



# SFV

Curso Híbrido de Instalador de  
**Sistemas Fotovoltaicos**

## Unidade 1

Eletricidade básica aplicada a Sistemas Fotovoltaicos

## Ficha 2

# A FORÇA QUE NÃO SE VÊ



Por meio da:



MINISTÉRIO DA  
EDUCAÇÃO





## Objetivos de aprendizagem

### Os alunos e as alunas serão desafiados a:

1. Reconhecer a força elétrica como força existente na natureza;
2. Conceituar a força elétrica e reconhecer seus princípios básicos;
3. Definir matematicamente e vetorialmente a lei de Coulomb.



## Competências

### Capacidades Técnicas e Conhecimentos conforme os Itinerários Formativos EnergIF

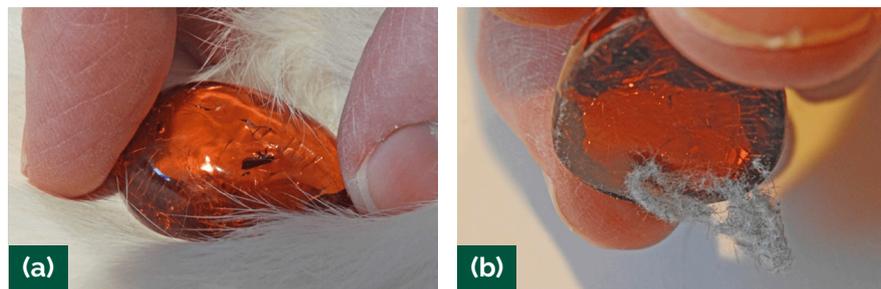
- Conceitos básicos sobre eletrostática e eletrodinâmica.
  - Força elétrica e lei de Coulomb.



## Relação com a Unidade Curricular

Este tema dá origem aos conceitos mais primordiais acerca de como a eletricidade e a geração de energia funcionam. Falamos de tensão elétrica, corrente elétrica e potência elétrica. Coulomb conseguiu definir a intensidade da força que uma carga elétrica exerce em outra carga, seja de atração ou repulsão. Uma carga elétrica ou partícula eletrizada colocada em um campo elétrico gera uma diferença de potencial entre pontos. Essa diferença de potencial também é conhecida como tensão elétrica. Na geração fotovoltaica, o processo é o mesmo descrito e, nesse caso, essa diferença de potencial surge quando o material do módulo está sob o efeito da luz solar. Assim, é importante entendermos o efeito da força elétrica para entendermos direitinho o que ocorre no módulo solar.

## O âmbar, o coulomb e a força elétrica



**Figura 1:** Recriação do experimento que possibilita atrair alguma coisa (b) com uma pedra de âmbar que foi esfregada na pele de um animal (a).

Fonte: [Wisconsin Museum](https://www.wisconsinmuseum.org/)

“Podemos dizer que energia elétrica é um fenômeno natural que está associado a cargas elétricas estáticas ou em movimento. Um dos seus efeitos naturais que existe desde os primórdios da Terra são os relâmpagos, que são faíscas elétricas geradas pelo encontro de nuvens com cargas elétricas opostas. A energia elétrica existe desde a formação do Universo. Na era primitiva já despertava muito interesse, curiosidade e medo nos homens das cavernas. [...] Os povos primitivos consideravam os relâmpagos e raios como manifestação dos deuses. E na Antiguidade os “magos”, sem saber que já estavam utilizando energia elétrica, assustavam as pessoas. Eles eletrizavam o âmbar e diziam que era magia, tinham intenção de provocar medo e poder. Os “magos” esfregavam um pedaço de tecido ou pele de animais em um pedaço de âmbar, este atraía coisas leves, como folhas, penas e palhas. [...] Provavelmente o sábio grego Tales de Mileto,

no período de 640–548 a.C., foi o primeiro a verificar que o âmbar, quando atritado (na pele de animais, por exemplo), atraía algumas coisas. Tales não tinha explicação para o fato, mas deixou registros de seus experimentos para o futuro.

