



**CENTRO UNIVERSITÁRIO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS  
UNIPAC BARBACENA  
ENGENHARIA CIVIL**

**JAINOR FERNANDES CIRINO  
MARCOS RENAN SILVA VIEIRA**

**ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

**BARBACENA/MG  
2020**

**JAINOR FERNANDES CIRINO  
MARCOS RENAN SILVA VIEIRA**

**ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Fundação Presidente Antônio Carlos – FUPAC, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: MSc. Tairine Cristine Bertola Cruz

**BARBACENA/MG  
2020**

## RESUMO

Nos últimos anos, a economia mundial tem experimentado um período de profundas mudanças. O desenvolvimento de novas tecnologias tem revolucionado o modo de vida da sociedade e a dinâmica econômica das nações. Todo esse progresso tecnológico tem exigido da humanidade a busca por fontes de energia sustentáveis, tendo em vista que não é mais possível a manutenção de uma matriz energética baseada em combustíveis fósseis. Dessa necessidade, desponta a geração de energia através de sistemas fotovoltaicos como uma alternativa sustentável e limpa. A geração de energia elétrica através do efeito fotovoltaico não é uma novidade, tendo sido descoberto em 1953. Certo é que os sistemas fotovoltaicos contribuem para a eficiência energética das edificações, despertando cada vez mais atenção de engenheiros, arquitetos, construtores e, principalmente, dos usuários das edificações. No presente trabalho, apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre o tema, como forma de caracterizar e compreender os sistemas fotovoltaicos geradores de energia elétrica. Após, tem-se a análise do consumo energético de uma edificação, localizada em Barbacena (MG), que conta com um sistema fotovoltaico instalado. O estudo mostrou que, apesar da variabilidade de rendimento mediante variações climáticas, analisando-se os custos de implantação e a economia gerada, o sistema foi considerado viável.

**Palavras-chave:** Energia solar. Sistemas fotovoltaicos. Sustentabilidade. Desempenho energético. Eficiência energética.

## **ABSTRACT**

In recent years, the world economy has experienced a period of profound changes. The development of new technologies has revolutionized the way of life of society and the economic dynamics of nations. All this technological progress has required humanity to search for sustainable energy sources, considering that it is no longer possible to maintain an energy matrix based on fossil fuels. From this need, energy generation through photovoltaic systems emerges as a sustainable and clean alternative. The generation of electric energy through the photovoltaic effect is not new, having been discovered in 1953. Photovoltaic systems certainly contribute to the energy efficiency of buildings, attracting more and more attention from engineers, architects, builders, and, mainly, from building users. In this work, a bibliographic review on the theme is presented to characterize and understand the photovoltaic systems that generate electricity. Afterward, there is an analysis of the energy consumption of a building, located in Barbacena (MG), which has an installed photovoltaic system. The study showed that, despite the variability of yield due to climatic variations, analyzing the implementation costs and the savings generated, the system was considered viable.

**Keywords:** Solar energy. Photovoltaic systems. Sustainability. Energy performance. Energy efficiency.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Camadas de energia .....	17
Figura 2 – Diagrama de sistema fotovoltaico isolado .....	19
Figura 3 – Diagrama unifamiliar do sistema fotovoltaico conectado à rede .....	20
Figura 4 – Diagrama esquemático de uma central fotovoltaica.....	21
Figura 5 – Foto do arranjo de painéis instalados no telhado da edificação .....	26
Figura 6 – Foto do arranjo de painéis instalados no telhado da edificação .....	27
Figura 7 – Foto do inversor .....	27
Figura 8 – Comparativo entre variação de temperatura e geração de energia .....	30
Figura 9 – Comparativo entre precipitação e geração de energia.....	31
Figura 10 – Curva de produção de energia no dia 01 de setembro de 2020 .....	31
Figura 11 – Curva de produção de energia no dia 02 de setembro de 2020 .....	32
Figura 12 – Curva de produção de energia entre os dias 03 e 08 de set. de 2020 ...	33
Figura 13 – Curva de produção de energia entre os dias 09 e 14 de set. de 2020 ...	34
Figura 14 – Curva de produção de energia entre os dias 15 e 17 de set. de 2020 ...	35
Figura 15 – Curva de produção de energia entre os dias 18 e 19 de set. de 2020 ...	36
Figura 16 – Curva de produção de energia entre os dias 20 e 21 de set. de 2020 ...	36
Figura 17 – Curva de produção de energia no dia 22 de setembro de 2020 .....	37
Figura 18 – Curva de produção de energia entre os dias 23 e 25 de set. de 2020 ...	37
Figura 19 – Curva de produção de energia entre os dias 26 e 30 de set. de 2020 ...	38
Figura 20 – Produção diária de energia no mês de setembro de 2020.....	39
Figura 21 – Gráficos de produção energética janeiro a junho de 2019 .....	42
Figura 22 – Gráficos de produção energética julho a dezembro de 2019 .....	43
Figura 23 – Histórico de contas CEMG .....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados de temperatura e precipitação.....	29
Tabela 2 – Consumo por período 2017/2018.....	40
Tabela 3 – Consumo por período 2019/2020.....	40
Tabela 4 – Comparação do consumo por períodos.....	41
Tabela 5 – Análise detalhada da edificação.....	44

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1</b>	<b>Sustentabilidade .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2</b>	<b>Histórico da Energia Solar .....</b>	<b>11</b>
<b>2.3</b>	<b>Eficiência Energética das edificações .....</b>	<b>14</b>
<b>2.4</b>	<b>O Efeito Fotovoltaico.....</b>	<b>16</b>
<b>2.5</b>	<b>Tipos de Sistemas fotovoltaicos .....</b>	<b>18</b>
<b>2.6</b>	<b>Células Encontradas no Mercado .....</b>	<b>22</b>
<b>2.7</b>	<b>Limitações do Sistema .....</b>	<b>24</b>
<b>2.8</b>	<b>Estudo de Caso: impacto da instalação de um sistema fotovoltaico em uma edificação .....</b>	<b>25</b>
<b>2.8.1</b>	<b><i>Caracterização da Edificação .....</i></b>	<b>25</b>
<b>2.8.2</b>	<b><i>Caracterização do Sistema .....</i></b>	<b>26</b>
<b>2.8.3</b>	<b><i>Análise da geração de energia no mês de setembro de 2020 .....</i></b>	<b>28</b>
<b>2.8.4</b>	<b><i>Análise de consumo e do tempo de retorno do valor investido.....</i></b>	<b>39</b>
<b>3</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>46</b>
<b>4</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>47</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a economia mundial tem experimentado um período de grandes e rápidas transformações, impulsionadas sobremaneira pelo desenvolvimento de tecnologias da informação, da engenharia e da medicina. Todas essas novidades têm revolucionado o modo de vida da sociedade e a dinâmica econômica das nações.

Na esteira desse progresso tecnológico, a economia mundial assenta-se na utilização de uma matriz energética baseada em fontes de natureza fóssil, como petróleo, gás natural e carvão mineral. Ocorre que, apesar da natureza finita dessas fontes de energia, sua utilização ainda representa a maior parte da geração de energia em todo o mundo.

A aplicação de inovações tecnológicas tem trazido para a sociedade, ou pelo menos parte dela, melhores condições de vida resultantes sobretudo da mecanização e automação de processos industriais, incremento na produção e qualidade dos alimentos, melhoria nos meios de transporte e comunicação, dentre outros.

Por outro lado, esse mesmo desenvolvimento tem resultado em problemas ambientais que vêm se espalhando por todas as regiões do planeta, como poluição, aquecimento, desmatamento, excesso de chuva ou falta dela, enfim, uma série de questões que colocam em cheque a relação entre desenvolvimento e preservação ambiental, o que desponta como o maior desafio a ser enfrentado pela sociedade global nesse século.

Para esse dilema, a busca por fontes de energia tem se apresentado como uma potencial solução para o enfrentamento da finitude e do caráter danoso da atual matriz energética utilizada em escala mundial. Como exemplo de fontes de energias renováveis, pode-se citar a eólica, a hidráulica e a solar, sendo esta última considerada a mais promissora, tendo em vista seu pouco impacto ambiental e sua abundância.

Conforme Machado e Miranda (2014), a superfície da Terra recebe cerca de  $3 \times 10^{24}$  joules por ano, ou seja,  $9,5 \times 10^4$  TW (terawatts) de energia solar, cerca de 10.000 vezes a mais do que toda população terrestre consome, ou seja, considerando que no ano 2000, o consumo global de energia foi de 13 TW e que a estimativa para 2050 é de 30 TW, tem-se a noção do potencial de geração de energia solar.

A luz solar pode ser convertida em energia elétrica por vários processos, sendo que os mais utilizados, atualmente, são o aquecimento de água e a geração fotovoltaica.

Conforme Câmara (2011), na década de 70, muitos países começaram a implantar sistemas fotovoltaicos em zonas remotas, sendo que os anos 90 ficaram marcados pelo crescimento da sua aplicação no uso residencial. De um modo geral, ao redor do mundo, a instalação dos primeiros sistemas fotovoltaicos se originou de programas governamentais desenvolvidos para estimular e fomentar sua utilização em maior escala.

Entretanto, em que pese o Brasil necessitar aumentar sua oferta de energia, não se observa um movimento governamental no intuito de incentivar a criação e consolidação de um mercado forte para essa tecnologia no país, apesar do enorme potencial nacional de geração. Por isso, é necessária a implantação de uma legislação que não apenas regulamente de forma específica a geração de energia fotovoltaica, como também promova o incentivo da indústria de equipamentos como forma de se reduzir o custo dos sistemas com sua consequente popularização.

O objetivo do trabalho é apresentar uma revisão bibliográfica acerca do assunto e, em seguida, analisar o comportamento de um sistema fotovoltaico instalado em uma residência no município de Barbacena.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Sustentabilidade

Nos últimos 20 anos, a sustentabilidade tem dominado boa parte das discussões ambientais, sociais e econômicas. Com as constantes mudanças climáticas e a percepção cada vez maior de que os recursos naturais são finitos, somado à uma crescente dúvida sobre o futuro do meio ambiente, a sociedade tem destinado grande parte de seus estudos à busca de práticas sustentáveis.

Define-se, de forma bastante simplificada, sustentabilidade como a utilização de recursos naturais sem o comprometimento das gerações futuras, ou seja, é a conservação dos recursos de forma a não permitir seu total exaurimento. O conceito de sustentabilidade é fortemente ligado às questões ambientais, no entanto, por ser um conceito dinâmico, com o tempo passou a abarcar também dimensões sociais e econômicas.

A sustentabilidade ambiental, conforme Gomes (2005), liga-se, de acordo com o pensamento tradicional, à preservação ou aprimoramento da base de recursos produtiva, principalmente para as gerações futuras. Como explica Nascimento (2012), a sustentabilidade ambiental supõe que o modelo de produção e consumo seja compatível com a base material em que se assenta a economia tratando, portanto, de produzir e consumir de forma que os ecossistemas possam manter sua auto-reparação ou capacidade de resiliência.

Do ponto de vista social, de acordo com Chambers e Conway (1992), esse aspecto está ancorado no ambiental pois, este dependeria daquele para ser complementado, de forma não se tratar somente do que o ser humano pode ganhar, mas a maneira como pode ser mantida decentemente sua qualidade de vida. Para Nascimento (2012), sustentabilidade social também passa pela erradicação da pobreza e definição de padrões de desigualdade aceitáveis.

Já pelo lado econômico, a sustentabilidade trata de como as empresas e indivíduos podem promover um consumo consciente, minimizando desperdícios. Busca-se a crescente eficiência de produção e consumo, objetivando a economia de recursos naturais. Ainda conforme Nascimento (2012), trata-se daquilo que alguns chamam de ecoeficiência, que supõe uma contínua inovação tecnológica capaz de

possibilitar sair do ciclo fóssil de energia (carvão, petróleo e gás) e ampliar a desmaterialização da economia.

A busca pelo desenvolvimento sustentável é um constante desafio para toda a sociedade, tendo em vista que a economia está sempre em conflito com os ecossistemas, o que faz urgir a necessidade de se buscar novas tecnologias que estabeleça o devido equilíbrio entre utilização e preservação dos recursos naturais. Não é mais aceitável a ideia de que a natureza está à disposição da humanidade para servi-la. Daí surge o conceito de desenvolvimento sustentável, que nada mais é do que promover a evolução socioeconômica, sem comprometer a capacidade de geração de recursos.

Nesse contexto, desponta a responsabilidade da engenharia civil na promoção da sustentabilidade. Segundo Côrtes *et al* (2011), a construção civil é responsável por cerca de 60% dos resíduos sólidos lançados nos centros urbanos brasileiros, além de desperdícios resultantes de seus processos produtivos, em torno de 25%, de forma que o setor precisa assumir a responsabilidade na redução do impacto ambiental e promoção do desenvolvimento da comunidade local.

A todo momento despontam novas tecnologias construtivas que resultam em maior eficiência tanto na construção, quanto na manutenção e uso das edificações. Uma metodologia importante, surgida nos últimos anos, e que tem se firmado como uma das mais promissoras para modernizar o setor de construção civil é o BIM – *Building Information Modeling* ou, em português, Modelagem da Informação da Construção. O BIM é uma metodologia que integra todas as fases da construção e que dedica uma de suas dimensões exatamente à sustentabilidade. O chamado BIM 6D trata do fator sustentabilidade do edifício desde a concepção, momento em que se avaliam os materiais e técnicas empregados para a obtenção de maior eficiência e rendimento da edificação. Isso tem o objetivo de corrigir uma das maiores deficiências dos projetos de construção civil, qual seja, focar nos custos iniciais da edificação, por vezes ignorando a compreensão de todos os custos envolvidos durante a vida útil dos ativos.

Uma importante questão, quando se trata de sustentabilidade no âmbito da construção civil, é avaliar o desempenho energético das edificações. Após a crise do petróleo, ocorrida em 1973, várias pesquisas foram feitas com o objetivo de desenvolver fontes alternativas de energia e sistemas mais eficientes (MENDES *et al.*, 2005). Dentre as alternativas pode-se dizer que a mais promissora são os sistemas

fotovoltaicos. Brito e Silva (2006) argumentam que a energia solar fotovoltaica, conversão de energia solar em eletricidade, é uma fonte limpa, pois seu funcionamento não tem emissões indesejáveis, além de ser renovável, dada a natureza inesgotável do sol. Possui também outras vantagens, como o longo tempo de vida dos seus equipamentos, que pode chegar a 30 anos, sua baixa manutenção, bem como sua modularidade e portabilidade.

