uma forte dependência de fenômenos naturais e pode acarretar a atual situação, em que há escassez das chuvas, o que leva à diminuição dos níveis dos reservatórios das hidrelétricas. Há ainda as termelétricas, responsáveis pelo aumento de forma considerável do preço da energia elétrica e pela elevação significativa da taxa sistêmica de emissão de gás carbônico (CO₂) e de outros gases geradores de efeito estufa (Tancredi; Abbud, 2013).

Por causa das características do setor de energia elétrica brasileiro, segundo o Instituto de Energia e Meio Ambiente – Iema (2020), mais de dois milhões de pessoas

não têm acesso à energia elétrica. O portal Our World in Data (Ritchie; Rosado; Roser, 2019) registra cerca de 940 milhões de pessoas no mundo sem acesso à eletricidade, o que representa 13% da população mundial, e muitos países têm grande potencial para instalação de sistemas fotovoltaicos.

Nesse contexto, uma possibilidade de atender essas pessoas, além de aumentar a geração de energia renovável na matriz brasileira, é a utilização de sistemas *off-grid* de alimentação de energia, que é, basicamente, um sistema isolado, não conectado à rede elétrica, que armazena a energia solar excedente em baterias para quando a produção de energia for menor que o consumo (Portal Solar, 2021a).

Quanto aos benefícios da utilização da energia fotovoltaica em relação a outras fontes, há a grande redução de emissão de CO₂, além de o combustível ser gratuito, pois, após a instalação, em longo prazo, proporciona retorno financeiro. Os sistemas de geração desse tipo de energia têm se tornado cada vez mais resistentes e robustos, com fácil instalação, requerendo pouca manutenção (Europe Énergie, 2019).

Apesar de ainda apresentar custos elevados, desde 2010 a tecnologia solar fotovoltaica reduziu seus custos em 85%, e a expectativa é de que os custos caiam 14% até 2025 e 22% até 2030 (BloombergNEF, 2020). Além disso, em 2021, o Comitê Executivo de Gestão (Gecex) da Câmara de Comércio Exterior (Camex), do Ministério da Economia, decidiu reduzir as alíquotas do imposto de importação que incidem sobre produtos ligados à produção de energia, como painéis solares, determinados tipos de bateria de lítio e conversores de corrente contínua (CC), com o objetivo de fomentar a diversificação da matriz energética brasileira a partir de fontes renováveis (Brasil, 2021).

Como mencionado anteriormente, o Brasil ainda possui grande parte da população sem acesso à energia elétrica, que se encontra na região amazônica e no sertão nordestino, lugares com grande potencial para exploração da energia solar fotovoltaica. Segundo o Portal Solar (2021b), a região amazônica possui um dos maiores índices de desenvolvimento do potencial fotovoltaico, com radiação solar global média de 5,5 kWh/m², e, no Nordeste brasileiro, os níveis de incidência solar chegam a atingir 6,27 kWh/m² (Pereira *et al.*, 2017).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente este trabalho apresenta as características atuais do setor elétrico brasileiro, com a grande participação das hidrelétricas na geração. A partir do histórico da chegada da energia solar fotovoltaica ao Brasil, foi averiguado o seu enquadramento

no setor elétrico, bem como os benefícios dessa geração. Estudaram-se as características da GD, como a energia solar fotovoltaica está inserida nela, além dos incentivos governamentais existentes para o seu crescimento.

Avaliaram-se os níveis de irradiação solar no Brasil, principalmente nas regiões a serem estudadas para o desenvolvimento dos projetos.

A partir da apresentação das tecnologias para a geração de energia solar fotovoltaica nos sistemas *off-grid*, foram qualificadas as baterias e verificadas as tecnologias que suportariam o tipo de geração proposto nos projetos.

A análise do *software* PVsyst foi realizada para utilizá-lo nas simulações necessárias para verificação da viabilidade técnica e econômica dos projetos, abordando estudos similares.

Levantaram-se os aspectos socioambientais e econômicos, evidenciando-se os benefícios da implementação dos sistemas e a maneira como poderiam ser financiados, a partir de sistemas fotovoltaicos já implantados em áreas sem acesso à energia de maneira convencional.

Para iniciar o projeto, selecionou-se previamente a área/cidade a ser estudada, e, então, na base de dados SolarGIS, que fornece dados de irradiação solar do mundo todo, foi possível importar os dados de irradiação difusa horizontal, irradiação global horizontal e temperatura utilizados na simulação. Adquiriu-se o grau de inclinação/azimute ideal dos módulos que permite importar o arquivo que apresenta o horizonte (linha quebrada sobreposta ao diagrama do caminho do sol, que pode conter qualquer número de pontos de altura/azimute) daquele local, que também foi utilizado na simulação.

Após importar os dados do SolarGIS, pôde-se começar o projeto no PVsyst. Primeiramente, inseriram-se, nos parâmetros da “localização”, as coordenadas geográficas, país e região para determinar o local de estudo. Em seguida, com os dados de irradiação adquiridos no SolarGIS, preencheram-se os dados de meteorologia mensal, além de temperatura e velocidade do vento, que, segundo Alonso (2016), foi considerada 1 m/s para todos os meses, visto que, quando se considera produtividade anual, o fator velocidade do vento tem pouca influência nos resultados, pois pode apresentar discrepâncias nos resultados obtidos apenas em medições horárias de instalações fotovoltaicas.

Com os parâmetros de localização prontos, puderam-se inserir dados no parâmetro “orientação”, com a orientação dos módulos fotovoltaicos, suas especificações, além da inclinação e do azimute dos módulos. Após essa etapa, abriu-se a aba “Exigência do consumidor” (basicamente o que o consumidor gasta de energia), e nela foram inseridos os dados de consumo do sistema a ser instalado, com quantidade de aparelhos, potência de cada um e quantidade de horas de uso por dia por unidade consumidora.

Disponibilizou-se a aba “Sistema” após o preenchimento das exigências do consumidor, na qual se inseriram o tipo de módulo a ser utilizado, a quantidade de módulos que compõem o sistema, além do tipo de bateria a ser utilizada, de forma a atender à necessidade do consumidor e à quantidade necessária de baterias.

As perdas que podem ocorrer no sistema, como perdas de eficácia dos módulos, perdas ôhmicas, fator de perdas térmicas e perdas decorrentes de sujidade, foram inseridas na aba “Perdas detalhadas”, que é liberada após o preenchimento da aba “Sistema”.

Na aba “Horizonte”, inseriu-se o arquivo importado do SolarGIS, com os dados de horizonte do local estudado. A última aba, “sombras próximas”, foi descartada, visto que não está sendo utilizado um terreno específico para obter esses dados.

Após o preenchimento de todos os parâmetros citados, foi possível executar a simulação do sistema proposto e, então, obter os resultados de produtividade, que permitiram verificar a sua viabilidade técnica.

