
SIMULADOR DE ENERGIA SOLAR PARA IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO CONTEXTO URBANO

Luiz Alberto de Souza Ribeiro Filho

Vitor Lima Pereira

Sílvia Maria Stortini González Velázquez

Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM)

Resumo

O cenário no Brasil é favorável para alavancar o mercado de energia solar fotovoltaica, por apresentar condições positivas para o aproveitamento da geração desse tipo de energia, por causa de sua localização geográfica e dos altos índices de irradiação solar. Desde a instalação da primeira usina solar no país, o setor elétrico vem expandindo graças aos programas de incentivo governamentais que viabilizam um mercado mais aprimorado e eficiente. Porém, quando a tecnologia é tratada nos centros urbanos, ela tem sido pouco aproveitada em razão da falta de recursos financeiros para investir nesse sistema de custo elevado ou por conta do desconhecimento a respeito do retorno financeiro que o proprietário terá ao longo dos anos. Nesse contexto, o presente trabalho apresenta uma ferramenta para verificar a viabilidade econômica de um projeto fotovoltaico que pode ser utilizada por qualquer usuário que tenha o interesse em instalar um sistema fotovoltaico em sua residência ou seu espaço comercial. Para construir a ferramenta, utilizaram-se a metodologia de pesquisa baseada em estudos de caso, que adotaram a plataforma PVSyst para obter dados necessários, e o Microsoft Excel para a realização dos cálculos e a apresentação dos resultados. Com base nos dados coletados no *software* e na metodologia dos trabalhos anteriores, desenvolveu-se o simulador que coleta as informações de entrada do usuário e traz como resultado o

custo estimado para a implementação do sistema fotovoltaico, além de dados de economia ao longo dos anos a partir do investimento.

Palavras-chave: Energia solar. Ferramenta computacional. Simulador fotovoltaico.

1 INTRODUÇÃO

Por causa da preocupação com a preservação do meio ambiente e da procura por menores despesas com o consumo de eletricidade, faz-se necessária a busca por fontes renováveis de energia. O Brasil caminha bem nesse avanço sustentável, e suas energias renováveis contribuem com 83% da matriz elétrica do país, sendo 62% provenientes das usinas hidroelétricas (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2021).

Segundo Didoné, Wagner e Pereira (2017), as hidroelétricas são baseadas em geração centralizada, com capacidade de crescimento limitada, considerando que a distância do ponto de geração para o consumidor final garante à transmissão altos custos e altas perdas de energia. Dessa forma, a energia solar pode servir como uma fonte complementar de produção local, de modo a evitar perdas, reduzir o uso dos combustíveis fósseis no país e diminuir a dependência de hidroelétricas que, mesmo sendo consideradas renováveis, ainda causam sérios impactos ao meio ambiente por meio do alagamento de grandes regiões para a construção dos reservatórios.

Em geral, uma usina térmica, além de poluente, produz energia a um custo de duas a dez vezes maior se comparado às usinas hidroelétricas que produzem energia limpa (CERQUEIRA *et al.*, 2015). Quando as usinas térmicas são acionadas, há um acréscimo nas contas de energia. Em 2015, foram criadas as bandeiras tarifárias, para identificar se haverá acréscimo no valor de energia aos consumidores finais. A verde indica que não haverá acréscimo, a amarela representa um acréscimo de R\$ 0,01343 para cada kWh, e a vermelha, I e II, refere-se a acréscimos de R\$ 0,04169 e R\$ 0,06243 para cada kWh, respectivamente (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2019).

Na busca por alternativas, encontra-se a energia solar fotovoltaica que, por conta das condições climáticas brasileiras, apresenta-se com grande potencial de crescimento. As grandes usinas já são uma realidade, fazendo o país ultrapassar a marca de 3 GW de potência operacional (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA, 2020). Entretanto, quando se realiza uma análise em menor escala, encontra-se uma grande quantidade de edifícios nos centros urbanos que não utilizam os recursos naturais disponíveis de forma adequada. Sistemas solares fotovol-

taicos podem ser aplicados e/ou integrados aos edifícios e interligados à rede elétrica, o que é vantajoso à concessionária elétrica local, pois aliviam picos de consumo na rede, aumentam a vida útil do sistema de transmissão e distribuição, e adiam os grandes investimentos e longos prazos de instalação (JARDIM *et al.*, 2004).

Entretanto, vários estudos comprovam que o espaço urbano interfere significativamente no desempenho energético de edifícios, quando comparados com espaços desobstruídos (AMADO *et al.*, 2012; OKE, 1988; RATTI; RAYDAN; STEEMERS, 2003; STROMANN-ANDERSEN, SATTRUP, 2011; TERECE; KESTEM; EICKER, 2010), e é exatamente nesse ponto que há o maior desafio: encontrar a maneira mais adequada de instalação para o sistema ser eficiente, sustentável e rentável.

A não utilização da energia fotovoltaica nas grandes edificações, localizadas nos principais centros urbanos, tem sido uma perda de oportunidade. O motivo está, geralmente, relacionado à falta de recursos para o investimento inicial e ao desconhecimento de seus benefícios em longo prazo. Além disso, essa tecnologia em breve atingirá uma “economia de escala” que, basicamente, é o aumento da produção que resulta na queda do custo médio do produto, algo que a própria energia solar, pelo seu crescimento, já atingiu; adicionalmente, o preço dos equipamentos é mais acessível (DICIONÁRIO FINANCEIRO, 2021).

De acordo com Pereira *et al.* (2017), no Brasil, ainda há muito espaço para o crescimento desse tipo de energia, e os impactos são significativos em diversos setores, tanto ecológicos quanto econômicos, podendo gerar mais empregos de forma sustentável no país.

Diante desse cenário, este trabalho contribui com a apresentação de um modelo computacional para avaliar a possibilidade de implementação do sistema fotovoltaico no ambiente urbano de algumas cidades do país. O modelo é baseado em dados de entrada, saída e dados fixos já estabelecidos, além de utilizar como suporte a plataforma de dados conhecida como PVSyst, para analisar e fornecer dados de irradiação solar, sombreamento e outras informações técnicas que facilitarão o desenvolvimento da ferramenta.

2 METODOLOGIA

Este trabalho buscou desenvolver, a partir de estudos já realizados, uma ferramenta para analisar as vantagens da instalação de um sistema fotovoltaico em um determinado local, respeitando as variáveis naturais existentes e aquelas determinadas

pelo usuário. Nesse contexto, adotou-se um planejamento sequencial de atividades: abordagem teórica inicial, indicação de estudos já desenvolvidos, construção de uma ferramenta, exposição dos programas utilizados como fontes de dados e, por fim, a habilitação dessa ferramenta funcional, apresentando ao usuário como resultado o tempo de *payback* para a instalação desse sistema.

