

ENERGIA RENOVÁVEL E CONSUMO SUSTENTÁVEL: IMPLEMENTAÇÃO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS NA ARQUITETURA BRASILEIRA

Mirella Pagano Stipkovic (IC) e Karen Niccoli Ramirez (Orientador)

Apoio: PIVIC Mackenzie

RESUMO

A Revolução Industrial acarretou transformações na sociedade, na economia e no meio ambiente, devido à lógica capitalista e ao alto consumo de combustíveis fósseis. Este comportamento resultou em diversos problemas ambientais, em destaque as emissões de gases do efeito estufa. Diante disso, as nações buscam por outras fontes, preferencialmente renováveis, para reduzir a dependência dos combustíveis fósseis e diversificar a matriz energética e elétrica. Dentre elas, a fonte solar fotovoltaica recebeu grandes investimentos e projetos internacionais, destacando a Alemanha e o Japão como pioneiros desde os anos 2000. Já no contexto brasileiro, este avanço da energia solar foi mais lento e atingiu altos índices e percentuais somente no fim de 2021. Este cenário é reflexo da crise hídrica, que promoveu aumento da conta de luz e da redução do custo dos equipamentos, tornando o produto mais acessível e garantindo o retorno financeiro em menor tempo. Diante disso, o artigo tem como objetivo principal compreender a viabilidade socioeconômica e ambiental da aplicação do sistema solar fotovoltaico associado a produção arquitetônica brasileira. A partir disso, percebeu-se que o setor solar FV apresenta perspectivas positivas para o futuro e que a comunicação entre a arquitetura e o projeto solar é fundamental. Entretanto, faz-se necessária uma legislação que incentive e que esteja alinhada com o sistema de logística reversa dos painéis fotovoltaicos.

Palavras-chave: Placas Fotovoltaicas. Sustentabilidade. Arquitetura.

ABSTRACT

The Industrial Revolution led to transformations on society, economy and on the environment, due to capitalism and high consume of fossil fuels. This behavior results in several environmental problems, highlighting the greenhouse gas emissions. Therefore, nations search for alternative sources, preferably renewables, to reduce the dependency of fossil fuels and diversify the energy and electrical matrix. Amongst them, the solar photovoltaic source received large investments and international projects, highlighting Germany and Japan as pioneers since 2000. Although, in the Brazilian context, the development of solar energy was slower and only reached high rates and percentages by the end of 2021. This scenario is a reflex of the water crises, which promoted the increase of the electricity bill, and reducing the cost of equipment, making the product more accessible and ensuring the payback in less time. Therefore, the main objective of the article is to understand the socioeconomic and

environmental viability of the application of the solar photovoltaic system, associated with the Brazilian architectural production. In conclusion, it was noticed that the sector PV presents positives prospects for the future and that the communication between the architecture and the solar project is fundamental. Nonetheless, it is necessary a legislation that encourage and that is aligned with the reverse logistics system of photovoltaic panels.

Keywords: Photovoltaic panels. Sustainability. Architecture.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contexto, problema de pesquisa e objetivos

O período conhecido como Revolução Industrial, impactou o cenário mundial devido aos grandes avanços tecnológicos e aos novos modos de produção, pautados no capitalismo, que trouxeram mudanças no comportamento do indivíduo, em destaque o elevado consumo de combustíveis fósseis. O uso do petróleo, carvão e gás natural como fontes de energia provoca a liberação de gases poluentes que intensificam o fenômeno do efeito estufa, pois a grande concentração desses gases na atmosfera intensifica a absorção da radiação solar pela superfície terrestre, e conseqüentemente, o aumento da temperatura do planeta

No cenário pós Segunda Guerra Mundial, as nações voltam suas preocupações para as questões ambientais, decorrente do período industrial. Logo, em 1972, é realizada a Conferência de Estocolmo, organizada pela ONU (Organização das Nações Unidas) na Suécia, que reuniu 113 países e 250 organizações. Essa reunião representa o ano em que o direito ambiental passou a ser reconhecido como ramo jurídico, embora diversos tratados importantes a respeito tivessem sido assinados com anterioridade e as legislações internas de diversos países tenham se ocupado com problemas ambientais, como matéria florestal, água e outros (JUNIOR; LACERDA; SILVA, 2005). A partir dessa conversa, foram discutidos três principais assuntos, a preservação da fauna e da flora, a redução da utilização de resíduos tóxicos e o desenvolvimento atrelado ao meio ambiente. Em adição a isso, foram produzidos dois documentos, a Declaração de Estocolmo com 26 princípios referente à responsabilidade ambiental dos países e o Plano de Ação do Meio ambiente, com 109 recomendações. Após a reunião, ocorreu a inauguração da agenda mundial de discussões ambientais, foi instituído o direito ambiental internacional e criado o Programa das Nações Unidas.

Diante disso, percebe-se o marco que a Conferência de Estocolmo representa no cenário ambiental mundial e sua influência nas demais organizações e acordos que ocorreram posteriormente. Em relação às conferências, tem-se destaque a ECO-92 realizada no Rio de

Janeiro em 1992, reunindo 172 países e centenas de organizações de diversas nações. Este encontro resultou na assinatura de cinco importantes acordos: Agenda 21, Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, Princípios para a Administração Sustentável das Florestas, Convenção da Biodiversidade e a Convenção do Clima. Já em relação aos acordos, destaca-se o Acordo de Paris, firmado em 2015 na COP-21, assinado por 195 países com o principal objetivo de reduzir a emissão de gases do efeito estufa, limitando o aumento da temperatura global a no máximo 2°C (CABRAL, 2019).

Em vista ao compromisso firmado entre as nações, procuravam-se fontes alternativas para gerar energia, preferencialmente renováveis. Dentre elas estão as energias solar, eólica, biomassa, geotérmica, oceânica e hidrogênio que são possibilidades para reduzir e substituir o uso dos combustíveis fósseis, que de acordo com a EPE (2020) representava em 1980, 69,62% da geração de energia elétrica mundial.

No decorrer de 2000 a 2020, houve grandes investimentos mundiais, principalmente feitos pelo Japão e pela Alemanha, que desde 2000 criou um programa chamado *Energiewende* com o intuito de oferecer auxílio para o cidadão que instala placas solares, sendo capaz de gerar sua própria eletricidade e vender o excedente para os vizinhos. Devido aos constantes investimentos, em 2021, o Japão conquistou a posição de quarto maior em capacidade acumulada solar fotovoltaica no mundo, totalizando 74.1GW (ABSOLAR, 2021), com base em dados da Agência Nacional de Energia Elétrica e da Agência Internacional de Energias Renováveis - IRENA. Em contraposição, o Brasil apresenta capacidade acumulada de apenas 13,6 GW.

Além disso, percebe-se que em um contexto no qual 73% dos gases do efeito estufa - GEE - são emitidos a partir do consumo de energia (WRI BRASIL, 2020), a busca por fontes de energia renováveis é necessária, com o intuito de reduzir o impacto sobre o meio ambiente. Logo, a pesquisa procura analisar as placas fotovoltaicas, como uma possível alternativa para a geração de energia no Brasil.

