

A 3ª GERAÇÃO DE COLETORES SOLARES COMO CANDIDATA A UMA ENERGIA EFETIVAMENTE SUSTENTÁVEL

[\[ver artigo online\]](#)

Isabella Rangel Coelho da Rocha¹

RESUMO

Este presente artigo trata sobre a energia limpa, mais especificamente da energia solar. São trazidos alguns aspectos acerca do contexto, como a origem dessa matriz energética, o desenvolvimento dos coletores solares em suas gerações até chegar à inovação tecnológica que, hoje em dia, ela se apresenta e a sua relação com a sustentabilidade. A 3ª geração, que contempla principalmente as células fotovoltaicas orgânicas, ou OPV, é o material de estudo deste artigo, devido as suas características como semitransparência, flexibilidade, adaptabilidade em qualquer tipo de ambiente e reciclabilidade. Apesar dos módulos da 1ª e 2ª geração serem considerados como importantes marcos na energia limpa, eles não podem ser considerados, por completo, como sustentáveis, visto que ao final da sua vida útil, há uma geração de lixo que contribui negativamente para os problemas ambientais de despejo de resíduos. Portanto, avaliou-se, através de uma análise qualitativa, que o OPV é capaz de resolver essa problemática e que é a única matriz energética solar efetivamente sustentável, mesmo que ainda precise avançar no quesito aproveitamento energético e viabilidade econômica.

Palavras-chave: Células fotovoltaicas, OPV, energia solar, 3ª geração de energia solar.

THE 3RD GENERATION OF SOLAR COLLECTORS AS A CANDIDATE FOR AN EFFECTIVELY SUSTAINABLE ENERGY

ABSTRACT

This article presents about clean energy, more specifically it deals with solar energy. Aspects of the context are brought up, such as the innovation of this energy matrix, the development of the years of solar preservation in its generations until reaching the technology that is approaching today, its relationship with technology. The 3rd generation, which mainly includes organic photovoltaic cells, or OPV, is the material of study of this article, due to its characteristics such as semi-transparency, flexibility, adaptability and recyclability. Although the 1st and 2nd generation modules are considered clean, as important milestones, they cannot be considered, in their entirety, as, since at the end of their useful life, a generation of waste that contributes to the energy of environmental problems dumping of waste. Therefore, it was evaluated, through a qualitative analysis, that the OPV is capable of solving this problem and that it is a unique and robust solar array, even if it is still accurate, even if it does not have requirements for energy and economic use.

Keywords: Photovoltaic cells, OPV, solar energy, 3rd generation solar energy.

¹ Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Veiga de Almeida (UVA – Rio de Janeiro – RJ) e Pós-Graduada em Projetos Aplicados à Construção Civil pela União Brasileira de Faculdades (UniBF – Paraíso do Norte – PR) e Pós-Graduada em Orçamento, Planejamento e Controle na Construção Civil pela União Brasileira de Faculdades (UniBF – Paraíso do Norte – PR).

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos séculos, a crescente multiplicação da população ao redor do mundo, e conseqüentemente a maior demanda por energia elétrica, é o fator que move a constante busca por alternativas mais sustentáveis, principalmente pelo fato de que o consumismo das eras digitais e a poluição de grandes centros urbanos têm provocado ao planeta uma sobrecarga muito acentuada. Dessa forma, é de extrema importância que se vise a alternativas como fonte de energia limpa para minimizar esse efeito.

Uma das energias que vêm ganhando bastante expressão atualmente é a de fonte solar, principalmente devido à sua grande vantagem de ser um recurso inesgotável. Porém, segundo Valadares (2019), mesmo com a alta incidência de radiação solar no Brasil, esta matriz energética representa apenas 0,02% do total empregado no país, em 2015.

A energia solar traz inúmeros benefícios aos seus usuários, como é o caso de apresentar um alto rendimento energético quando comparado aos outros recursos disponíveis, a excelente eficiência termodinâmica, não gera ruídos, são constituídos por módulos, a energia está disponível abundantemente e sem custo, o baixo valor monetário em situações que necessitem de reparo ou manutenção, entre outros.