As informações coletadas no estudo foram utilizadas para implementar a ferramenta desenvolvida em Excel, de forma a apresentar dados e testes da aplicação de sistemas fotovoltaicos em edifícios nos centros urbanos e residências, com foco na busca pela melhor maneira e local de instalação, de modo a motivar o consumidor e diminuir a dependência de fontes hídricas ou térmicas de eletricidade.

Na procura por plataformas que auxiliassem no decorrer do projeto, foram encontrados dois *softwares* conhecidos como PVSyst e PVSol. Ambos têm a mesma função, e o de mais fácil acesso é o PVSyst 7.2 – versão de teste gratuito por 30 dias, que é um *software* direcionado para sistemas fotovoltaicos e projetado para ser utilizado por arquitetos, engenheiros e pesquisadores (PVSYST, 2021).

A fase inicial de construção da ferramenta foi montar a sua estrutura inicial definindo as variáveis necessárias por meio dos dados dos estudos levantados previamente, que são os utilizados para a realização dos cálculos. A seguir, a fase intermediária consistiu em utilizar o *software* PVSyst para fornecer uma base de dados informando os valores da irradiação solar nas localidades disponíveis, contatar empresas que trabalham com instalação de equipamentos fotovoltaicos no mercado, em busca de orçamentos referentes a equipamentos e mão de obra, e servir como base de comparação e aprimoramento do corpo da ferramenta. Na fase final, a estrutura inicial previamente montada, acrescida das novas informações adquiridas nas fases subsequentes, serviu de base para a construção da ferramenta final, que apresenta ao usuário uma estimativa do custo do projeto e a economia das contas de energia na residência ou no estabelecimento comercial de forma textual e gráfica.

Para uso da ferramenta, adotaram-se como parâmetros as tarifas médias de energia e os índices de irradiação de algumas cidades, de Norte a Sul do Brasil – São Paulo (SP), Bragança Paulista (SP), Rio de Janeiro (RJ), Salvador (BA), João Alfredo (PE) e Bombinhas (SC) –, com o objetivo de analisar o quão efetiva e útil será a instalação de um sistema fotovoltaico na residência, além de apresentar o tempo de retorno financeiro sobre esse investimento.

A primeira etapa da simulação do sistema fotovoltaico é consultar o tipo de sistema que será aplicado na residência, pois o custo mínimo de energia elétrica – custo de disponibilidade – depende do tipo de sistema no local. Atualmente, existem três tipos de sistema: monofásicos (com o consumo mínimo de 30 kWh ao mês), bifásicos (com o consumo mínimo de 50 kWh ao mês) e trifásicos (com o consumo mínimo de 100 kWh ao mês).

Em seguida, coletaram-se dados para que pudessem ser aplicados no Excel. O primeiro dado foi o local em que será instalado o sistema, seguido do consumo mensal médio, podendo também ser detalhado mês a mês. O terceiro dado foi o espaço disponível para instalação dos módulos no local. Foi estimada uma média de perdas de 20% com poeira e sombreamento baseada nas considerações do projeto básico de sistema fotovoltaico, feito pelo Dr. Paulo Alves Garcia, sócio-gerente da SGN – Soluções em Energia (2021). Como exemplo, realizou-se uma simulação com dados da residência de um dos autores.

Com esses dados, a ferramenta calcula a potência necessária (P_n) subtraindo do consumo mensal do usuário (M_c) o custo de disponibilidade (C_d) – consumo mínimo necessário no sistema local –, todos em kWh/mês, por meio da Equação 1. Essa será a potência que o sistema deverá produzir por mês, com base no consumo mensal médio do usuário. A partir disso, será calculada a P_n diária por meio da Equação 2.

$$P_n = M_c - C_d \text{ (kWh/mês)} \quad (1)$$

$$P_{ndiária} = P_n / 30 \text{ (kWh/dia)} \quad (2)$$

Em seguida, com os dados de irradiação no local armazenados na base de dados da ferramenta, é calculada, na Equação 3, a quantidade de horas de sol pleno (HSP) para integrar a equação à produção necessária, para ser calculada a potência de pico (P_p) do sistema, pela Equação 4. A quantidade de HSP mostra a quantidade de horas por dia que o sistema deve trabalhar para gerar a quantidade necessária de energia.

$$HSP = I_L / I_p \quad (3)$$

Em que:

I_L = Irradiação solar no local de instalação (kWh/m².dia).

I_p = Irradiação padrão de 1 kWh/m².

$$P_p = P_{ndiária} / HSP \quad (4)$$

A P_p calculada mostra a potência máxima que esse sistema atingirá e que, geralmente, é alcançada em laboratório e medida em W_p .

Para calcular a quantidade de painéis necessários de acordo com o modelo escolhido, utilizaram-se a P_p calculada, a P_p dos painéis solares escolhidos (W_p) – fornecida nos manuais do fabricante – e as perdas estimadas do sistema (L_s), conforme a Equação 5.

$$N_p = (1000 \cdot P_p) / [W_p \cdot (1 - L_s)] \tag{5}$$

Para calcular a potência total do sistema (W_{pt}), utilizaram-se o número de painéis obtidos da Equação 5 e a P_p dos painéis solares, conforme a Equação 6.

$$W_{pt} = N_p \cdot W_p \tag{6}$$

Essa potência total foi utilizada para estimar os valores de instalação do sistema, de acordo com a Tabela 1, e para calcular a quantidade de painéis necessários conforme o modelo escolhido.

TABELA 1

Valor dos equipamentos em função da potência de pico do sistema

| kWp | R\$/Wp (equipamentos) | R\$/Wp (instalação) |
|-------|-----------------------|---------------------|
| 2 | 3,60 | 2,56 |
| 4 | 3,22 | 1,66 |
| 8 | 3,12 | 1,26 |
| 12 | 2,94 | 1,28 |
| 30 | 2,77 | 1,19 |
| 50 | 2,66 | 1,23 |
| 75 | 2,69 | 1,12 |
| 150 | 2,67 | 0,98 |
| 300 | 2,65 | 0,95 |
| 500 | 2,70 | 1,03 |
| 1.000 | 2,67 | 0,97 |
| 5.000 | 2,73 | 0,97 |

Fonte: Adaptada de Greener (2021).

Depois de calculados esses valores, a ferramenta fornece ao usuário um quadro, duas tabelas e dois gráficos em que são indicados dois resultados dos cálculos para os critérios especificados, um para o sistema recomendado e outro para o sistema com o máximo de aproveitamento do espaço disponível indicado pelo usuário.

De acordo com Ribeiro (2019), os painéis têm degradação de 0,68% a.a., pelos primeiros dez anos. Após esse período, a degradação passa a ser de 0,64% a.a. A degradação foi considerada nos valores de geração anual do sistema ao longo dos anos, e

ajustaram-se os custos de manutenção e de energia elétrica a partir da inflação baseada na média dos últimos dez anos no Brasil, de acordo com Banco Central (2021).