Com isso em vista, procura-se entender qual o papel da arquitetura nesse contexto. Um projeto residencial, empresarial ou industrial é baseado em premissas e necessidades que devem ser atendidas. Isto posto, se durante o desenvolvimento deste projeto fossem abordadas e consideradas tecnologias e sistemas sustentáveis, seria possível trazer diversos resultados positivos tanto para o cliente, quanto para a sociedade e para o meio ambiente. A partir de estudos desenvolvidos no Laboratório Nacional Lawrence Berkeley, na Califórnia, quantificou-se uma valorização de 3% a 6% em imóveis com energia solar fotovoltaica. Junto disso, uma pesquisa realizada em 2021 com mais de 900 pessoas pela Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias - ABRAINC - em parceria com a empresa Brain Inteligência

Estratégia, relatou que 66% dos compradores brasileiros estão dispostos a pagar um valor mais alto pelo imóvel com o sistema solar instalado (PORTAL SOLAR, 2022).

As principais questões que norteiam a pesquisa abordam a materialidade dos módulos, o contexto brasileiro, o investimento inicial e seu retorno financeiro, além de seu impacto e a contribuição arquitetônica. Assim, este artigo tem como objetivo principal analisar a viabilidade do uso das placas fotovoltaicas na arquitetura, evidenciando aspectos econômicos, ambientais e sociais, no contexto brasileiro.

Especificamente, busca estudar a participação e a influência do governo neste setor, assim como analisar os sistemas possíveis para a geração de energia solar. Também são apresentados os custos da implementação desse sistema energético, explicitados os componentes das placas fotovoltaicas e analisados os possíveis impactos que uso dos painéis solares traz ao meio ambiente e à sociedade. Finalmente, busca-se evidenciar estudos de caso como exemplos de utilização da tecnologia na arquitetura brasileira.

1.2. Metodologia

A presente proposta apoia-se tanto em estudos teóricos sobre o objeto e contexto em que ele está inserido, quanto em estudos quantitativos, estudos de caso e participação em eventos. No quesito teórico, entende-se a leitura de livros, trabalhos de mestrado, doutorado e graduação, artigos de revista e periódicos que colaborem para o desenvolvimento e ampliação do conhecimento sobre o assunto e compreensão técnico dos sistemas solares fotovoltaicos. Já do ponto de vista quantitativo, foram analisados e interpretados dados de capacidade instalada e de geração de energia elétrica, de consumo energético por setor e por classe, dentre outros. Nesse aspecto, aplica-se o Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020, *Fact Sheet*: Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020, Boletim Trimestral de Consumo de Eletricidade Ano 1/2/3, realizados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), *Renewable Energy Data in Perspective – Key Messages* produzido pela REN21 e dados adquiridos de estudos de caso de projetos que aplicaram as placas fotovoltaicas. A parte da pesquisa referente a análise de exemplos da aplicação da energia fotovoltaica no Brasil foi conduzida a partir de um levantamento de informações sobre as premissas aplicadas no projeto, suas dimensões, o sistema utilizado, a sua localização e o seu uso. Com isso em vista, utilizaram-se de informações disponíveis nos *webítes* dos escritórios e empresas envolvidas, e contatos realizados por e-mail e celular.

Além da fase de leitura e interpretação de informações, necessitou-se de contato próximo com o produto para maior entendimento de seu funcionamento, valor e manutenção. Dito isso, foram realizados orçamentos virtuais com seis empresas para uma simulação de

custo da instalação das placas, além da participação em feiras, palestras, como o programa digital ABSOLAR INSIDE e videoaulas. Dentre esses eventos, houve a feira internacional *The Smarter e South America* que ocorreu em São Paulo no mês de outubro de 2021, reunindo ao todo 380 empresas expositoras de 40 países distintos. A partir dessa feira, foi possível estabelecer contato com as empresas deste ramo e com as inovações tecnológicas mais recentes no meio da energia solar, como painéis fotovoltaicos em formato ondulado da empresa L8, os quais simulam as curvas das telhas cerâmicas. Dessa forma, expandiu-se a visão sobre o objeto de pesquisa e sobre os planos do mercado para a energia fotovoltaica no mundo e no Brasil.

1.3. Justificativa

A busca por novas formas de geração de energia renovável cresce a cada ano, dentre elas a energia solar fotovoltaica, devido à preocupação em manter o aumento da temperatura global abaixo de 2°C. Posto isto, o principal meio de evitar tal situação é a redução da emissão dos gases do efeito estufa, em destaque o dióxido de carbono, que teve aumento de 6,8% decorrente da geração de energia elétrica no Brasil (EPE, 2020), porém mundialmente manteve-se estável (BEN21, 2020). Entretanto, mesmo em escala global, necessita-se de investimentos no setor renovável de forma contínua e progressiva, como é visto ao longo dos anos 2019, 2020 e 2021, respectivamente, que contabilizaram USD298.4 bilhões (REN21, 2021), USD303.5 bilhões (REN21, 2021) e USD366 bilhões (REN21, 2022).

Além disso, foram desenvolvidos diversos projetos em diferentes países que colaboraram para esse crescimento do uso da fonte solar. Dentre eles, tem-se o “bairro solar” na cidade de Friburgo, na Alemanha, inaugurado em 2006 e conhecido por produzir quatro vezes mais energia do que consome. O projeto desenvolvido pelo escritório alemão *Rolf Disch Architecture*, construiu um condomínio sustentável de 59 residências multifamiliares, entre 75 e 162m², e um grande edifício comercial em uma área de 11.000m² utilizando madeira e técnicas ecológicas. As habitações receberam individualmente um sistema solar fotovoltaico *on-grid* com capacidade de produzir até 445kWh/mês, resultando na geração de 420.000kWh anual. Esse valor somado a eficiência energética das casas evita o consumo de até 200.000 litros de petróleo e a emissão de 500 toneladas de dióxido de carbono por ano, sendo assim um exemplo positivo do desempenho das células fotovoltaicas.

Junto deste projeto, porém em uma escala maior, destaca-se a *Fujisawa Sustainable Smart Town* (FSST) localizada na província de Kanagawa, no Japão, inaugurado em 2014 pela Panasonic em parceria com 8 empresas. A FSST é uma cidade inteligente e sustentável de aproximadamente 19hectares, planejada para uma população de 3000 pessoas e

desenvolvida a partir de 5 pilares: bem-estar, segurança, comunidade, mobilidade e energia. O principal objetivo é propor um *smart lifestyle* - modo de vida inteligente - atrelado à inovação tecnológica e à sustentabilidade, criando infraestrutura e espaços inteligentes. Dessa maneira, todas as residências possuem módulos fotovoltaicos nos telhados para gerar a própria energia e baterias para armazenar o excedente, assim como os espaços públicos e o sistema de transporte. Decorrente dessas medidas estabelecidas, tem-se como metas a redução em 70% da emissão de CO₂, a diminuição em 30% do consumo de água e o fornecimento de 30% da energia utilizada proveniente do sistema fotovoltaico (FSST, 2018).