Assim é imperativo que a indústria da engenharia, arquitetura e construção seja atualmente pautada na sustentabilidade, pois não é mais aceitável que o desenvolvimento se apoie em um tipo de consumo que possa sacrificar as próximas gerações, de forma que os sistemas fotovoltaicos possuem enorme potencial para contribuir com esse necessário avanço.

## **2.2 Histórico da energia solar**

A produção de eletricidade através de energia solar não é uma tecnologia recente, tendo sido observada pelo físico francês Edmond Becquerel que, em 1839, verificou que placas metálicas, de platina ou prata, imersas em um eletrólito líquido produziam eletricidade se expostas à luz solar. Ele verificou uma diferença de potencial nas extremidades das placas. A esse fenômeno deu-se o nome de efeito fotovoltaico.

De acordo com Câmara (2011), a história da primeira célula solar começou em março de 1953, quando o químico americano Calvin Fuller desenvolveu um processo de difusão para introduzir impurezas em cristais de silício a fim de controlar suas propriedades elétricas – num processo chamado de dopagem. Seguindo as instruções de Fuller, o físico Gerald Pearson mergulhou essa barra de silício dopado em lítio, criando assim uma superfície com excesso de elétrons livres com carga negativa – chamadas de tipo “n”. Na região onde o silício tipo “n” fica em contato com o silício chamado tipo “p” (com carga positiva), surge a junção “p-n”, que gera um campo magnético permanente. Pearson verificou que a amostra produzia uma corrente elétrica quando exposta à luz. Estava criada, então, a primeira célula solar de silício.

No entanto, as primeiras células tinham baixa eficiência. A partir de avanços em seus estudos Fuller fez a dopagem do tipo “n” usando uma difusão de fósforo,

tornando a junção “p-n” mais estável. Posteriormente substituiu gálio por arsênio em uma difusão de boro, obtendo uma eficiência de 6%, a maior observada até então.

A primeira aplicação das células solares foi realizada no estado norte americano da Geórgia, para alimentar uma rede de telefonia local, tendo funcionado de outubro de 1955 a março de 1956, apresentando resultados bastante promissores.

Porém, o elevado custo na sua fabricação inviabilizava a utilização dos sistemas em aplicações gerais. Por outro lado, a confiabilidade e o baixo peso tornaram as células fotovoltaicas a maneira mais conveniente e segura para se gerar eletricidade em equipamentos aeroespaciais, área na qual o custo não era um fator limitante. Ainda assim, no início, a *National Aeronautics and Space Administration*, NASA, incorporou o sistema com grande relutância como *back-up* de uma pilha convencional. Após verificada a confiabilidade do sistema, a agência passou a adotar células solares para alimentar seus satélites. Da mesma forma, o programa espacial soviético viu nas células solares uma possibilidade de fornecer energia de forma inesgotável também para seus satélites. Atualmente, todos os veículos espaciais, desde a *International Space Station* ao *Mars Rover*, são equipados com células solares.

A utilização em aplicações aeroespaciais levou a uma série de evoluções nas células solares, até que, na década seguinte, surgiram as primeiras aplicações terrestres, especificamente em sistemas de telecomunicações remotas e boias de navegação, por serem as únicas economicamente interessantes devido a inexistência de outras fontes de energia disponíveis para essas aplicações.

De acordo com Nascimento (2004), um outro fator a impulsionar as pesquisas dessa tecnologia para aplicações diversas, inclusive como complementação do sistema elétrico existente, foi a crise do petróleo de 1973. A partir daí, a energia solar passou a atrair o interesse dos governos, pois começou-se a perceber a real possibilidade do esgotamento das reservas petrolíferas.

Todavia, mais uma vez, a questão do custo de produção das células fotovoltaicas era um fator importante, tendo em vista a quantidade de energia que ela era capaz de produzir.

Mas, conforme Câmara (2011), o pânico criado pela crise de 1973 levou a um súbito investimento em programas de investigação para reduzir o custo de produção das células solares, resultando em soluções que reduziram o custo em cerca de 85%,

promovendo também um incremento na eficiência, que rompeu a barreira dos 20%, pela primeira vez, no fim da década de 70.

Os anos 80 e 90 foram marcados por um maior investimento em programas voltados à geração de eletricidade de forma limpa e sustentável, motivado pela consciência crescente da ameaça das alterações climáticas como resultado da queima de combustíveis fósseis. A produção mundial, em 1998, era prevista em torno de 100 Mwp (megawatt-pico). No mesmo ano, foi atingida a eficiência recorde de 24,7% de conversão, com células de silício monocristalino.

Ainda segundo Câmara (2011), células solares com configurações mais complexas, as chamadas células em cascata, que consistem na sobreposição de várias células semicondutoras, cada uma otimizada para um dado comprimento de onda da radiação, permitem atingir rendimentos de conversão superiores a 34%.

Atualmente, um dos maiores desafios enfrentados pelo setor é a redução de custos dos sistemas fotovoltaicos. As novas tecnologias em desenvolvimento, sobretudo a de filmes finos, poderão impactar positivamente nos custos dos módulos fotovoltaicos. Outro desafio é a implantação de modelos fotovoltaicos para eletrificação rural, tendo em vista que o baixo nível cultural e econômico de grande parte das populações limita o desenvolvimento do mercado (NASCIMENTO, 2004).

No Brasil, os estudos para a aplicação das tecnologias de conversão da energia solar tiveram início na década de 50, sendo que os primeiros módulos fotovoltaicos foram desenvolvidos em 1955 no Instituto Nacional de Tecnologia e no Centro Tecnológico de Aeronáutica. Nos anos seguintes células solares de silício foram desenvolvidas também na Universidade de São Paulo, módulos fotovoltaicos de filmes finos foram produzidos pelo Instituto Militar de Engenharia. Nos anos 80, na Universidade Estadual de Campinas, foram estudadas células solares de silício amorfo hidrogenado. Já nos anos 90, a Universidade Federal do Rio Grande do Sul realizou uma série de estudos de módulos fotovoltaicos e, em 2003, a Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul estabeleceu um centro de pesquisa para o desenvolvimento de tecnologias de células solares de silício cristalino e módulos fotovoltaicos. O primeiro sistema fotovoltaico interligado à rede elétrica foi implantado em 1995 pela Companhia Hidrelétrica do São Francisco (ARAÚJO *et al.*, 2018).

A instalação de sistemas fotovoltaicos isolados foi impulsionada pelos programas governamentais Luz para Todos e Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios. Atualmente a maioria dos estados brasileiros

há isenção de ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços – sobre a energia compensada.

A Associação Brasileira de Energia solar foi fundada em 1978 e reativada em 2006. Em 2002 o Instituto Brasileiro de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial estruturou o Grupo de Trabalho de Sistemas Fotovoltaicos, com o objetivo de estabelecer as normas para a etiquetagem/certificação dos componentes de um sistema fotovoltaico. Em 2004, a Resolução Normativa 83 da ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica – especificou as condições para a instalação de Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes – SIGFI – mas, somente em 2012, os sistemas fotovoltaicos de pequeno porte foram regulamentados no Brasil pela ANEEL.

Conforme Araújo *et al* (2018) as duas primeiras fábricas de células solares de silício cristalino e módulos fotovoltaicos foram estabelecidas no Brasil nos anos 80, sendo desativadas anos depois. Somente a partir de 2015 novas fábricas começaram a produzir módulos fotovoltaicos, usando células solares e outros insumos importados. Atualmente, há nove fábricas destes dispositivos e várias que produzem inversores.

### **2.3 Eficiência energética das edificações**

Podemos definir eficiência energética como sendo a relação entre a energia útil, ou seja, aquela realmente convertida na forma desejada, e a energia consumida. Sistemas mais eficientes são aqueles que consomem menos energia para cumprir seus objetivos, de forma que o incremento na eficiência energética pode promover uma redução na sobrecarga do sistema elétrico.

No âmbito da construção civil, o consumo de energia serve para suprir as necessidades dos usuários de conforto térmico e luminoso, equipamentos de circulação, entretenimento, comunicação e outros.

Conforme Nascimento e Maciel (2010), o consumo de energia elétrica das edificações no Brasil é bastante significativo, sendo que a tendência é de crescimento. Estima-se que quase 50% da energia elétrica produzida no país seja consumida, não apenas na manutenção e operação dos edifícios, como também em sistemas de conforto ambiental, o que sugere que o potencial de conservação de energia do setor seja bastante expressivo.

Dessa forma, é de extrema importância que se pense na arquitetura dos edifícios também como uma maneira de se pensar na economia de energia como forma de tornar as edificações mais eficientes. Dentre os aspectos a serem observados podemos citar: orientação solar e de ventos; tratamento de fachadas e coberturas; áreas envidraçadas; entre outras.

Nesse sentido, em 2003 foi instituído pela Eletrobrás o Procel Edifica – Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações, visando promover condições para uso eficiente de eletricidade nas edificações. O objetivo da etiqueta é incentivar a iluminação e a ventilação naturais, reduzindo o consumo de energia elétrica (CBIC, 2010).

Entretanto, do ponto de vista arquitetônico, as soluções são passivas, ou seja, apesar de contribuírem para reduzir o consumo de energia, tornando o edifício mais eficiente, elas não são capazes de gerar energia. Por isso é necessária a busca por tecnologias capazes de fazer com que a edificação possa gerar sua própria energia. Despontam nesse sentido sistemas eólicos e solares.

Os sistemas eólicos geram energia através da força do vento, que move pás acopladas a uma turbina que converte a energia do movimento em energia elétrica. Porém são sistemas grandes, não sendo indicados para utilização em edificações.

Por outro lado, os sistemas que utilizam a luz solar para gerar energia despontam como a melhor opção para tornar os edifícios autossuficientes em relação ao consumo de energia elétrica. Como exemplo, conforme Baltar, Kaehler e Pereira (2006), o consumo de energia elétrica nas edificações diminuiu em média 35% com o uso do sistema de aquecimento de água através de energia solar, fazendo com que esse tipo de investimento possa ser recuperado em um período de seis meses a dois anos.

Os sistemas fotovoltaicos constituem uma excelente alternativa para tornar as edificações autossuficientes na geração de energia. Esses sistemas são capazes de converter a luz solar em energia elétrica de forma limpa e sustentável, fazendo que as edificações se tornem extremamente eficientes do ponto de vista energético. Interessante observar que esses sistemas, além de fornecer energia para a edificação, são capazes de devolver o excedente à rede elétrica. Conforme Nascimento (2004), os sistemas de fotovoltaicos têm como “vocação” a utiliza o em pequenas instala es, fazendo com que sejam econ micos, eficientes e seguros.

A energia solar fotovoltaica é obtida através da conversão direta da luz em eletricidade pelo denominado efeito fotovoltaico. O sistema gera energia de forma silenciosa e sem emissão de gases, não necessitando de um operador (TORRES, 2012).

## 2.4 O efeito fotovoltaico

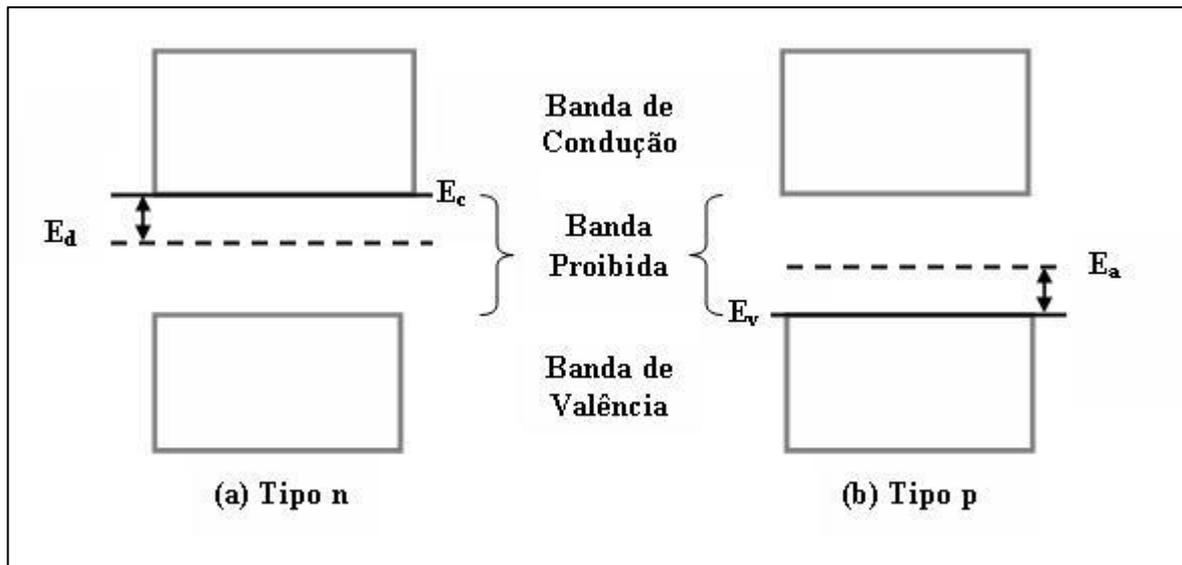
A produção de energia elétrica pelo efeito fotovoltaico não é exatamente uma novidade, tendo em vista que ele foi descoberto pelo físico francês Edmond Becquerel em 1839. O efeito fotovoltaico consiste na conversão da radiação solar em eletricidade por intermédio de materiais semicondutores. As pesquisas para aplicações práticas foram iniciadas nos Estados Unidos, na década de 1950, trabalhando-se na obtenção de um sistema viável e de longa duração para alimentação de satélites. Com a crise mundial de energia, em 1973, a necessidade de obtenção de novas maneiras de produção fez com que a tecnologia fosse trazida das pesquisas espaciais como forma de suprir o fornecimento.

O efeito fotovoltaico é obtido com a utilização de materiais semicondutores, que são aqueles que conduzem mais energia que os isolantes, porém menos do que os condutores, ou seja, trata-se de um material intermediário. Esse tipo de material possui uma camada de valência na qual é permitida a presença de elétrons e outra camada, denominada camada de condução, que é totalmente vazia. Entre essas duas camadas encontra-se outra camada chamada de hiato energético – ou faixa proibida – e, é a largura dessa camada que irá determinar se o material é semicondutor. Segundo Braga (2008), enquanto materiais isolantes têm uma faixa proibida larga, da ordem de  $6\text{eV}^1$ , os semicondutores apresentam faixa proibida média, da ordem de  $1\text{eV}$ . Logo, fótons, na faixa da luz visível, com energia superior ao hiato de energia (*gap*) do material podem excitar elétrons da faixa de valência para a faixa de condução. A figura 1 demonstra de forma gráfica a disposição das bandas de valência e de condução.