A seguir, foi possível fazer a análise de viabilidade econômica da instalação do sistema por meio da aba na tela inicial do PVSystem “pré-dimensionamento”, na qual foram inseridos os mesmos parâmetros incluídos no projeto, porém de forma simplificada, utilizando os arquivos dos parâmetros já salvos como “localização”, “horizonte”, “exigências do consumidor” e, por fim, “sistema”. Após inseridas todas essas informações, o botão “Resultados” foi acionado e mostrou o quanto de energia seria necessário gerar e o custo desse sistema. Esse procedimento foi realizado para as duas localidades.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Setor elétrico brasileiro

O setor elétrico brasileiro ainda é liderado pelas hidrelétricas, que ocupam mais de 57,12% da capacidade instalada no país, e as termelétricas representam 24,04% do total, sendo o restante proveniente de usinas eólicas ou importação de outros países (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2023). Graças ao Sistema Interligado (SIN), torna-se possível fazer o intercâmbio de energia na maior parte do território, porém 0,6% do mercado nacional permanece no Sistema Isolado – SI (Operador Nacional do Sistema, 2022).

Para a expansão da matriz elétrica, de forma a reduzir perdas que ocorrem no transporte de energia por linhas de transmissão em longas distâncias, houve a amplia-

ção de investimentos de capital do próprio consumidor. Em 2004, surgiu a GD, que passou a ser acessível à sociedade brasileira em 2012 (Canal Solar, 2021a). Em 2015, o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD) teve como objetivo ampliar o estímulo à GD pelos próprios consumidores (Ministério de Minas e Energia, 2019).

Além do ProGD, há o Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores e Displays (Padis), um conjunto de incentivos fiscais federais implantado para contribuir para a ampliação e atração de investimentos nas áreas de semicondutores, que incluem células e módulos fotovoltaicos e proporcionam desoneração de impostos às empresas interessadas, que devem investir um mínimo em pesquisa e desenvolvimento – P&D (Fazcomex, 2021).

3.1.1 A geração distribuída (GD) e o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD)

A GD é definida como geração de energia elétrica conectada à rede de distribuição, no local de consumo ou próximo a ele, que pode ser originada de diversas fontes de energia renováveis, como solar, eólica ou hídrica (Portal Solar, 2021c).

O consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada (expressão utilizada pela Aneel para determinar os requisitos mínimos de eficiência para a geração de energia elétrica e térmica de uma mesma fonte) e fornecer o excedente para a rede de distribuição. Tal incentivo se dá pelos potenciais benefícios que isso pode proporcionar ao sistema elétrico, como adiamento de investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, baixo impacto ambiental, minimização das perdas, entre outros (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2015).

O ProGD tem como objetivo estimular a geração de energia pelos próprios consumidores, com base em fontes renováveis, em especial a solar fotovoltaica, que possa ser compartilhada com o sistema das distribuidoras de energia (Portal Solar, 2015).

3.1.2 Energia solar fotovoltaica no Brasil

Segundo Braga (2008), a primeira fábrica de módulos fotovoltaicos no Brasil surgiu em 1979, sendo o primeiro país de Terceiro Mundo a fabricar comercialmente a célula fotovoltaica, porém teve suas atividades interrompidas em 2010. A partir dos anos 1980, surgiram muitos projetos comunitários e produtivos de energia solar no interior das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste por meio de cooperativismo do Brasil com organizações governamentais e não governamentais de países como Alemanha e Estados Unidos.

Contudo, em 2012, foram estabelecidas as regras dos sistemas de microgeração e minigeração distribuída, além do sistema de compensação de energia, e com isso a energia solar fotovoltaica tornou-se mais significativa no setor elétrico brasileiro (Mosqueira, 2020).

Segundo a REN21 (2021), o Brasil foi responsável por 2,9% dos investimentos globais em capacidade de energia renovável em 2020, com potência instalada solar fotovoltaica 68,6% maior do que em 2019.

3.1.3 Incentivos à geração de energia solar no Brasil

Em 2011 foi instalada no Brasil a primeira usina solar, no sertão do Ceará. No ano seguinte, o consumidor já podia gerar a sua própria energia e estar conectado a uma rede de distribuição, quando o crescimento no setor solar alavancou (Órigo Energia, 2020).

Existem outros incentivos, como aqueles oferecidos às energias renováveis da Caixa Econômica Federal (2021), em que empreendedores privados que atuam no setor de energia podem contar com financiamento de longo prazo para gerar energia, e um dos tipos de projetos financiáveis são parques solares.

De acordo com a Lei nº 13.169, de 2015, foram eliminadas as alíquotas da contribuição do Programa de Integração Social (PIS)/Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público (Pasep) e da Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (Cofins) incidentes sobre a energia elétrica fornecida pela distribuidora ao consumidor, na quantidade equivalente à soma da carga elétrica injetada na rede pelo consumidor, com geração de créditos de energia (Alba Energia Solar, 2021).

Há também a isenção de Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços (ICMS), autorizada pelo Conselho Nacional de Política Fazendária (Confaz), nos termos do Sistema de Compensação de Energia Elétrica, além de isenção de imposto por importação de equipamentos, que antes tinha alíquota entre 12% e 14% (Alba Energia Solar, 2021).

O Programa Luz para Todos foi criado em 2003 com o objetivo de levar energia elétrica às regiões rurais e residências que não tinham acesso à eletricidade. Em 2020, o governo federal criou uma versão específica desse programa para populações de regiões remotas da Amazônia Legal, chamada Mais Luz para a Amazônia – MLA (Câmara dos Deputados, 2021), que serão beneficiadas com o fornecimento de eletricidade gerada por fontes limpas e renováveis. Os atendimentos do programa visam ao desenvolvimento das comunidades, em sua maioria, ribeirinhas, indígenas e quilombolas (Eletrobras, 2021).

Há uma expectativa de que até 2030 a energia eólica e a energia solar representarão 25% da matriz energética brasileira (Canal Solar, 2021b).

3.2 Irradiação solar no Brasil

O estudo da irradiação solar do local de cada projeto é muito importante, pois, diferentemente de outras fontes convencionais de energia, a energia solar é intermitente e tem uma variabilidade espacial elevada por conta de sua relação com as condições meteorológicas locais. A irradiação solar global horizontal média observada nas regiões Norte e Nordeste do Brasil é alta se comparada à de outros países. No local menos ensolarado do Brasil, com seus valores de irradiação, é possível gerar mais eletricidade do que no lugar mais ensolarado da Alemanha, por exemplo (Pereira *et al.*, 2017).

Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (2021), em 2020 o Brasil chegou ao nono lugar no *ranking* de países que mais instalaram sistemas de energia solar fotovoltaicos.

A irradiação global horizontal refere-se à radiação solar de ondas curtas recebidas por uma superfície horizontal, sendo o parâmetro mais importante para os cálculos de rendimento de energia e avaliação de desempenho dos módulos. Já a irradiância direta normal refere-se à radiação solar de ondas curtas recebida por uma superfície perpendicular ao sol (Global Solar Atlas, 2020).

Há, ainda, a irradiação difusa horizontal, que é a taxa de energia incidente sobre uma superfície horizontal decorrente do espelhamento do feixe solar direto pelos constituintes atmosféricos (Pereira *et al.*, 2017).

