

# ESTUDO DE EMISSÃO DE GASES POLUENTES NA ATMOSFERA DEVIDO A FABRICAÇÃO DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS NA PRODUÇÃO DE PLACAS SOLARES

*Data de submissão: 09/08/2023*

*Data de aceite: 02/10/2023*

### **Giovanni Leão Santos Rabelo de Jesus**

Graduando(a) em Engenharia de Computação; Centro Universitário SENAI CIMATEC

### **Ralph Barbosa Rodrigues**

Graduando(a) em Engenharia de Computação; Centro Universitário SENAI CIMATEC

**RESUMO:** A pesquisa tem como objetivo a discussão sobre emissões de gases poluentes na atmosfera, provenientes da fabricação das placas solares, tendo em vista a crescente demanda por essa energia limpa e o cumprimento da agenda da ONU, além do crescimento demográfico (não só nacional, mas global) e o aumento do consumo de energia elétrica. Este artigo busca discutir quais são os impactos ambientais da fabricação em massa de placas solares através de uma revisão bibliográfica qualitativa, utilizando artigos publicados em plataformas online para concluir que o componente da placa solar que mais polui é a célula fotovoltaica ou celular solar. A emissão de gases já mencionada é proveniente do processo que, para realizar a fabricação da célula, tornam-

se necessários materiais semicondutores, como o silício, proveniente da sílica. A revisão expõe que, para conseguir o silício policristalino é necessário a utilização de reatores químicos que aquecem o material a temperaturas superiores a 1900 °C, gerando assim a emissão de poluentes no ar.

**PALAVRAS-CHAVE:** Emissão de gases; Células fotovoltaicas; Energia limpa;

## STUDY OF EMISSION OF POLLUTING GASES INTO THE ATMOSPHERE DUE TO MANUFACTURE OF PHOTOVOLTAIC CELLS IN THE PRODUCTION OF SOLAR PANELS

**ABSTRACT:** This research will discuss the emission of polluting gases in the atmosphere, due by fabrication of solar panels, having to consider the demand for clean energy and the UN agenda, in addition the demographic grow (globally, not Brazilian only) and the increase in electricity consumption. This article aims to discuss the environmental impacts caused by the large-scale fabrication of the solar panels through qualitative bibliographical research, using published articles in online

platforms and concludes that the component of the solar panels pollutes which the most is the photovoltaic cell or solar cell. The gas emission already mentioned comes from the process of cell's fabrication, where semiconductor materials, such as silicon, from silica, become necessary. The review exposes that, to achieve polychrystalline silicon it is necessary to use chemical reactors that heat the material to temperatures higher than 1900° Celsius, leading the formation of the polluting gases onto the atmosphere.

**KEYWORDS:** Gases emission; photovoltaic cell; clean energy;

## 1 | INTRODUÇÃO

A sustentabilidade e a criação de tecnologia renováveis foram assuntos que recorrentemente entraram na discussão de muitos países durante o final do século XX e início do século XXI. A ONU realizou em junho de 1972 a conferência de Estocolmo, uma das primeiras reuniões da organização a falar sobre desenvolvimento e meio ambiente. A conferência tratou da poluição ambiental em decorrência do avanço industrial e estipulou alguns princípios para serem seguidos, além da criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA).

Nos anos seguintes ocorreram várias outras reuniões para tratar dos avanços tecnológicos que contribuem com a sustentabilidade. Sendo a utilização de energia limpa um dos focos centrais, a ONU tem um acordo com 193 países, o Brasil é um deles, que conta com metas para 2030. Uma dessas metas é a energia limpa e sustentável.

Entretanto, a maior parte do país, ainda é alimentada por hidrelétricas. Considerando que o país possui aproximadamente 203 milhões de habitantes (de acordo com estimativa do IBGE durante a realização do último censo) e que cinquenta anos atrás a população era de 90 milhões de habitantes, a análise lógica é que aumentou a demanda por eletricidade provinda de hidrelétricas. Tendo em vista o compromisso com a ONU, e os impactos ambientais causados por esse modelo de geração de energia, fez-se mister o incentivo ao consumo de placas solares nos últimos anos.

Aplaca solar é a solução que visa o menor impacto ambiental e maior sustentabilidade, além da radiação solar ser uma das mais renováveis. É uma ótima solução para tentar cumprir a agenda 2030, entretanto, é preciso avaliar se o processo de fabricação desses equipamentos não agride o meio ambiente.

Placas solares possuem os seguintes componentes em sua montagem: célula fotovoltaica, vidro fotovoltaico, filme encapsulante para o painel solar, caixa de PVC e algumas molduras. O material mais importante é a célula fotovoltaica, é ela que, através de uma reação físico-química, transforma a luz solar em energia elétrica. A produção de células fotovoltaicas é um processo complexo que envolve a utilização de diversos materiais, como silício, alumínio, cobre, vidro e plástico, além de produtos químicos como ácido clorídrico, ácido fluorídrico e ácido nítrico. A fabricação desses materiais e produtos químicos pode emitir gases de efeito estufa durante a extração, transporte e produção.