---

<sup>1</sup> Elétron-volt é uma unidade de medida de energia que equivale a  $1,6 \times 10^{-19}$  J.

Figura 1 – Camadas de energia



Fonte: Wikipedia (2020).

O semicondutor mais utilizado para sistemas fotovoltaicos é o silício. Os átomos de silício possuem quatro elétrons que se ligam aos vizinhos, formando uma rede cristalina. Desta forma, o silício não possui elétrons livres o que faz dele um mal condutor elétrico. Inserindo-se um elemento doador de elétrons, denominado dopante “N”, como o fósforo, que possui cinco elétrons de ligação, haverá um elétron em excesso fracamente ligado ao átomo. Assim, com pouca energia, esse elétron pode ser deslocado para a faixa de condução.

Realizando o mesmo processo com boro, que possui apenas três elétrons de ligação, em vez do fósforo, obtém-se um material com características inversas, ou seja, haverá uma falta de elétrons para satisfazer as ligações. Essa falta de elétrons é denominada buraco ou lacuna e, com pouca energia térmica é possível movimentar um elétron de uma posição vizinha, deslocando o buraco. Por isso, o boro é considerado dopante receptor, denominado dopante “P”.

Então, utilizando-se silício puro e introduzindo em uma face boro e em outra fósforo, forma-se uma junção “PN”. Nessa junção elétrons livres do lado “N” passam para o lado “P” que contém buracos que os capturam, fazendo com que haja um acúmulo de elétrons no lado “P”, tornando-o negativamente carregado. Por consequência o lado “N” ficará eletronicamente positivo. Essas cargas aprisionadas dão origem a um campo elétrico que dificulta a passagem de outros elétrons, alcançando o equilíbrio quando se forma uma barreira capaz de barrar elétrons livres remanescentes do lado “N”.

Expondo-se a junção “PN” a fótons com energia superior ao *gap* haverá geração de pares elétron-lacuna. Acontecendo isso na região onde o campo elétrico é diferente de zero, as cargas serão aceleradas gerando uma corrente através da junção. Esse deslocamento dá origem a uma diferença de potencial. Portanto, se as extremidades do silício forem conectadas por um fio haverá circulação de elétrons, ou seja, corrente elétrica.

Enquanto houver incidência de fótons no sistema manter-se-á o fluxo de elétrons, de forma que a corrente elétrica gerada variará na mesma proporção da intensidade da luz.

Por fim, importa salientar que uma célula fotovoltaica não armazena energia, apenas mantém o fluxo eletrônico num circuito enquanto houver incidência de luz sobre ela. Esse é o efeito fotovoltaico.

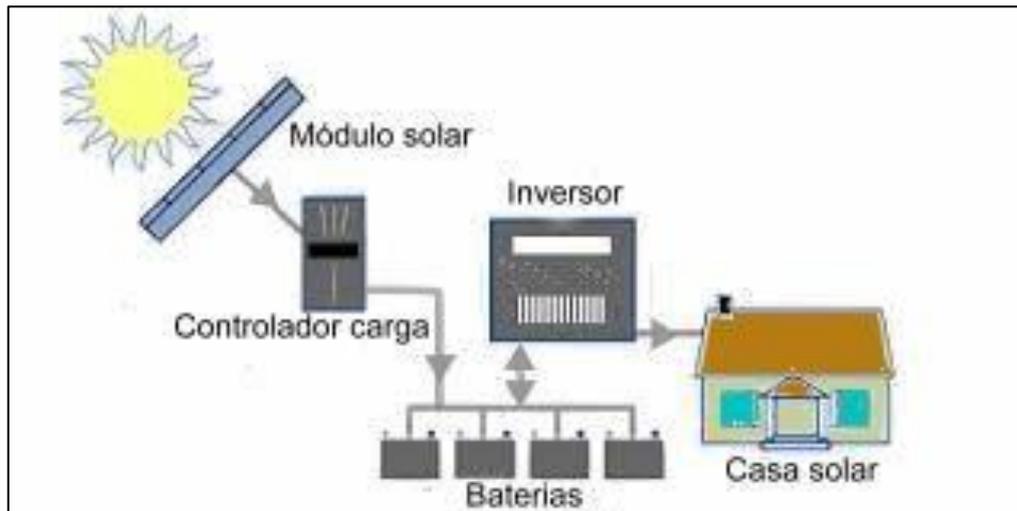
## **2.5 Tipos de Sistemas fotovoltaicos**

Os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos em duas categorias principais: isolados e conectados à rede. Ambos os sistemas podem operar combinados a uma ou mais fontes de energia, quando são chamados de híbridos. A opção por cada tipo de sistema depende da disponibilidade de recursos energéticos. Como cada sistema apresenta complexidade variável, conforme as especificações de projeto, outros aspectos devem ser considerados, como por exemplo, investimento inicial e custo de manutenção, entre outros.

Os sistemas fotovoltaicos isolados geralmente se utilizam de alguma forma de armazenamento de energia, que, conforme Câmara (2011), pode ser feito através de baterias, quando se deseja utilizar aparelhos elétricos, ou armazenar-se na forma de energia gravitacional quando se bombeia água para tanques em sistemas de abastecimento.

Nos sistemas que utilizam armazenamento de energia existe uma unidade responsável pelo controle e condicionamento de potência composta por inversor e controlador de carga. A figura 2 apresenta um diagrama de um sistema fotovoltaico individual que armazena energia em um sistema de baterias.

Figura 2 – Diagrama de sistema fotovoltaico isolado



Fonte: Preserve Energia Solar (2020).

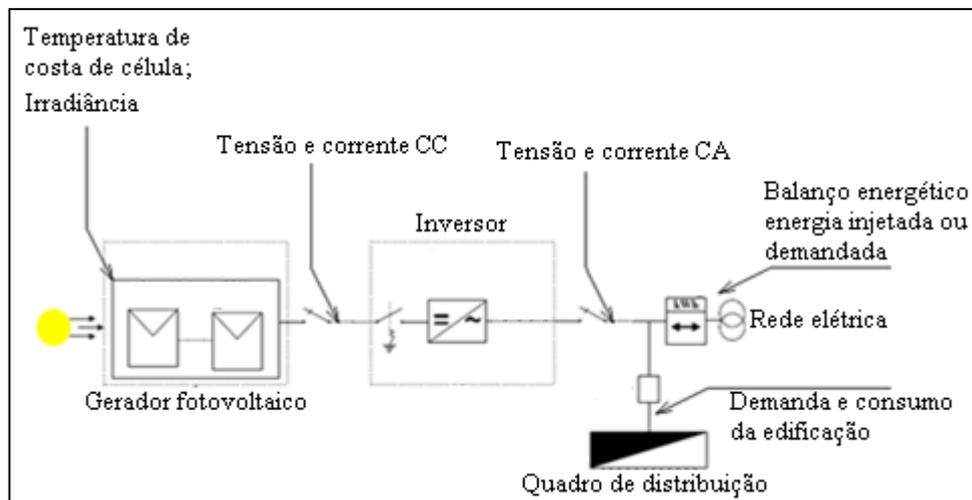
Os sistemas isolados podem ser individuais, ou seja, exclusivos para o atendimento de uma única unidade consumidora, e em minirredes, nas quais a energia é compartilhada para um pequeno grupo de consumidores.

Os chamados sistemas híbridos são aqueles que, desconectados da rede convencional, possuem mais de uma fonte de geração de energia, que podem ser a diesel, eólica, entre outras. Esse tipo de sistema é bastante complexo, pois necessita de controle capaz de integrar os diferentes geradores, como forma de otimizar a geração de energia.

Conforme CRESESB (2014), devido à maior complexidade e multiplicidade de opções e o constante aperfeiçoamento dessas unidades, a forma de otimização desses sistemas é, ainda hoje tema de estudos. Há de se considerar também que a utilização de sistemas híbridos traz uma complexidade operacional e de manutenção do sistema que é uma questão muito desvantajosa para empreendimentos em regiões remotas.

Os sistemas conectados à rede são aqueles em que toda a geração é consumida pela carga ou entregue diretamente na rede, sendo indispensável a utilização de um inversor para garantir qualidade e segurança como forma de preservar o sistema elétrico. Conforme se observa na figura 3, esse tipo de sistema o gerador fotovoltaico é uma fonte complementar ao sistema elétrico ao qual está conectado.

Figura 3 – Diagrama unifamiliar do sistema fotovoltaico conectado à rede

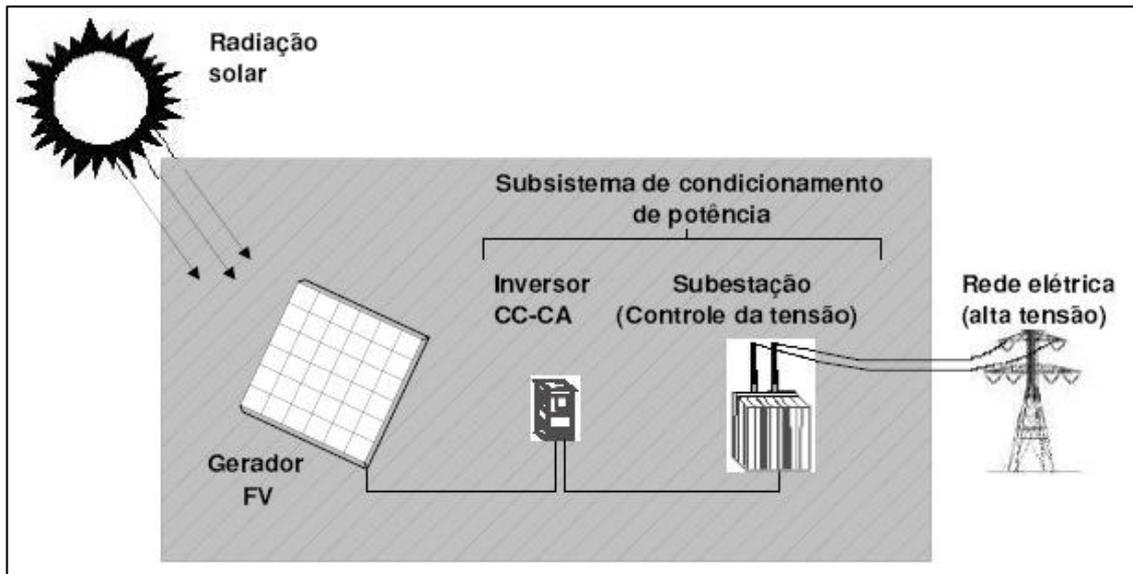


Fonte: Manito *et al.* (2010).

Os sistemas conectados à rede elétrica podem ser de grande porte, que são as centrais fotovoltaicas, e as de pequeno porte, que são os sistemas instalados nas edificações urbanas.

As centrais fotovoltaicas são complexos de geração de energia que fornecem potência à rede elétrica como qualquer outra usina de energia. Possuem como desvantagem ocupar um espaço físico muito grande se localizando-se em locais afastados dos centros de consumo necessitando de sistemas de transmissão e distribuição por vezes extensos. Essas centrais também possuem uma potência inferior se comparadas às centrais hidroelétricas e nucleares, por exemplo. Entretanto, em que pesem essas desvantagens, não há qualquer limitação técnica ou de confiabilidade na utilização desse tipo de sistema. A figura 4 apresenta o esquema de uma central fotovoltaica conectada a uma rede de distribuição de alta tensão.

Figura 4 – Diagrama esquemático de uma central fotovoltaica



Fonte: Câmara (2011).

Os sistemas de pequeno porte constituem a chamada produção distribuída, que é constituída por módulos diretamente montados nas edificações que serão alimentadas pela energia elétrica produzida por esses módulos, através de um inversor CC/CA, concomitantemente com a rede elétrica de distribuição em baixa tensão na qual estão interligadas (CÂMARA, 2011).

Nos sistemas interligados à rede elétrica os geradores podem ser dimensionados para atender parte ou toda a demanda da edificação, não sendo necessária a presença de acumuladores, pois o excedente é devolvido ao sistema. A energia é gerada em CC e passa por um inversor que a transforma em CA para sua utilização. Nesse tipo de sistema a edificação pode usar tanto a energia fotogerada como a obtida do sistema convencional, tudo conforme o balanço entre a demanda e a geração de energia. A produção fotovoltaica nesse caso é complementar, de forma que a dependência do sistema varia na proporção inversa ao aumento da potência fotoenergética.

Conforme Câmara (2011), por sua natureza intermitente, sistemas fotovoltaicos tradicionalmente não são considerados como fontes despacháveis de energia e a eles são atribuídos normalmente fatores de capacidade baixos, porém um gerador fotovoltaico de porte apropriado e estrategicamente posicionado pode trazer uma série de benefícios que vão além da quantidade de energia que são capazes de produzir.

## 2.6 Células encontradas no mercado

Antes de falar sobre as células fotovoltaicas existentes no mercado, é imperativo entender o que é, como funciona, e quais os cuidados necessários antes de adquirir uma célula fotovoltaica.

Uma célula fotovoltaica pode ser definida como um dispositivo elétrico que converte a energia da luz do sol diretamente em energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico. Em uma placa solar, também conhecida como painel solar, encontramos 36, 60 ou 72 células fotovoltaicas interligadas em série, formando um equipamento responsável pela geração de energia elétrica com a utilização da luz solar.

A célula fotovoltaica reage com a incidência da luz solar liberando elétrons que, então, são levados para um circuito dentro de um painel solar, gerando energia elétrica.

Já sabendo o que é e como funciona, pode-se verificar que o principal cuidado ao se adquirir uma célula foto voltaica é garantir que essa célula seja feita por meio de um processo controlado e que seja muito bem montada em um painel solar para evitar qualquer tipo de acidente. Com a facilidade de se adquirir conhecimento rápido utilizando a internet, algumas pessoas fabricam sistemas de captação de energia solar, sem nenhum controle adequado de fabricação, reduzindo os custos de fabricação com o objetivo de ganhar mercado. Entretanto a qualidade do produto final juntamente com seus componentes, se torna um risco para quem o adquire.

Os tipos de células mais utilizados no mundo são: silício cristalino; silício monocristalino (mono-Si); silício policristalino (multi-Si) e células de filme fino (thin-film), como telureto de cádmio (CdTe); e silício amorfo (a-Si).