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Energia solar fotovoltaica

No Brasil, o mercado da energia solar fotovoltaica é relativamente novo. A primeira usina solar foi instalada em agosto de 2011. Localizada no sertão do Ceará, a Usina de Tauá tem capacidade inicial de 1 MW, quantidade considerada relevante para a época, produzindo energia suficiente para 650 casas populares. Em 2020, foi inaugurada a Usina de São Gonçalo, no Piauí, que é a maior usina solar na América Latina, com capacidade de geração de 1.500 GWh por ano e placas solares bifaciais, que captam luz solar de ambos os lados (PORTAL SOLAR, 2021a).

3.2 Programas de incentivo

A partir de 2012, o crescimento do setor disparou graças aos incentivos governamentais, com a isenção de Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) e Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), ao apoio do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e à redução do Imposto de Importação. Em 2012, a potência instalada era em torno de 3 MW, e, em 2020, já havia evoluído para 7.881 MW, segundo a International Renewable Energy Agency (2021).

Em 2015, o Ministério de Minas e Energia (MME) lançou o Programa de Incentivo à Geração Distribuída (ProGD), com linhas de desenvolvimento para a geração distribuída no Brasil, e entre elas estão: financiamento, diminuição da tributação, desenvolvimento da aplicação dessas fontes em prédios públicos, formação de mão de obra, impactos elétricos e regulatórios, e diversas outras medidas com a finalidade de fomentar a geração distribuída no país. O ProGD estabeleceu a meta de que até o ano de 2030 o Brasil deverá ter investido mais de 100 bilhões de reais em geração distribuída (BRASIL, 2015).

A geração distribuída pode ser definida como uma fonte de energia elétrica conectada diretamente à rede de distribuição, podendo ocorrer com diversas fontes de

energias sustentáveis diferentes, como fontes solares, hídricas e eólicas (PORTAL SOLAR, 2021b).

De acordo com o artigo 14 do Decreto Lei nº 5.163 de 2004, geração distribuída é a produção de energia elétrica proveniente de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto a eletricidade proveniente de sistema hidroelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW, e termelétrico, inclusive de cogeração, com eficiência energética inferior a 75% (BRASIL, 2004).

Em 2012, com a Resolução Normativa (REN) nº 482 e o aperfeiçoamento pela REN nº 687/2015, foram estabelecidas algumas condições regulatórias para a inserção da geração distribuída na matriz elétrica brasileira, sendo elas a microgeração distribuída (sistemas de geração de energia renovável ou cogeração qualificada conectados à rede com potência até 75 kW) e a minigeração distribuída (sistemas de geração de energia renovável ou cogeração qualificada conectados à rede com potência superior a 75 kW e inferior a 5 MW) (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016).

Ainda segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (2016), houve a concessão do direito à utilização dos créditos por excedente de energia injetada na rede em até 60 meses, além da possibilidade de utilização da geração e distribuição em cotas de crédito para condomínios. Foi possibilitada a forma de autoconsumo remoto em que existem a geração em uma unidade e o consumo em outra unidade de mesmo titular, além da geração compartilhada, em que um grupo de unidades consumidoras é responsável por uma única unidade de geração, sendo possível fazer transferência dos créditos excedentes entre prioridades em que a conta de energia esteja sob o mesmo CPF/CNPJ ou CPFs/CNPJs diferentes, desde que firmado em contrato.

Em 2020, o governo federal publicou duas resoluções no *Diário Oficial da União* que tornaram o imposto de importação incidente sobre diversos modelos de equipamentos para geração de energia elétrica fotovoltaica. Entre eles, constam placas e inversores que compõem os sistemas de energia solar instalados em casas e empresas (BRASIL, 2020).

3.3 A irradiação solar no Brasil e o princípio fotovoltaico

O Brasil, se comparado aos outros países desenvolvedores da tecnologia fotovoltaica, possui grande vantagem em razão dos altos níveis de irradiação solar em seu território. O potencial da energia solar fotovoltaica no Brasil é muito superior ao seu consumo. Para dados de 2004, a Usina de Itaipu produzia aproximadamente 25% de toda a energia consumida no Brasil. Para efeito de comparação, se o Lago de Itaipu,

que contém uma superfície de 1.350 km², tivesse sido coberto com módulos solares, a Usina de Itaipu teria capacidade de dobrar sua produção, podendo produzir 50% de tudo o que o Brasil consumia (RÜTHER, 2004).

De acordo com Pereira *et al.* (2017), a cidade e o estado de São Paulo recebem uma média diária de irradiação de 5.000 Wh/m². Como a área da cidade de São Paulo é de aproximadamente 1.520 km², pode-se calcular que diariamente essa região recebe, em média, cerca de 7.605 GWh, a 27^a de inclinação. De acordo com a Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo, o consumo médio diário da cidade de São Paulo, no mês de fevereiro de 2021, foi de aproximadamente 245 GWh. Pode-se então calcular que o consumo de energia elétrica equivale a pouco mais de 3% da irradiação solar que incide sobre a cidade de São Paulo (SÃO PAULO, 2021).

3.4 Tecnologia para a geração de energia solar fotovoltaica

Quando o processo é a montagem de um sistema fotovoltaico, tem-se que avaliar o que é essencial para sua funcionalidade e suas características. Dessa forma, os principais componentes do sistema, como células, painéis, fixadores de painéis solares, inversores, conectores e baterias, são apresentados a seguir.

Antes da utilização nas células fotovoltaicas, o silício, que não possui elétrons livres e por isso é um mau condutor de eletricidade, passa por um processo de dopagem que é feito por meio da incorporação de uma pequena quantidade de dopante para estágio de fundição. Os elementos adotados como dopantes para o silício são o boro, por apresentar boa difusão, produzindo dopagem uniforme, e o fósforo, por ter baixo coeficiente de distribuição de elétrons. Esse processo é importante para aumentar a condutividade elétrica do silício e encaminhar energia para todo o painel fotovoltaico (SEBASTIÃO, 1992).

Após o processo de dopagem, parte-se para a fabricação das células, que, segundo Rütther (2004), têm a função de transformar a energia luminosa proveniente do sol em energia elétrica e são subdivididas nos seguintes tipos: silício monocristalino (m-Si), silício policristalino (p-Si) e amorfo (a-Si).

A célula de silício monocristalino é mais eficiente na conversão de energia solar em eletricidade, além de ser mais comercializada para uso nos sistemas fotovoltaicos porque tem eficiência de até 15%, podendo chegar a 18% em células feitas em laboratório. A célula de silício policristalino tem o processo de fabricação similar ao da monocristalina, na fundição do silício, porém a sua eficiência máxima chega a 12,5% em escalas industriais, por conta de o processo de preparação da célula policristalina ser menos rigoroso. E, por último, há a célula de silício amorfo, que difere das demais

estruturas cristalinas pelo alto grau de desordem na estrutura dos átomos e pela baixa eficiência de conversão de energia, mas mostra grande vantagem na propriedade elétrica por apresentar absorção da radiação solar na faixa do visível, além de possibilidade de fabricação de células com grandes áreas e baixo consumo de energia na produção (PORTAL ENERGIA, 2017).