O semiárido nordestino destaca-se entre as áreas do Brasil que apresentam os melhores parâmetros técnicos de insolação (Bezerra; Santos, 2016). Segundo o *Atlas Brasileiro de Energia Solar* (Pereira *et al.*, 2006), o valor máximo de irradiação global do Brasil ocorre no norte do estado da Bahia, próximo à fronteira com o Piauí. Além disso, por conta do clima semiárido, a área apresenta baixa precipitação ao longo do ano, cerca de 300 mm/ano, e tem a média anual de cobertura de nuvens mais baixa do Brasil (Pereira *et al.*, 2006).

A região amazônica, na média anual, apresenta maiores níveis de irradiação difusa, especialmente sobre a foz do Rio Amazonas, consequência da maior nebulosidade na região decorrente da Zona de Convergência Intertropical (Zcit) nos meses de verão, e o contrário nota-se nos meses de inverno. A região também apresenta características climáticas que diminuem a variabilidade da irradiação solar incidente na superfície ao longo do ano (Pereira *et al.*, 2006).

3.3 Tecnologias para geração de energia solar fotovoltaica

O sistema fotovoltaico é composto por células fotovoltaicas, que são fabricadas a partir de materiais semicondutores como o silício. Com métodos adequados, obtém-se

o silício em forma pura, que é mau condutor de eletricidade por não possuir elétrons livres. Por essa razão, é necessário o processo de dopagem, que consiste em acrescentar outros elementos a ele. A dopagem do silício com fósforo resulta em um material portador de carga negativa, sendo denominado silício tipo N. Se o elemento acrescentado for o boro, resultará em um material com cargas positivas livres, denominado silício tipo P. A célula solar é composta por uma fina camada de material tipo N e outra de maior espessura tipo P. Assim, é formado um campo elétrico, e, quando a luz incide sobre a célula, os fótons se chocam com os outros elétrons da estrutura, de forma a fornecer energia e transformar a estrutura em condutora (Nascimento, 2004).

Os módulos fotovoltaicos se constituem de um conjunto de células fotovoltaicas ligadas em série e em paralelo, para fornecer tensão e corrente (Balfour, 2013), e podem ser acoplados em *trackers*, que são rastreadores solares, com o intuito de aumentar a eficiência (BlueSol, 2021a).

A energia é gerada em CC nos módulos, e há a necessidade de conectá-los aos inversores para transformá-la em corrente alternada (CA) (Balfour, 2013).

Para sistemas *on-grid*, que são conectados à rede de distribuição, é necessário o uso de transformadores para elevar sua tensão para que a eletricidade possa ser distribuída por linhas de média e alta tensão (BlueSol, 2021a), além da utilização do medidor bidirecional, que tem a função de medir o consumo de energia elétrica da concessionária e a energia produzida pelo sistema que é injetada na rede da concessionária (Mosqueira, 2020). Os sistemas *off-grid* são utilizados nesta pesquisa e estão destacados a seguir.

3.3.1 Sistemas off-grid

Nos sistemas *off-grid*, além do uso dos módulos solares e inversores, é necessária a utilização de baterias para armazenamento da carga excedente, que não foi consumida, e controladores de carga para proteger as baterias da sobrecarga ou descarga profunda, aumentando sua vida útil (NeoSolar, 2021). Quando as baterias atingem carga máxima, os controladores devem desconectar o gerador fotovoltaico e interromper o fornecimento de energia, pois a bateria atingiu um nível mínimo de segurança (Alves, 2019).

3.3.2 Baterias

Entre as baterias utilizadas em sistemas fotovoltaicos isolados, está a bateria de chumbo-ácido, mais econômica, que apresenta desvantagens, como peso maior que o de outros tipos de baterias, não poder ser descarregada, o eletrólito e o conteúdo da carga podem ser nocivos ao meio ambiente, além de proporcionar uma densidade de energia relativamente baixa se comparada a outras baterias recarregáveis. A bateria de

lítio-íon, tecnologia mais recente, é utilizada quando se deseja alta densidade de energia. Sua autodescarga é relativamente baixa e causa menos danos ao ambiente quando descartada do que a de chumbo-ácido (Michellini, 2017).

Entre as baterias solares que melhor se adaptam aos sistemas fotovoltaicos, estão as de lítio ferro fosfato, que não têm a vida útil prejudicada com aumento de temperatura em até 60 °C, têm custo maior que baterias de chumbo-ácido de mesma capacidade e durabilidade cerca de 20 vezes maior (Unipower, 2021).

A nova bateria de lítio Unipower possui *performance* até 73% maior que os demais modelos, tempo de recarga até nove vezes mais rápido e vida útil de cerca de 12 anos. É mais leve, não demanda manutenção e pode ser monitorada por meio de *software* gratuito (Canal Solar, 2021c).

O dimensionamento da bateria de um sistema é feito pelo cálculo da corrente produzida pelos painéis multiplicada pelas horas de insolação (Portal Solar, 2021a), dados obtidos por meio de simulações em *softwares* auxiliares, como o PVSyst (Instituto Solar, 2020).

3.4 PVSyst

O PVSyst é um *software* utilizado para auxiliar no dimensionamento e desenvolvimento de projetos de geração solar fotovoltaica. O *software* fornece um relatório com os dados encontrados (cálculo de perdas por sombreamento, sujeira nos módulos, entre outros) com a estimativa de produção de energia, considerando a eficiência de cada equipamento que será utilizado na usina (Instituto Solar, 2020).

Machado *et al.* (2020) utilizam diferentes *softwares* de simulação, como o HelioScope, PV*SOL e PVSyst, e recomendam o PVSyst para projetos maiores e exigentes quanto à precisão, pois os resultados das simulações foram mais próximos aos valores reais medidos.

Segundo Rocha (2019), após um estudo comparando os valores da produção de energia gerada de um sistema fotovoltaico obtidos em simulações, em um período de um ano, foi observada uma pequena diferença percentual entre a energia simulada e a energia real produzida, validando o *software* PVSyst, que apresenta diversos parâmetros que tornam a simulação muito precisa.

3.5 Aspectos socioambientais e econômicos

A energia solar fotovoltaica é a que apresenta os menores impactos ambientais entre todas as fontes energéticas disponíveis, sem emissões de poluentes atmosféricos e com

impactos insignificantes nas construções de usinas de grande porte, e nulos para projetos de pequeno porte. Os impactos estariam relacionados às áreas de cobertura vegetal, que podem ser afetadas por conta da terraplanagem e/ou do sombreamento causado pelos *trackers* (BlueSol, 2021b).

Como muitas famílias no sertão nordestino ainda não têm acesso à energia elétrica, são privadas do uso de refrigeradores e têm iluminação por meio de lamparinas, além de contarem com uma única fonte de informação: o rádio de pilha (“Análise da importância da eletrificação rural: estudo de caso da comunidade de Varjota – Aracoiaba – Ceará”, 2018). O mesmo acontece na região da Amazônia Legal, onde existem mais de 990 mil pessoas sem acesso à energia, das quais 19% vivem em terras indígenas; 22%, em unidades de conservação; e 10%, em áreas rurais (Amazonas Atual, 2019).