De acordo com Galdino et al. (2018, apud LUQUE; HEGEDUS, 2003), a energia fotovoltaica que é a mais usada nos dias atuais são os do tipo módulo rígido, conhecido também como de 1ª geração, os quais possuem eficiência em torno de 15%. Mas, por mais que a energia solar esteja mais difundida entre a sociedade brasileira, há limitações no quesito preço e eficiência, resultando em novas pesquisas para encontrar o método, modelo e material ideal para a adaptação dessa energia.

Com esse cenário, chegou-se até a 3ª geração de coletores solares, mais conhecidos como OPV (*Organic Photovoltaic*), no qual garante a produção de um material em larga escala, possui grande adaptabilidade aos mais diversos locais e que não possui restrições ligadas à temperatura ou ao tipo de ambiente para a sua instalação (GALDINO et al., 2018, apud BRIAN; MARK, 2003).

Outra importante faceta na análise das gerações, que originou a elaboração das células de OPV, é a questão de as placas solares usadas no Brasil não apresentarem efetivamente a condição de sustentabilidade que é disseminada para esse tipo de energia. Ao final da sua vida útil, as placas que compõem esse sistema energético precisam ser descartadas, contribuindo com a problemática de geração de resíduos no meio ambiente, não configurando, dessa forma, como uma energia 100% limpa.

Sobre essa perspectiva, o presente artigo tem por objetivo constatar, através de um estudo qualitativo, se a nova geração da energia solar pode ser considerada como uma energia efetivamente sustentável. Para isso, será abordado nos próximos capítulos a origem da energia fotovoltaica e a função que os coletores desempenham, a evolução das gerações e as considerações acerca do OPV. Ao final, será discutido se, atualmente, a 3ª geração é capaz de ser considerada uma energia potencialmente sustentável, objetivando a melhora na qualidade de vida dos seres humanos e do planeta Terra.

2 COLETORES SOLARES

2.1 A origem da energia solar e a função dos coletores

O sol é um recurso que, devido a sua alta radiação e incidência direta no planeta Terra, é uma excelente opção para gerar energia elétrica. Esse calor é absorvido através das células fotovoltaicas, que tem como função, a partir deste processo, gerar energia ao sistema que está acoplado.

De acordo com Weber (2019, apud LUKE, 2018), foi no ano de 1879 que Becquerel descobriu o efeito fotovoltaico, através de uma reação com eletrólito. Porém, foi somente em 1883 que a célula fotovoltaica de fato surgiu, sendo fabricada em material de selênio, com eficiência de apenas 1%. O avanço dessa energia só foi possível em 1930, quando Schottky, inspirado na descoberta de Charles Fritts, que conseguiu cobrir o selênio com uma camada fina de ouro, estabeleceu a teoria do efeito fotovoltaico no Centro de Pesquisas de Energia Elétrica Antoine Becquerel Walter Schottky. Ainda assim, essa tecnologia só começou a, de fato, ser utilizada em 1990 para sistemas de aquecimento solar, com vida útil dos painéis de 25 anos, o que

resulta em uma grande quantidade de lixo eletrônico. Sendo assim, mesmo com o objetivo de ter como pilar fundamental a energia limpa, os painéis causam graves problemas ambientais, fato este que promoverá as constantes pesquisas e desenvolvimento para o aprimoramento dessa energia.

Segundo Ely e Swart (2014), diversas são as vantagens apresentadas pelo uso de energia fotovoltaica, entre eles desacatam-se o rendimento energético por hectare elevado, a eficiência termodinâmica, a falta de ruídos, usam combustível gratuito e o baixo custo operacional e com manutenção. Porém, tem também as desvantagens do elevado custo de manutenção e armazenamento da energia quando comparado aos combustíveis fósseis.

O arranjo fotovoltaico, ou coletores, é constituído por módulos, que contêm as células fotovoltaicas e são as responsáveis por transformar, de maneira direta, os raios solares em energia para o ambiente no qual está instalado, com o mínimo de perdas possível, por meio de corrente elétrica e diferença de potencial (WEBER, 2019, apud SOLARINOVARE, 2016).

2.2 A evolução dos coletores solares

Com o desenvolvimento da tecnologia de fonte solar, os coletores evoluíram através do que chamamos de gerações e podem ser divididos em de 1ª, 2ª ou 3ª geração.