O âmbar é uma resina de árvores que através de milhões de anos se fossilizou. Se parece com pedra transparente ou plástico. Desde a Antiguidade é considerada como uma joia. Em grego, o âmbar é chamado pela palavra *elektron*, de onde veio o nome eletricidade. Se um pedaço de âmbar for esfregado com um tecido, ele fica eletrizado, isto é, capaz de atrair corpos leves, como folhas secas, pedaços de papel, palhas, penas e outras coisas.”

Ivone Welfer, Oficinas de Física: Energia elétrica

O Professor PDE e os desafios da escola pública paranaense

Disponível em: [Dia a Dia Educação](https://www.diaadiaeducacao.gov.br/)

### Explicativo



#### Por que o âmbar esfregado com tecido atrai poeira e penas?

Átomos em seu estado “normal” possuem um número igual de prótons e elétrons. Portanto, suas cargas positiva e negativa estão equilibradas. Isso significa que materiais “normais” não possuem carga elétrica. No entanto, a fricção frequentemente faz com que elétrons sejam transferidos de um material para outro.

Alguns materiais mantêm seus elétrons mais presos que outros. O âmbar retém seus elétrons mais presos do que o tecido ou a pele de animais; então, quando esfregado contra esses materiais, ele tende a acumular elétrons extras (transferidos a partir do efeito da fricção) e a se tornar negativamente carregado. Penas, pedaços de cabelo e outros materiais que compõem a poeira tendem a ser positivamente carregados, pois, ao serem separados de seus corpos de origem, tendem a deixar elétrons para trás. Por isso, o âmbar que é esfregado com a pele de um animal atrai poeira e pequenas penas.

Fonte do texto: [Wisconsin Museum](#) | Fonte da imagem: [UNT](#)



Figura 2: O físico francês Charles-Augustin Coulomb ficou conhecido por determinar a Lei da Força Elétrica entre cargas. Em sua homenagem, a unidade de carga elétrica recebeu o nome de coulomb, representada pela letra  $q$ .

Mas o que isso tudo tem a ver com a lei de Coulomb? Tudo a ver! Em 1785, o físico francês Charles-Augustin de Coulomb, interessado no mesmo assunto que, desde a Grécia antiga, desafia a capacidade do ser humano de compreender a natureza, descobriu, a partir de experimentos que realizou em uma balança pendular desenvolvida por ele mesmo, a **força elétrica** e, assim, conseguiu provar e medir a existência daquilo que Tales de Mileto não soube explicar.

A balança, também conhecida como balança de torção, possibilitou que Coulomb fizesse medidas das forças de atração e de repulsão existentes entre duas esferas eletricamente carregadas. O aparelho, ilustrado na Figura 3, possui uma haste suspensa por um fio de torção. Em uma das extremidades da haste, há uma esfera eletrizada com uma carga  $q_1$ ; na outra extremidade, há um contrapeso. Uma segunda esfera eletrizada com uma carga  $q_2$  é mantida suspensa por outro fio. Em razão da força elétrica que se manifesta nesse processo, a haste que está suspensa por um fio gira, provocando neste uma torção. Ao medir o ângulo de torção com o auxílio de uma tira de papel dividida em  $360^\circ$  e afixada no interior do cilindro de vidro, Coulomb conseguia determinar a força elétrica existente entre as esferas.