O painel fotovoltaico é composto pelas células de silício e por outros materiais, como moldura de alumínio, vidro especial, encapsulante (EVA), *backsheet* (material plástico branco que vai na parte de trás do painel, com a função de proteger os componentes internos do painel solar) e caixa de junção. O painel fotovoltaico foi desenvolvido para proteger as células e fazer com que ele produza energia por décadas, mas é preciso ter muito cuidado quando se manuseiam essas células na hora de instalação, pois são muito frágeis (PORTAL SOLAR 2021c).

Além dos painéis fotovoltaicos, existem algumas estruturas de fixação que são instaladas em diferentes ambientes e que podem envolver um telhado inclinado, telhado plano ou espaço aberto. Utilizam-se com frequência os rastreadores solares, conhecidos como *solar trackers*, cuja função é possibilitar que os painéis recebam sempre a maior quantidade de luz solar, de modo que fiquem direcionados à maior incidência de radiação solar (BETTIOL, 2017).

Segundo Oliveira (2007), existem dois tipos de rastreador solar: passivo e o ativo. No rastreador passivo, há a transferência de massa de um lado do rastreador para outro, efetuando a rotação para acompanhar o Sol. Utiliza-se normalmente um fluido refrigerante com baixa temperatura de vaporização, confinado em reservatórios de lados opostos do mecanismo que, por causa da diferença nas temperaturas nos extremos leste e oeste dos painéis, faz com que o líquido se mova do reservatório mais aquecido para o outro, ocasionando a rotação do painel. O rastreador ativo funciona por meio de motores que efetuam a rotação do painel fotovoltaico, que são controlados por circuitos elétricos e sensores que recebem dados da posição do Sol por meio de um *software* e informam sobre a posição que o painel deve se movimentar para ficar bem alinhado ao local de mais irradiação solar.

O inversor é um conversor de energia que tem como finalidade converter a tensão em corrente contínua (CC) gerada pelos módulos solares em corrente alternada (CA), distribuindo essa tensão para as cargas a serem alimentadas ou devolvendo energia para a rede da concessionária. Os painéis solares geram energia elétrica em corrente contínua, e o inversor faz a conversão, na saída desse sistema elétrico, para tensão de corrente alternada e distribui a energia (RÜTHER, 2004).

Segundo a Amphenol Broad Band (2021), os painéis solares precisam ser conectados entre si e com os inversores. Portanto, a finalidade principal de um conector é acoplar componentes solares para que possam ter um bom desempenho durante o fluxo de energia. Os conectores são importantes na estruturação de um sistema foto-

voltaico, pois suportam temperaturas extremas e ciclos térmicos, resistem a eventos mecânicos e impedem a desconexão durante toda a vida útil do conjunto.

Para armazenar a energia gerada, a bateria solar é o equipamento utilizado em sistemas fotovoltaicos como solução para o usuário se desligar da rede elétrica em momentos de pouca irradiação solar, além de garantir a estabilidade no fornecimento de energia. As baterias são utilizadas de acordo com a finalidade. A bateria selada chumbo-ácido (*sealed lead acid* – SLA) era a mais utilizada em sistemas fotovoltaicos por causa do custo baixo, da simples fabricação e da boa durabilidade. A bateria de níquel-cádmio tem mais tempo de uso no mercado, pois desempenha uma boa condição de armazenamento de carga, permite o recarregamento em baixas temperaturas e tem custo baixo em comparação com as outras baterias. A bateria de íons de lítio é uma tecnologia que vem crescendo, porque tem alta densidade de energia e causa menos danos ao meio ambiente em termos de descarte, tem menor peso e maior durabilidade, além de maior capacidade de armazenamento (MICHELINI, 2017).

Wang *et al.* (2020) mencionam que as baterias de estado sólido têm sido consideradas como uma das tecnologias mais promissoras para dispositivos de armazenamento de energia de última geração com alta densidade de energia e alta saturação. Os eletrólitos de estado sólido são os componentes-chave para essas baterias que, geralmente, possuem várias vantagens em comparação aos eletrólitos líquidos convencionais: não são inflamáveis e voláteis, não apresentam risco de vazamento e têm alta compatibilidade com lítio metálico.

3.4.1 Mercado de equipamentos

Segundo REN21 (2020), na última década, tornou-se mais econômico investir em novas fontes de energia solar fotovoltaica do que construir outras usinas que usam combustíveis fósseis, até para reduzir a poluição do ar e as emissões de gases de efeito estufa.

Com relação aos inversores, segundo o Canal Solar (2019), a China é o país que está na liderança com as principais companhias, Sineng, Huawei e Sungrow, até porque a utilização de energia solar tem crescido por lá nesses últimos anos. Quando se mencionam os países do Velho Continente, a Alemanha é a principal precursora na tecnologia de inversores fotovoltaicos, com a companhia SMA, que tem participação forte na Europa e nas Américas, e logo em seguida vem a Espanha, com a Power Electronic, embora não seja muito conhecida.

Os painéis fotovoltaicos são facilmente encontrados no mercado brasileiro, pois, desde 2016, foi fundada na cidade de Sorocaba, interior do estado de São Paulo, a multinacional Canadian Solar, umas das principais companhias do mundo na fabricação desses painéis (PORTAL SOLAR, 2017).

No primeiro semestre de 2020, um dos principais fornecedores de módulos (células) fotovoltaicos no Brasil foi a multinacional Canadian Solar, que detém 52,1% de participação no mercado brasileiro (GREENER, 2020).

A concentração desse mercado é muito forte em fornecedores do continente asiático, como Coreia do Sul, Japão e China, e em algumas empresas renomadas, como Samsung SDI e LG Chem (BLOOMBERGNEF, 2019).

Em 2019, os Estados Unidos e a América Latina foram os principais mercados de rastreadores solares do mundo. A empresa norte-americana Nextracker foi a principal fornecedora global, acompanhada da Soltec e da subsidiária brasileira do grupo espanhol STI Norland, que se destacou como principal fornecedor na América Latina com 39% de participação no mercado (PETROSOLGAS, 2020).

3.5 Estudos de instalação de sistemas fotovoltaicos já desenvolvidos

Neste item, são analisados três estudos bem-sucedidos de implementação de sistemas fotovoltaicos, que são apresentados individualmente nos itens subsequentes.

3.5.1 Avaliação da influência do contexto urbano na radiação solar

No desenvolvido por Didoné, Wagner e Pereira (2017), foi apresentada uma metodologia para comparar os resultados obtidos na instalação de painéis fotovoltaicos em duas cidades diferentes: Fortaleza e Florianópolis. Tal metodologia é baseada em simulações computacionais, por meio dos programas Diva-for-Rhino e EnergyPlus. As cidades escolhidas representam as zonas mais ensolaradas e menos ensolaradas do Brasil em latitudes distintas, pois, em Fortaleza, a média diária de irradiação solar se encontra em 5,67 kWh/m², enquanto Florianópolis possui uma média diária de 4,77 kWh/m².

