

**Estudo de viabilidade técnica e econômica para aplicação de *organic photovoltaics* (OPV) em um edifício residencial****Technical and economic viability study for organic photovoltaics (OPV) for application in a residential building**

DOI:10.34117/bjdv6n7-806

Recebimento dos originais: 29/06/2020

Aceitação para publicação: 29/07/2020

**Bruna Araújo Souza**

Graduanda em Engenharia Civil

Instituição: Centro Universitário UNA - Cidade Universitária UNA Aimorés.

Endereço: Rua Aimorés, 1451, Lourdes, Belo Horizonte – MG, Brasil

E-mail: brunaaraujosouza@hotmail.com.br

**Jackson Cristiano de Medeiros**

Graduando em Engenharia Civil

Instituição: Centro Universitário UNA - Cidade Universitária UNA Aimorés.

Endereço: Rua Aimorés, 1451, Lourdes, Belo Horizonte – MG, Brasil

E-mail: eng.jacksoncmedeiros@outlook.com

**Marcus Vinícius Souza Xavier**

Graduando em Engenharia Civil

Instituição: Centro Universitário UNA - Cidade Universitária UNA Aimorés.

Endereço: Rua Aimorés, 1451, Lourdes, Belo Horizonte – MG, Brasil

E-mail: marcusvsx10@hotmail.com

**Sérgio Alves de Miranda**

Mestre em Estruturas pela UFOP

Instituição: Centro Universitário UNA - Cidade Universitária UNA Aimorés.

Endereço: Rua Aimorés, 1451, Lourdes, Belo Horizonte – MG, Brasil

E-mail: sergio.a.miranda@prof.una.br

**Walliston dos Santos Fernandes**

Doutor em Estruturas pela UFMG

Instituição: Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP

Endereço: Campus Morro do Cruzeiro, s/n. Bauxita, Ouro Preto – MG, Brasil

E-mail: walliston.fernandes@ufop.edu.br

**José Ronaldo Tavares Santos**

Mestre em Engenharia em Gestão de Processos e Sistemas pelo IETEC - Instituto de Educação Tecnológica

Instituição: Centro Universitário UNA – Campus Betim

Endereço: Avenida Governador Valadares, 640 -Centro, Betim –MG, Brasil

E-mail: jose.tavares@prof.una.br

## Laísa Emmanuelle Brandão Miguel Vida

Mestranda em Engenharia Civil pelo CEFET/MG  
 Instituição: Centro Universitário UNA - Cidade Universitária UNA Aimorés.  
 Endereço: Rua Aimorés, 1451, Lourdes, Belo Horizonte – MG, Brasil  
 E-mail: laisa.vida@prof.una.br

## Helciene Moreira Dias

Graduada em Engenharia Civil pelo Centro Universitário UNA – Campus Barreiro  
 Instituição: Centro Universitário UNA – Campos Barreiro.  
 Endereço: Avenida Afonso Vaz de Melo, 465 - Barreiro, Belo Horizonte – MG, Brasil  
 E-mail: helciene2011@hotmail.com

## Fábio Tavares Santos

Bacharel em Engenharia Mecânica pelo Centro Universitário Newton Paiva - FACET – Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia  
 Energy Consulting  
 2815 Directors Row STE 100, OFFICE 673. Orlando, FL - USA  
 E-mail: eng.fabiotavares@gmail.com

### RESUMO

O OPV (*Organic Photovoltaics*) é recomendado para locais onde não se possa instalar placas solares, como claraboias de shoppings ou fachadas de prédios. Este produto é desenvolvido e comercializado no Brasil e no mundo pela *startup* mineira (SUNEW), que vem se destacando como uma excelente alternativa de geração de energia elétrica. Quanto à metodologia, este estudo pode ser classificado como qualitativo, quantitativo e descritivo e para tal foi utilizado como referência um edifício residencial de médio porte. Ademais, foram analisados a utilização atual do local e paralelo a coleta de dados, quantificou-se o investimento inicial e o ganho ambiental por redução na emissão de carbono. Conclui-se que, os resultados obtidos foram satisfatórios por ser um produto novo no mercado. Entretanto, sua implantação requer um investimento elevado, o que inviabiliza sua aplicação em pequenos projetos, sendo direcionado a um público que visa produtos sustentáveis, e empresas que se apoiam no marketing verde para atingir esse nicho específico.

**Palavras-chaves:** Sustentabilidade, Energia Solar, Filmes Fotovoltaicos Orgânicos.

### ABSTRACT

OPV (Organic Photovoltaics) is recommended for locations that it is not possible to install solar panels, such as shopping skylights or building frontages. This product is developed and marketed in Brazil and worldwide by the Minas Gerais startup (SUNEW), which has been standing out as an excellent alternative for electricity generation. According the methodology, this work can be classified as qualitative, quantitative and descriptive, and it was used as a reference a medium-sized residential building. In addition, it was analyzed the current use of the building together with data collections, in order to quantify the initial resources and the environmental gain by reducing carbon emissions. The results were satisfactory, considering a new product available. Therefore, its implementation requires a high investment, and for small projects the application can be impracticable, being directed to people that aims sustainable products, and companies that support ecological alternatives to reach this specific target.