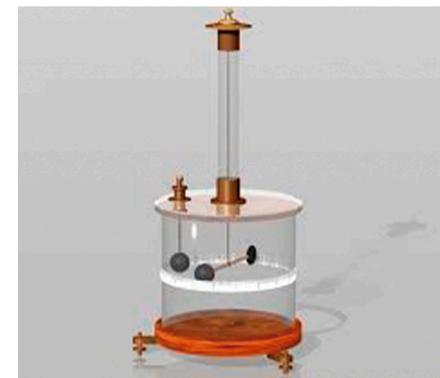
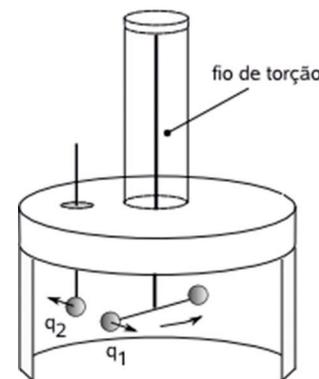
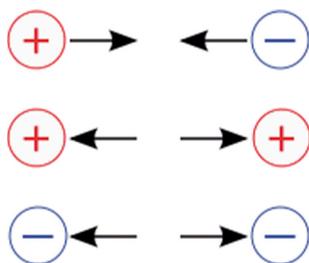


Figura 3: A balança de torção de Coulomb. Dentro de um cilindro de vidro, o físico manteve suspensas duas esferas eletrizadas com cargas  $q_1$  e  $q_2$  e conseguiu estimar as forças de atração e repulsão existentes entre elas, ao medir o ângulo de torção da haste que mantinha suspensa uma das esferas.

Fonte: [Portal do Professor](#)

- Essa força está presente na natureza, intrigando os físicos, fazendo com que, a uma certa distância, objetos carregados com cargas opostas se atraiam e objetos com cargas iguais se repilam.



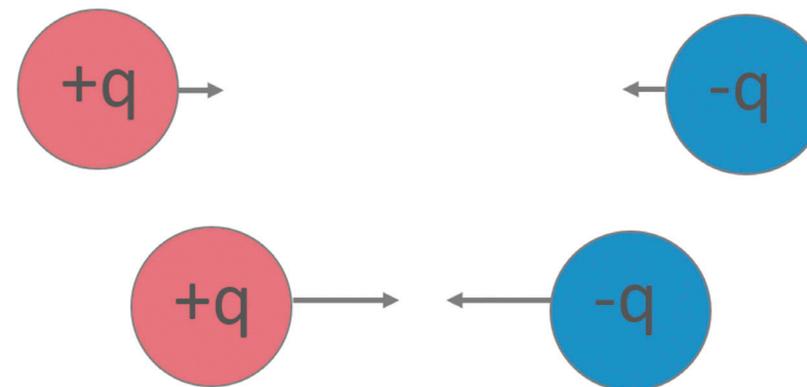
**Figura 4:** Na natureza, objetos carregados com cargas opostas se atraem, enquanto aqueles carregados com cargas iguais se repelem.

Fonte: [MSPC](#)

Com o experimento proposto, Coulomb conseguiu determinar a intensidade dessa força de uma forma mais precisa. Essa força foi chamada de **força eletrostática**, ou **interação de Coulomb**, ou, mais comumente, **força de Coulomb**. A percepção dessa força é mais facilmente sentida a pequenas distâncias.

## 1 A Força Elétrica, a Distância e a Intensidade entre as Cargas

Vamos começar esta conversa retomando o que falamos no final da seção anterior: a percepção da força elétrica é mais facilmente sentida a pequenas distâncias. Pode parecer óbvio para você, mas não custa deixarmos bem clara essa ideia, que é fundamental para entendermos perfeitamente a lei de Coulomb, sobre a qual vamos conversar na próxima seção.

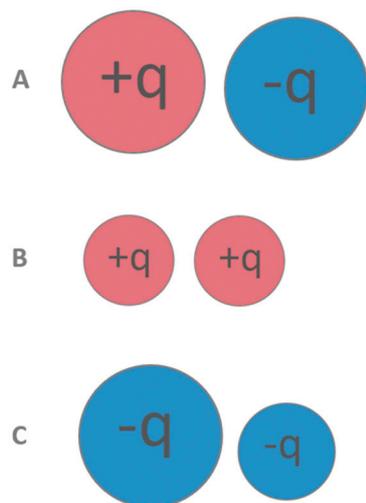


**Figura 5:** De acordo com a força de Coulomb, quanto mais próximas duas cargas estiverem, maior será a força elétrica existente entre elas. Na figura acima, a força de atração entre as cargas positiva (+q) e negativa (-q) está representada por vetores, tanto maiores quanto menores a distância entre elas (acima) e vice-versa (abaixo). Para efeito de ilustração, assumamos que, quanto maior o vetor (a seta), maior o módulo da força.