Após a definição das cidades, selecionaram-se oito tipos de edifícios de escritório verticais, e, posteriormente, especificaram-se os diferentes contextos urbanos, com propriedades geométricas variadas, considerando edifícios com alturas iguais (elevação uniforme) e com alturas variadas (elevação aleatória). Feito isso, os pesquisadores realizaram um estudo para definir o nível mínimo de radiação solar na superfície, para a aplicação dos módulos fotovoltaicos nas fachadas dos prédios. Por último, analisaram a influência do sombreamento do entorno na geração de energia das diferentes tipologias de edifícios verticais.

Como esperado, as simulações mostraram que o comportamento em ambas as cidades foi semelhante, alterando somente a quantidade de energia gerada, tendo em

vista que, em alguns momentos, em Fortaleza, foi quase o dobro da energia gerada em Florianópolis.

A conclusão a que chegaram foi que tipos de edifícios com altura média (seis andares) apresentaram maior aproveitamento na geração de energia no traçado urbano com elevação uniforme. O traçado urbano com elevação aleatória se mostrou favorável para os edifícios mais altos, com maior área para a instalação dos painéis, já que os edifícios vizinhos tinham, no máximo, a mesma altura do edifício avaliado. Nesse caso, as fachadas receberam maiores níveis de radiação solar. A separação entre os edifícios (largura da rua) foi também um fator significativo para a avaliação da radiação solar sobre as superfícies dos edifícios.

3.5.2 Avaliação de custo-benefício da utilização de energia fotovoltaica

O estudo de Silva *et al.* (2019) teve como finalidade apresentar dois orçamentos de duas edificações diferentes que instalaram módulos solares, ambas localizadas no município de Altamira, no Pará. A duração da coleta de dados foi de seis meses, de maio a novembro de 2018.

A pesquisa demonstrou de que forma ocorre a instalação do sistema fotovoltaico, suas vantagens e desvantagens, e o custo-benefício da utilização da tecnologia. A partir do estudo nos dois edifícios, os autores verificaram que a aquisição de um sistema fotovoltaico possui um alto valor de investimento inicial, sendo o orçamento da instalação no edifício A de R\$ 68.479,02 e no edifício B de R\$ 57.536,20.

Entretanto, concluíram que, em poucos anos, o sistema fotovoltaico trouxe retorno de investimento (*payback*), pois o consumidor não teve mais despesas com o consumo de energia, como no caso das duas instalações propostas. Para o edifício A, o retorno financeiro ocorreu a partir do terceiro ano, enquanto para o edifício B isso aconteceu a partir do quarto ano.

3.5.3 Implantação de sistema fotovoltaico on-grid em Piquirivai, no Paraná

O estudo feito por Ribeiro (2019) se baseou na instalação de um sistema fotovoltaico *on-grid* em uma área rural, no distrito de Piquirivai, no Paraná, com a energia produzida sendo transmitida para a concessionária local, a Companhia Paranaense de Energia (Copel), que realizará o procedimento de compensação de energia gerada mensalmente no empreendimento. A empresa metalúrgica que recebeu o sistema fotovoltaico está localizada no município de Campo Mourão, no Paraná, e o trabalho teve como objetivo acompanhar o processo de instalação, levantamento de dados e cálculos para verificar a eficiência do sistema.

Após a instalação, foi observada a produção média de energia do sistema implantado, que continha em cada painel uma capacidade de produção média mensal 45,63 kWh/mês, com potência em condições padrões de 365 Wp, estimando a geração de energia total por mês em um período de um ano, levando em consideração os índices mínimos de irradiação solar útil diária mensal e eficiência do sistema.

A média de produção mensal calculada foi de 12.863 kWh, comprovando o abatimento total do consumo de energia da empresa, até nos meses de menor produção do sistema fotovoltaico. Outra vantagem constatada foi a disponibilidade da concessionária local para uso de créditos em kWh, pois a REN nº 687/2015 da Agência Nacional de Energia Elétrica (2015) permite a utilização desses créditos em um prazo de 60 meses.

A análise da viabilidade econômica da implementação do sistema fotovoltaico foi realizada pela engenharia econômica, com cálculo de *payback*, valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e retorno sobre o investimento (*return on investment* – ROI). A conclusão foi que o retorno total do investimento ocorrerá em três anos e quatro meses, havendo viabilidade econômica para a empresa, além de encontrar uma fonte de energia limpa e renovável.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 1, constam os dados da residência de um dos autores, como exemplo, para uma simulação e que servirão para realizar todos os cálculos necessários.

QUADRO 1

Dados coletados para a simulação

| Entradas | |
|-------------------|-------------------|
| Local | Bragança Paulista |
| Sistema | Trifásico |
| Consumo médio | 430,2 kWh/mês |
| Espaço disponível | 35 m ² |

Fonte: Elaborado pelos autores.

O Quadro 1 apresenta o local em que foram coletados os primeiros dados, Bragança Paulista, e caracteriza o sistema como trifásico, conforme conta de energia da residência estudada, da Energisa – distribuidora de energia local. Demonstra a média do consumo de eletricidade de 430,2 kWh/mês dos últimos 12 meses, além do espaço disponível para a instalação dos painéis, de 35 m², no local.

Depois dos cálculos descritos na metodologia, a ferramenta fornece ao usuário a Tabela 2 e a Tabela 3. No exemplo escolhido, é possível notar, na Tabela 2, que o *payback* para a área recomendada é de quatro anos e meio, o que o torna um projeto rentável. Também é possível notar que a instalação de um projeto maior do que o necessário não é vantajoso financeiramente, em razão do alto custo de instalação ante um valor de economia semelhante ao valor do sistema recomendado.

TABELA 2

Resultado dos cálculos da simulação

| | Área recomendada | Área disponível |
|--|---------------------|-------------------|
| Área do sistema | 15,5 m ² | 35 m ² |
| Custo de energia atual | | R\$ 0,76 |
| Consumo mínimo de energia anual | | 1200 kWh |
| Custo mínimo de energia anual | | R\$ 914,18 |
| Consumo atual de energia | | 5162 kWh |
| Custo total de energia anual | | R\$ 3.932,51 |
| Média da inflação dos últimos 10 anos | | 5,73% |
| Produção anual de energia possível | 4096,5 kWh | 8778,2 kWh |
| Consumo anual de energia após instalação | 1200,0 kWh | 1200,0 kWh |
| Custo anual de energia após Instalação | R\$ 914,18 | R\$ 914,18 |
| Economia no custo de energia anual | R\$ 3.018,32 | R\$ 3.018,32 |
| Créditos anuais de energia extra | R\$ 102,47 | R\$ 3.669,10 |
| Custo do sistema FV | R\$ 9.016,00 | R\$ 19.320,00 |
| Custo de serviços para o sistema FV | R\$ 4.648,00 | R\$ 9.960,00 |
| Custo total de investimento | R\$ 13.664,00 | R\$ 29.280,00 |
| <i>Payback</i> | 4,5 anos | 8,6 anos |
| Valor economizado ao longo de 10 anos | R\$ 21.250,35 | R\$ 6.103,11 |
| Valor economizado ao longo de 25 anos | R\$ 118.977,97 | R\$ 114.364,99 |

Fonte: Elaborada pelos autores com base em Ribeiro (2019).