As células de silício cristalino são as mais comuns do mercado, uma vez que 99% dos painéis utilizados em residências são de silício cristalino. Esse tipo de célula é composto de fatias de lingotes de silício cristalino tratadas quimicamente para que possam produzir energia elétrica com a luz do sol por meio do efeito fotovoltaico.

Já a célula de silício monocristalino (mono-Si) é a mais eficiente. Os cantos das células são recortados como um octógono, pois as lâminas de silício (*wafers*) são cortadas a partir de lingotes cilíndricos, que são tipicamente cultivadas pelo processo *Czochralski*.

A célula de silício poli cristalino (multi-Si) é feita de silício purificado, no entanto, o processo de fundição é diferente. O silício purificado é fundido em grandes blocos. As células de silício poli cristalino são o também bastante utilizadas em painéis fotovoltaicos, mas são menos eficientes do que as feitas de silício monocristalino.

As células fotovoltaicas de filme fino (*thin-film*) usam a tecnologia de filme fino, feitos de maneira totalmente distinta dos tradicionais com células de silício cristalino. Grande parte dos painéis de filme fino possuem poder de conversão menor, algo entre 2% a 3%, quando comparadas com as de silício cristalino. Sua tecnologia é bem vista no mercado sendo muito utilizado em pequenas células fotovoltaicas, como a de uma calculadora de escritório.

A célula solar de silício amorfo (a-Si) é conhecida por sua utilização para aplicações em pequena escala. Além disso, seu custo de fabricação é mais elevado devido ao método de empilhamento utilizado no processo. No método de empilhamento, suas camadas de silício amorfo têm a opção de ser combinadas com outras com o objetivo de aumentar sua eficiência entre 6% a 9%.

Podemos ainda citar outros tipos de células encontradas no mercado, como a célula de seleneto de cobre índio e gálio (CIGS), que é composta por menos cádmio, que é um material tóxico, fazendo com que seu nível de eficiência atinja até 13% no Brasil. A célula de telureto de cádmio, também conhecida como CdTe, opera em placas solares de película fina, possuindo o melhor custo-benefício, já que sua eficiência média gira em torno de 9% a 16%. A célula de arseneto de gálio tem um alto custo de aquisição devido à sua eficiência de 28%, porém o seu uso é restrito, estando disponível apenas para a indústria espacial. A célula fotovoltaica híbrida (HJT - Heterojunção) é uma dosagem projetada e combinada entre a tecnologia tradicional de silício cristalino com a de silício amorfo (filme fino), o que aumenta em 20% a eficiência das células, fazendo com que sua tecnologia possua um grande potencial de crescimento futuro. A célula fotovoltaica orgânica (OPV) é aplicada a partir de um ramo eletrônico orgânico, utilizando condutores ou pequenas moléculas orgânicas com a intenção de absorver a luz do sol e transportar a carga de energia elétrica para a produção de eletricidade limpa e renovável.

## 2.7 Limitações do Sistema

Os sistemas fotovoltaicos podem ser considerados como uma solução extremamente promissora para questões de geração de energia limpa. São sistemas não poluentes, sustentáveis nos quais a energia gerada é extremamente barata, isso citando-se apenas alguns benefícios.

Entretanto como qualquer sistema, esse também possui suas limitações e desvantagens. Por certo são características que não são capazes de desmerecê-lo, enquanto gerador de energia limpa, mas são importantes limitadores para uma maior popularização do sistema e que certamente serão objeto de estudo e desenvolvimento para os próximos anos.

As principais desvantagens são o alto custo de aquisição inicial, não funcionar à noite em sistemas sem baterias, o pouco incentivo para sua implantação por parte do governo brasileiro, bem como o pouco conhecimento sobre os impactos de descarte dos painéis.

As células solares ainda apresentam um alto custo de aquisição, o que por vezes pode inviabilizar sua utilização, entretanto há que se considerar que a vida útil de um painel solar pode chegar a 30 anos, o que, considerando tempo de retorno do valor investido, pode se tornar atrativo em médio prazo. Aqui trata-se de uma decisão puramente econômico-financeira. Observa-se, ainda, que com a geração distribuída, os consumidores obtêm créditos que podem ser utilizados em até 36 meses.

Outra questão a ser considerada é que os painéis solares não produzem energia a noite. O sistema pode produzir mais energia do que é consumida, entretanto o excedente será devolvido ao sistema, que pode ser convertido pela rede distribuidora em créditos para uso em períodos em que o sistema não estiver operando. Há que se observar também, sobretudo em centros urbanos, os efeitos do sombreamento parcial no sistema, o que pode diminuir sua eficiência, de forma que o posicionamento dos painéis deve ser objeto de avaliação por parte dos profissionais envolvidos.

Um dos grandes problemas acerca da energia solar é a falta de incentivo fiscal por parte do governo brasileiro, o que faz com que a solução pareça pouco acessível. Recentemente, cegou-se ao absurdo de se ventilar a ideia de taxar consumidores que geram sua própria energia por sistemas solares, comprovando a já citada falta de

incentivo governamental. Entretanto, o mercado tem se movimentado no sentido de mitigar essa falta de incentivo, seja através da diminuição dos custos de instalação ou pela disponibilização de fontes de financiamento para os interessados na auto geração de energia.

A geração de energia solar peca também pela baixa capacidade de armazenamento, sobretudo em sistemas interligados à rede elétrica. Nos sistemas isolados é não apenas possível, como necessário o armazenamento de energia por meio de baterias para suprir os períodos nos quais o sistema não estiver gerando energia. Entretanto, a utilização de baterias é cara e ocupa muito espaço físico, além do problema relacionado ao descarte. Ainda assim, a capacidade de armazenamento é limitada, não sendo a vocação do sistema de geração de energia solar.

Uma questão sobre a qual pouco se tem estudado versa sobre o modo de descarte dos painéis solares. Por certo, a vida útil desses equipamentos, como já citado, gira em torno de 30 anos, que é um prazo bastante longo. Entretanto chegará o momento em que será necessário efetuar o descarte desses painéis, então será preciso entender qual o impacto disso na natureza de forma que a sustentabilidade da tecnologia possa ser assegurada.

Os sistemas fotovoltaicos estão sujeitos ainda ao chamado anti-ilhamento, que é causado pelo desligamento automático do sistema, quando há intervalo de energia na rede elétrica, podendo ocorrer problemas técnicos no inversor solar, visto que ele precisa sincronizar a corrente com a rede.

## **2.8 Estudo de Caso: impacto da instalação de um sistema fotovoltaico em uma edificação**

### **2.8.1 Caracterização da Edificação**

Trata-se de uma edificação, localizada no município de Barbacena, Minas Gerais, composta de três pavimentos, sendo um térreo, no nível da rua, um andar acima e um subsolo.

No pavimento térreo, funciona um estabelecimento comercial composto de três ambientes destinados às atividades do empreendimento, dois banheiros destinados ao uso dos clientes e funcionários, uma cozinha e uma despensa. No primeiro andar

existe uma residência unifamiliar composta de 9 cômodos. No subsolo, há outra residência unifamiliar com 6 cômodos. O prédio foi construído em concreto armado.

Sobre a última laje, existe uma cobertura em telhado galvanizado, apoiado em estrutura metálica, no qual se localizam as placas que abrigam as células geradoras de energia.

### **2.8.2 Caracterização do Sistema**

Na edificação, foi instalado um sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica composto por dois arranjos com 14 painéis de 27 células cada – conforme demonstrado nas figuras 5 e 6 – ligados em paralelo, totalizando 28 painéis de 320W. Cada painel tem área de 2 m<sup>2</sup>.

Figura 5 – Foto do arranjo de painéis instalados no telhado da edificação



Fonte: os autores (2020).

Figura 6 – Foto do arranjo de painéis instalados no telhado da edificação



Fonte: os autores (2020).

O sistema é composto também por um inversor Fronius 4210060 Primo 8.2-1 WLAN/LAN/WEBSERVER, demonstrado na figura 7.

Figura 7 – Foto do inversor



Fonte: os autores (2020).

Trata-se de um sistema autônomo, ou seja, sem baterias para armazenamento de energia, de forma que a quantidade não consumida pela edificação é devolvida ao sistema elétrico. Por outro lado, essa mesma incapacidade de gerar energia faz com que a edificação continue, de certa forma, dependente da rede, ainda que de maneira bastante reduzida.

### **2.8.3 Análise da geração de energia no mês de setembro de 2020**

Foi realizada a observação do comportamento do sistema durante o período de 30 dias, compreendidos entre 01 e 30 de setembro de 2020. O período foi marcado por dias de céu claro, com sol durante todo o período, bem como dias nublados e chuvosos, o que permitiu uma análise da performance do sistema em diferentes condições climáticas.

O sistema pode ser controlado por um aplicativo que permite acompanhar a geração de energia. O aplicativo utilizado para a realização das medições e extração dos dados foi o *Solar.web Pro*, versão 2.2.8, de propriedade da *Fronius International GmbH*.

As medições são feitas entre o nascer e o pôr do sol, que é o intervalo no qual o sistema é capaz de produzir energia. Como já foi descrito neste trabalho, o sistema é dependente de luz para conseguir gerar energia, de forma que, sem ela, não é possível a obtenção do efeito fotovoltaico, portanto o sistema não opera à noite, o que é uma limitação em sistemas autônomos, como o analisado.

Na tabela 1 podem ser observados, dia a dia, os dados de temperatura e precipitação em cada um dos dias acompanhados. Os dados climáticos foram obtidos no sítio *Climate-Data.org*, no endereço eletrônico <<https://pt.climate-data.org/americado-sul/brasil/minas-gerais/barbacena-2894/t/setembro-9/>>, e os dados de produção de energia foram extraídos do já citado aplicativo *Solar.web Pro*.

Tabela 1 – Dados de temperatura e precipitação

SETEMBRO DE 2020					
Dia	Temperatura (°C)	Temperatura máx. (°C)	Temperatura mín. (°C)	Precipitação (mm)	Produção (KWh)
01 set	19	24	13	2,1	31,15
02 set	19	24	13	2,5	31,87
3 set	19	26	13	1,2	44,07
4 set	19	24	14	1,2	42,55
5 set	18	24	13	1,1	43,43
6 set	18	23	13	0,4	43,70
7 set	19	24	13	2,3	42,59
8 set	19	24	13	2,3	42,25
9 set	19	25	13	2,1	40,58
10 set	20	25	14	0,5	39,67
11 set	20	25	14	0,2	39,87
12 set	19	25	14	1,0	40,63
13 set	20	25	14	1,8	42,76
14 set	20	25	15	1,1	41,92
15 set	20	26	14	2,0	28,30
16 set	20	26	15	2,5	36,96
17 set	19	24	14	1,3	37,87
18 set	19	24	14	1,2	39,08
19 set	20	26	14	0,8	33,70
20 set	20	26	15	1,1	26,33
21 set	20	25	15	1,6	19,18
22 set	19	25	14	5,6	5,59
23 set	20	26	14	0,6	15,57
24 set	20	26	14	2,1	32,87
25 set	19	24	15	2,3	38,67
26 set	18	23	14	2,9	46,32
27 set	19	24	14	2,9	48,77
28 set	20	25	14	2,1	47,85
29 set	20	25	15	3,3	46,83
30 set	19	23	15	1,9	46,65

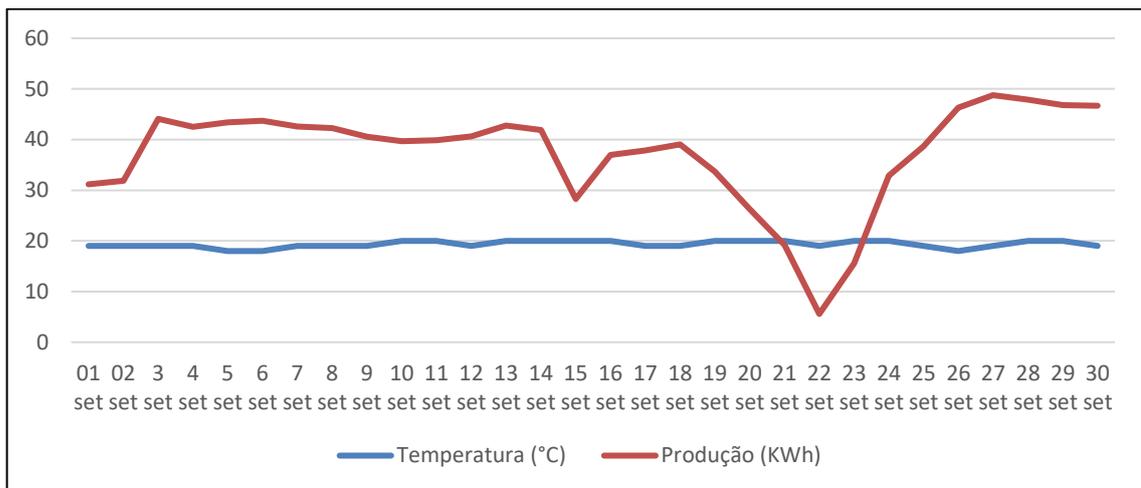
Fonte: os autores (2020).

Durante o período observou-se pouca amplitude térmica, sendo que a temperatura média observada foi de 19,3 °C, com um valor máximo de 20°C e um valor mínimo de 18°C.

Conforme Lopes (2013), a temperatura, além da radiação solar, é fator que influencia, de maneira determinante, o funcionamento da célula fotovoltaica.

Pôde-se verificar que, de fato a temperatura, influencia no funcionamento do sistema, de forma que não era esperada uma grande variação na geração de energia influenciada pela temperatura, dada a pouca amplitude verificada no período. Pela representação gráfica na figura 8 abaixo, pode-se observar os comportamentos de temperatura e geração de energia no período.