Fonte: [Portal do Professor](#)

Na experimentação de Coulomb, a interação entre dois objetos carregados eletricamente ocorre quando eles estão a uma certa distância entre si. Quanto maior essa distância, menor será a interação. Logicamente, quanto mais próximos, maior será a intensidade dessa força de interação.

A força elétrica, como todas as forças, é uma grandeza vetorial em que o módulo (intensidade), a direção e o sentido são muito importantes. Sua unidade de medida é o Newton (N).



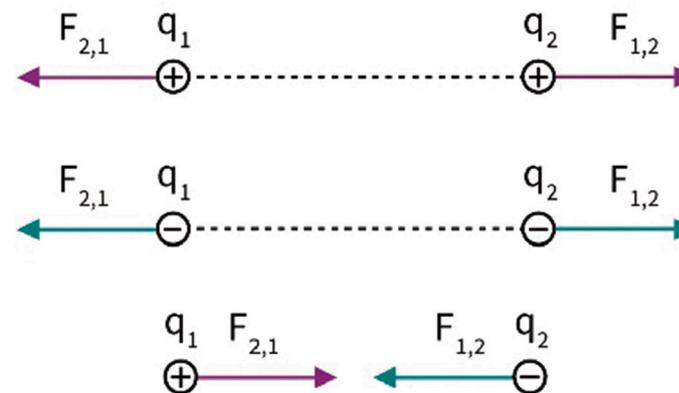
**Figura 6:** As três situações (A, B e C) representam interações entre diferentes cargas e intensidades.

Fonte: Elaborada por Cristine Barreto

Outra coisa que influencia a interação entre dois objetos carregados eletricamente é o valor de suas cargas. Já vimos antes que cargas opostas se atraem e cargas iguais se repelem. Mas faltou dizer que, além de ser positiva ou negativa, a quantidade da carga também influencia a interação. Quanto maior a carga, maior a intensidade da interação, quer seja de repulsão ou de atração.

É muito importante que você se lembre de que a força elétrica respeita a terceira lei de Newton, ou seja, a lei da ação e reação. Isso significa que a força de atração ou de repulsão exercida em dois objetos carregados, por exemplo, são de mesma intensidade. O que diferencia é a direção e o sentido da força, conforme a natureza das cargas e o posicionamento dos objetos no espaço.

Então, reunindo o que aprendemos até agora, fica fácil entender a representação de forças e cargas da Figura 7, a seguir.



**Figura 7:** Esquema representativo da força de atração ou repulsão existente entre cargas elétricas.

Fonte: [INFOSOLDA](#)

A força  $F_{2,1}$  (força que o objeto 2 "carga 2" exerce no objeto 1 "carga 1") e a força  $F_{1,2}$  (força que o objeto 1 "carga 1" exerce em 2 "carga 2") são iguais em intensidade, se considerarmos a carga 1 tendo o mesmo valor da carga 2. No caso de cargas de mesmo sinal, positivo ou negativo, elas irão se repulsar. Ambas as forças elétricas estão na mesma direção, ou seja, horizontal, porém, estão em sentidos opostos. O caso diferente, em que cargas opostas se atraem, e, assim, as forças elétricas mantêm a direção horizontal, em ação de atração.

## 2 A Lei de Coulomb

Agora que já sabemos que a intensidade e a distância entre as cargas eletrizadas influenciam a interação entre elas, vamos finalmente entender de que maneira essas variáveis se comportam dentro da lei de Coulomb, a lei que surgiu a partir daquele experimento da balança de torção, em que o físico francês conseguiu medir a intensidade da força.

Essa lei estabelece que a força é diretamente proporcional ao produto das quantidades de carga sobre os objetos e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre esses objetos.