TABELA 3

Tabela de *payback* para 25 anos de investimento

| Ano | Geração anual do sistema (kWh) | Tarifa (R\$/kWh) | Valor da geração máximo | Manutenção | Payback descontado |
|-----|--------------------------------|------------------|-------------------------|--------------|--------------------|
| 0 | | | | | -R\$ 13.664,00 |
| 1 | 3962,0 | R\$ 0,76 | R\$ 3.018,32 | R\$ 300,00 | -R\$ 10.945,68 |
| 2 | 3962,0 | R\$ 0,81 | R\$ 3.191,36 | R\$ 317,20 | -R\$ 8.071,52 |
| 3 | 3962,0 | R\$ 0,85 | R\$ 3.374,31 | R\$ 335,38 | -R\$ 5.032,59 |
| 4 | 3962,0 | R\$ 0,90 | R\$ 3.567,75 | R\$ 354,61 | -R\$ 1.819,45 |
| 5 | 3962,0 | R\$ 0,95 | R\$ 3.772,28 | R\$ 374,94 | R\$ 1.577,88 |
| 6 | 3935,1 | R\$ 1,01 | R\$ 3.961,41 | R\$ 396,43 | R\$ 5.142,86 |
| 7 | 3908,3 | R\$ 1,06 | R\$ 4.160,02 | R\$ 419,16 | R\$ 8.883,73 |
| 8 | 3881,7 | R\$ 1,13 | R\$ 4.368,60 | R\$ 443,19 | R\$ 12.809,14 |
| 9 | 3855,3 | R\$ 1,19 | R\$ 4.587,63 | R\$ 468,59 | R\$ 16.928,17 |
| 10 | 3829,1 | R\$ 1,26 | R\$ 4.817,64 | R\$ 495,46 | R\$ 21.250,35 |
| 11 | 3804,6 | R\$ 1,33 | R\$ 5.061,22 | R\$ 523,86 | R\$ 25.787,71 |
| 12 | 3780,3 | R\$ 1,41 | R\$ 5.317,12 | R\$ 553,89 | R\$ 30.550,94 |
| 13 | 3756,1 | R\$ 1,49 | R\$ 5.585,95 | R\$ 585,65 | R\$ 35.551,25 |
| 14 | 3732,0 | R\$ 1,57 | R\$ 5.868,38 | R\$ 619,22 | R\$ 40.800,41 |
| 15 | 3708,1 | R\$ 1,66 | R\$ 6.165,09 | R\$ 654,72 | R\$ 46.310,78 |
| 16 | 3684,4 | R\$ 1,76 | R\$ 6.476,80 | R\$ 692,25 | R\$ 52.095,33 |
| 17 | 3660,8 | R\$ 1,86 | R\$ 6.804,27 | R\$ 731,93 | R\$ 58.167,66 |
| 18 | 3637,4 | R\$ 1,97 | R\$ 7.148,29 | R\$ 773,89 | R\$ 64.542,06 |
| 19 | 3614,1 | R\$ 2,08 | R\$ 7.509,71 | R\$ 818,26 | R\$ 71.233,52 |
| 20 | 3591,0 | R\$ 2,20 | R\$ 7.889,41 | R\$ 865,17 | R\$ 78.257,76 |
| 21 | 3568,0 | R\$ 2,32 | R\$ 8.288,30 | R\$ 914,77 | R\$ 85.631,29 |
| 22 | 3545,2 | R\$ 2,46 | R\$ 8.707,36 | R\$ 967,21 | R\$ 93.371,45 |
| 23 | 3522,5 | R\$ 2,60 | R\$ 9.147,61 | R\$ 1.022,65 | R\$ 101.496,40 |
| 24 | 3499,9 | R\$ 2,75 | R\$ 9.610,11 | R\$ 1.081,28 | R\$ 110.025,23 |
| 25 | 3477,5 | R\$ 2,90 | R\$ 10.096,00 | R\$ 1.143,27 | R\$ 118.977,97 |

Fonte: Elaborada pelos autores com base em Ribeiro (2019).

Para facilitar o entendimento de como o *payback* se comporta no tempo, também é fornecido o Gráfico 1.

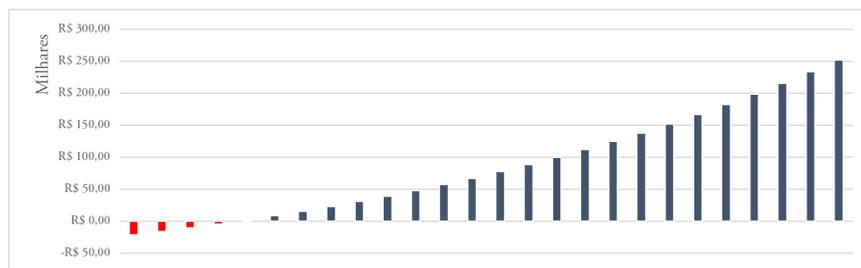


Gráfico 1 Payback para 25 anos de investimento

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Ribeiro (2019).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos, por meio do simulador criado neste trabalho, pode-se dizer que os objetivos foram alcançados, pois é possível verificar se existe vantagem ou desvantagem quando se instala um sistema fotovoltaico baseando-se nas informações necessárias que o próprio usuário fornece. Além disso, o simulador apresenta os valores de *payback* e de economia financeira ao longo dos anos de utilização da energia solar fotovoltaica, que mostra para o futuro consumidor de energia solar se, no âmbito de seu interesse particular, esse investimento em sua residência ou estabelecimento comercial satisfaz sua expectativa de rentabilidade.

O intuito deste trabalho foi fornecer informações importantes sobre a energia fotovoltaica a fim de que qualquer indivíduo possa compreender o funcionamento dessa tecnologia, que tem crescido cada vez mais no Brasil e se tornado uma alternativa, pois apresenta fatores que contribuem para a redução do impacto ambiental e um investimento significativamente rentável em médio e longo prazos.

É importante citar também que a principal contribuição foi desenvolver um simulador que pudesse ser útil a qualquer pessoa como fonte de pesquisa. Trata-se de uma ferramenta de simples utilização em que o usuário pode analisar dados, ter conhecimento aproximado de orçamento, além de verificar graficamente a vantagem financeira alinhada aos seus próprios interesses, com a instalação desse sistema em sua residência ou comércio.

A Tabela 4 apresenta uma comparação da variação dos valores, e pode-se observar que o tempo de retorno do investimento permanece sempre próximo.