A 1ª geração contempla os coletores solares compostos por silício cristalinos, também conhecidos como módulos rígidos, nos quais eles são divididos, em sua estrutura interna, em monocristalinos ou policristalinos. Esse tipo de módulo é o qual, atualmente, abrange a melhor eficiência do mercado de energia solar, e o modelo CanadianSolar CS6K-270P, conforme figura 1, por exemplo, apresenta um valor unitário de R\$ 569,00 (SOUZA et al., 2020), porém, um peso entre 18 e 25 kg. Entretanto, mesmo com a vantagem de se usar uma fonte renovável e limpa de energia, ao final da sua vida útil essas placas precisam ser descartadas, gerando um entrave de geração de lixo e, portanto, não podem ser consideradas como efetivamente sustentáveis.

Figura 1 – Coletor de 1ª geração (modelo CanadianSolar CS6K-270P)



Fonte: Retirada do site www.neosolar.com.br

As células da 2ª geração vieram com o objetivo de suprir a necessidade do mercado de energia de reduzir o preço das células fotovoltaicas. (SOUZA; et al., 2020). Ela contempla uma espécie de filmes finos e flexíveis, o qual são compostos por um tipo de vidro ou aço inoxidável, conforme exemplificado na figura 2. Os constituintes mais comuns desse tipo de coletor solar é o Dislenito de Cobre, Gálio e Índio (CIGS) ou Sílico Amorfo.

Figura 2 – Coletor de 2ª geração de CIGS depositado sobre vidro



Fonte: Retirado do site www.nice-solarenergy.com

De acordo com Souza et al. (2020, apud MOREIRA, 2019), o CIGS, mesmo possuindo uma eficiência mais positiva do que o Sílico Amorfo, tem como ponto negativo e primordial a presença do Cádmiio que é um material extremamente perigoso a saúde humana e ao próprio meio ambiente. Além disso, o Sílico Amorfo é

mais barato e absorve mais energia do que o CIGS. Um exemplo prático dessa 2ª geração é a utilização, por muitos profissionais e estudantes, de calculadoras solares. Porém, a segunda geração de coletores ainda assim não resolve a problemática de se desenvolver uma tecnologia que seja realmente sustentável.

Já na 3ª geração de células fotovoltaicas podemos destacar como protagonista o OPV (*Organic Photovoltaic*) ou célula orgânica fotovoltaica que é constituída por um polímero que usa a eletrônica orgânica com a finalidade de absorver os raios solares e transformá-los em energia fotovoltaica (CABRAL, 2016), conforme figura 3. Ela tem como vantagens o fato de ser customizável, de fácil aplicabilidade, é leve, flexível, semitransparente e reciclável, o que traz uma mudança marcante na solução do problema enfrentado pelas gerações anteriores: não ser realmente sustentável.

Figura 3 – Coletor de 3ª geração



Fonte: Retirado do site www.sunew.com.br

Os filmes de células orgânicas são fabricados pelo Centro Suíço Eletrônica e Microeletrônica (CSEM-BR), através da sua empresa SUNEW, localizada na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais, apresenta como capacidade anual de produção na faixa de 400.000 m² de filme e vida útil de até 20 anos.

Segundo Galdino et al. (2018), a sua fabricação consiste em uma metodologia de impressão conhecida como *roll-to-roll* que nada mais é do que rolos de células fotovoltaicas que podem ter tamanhos variados e produção em larga escala (apud

BRIAN; MARK, 2003). Os rolos são depositados em um recipiente de plástico e envolvido por uma barreira protetora para não desgastar ou danificar o rolo do filme. (apud RAND; RICHTER, 2014).

2.3 A célula fotovoltaica de OPV

Diferentemente dos painéis solares da 1ª geração, a 3ª geração possui a facilidade de ser adaptável a qualquer ambiente, principalmente em locais de difícil implementação das placas solares como é o caso de prédios e claraboias de *shoppings centers*. Em outras palavras, a célula orgânica permite que a energia solar seja transformada em energia elétrica em qualquer lugar e de diferentes formas, a chamada “*energy everywhere*”. O OPV também é considerado como uma espécie de energia mais limpa dentre as energias solares, devido a sua baixa pegada de carbono no ato da sua produção. Com isso, a tendência é que a energia fotovoltaica seja empregada em muitos outros países além do Brasil. (Fundação Dom Cabral, 2016).