Figura 8 – Comparativo entre variação de temperatura e geração de energia

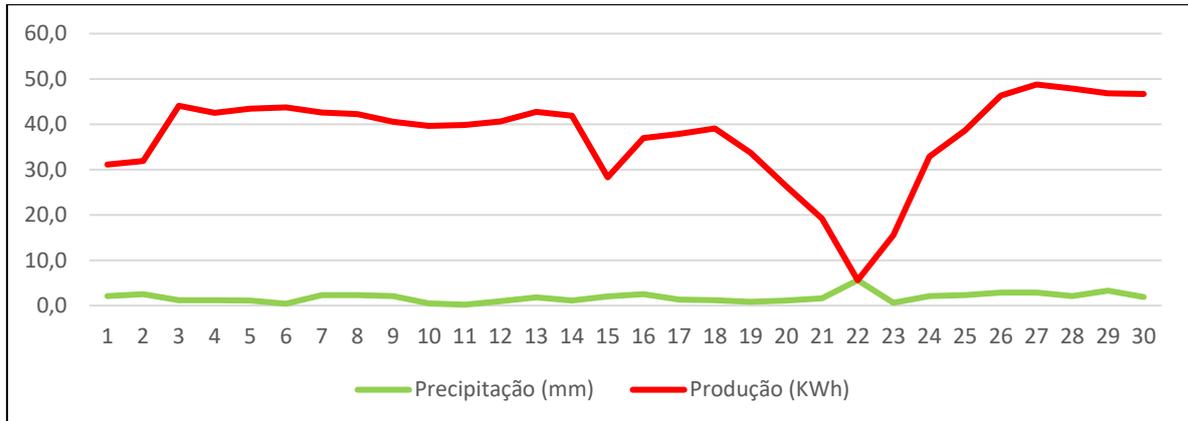


Fonte: os autores (2020).

Observou-se também como o efeito de sombreamento afeta o desempenho da célula. Segundo Lopes (2013), quando uma célula se encontra sombreada, esta atua como uma carga dissipando a corrente de entrada. Se um grupo de células se encontra sombreado, assiste-se a uma perda na energia produzida de duas maneiras: pela redução da energia gerada pela célula e pelo aumento das perdas nas células sombreadas.

Pelo gráfico da figura 9, observa-se alguma relação entre as precipitações e o desempenho do sistema. Ao confrontar os dados de precipitação com os números de geração de energia, concluímos que um volume maior de chuva na maioria dos casos resulta maior sombreamento por incidência de nuvens. Tal fato pode ser explicado pelo natural maior índice de nebulosidade em períodos chuvosos. Entretanto, observa-se que em dias de céu claro com pancadas de chuva a produção de energia é menos impactada.

Figura 9 – Comparativo entre precipitação e geração de energia

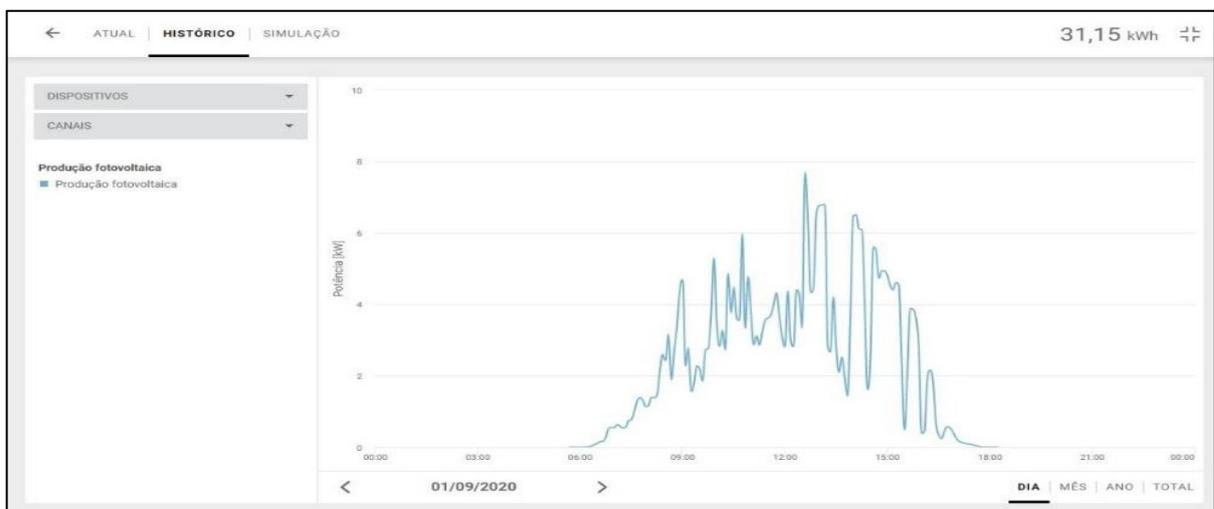


Fonte: os autores (2020).

Verifica-se no gráfico da figura 9 que, no dia 22 de setembro, o sistema produziu a menor quantidade de energia diária observada o período. Nesse mesmo dia, o índice pluviométrico atingiu o seu maior valor, com grande concentração de nuvens. Dessa forma, entende-se como o grau de sombreamento realmente afeta a performance das células fotovoltaicas, o que deve ser analisado já na fase de projeto e dimensionamento do sistema.

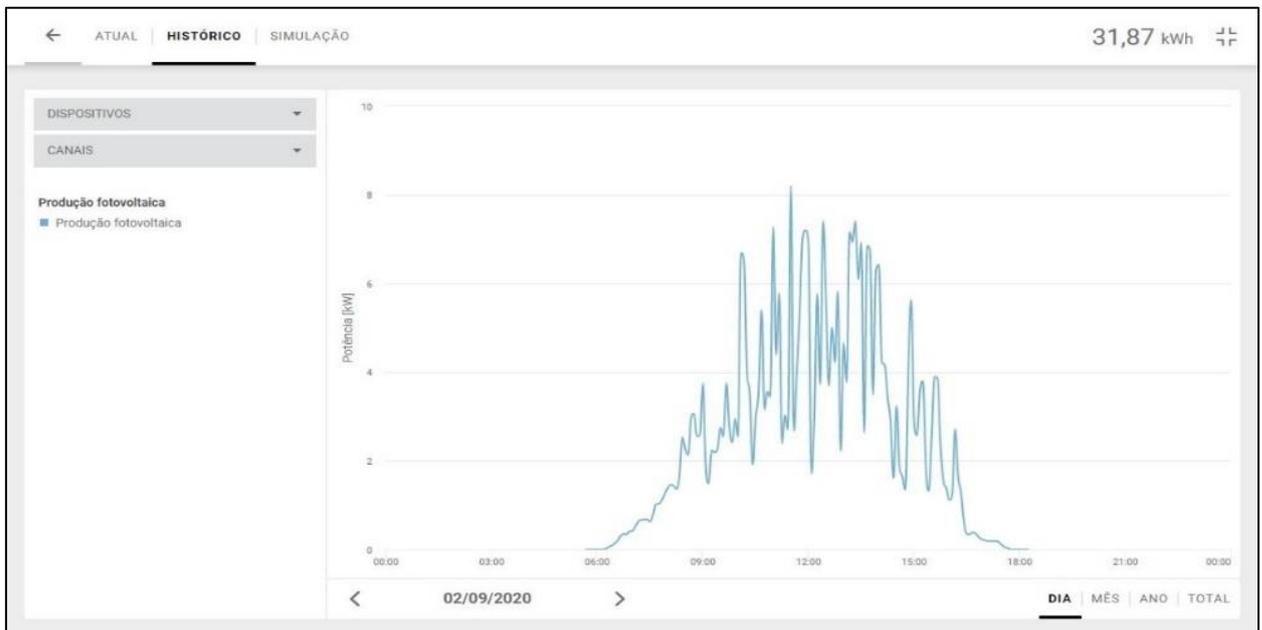
Nos dias 01 e 02 de setembro observou-se uma grande instabilidade na curva de geração de energia, o que significa ter havido algum grau de sombreamento provocado pela nebulosidade no decorrer do período.

Figura 10 – Curva de produção de energia no dia 01 de setembro de 2020



Fonte: Solar.web pro, versão 2.2.8 (2020).

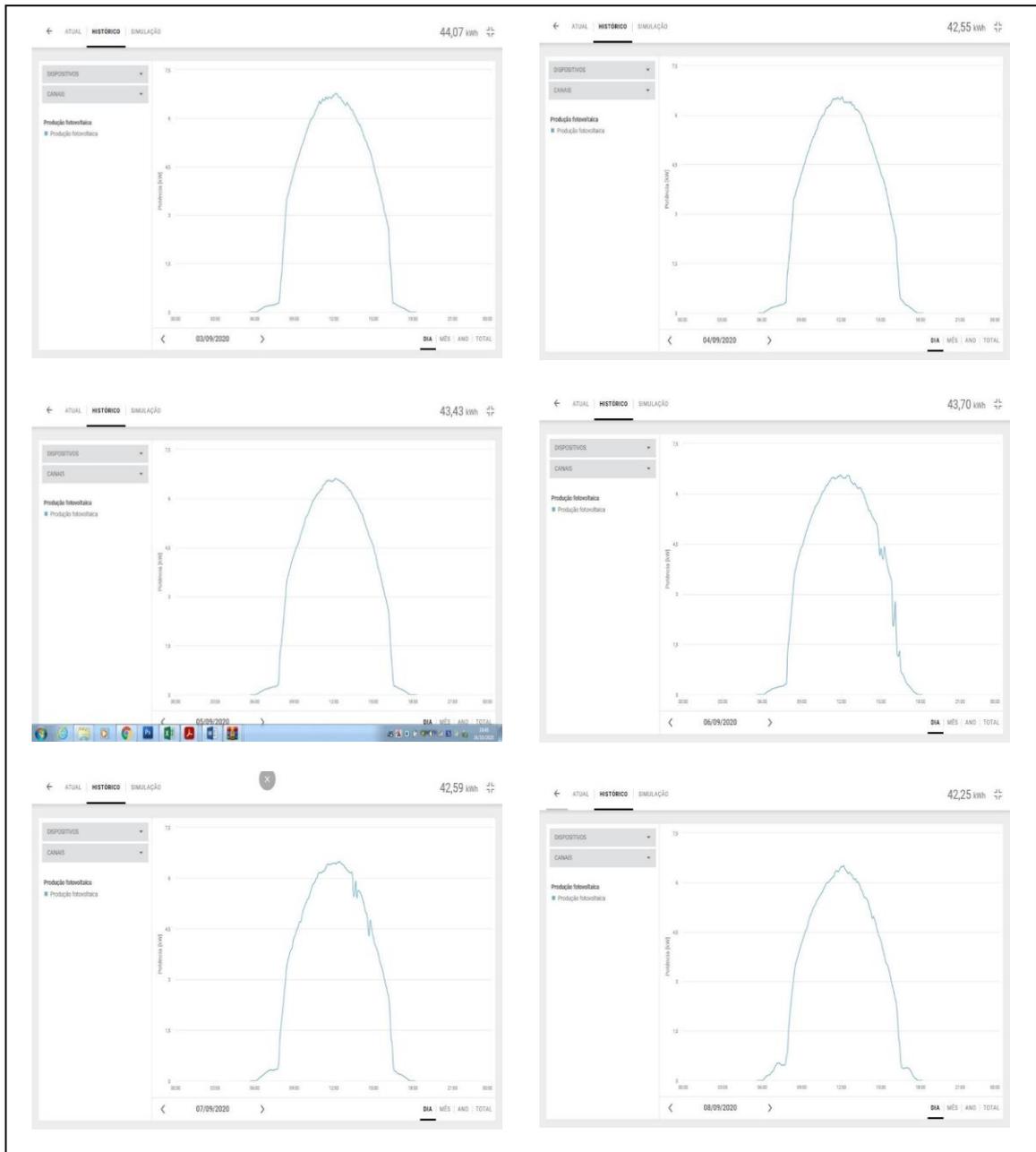
Figura 11 – Curva de produção de energia no dia 02 de setembro de 2020



Fonte: Solar.web pro, versão 2.2.8 (2020).

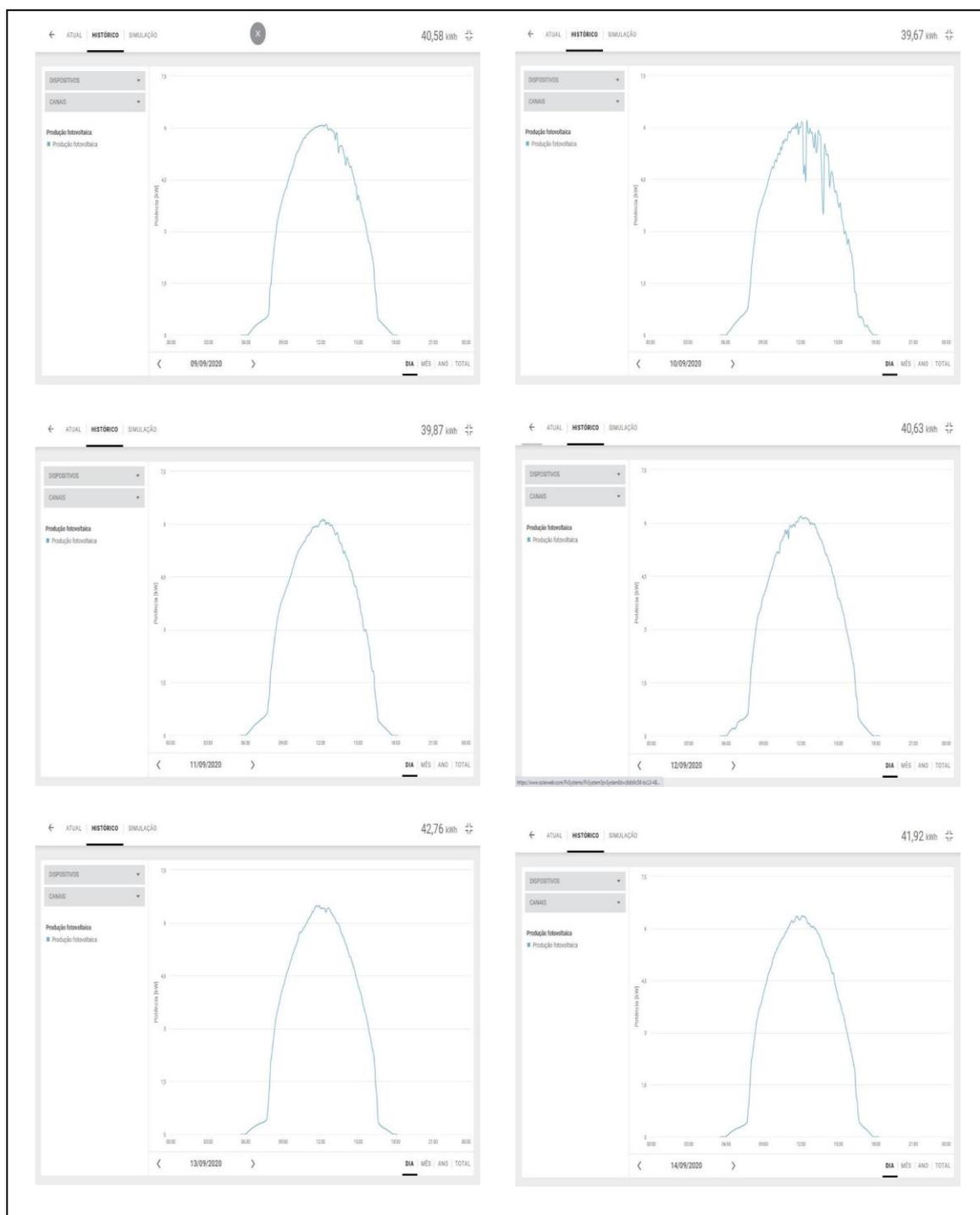
Os dias que se seguiram, no período compreendido entre 03 e 14 de setembro, foram marcados por tempo bom, com céu claro durante todo o período. Durante esses dias foi observado como a performance do sistema é afetada pelo nível de radiação solar. A curva de geração de energia evoluiu de forma bastante estável, apresentando pico por volta do meio-dia, sendo capaz de gerar energia sem maiores problemas para o atendimento da demanda da edificação.