TABELA 4

Análise do valor do projeto e do *payback* para as mesmas condições estabelecidas

| Local | Sistema | Consumo mensal (kWh) | Irradiação média (kWh/m ² .dia) | Custo do kWh | Valor do projeto fotovoltaico | Payback |
|------------------------|----------|----------------------|--|--------------|-------------------------------|----------|
| Bombinhas (SC) | Bifásico | 500,0 | 4,4 | R\$ 0,99 | R\$ 21.472,00 | 3,9 anos |
| Bragança Paulista (SP) | Bifásico | 500,0 | 5,1 | R\$ 0,76 | R\$ 19.520,00 | 4,6 anos |
| Florianópolis (SC) | Bifásico | 500,0 | 4,5 | R\$ 0,99 | R\$ 21.472,00 | 3,9 anos |
| João Alfredo (PE) | Bifásico | 500,0 | 5,2 | R\$ 0,48 | R\$ 19.520,00 | 7,1 anos |
| Rio de Janeiro (RJ) | Bifásico | 500,0 | 4,9 | R\$ 1,52 | R\$ 19.520,00 | 2,4 anos |
| Salvador (BA) | Bifásico | 500,0 | 5,3 | R\$ 0,88 | R\$ 17.568,00 | 3,7 anos |
| São Paulo (SP) | Bifásico | 500,0 | 4,6 | R\$ 1,04 | R\$ 21.472,00 | 3,7 anos |

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados obtidos neste trabalho estão de acordo com os encontrados nos estudos de caso realizados por Silva *et al.* (2019) e Ribeiro (2019). Ambos os estudos analisaram situações que envolviam *payback* por meio de instalações de sistemas fotovoltaicos e constataram que o investimento inicial é elevado, porém o tempo de retorno do investimento compensa nos próximos anos. Os autores concluíram que o Brasil apresenta condições favoráveis para a geração de energia fotovoltaica.

Na Figura 1, há um QR Code e, logo abaixo, um link, ambos criados para permitir o acesso à ferramenta idealizada, para que possam ser alimentados os dados de cada indivíduo interessado.



Figura 1 QR Code para a ferramenta disponível para a utilização

Fonte: Elaborada pelos autores.

SOLAR ENERGY SIMULATOR FOR IMPLEMENTATION OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN THE URBAN CONTEXT

Abstract

The scenario in Brazil is favorable for leveraging the photovoltaic solar energy market, as it presents positive conditions for taking advantage of the generation of this kind of energy due to its geographic location and high levels of solar irradiation. Since the installation of the first solar power plant in the country, the electricity sector has been expanding thanks to government incentive programs that enable a better and more efficient market. However, the technology still needs to be used in urban centers due to the lack of financial resources to invest in this high-cost system or knowledge about the financial return the owner will have over the years. In this context, this work presents a tool to verify the economic viability of a photovoltaic project, which can be used by any user interested in installing a photovoltaic system in their home or commercial space. A research methodology based on case studies was used to build this tool, which used the PVsyst platform to obtain the necessary data and Microsoft Excel to perform the calculations and present the results. The developed simulator collects user input information from the data collected in the software and the methodology of previous works. It brings the estimated cost for the implementation of the photovoltaic system. In addition, it brings the savings data over the years after the investment.

Keywords: Solar energy. Computational tool. Photovoltaic simulator.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Bandeiras tarifárias. 2019. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias>. Acesso em: 18 maio 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Informações técnicas. 2016. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introduc-1/656827. Acesso em: 13 abr. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº 687/2015. 2015. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Sistema de Informações de Geração da ANEEL. 2021.

AMADO, M. *et al.* Towards solar urban planning: a new step for better energy performance. *Energy Procedia*, v. 30, p. 1261-1273, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610212016554#:~:text=A%20%E2%80%9Cnew%20step%E2%80%9D%20that%20determines,conception%20phase%20of%20urban%20planning>. Acesso em: 17 fev. 2022.

AMPHENOL BROAD BAND. Qual a importância de um conector em uma instalação solar? Disponível em: <https://amphenolbroadband.com.br/2020/08/13/importancia-de-um-conec-tor-solar/>. Acesso em: 22 abr. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. Usinas solares de grande porte ultrapassam 3 GW de potência. 2020. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/usinas-solares-de-grande-porte-ultrapassam-3-gw-de-potencia-diz-absolar/>. Acesso em: 6 dez. 2021.

BANCO CENTRAL. Histórico das metas para a inflação. 2021. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicometas>. Acesso em: 23 nov. 2021.

BETTIOL, I. C. *Proposta de um mecanismo de giro para sistemas de captação de energia solar através de placas fotovoltaicas*. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/3649/TCC%20Israel%20Costa%20Bet-tiol.pdf?sequence=1>. Acesso em: 4 mar. 2022.

BLOOMBERGNEF. A behind theScenes take on lithium-ion battery prices. 2019. Disponível em: <https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/>. Acesso em: 18 out. 2021.

BRASIL. Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004. 2004. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5163compilado.htm. Acesso em: 12 maio 2021.

BRASIL. *Relatório: Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica – ProGD*. Brasil: Ministério de Minas e Energia, 2015. 210 p. Disponível em: <http://antigo.mme.gov.br/documents/20182/6dac9bf7-78c7-ff43-1f03-8a7322476a08>. Acesso em: 5 abr. 2021.

BRASIL. Resolução Normativa nº 70. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 16 jun. 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-n-70-de-16-de-julho-de-2020-267580871>. Acesso em: 18 out. 2021.

CANAL SOLAR. TOP 5 – Ranking dos maiores fabricantes de inversores solares. *Canal Solar*, 12 jul. 2019. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/top-5-ranking-dos-maiores-fabricantes-de-inversores-solares/>. Acesso em: 15 dez. 2022.

CERQUEIRA, G. A. *et al.* *A crise hídrica e suas consequências*. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisa, Conleg, Senado, abr. 2015. Disponível em: https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/508678/Boletim_do_Legislativo_n.27_de_2015.pdf?sequence=1. Acesso em: 18 maio 2021.

DICIONÁRIO FINANCEIRO. O que é economia de escala? 2021. Disponível em: <https://www.dicionariofinanceiro.com/economia-de-escala/>. Acesso em: 21 maio 2021.

DIDONÉ, E. L.; WAGNER, A.; PEREIRA, F. O. R. Avaliação da influência do contexto urbano na radiação solar para geração de energia. *Urbe: Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 9, n. 1, p. 408-424, out. 2017. DOI 10.1590/2175-3369.009.sup11.ao012.

Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022004000200029&lng=en&nrm=abn. Acesso em: 11 maio 2021.

Disponível em: <https://www.greener.com.br/wp-content/uploads/2020/10/Plataforma-de-Importacoes-Cadeia-de-Suprimentos-Energia-Solar-Greener-2020-1.pdf>. Acesso em: 7 maio 2021.

Editora da UFSC, Labsolar, 2004. 118 p. Disponível em: <https://fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/livros/livro-edificios-solares-fotovoltaicos.pdf>. Acesso em: 9 abr. 2021.