**Keywords:** Sustainability, Solar energy, Organic Photovoltaic Films.

## 1 INTRODUÇÃO

À medida que a sociedade evolui, muitos são os desafios encontrados. Temas como saúde, bem-estar e meio ambiente são discutidos em vários âmbitos frequentemente. Essa postura mais consciente também é impulsionada pelas ações propostas na Agenda 2030, organizado pela Organização das Nações Unidas (ONU), que consiste em um plano de ação com dezessete Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que visam, dentre outros, erradicar a pobreza, a fome e promover o bem-estar às pessoas no mundo. O tema escolhido integra o ODS 7, referente à energias renováveis. A engenharia civil pode proporcionar às pessoas uma vida mais sustentável, econômica e eficiente, através de sua larga aplicação em diversos setores da sociedade.

Os impactos positivos referentes às questões ambientais podem ser observados nas movimentações de governantes pelo mundo. Países de primeiro mundo lideram ações no que diz respeito aos resíduos sólidos ou geração de energia. Materiais que geram energia são recicláveis, e que geram pequeno impacto durante a produção, se sobressaem quando comparado aos demais. Os filmes fotovoltaicos orgânicos (*OPV – Organic Photovoltaics*) impressos são considerados uma grande tendência na integração entre arquitetura, sustentabilidade e energia (SUNEW, 2020).

Há dois modelos que são comercializados: laminado, que pode ser implantado em prédios prontos e em *retrofits*<sup>1</sup>, devido a facilidade de aplicação do material sobre as vidraças, e o encapsulado, que é embutido entre os vidros das janelas, portas ou paredes. A vantagem deste último está na duração do produto, pois promove a proteção do material impedindo a degradação e redução da vida útil, uma vez que o mesmo não está exposto às intempéries. Outros tipos de encapsulamento podem ser feitos e os mesmos são chamados de filmes de barreira, que protegem o material do contato com o oxigênio e a umidade (SUNEW, 2020).

.Os painéis de silício monocristalinos e policristalinos de cores pretas e azuladas marcam a primeira geração de energia fotovoltaica. Possuem maior eficiência de conversão de luz, mas possuem restrições, as placas pesam entre 18 kg e 25 kg. A segunda geração é voltada para materiais mais finos e o OPV representa a terceira geração de energia solar, com filmes semitransparentes, finos e flexíveis, que possibilitam geração de energia através da luz, seja ela artificial ou natural, rompendo as restrições da primeira geração. Diversos fatores depõem favoravelmente à energia solar fotovoltaica, sendo os principais: o alto rendimento energético por hectare (cinco vezes maior que a eólica e dez vezes maior que a cana-de-açúcar) e a alta eficiência termodinâmica. Além disso, fotovoltaicos são silenciosos, modulares, utilizam combustível gratuito e possuem baixo custo operacional e de manutenção. No entanto, dois grandes desafios necessitam ser vencidos para que

---

<sup>1</sup> Processo de modernização de algum equipamento já considerado ultrapassado ou fora de norma.

a energia solar fotovoltaica atinja todo o seu potencial: o custo de geração e armazenamento da energia necessitam ser menores que os de combustíveis fósseis (IEEE, 2020).

Este artigo justifica-se pois pode trazer ganhos acadêmicos e esclarecimentos para futuros investidores. Já para os autores, a importância está na contribuição para o surgimento de novos projetos. O número de pessoas preocupadas com a questão da sustentabilidade no mundo têm crescido em grande escala nos últimos anos. Estas pessoas estão rompendo barreiras culturais, sociais e se transformando em seres humanos dispostos a atuar em prol de melhorias para o planeta.

Portanto, é possível perceber o potencial do material em estudo e os benefícios que poderão ser observados a curto, médio e longo prazo. Espera-se que o estudo apresentado neste trabalho seja de grande valia para estimular o desenvolvimento de novos projetos.

O objetivo geral deste artigo é apresentar um estudo de viabilidade técnica e econômica à implementação de Filmes Fotovoltaicos Orgânicos (OPV) de forma que este material possa ser aplicado em projetos de *retrofit* ou em prédios prontos, quando do tipo laminado, ou encapsulado em edificações residenciais ou comerciais.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 ENERGIA SOLAR**

A energia solar surgiu no ano de 1839, quando o físico francês Alexandre Edmond Becquerel percebeu o efeito fotovoltaico, enquanto realizava algumas experiências com eletrodos. Porém o inventor da célula solar moderna foi o cientista Russell Shoemaker Ohl, que anunciou sua invenção em uma coletiva de imprensa no dia 25 de Abril de 1954. Quando foi descoberta, esta energia foi vista como uma tecnologia futurista, cujo uso se restringiria exclusivamente aos cientistas e suas pesquisas. Mas, é importante ressaltar que esta conquista não teria acontecido sem outros grandes cientistas como Calvin Fuller e Gerald Pearson. A primeira célula solar foi formalmente apresentada numa reunião anual da *National Academy of Sciences*, em Washington, e anunciada numa coletiva de imprensa no dia 25 de Abril de 1954 (PORTAL SOLAR, 2020).

### **2.2 PAINÉIS SOLARES**

Uma das primeiras utilizações de painéis solares, portanto, ocorreu em 1958 no espaço, quando o satélite Vanguard I foi lançado com o auxílio de um painel de 1 W (watt), para alimentar seu rádio na viagem. Além disso, foram construídas as primeiras instalações solares para casas, estabelecimentos e até mesmo meios de transportes como ônibus, navio e avião (PORTAL SOLAR, 2020).