O OPV possui como componente principal uma camada ativa que contém um material com baixa afinidade de elétron junto com outro de alta, dessa forma a diferença energética irá resultar na geração de energia elétrica. Galdino et al. (2018) (apud Rand e Richter, 2014), os polímeros mais usados na formação dessa camada são do tipo poli-3-hexiltiofeno (P3HT) que doa os elétrons, ou seja, possui baixa afinidade, e do tipo éster metílico do ácido-fenil-C61-butírico (PCBM) que recebe os elétrons, ou seja, possui alta afinidade. A célula fotovoltaica também é detentora de uma camada de transporte de elétrons, uma de transporte de lacunas e outra de transporte de eletrodos. Esses materiais são aderidos no substrato plástico do OPV, durante a impressão, e são envolvidos por uma espécie de filme que tem por função a proteção do módulo.

De acordo com a Fundação Dom Cabral (2016), atualmente a principal aplicabilidade da célula orgânica fotovoltaica é na chamada “*Build Integrated Photovoltaics*” ou BIVP, que nada mais é do que a integração dessa tecnologia em construções, como é o caso de fachadas de vidro no qual permite não só a redução do gasto energético como também a redução dos gastos com ar-condicionado em decorrência do bloqueio dos raios ultravioletas e infravermelhos.

Segundo informações da Sunew (2020), existem dois tipos de modelos que são comercializados, os laminados e os encapsulados. O primeiro tipo é comumente aplicado em prédios já construídos e em *retrofits* (revitalização de edifícios antigos), enquanto o segundo é destinado a portas, janelas e paredes de forma embutida. Nessa última maneira, apresenta como diferencial a proteção do material impedindo a redução da sua vida útil.

Pode-se citar como algumas das diversas vantagens apresentadas por esse tipo de sistema: a sua arquitetura personalizada, conforto térmico, fácil instalação, geração de energia limpa para o meio ambiente, produção de filmes em larga escala, bloqueio de radiações UV e infravermelhas, é reciclável, flexível, semitransparente etc.

Já como desvantagens podemos citar como exemplos: são mais caras do que os moldes de 1ª geração para aplicação em pequenas áreas, menor eficiência por área em relação as placas solares, nos modelos laminados possuem maior índice de degradação das células e em consequência da sua vida útil.

O OPV é capaz, também, de gerar energia mesmo a partir de locais que não são utilizáveis e em dias nublados. Além disso, o seu mecanismo de eficiência é diretamente proporcional com a variação da temperatura. Um exemplo prático e funcional que vem sendo usado atualmente é o chamado “*optree*”, uma espécie de mobiliário urbano no qual apresenta inserido no seu *design* de folhas, o OPV laminado em um vidro, o que permite que a energia solar seja transformada em elétrica com o objetivo de carregar dispositivos eletrônicos e gerar iluminação própria. (SUNEW, 2020). Dessa forma, é notório que a energia fotovoltaica compreende além de aplicações em edificações e pode ser empregado em mobiliários urbanos, carros, postos de gasolina, entre outros.

Os sistemas fotovoltaicos trabalham conjuntamente com a rede elétrica, o chamado “*grid-tie*” ou “*on-grid*”, isso garante que quando o consumidor não usa toda a energia produzida pelo seu gerador, a sobra de energia vai direto para a rede elétrica, formando uma espécie de crédito na concessionária. Assim como o inverso também acontece, se for consumido além do que a energia fotovoltaica consegue produzir, esse excedente é suprido pela rede elétrica.

As células orgânicas vão conduzir a energia através de conectores terminais, fato esse que se for ligado de forma errada pode trazer prejuízos aos usuários, tanto no quesito funcionamento com na redução da energia. Nunca se deve realizar a ligação dos terminais em série, sempre em paralelo.

Os conectores conduzem a energia fotovoltaica para o inversor que consegue transformar a corrente gerada pela energia solar em energia realmente utilizável, a elétrica, sendo ligada diretamente ao quadro de distribuição e então para o restante da construção.