Diante dos exemplos apresentados, depara-se com a eficácia em projetos internacionais de diferentes dimensões, que optaram pela energia solar a partir de módulos fotovoltaicos no sistema de geração distribuída, visitados e reconhecidos por diversas nações. Tais exemplos contribuem para impulsionar mundialmente a aplicação dessa fonte de energia limpa.

2. DESENVOLVIMENTO DO ARGUMENTO

2.1. Referencial teórico

Diante dos objetivos estabelecidos, vê-se necessária tanto uma base teórica que permita compreender a presença do governo e um estudo das opções dessa fonte energética, quanto um levantamento da composição desses sistemas e do impacto ambiental, social e econômico da aplicação dos módulos fotovoltaicos.

Com a finalidade de aprofundar o entendimento sobre os componentes de um sistema fotovoltaico, o funcionamento e o projeto, é feita a leitura do livro “Introdução ao Projeto de Sistemas Fotovoltaicos” (2013) escrito por John Balfour, Michal Shaw e Nicole Bremer Nash. Por meio deste trabalho, foi contemplado desde o conjunto das estruturas fotovoltaicas, denominado de “matriz”, que é o resultado de diversos painéis fotovoltaicos ligados em paralelo e em série, até as células fotovoltaicas. Junto disso, foram abordados materiais como baterias, inversores, controladores de carga, entre outros. Diante dos diversos assuntos desenvolvidos, percebe-se que cada sistema é reflexo de um projeto específico e personalizado, pois dependem de muitas particularidades, como incidência solar, o melhor ângulo para aproveitar ao máximo o potencial dos módulos, o local, as necessidades do cliente, e os materiais disponíveis.

Em adição a isso, a dissertação de mestrado “Desafios e perspectivas da energia fotovoltaica no Brasil: geração distribuída vs geração centralizada” (2019) escrita por Narlon Xavier Pereira, também colabora para o desenvolvimento da pesquisa, pois contempla uma análise dos modelos de geração, em que levanta aspectos positivos e negativos de cada uso.

Além disso, apresenta um panorama mundial da aplicação dessa fonte energética, destacando a Alemanha, o Japão, a China e os Estados Unidos, principais países no ramo de investimento e de capacidade de geração de energia fotovoltaica, e no contexto brasileiro é feita a comparação entre o modo centralizado e o distribuído.

Com o intuito de compreender o reflexo do crescimento do setor solar fotovoltaica no meio ambiente, tem-se o artigo periódico “Tecnologias para Reciclagem de Sistemas Fotovoltaicos: Impactos Ambientais” (2018), de autoria de Thays Fernandes Coelho e de Juan Carlos Valdés Serra. De acordo com Serra e Coelho (2018), os componentes das placas quando reciclados incorretamente, podem resultar na lixiviação de materiais tóxicos, como chumbo e cádmio. Logo, é preciso realizar a quebra dos painéis e em seguida submetê-los a tratamento, seja físico, químico ou a combinação de ambos. Tendo isso em mente, o artigo “Gestão do fim de vida dos módulos fotovoltaicos”, redigido por Rosana Teixeira Miranda, Francielle Silva Leandro e Tatiane Caetano Silva, discute o descarte dos módulos após a expectativa de vida útil, em que apresenta a maneira que alguns países estão se preparando, assim como regulamentações e estratégias que estão em andamento. Além disso, os autores reforçam a importância de incentivos para a implementação da logística reversa e dessa maneira o impacto ambiental seria reduzido e os materiais seriam reaproveitados.

Em conjunto aos trabalhos acima, outros materiais também foram fundamentais para a pesquisa. Dentre eles, tem-se palestras, como o programa digital ABSOLAR INSIDE, videoaulas ministradas por Barbara Rubim, Vice-Presidente do Conselho de Administração da ABSOLAR e CEO da Bright Strategies, matérias de grandes veículos, como Portal Solar e Bluesol, documentos oficiais de diversas instituições, como IRENA, EPA, EPE e REN21 e contas de energia elétrica da empresa ENEL. A partir das fontes citadas acima, contemplou-se os principais aspectos estudados nessa pesquisa.

2.2. Compreensão técnica dos módulos e dos sistemas solares fotovoltaicos

2.2.1. Componentes do sistema solar fotovoltaico

Os sistemas fotovoltaicos são personalizados de acordo com o local que será instalado, as condições climáticas e as necessidades do cliente. Porém, de maneira simplificada, o projeto é formado por duas partes: matriz fotovoltaica e os componentes de equilíbrio do sistema (BOS), respectivamente (BALFOUR, SHAW e NASH, 2013).

Ao analisar da escala macro para a micro, a matriz é o resultado da ligação em paralelo e em série entre módulos fotovoltaicos, também denominados de painéis fotovoltaicos. Cada módulo é composto de células que vão gerar tensões e correntes após serem submetidas ao processo de dopagem e o material semicondutor reagir ao sol. Dito isto, o módulo é geralmente formado por uma camada de células encapsuladas em outro material e prensado

por outras duas de substrato (BALFOUR, SHAW e NASH, 2013). O encapsulamento pode ser realizado em 4 técnicas diferentes: etileno-vinil acetato (EVA), polivinil butiral (PVB), teflon ou resina. Este processo é fundamental para a durabilidade do módulo, pois está suscetível ao clima, por exemplo granizo; ao pó; à sujeira; aos animais como pássaros; logo, é necessário garantir tanto a segurança quanto promover a autolimpeza.

Segundo Oliveira (2017), a matéria-prima utilizada para a célula fotovoltaica é o silício cristalino, em que existem três tipos empregados, o silício monocristalino (mono/c-Si), policristalino(multi/c-Si) e amorfo (a-Si), respectivamente. A primeira variação apresenta a maior eficiência, entre 15% e 21%, e possui a estrutura atômica mais ordenada, composto por lingote de cristal que é cortado em fatias - *wafer* -, facilitando o seu manuseio. Entretanto, estas características tornam o material mais caro para ser produzido e o processo é moroso. Dito isto, o silício policristalino é a opção de semicondutor com eficiência entre 13% e 16% com estrutura parcialmente ordenada, mas não se organiza em um único cristal como o mono/c-Si, e o seu custo é menor. Já o silício amorfo é o material mais barato, contudo, apresenta aspecto maleável, quando comparado aos demais, pois sua estrutura é mais fraca, e baixa eficiência (BALFOUR, SHAW e NASH, 2013).

O processo de fabricação das células fotovoltaicas pode ser realizado com a técnica de fitas de silício ou de película fina. As fitas de silício possibilitam a redução significativa de desperdício, pois as células são extraídas do silício em forma líquida, logo não há o processo de corte, evitando a liberação de poeira e de gasto de energia (BALFOUR, SHAW e NASH, 2013). O método de película fina, também conhecido como “módulos brutos”, é mais barato e fácil de ser produzida, em que o substrato se apresenta sob qualquer forma e dimensão, e normalmente é utilizado o vidro.