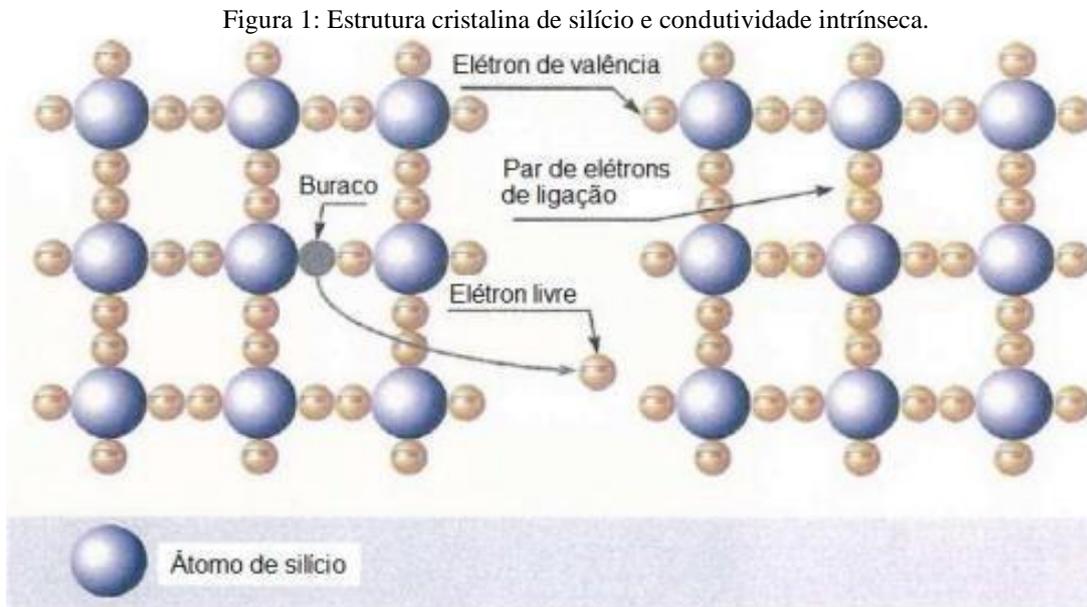
A tomada de consciência de que o meio possuía limitações quanto ao fornecimento de recursos e à absorção dos rejeitos do processo de produção da cidade se deu com a crise do petróleo, na década de 70 do século passado. Um marco importante na conscientização de governantes e na mudança da atitude política foi a Primeira Conferência Mundial do Meio Ambiente, realizada em Estocolmo, no ano de 1972, que conduziu as discussões internacionais para a necessidade de racionalização do uso dos bens naturais em prol da própria humanidade, ameaçada pela degradação ambiental e pela fome. Nos anos 80, a questão ambiental firmou-se com relevância junto à sociedade e é colocada como prioridade para o processo de planejamento, na definição de alternativas de apropriação dos recursos naturais, de ordenação da ocupação do território e da distribuição mais equânime dos bens e da oferta de oportunidades e serviços urbanos (JORGENSEN, 2020).

A aplicação deste sistema foi inicialmente em programas espaciais por ter valores altos para quase todas as aplicações. A partir de 1970, ocorreram avanços tecnológicos que diminuiriam custos e possibilitaram a aplicação em alguns projetos. Em 2012 no Brasil, ocorreu um marco na utilização no sistema de geração de energia, tornando a aplicação mais viável. Isto se deu devido à publicação da Resolução Normativa 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), publicada em abril de 2012, que estabeleceu regras gerais para criação de um sistema de compensação de energia intitulado mundialmente como *net metering*, ou seja, este sistema estabelece que o mini e microgeradores de energia possam injetar o excedente produzido na rede da concessionária, adquirindo créditos para uso em contas futuras no prazo máximo de 36 meses. Assim, é possível repassar o excedente da própria produção e ganhar créditos para usá-los no futuro, minimizando o impacto sobre o custo da energia elétrica ou até extingui-la (SANTOS, 2016).

### 2.3 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Existem diferentes tipos de módulos fotovoltaicos, cujas características de conversão solar variam de acordo com suas dimensões, tecnologias de fabricação, dimensões, entre outras variáveis. Os módulos fotovoltaicos são compostos por células fotovoltaicas que convertem a energia solar em energia elétrica. Tomando como exemplo uma célula de silício cristalino (Figura 1), pode-se descrever o funcionamento das células solares. Para a fabricação das células, é necessária a utilização de cristais de alta qualidade e silício com alto grau de pureza. Os átomos de silício formam uma estrutura cristalina estável e cada um destes átomos possuem quatro elétrons de ligação, elétrons de valência. Para formar uma configuração estável na estrutura cristalina, dois elétrons vizinhos formam um par de ligações. Dessa forma, o silício atinge sua configuração de gás nobre com oito elétrons vizinhos. Uma ligação elétrica pode ser quebrada pela ação de luz ou calor e assim