É importante salientar que o processo de fabricação dessas células solares precisa de altas temperaturas, acima dos 1900 °C, comumente alcançadas por meio da queima de combustíveis, como o carvão, que libera dióxido de carbono e outros gases de efeito estufa.

## 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Sustentabilidade se classifica como: “capacidade de criar meios para suprir as necessidades básicas do presente sem que isso afete as gerações futuras, normalmente se relaciona com ações econômicas, sociais, culturais e ambientais.” Partindo desse princípio, o presente trabalho consiste na realização de uma revisão bibliográfica sobre energias sustentáveis e em como a corrida para a fabricação dessas tecnologias tem agravado a emissão de gases na atmosfera.

Inicialmente, será considerado o processo de funcionamento e fabricação das células solares para entender o porquê da necessidade de estudos mais aprofundados sobre esse tema. Estudos, como um artigo na revista *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (2014) e outro no *Journal of Cleaner Production* (2016), destacam o impacto ambiental e socioeconômico da produção em larga escala de células solares e a pegada de carbono associada à produção de energia, transporte de materiais e produtos químicos, além do uso de hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>).

Esse gás é um dos mais potentes gases de efeito estufa, com um potencial de aquecimento global maior do que o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). O uso desses gases durante a fabricação contribui para o aumento da concentração de poluentes na atmosfera.

Para tornar a produção de células solares mais sustentável, é necessário reduzir o uso de hexafluoreto de enxofre e buscar alternativas mais sustentáveis. Embora as placas solares sejam uma fonte de energia renovável e limpa, a fabricação das células fotovoltaicas que as compõem pode ser poluente e contribuir para as emissões de gases de efeito estufa. Milanez (2021) publicou um estudo sobre os potenciais impactos ambientais durante o ciclo de vida de uma placa solar e cita três importantes conclusões sobre o equipamento:

- a. Grande parte dos estudos abrangem o sistema considerando desde a extração da matéria prima até o descarte final do produto. Entretanto, todos apresentam a fase de produção das placas solares como o principal causador de potencial impacto ambiental.
- b. A maioria dos estudos contempla as tecnologias convencionais, associando assim os maiores causadores de impactos ambientais os componentes: vidro, cobre e alumínio. Quando analisados sistemas não convencionais como placas compostas por PET e PVC, esses são os principais apontadores de impactos ambientais.
- c. Quando comparado a um sistema fotovoltaico, o sistema solar térmico apresenta menores influências para causa de impactos ambientais.

### 3 | METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado através de pesquisas bibliográficas em artigos científicos relacionados ao tema. Os artigos utilizados para fundamentar a pesquisa foram indexados na base de dados do google acadêmico. Para realização da busca de documentos para discussão do tema foram utilizados os termos “Poluição gerada pelas placas solares”, “fabricação de placas solares”, “gases gerados pela fabricação de células fotovoltaicas”.

Este estudo qualitativo foi realizado para comprovação de que placas solares emitem gases poluentes durante sua fabricação e que devido a corrida para acelerar o processo de mudança para uma energia limpa, tem-se poluído mais para poluir menos.

As fontes foram analisadas utilizando o método de análise qualitativa de dados. É uma forma mais subjetiva de pesquisa e tem como objetivo interpretar dados coletados de uma pesquisa qualitativa. Foi realizada a organização dos dados, baseado no interesse do trabalho, e em seguida foram retiradas interpretações e conclusões a respeito do tema. Resultando assim em duas fases: exploração dos arquivos e interpretação dos resultados.

### 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Placas solares são equipamentos cuja função é capturar os raios solares e transformá-los em energia solar. O painel solar tem seu funcionamento graças ao efeito fotovoltaico, que é o que garante a transformação da energia solar em energia elétrica.

Esse equipamento é composto por: Células fotovoltaicas, vidro fotovoltaico, película encapsulante EVA, backsheet (material plástico branco), caixa de junção, moldura do painel solar e alumínio anodizado.

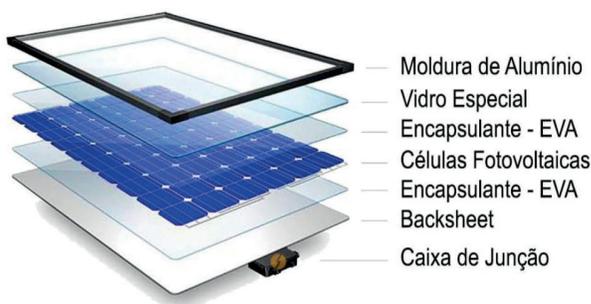


Figura 1: Painel solar

O efeito fotovoltaico é o que acontece quando os raios solares são transformados em energia elétrica. Este fenômeno ocorre pela participação de materiais semicondutores,

que possuem bandas de energia, ou seja, um lado composto por elétrons e o outro vazio. Geralmente o material utilizado é o silício.