A concessionária local tem o papel de trocar o medidor usual, que no caso é um unidirecional, por um bidirecional, para medir tanto a quantidade de energia consumida como para checar a energia gerada além do seu uso. Isso permite uma economia de energia significativa aos usuários.

Segundo a Sunew (2020), as células orgânicas fotovoltaicas podem ser vendidas entre R\$1.000,00 a R\$1.800,00 a depender do encapsulamento escolhido e do tipo de aplicação que será usada no caso em particular.

3 AS PLACAS SOLARES E A GERAÇÃO DE LIXO ELETRÔNICO

Com o acelerado desenvolvimento tecnológico do mundo globalizado, os seres humanos consomem produtos e tecnologias cada vez mais rápido, muitas vezes sem necessidade, apenas pelo fato de possuírem um aparelho ou sistema avançado. Como consequência, há um elevado número de lixo eletrônico sendo despejado no meu ambiente, dos quais a natureza não é capaz de absorver, gerando uma sobrecarga extremamente acentuada no nosso planeta. Esses resíduos afetam diretamente a sobrevivência dos seres humanos, visto que, com o seu crescente aumento no mundo, de forma inadequada, será necessário que existam mais locais para o seu descarte, ampliando a quantidade de lixões sanitários, ou seja, a sociedade terá menos espaço para a construção de habitações, espaços de lazer e centros de saúde. Portanto, a parcela mais pobre da população irá conviver muito próximo desses locais sanitários, que, quando não construídos de maneira adequada, são infestados por pragas como ratos, baratas, mosquitos e moscas, os quais são os vetores de doenças como a dengue, cólera e leptospirose, aumentando, assim, a

probabilidade de contaminação por essas e outras doenças. Como efeito dessa problemática, os hospitais e centros de saúde não conseguirão atender à tamanha demanda de insalubridade e grandes serão os casos de óbito devido a essas condições.

Além do fator de proliferação de pragas em lixões ou aterros sanitários, a alta concentração de eletroeletrônicos no meio ambiente, ocasiona a deterioração dos seus constituintes, muitos dos quais podem levar metais pesados na sua composição, material esse que é extremamente tóxico e nocivo à saúde humana, conforme mostra a tabela 1.

Tabela 1 – Relação entre os metais pesados e os danos que podem causar à saúde humana

METAL PESADO	DANOS À SAÚDE
Chumbo	Atinge o sistema nervoso, a medula óssea e os rins, gerando lesão renal e cerebral e fraqueza muscular.
Mercúrio	Concentra-se em diversas partes do corpo como pele, cabelo, glândulas sudoríparas e salivares, tireóide, sistema digestivo, pulmões, pâncreas, fígado, rins, aparelho reprodutivo e cérebro, provocando inúmeros problemas de saúde. (Intoxicação do sistema nervoso central).
Manganês	Causa problemas respiratórios e efeitos neurotóxicos.
Silica	Causa problemas respiratórios, provocando o endurecimento dos pulmões, podendo assim ser fatal.
Alumínio	A ingestão pode causar: demência, danos ao sistema nervoso central, perda de memória e dores musculares.

Fonte: Ferreira e Rodrigues (2012)

Logo, o despojamento desses resíduos em locais inapropriados para esta finalidade favorece a penetração dessas substâncias no solo, e posteriormente no lençol freático, contaminando a água que vai para as residências e, que em algumas situações, sequer passa por um tratamento adequado antes de a população usufruí-la. Assim, pode-se perceber que a geração de lixo eletrônico está diretamente relacionado com o futuro da saúde pública.

As placas fotovoltaicas são classificadas como lixo eletrônico e se enquadram como resíduos sólidos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos que, segundo

definição em Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, é todo material, substância ou objeto descartado no meio ambiente como consequência da atividade humana.

Conforme estudos da Organização das Nações Unidas (ONU), o Brasil se enquadra como o primeiro em geração de lixo eletrônico em toda a América Latina e é o sétimo no âmbito mundial. O país produz aproximadamente 1,5 mil toneladas desse tipo de lixo e somente cerca de 3% apresenta descarte adequado (GUIMARÃES et al., 2021).