Segundo o Operador Nacional do Sistema (2021), o Plano Anual da Operação dos Sistemas Isolados para 2021 (PEN Sisol 2021) atende a muitas comunidades isoladas no país por meio da geração termelétrica a gás natural, biomassa e óleo combustível/*diesel*, além de geração hidráulica. Contudo, entre elas, há grande vantagem da energia solar na questão ambiental, bem como na manutenção muito mais simples em relação à de um motor ciclo *diesel*, por exemplo.

As comunidades da Amazônia Legal vivem principalmente da pesca, produção de farinha e extração de castanhas e frutas. Com energia, desenvolveriam atividades produtivas, agregando valor aos produtos, para melhorar não só a renda familiar como também a qualidade de vida (Eletrobras, 2021).

Os programas lançados pelo governo, como o Luz para Todos, têm como objetivo o desenvolvimento econômico e social das comunidades atendidas. A chegada da energia elétrica a lugares como a comunidade de Nazaré, localizada no Piauí, traz benefícios como a aquisição de novos equipamentos para o processo de beneficiamento da mandioca deixar de ser manual, o que aumenta a produtividade, gerando lucro, além de a escola poder receber jovens adultos à noite. Ainda no Nordeste, a utilização de máquinas de costura trouxe aumento de renda para muitas famílias na Bahia (Ministério de Minas e Energia, s. d.).

Os projetos desenvolvidos neste trabalho têm como objetivo atender comunidades isoladas. Entretanto, por menor que seja o sistema, a população não tem condições de financiá-lo por causa de seu restrito orçamento. Por essa razão, sua implementação dependerá da utilização de subsídios do governo, como o programa MLA, que pretende financiar projetos como esse, ou ainda da iniciativa privada.

3.6 Projetos já desenvolvidos que impactaram a economia da comunidade

3.6.1 Projeto Provegam – “Implantação e testes de uma unidade de demonstração de utilização energética de óleo vegetal”

Esse projeto, que foi desenvolvido na comunidade Vila Soledade, no Pará, gerou eletricidade por meio de um motor ciclo *diesel* adaptado externamente para funcionar com óleo de dendê e apresentou melhoria nas condições de vida da comunidade, como a possibilidade de aquisição de eletrodomésticos e eletroeletrônicos por muitas famílias, além de máquinas de processamento do açaí, que era comercializado *in natura* e passou a ser beneficiado com sua polpa congelada e comercializada com valor agregado, além de máquinas de costura para prestação de serviços (Coelho *et al.*, 2004).

3.6.2 Projeto Piloto de Xapuri

Desenvolvido pela Energisa Acre, com parceria da Eletrobras e apoio do governo do Acre e do comitê Gestor Estadual do Programa Luz para Todos, o projeto implantado em 2007 atendia, por sistemas fotovoltaicos individuais, cerca de cem famílias na Reserva Extrativista Chico Mendes, no município de Xapuri, no Acre (Eletrobras, 2022).

No projeto existiam três tipos de sistema de atendimento: o de Iracema com CA, o de Albrácea em CC e o de Dois Irmãos, um sistema misto (CA + CC), todos fornecendo, no mínimo, 13 kWh/mês. Os sistemas mistos reduzem os custos de manutenção, pois eliminam uma possível fonte de falhas que é o inversor e facilitam a utilização de alguns eletrodomésticos, amplamente adquiridos após a implantação do sistema, como liquidificador e ventilador, que quase não são encontrados em CC. Porém, o usuário pode encontrar maiores dificuldades em entender o seu funcionamento, e, por isso, há a necessidade de orientá-los. O projeto foi monitorado até meados de 2009 (Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação, 2010).

3.6.3 Programa Ilumina Pantanal

Esse programa faz parte do Programa de Eletrificação Rural e já beneficiou mais de 2 mil unidades consumidoras no Pantanal sul-mato-grossense, e a maior parte está recebendo energia fotovoltaica por meio do Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente (Sigfi). Os moradores foram atendidos com um kit composto por quatro placas fotovoltaicas, uma bateria de lítio, tomadas e lâmpadas LEDs (Brasil, 2022).

Com o armazenamento em baterias, a produção excedente de eletricidade permite dar continuidade ao fornecimento de energia à noite ou em dias chuvosos e nublados, quando a produção é mais baixa (Portal Solar, 2021d).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram selecionadas duas cidades para a realização dos estudos para instalação de sistema de geração de energia solar fotovoltaica: Breves, no estado do Pará, pertencente à Amazônia Legal, e Dom Inocêncio, no Piauí.

4.1 Projeto para a cidade de Breves

A população estimada da cidade de Breves, em 2021, passava de 104 mil habitantes (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021a), e, segundo o Instituto de Energia e Meio Ambiente (2018), existiam cerca de 77 mil pessoas sem acesso à energia. Entre os aspectos socioeconômicos da cidade, há destaque no setor primário da economia, com a extração e/ou produção de matérias-primas, como madeira, palmito, sementes e essências, em especial o açaí (Investpará, 2019).

Para a realização da simulação no PVSystem, foi selecionada a opção na tela inicial do *software* “Novo projeto autônomo” para começar um novo projeto, e, considerando que se trata de um sistema *off-grid*, selecionou-se a opção “Autônomo”.

A Tabela 1 apresenta a coleta de dados feita, inicialmente, pela base de dados no *site* SolarGIS para o município de Breves, e que foram utilizados na simulação.

TABELA 1

Dados de irradiação solar anual para o município de Breves

	Irradiação global horizontal (global horizontal irradiance –GHI)	Irradiação difusa horizontal (diffuse horizontal irradiance – DIF)	Temperatura	Velocidade do vento
	kWh/m ²	kWh/m ²	° C	m/s
Janeiro	150,6	81,2	26,6	1,0
Fevereiro	130,0	73,8	26,1	1,0
Março	153,0	82,8	26,2	1,0
Abril	142,1	73,8	26,4	1,0
Mai	154,2	71,6	26,8	1,0
Junho	163,6	62,3	27,0	1,0
Julho	178,4	63,5	27,0	1,0
Agosto	190,7	70,0	27,8	1,0
Setembro	185,4	78,9	28,3	1,0
Outubro	187,8	84,6	28,6	1,0
Novembro	170,1	83,4	28,6	1,0
Dezembro	157,4	83,3	27,8	1,0
Anual	1.963,1	909,3	27,3	1,0

Fonte: Adaptada de SolarGIS (2022).

Os dados da Tabela 1 foram inseridos no PVSyst na configuração “nova localização” do sistema, com as coordenadas do local, a altitude e o fuso horário.

Com a localização selecionada, foi liberada a aba “Orientação”, na qual se inseriu a orientação do módulo do sistema. Primeiramente, foi selecionado o tipo de estrutura a ser utilizado no projeto, no caso, a estrutura “Inclinação do plano fixa”, pois a utilização de *trackers* encareceria muito o sistema, além de a manutenção e o manuseio ficarem mais complicados. Em “Parâmetros do campo”, foi selecionada a melhor inclinação do plano em relação ao azimute (dado obtido pelo SolarGIS) com a otimização em relação à irradiação anual, que é de 6°. Na aba “Exigências do consumidor”, inseriram-se uma previsão dos aparelhos eletrodomésticos que serão por ele alimentados, a quantidade de cada um, a potência e as horas de uso diário na residência (Tabela 2), caso o usuário tivesse acesso à energia, e, conseqüentemente, um aumento na sua renda familiar.