Além da matriz fotovoltaica, o sistema também depende dos componentes de equilíbrio do sistema (BOS). Esta categoria inclui: inversores, baterias, controladores de cargas, condutores (fios), condutos, circuitos de aterramento, fusíveis, disjuntores, tomadas e estruturas de montagem (BALFOUR, SHAW e NASH, 2013). A necessidade de cada produto varia de acordo com o tipo de sistema, conectado à rede ou de armazenamento e com as condições físicas e climáticas do local. Percebe-se isso, por exemplo, para definir qual será a melhor opção de montagem para os módulos fotovoltaicos, pois o ideal seria estarem voltados para o hemisfério Norte, no Brasil, em um local que consiga evitar o sombreamento e permitir o acesso para manutenção. Estas são algumas variantes que influenciam a composição do sistema, logo reforça-se a compreensão de que todo projeto é único.

2.2.2. Geração distribuída (*on-grid* e *off-grid*)

De acordo com a *Environmental Protection Agency* – EPA (2022), a Geração Distribuída (GD) remete a uma variedade de tecnologias, incluindo a solar fotovoltaica, que geram eletricidade próximo à ou na unidade de consumo (figura 3). Este sistema, quando conectado as linhas de distribuição de baixa tensão da concessionária, é denominado de *on-grid*, pois ao estar conectado à rede, a energia produzida ao longo do mês é injetada na rede e caso haja um excedente, ou seja, a unidade consumidora tenha gerado mais kWh do que consumido, esta quantidade será enviada e convertida em créditos para o consumidor (PEREIRA, 2019). No sistema fotovoltaico *on-grid*, utiliza-se o inversor *grid-tied* para transformar a energia gerada pelas placas em corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA), sendo assim compatível com a energia elétrica da distribuidora local.

No entanto, a geração distribuída também pode ser realizada em locais distantes das concessionárias e distribuidoras. Nesta situação será aplicado o sistema fotovoltaico *off-grid* que é composto pelas placas fotovoltaicas, inversores, controladores de carga e baterias, para armazenamento (Figura 1). Em contraposição ao *on-grid*, este sistema armazena a energia gerada nas baterias, utiliza o controlador de carga para monitorar o carregamento das baterias e evitar a sua sobrecarga (BALFOUR, SHAW e NASH, 2013) e o inversor *grid-tied* converte CC em CA. Desta maneira, a unidade consumidora não possui uma relação de dependência com as concessionárias de energia, pois a energia gerada ao longo do mês irá abastecer a residência e o excedente estará armazenado no sistema de baterias.

Figura 1 - Ilustração das etapas dos sistemas fotovoltaicos *on-grid* e *off-grid*



Fonte: Autoria própria (2022). Adaptado de Neosolar, Bluesol, Ultra coloring pages, Free pik company, ASolar e PNGtree.

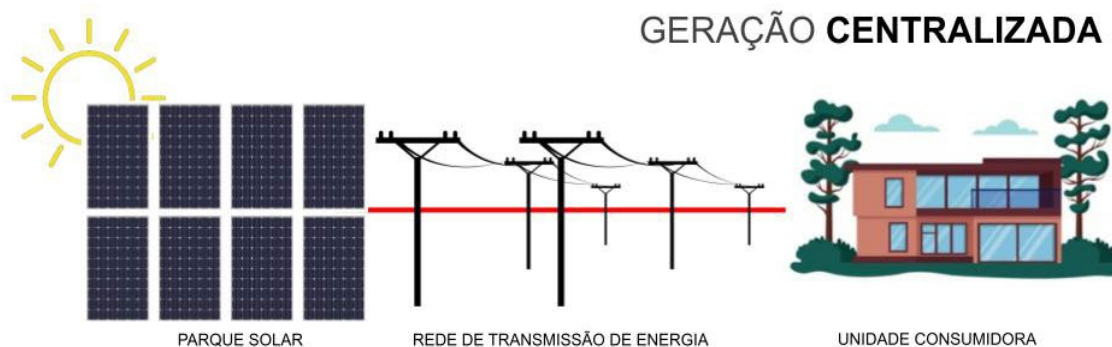
Ao estudar os sistemas da Geração distribuída, percebe-se que ambos trazem aspectos positivos para a sociedade, já que são resultado do uso de uma fonte renovável, consequentemente reduzindo a liberação de gases poluentes que são emitidos por outras fontes; reduzem as perdas de eletricidade durante a distribuição e transmissão (EPA); reduzem os gastos com a conta de luz (*on-grid*) e garantem acesso à energia em locais

remotos (*off-grid*). No entanto, quando o cliente opta pelo modelo desconectado da rede, faz-se o uso das baterias, cujo produto resulta no aumento do valor do projeto do sistema e em maior resíduo gerado, pois baterias de chumbo, por exemplo, tem vida útil entre 5 e 10 anos (MIRANDA, LEANDRO e SILVA, 2019).

2.2.3. Geração centralizada

O sistema centralizado é definido pelo EPA (2022) como geração de eletricidade em larga escala em instalações que estão distantes das unidades consumidores e são conectadas em redes de transmissão de alta tensão (Figura 2). Neste sistema, pode-se denominar a estação de energia solar fotovoltaica como “parque solar” ou “usina de energia solar” (PEREIRA, 2019).

Figura 2 - Ilustração das etapas dos sistemas fotovoltaicos em Geração Centralizada



. Fonte: Autoria própria (2022). Adaptado de Neosolar, Ultra coloring page e PNGtree.

O parque solar necessita de áreas extensas para sua instalação, logo foram desenvolvidas diversas formas de disposição dos módulos, levando em consideração aspectos como topografia do terreno, a localização, a incidência solar e a capacidade de transmissão e conexão com a rede (PEREIRA, 2019). O modelo mais comum para organização dos painéis é em solo, com instalação fixa ou variável, como visto no Bhadla Solar Park localizado na vila de Bahdla, no Rajastão, que possui a capacidade de 2,25GW com 10milhões de módulos instalados e ocupa uma área de aproximadamente 5,78hectares.

Além do exemplo ilustrado acima, as usinas também podem ser instaladas em lagos ou represas, sendo essa uma possível solução para países que não possuem extensão territorial suficiente. Estes parques solares são chamados de “usinas solares flutuantes” (PEREIRA, 2019). Junto disso, as matrizes solares flutuantes apresentam diversos aspectos positivos como o resfriamento natural das placas e reduzem a evaporação do corpo d’água ao gerarem sombras (LOPES et al, 2016). No Brasil, tem-se plantas já instaladas, como na Hidrelétrica de Balbina, em Presidente Figueiredo – Amazonas, em que foram instaladas placas fotovoltaicas no lago, em 2016, com capacidade esperada de produzir 5MWP,

quantidade suficiente para abastecer 9mil residências. Apesar deste projeto ser um modelo de geração centralizado, também se enquadra em um “sistema híbrido” entre duas fontes de energia, pois é aproveitado a capacidade dos reservatórios e a infraestrutura da hidrelétrica que é uma subestação que poderia transmitir aproximadamente 250MW, porém usa apenas 50MW. Portanto, a quantidade de 200MW será suplementada pela energia solar que será gerada pela usina flutuante, que possui custo reduzido, refletindo na diminuição da tarifa de energia elétrica, garantindo segurança energética e diversificando a matriz elétrica brasileira.