Em forma de equação, a lei de Coulomb pode ser escrita como:

$$F = k \left( \frac{q1 \cdot q2}{d^2} \right)$$

Sendo que:

- q1 representa a carga elétrica no objeto 1 (em coulombs);
- q2 representa a carga elétrica no objeto 2 (em coulombs);
- d é a distância entre os dois objetos (em metros);
- k é uma constante de proporcionalidade conhecida como a constante da lei de Coulomb.

Muito confuso? Na verdade, não, porque você vai ver que já sabe tudo que está escrito nessa equação, a não ser pela constante K. Então vamos começar logo por ela.

A constante k da lei de Coulomb tem valores diferenciados conforme o meio em que os objetos carregados estão inseridos. Isso quer dizer que o valor dessa constante depende do meio em que os objetos carregados estão imersos. No caso do ar, o valor é aproximadamente  $9,0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$ . Se os objetos carregados estiverem imersos na água, o valor de k pode ser reduzido em até 80 vezes. Como iremos trabalhar predominantemente no ar, é aquele valor que nos interessa, principalmente.

Agora vamos entender a equação, começando pelas cargas.

Uma das chaves para a lei de Coulomb é que multiplicamos as cargas, uma pela outra, assim como seus sinais.

- Se q1 e q2 forem positivas, o resultado da multiplicação terá sinal positivo, e também a força elétrica, indicando que as duas cargas estarão se repelindo.
- Se q1 e q2 forem negativas, o resultado da multiplicação terá sinal positivo, e também a força elétrica, indicando que as duas cargas estarão se repelindo.
- Se q1 for positiva e q2 for negativa, o resultado da multiplicação terá sinal negativo, e também a força elétrica, indicando que as duas cargas estarão se atraindo.

Ou seja, agora fica fácil entender que força elétrica com sinal positivo significa "cargas se repelindo" e força elétrica com sinal negativo significa "cargas se atraindo".



### Atenção

As cargas  $q_1$  e  $q_2$ , na equação da lei de Coulomb, podem ser positivas ou negativas. O sinal sobre a carga representa se o objeto tem um excesso de elétrons (um objeto carregado eletricamente negativo) ou uma escassez de elétrons (um objeto carregado eletricamente positivo).

Embora não seja recomendado, e não há mal algum em fazê-lo, é comum usar os sinais "+" e "-" no cálculo da força. O resultado nada mais será que um valor "-" para a força de atração e um valor "+" para a força de repulsão. Ou seja, o módulo da força será  $q_1 \cdot q_2$ , independentemente de seu sinal, e o sentido da força (repulsão e atração) variará, dependendo de uma carga ser "+" e a outra ser "-", ou ambas "-", por exemplo.

A outra chave para entendermos bem a lei de Coulomb é a distância. Já sabemos que, quanto maior a distância, menor a intensidade da força elétrica, certo? Fica fácil de ver isso pensando em uma situação em que, por exemplo, nós dobramos a distância entre as cargas. Na equação, se alterarmos a distância  $d$  para  $2d$ , veja o que acontece:

Começamos com a equação da lei de Coulomb, conforme a escrevemos anteriormente.

$$F = k \left( \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2} \right)$$

Alteramos a distância " $d$ " para " $2d$ ", na equação, dobrando a distância entre as cargas.

$$F = k \left( \frac{q_1 \cdot q_2}{(2d)^2} \right)$$

Reescrevemos o denominador assim:

$$F = k \left( \frac{q_1 \cdot q_2}{(2d) \cdot (2d)} \right)$$

E resolvemos a nova expressão, dessa maneira:

$$F = k \left( \frac{q_1 \cdot q_2}{4d^2} \right)$$

Podemos desmembrar essa expressão conforme escrito ao lado.

$$F = \frac{1}{4} k \left( \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2} \right)$$

Ou seja, quando dobramos a distância, reduzimos a força elétrica a um quarto de sua intensidade. Esse exemplo serve para mostrar a você, matematicamente, aquilo sobre o que já havíamos conversado antes: quanto maior a distância entre as cargas, menor a intensidade da força elétrica entre elas.