TABELA 2

Potência, quantidade e horas de uso de eletrodomésticos

Aparelho	Quantidade	Horas/dia	Potência (W)
Lâmpada	2	6	20
Máquina de costura	1	2	100
Geladeira comum	1	24	250
Liquidificador	1	0,10	200
Ventilador pequeno	1	3	70

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da Companhia Energética de Minas Gerais (2020).

Com esse dimensionamento pronto, a aba “Sistema” foi liberada e, além de mostrar quanto será necessário produzir de potência para suprir o sistema, capacidade da bateria e sua tensão, também permitiu selecionar os equipamentos que serão utilizados. Os cálculos dessa aba mostraram que é necessário produzir 6,8 kWh/dia por residência, o que sugere uma capacidade de 934 Ah da bateria.

Em “armazenamento”, ainda na tela da aba “Sistema”, foi selecionado o tipo de bateria desejado, que no caso é a de íon lítio. Para isso, foi disponibilizada uma lista de baterias com seus respectivos fabricantes, voltagem e amperagem. Quando se selecionou uma bateria de 180 Ah e 25,6 V, o próprio *software* fez o cálculo de quantas baterias seriam necessárias para o sistema, que no caso foi um conjunto de seis baterias em paralelo, resultando em uma capacidade de 1.080 Ah, que atende à necessidade do sistema.

Após a configuração do “armazenamento”, foram configurados em “Grupo FV”, na tela “sistema”, os módulos utilizados e o controlador. Partindo de um módulo de 590 Wp e selecionando as opções de “controlador universal” e “conversor MPPT – DC”, foi apresentada a necessidade de uma *string* de quatro módulos em série, gerando uma potência diária de 8,8 kWh por residência, suprimindo também a necessidade calculada previamente de 6,8 kWh/dia.

Para a aba de “perdas detalhadas”, que é aberta após o preenchimento da aba “Sistema”, foi selecionada a opção de “Módulos livres com circulação de ar”, visto que os módulos estão expostos ao ar livre. As outras perdas foram consideradas com o padrão do PVSystem. Essas perdas são inseridas para uma simulação mais precisa do sistema, de quanto é necessário produzir.

Na aba “Horizonte”, liberada após o preenchimento das perdas, foi importado o arquivo previamente adquirido no SolarGIS do horizonte da localidade selecionada.

Visto que no estudo em questão não há um terreno real definido, em que seja possível saber se existem vegetações próximas, a aba de “sombras próximas” foi descartada, e liberou-se a opção de “Executar simulação”.

Quando se completou a simulação, a produção anual do sistema foi de 4.053 kWh.

Para se obter uma média de custos do sistema, após a realização da simulação, pôde-se finalizar o projeto após salvar, e voltando à tela inicial do PVSyst, em que foi aberta a opção “Pré-dimensionamento”, selecionar a opção de “Sistema isolado”. Com isso, é aberta uma nova tela, com uma simulação bem simplificada, e nela é possível importar dados de projetos já executados para facilitar o processo. Então, foram configurados novamente os parâmetros como os do projeto, sendo eles, respectivamente, “localização”, “horizonte”, “exigências do consumidor” e “sistema”. Nos três primeiros parâmetros, é possível apenas importar o arquivo que foi criado no projeto anteriormente. Então, feito isso, restou apenas a aba “Sistema”, na qual foi colocada novamente a inclinação de 6° em relação ao rendimento anual. Quando se clicou em resultados, foi possível ver a avaliação econômica bruta desse sistema que, sem considerar o custo de transporte e manutenção, mas apenas o custo dos equipamentos, ficou em torno de R\$ 30 mil por residência.

4.2 O projeto para a cidade de Dom Inocêncio

A população estimada, em 2021, passava de 9,5 mil habitantes (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021b), dos quais 55,3% estavam sem acesso à energia (Souza, 2015 *apud* Silva, 2018). A base da economia é voltada para as atenções primária e terciária, compreendendo as atividades relacionadas à agricultura, pecuária e criação de caprinos (Bezerra; Lopes, 2021).

O estudo foi feito a partir da metodologia já utilizada para a cidade de Breves, com os dados atualizados para o município de Dom Inocêncio.

Os dados retirados do SolarGIS para a cidade de Dom Inocêncio estão apresentados na Tabela 3.

TABELA 3

Dados de irradiação solar anual para o município de Dom Inocêncio

	Irradiação global horizontal (GHI)	Irradiação difusa horizontal (DIF)	Temperatura	Velocidade do vento
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	m/s
Janeiro	185,0	76,0	27,9	1,0
Fevereiro	164,9	69,3	27,5	1,0
Março	177,2	73,6	27,4	1,0
Abril	166,2	60,8	27,9	1,0
Mai	164,3	53,6	27,9	1,0
Junho	158,8	42,2	27,0	1,0
Julho	176,3	40,4	26,5	1,0
Agosto	202,8	37,9	27,3	1,0
Setembro	213,6	46,7	28,9	1,0
Outubro	217,1	59,7	30,0	1,0
Novembro	189,0	67,9	29,4	1,0
Dezembro	185,6	74,9	28,5	1,0
Anual	2.200,9	703,0	28,0	1,0

Fonte: Adaptada de SolarGIS (2022).

O SolarGIS forneceu a inclinação ideal do módulo em relação ao azimute, que deve ser de 13°.

Após o preenchimento dos dados de localização e orientação, na aba de “exigências do consumidor” foram utilizadas as mesmas informações do estudo de Breves, constantes na Tabela 3, para a cidade de Dom Inocêncio.

Visto que o dimensionamento foi o mesmo para os dois casos, contemplando o mesmo tipo, número de equipamentos e potência individual, a potência necessária segue sendo 6,8 kWh/dia por residência, com capacidade de armazenamento sugerida de 934 Ah.

Para suprir a demanda na região de Dom Inocêncio, foi utilizada uma bateria igual à de Breves, com 25,6 V e capacidade de 180 Ah, sendo então necessário um conjunto com seis baterias em paralelo. O conjunto resulta em uma capacidade de 1.080 Ah, suprimindo a necessidade do sistema. O sistema pode ter uma flexibilidade grande em relação à quantidade de equipamentos, dependendo de quais forem selecionados, o que dá uma flexibilidade também na sua instalação, e isso significa que, dependendo da tensão da bateria, o número de baterias necessárias muda.

Foram utilizados módulos de 590 Wp, sendo necessária uma *string* com três módulos em série, gerando uma potência diária de 7,7 kWh e suprimindo a potência necessária, calculada em 6,8 kWh/dia. A simulação mostrou que a produção do sistema anual chega a 3.279 kWh.