Em relação à geração distribuída, a centralizada otimiza os custos de geração e distribuição, garante o fluxo convencional unidirecional do sistema elétrico e pode colaborar no período vespertino que necessita de grande demanda de energia, já que este sistema é idealizado com alta potência para a distribuição. Apesar do que foi apontado, a geração distribuída também apresenta vantagens, pois necessita de uma área menor, o consumidor pode utilizar do Sistema de Compensação de Energia, garante energia em áreas remotas e diminui as perdas no sistema elétrico (PEREIRA, 2019).

2.3. Aplicação de sistemas solares fotovoltaicos no Brasil

2.3.1. Biblioteca brasileira Guita e José Mindlin

O projeto da Biblioteca Brasileira Guita José Mindlin foi realizado pelos escritórios Eduardo de Almeida e Mindlin Loeb+Dotto Arquitetura e finalizado em 2013. O programa contempla o acervo do Instituto de Estudos Brasileiros (IEB), a livraria, a cafeteria, a sala de exposições e o auditório para 300 pessoas. Dentro das premissas desta construção, foram levados em consideração elementos sustentáveis, em que os espaços estão interligados por uma cobertura de lanternim central de vidro laminado, permitindo a entrada de luz natural, reduzindo a demanda de luz durante o dia, e consequentemente, seu gasto. Junto disso, apresenta filtros UV e plano de chapa perfurada, garantindo também a proteção dos livros em relação aos raios solares.

Após a conclusão da obra, o Instituto de Elétrica e Eletrônica (IEE) teve a iniciativa de aproximar a energia solar fotovoltaica dos alunos e incentivar essa fonte solar no Brasil, implementando em 2014 uma usina solar fotovoltaica no Campus da USP que é composta por 4 subsistemas. Todos conectados à rede e totalizam de 540kW de potência, que compreende a cerca de 1% da demanda anual do Campus. No IEE, foram instalados três subsistemas e no projeto estudado foi instalado um subsistema na cobertura com **150kW** de potência, tal valor é suficiente para suprir a demanda diária do complexo. Além de promover o uso de técnicas e tecnologias sustentáveis, permite que os estudantes tenham contato direto com esse material.

2.3.2. Casa Palicourea

A residência Casa Palicourea está localizada em São Jorge – GO, próximo do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, foi desenvolvida pelo escritório BLOCO arquitetos e a obra foi concluída em 2021. O projeto recebeu prêmios, como Prêmio de Arquitetura Tomie Ohtake Azko Nobel (2021), e foi indicado a concorrer ao Mies Crown Hall Americas Prize – MCHAP 2022.

A obra é composta por duas edificações “irmãs”, sendo elas uma casa e um ateliê, visto que a cliente é uma arquiteta paisagista e trabalha com o bioma cerrado e com as espécies nativas, logo era necessário que o programa de necessidades contemplasse um escritório para suas atividades educacionais e artísticas. Dessa forma, percebe-se que a residência busca equilibrar o morar, as necessidades da cliente e a preservação da natureza. Diante disso, foram adotadas algumas técnicas para unir o habitar ao conforto térmico, dentre elas tem-se a cobertura em laje de concreto maciço na área dos quartos e banheiros, criando um “colchão de ar” com a cobertura de madeira que estimula a ventilação natural, assim evita-se a necessidade de aparelhos como o ar-condicionado. Já no programa dos espaços de convívio foram empregados brises corrediços e vazados de madeira ao longo das esquadrias de vidro de correr, permitindo que houvesse iluminação e ventilação natural. Com esta mesma finalidade, os corredores internos apresentam trechos de paredes de tijolos vazadas e todos os ambientes projetados têm a possibilidade de ventilação cruzada, com portas e janelas de ambas as laterais.

Os aspectos levantados acima são reflexo de escolhas sustentáveis feitas pelo escritório, junto disso destaca-se o uso de tecnologias dessa seara, como o sistema solar fotovoltaico para energia e de “tubos a vácuo” para aquecer a água, e sistema de filtragem, armazenamento e reutilização das águas pluviais.

Segundo a empresa Fonte Solar (2022), a região não possuía rede concessionária, logo foi elaborado um sistema denominado “Gabinete ESS híbrido” (Energy Storage Systems), em que permite a transição entre um sistema *off-grid* para *on-grid* com “backup”. Posteriormente foram feitas as alterações e foi homologado o sistema quando chegou a rede, permitindo a compensação da energia. O projeto é composto por 24 módulos com potência instalada de 8,04kWp e com geração mensal média de 940kWh. Os módulos foram montados na cobertura, na porção do ateliê, que tem apenas uma inclinação (uma água), assim facilitando a aplicação do sistema solar fotovoltaico.

A partir desse projeto, observa-se a possibilidade da aplicação da energia solar em um local remoto, no contexto brasileiro e a sua integração fundamental com a arquitetura, já que

desde o início do projeto percebe-se a conexão entre as soluções construtivas e as soluções ecologicamente corretas.

2.3.3. Casa Modelo

A Casa Modelo é um projeto da Bio Empreendimentos em parceria com a PITTA Arquitetura, visando o contato com a natureza e a mínima interferência no meio, em que o eixo central da obra é a sustentabilidade. Dito isto, a residência de 110m² foi construída em 2018, em Ubatuba e serve como exemplo de estilo de vida ecológico para os demais moradores. Junto disso, apresenta-se a área comum como um espaço flexível que pode exercer diversas funções para grupos distintos, mantendo seu aspecto acolhedor e de proximidade com a natureza.

Os aspectos climáticos da região e o terreno nortearam o processo projetual, em que devido ao clima úmido e quente elevou-se a casa do solo e foram desenhados ambientes com pé direito alto e grandes aberturas, assim reduzindo a umidade e promovendo a ventilação natural. Além disso, a implantação da residência e definição da disposição do plano de necessidades visou a insolação, logo, os quartos estão na área leste, recebendo o sol da manhã, e as áreas de baixa permanência estão virados para oeste, porém abundante vegetação promove a proteção. Pensando no inverno, foi instalada uma parede frontal de concreto e o piso que absorvem os raios solares do dia e irradiam a noite.