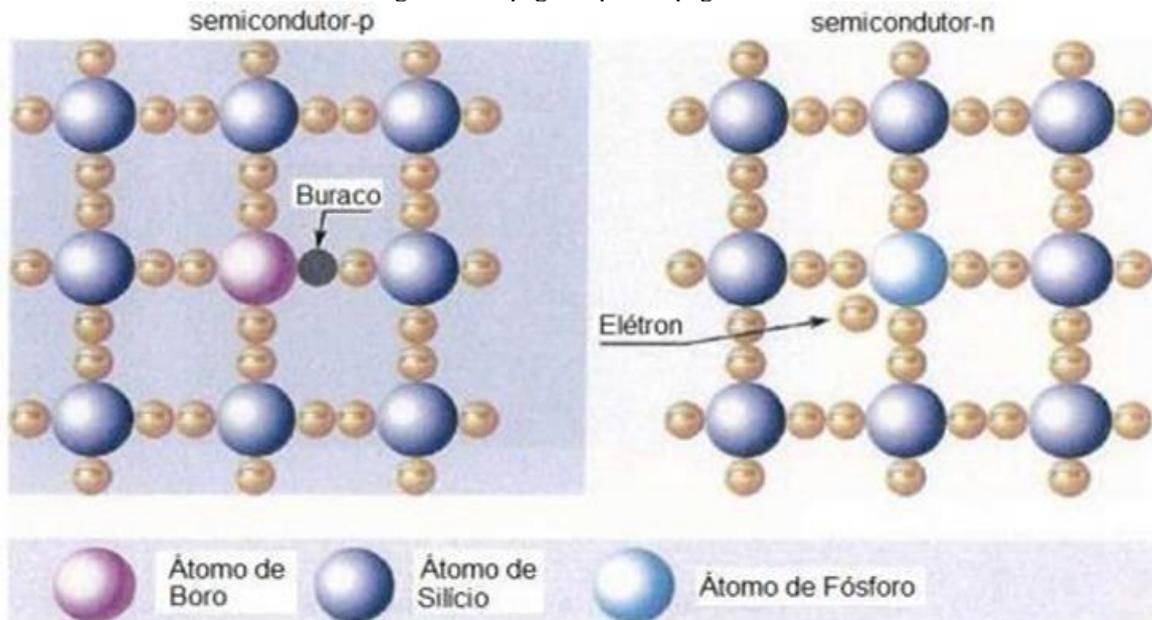
o elétron fica livre e deixa um buraco na estrutura cristalina. Isso é conhecido como condutividade intrínseca (SONNENENERGIE, 2008).



Fonte: Sonnenenergie (2008).

O material de silício pode ser usado para gerar energia. Impurezas são introduzidas deliberadamente na estrutura cristalina. Estas impurezas são os átomos de dopagem. Eles têm um elétron a mais, no caso do fósforo, ou um elétron a menos, no caso do boro, que o silício, em suas camadas de valência. Conseqüentemente, estes átomos de dopagem são considerados átomos de impureza na estrutura cristalina (SONNENENERGIE, 2008).

Figura 2: Dopagem "p" e dopagem "n".



Fonte: Sonnenenergie (2008).

No caso da dopagem com fósforo (dopagem n), (Figura 2), existe um elétron excedente para cada átomo de fósforo na estrutura. Este elétron pode se mover livremente no cristal e, conseqüentemente, transportar uma carga elétrica. Na dopagem com boro (dopagem p), existe um buraco (ausência de um elétron de ligação) para cada átomo de boro na estrutura. Os elétrons dos átomos de silício vizinhos podem preencher este buraco, criando um novo buraco em algum outro lugar. O método de condução baseado em átomos de dopagem é conhecido como condução de impurezas ou condução extrínseca. Tanto na dopagem p, quanto na n, as cargas livres não têm uma direção predeterminada em seus movimentos. Se uma camada de semicondutor com dopagem não é posta junto de uma camada de semicondutor p é formada uma junção p-n (positiva- negativa). Nesta junção, elétrons excedentes da camada não se difundem com a camada semicondutora p. Isto cria uma região com alguns portadores livre de carga, conhecida como região de carga espacial. Átomos de dopagem carregados positivamente permanecem na região negativa de transição e átomos de dopagem com carga negativa permanecem na região de transição positiva. Alguns elétrons não alcançam os contatos e então se recombinam. Esta recombinação se refere à ligação de um elétron livre a uma falta de elétron (lacuna) na camada de valência (SONNENENERGIE, 2008).

#### 2.4 Organic Photovoltaics (OPV)

O Brasil concorre em igualdade com outros países na área de pesquisas sobre filmes finos orgânicos capazes de converter energia solar em elétrica. A *startup* mineira SUNEW, que produz e comercializa o OPV (Figura 3), já figura como uma das líderes globais neste segmento.

Figura 3: Célula Solar Orgânica.



Fonte: SUNEW (2020)

A capacidade de geração energética média do SUNEW Flex é de até 35 Wp/m<sup>2</sup> (watts pico por metro quadrado), mas o índice pode variar de acordo com a intensidade da tinta aplicada no substrato plástico. Outro detalhe é que a geração ocorre enquanto houver luz no ambiente diferente das tecnologias de primeira geração, onde é necessário que se angule as placas na direção norte e a geração é calculada pela incidência solar no horário de pico. Composta por polímeros de carbono é a tinta que, em contato com a radiação solar, cria o sistema que libera elétrons e forma a corrente elétrica ligada à rede do usuário. A variação do OPV, entretanto, garante ao sistema versatilidade suficiente para que se adapte a diferentes superfícies e conquiste novos mercados não tão acessíveis às soluções mais conhecidas, como as placas solares tradicionais, portanto as duas tecnologias não devem ser comparadas, uma vez que cada uma se adapta a um tipo diferente de aplicação, o que possibilita uma instalação híbrida em determinados locais. Na prática, os filmes podem ser aplicados de janelas de prédios, claraboias, vidros de carros a mochilas e capas para tablets (GAZETA DO POVO, 2020). A principal característica dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede é a sua autonomia, pois ao se conectar com a rede elétrica da cidade torna os acumuladores de energia como os bancos de baterias elementos absolutamente desnecessários, facilitando assim para sua manutenção e diminuindo os custos de instalação do sistema como um todo. Como este sistema trabalha em paralelo com a rede elétrica, no momento que o gerador produz mais energia do que o necessário para o consumidor, o excedente é injetado na rede elétrica, gerando então um crédito energético com a concessionária local. Por outro lado, quando a demanda por energia da unidade consumidora for maior do que a geração do sistema fotovoltaico, essa demanda será suprida pela energia proveniente da rede elétrica. Para este tipo de sistema os principais componentes são:

módulos fotovoltaicos, inversor e um medidor bidirecional entre a unidade consumidora e a rede elétrica local (RÜTHER, 2004).