Figura 12 – Curva de produção de energia entre os dias 03 e 08 de set. de 2020



Fonte: Solar.web pro, versão 2.2.8 (2020).

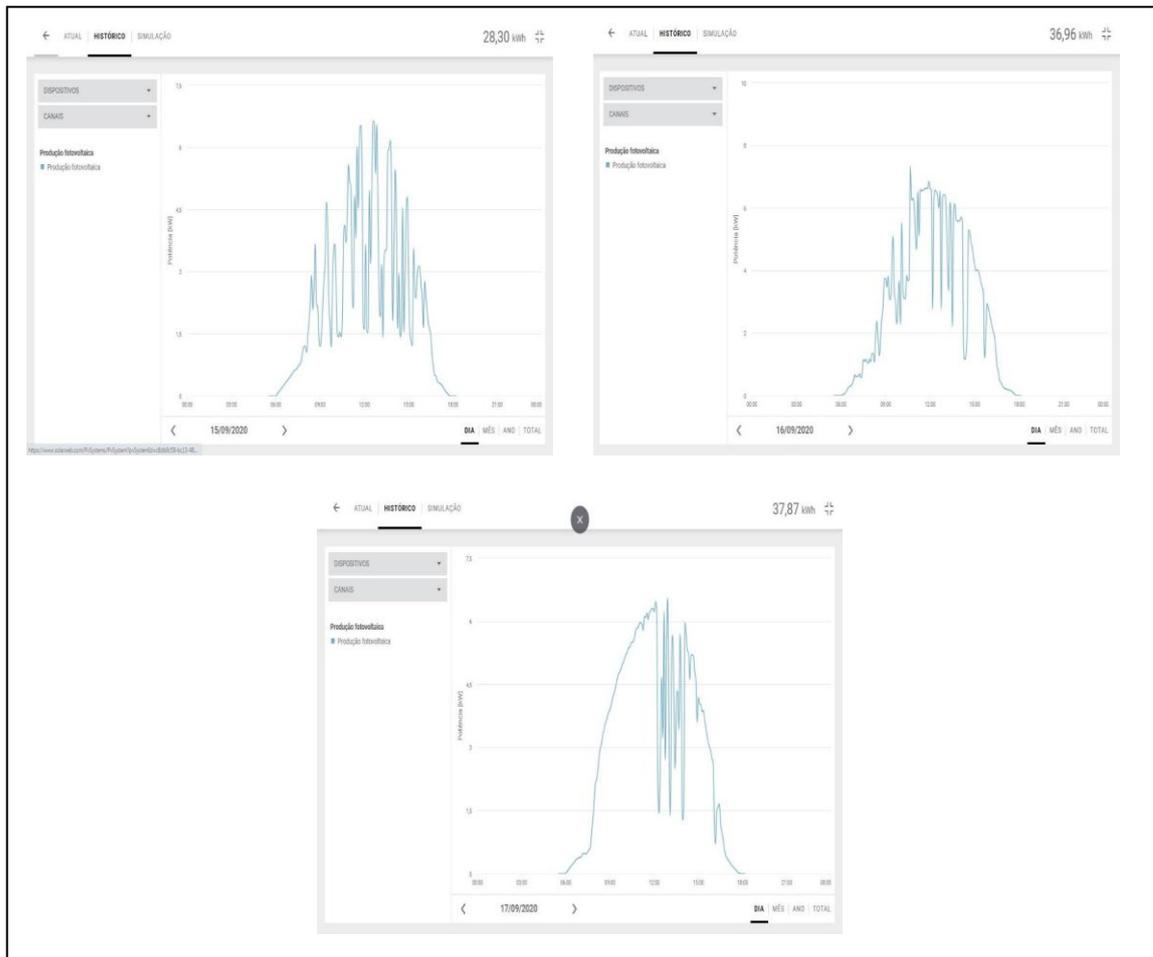
Figura 13 – Curva de produção de energia entre os dias 09 e 14 de set. de 2020



Fonte: Solar.web pro, versão 2.2.8 (2020).

Entre os dias 15 e 17 de setembro, a curva de produção de energia voltou a um comportamento mais instável, novamente influenciada pela nebulosidade no período.

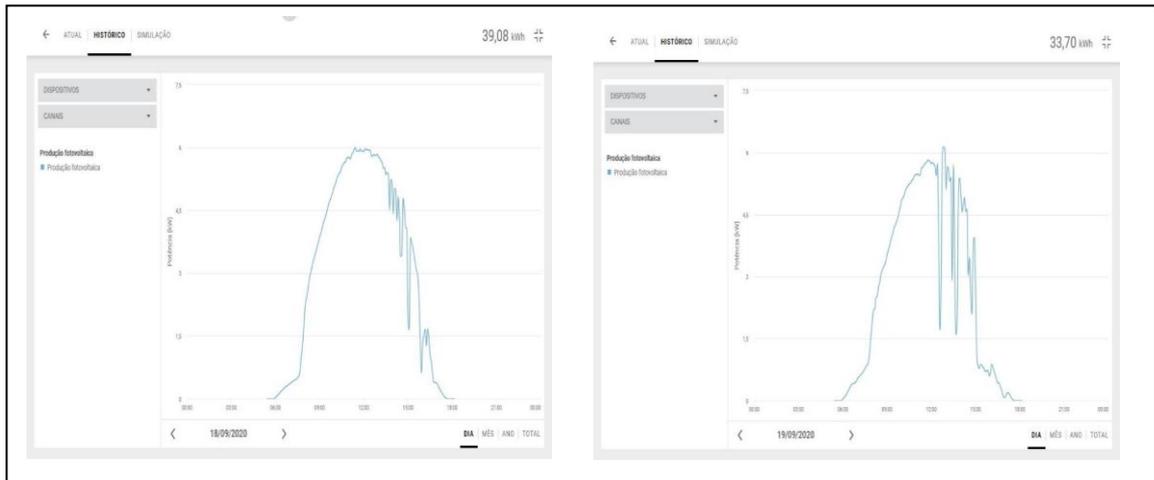
Figura 14 – Curva de produção de energia entre os dias 15 e 17 de set. de 2020



Fonte: Solar.web pro, versão 2.2.8 (2020).

Nos dias 18 e 19 de setembro, a curva de produção apresentou tendência de estabilidade. Entretanto na tarde do dia 19 a produção voltou a oscilar, novamente influenciada pelo sombreamento das placas.

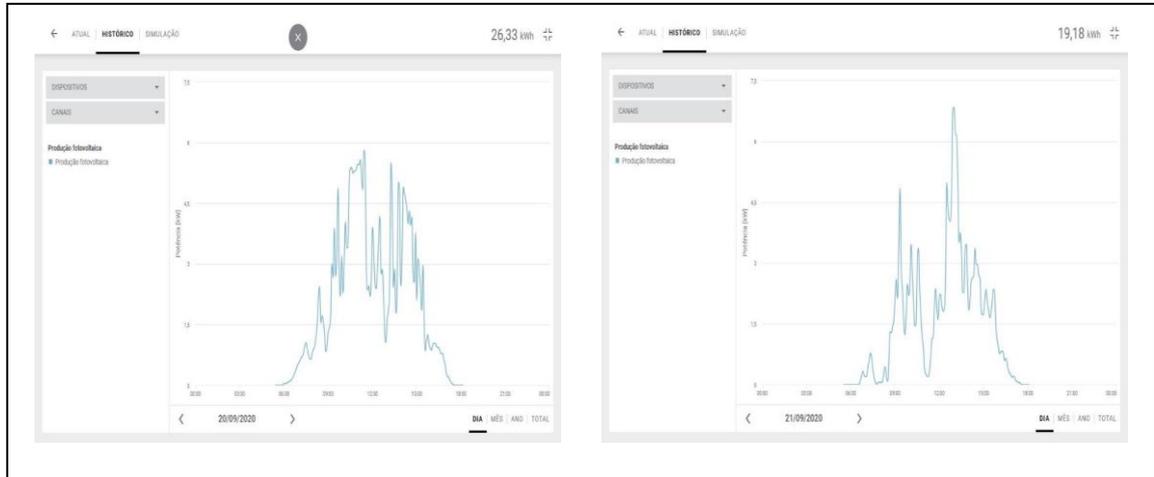
Figura 15 – Curva de produção de energia entre os dias 18 e 19 de set. de 2020



Fonte: Solar.web pro, versão 2.2.8 (2020).

Nos dias 20 e 21 de setembro, a produção de energia oscilou para baixo por causa das condições climáticas. Observou-se uma tendência de queda no período.

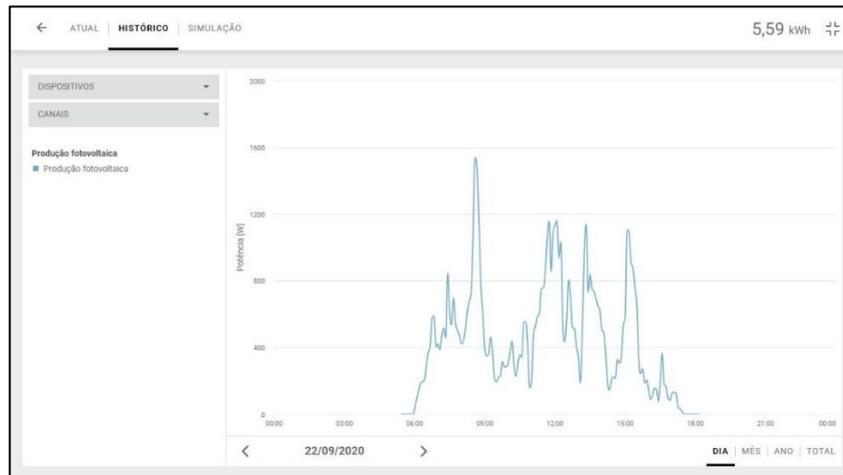
Figura 16 – Curva de produção de energia entre os dias 20 e 21 de set. de 2020



Fonte: Solar.web pro, versão 2.2.8 (2020).

O dia 22 de setembro, registrou a menor produção de energia no mês. Esse dia foi o de maior índice pluviométrico com consequente volume elevado de nebulosidade, resultando em sombreamento acentuado das placas e impactando na produção de energia, comprovando uma das limitações apresentadas pelos sistemas fotovoltaicos autônomos.

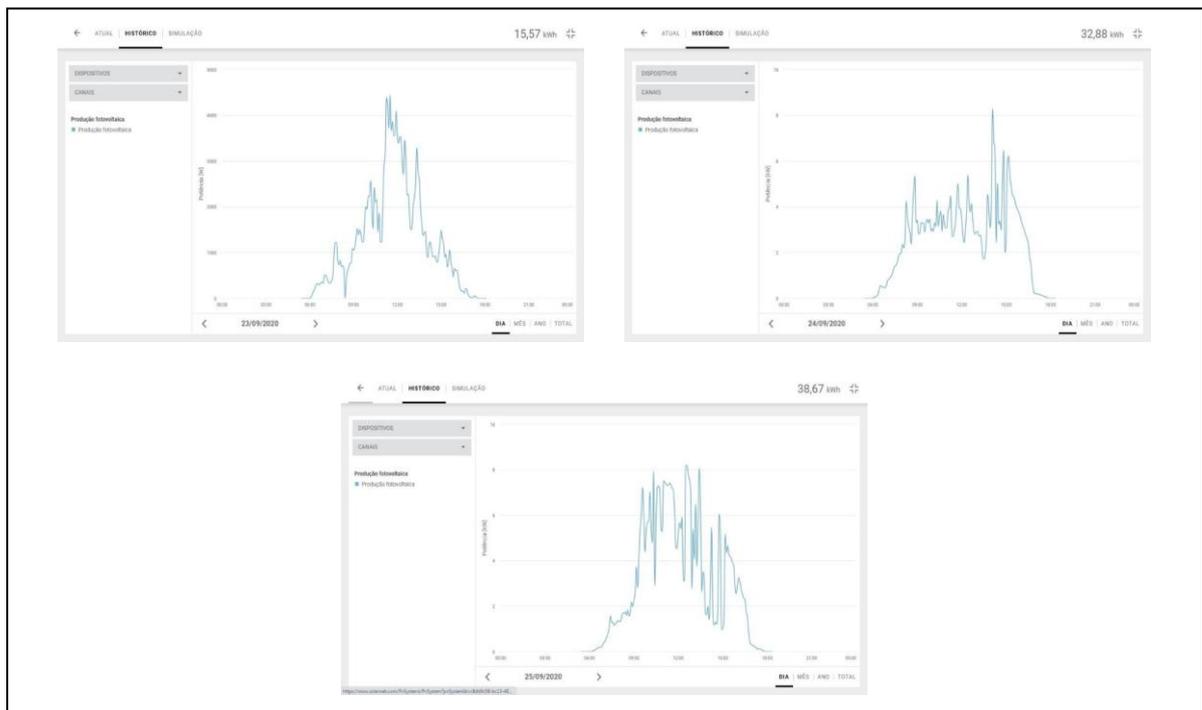
Figura 17 – Curva de produção de energia no dia 22 de setembro de 2020



Fonte: Solar.web pro, versão 2.2.8 (2020).

Entre os dias 23 e 25 de setembro, a produção continuou instável, entretanto em um volume maior e, diferentemente do período anterior, com tendência de elevação.