Em conjunto às soluções arquitetônicas, foram empregadas tecnologias sustentáveis, como o uso de equipamentos de baixo consumo com selo PROCEL, iluminação de LED e painéis fotovoltaicos. O sistema instalado na cobertura da casa foi o *on-grid* formado por dez painéis com potência instalada de 2,7kWp, sendo assim capaz de suprir completamente o gasto de energia, com produção média mensal de 175 kWh, de acordo com Bio Empreendimentos. Este projeto permite refletir sobre a relação entre a arquitetura, os conceitos do projeto e o sistema solar fotovoltaico, mostrando a sua viabilidade para uma residência de pequeno porte, com gasto mensal próximo do valor de consumo residencial médio brasileiro divulgado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

2.4. Análise econômica e cenário político

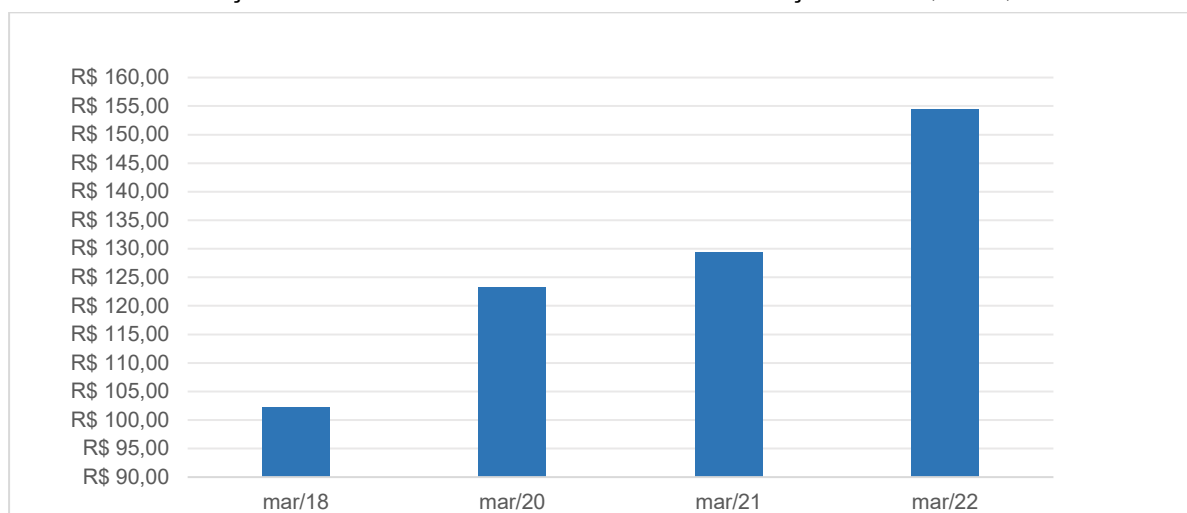
Ao estudar e analisar a evolução econômica do setor e a relação com o social, percebe-se que o contexto político está diretamente associado a este processo. Para compreender isto, retoma-se o período de 2014 e 2015 no Brasil, marcado pela crise hídrica, que deu início ao aumento do preço da conta de luz com a implementação das “bandeiras tarifárias”. Este recurso serve como indicador de quanto custa a geração de energia, em que varia de acordo com as fontes que foram utilizadas naquele período.

Além disso, durante estes anos tem-se tanto movimentação no cenário mundial quanto nacional na política, já que foram assinados acordos como Acordo de Paris, citado anteriormente, e foi criado o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD). O Ministério de Minas e Energia (MME) foi o autor do projeto, em que tem como objetivo a ampliação e aprofundamento das ações de estímulo à geração distribuída pelos consumidores, por meio de fontes renováveis, com destaque para a fonte solar fotovoltaica. Junto disso, teve-se no mesmo período a publicação da Resolução Normativa 687/2015 pela ANEEL, que se refere à atualização da Resolução Normativa 482/2012, em que foi estabelecida a isenção dos tributos PIS/PASEP e Cofins pela energia injetada na rede elétrica pelo consumidor.

Em vista a isso, percebe-se o início de um processo lento, porém promissor para o setor fotovoltaico, que até julho de 2021 tinha participação de 1,9% na Matriz Elétrica Brasileira (ABSOLAR, 2021), mas que em um ano alcançou a marca de 8,1% (ABSOLAR, 2022). Tal avanço foi possibilitado em vista aos incentivos governamentais e ao contexto econômico.

A partir do estudo dos Boletins Trimestrais de Consumo de Eletricidade, da EPE, e da variação do preço da conta de luz, utilizando o perfil de um consumidor do grupo B e classe residencial, que mora em São Paulo e tem como concessionária a ENEL obteve-se o gráfico abaixo (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Variação do valor da conta de luz nos meses de março em 2018, 2020, 2021 e 2022



Fonte: Autoria própria (2022).

Obs: Realizado a partir de aproximações dos valores dos tributos e custos presentes no preço da conta de luz da residência da aluna, e foram posteriormente utilizados para simulação para uma residência que gasta o valor estimado como média nessa classe de acordo com os Boletins Trimestrais de Consumo de Eletricidade. Logo os dados são aproximações baseadas em dados.

Ao compilar os dados e analisar os resultados do Gráfico 1, percebeu-se um aumento da conta de luz de aproximadamente 51,1 %, ao comparar o preço em 2018, de R\$102,14, com 2022, de R\$154,37.

Concomitantemente a isso, o custo dos equipamentos solares fotovoltaicos e do serviço reduziram em torno de 80% desde 2012 (ABSOLAR, 2021), consequentemente reduz-se o período de retorno do investimento inicial, também conhecido como “*payback*”. Por meio de orçamentos realizados com as empresas na tabela abaixo para um cliente que gasta o valor residencial médio, evidencia-se a diversidade dos valores do mercado, destacando a competitividade e variedade de produtos. A partir da Tabela 1, entende-se que o investimento inicial é alto, entretanto a tecnologia que é instalado tem duração de em média 25 anos, logo ao observar o tempo de *payback* sugerido pelas empresas, faz-se necessário destacar a durabilidade do produto e a economia que se terá após o pagamento, já que se optar pelo sistema *on-grid* poderá ter economia na conta de luz, e no sistema *off-grid* o cliente não depende da energia da rede concessionária.

Tabela 1 - Orçamentos para sistemas fotovoltaicos *on-grid*

EMPRESAS	Produção kWh/mês	Potência instalada kWp	Área mínima	Valor aproximado	Payback
Intelbras	157,05	1,32	8m ²	R\$5.016,00-7.022,40	3-4 anos
NeoSolar	122	1,14	7,95m ²	R\$6.813,17-9.084,23	8 anos
Solarprime	204	1,84	8,8m ²	R\$ 13.852,47	5 anos
Local Power	217,5	1,82	8,92m ²	R\$ 14.748,00	6 anos
ABP Solar	210	1,82	9m ²	R\$12.300,00	4-5 anos
Vertys	217	2,2	9m ²	R\$ 11.925,48	5,1 anos

Fonte: Autoria própria, 2022.