O OPV é conduzido por conectores terminais e é importante atentar para o modo correto de realizar as conexões elétricas entre os módulos dos sistemas fotovoltaicos. Não se pode simplesmente ligar um módulo no outro. Alguns aspectos devem ser observados tanto para garantir o correto funcionamento do sistema como para possibilitar a redução do consumo de cabos.

O erro mais comum dos instaladores, e mesmo de muitos projetistas, é realizar ligações de módulos em série como apresentado na figura 4. Esta seria a maneira mais simples e óbvia de conectar coisas em série. O polo positivo de um módulo é ligado ao negativo do outro, e assim sucessivamente (RUTHER, 2004).

Figura 4: Aplicação de OPV.



Fonte: SUNEW (2020).

A corrente gerada nas placas solares é conduzida até o inversor fotovoltaico. Esse equipamento transforma a corrente gerada pelo painel, tornando-a compatível com a rede elétrica e disponibilizando-a para o uso. Assim, o sistema direciona toda a energia gerada em cada um dos painéis solares para o padrão de consumo, que vai distribuir a eletricidade para a residência, empresa ou indústria.

No sistema interligado à rede, também conhecido como *grid-tie* ou *on-grid*, a energia elétrica disponibilizada pelo inversor é ligada no quadro de distribuição e pode ser utilizada em todos os aparelhos elétricos ou sistemas de iluminação, da mesma forma que acontece com a energia oferecida pelas concessionárias. A figura 5 ilustra a interligação.

Figura 5: Esquema Instalação Solar.



Fonte: SOLAR MT (2020).

Após, a instalação do seu gerador solar fotovoltaico, a concessionária de energia substituirá o medidor atual por um medidor bidirecional, que mede a quantidade de energia que você consome e a que você produz além do seu próprio uso. A eletricidade gerada pode, então, ser utilizada no mesmo momento ou ser direcionada para a rede elétrica. Quando a quantidade produzida é maior do que o consumo local, o excedente de energia é “emprestado” à concessionária e transformado em créditos, para serem utilizados posteriormente. Além da facilidade, o processo tem a vantagem de mitigar substancialmente os impactos ambientais e de gerar economia para quem o utiliza.

A tecnologia do OPV da SUNEW é a 3ª e mais nova geração de produção de energia solar, sendo capaz de habilitar superfícies inutilizadas tornando-as geradoras de energia. O OPV produz energia mesmo em dias nublados, e possui coeficiente de temperatura positivo, ou seja, sua eficiência cresce com o aumento de temperatura, ao contrário das tecnologias tradicionais. A *optree* (figura 6) é um mobiliário urbano que combina design, inovação e sustentabilidade, tendo em suas folhas o OPV laminado em vidro. Essa tecnologia de filmes fotovoltaicos orgânicos possibilita a captação da luz solar que é transformada em energia elétrica para carregamento de dispositivos móveis e iluminação de forma independente e sustentável (SUNEW, 2020).

Figura 6: *Optree* mobiliário urbano.

Fonte: SUNEW (2020)

Segundo SUNEW (2020), o OPV difere das tecnologias anteriores devido à sua versatilidade. Permite a geração de energia em qualquer superfície, de fachadas de vidro de edifícios inteligentes até veículos e mobiliário urbano, devido a sua leveza, flexibilidade, semi-transparência com bloqueio de luz UV e infravermelha, e adaptabilidade a condições de iluminação adversas. O OPV foi testado e aprovado em diferentes produtos e mercados.

Segundo SUNEW (2020), quanto a vida útil, por convenção das usinas de energia solar, o tempo é medido quando se atinge 80% da capacidade de produção, que é de 5 a 20 anos para o OPV, como a aplicação é diferente dos painéis solares a regra não se aplica para o OPV, mais deve ser seguida tecnicamente. Nos itens 2.4.1 e 2.4.2 seguem as vantagens e desvantagens de utilização do OPV respectivamente.

#### **2.4.1 Vantagens do OPV**

- Múltiplas aplicações e design customizado;
- conforto térmico e economia de energia com climatização;
- facilidade de instalação;
- produção de energia solar limpa;
- produção em alta escala;
- bloqueia radiação infravermelha e ultravioleta;
- material reciclável.

#### **2.4.2 Desvantagens do OPV**

- As placas são mais baratas, mas exigem uma grande quantidade de espaço;
- menos eficiência por área se comparado às placas de silício, lembrando que a aplicabilidade e geração são diferentes;

- a degradação é maior quando não se utiliza o encapsulamento, refletindo então em seu tempo de vida útil, para sanar esse problema o dimensionamento é feito de acordo com o material ao qual o OPV está sendo aplicado.