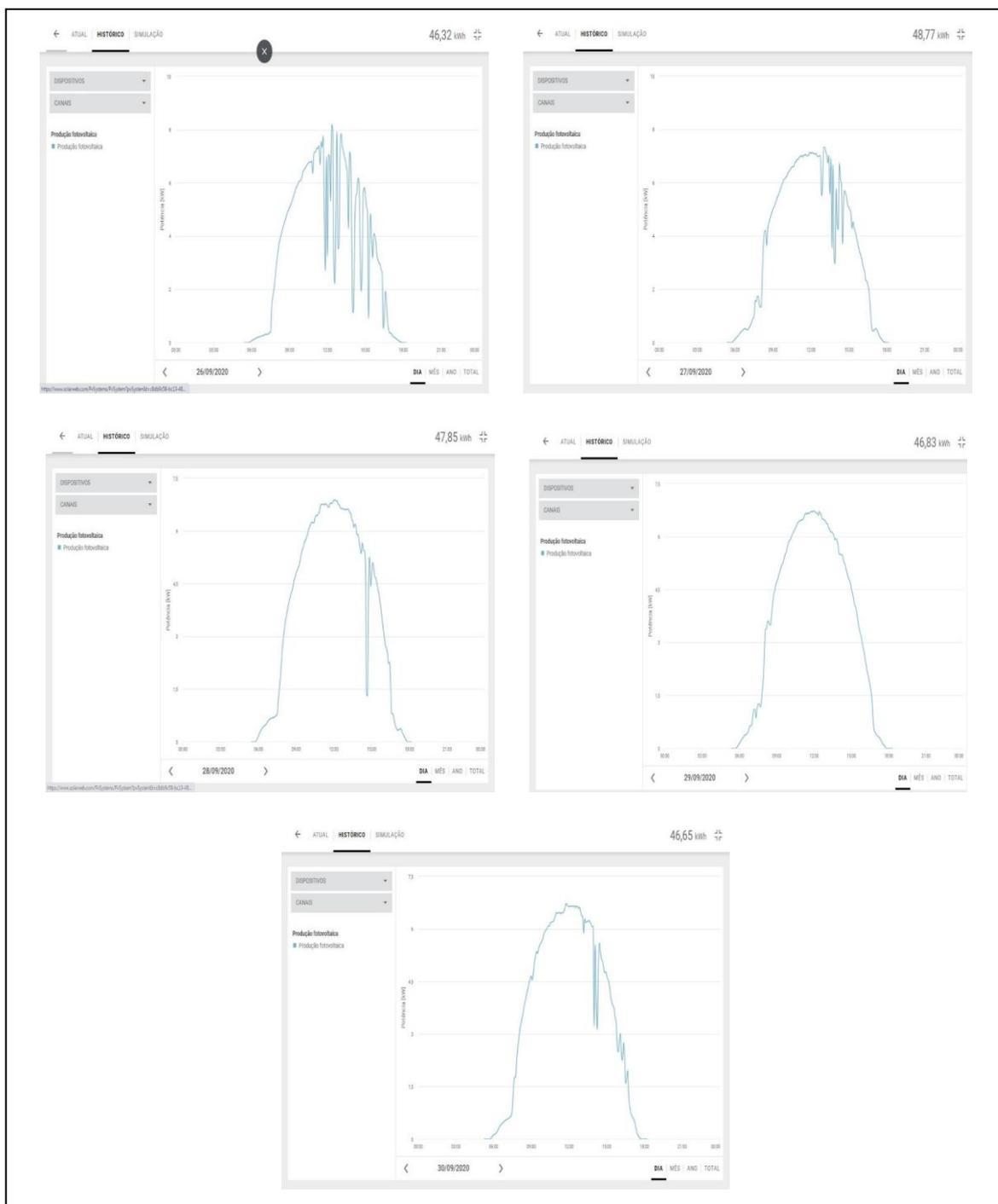
Figura 18 – Curva de produção de energia entre os dias 23 e 25 de set. de 2020



Fonte: Solar.web pro, versão 2.2.8 (2020).

Por fim, nos últimos dias do mês, as condições climáticas se apresentaram mais favoráveis e a curva de produção de energia retornou a um patamar mais elevado e estável.

Figura 19 – Curva de produção de energia entre os dias 26 e 30 de set. de 2020



Fonte: Solar.web pro, versão 2.2.8 (2020).

No gráfico abaixo pode ser acompanhado o volume diário de produção de energia e compreender sua variação no período analisado.

Figura 20 – Produção diária de energia no mês de setembro de 2020.



Fonte: os autores (2020).

#### **2.8.4 Análise de consumo e do tempo de retorno do valor investido**

Foram analisadas as contas de energia, desconsiderando taxas de iluminação e taxa mínima cobrados pela fornecedora de energia elétrica (CEMIG), durante um período compreendido de janeiro a janeiro entre os anos de 2017 a 2018, no qual não havia na época a instalação do sistema de energia foto voltaica. Verificou-se o consumo da edificação em KWh e o valor gasto devido a esse consumo, chegando a um valor total de consumo de 11174 kwh, um custo total de R\$ 8.438,37, um valor médio de consumo de 859,54 KWh e um custo médio de R\$ 649,11 no período analisado, conforme tabela 2 abaixo.

Tabela 2 – Consumo de energia por período 2017/2018

Ano	Mês	Consumo (KWh)	Valor (R\$)
2018	Janeiro	989	R\$ 711,21
2017	Dezembro	811	R\$ 629,71
2017	Novembro	888	R\$ 709,14
2017	Outubro	824	R\$ 630,24
2017	Setembro	811	R\$ 591,19
2017	Agosto	724	R\$ 528,90
2017	Julho	694	R\$ 515,89
2017	Junho	781	R\$ 570,37
2017	Maiο	779	R\$ 590,14
2017	Abril	933	R\$ 712,12
2017	Março	964	R\$ 763,49
2017	Fevereiro	948	R\$ 715,95
2017	Janeiro	1028	R\$ 770,01
	<b>Total</b>	11174	R\$ 8.438,37
	<b>Media (período de 1 ano)</b>	859,54	R\$ 649,11

Fonte: os autores (2020).

Em um segundo momento, mantendo os critérios de análise do período anterior, analisamos os anos de 2019 a 2020, no qual já havia sido instalado o sistema de geração de energia foto voltaica. Verificou-se também o consumo da edificação em KWh por mês e o valor devido a esse consumo, chegando a um valor total de consumo de 8050 kwh, um custo total de R\$ 7.123,92 e um valor médio de consumo de 619,23 KWh e um custo médio de R\$ 547,99 no período analisado, conforme tabela 3.

Tabela 3 – Consumo de energia por período 2019/2020

Ano	Mês	Consumo (KWh)	Valor (R\$)
2020	Janeiro	686	R\$ 611,65
2019	Dezembro	588	R\$ 536,84
2019	Novembro	597	R\$ 543,93
2019	Outubro	545	R\$ 501,27
2019	Setembro	627	R\$ 592,68
2019	Agosto	604	R\$ 567,44
2019	Julho	636	R\$ 578,10
2019	Junho	575	R\$ 488,62
2019	Maiο	659	R\$ 547,02
2019	Abril	612	R\$ 506,91
2019	Março	691	R\$ 571,94
2019	Fevereiro	602	R\$ 533,09
2019	Janeiro	628	R\$ 544,45
	<b>Total</b>	8050	R\$ 7.123,92
	<b>Media (período de 1 ano)</b>	619,23	R\$ 547,99

Fonte: os autores (2020).

Após avaliar todos os dados coletados, verificou-se que já com o sistema instalado, o consumo mensal teve uma redução considerável, o que se transformou em economia para a edificação, conforme podemos visualizar na tabela 4 a seguir.

Tabela 4 – Comparação do consumo por períodos

Mês	Consumo Período 2017/2018 (KWh)	Consumo Período 2019/2020 (KWh)	Economia no período diurno (KWh)	Economia no período diurno (R\$)
Janeiro	989	686	303	R\$ 270,16
Dezembro	811	588	223	R\$ 203,60
Novembro	888	597	291	R\$ 265,13
Outubro	824	545	279	R\$ 256,61
Setembro	811	627	184	R\$ 173,93
Agosto	724	604	120	R\$ 112,74
Julho	694	636	58	R\$ 52,72
Junho	781	575	206	R\$ 175,05
Maiο	779	659	120	R\$ 99,61
Abril	933	612	321	R\$ 265,88
Março	964	691	273	R\$ 225,96
Fevereiro	948	602	346	R\$ 306,39
Janeiro	1028	628	400	R\$ 346,78
<b>Total</b>	11174	8050	3124	R\$ 2.754,56
<b>Media (período de 1 ano)</b>	859,54	619,23	240,31	R\$ 211,89

Fonte: os autores (2020).

Na tabela apresentada acima, temos uma queda de 28% no consumo de energia e 16% no valor gasto com energia somente descontando o consumo diurno da produção fotovoltaica. Mais como a produção é superior ao consumo e somente é produzida energia no período diurno, faz-se necessário uma análise mais detalhada do sistema como um todo.

A economia inicial se dá pelo fato de que a energia produzida durante o período diurno é consumida instantaneamente pela edificação, ou seja, as placas fotovoltaicas estão produzindo energia que estão sendo utilizada pelos aparelhos/equipamentos elétricos da residência em uma média de 376,80 KWh.

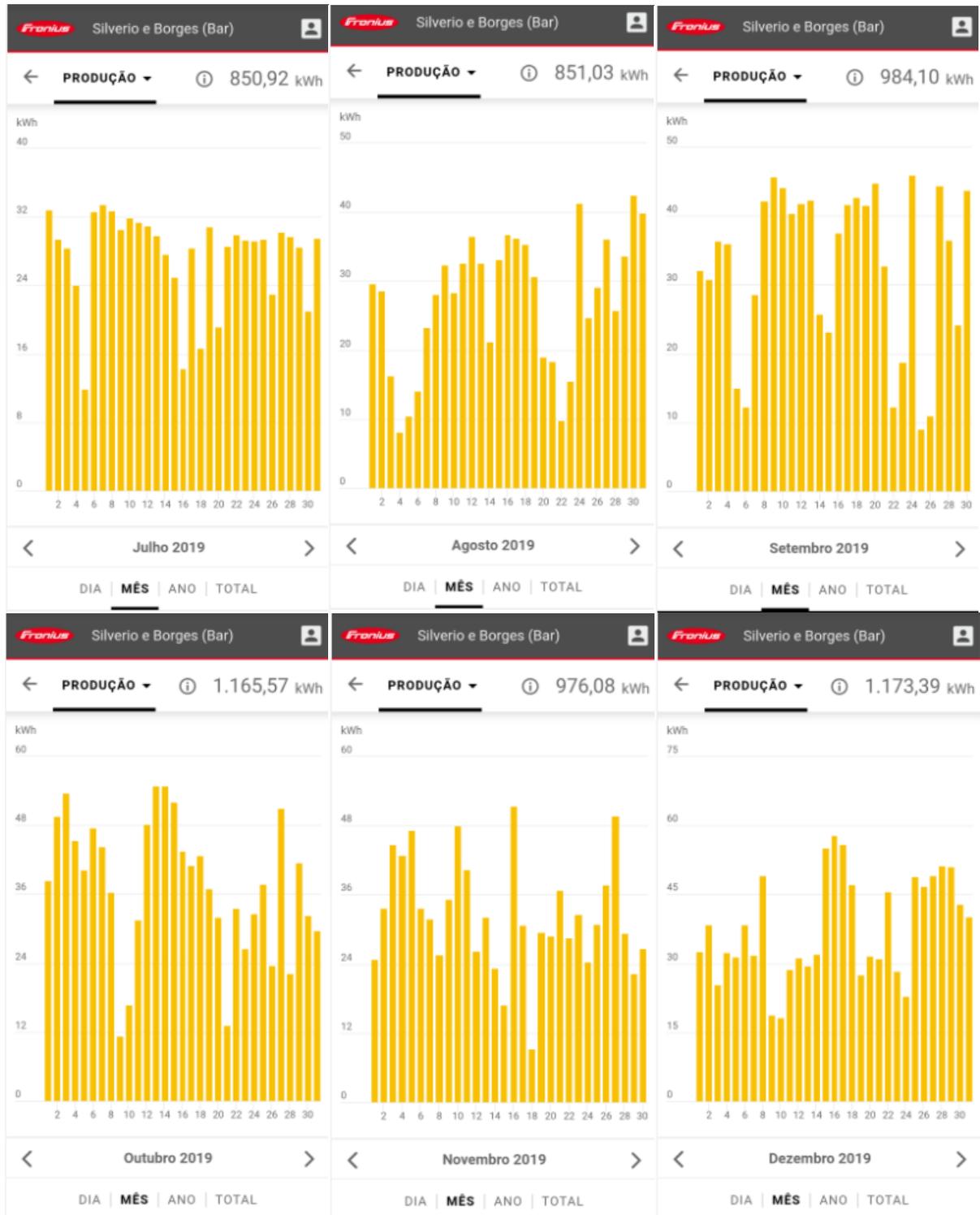
No período noturno, a edificação consome a energia produzida pelas placas fotovoltaicas ao longo do dia, não consumidas pelo período diurno. As placas dimensionadas para essa edificação, produzem uma quantidade de energia superior ao consumo mensal, de 1000 KWh/mês, podemos verificar essa produção utilizando aplicativo *Solar.web pro*, versão 2.2.8, de propriedade da *Fronius International GmbH*, conforme vemos abaixo.

Figura 21 – Gráficos de produção energética janeiro a junho de 2019



Fonte: Solar.web pro, versão 2.2.8 (2020).

Figura 22 – Gráficos de produção energética julho a dezembro de 2019



Fonte: Solar.web pro, versão 2.2.8 (2020).

Em uma análise final e utilizando os dados levantados da produção mensal da edificação com o auxílio do Aplicativo e utilizando também o histórico de contas CEMIG, pode se analisar mais a fundo o consumo e o tempo de retorno do valor investido, conforme tabela 5.