GREENER. Estudo estratégico geração distribuída – 1º Semestre 2021. 2021. Disponível em: <https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategico-mercado-fotovoltaico-de-geracao-distribuida-1-semester-de-2021/>. Acesso em: 7 out. 2021.

GREENER. Importação de módulos fotovoltaicos – 1º semestre 2020. 2020. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmErYzdkNTQ1MTc1NjM2IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhN-GU5YzAx>. Acesso em: 16 jan. 2023.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. Electricity statistics. 2021. Disponível em: <https://www.irena.org/Statistics/Download-Data>. Acesso em: 20 maio 2021.

JARDIM, C. da S. *et al.* O potencial dos sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica em áreas urbanas: dois estudos de caso. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5., 2004, Campinas. *Proceedings* [...]. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2004.

MICHELINI, A. *Baterias recarregáveis para equipamentos portáteis*. São Paulo: S.T.A. – Sistemas e Tecnologia Aplicada Ind. Com. Ltda., 2017. 173 p. Disponível em: <https://www.sta-eletronica.com.br/resources/downloads/ebookbateriasrecarregaveis2.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2022.

OKE, T. R. (1988). Street design and urban canopy layer climate. *Energy and Buildings*, v. 11, n. 1-3, p. 103-113, 1988. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0378778888900266>. Acesso em: 17 fev. 2022.

OLIVEIRA, C. A. A. de. *Desenvolvimento de um protótipo de rastreador solar de baixo custo e sem bateria*. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/7924/1/arquivo9127_1.pdf. Acesso em: 4 mar. 2022.

PEREIRA, E. B. *et al.* *Atlas brasileiro de energia solar*. 2. ed. São José dos Campos: Inpe, 2017. 80 p. Disponível em: [file:///C:/Users/vitor/Downloads/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao_rev-01%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/vitor/Downloads/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao_rev-01%20(1).pdf). Acesso em: 2 dez. 2021.

PETROSOLGAS. A América Latina é o segundo maior mercado de rastreadores solares do mundo. 2020. Disponível em: <https://petrosolgas.com.br/a-america-latina-e-o-segundo-maior-mercado-de-rastreadores-solares-do-mundo/>. Acesso em: 18 out. 2021.

PORTAL ENERGIA. Principais tipos de células fotovoltaicas constituintes de painéis solares. 2017. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/principais-tipos-de-celulas-fotovoltaicas-constituintes-de-paineis-solares/>. Acesso em: 2 dez. 2021.

PORTAL SOLAR. Geração Distribuída de Energia – GD. 2021b. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/geracao-distribuida-de-energia.html>. Acesso em: 24 abr. 2021.

PORTAL SOLAR. Maior fábrica de energia solar do país é inaugurada no interior de São Paulo. 2017. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energiasolar/maior-fabrica-de-energia-solar-do-pais-e-inaugurada-no-interior-de-sao-paulo.html>. Acesso em: 7 maio 2021.

PORTAL SOLAR. Maior usina de energia fotovoltaica da América Latina é inaugurada no Piauí. 2021a. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/maior-usina-de-energia-fotovoltaica-da-america-latina-e-inaugurada-no-piaui.html>. Acesso em: 21 maio 2021.

PORTAL SOLAR. Processo de fabricação de painéis fotovoltaicos. 2021c. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/passa-a-passo-da-fabricacao-do-painel-solar.html>. Acesso em: 21 maio 2021.

PVSYST 7.2. A powerful software for your photovoltaic systems. 2021. Disponível em: <https://www.pvsyst.com/>. Acesso em: 30 set. 2021.

RATTI, C.; RAYDAN, D.; STEEMERS, K. Building form and environmental performance: archetypes, analysis, and an arid climate. *Energy and Buildings*, v. 35, n. 1, p. 49-59, 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778802000798>. Acesso em: 7 maio 2021.

REN21. One surprising way citizens can ensure the energy transition. 2020. Disponível em: <https://www.ren21.net/citizens-energy-transition/>. Acesso em: 7 maio 2021.

RIBEIRO, F. *Estudo de caso: implantação de sistema fotovoltaico on-grid em Piquirivai – Paraná*. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Piquirivai, 2019. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/7088/1/implantacaosistemafotovoltaicopiquirivai.pdf>. Acesso em: 9 abr. 2021.

RÜTHER, R. *Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil*. Florianópolis: LABSOLAR, 2004.

SÃO PAULO. *Resumo executivo: dados de produção e consumo de energia elétrica*. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, 2021. 2 v. Disponível em: https://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/portalecv2/intranet/BiblioVirtual/eletrica/Resumo_Executivo_EE.pdf. Acesso em: 21 maio 2021.

SEBASTIÃO, J. R. *Dopagem de silício monocristalino pela transmutação com neutrons*. 1992. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 1992. Disponível em: http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Jose%20Ricardo%20Sebastiao_M.pdf. Acesso em: 4 maio 2021.

SGN – SOLUÇÕES EM ENERGIA. Projeto básico – Sistema de Energia Solar. 2021. Disponível em: <http://www.sgnsolucoes.com.br/formas-de-energia.html>. Acesso em: 6 dez. 2021.

SILVA, L. S. *et al.* Avaliação de custo-benefício da utilização de energia fotovoltaica. *Revista de Ciência e Tecnologia*, Belém, v. 5, n. 9, p. 1-12, jan. 2019. Disponível em: <https://revista.ufr.br/rct/article/view/5405>. Acesso em: 21 maio 2021.

STROMANN-ANDERSEN, J.; SATTRUP, P. A. The urban canyon and building energy use: urban density versus daylight and passive solar gains. *Energy and Buildings*, v. 43, n. 8, p. 2011-2020, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778811001605>. Acesso em: 4 mar. 2022.

TERECE, A.; KESTEM, D.; EICKER, U. The impact of the urban form on heating, cooling and lighting demand of cities. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE URBANISATION, 1., 2010, Hong Kong. *Proceedings* [...]. Hong Kong: Hong Kong Polytechnic University, 2010. p. 15-17. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/267200425_The_impact_of_the_Urban_form_on_heating_cooling_and_lighting_demand_of_cities. Acesso em: 7 maio 2021.

WANG, W. *et al.* A polycarboxylic/ether composite polymer electrolyte via in situ UV-curing for all-solid-state lithium battery. *Royal Society Open Science*, London, v. 7, n. 7, p. 1-5, 15 July 2020. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsos.200598>. Acesso em: 21 maio 2021.

WOOD MACKENZIE. The global PV inverter and MLPE landscape 2019. 2019. Disponível em: <https://www.woodmac.com/our-expertise/focus/Power-Renewables/inverter-landscape-2019/>. Acesso em: 21 maio 2021.

Contato

Sílvia Maria Stortini González Velázquez
velazquez@mackenzie.br

Tramitação

Recebido em março de 2022.
Aprovado em abril de 2022.