Obs: Tabela foi realizada por meio de orçamentos *online* disponíveis nas plataformas das empresas, em que funcionários entraram em contato com a aluna e foram repassados alguns dados, como endereço, classe de consumo (residencial) e a quantidade média de 166 kWh/mês. *A produção mensal kWh/mês dos orçamentos das empresas Solarprime, LocalPower, ABP Solar e Vertys tem valor acima do necessário pelo cliente, porém o excedente pode ser utilizado para reduzir a conta de luz de outra propriedade do mesmo CPF. **Algumas empresas estabelecem um número mínimo de 4módulos para cada inversor. Posto isto, justifica-se a variação vista na tabela 1, em que se tem valores maiores de geração de energia devido a quantidade de módulos empregados.

Junto disso, surgiram diversas linhas de financiamento, para empresas de todos os portes, pessoas físicas e produtores. Dentre elas, destacam-se os financiamentos de energia solar dos bancos: Santander, Sicredi, Banco do Brasil, Bradesco, Caixa, BNDES, BB FCO empresarial e FCO rural, Meu Financiamento solar BV, entre outros. Para finalizar, reforça-se a constante discussão dessa fonte de energia renovável no setor econômico e político que culminou na aprovação do PL 5829/19 e estabeleceu-se a lei 14.300, conhecida como “Marco

Legal da Geração Distribuída”, que permite aos consumidores produzirem a própria energia com fontes renováveis e discute as regras atuais de compensação, que serão mantidas iguais para projetos instalados até 7 de janeiro de 2023.

2.5. Análise de impacto ambiental e social

A fonte solar fotovoltaica apresenta diversos aspectos positivos para o meio ambiente, pois é uma opção limpa e renovável, que não emite gases do efeito estufa, não depende dos recursos hídricos para operar e gera baixo impacto ambiental comparada as demais alternativas. No contexto brasileiro, segundo o Infográfico da ABSOLAR disponibilizado em julho de 2022, esta seara evitou a emissão de 24.6milhões de toneladas de CO₂.

Além disso, do ponto de vista social, no mesmo documento citado tem-se o dado de que foi gerado cerca de 492,4mil novos empregos pelo setor solar fotovoltaico. A geração de energia pelos módulos FV permite a redução da dependência das unidades consumidoras da rede concessionária, principalmente de moradias em áreas remotas. Ao mesmo tempo, tal proximidade com esta fonte permite maior discussão sobre o assunto e consequentemente, maior conscientização ambiental, pois permite que o cidadão entenda os processos e a dinâmica da geração. Para concluir, destaca-se a economia no preço da conta de luz, pois como já relatado no tópico anterior, percebeu-se um aumento no custo de geração, distribuição e transmissão, além da variação da bandeira tarifária e demais tributos.

Apesar dos pontos positivos apresentados acima, faz-se necessário retomar que os equipamentos utilizados possuem uma expectativa de vida de 25 a 30 anos para os módulos, de 15 anos para os inversores e entre 5 e 10 anos para as baterias de chumbo (MIRANDA, LEANDRO, SILVA, 2019), logo, após esse período é preciso fazer um descarte correto, pois tais produtos possuem metais, como cádmio e chumbo. Todavia, segundo Leonardo Gasparini Duarte, sócio da empresa Sun R – Reciclagem Fotovoltaica, destaca que ocorre também o descarte prematuro, desde a produção até o transporte e falhas durante a instalação, o que reflete em um maior volume de resíduos (PORTAL SOLAR, 2021).

Diante disso, reforça-se a importância da logística reversa e da gestão do lixo gerado pelos painéis fotovoltaicos, pois a ausência poderá gerar cerca de 78milhões de toneladas de resíduos até 2050 em escala mundial, e nacionalmente será de 550mil toneladas (IRENA, 2016). No Brasil tem-se algumas empresas que realizam esse processo, dentre elas a Sun R- Reciclagem fotovoltaica, que recicla em torno de 4toneladas mensalmente, e a Recicla E-Waste Company Brasil, porém não há quantidade suficiente de empresas para realizar esta ação.

Apesar dos equipamentos fotovoltaicos estarem na categoria de lixo eletrônico e serem incluídos na Lei nº 12.305/2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS),

apenas em 2020 os módulos FV foram considerados objetos da logística reversa pelo decreto nº 10240/2020. Este decreto é um complemento ao de nº 9.177/2017, pois estabelece normas para a implementação do sistema de forma obrigatório, fornecendo relativa infraestrutura para empresas produtoras e revendedoras desse tipo de material. Entretanto, percebe-se a ineficácia dessa legislação que sofre constantes modificações com baixos resultados, vide a implementação do decreto nº 10.936/2022, em que se retoma os temas abordados nos anteriores, e acrescenta a criação de um Programa Nacional de Logística Reversa, integrado ao Sistema Nacional de Informações Sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos.

Posto isto, espera-se que as novas atribuições à Lei nº 12.305/2010 promovam mudanças significativas na sociedade e na gestão de fim de vida dos resíduos, já que esta atitude é necessária para evitar impactos futuros e garantir o crescimento do setor solar fotovoltaico.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do que foi desenvolvido, estudado e apresentado no artigo, percebe-se a evolução do setor solar fotovoltaico em escalas global e nacional, destacando a posição de décimo terceiro lugar em capacidade total acumulada no ranking mundial, sendo esta colocação consequência da redução no preço de 80% em comparação à 2012 (ABSOLAR, 2021 ANO). Em conjunto disso, do ponto de vista da arquitetura, reforça-se a presença da profissão nesta discussão, pois através do traçado e do desenho das edificações e das cidades é possível aproximar-se do objetivo de aumentar a participação das fontes renováveis na Matriz Elétrica Brasileira, além de difundir essa tecnologia sustentável para diversos usos e rendas.

Contudo, retoma-se a importância de legislações que regulem e incentivem progressivamente a adoção destes sistemas, e que estas leis estejam alinhadas com a preservação do meio ambiente, promovendo o processo de logística reversa de maneira mais intensa. Desta forma é possível manter a energia solar fotovoltaica como uma opção viável tanto socioeconomicamente, quanto ambientalmente, que deve ser considerada desde as etapas iniciais dos projetos arquitetônicos e até o fim da vida útil e correto descarte. Diante disso, pode-se pensar em futuras tecnologias integradas a construção e à arquitetura que conectem a energia solar com as técnicas empregadas, criando formas de projetar os espaços e as edificações.

4. REFERÊNCIAS

ABSOLAR. **Brasil avança no ranking mundial da fonte solar**. 2022. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/brasil-avanca-no-ranking-mundial-da-fonte-solar/>. Acesso em 11 ago. 2022.

ASOLAR. **ASolar**. Pesquisa de Inversor Solar Fotovoltaico On Grid Growatt 5kW Monofásico 220V 2MPPT AS57555-2. Disponível em: <https://loja.asolar.com.br/on-grid/inversores/growatt/inversor-solar-fotovoltaico-on-grid-growatt-5-kw-monofasico-220-v-2mppt-123458>. Acesso em: 15 jun. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA – ABSOLAR. **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil**, c2021. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/wp-content/uploads/2021/07/2021.07.08-Infografico-ABSOLAR-n%C2%B0-33.pdf>. Acesso em 15 de ago. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA - ABSOLAR. **Panorama of solar photovoltaic in Brazil and in the world**, c2022. Infográfico. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/market/infographic/>. Acesso em: 06 de ago. 2022.