A União Europeia publicou um estudo no ano de 2016 no qual realizou uma perspectiva sobre o acúmulo da geração de lixo eletrônico por placas solares, destacando a reciclagem ou reaproveitamento desses materiais ao final de sua vida útil, em torno de 30 anos. O resultado encontrado foi o acúmulo de 78 milhões de toneladas até o ano de 2050. (GUIMARÃES et al, 2021, apud WECKNED et al., 2016).

Para mudar essa alarmante situação sanitária, o Brasil precisa mudar, e muito, a sua postura diante dessa problemática. O Estado, é o detentor dos meios para se fazer valer as leis, criar códigos penais eficazes e aplicar as sanções tanto quanto for necessário, visando sempre ao bem-estar da população e à manutenção da vida na Terra.

Atualmente, um novo decreto, nº 10.250, de 12 de fevereiro de 2020, sancionado pelo presidente do Brasil, Jair Messias Bolsonaro, inseriu a metodologia da logística reversa para componentes eletroeletrônico. Esse decreto apoia a Política Nacional de Resíduos Sólidos, no qual aponta de maneira explícita que tanto os produtores e fornecedores quanto os importadores são inteiramente responsáveis pelo adequado descarte e deposição dos resíduos de seus produtos quando a vida útil chegar ao fim, com a finalidade de que a redução dos resíduos eletroeletrônicos seja eficaz e, caso necessário, punitiva.

O termo logística reversa já é observado em literaturas desde as décadas de 70 e 80, sendo relacionado, principalmente, com o descarte de produtos que já perderam a sua funcionalidade original para que fossem reciclados. Nos dias atuais, a logística reversa engloba as áreas de planejamento, controle e operação do quantitativo dessas matérias no seu retorno à natureza. Ela começa desde o ponto de consumo desse resíduo até chegar ao ponto de origem para despejo, objetivando

recalcular o seu valor ou encaminhá-lo para o destino mais adequado. Esse sistema gera benefícios em ganhos de competitividade e reflete nas áreas econômicas, sociais e ambientais (HERNÁNDEZ; MARINS; CASTRO, 2012). Dessa maneira, a logística reversa é uma ferramenta de extrema importância para o gerenciamento e manejo adequado dos resíduos sólidos, principalmente aqueles de origem eletrônica, garantindo o prévio planejamento e destino dos produtos que não possuem mais serventia, objetivando a sustentabilidade dos recursos.

Portanto, mesmo que a matriz energética solar use uma fonte inesgotável de energia e que esta não contribua diretamente para a poluição do planeta, a estrutura para a geração da energia para o empreendimento é a responsável pelo aumento da geração de lixo eletrônico no meio ambiente. Dessa forma, a 1ª geração se apresenta como a pior alternativa para a energia fotovoltaica.

4 CONCLUSÕES

Do ponto de vista econômico, quando comparado o OPV com os módulos rígidos (mais usual atualmente), aquele ainda possui um valor de mercado muito acima do que este, em média 50% mais caro ou mais, principalmente no caso de pequenas áreas, mesmo que o gasto com manutenções seja acessível. Dessa forma, mesmo que o OPV apresente deveras vantagens sobre as demais gerações, esse é um entrave significativo para a população brasileira, como expressado no baixo quantitativo de da matriz energética do Brasil: menor que 1%.

Em contrapartida, do ponto de vista técnico, o OPV possui diversas vantagens expressivas como o fato de ser customizável, o que gera entusiasmo pelas pessoas e profissionais em adquirir esse produto, pois cada vez mais há uma tendência de personalizar um ambiente, seja para atrair clientes para um empreendimento, por meio de características visuais, seja para tornar uma residência compatível com as preferências e gostos do morador. Outra característica importante é que a célula flexível é de fácil aplicabilidade, o que permite que a sua instalação seja realizada por uma mão de obra mais barata.