Quando se analisou o custo do sistema pelo pré-dimensionamento do PVSyst, foi calculado, excluindo valores de transporte e manutenção, um custo em torno de R\$ 28 mil por residência.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos com as simulações realizadas no PVSyst, foi possível verificar que há viabilidade técnica de implantação desses sistemas e um grande potencial a ser explorado nessas áreas, visto que nelas a irradiação solar é muito expressiva.

Do ponto de vista social, seria uma grande oportunidade de crescimento para essas regiões e suas famílias, possibilitando não só melhoria na qualidade de vida da população, pela aquisição de eletrodomésticos e eletroeletrônicos, como também um possível aumento de renda familiar. Pôde-se observar, em resultados de projetos instalados anteriormente, que as famílias passavam a agregar valor aos produtos por elas comercializados *in natura*, utilizando a eletricidade gerada para, por exemplo, beneficiar o açaí e congelar a polpa, vendendo por um preço maior. Máquinas de costura também foram utilizadas para prestação de serviços na comunidade e em povoados vizinhos.

Nesse cenário, o projeto visa à utilização de energia renovável e sistemas de longa vida útil, entretanto, economicamente, não se apresentou viável sem o incentivo governamental, participação da iniciativa privada ou ainda das concessionárias de energia, haja vista o alto custo dos sistemas que não pode ser suportado pela população dessas regiões, por conta de seu restrito orçamento.

Programas como Luz para Todos e Mais Luz para a Amazônia são exemplos de incentivos governamentais para viabilizar esse tipo de projeto. Outros programas poderiam ser criados, como o Ilumina Pantanal, ou ainda projetos das próprias concessionárias de energia com incentivos governamentais, como o Projeto Piloto de Xapuri, instalado pela Eletrobras. Muitos desses incentivos governamentais já existentes estão utilizando energia renovável, como a fotovoltaica para o atendimento de comunidades como essas, porém muitos projetos implantados deixaram de ter acompanhamento depois de um tempo de funcionamento, como o Projeto Piloto de Xapuri, e não se sabe se os projetos

continuam ou se as pessoas estão novamente sem acesso à energia, com o fim do financiamento do projeto.

O desenvolvimento deste trabalho teve o intuito de encontrar uma possibilidade de melhorar a qualidade de vida das famílias brasileiras que ainda não têm acesso à energia e que não têm nem previsão de recebê-la, visto que as concessionárias não têm obrigação de atendê-las. Muitas dessas comunidades, indígenas, quilombolas, ribeirinhas ou residentes de reservas extrativistas, situam-se em lugares de difícil acesso, razão para não estarem conectadas ao Sistema Interligado Nacional. Porém, sem os incentivos econômicos para a realização de um projeto para assisti-las, essas famílias continuarão sem energia.

A chegada de energia para essas famílias por métodos convencionais é inviável por causa da distância dos grandes centros geradores e do custo das linhas de transmissão, sem contar que muitas delas, como no caso da região amazônica, estão em reservas ambientais, e, mesmo que houvesse interesse em levar a linha de transmissão, não seria possível por conta das leis ambientais, além do restrito orçamento familiar, que não permite a aquisição da energia.

Somente com a criação de políticas públicas, os sistemas sugeridos poderiam ser implantados e as comunidades teriam acesso à energia de forma gratuita por um longo período.

PROJECT OF A PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY GENERATION SYSTEM FOR ISOLATED COMMUNITIES

Abstract

The Brazilian electricity sector is composed of 57.12% of the generation capacity coming from hydroelectric plants, 24.04% from thermoelectric plants and the other left from wind energy or energy imports from other countries which make up the Interconnected System that makes the interconnection of energy in most of the territory and there are still 0.6% remaining of national energy that are part of the Isolated System. There are still two million Brazilians without access to electricity, who live in isolated communities, whose population has low-income and a very low Human Development Index (HDI), since the lack of energy provides a great delay in the development of these communities that has no access to education, production resources to increase the family income of local residents and their quality of life. In this scenario, this work presents the development of a project of a photovoltaic solar energy generation system for these isolated communities, where the energy utilities do not operate. Studies carried out using the PVSyst software are presented to verify

the technical and economic feasibility of such projects for areas of the Legal Amazon and the Brazilian Northeast, places that have the largest number of people without access to electricity in the country, and a great potential for implementation of photovoltaic systems. However, due to the high cost of these systems, their installation in small communities is unfeasible, as it conflicts with the restricted budget of families in these regions. Then, the social impacts of such a project for the benefited communities are also analyzed, in addition to the public policies to encourage its installation.

Keywords: Photovoltaic solar energy. Isolated communities. PVSyst.

REFERÊNCIAS

ALBA ENERGIA SOLAR. Energia solar no Brasil: quais são os incentivos? 2021. Disponível em: <https://albaenergia.com.br/energia-solar-no-brasil-quais-sao-os-incentivos/>. Acesso em: 11 nov. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Geração distribuída*. Aneel, 2015. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>. Acesso em: 3 out. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Sistema de Informações de Geração da ANEEL. Aneel, 2023. Disponível em: <https://bit.ly/2IGf4Q0>. Acesso em: 9 maio 2023.

ALONSO, R. H. *Posicionamento eficiente de módulos fotovoltaicos em plantas solares no ambiente urbano*. 2016. Tese (Doutorado em Ciências, Engenharia Elétrica, Sistemas Eletrônicos) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3142/tde-26082016-151946/publico/RafaelHerreroAlonsoCorr16.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2022.

ALVES, M. de O. L. *Energia solar: estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid*. 2019. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2019.

AMAZONAS ATUAL. Na Amazônia Legal, 990 mil pessoas não têm acesso a energia elétrica. 2019. Disponível em: <https://amazonasatual.com.br/na-amazonia-legal-990-mil-pessoas-nao-tem-acesso-a-energia-eletrica/>. Acesso em: 13 nov. 2021.

ANÁLISE da importância da eletrificação rural: estudo de caso da comunidade de Varjota – Aracoiaba – Ceará. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL, 14, 2018, Itajubá. *Anais [...]*. Itajubá: Unifei, 2018. Disponível em: <https://anais.eneds.org.br/index.php/eneds/article/view/482>. Acesso em: 22 mar. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. Geração distribuída fotovoltaica cresce 230% ao ano no Brasil. Absolar, 2020. Disponível em: <https://www.>

absolar.org.br/noticia/geracao-distribuida-fotovoltaica-cresce-230-ao-ano-no-brasil/. Acesso em: 2 out. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. Brasil entra no top 10 de países que mais instalaram energia solar em 2020. Absolar, 2021. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/brasil-entra-no-top-10-de-paises-que-mais-instalaram-energia-solar-em-2020-2/>. Acesso em: 25 nov. 2021.

BALFOUR, J. *Introduction to photovoltaic system design*. Burlington: Jones and Bartlett Learning, 2013.

BEZERRA, F. D.; SANTOS, L. S. dos. Energia solar no Nordeste. *Caderno Setorial Etene*, v. 1, n. 1, p. 1-15, set. 2016. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/246/1/2016_CDS_1_4_solar.pdf. Acesso em: 15 nov. 2021.