### 3 METODOLOGIA

Quanto à abordagem do problema, este estudo pode ser classificado como qualitativo, pois de acordo com Godoy (1995), um fenômeno pode ser melhor compreendido no contexto que ocorre e do qual é parte. O pesquisador coleta dados em campo sobre o material estudado e suas características, considerando todos os pontos de vista relevantes.

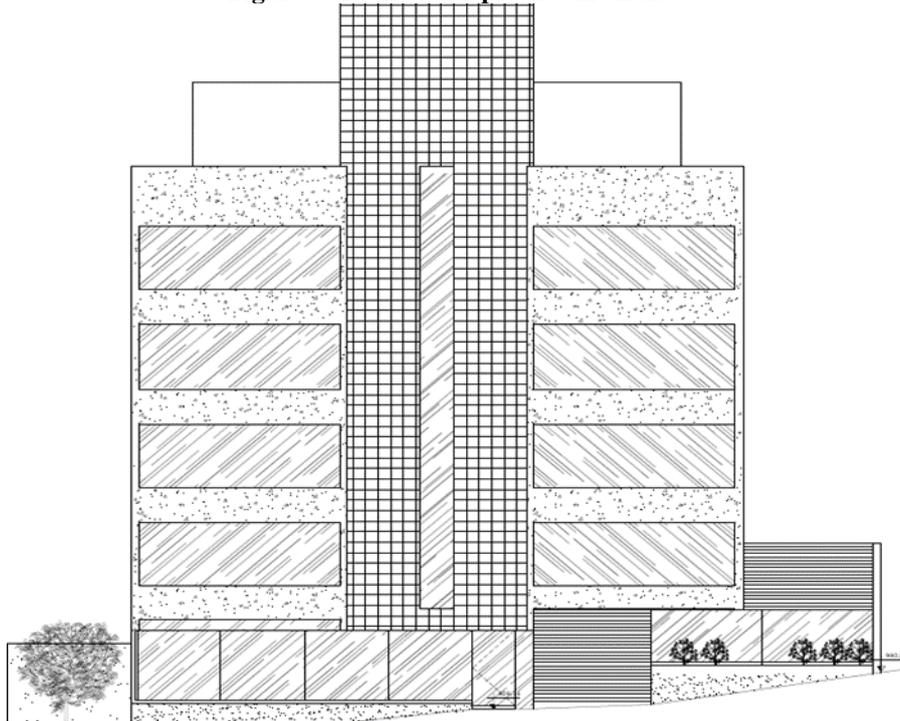
Em relação ao objetivo geral, a pesquisa pode ser caracterizada como descritiva, pois, segundo Gil (1999), envolve a descrição das características de algo, ou o estabelecimento de relações entre variáveis.

A classificação quanto ao procedimento técnico (viabilidade técnica e econômica) pode ser caracterizada como análise experimental uma das vertentes da pesquisa qualitativa, haja vista que foram realizados cotação do produto e adequação para implantação em um edifício comercial.

O objeto de estudo é o OPV, composto por materiais orgânicos, não tóxicos e sintetizados em laboratório. Os filmes fotovoltaicos orgânicos são produzidos num processo com baixa de carbono em 10 a 20 vezes menor que as tecnologias solares atuais (placas de silício monocristalino e policristalino). Foi realizado neste trabalho um levantamento de custo do material e o tempo de retorno do investimento. Os cálculos foram realizados baseados em um projeto real de um edifício residencial de médio porte, situado na região centro-sul de Belo Horizonte/MG em março de 2020.

O prédio é constituído por 6 andares, sendo 2 andares reservados para estacionamento e quatro andares com 2 apartamentos por andar, totalizando 8 apartamentos. A figura 7 ilustra a fachada da edificação.

Figura 7: Fachada do prédio em análise.



Fonte: ALVES DOS SANTOS (2020).

Foi considerado o valor praticado pela CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais S.A) do quilowatt a R\$ 1,09 na região centro-sul de Belo Horizonte/MG no mês de março de 2020. Segundo a SUNEW(2020), o preço do OPV é comercializado na faixa de R\$ 1.000,00 à R\$ 1.800,00, variando de acordo com a aplicação e encapsulamento. Utilizou-se, como base o consumo médio de 200 kWh (duzentos quilowatts hora) mensal de energia elétrica em um apartamento de uma família de até 4 pessoas.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realização do levantamento em campo, os resultados obtidos da edificação ilustrada na figura 7 foram os seguintes:

- Área do subsolo (garagem) = 237,16 m<sup>2</sup>;
- Área do 1º pavimento (garagem) = 189,73 m<sup>2</sup>;
- Apartamentos com áreas iguais à 49,18 m<sup>2</sup>, sendo que cada apartamento contém 6 janelas com variadas dimensões;
- Considerando todos os apartamentos, tem-se 48 janelas.

A proposta é utilizar o OPV laminado nas janelas do edifício, por geração, de forma a atender uma parte da demanda do prédio reduzindo o custo de energia elétrica, propondo que a instalação ocorra na fachada norte em 8 janelas que correspondem a 68,76 m<sup>2</sup>.

Cada apartamento pagaria o equivalente a R\$ 218,00 neste mês. Em 12 meses, o valor total pago de energia elétrica seria R\$ 2.616,00. Para 8 apartamentos isso equivale aproximadamente a R\$ 20.928,00 por ano. A tabela 1 ilustra esta composição de gasto.