O átomos desse material possuem quatro elétrons, em sua camada de valência, que fazem ligações com outros que estão ao redor, criando uma espécie de rede de elétrons. A medida que são inseridos átomos de cinco elétrons na ligação, há sobra de elétrons da rede. Assim em decorrência dessa característica e com pouca variação de calor, este elétron se move para o lado vazio. O átomo de fósforo pode ser utilizado como um exemplo de átomos de cinco elétrons, sendo chamado de dopante doador de elétrons ou dopante n (CRESEB, 2006).

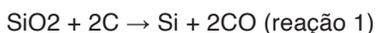
A adição de três elétrons caracteriza uma falta de elétron, o que é chamado de lacuna; neste caso, com pouca energia térmica, um elétron que esteja ao redor pode se movimentar para ocupar esta posição, deslocando a lacuna. O boro pode ser utilizado neste exemplo como o átomo de três elétrons, sendo chamado de aceitador de elétrons ou dopante p (CRESESB, 2006).

Na inserção de átomos de fósforo e boro em um silício puro, ocorre a junção pn. Assim, os elétrons que se encontram livres no lado n, se movem para o lado p onde existem as lacunas. Isso resulta em acúmulo de elétrons no lado n, tornando-o assim carregado negativamente (CRESESB, 2006).

De acordo com Atlas Brasileiro de Energia Solar, publicado pelo INPE em 2006, a base do funcionamento das células fotovoltaicas se dá por:

Se a junção pn for exposta a fótons com energia maior que o gap, ocorrerá a geração de pares elétrons-lacuna; se isto acontecer na região onde o campo elétrico é diferente de zero, as cargas serão aceleradas, gerando assim, uma corrente através da junção; este deslocamento de cargas dá origem a uma diferença de potencial ao qual chamamos de efeito fotovoltaico. Se as duas extremidades do "pedaço" de silício forem conectadas por um fio, haverá uma circulação de elétrons.

A sílica, fonte primária de silício, é obtida a partir de fontes como areia de quartzo, que é composta principalmente de SiO<sub>2</sub>. A areia é lavada e purificada para remover impurezas, em seguida, é misturada com um agente redutor, geralmente carbono, e outros aditivos, como fundentes, para reduzir a temperatura de fusão e melhorar a eficiência do processo. Essa mistura é aquecida em um forno a temperaturas muito altas, onde ocorre a reação de redução. O carbono reage com oxigênio da sílica, liberando monóxido de carbono (CO) e produzindo silício metálico. A reação química é:



O silício metálico resultante é condensado e forma um líquido fundido. Esse líquido é solidificado podendo dar origem a dois tipos de célula: a célula de silício monocristalino ou policristalino. A diferença entre essas células é a eficiência na conversão, uma vez que as células monocristalinas são mais eficientes, porém mais caras. Já as células policristalinas são mais utilizadas pelo custo. Estas então, quando cortadas, são chamadas de wafers. (Costa, 2020)

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da revisão bibliográfica realizada, pode-se inferir que, de acordo com a literatura, a célula fotovoltaica é o elemento de maior valor para o funcionamento correto de uma placa solar, além de ser o principal meio poluente durante a fabricação de painéis solares. Assim foram identificados e analisados quais são os vetores poluentes, e chegou-se conclusão de que é durante a fabricação do silício policristalino onde tem o maior potencial de poluição, sendo essa, em sua maior parte, a emissão de gases durante o processo de redução carbotérmica. São necessários mais estudos e um maior investimento na pesquisa relacionada a poluição decorrente da fabricação de células fotovoltaicas, uma vez que, o Brasil aumenta cada ano a produção desses equipamentos, sem levar em consideração o impactos ambientais. Foi utilizado no estudo o método qualitativo de pesquisa, sob a orientação de Izete Celestina dos Santos Silva.

## REFERÊNCIAS

Células Fotovoltaicas. Portal Solar. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/>>

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Atlas Brasileiro de Energia Solar: Energia Solar Princípios e Aplicações**, 2006. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial\\_solar\\_2006.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf)>

CHEN, W. et al. **Environmental impact assessment of monocrystalline silicon solar photovoltaic cell production: a case study in China**. Journal of Cleaner Production, v. 112, p. 1025–1032, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615011130>>

COSTA, R. E. DE O. **O uso de placas fotovoltaicas: uma revisão bibliográfica**. UFERSA, 2020. Disponível em: <<https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/5962>>

MILANEZ, A. **Estudo de caso: potenciais impactos ambientais da produção de uma placa solar térmica polimérica com base na avaliação do ciclo de vida**. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2021.

M.M. Aman, K.H. Solangi, M.S. Hossain, A. Badarudin, G.B. Jasmon, H. Mokhlis, A.H.A. Bakar, S.N Kazi. **A review of Safety, Health and Environmental (SHE) issues of solar energy system, Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Volume 41, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032114007734>>

VASCONCELOS, L., E., M.,; LIMBERGER, M., A., C. **Energia Solar para aquecimento de água no Brasil**: Contribuições da EletrobrasProcel e Parceiros. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2012.