BEZERRA, J. E. P.; LOPES, I. M. R. S. Intervenção para a prevenção das doenças diarreicas em diversos seguimentos de idade na comunidade atendida pela equipe de saúde da família Júlio Dias no município de Dom Inocêncio – PI. 2021. Disponível em: <https://ares.unasus.gov.br/acervo/html/ARES/23994/1/Jos%c3%a9%20Erisson%2010.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2022.

BLOOMBERGNEF. The first phase of the transition is about electricity, not primary energy. BNEF, 2020. Disponível em: <https://about.bnef.com/blog/the-first-phase-of-the-transition-is-about-electricity-not-primary-energy/>. Acesso em: 11 out. 2021.

BLUESOL. Usina solar: como funciona e os principais projetos no Brasil. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/usina-solar-no-brasil/>. Acesso em: 13 nov. 2021a.

BLUESOL. Energia solar e os impactos ambientais no uso da tecnologia fotovoltaica. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-impactos-ambientais/>. Acesso em: 13 nov. 2021b.

BOREAL SOLAR. Potencial de energia solar: quais as melhores regiões brasileiras para captação da luz solar. 2016. Disponível em: <http://borealsolar.com.br/blog/2016/10/26/potencial-de-energia-solar-quais-as-melhores-regioes-brasileiras-para-captacao-da-luz-solar/>. Acesso em: 29 set. 2021.

BRAGA, R. P. *Energia solar fotovoltaica: fundamentos e aplicações*. 2008. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10001103.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2021.

BRASIL. Gecex reduz Imposto de Importação para ampliar produção de energia limpa no País. Ministério da Economia, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/economia/pt-br/assuntos/noticias/2021/novembro/gecex-reduz-imposto-de-importacao-para-ampliar-producao-de-energia-limpa-no-pais>. Acesso em: 31 mar. 2022.

BRASIL. Governo federal conclui 1ª fase do Programa Ilumina Pantanal. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2022/03/governo-federal-conclui-1a-fase-do-programa-ilumina-pantanal#:~:text=O%20Ilumina%20Pantanal%20faz%20parte,el%C3%A9trica%20em%20todo%20o%20pa%C3%ADs>. Acesso em: 20 mar. 2022.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Energias renováveis. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/sustentabilidade/produtos-servicos/energias-renovaveis/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 11 nov. 2021.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. Prazo de conclusão do “Luz para Todos” está mantido, afirmam representantes do governo. Agência Câmara de Notícias, 2021. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/775872-prazo-de-conclusao-do-luz-para-todos-esta-mantido-afirmam-representantes-do-governo>. Acesso em: 13 nov. 2021.

CANAL SOLAR. O que é geração distribuída de energia elétrica? 2021a. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/o-que-e-geracao-distribuida-de-energia-eletrica/>. Acesso em: 15 nov. 2021.

CANAL SOLAR. COP26: ministro ressalta importância da energia solar durante crise hídrica. 2021b. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/cop26-ministro-ressalta-importancia-da-energia-solar-durante-crise-hidrica/>. Acesso em: 11 nov. 2021.

CANAL SOLAR. Dia 1 da Intersolar South America: o retorno fulminante. 2021c. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/dia-1-da-intersolar-south-america-o-retorno-fulminante/>. Acesso em: 13 nov. 2021.

CENTRO DE GESTÃO DE TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. Atendimento de comunidades isoladas da Amazônia com serviços de energia elétrica: resultados do Projeto Piloto Xapuri no Acre com sistemas fotovoltaicos domiciliares. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO E ENERGIA ELÉTRICA, 19, 2010, São Paulo. *Publicações* [...]. São Paulo, 2010. Disponível em: <http://www.cgti.org.br/publicacoes/wp-content/uploads/2016/03/Atendimento-de-Comunidades-Isoladas-da-Amazo%CC%82nia-com-Servic%CC%A7os-de-Energia-Ele%CC%81trica-Resultados-do-Projeto-Piloto-Xapuri-no-Acre-com-Sistemas-Fotovoltaicos-Domiciliares.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2022.

COELHO, S. T.; SILVA, O. C.; VELAZQUEZ, S. M. S. G. *et al.* Implantação e testes de utilização de óleo vegetal como combustível para diesel geradores em comunidades isoladas da Amazônia. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5, 2004, Campinas. *Proceedings* [...]. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022004000200005&lng=en&nrm=abn. Acesso em: 10 out. 2023.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. Potência média de aparelhos residenciais e comerciais. Cemig, 2020. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2020/10/POTENCIA-MEDIA-DE-APARELHOS-RESIDENCIAIS-E-COMERCIAIS.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2022.

ELETROBRAS. Programa Mais Luz para a Amazônia. 2021. Disponível em: <https://eletrobras.com/pt/Paginas/Mais-Luz-para-a-Amazonia.aspx>. Acesso em: 13 nov. 2021.

ELETROBRAS. “Projetos experimentais”. Disponível em: <https://eletrobras.com/pt/Paginas/Projetos-Experimentais.aspx>. Acesso em: 20 mar. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Mudanças climáticas e transição energética. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcedenergia/clima-e-energia>. Acesso em: 2 out. 2021.

EUROPE ÉNERGIE. Pourquoi choisir le photovoltaïque? 2019. Disponível em: <https://www.europe-energie.com/blog/choisir-photovoltaique/>. Acesso em: 11 out. 2021.

FAZCOMEX. PADIS: o que é. 2021. Disponível em: <https://www.fazcomex.com.br/blog/padis-o-que-e/>. Acesso em: 10 nov. 2021.

GLOBAL SOLAR ATLAS. Global photovoltaic power potential by country. Jun. 2020. The World Bank. Esmap. SolarGIS. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/466331592817725242/pdf/Global-Photovoltaic-Power-Potential-by-Country.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Breves. IBGE, 2021a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/breves.html>. Acesso em: 17 abr. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Dom Inocêncio. IBGE, 2021b. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pi/dom-inocencio/panorama>. Acesso em: 27 abr. 2022.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. Amazônia Legal: quem está sem energia elétrica. Iema, 2018. Disponível em: <https://energiaambiente.org.br/produto/amazonia-legal-quem-esta-sem-energiaeletrica#:~:text=S%C3%A3o%202012.791%20moradores%20de%20assentamentos,e%C3%A9%20p%C3%BAblica%20na%20Amaz%C3%B4nia%20Legal>. Acesso em: 27 mar. 2022.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. Quem ainda está sem acesso à energia elétrica no Brasil? Iema, 2020. Disponível em: <http://energiaambiente.org.br/produto/quem-ainda-esta-sem-acesso-a-energia-eletrica-no-brasil>. Acesso em: 28 out. 2021.

INSTITUTO SOLAR. Software Pvsyst: descubra as principais características da ferramenta de SFVs. 2020. Disponível em: <https://institutosolar.com/software-pvsyst/>. Acesso em: 13 nov. 2021.

INVESTPARÁ. Guia de Breves. 2019. Disponível em https://www.livroaberto.ufpa.br/jspui/bitstream/prefix/1041/1/Livro_RecortesFlorestaReorganizacao.pdf. Acesso em: 27 mar. 2022.