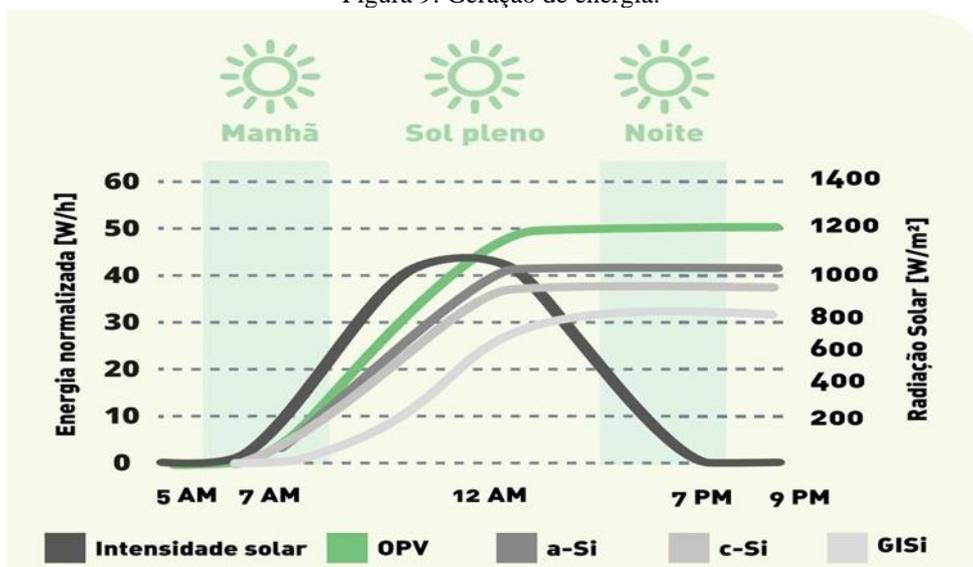
Tabela 1: Consumo e custo de energia elétrica no prédio

Consumo 1 apto	Consumo 8 aptos	Custo total
200 kWh.mês	1600 kWh.mês	R\$20.928,00/ano

Fonte: Autores, 2020.

O valor de referência usada para o cálculo de geração é de 35 watts pico por m<sup>2</sup>, conforme ilustrado na figura 9, mas, como informado, o mesmo gera energia na presença da luz natural ou artificial, independente da quantidade.

Figura 9: Geração de energia.



Fonte: SUNEW (2020).

A SUNEW não realiza a instalação do OPV. O serviço é executado por terceiros. Informações obtidas junto à equipe comercial da SUNEW indicaram um valor médio do custo da instalação na região considerada. Quanto ao material elétrico, foi utilizado também um valor médio praticado no mercado. A Tabela 2 ilustra os valores unitários do investimento.

Tabela 2: Investimento Unitário OPV (R\$ / m<sup>2</sup>).

Item	Área (m <sup>2</sup> )	OPV Flex (R\$/m <sup>2</sup> )	Custo de mão de obra (R\$/m <sup>2</sup> )	Material elétrico (R\$) *	Investimento total (R\$/m <sup>2</sup> )
Investimento do OPV	1 m <sup>2</sup>	1.200,00	250,00	290,00	1.740,00

Obs.: \* 20% do valor do projeto em R\$/m<sup>2</sup>  
 Fonte: Autores, 2020.

De acordo com a tabela 2 e demais dados levantados, pode-se afirmar que:

- A área disponível é de 68,76 m<sup>2</sup>, com o fator de preenchimento (GFF) de 80% com uma área útil total de OPV de 55 m<sup>2</sup>;
- As dimensões de um filme OPV são 0,53 m x 1,3 m;
- A área de um filme OPV é igual a 0,69 m<sup>2</sup>;
- O quantitativo de filmes será:  $55 \text{ m}^2 / 0,69 \text{ m}^2 = 79,7 \approx 80$  filmes;
- A energia elétrica gerada na área ativa: 35 W/(h.m<sup>2</sup>.filme);
- Energia gerada por filme = GFF x Área de 1 filme x Energia gerada na área ativa =  $0,80 \times 0,69 \times 35 = 19,32$  Wh;
- Potência instalada total = 80 filmes x 19,32 Wh = 1.545,6 W.h;
- $1.545,6 \text{ W.h} \times 4$  (horas de pico solar por dia) = 6.182,40 Wh / dia = 6,18 kWh/dia;
- $6,18 \text{ kWh/dia} \times 30$  dias = 185,4 kWh por mês ou, em média, 2.224,8 kWh por ano.
- Isso equivale a redução de 158,95 toneladas CO<sub>2</sub> evitados por ano.

De acordo com a tabela 2, o valor unitário e estimado do custo do projeto é de R\$ 1.740,00/m<sup>2</sup> multiplicado por 55 m<sup>2</sup>, totalizando o valor de investimento de aproximadamente R\$ 95.700,00.

A previsão de retorno sobre operações de investimento (ROI) encontra-se ilustrada na tabela 3 (GITMAN, 2010).

Tabela 03 – Tempo de retorno do Investimento OPV

Geração (kWh/ano)	Custo da energia elétrica (R\$/kWh)	Economia anual estimada por geração por OPV (R\$)	Investimento total estimado no projeto (R\$)	ROI (anos)
2.224,80	1,09	R\$ 2.425,03	95.700,00	40

Fonte: Autores, 2020.