Do ponto de vista sustentável, a nova geração de coletores solares é o mais viável dentro das matrizes energéticas, isso porque o OPV é feito a partir de polímeros,

que é um material orgânico e que pode ser reciclado, resolvendo a problemática das outras gerações: a geração de lixo após o fim da sua vida útil. Dessa forma, a célula fotovoltaica orgânica é a alternativa que irá contribuir para a redução da estimativa de 1,5 mil toneladas de lixo eletrônico que o Brasil produz e, dessa forma, contribuirá também para a melhoria da qualidade de vida da sua população.

Portanto, o OPV se consolida como a única matriz energética de fonte solar que é efetivamente sustentável, ainda que precise passar por novos avanços e pesquisas para o desenvolvimento dessa tecnologia com a finalidade de alcançar o seu máximo aproveitamento e atingir uma viabilidade econômica frente às demais gerações. Com esse importante passo, as células fotovoltaicas orgânicas poderão, seguramente, substituir os módulos rígidos como a principal matriz energética solar.

5 REFERÊNCIAS

BRASIL. **Lei nº 12.305**, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Recursos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, v. 01, n. 157, 2010.

BRASIL. **Decreto nº 10.250**, de 19 de fevereiro de 2020. Regulamenta o inciso VI do caput do art. 33 e o art. 56 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, e complementa o Decreto nº 9.177, de 23 de outubro de 2017, quanto à implementação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico. Diário Oficial da União, Brasília, DF, v. 01, n. 36, 2020.

CABRAL, R.T. **Avaliação qualitativa dos parâmetros característicos de um módulo fotovoltaico orgânico (OPV) comercial**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Energia) – Curso de Engenharia de Energia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

ELY, F.; SWART, J. W. Energia solar fotovoltaica de terceira geração. **O setor elétrico**. Rio de Janeiro, nº 138, p. 01-02, 2016.

FERREIRA, R.D.G.; RODRIGUES, C.M.O.. O lixo eletrônico no Brasil: Leis e impactos ambientais. **Revista de Tecnologia da Informação do Curso de Sistemas de Informação**, Vitória de Santo Antão, n. 01, p. 28-33, 2012.

FUNDAÇÃO DOM CABRAL. Núcleo de Inovação e Empreendedorismo. **CSEM Brasil: O desafio de desenvolver alta tecnologia no país**. Rio de Janeiro, 2016.

GALDINO, J. J. B.; VILELA, O. C.; FRAINDENRAICH, N. et al. **Caracterização de módulos fotovoltaicos orgânicos comerciais**. *In: Congresso Brasileiro de Energia Solar*, nº 7, 2018, Gramado. Anais. Gramado: CBENS, 2018, p. 01-08.

GUIMARÃES, E.C.; LEMES, T.D.V.S.; COSTA, W.H.A. et al. Energia solar paradigmas e geração de resíduos. *Brasilian Journal of Development*, Curitiba, v.7 n.6, p. 59923-59940, 2021.

HERNÁNDEZ, C.T.; MARINS, F.A.S.; CASTRO, R.C.. Modelo de gerenciamento de logística reversa. *Revista Gestão & Planejamento*, São Carlos, v.19, n.3, p. 445-446, 2012.

NEOSOLAR. **Painel Solar Fotovoltaico Canadian CSI CS6K-270P (270Wp)**. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br>>. Acesso em: 10 de abril de 2022.

NICE Solar Energy. **CIGS Modules**. Disponível em: <<http://www.nice-solarenergy.com>>. Acesso em: 10 de abril de 2022.

RAGOUSSI, M. E.; TORRES, T. **Organic Photovoltaics**. *Revista Virtual de Química*, Rio de Janeiro, v.7, n.1, p. 112-125, 2015.

SOUZA, B. A.; MEDEIROS, J. C.; XAVIER, M. V. S. et al. Estudo de viabilidade técnica e econômica para aplicação de *organic photovoltaics* (OPV) em um edifício residencial. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v.6, n.7, p. 52952-52970, 2020.

SUNEW. **Greenest Energy Everywhere**. Disponível em: <<http://www.sunew.com.br>>. Acesso em: 20 de agosto de 2020.

VALADARES, P. N. **A energia solar e os desafios para sua consolidação no Brasil e no mundo**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Curso de Engenharia Química. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

WEBER, L.G. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia: estudo de caso.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Curso de Engenharia Elétrica. Centro Universitário UNIFACVEST, Lages, 2019.