Tabela 5 – Análise detalhada da edificação

Ano	Mês	Consumo (KWh)	Valor (R\$)	Energia produzida (KWh)	Energia Injetada (KWp)	Energia Injetada + compensação de baixa produção (KWp)	Consumo de energia no período diurno	Energia de retorno	Consumo de energia CEMIG (KWh)	Consumo de energia CEMIG (R\$)
2020	Janeiro	686	R\$ 611,65	1041,41	795	795	246,41	109	0	R\$ -
2019	Dezembro	588	R\$ 536,84	1173,39	524	538	649,39	-50	50	R\$ 45,65
2019	Novembro	597	R\$ 543,93	976,08	647	647	329,08	50	0	R\$ -
2019	Outubro	545	R\$ 501,27	1165,57	714	714	451,57	169	0	R\$ -
2019	Setembro	627	R\$ 592,68	984,1	637	637	347,1	10	0	R\$ -
2019	Agosto	604	R\$ 567,44	851,03	466	554	385,03	-50	50	R\$ 46,97
2019	Julho	636	R\$ 578,10	850,92	586	586	264,92	-50	50	R\$ 45,45
2019	Junho	575	R\$ 488,62	862,75	594	594	268,75	19	0	R\$ -
2019	Mai	659	R\$ 547,02	890,98	554	609	336,98	-50	50	R\$ 41,50
2019	Abril	612	R\$ 506,91	960,92	551	562	409,92	-50	50	R\$ 41,41
2019	Março	691	R\$ 571,94	1154,57	772	772	382,57	81	0	R\$ -
2019	Fevereiro	602	R\$ 533,09	1099,28	844	844	255,28	242	0	R\$ -
2019	Janeiro	628	R\$ 544,45	1428,44	857	857	571,44	229	0	R\$ -
	<b>Total</b>	8050	R\$ 7.123,92	13439,44	8541	8709	4898,44	659	250	R\$ 220,99
	<b>Media (período de 1 ano)</b>	619,23	R\$ 547,99	1033,80	657,00	669,92	376,80	50,69	19,23	R\$ 17,00

Fonte: os autores (2020).

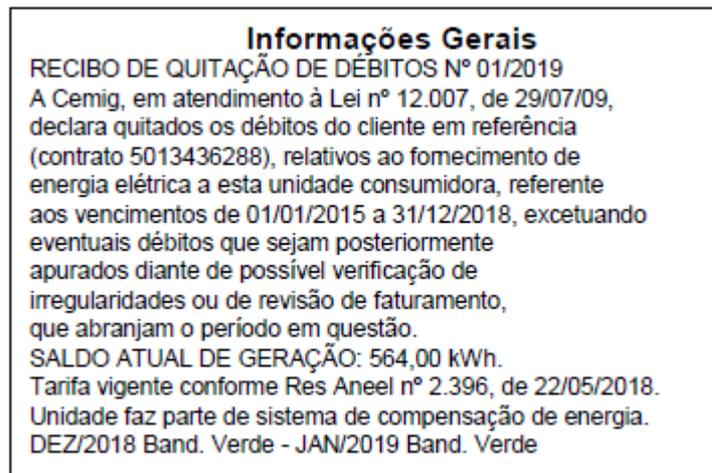
Em resumo, no período analisado, os meses em que o consumo superou a produção de energia, houve uma compensação de baixa produção de 50 KWh, retirada do saldo de energia produzida e não consumida, creditado na concessionária de energia (CEMIG) diminuindo ainda mais o valor final da conta. Essa compensação de energia injetada quando há baixa produção, é dimensionada e acordada pela empresa responsável pela instalação do sistema fotovoltaico, contratante do serviço e concessionária responsável pela produção e distribuição de energia da região (CEMIG).

Ainda com base na tabela, verificou-se um valor gasto no período analisado de R\$ 220,99, que se comparar com o período de 2017/2018 que foi de R\$ 8.438,37, temos uma redução de 97,38% no valor gasto com consumo de energia.

A energia produzida pelo sistema fotovoltaico da edificação é consumido durante o período diurno, o excesso da produção é enviado à concessionária responsável pela geração e distribuição de energia da região (CEMIG), convertendo em créditos energéticos que ao final de cada ciclo de medição da fornecedora,

deveram ser abatidos no consumo da edificação, ou seja, o que a edificação produziu foi consumido ao longo do dia e o que sobrou fica armazenado na CEMIG para descontar no que a edificação gasta durante a noite ou períodos onde não houve produção de energia fotovoltaica. No caso da edificação em estudo, no mês anterior ao período analisado, existia um saldo de energia produzida e não consumida de 564,00KWh.

Figura 23 – Historico de contas CEMIG



Fonte: CEMIG (2020).

Este saldo é utilizado em meses onde a produção de energia fotovoltaica é baixa ou nos meses onde o consumo é maior que a produção. Esses créditos energéticos tem validade de 60 meses e podem ser injetados em outras conta de energia com o mesmo CNPJ ou CPF do proprietário da edificação.

Após todo o estudo feito analisando períodos diferentes e vários outros dados envolvendo a produção de energia fotovoltaica, o consumo da edificação e o histórico de contas, além do contrato de prestação de serviço da empresa responsável pela instalação e manutenção do sistema fotovoltaico, verifica-se um tempo de retorno do investimento de aproximadamente de 5 anos.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento da indústria de engenharia, arquitetura e construção civil passa, inevitavelmente, pela questão da sustentabilidade. Construções mais eficientes estão, não somente na pauta dos governos, como também na lista de desejos de consumidores.

Certo é que, por vezes, projetar e construir edificações sustentáveis pode representar um grande desafio para engenheiros e arquitetos, pois depende de condições econômicas, comerciais e culturais de cada região.

Dentro dessa procura por sustentabilidade e eficiência, desponta a necessidade da busca de formas de geração de energia que sejam limpas e sustentáveis. Observou-se, então que a luz solar seria uma excelente opção para geração de energia. Com a descoberta do efeito fotovoltaico na década de 30, abriu-se um imenso campo para o seu aproveitamento na geração de energia elétrica. A partir da crise do petróleo nos anos 70, a tecnologia de conversão fotovoltaica tornou-se uma área bastante dinâmica, despertando muito interesse e se tornando viável economicamente para pequenas unidades habitacionais.

Da análise de uma edificação que se utiliza do sistema fotovoltaico, pôde-se observar como o sistema se comporta diante de variações climáticas. Confrontando-se, por exemplo, os níveis de precipitação com as curvas de geração de energia, observou-se como o índice de nebulosidade influencia na eficiência do sistema. De outra forma, analisando os custos de implantação e comparando-os com a economia esperada, conclui-se que o sistema pode ser sim viável, representando um ganho significativo nos custos com energia elétrica.

Em que pese o grande potencial brasileiro para o aproveitamento de energia solar, a utilização do sistema ainda é bastante incipiente. Entretanto importa pontuar que esse quadro tende a mudar com a popularização dos sistemas, o que, normalmente, vem acompanhado de uma redução de valores de aquisição.

O sistema se mostra viável, mas para que ocorra uma expansão no mercado é necessária uma diminuição nos custos bem como a promoção de constantes avanços tecnológicos além da formação de profissionais qualificados.

#### 4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **Edificações habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos Gerais**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013.

ALMEIDA, Marcelo Pinho. **Qualificação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2012. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-28062012-102236/publico/DissertacaoMarceloPinhoAlmeida.pdf>. Acesso em: set. 2020.

ARAÚJO, Nadine Demacena de et al. **Evolução e análise de sistemas fotovoltaicos no Brasil e Chile**. In: VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2018, Gramado. Disponível em: [http://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/12375/2/Evolucao\\_e\\_analise\\_de\\_sistemas\\_fotovoltaicos\\_no\\_Brasil\\_e\\_Chile.pdf](http://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/12375/2/Evolucao_e_analise_de_sistemas_fotovoltaicos_no_Brasil_e_Chile.pdf). Acesso em: out. 2020.

BORGES, Carlos Alberto de Moraes. **O conceito de desempenho de edificações e sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2008. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-25092008-094741/en.php>. Acesso em: ago. 2020.

BRAGA, Renata Pereira. **Energia solar fotovoltaica: fundamentos e aplicações**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://pantheon.ufrj.br/handle/11422/7372>. Acesso em: set. 2020.

BRITO, Miguel C.; SILVA, José A. **Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em electricidade**. Lisboa: Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2006. Disponível em: <http://solar.fc.ul.pt/i1.pdf>. Acesso em: out. 2020.

CABRAL, Claudia Valéria Távora. **Análise de dimensionamento estocástico e determinístico de sistemas fotovoltaicos isolados**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/714>. Acesso em: set. 2020.

CÂMARA, Carlos Fernando. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. Lavras: UFLA – Universidade Federal de Lavras, 2011. Disponível em: [https://www.voltimum.com.br/sites/www.voltimum.com.br/files/pdflibrary/07\\_monografia-carlos-fernando-camara.pdf](https://www.voltimum.com.br/sites/www.voltimum.com.br/files/pdflibrary/07_monografia-carlos-fernando-camara.pdf). Acesso em: set. 2020.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO – CBIC. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/4962>. Acesso em: set. 2020.

CARLO, Joyce Correana. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/91026>. Acesso em: ago. 2020.

CARLO, Joyce Correana, LAMBERTS, Roberto. **Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 1: método prescritivo**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 7-26, abr./jun. 2010. Disponível em: <https://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/11790/8471>. Acesso em ago. 2020.

CASTRO, Rui M. G. **Introdução à energia fotovoltaica**. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 2002. Disponível em: [https://www.academia.edu/download/51519880/Introducao\\_a\\_Energia\\_Fotovoltaica.pdf](https://www.academia.edu/download/51519880/Introducao_a_Energia_Fotovoltaica.pdf). Acesso em: set. 2020.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA AS ENERGIAS SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE S. BRITO – CRESESB. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: [http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf). Acesso em: set. 2020.

CIRINO, Jainor Fernandes. **Gestão de projetos na construção civil com a utilização do *building information modeling* (BIM)**. Barbacena: UNIPAC, 2020.

CÔRTEZ, Rogério Gomes et al. **Contribuições para a sustentabilidade na construção civil**. Revista Eletrônica Sistenas & Gestão, Volume 6, Número 3, 2011, pp. 384-397. Disponível em: <https://www.revistasg.uff.br/sg/article/view/V6N3A10>. Acesso em: ago. 2020.

CZYZESKI, Virgínia Cristina Samrsla. **Estudo de viabilidade técnica da conexão de um sistema solar fotovoltaico em média tensão**. Ijuí: UNIJUÍ – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2016. Disponível em: <https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/bitstream/handle/123456789/4399/Virg%C3%ADnia%20Cristina%20Samrsla%20Czyzeski.pdf?sequence=1>. Acesso em: set. 2020.

GOLDEMBERG, José, LUCON, Oswaldo. **Crise financeira, energia e sustentabilidade no Brasil**. Estudos Avançados vol.23 no.65 São Paulo 2009. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142009000100009&script=sci\\_arttext&tIng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142009000100009&script=sci_arttext&tIng=pt). Acesso em: ago. 2020.

GOLDEMBERG, José, LUCON, Oswaldo. **Energia e meio ambiente no Brasil**. Estudos Avançados vol.21 no.59 São Paulo Jan./Apr. 2007. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142007000100003&script=sci\\_arttext&tIng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142007000100003&script=sci_arttext&tIng=pt). Acesso em: ago. 2020.

GONÇALVES, Joana Carla Soares, DUARTE, Denise Helena Silva. **Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 6, n. 4, p. 51-81 out./dez. 2006. Disponível em: <https://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3720/2071>. Acesso em: ago. 2020.

LOPES, Ricardo Jorge Cabral. **Efeito do sombreamento nos painéis fotovoltaicos**. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/3217/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o.pdf>. Acesso em: out. 2020.

MACHADO, Carolina T., MIRANDA, Fábio S. **Energia solar fotovoltaica: uma breve revisão**. Niterói: UFF, 2014. Disponível em: <http://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/664>. Acesso em: ago. 2020.

METHA, P. Kumar, MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São Paulo: Ibracon, 2014.

NASCIMENTO, Admilson Lima, MACIEL, Evandro. **Certificado ambiental de edifícios Aqua, LEED e Procel Edifica**. São Paulo: Centro Universitário Fundação Santo André, 2010. Disponível em: <http://www.abcobre.org.br/uploads/conteudo/conteudo/2020/01/iWXpH/doc-60-ae-er-ie-qe-certificado-ambiental-de-edificios-aqua-leed-e-procel-edifica1.pdf>. Acesso em: set. 2020.

NASCIMENTO, Cássio Araújo do. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2004. Disponível em: [https://www.solenerg.com.br/files/monografia\\_cassio.pdf](https://www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf). Acesso em: set. 2020.

NASCIMENTO, Elimar Pinheiro do. **Trajetória da sustentabilidade: do ambiental a social, do social ao econômico**. Estudos Avançados vol.26 no.74 São Paulo 2012. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142012000100005&script=sci\\_arttext&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142012000100005&script=sci_arttext&tlng=pt). Acesso em: ago. 2020.

OLIVATI, Clarissa de Almeida. **Efeito fotovoltaico e fotocondutividade em dispositivos poliméricos**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2000. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/76/76132/tde-02092010-083031/publico/ClarissadeAlmeidaOlivatiM.pdf>. Acesso em: set. 2020.

POSSAN, Edna, DEMOLINER, Alberto. **Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral**. Revista Técnico-Científica do CREA-PR, 1ª ed. Outubro de 2013. Disponível em: <http://creapr16.creapr.org.br/revista/sistema/index.php/revista/article/view/14>. Acesso em: ago. 2020.

RAMPINELLI, Giuliano Arns. **Estudo de características elétricas e térmicas de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/27935>. Acesso em: set. 2020.

SANTOS, Daniel Costa dos. **Os sistemas prediais e a promoção da sustentabilidade ambiental**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2002. Disponível em: <https://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3429/1847>. Acesso em: ago. 2020.

TEORIA DAS BANDAS. In: WIKIPEDIA: a enciclopédia livre. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Teoria\\_de\\_bandas](https://pt.wikipedia.org/wiki/Teoria_de_bandas). Acesso em outubro de 2020.

TORRES, Regina Célia. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2012. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18147/tde-18032013-091511/publico/dissertacao\\_final\\_rct.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18147/tde-18032013-091511/publico/dissertacao_final_rct.pdf). Acesso em: out. 2020.

VALLÊRA, António M., BRITO, Miguel Centeno. **Meio século de história fotovoltaica**. Lisboa: Sociedade Portuguesa de Física, 2006. Disponível em: <http://solar.fc.ul.pt/gazeta2006.pdf>. Acesso em: set. 2020.

VILLANUEVA, Marina Miranda. **A importância da manutenção preventiva para o bom desempenho da edificação**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10013451.pdf>. Acesso em: set. 2020.