Os cálculos demonstram que, por ser um material inovador e em fase de ampliação de *cases*, sem analisar questões de mercado e flexibilização de produção com incentivos fiscais por exemplo, o custo de implantação, o custo do material e o tempo de retorno são muito maiores do que outros tipos de placas solares. Há no mercado muitas marcas e modelos de placas solares. O tempo de retorno de investimento varia de 3 à 5 anos. Segundo Soares *et al.*(2020), salientam que é possível encontrar placas com custo benefício atraente um modelo utilizado foi o painel CanadianSolar CS6K-270P, cujo valor unitário é de R\$ 569,00, considerando a irradiância solar em 1000 W/m<sup>2</sup>, temperatura a 25°C de célula solar, AM 1,5. O NOCT(*Normal Operation Cell Temperature*) representa a temperatura de operação da célula. A taxa de radiação solar é de 800 W/m<sup>2</sup>, temperatura da célula a 20° C, AM 1,5 e velocidade do vento de 1m/s.

O tempo de retorno de investimento é superior à vida útil de geração do OPV, comprovando que é tecnicamente viável porém inviável economicamente. Para melhorar a viabilidade econômica, seria necessário reduzir o custo do OPV Flex e/ou aumentar a área de aplicação deste filme.

## 5 CONCLUSÃO

Pode-se concluir através deste estudo, que o uso da OPV é viável tecnicamente. Em contra partida ele é inviável economicamente, em decorrência ao seu alto valor de instalação e ao tempo de retorno do investimento inicial ser superior à sua vida útil.

Portanto, em virtude do estudo apresentado, o custo do material não deve ser comparado aos painéis fotovoltaicos (monocristalino e policristalino), por se tratar de um produto que tem aplicabilidade em locais diferentes, ou seja, são tecnologias complementares. Quanto às vantagens, o produto surpreende em tecnologia, porém com alto custo de investimento, por se tratar de algo inovador. Nesta aplicação proposta, a implantação pode ser atrativa quando se trata de áreas maiores, devido ao custo citado. Os ganhos ambientais são indiscutíveis e a questão econômica e cultural é uma barreira que vêm sendo rompida aos poucos com a disseminação da sustentabilidade, que aos poucos têm ganhado mais adeptos e exigido do mercado produtos e empresas que adéquem a estas novas condições de investir em sustentabilidade e marketing.

É importante ressaltar a necessidade do aprimoramento tecnológico contínuo e crescente na geração sustentável de energia, de maneira que novos equipamentos sejam desenvolvidos para trazer viabilidade e benefícios para os usuários deste importante insumo. É necessário maior incentivo público e privado e forma que invistam com maior foco não somente pela geração de energia, mas principalmente pela preservação do meio ambiente.

**REFERÊNCIAS**

ALVES DOS SANTOS, Ivan. Setor de Projetos. (ivandesenho1@hotmail.com). **Re: Estudo de viabilidade técnica e econômica para aplicação de organic fotovoltaics (OPV) em um edifício residencial** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por brunaaraujosouza@hotmail.com.br em 07 abr. 2020.

GAZETA DO POVO. **Startup mineira fabrica células solares tão finas e flexíveis quanto uma cartolina.** Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/economia/energia-e-sustentabilidade/startup-mineira-fabrica-celulas-solares-tao-finas-e-flexiveis-quanto-uma-cartolina-3rnofxy32rdoionu658bgp4xk/>>. Acesso em: 29 de mar. de 2020.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 5.ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GITMAN, L.J.. **Princípios de administração Financeira;** tradução Allan Vidigal Hastings; revisão técnica Jean Jacques Salim. – 12. Ed. – São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

GODOY, Arilda Schmidt: **Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades.** RAE- Revista de Administração de Empresas, São Paulo, v.35,n.2,p.57-63, 1995.

IEEE, Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos. Energia Solar Fotovoltaica – Terceira Disponível em:<<http://www.ieee.org.br/wpcontent/uploads/2014/05/energia-solar-fotovoltaica-terceira-geracao.pdf>> Acesso em:29 mar.2020.

JORGENSEN JR., P. **Operações Urbanas. I: Caderno de Urbanismo nº3.Rio de Janeiro.** Disponível em:<[www2.rio.gov.br/smu/paginas/noticias\\_caderno.htm](http://www2.rio.gov.br/smu/paginas/noticias_caderno.htm)>. Acesso em:25 mar.de 2020.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Lei nº12.305/10.** Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/pol%C3%ADtica-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3Lidos>>. Acesso em:05 mar.2020.

PORTAL SOLAR, **A história da energia solar.** Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/>>. Acesso em: 28 de mar. 2020.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil.** 1ª Ed. Florianópolis: LABSOLAR, 2004.

SANTOS, F. A., *et al.* **ENERGIA SOLAR: um estudo sobre a viabilidade econômica de instalação do sistema fotovoltaico em uma residência em Ipatinga-MG.** Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos16/862456.pdf>> Acesso em: 29 de mar. 2020.

SOARES, Paula Meyer *et al.* **Avaliação econômica e técnica de um sistema conectado á rede:estudo de caso de condomínio na cidade de Brasília.** Brasil. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.6, n.6, p.35113-35136, jun.2020.

SOLAR MT. **Sistema on grid.** Disponível em: <<http://www.solarmt.com.br/2018/06/12/sistema-on-grid/>>. Acesso em: 20 de abr. 2020.GG

SONNENENERGIE, D. G. F. (2008). Disponível em: <<https://www.dgs.de/aktuell/>>. Acesso em: 29 de mar. de 2020.

SUNEW. **Greenest Energy Everywhere**. Disponível em: <<http://www.sunew.com.br>>. Acesso em: 15 de abr. 2020.