BALFOUR, J.; SHAW, M.; NASH, N. B. **Introdução ao Projeto de Sistemas Fotovoltaicos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora (LTC).

CABRAL, K. et al. **O que é o Acordo de Paris**. Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável - CEBDS. Rio de Janeiro, RJ.2019. Disponível em: <https://cebds.org/o-que-e-o-acordo-de-paris/#.YGN3QPIKhPY>. Acesso em: 29 mar. 2021.

CASARIO, Ricardo. 66% dos compradores aceitariam pagar mais por um imóvel com energia solar. **Portal Solar**, 2022. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/noticias/mercado/consumidor/66-dos-compradores-aceitariam-pagar-mais-por-um-imovel-com-energia-solar>. Acesso em 05 ago. 2022.

CENTRALIZED Generation of Electricity and its Impacts on the Environment. **United States Environmental Protection Agency (EPA)**, 2022. Disponível em: <https://www.epa.gov/energy/centralized-generation-electricity-and-its-impacts-environment#:~:text=%E2%80%9CCentralized%20generation%E2%80%9D%20refers%20to%20the,of%20high%2Dvoltage%20transmission%20lines>. Acesso em: 10 jun. 2022.

CLIMATE WATCH. Climate Watch, c2020. **GHG Emissions**. Disponível em: https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?chartType=area&end_year=2020®ions=BRA§ors=total-fossil-fuels-and-cement&source=GCP&start_year=1960. Acesso em 09 ago. 2022.

COELHO, T. F.; SERRA, J. C. V. et al. **Tecnologias para Reciclagem de Sistemas Fotovoltaicos**: Impactos Ambientais. Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade, Curitiba, v.15, n.7, p. 83-99, jun./dez. 2018.

DISTRIBUTED Generation of Electricity and its Environmental Impacts. **United States Environmental Protection Agency - EPA**, 2022. Disponível em: <https://www.epa.gov/energy/distributed-generation-electricity-and-its-environmental-impacts>. Acesso em: 10 jun. 2022.

DORANTE, A. et al. Imóvel com energia solar pode valorizar de 3% a 6%. **Portal Solar**, 2020. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-renovavel/imovel-com-energia-solar-pode-valorizar-de-3-a-6.html#:~:text=Apesar%20de%20o%20mercado%20de,sistemas%20de%20energia%20solar%20instalados>. Acesso em 05 ago. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGETICA – EPE. Boletim Trimestral de Consumo de Eletricidade, c2022. Publicações. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/boletim-trimestral-de-consumo-de-eletricidade>. Acesso em: 10 de jul. 2022.

Energia solar dobre no País com queda do preço de equipamentos. **Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica – ABSOLAR**, 2021. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-dobra-no-pais-com-queda-do-preco-de-equipamentos/>. Acesso em: 13 ago. 2022.

ESTADÃO – Economia & Negócios. Energia solar dobra no País com queda do preço dos equipamentos. Absolar, 2021. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-dobra-no-pais-com-queda-do-preco-de-equipamentos/>. Acesso em: 14 ago. 2022.

FREEPIKCOMPANY. Ilustrações de casa moderna, apartamento, casa dos desenhos animados, exterior da fachada do edifício. Disponível em: https://br.freepik.com/vetores-premium/ilustracoes-de-casa-moderna-apartamento-casa-dos-desenhos-animados-exterior-da-fachada-do-edificio-residencial-conjunto-de-icone-isolados-no-branco_7530044.htm. Acesso em: 15 jun. 2022.

FREEPIKCOMPANY. O medidor de eletricidade doméstico conta energia. Disponível em: https://br.freepik.com/vetores-premium/o-medidor-de-eletricidade-domestico-conta-energia_7916800.htm. Acesso em: 15 jun. 2022.

FSST – FUJISAWA SUSTAINABLE SMART TOWN. **Concept Book PDF**. Fujisawa SST. 2018. Disponível em: <https://fujisawasst.com/EN/project/sslife/%20%3E>. Acesso em: 04 abr. 2021.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY – IRENA. **End-of-life management: Solar Photovoltaic Panels.**, c2016. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2016/Jun/End-of-life-management-Solar-Photovoltaic-Panels>. Acesso em: 12 ago. 2022.

MATRIZ Energética e Elétrica. **Empresa de Pesquisa Energética – EPE**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 10 ago. 2022.

MIRANDA, R. T.; LEANDRO, F. S.; SILVA, T. C. **Gestão de fim de vida de módulos fotovoltaicos**. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, Itajubá, v.8, n.1, p. 264-383, 2019. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/rber/article/download/53355/pdf>. Acesso em: 14 ago. 2022.

NEOSOLAR. **NeoSolar**. Equipamentos do Kit Solar. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/kit-solar>. Acesso em: 15 jun. 2022.

OLIVEIRA, A. S. **Avaliação de impactos ambientais do módulo fotovoltaico: produção e uso como fonte de energia elétrica**. Dissertação (mestrado em Ciências Mecânicas) – Faculdade de Tecnologia de Brasília, Universidade de Brasília. Brasília, p. 77. 2017.

PANASONIC. **Panasonic I Fujisawa SST I A cidade inteligente da Panasonic**. Panasonic, 2015, 1 vídeo (8 minutos e 24 segundos). Disponível em <https://www.panasonic.com/br/business/tecnologia/casos-de-estudo/fujisawa.html>. Acesso em: 04 abr. 2021.

PEREIRA, N. X. **Desafios e perspectivas da energia fotovoltaica no Brasil: geração distribuída vs geração centralizada**. 2019. Dissertação (Mestrado em Área de Concentração Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental.) - Faculdade de Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba, 2019. 86 p.

PNGTREE. Pngtree. **Vetor grátis**. Disponível em: https://pt.pngtree.com/freepng/vector-sun-icon_4868966.html. Acesso em: 15 jun. 2022.

REN21 – Renewables now. **Key messages for decision makers**. 2021. Disponível em: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2021_Key_Messages.pdf. Acesso em: 09 ago. 2022.

REN21 – Renewables now. **Renewable energy data in perspective**. 2022. Disponível em: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022_Key_Messages.pdf. Acesso em: 08 ago. 2022.

SILVA, F. M. da; LACERDA, P. S. B.; JUNIOR, J. J. et al. **Desenvolvimento Sustentável e Química Verde**. Química Nova, Rio de Janeiro, v.28, n.1, p.103-110, 2005.

TEIXEIRA, Adonis. Os desafios da logística reversa de painéis fotovoltaicos. **Portal Solar**, 2021. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/noticias/tecnologia/equipamentos-fv/os-desafios-da-logistica-reversa-de-paineis-fotovoltaicos>. Acesso em: 03 de mar. 2022.

Contatos: mimistipkovic@gmail.com e karen.ramirez@mackenzie.br; kniccoli@gmail.com