MACHADO, G. M. V.; SILVA, J. L. de S.; MOREIRA, H. S.; VARGAS, T. do N.; PRYM, G. C. S.; VILLALVA, M. G. Estudo de caso de um sistema fotovoltaico instalado no *campus* da Unicamp em diferentes *softwares* de simulação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 8., 2020, Fortaleza. *Anais* [...]. Fortaleza: Cbens, 2020. p. 2-9. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/858>. Acesso em: 16 nov. 2021.

MICHELINI, A. *Baterias recarregáveis*: para equipamentos portáteis. Cotia: Sistemas e Tecnologia Aplicada, 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. ProGD: confirma o relatório final do grupo de trabalho. 2019. Disponível em: http://antigo.mme.gov.br/web/guest/todas-as-noticias/-/asset_publisher/pera%C3%A7%C3%A3oBICN/content/progd-confirma-o-relatorio-final-do-grupo-de-trabal-1/pop_up?fbclid=IwAR0zsVUk5YwjR6A0q1dYqr7jqQvqhWfVzF9JboN9_wUr-Zu0lKmRcnNV9oY. Acesso em: 25 nov. 2021.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *Luz para Todos*. Um marco histórico: 10 milhões de brasileiros saíram da escuridão. Brasília: Ministério de Minas e Energia, [s. d.]. Disponível em: https://www.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/livro_lpt_portugues.pdf. Acesso em: 20 mar. 2022.

MOSQUEIRA, G. L. de A. *A evolução da energia solar fotovoltaica no Brasil*. 2020. Monografia (Especialização em Administração Pública) – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <http://www.unirio.br/uniriosnct2010/unirio/ccjp/escola-de-administracao-publica/trabalhos-de-conclusao-de-curso-1/2020.1/TCCGloriaLeite-deAlmeidaMosqueira.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2021.

NASCIMENTO, C. A. do. *Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica*. 2004. Monografia (Especialização em Fontes Alternativas de Energia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004. Disponível em: https://www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf. Acesso em: 15 nov. 2021.

NEOSOLAR. Sistemas isolados – *off-grid*. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-isolados-off-grid>. Acesso em: 15 nov. 2021.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA. ONS divulga plano energético de 2021 para as localidades dos sistemas isolados. ONS, 2021. Disponível em: <http://www.ons.org.br/Paginas/Noticias/20201015-ons-divulga-pen-sisol-2021.aspx>. Acesso em: 13 nov. 2021.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA. ONS divulga plano anual da operação eletroenergética dos sistemas isolados para 2022. ONS, 2022. Disponível em: <https://www.ons.org.br/Paginas/Noticias/ONS-divulga-Plano-Anual-da-Operacao-Eletoenergetica-dos-Sistemas-Isolados-para-2022.aspx>. Acesso em: 9 maio 2023.

ÓRIGO ENERGIA. A história da energia solar no Brasil. 2020. Disponível em: <https://origo-energia.com.br/blog/a-historia-da-energia-solar-no-brasil>. Acesso em: 11 nov. 2021.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L. de; RUTHER, R. *Atlas brasileiro de energia solar*. São José dos Campos: Inpe, 2006. Disponível em: <http://mtc-m16b.sid.inpe.br/rep/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/05.04.14.11>. Acesso em: 15 nov. 2021.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. *Atlas brasileiro de energia solar*. 2. ed. São José dos Campos: Inpe, 2017. 80 p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>. Acesso em: 13 nov. 2021.

PORTAL SOLAR. Governo cria programa de incentivo à geração de energia solar (ProGD). 2015. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/incentivos-a-energia-solar/governo-cria-programa-de-incentivo-a-geracao-de-energia-solar-progd.html>. Acesso em: 9 nov. 2021.

PORTAL SOLAR. Sistema de energia solar *off grid*. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/sistema-energia-solar-off-grid>. Acesso em: 1º nov. 2021a.

PORTAL SOLAR. Energia solar em Amazonas. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-fotovoltaica-em-amazonas>. Acesso em: 23 out. 2021b.

PORTAL SOLAR. Geração distribuída de energia – GD. Disponível em: <https://www.portal-solar.com.br/geracao-distribuida-de-energia.html>. Acesso em: 1º nov. 2021c.

PORTAL SOLAR. Ilumina Pantanal inicia entrega de geradores solares no Mato Grosso. 2021d. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/noticias/politica/executivo/ilumina-pantanal-inicia-entrega-de-geradores-solares-no-mato-grosso>. Acesso em: 22 mar. 2022.

PVSYST. PVSystem for Windows, version 7.3. Satigny: PVSystem AS. 2023. Disponível em: <https://www.pvsyst.com/>.

REN21. Tendências no Brasil: fatos sobre o relatório de status global das energias renováveis 2021. 2021. Disponível em: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/REN21_GSR2021_Factsheet_Brazil_PT.pdf. Acesso em: 17 nov. 2021.

RITCHIE, H.; ROSADO, P.; ROSER, M. *Access to energy*. OurWorldInData.org, 2019. Disponível em: <https://ourworldindata.org/energy-access> [Online Resource]. Acesso em: 14 out. 2023.

ROCHA, B. F. A. da. *Análise da produção de energia gerada de um sistema fotovoltaico em Rio Negro em comparação com os valores de energia simulados pelo software PVSystem*. 2019. Monografia (Especialização em Energias Renováveis) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/18523/1/CT_CEER_XII_2020_03.pdf. Acesso em: 17 nov. 2021

SILVA, N. Televisão (TV) com painel solar para as comunidades que não possuem energia elétrica, inclusão perante a sociedade. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Computação e Sistemas) – Universidade Estadual do Maranhão (Uema), São Luís, 2018. Disponível em: <http://repositorio.uema.br/jspui/handle/123456789/358>. Acesso em: 1º maio 2022.

SOLARGIS. SolarGIS Prospect. SolarGIS, 2022. Disponível em: <https://apps.solargis.com/prospect/>. Acesso em: 22 fev. 2022.

TANCREDI, M.; ABBUD, O. A. *Por que o Brasil está trocando as hidrelétricas e seus reservatórios por energia mais cara e poluente?* Brasília: Senado Federal, 2013. (Texto para Discussão, nº 128). Disponível em: <http://www12.senado.gov.br/publicacoes/estudos-legislativos/homeestudos-legislativos>. Acesso em: 22 mar. 2022.

UNIPOWER. Bateria solar para sistemas fotovoltaicos. Disponível em: <https://unipower.com.br/bateria-solar-sistemas-fotovoltaicos/>. Acesso em: 13 nov. 2021.

VELÁZQUEZ, S. M. S. G. *et al.* Provegam – Implantação e testes de uma unidade de demonstração de utilização energética de óleo vegetal. Provegam, [s. l.], 2005. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC00000002200400020005&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 27 fev. 2022.

Contato

Sílvia Maria Stortini González Velázquez

E-mail: velazquez@mackenzie.br

Tramitação

Recebido em: 23/09/2022

Aprovado em: 12/05/2023