### Explicativo

#### O centro da carga elétrica

A equação da lei de Coulomb fornece uma descrição precisa da força entre dois objetos, sempre que eles agem como cargas pontuais, ou seja, como cargas concentradas em um ponto. Uma vez que aplicamos a lei de Coulomb a esse ponto, a distância  $d$  na equação é a distância entre os centros de carga para ambos os objetos pontuais (não a distância entre suas superfícies mais próximas).

Isso significa que uma esfera de condução carregada interage com outros objetos carregados como se toda a sua carga estivesse localizada em seu centro. Entretanto, a carga é uniformemente espalhada por toda a superfície da esfera. Mas podemos considerar o centro de carga como o centro da esfera. Assim, a distância  $d$  a ser medida é desde esse centro (e não da superfície da esfera) até o outro objeto.



## Amplificadores

Vamos ampliar nossos entendimentos fazendo uma comparação entre a força elétrica e a força gravitacional. Ao compararmos as duas, podemos perceber que existem algumas semelhanças entre elas. Uma dessas semelhanças é a fórmula matemática da lei de Coulomb, que se assemelha à fórmula da Gravitação Universal de Newton.

$$F = k \cdot \left( \frac{q1 \cdot q2}{d^2} \right) \quad \text{lei de Coulomb}$$

$$F = G \cdot \left( \frac{m1 \cdot m2}{d^2} \right) \quad \text{lei de Newton}$$

Analisando ambas, agora, pelo princípio de cada uma, as duas são forças que ocorrem sem um contato. Você não precisa empurrar uma caneta em direção ao solo para ela cair. Assim também ocorre com a força elétrica emitida por uma carga. Ela está lá, e pronto! E ambas ocorrem em um campo, seja o gravitacional, seja o elétrico.

Além disso, as duas equações mostram uma relação quadrada inversa entre força e distância de separação. E ambas as equações mostram que a força é proporcional ao produto da quantidade que causa a força — carga, no caso, de força elétrica e massa, no caso, da força gravitacional.

No entanto, algumas diferenças são marcantes entre essas duas forças. Em primeiro lugar, uma comparação das constantes de proporcionalidade —  $k$  versus  $G$  — revela que a constante da lei de Coulomb ( $k$ ) é significativamente maior do que a constante de gravitação universal de Newton ( $G$ ).

Dessa forma, analisando, uma unidade de carga atrai outra unidade de carga significativamente com mais força do que uma unidade de massa atrai outra unidade de massa. Em segundo lugar, as forças gravitacionais são apenas atraentes. Já as forças elétricas podem ser atraentes ou repulsivas.



### Dicas para o instalador ou a instaladora de SFV

A força elétrica é uma grandeza invisível, mas sua reação pode ser sentida em certas situações. Ela está diretamente ligada a todo o processo de geração de energia de qualquer que seja a fonte. Nesse caso em particular, leia mais sobre ela em outros materiais disponíveis na internet ou em livros, para que não fique qualquer dúvida sobre esse conceito e, principalmente, sobre como ela age sobre os objetos carregados.



### Situações de avaliação

Para você verificar o conhecimento adquirido, alguns exercícios podem ajudar. Pratique, verifique se ficaram dúvidas, leia novamente o conteúdo e assista às aulas.

Agora, calcule a intensidade da força elétrica de repulsão entre duas cargas puntiformes  $3 \cdot 10^{-5}$  e  $5 \cdot 10^{-6}$ , que se encontram no vácuo, separadas por uma distância de 15 cm.

1. Uma esfera recebe, respectivamente, cargas iguais a  $2 \mu\text{C}$  e  $-4 \mu\text{C}$ , separadas por uma distância de 5 cm.
  - a. Calcule o módulo da força de atração entre elas.
  - b. Se colocarmos as esferas em contato e depois as afastarmos por 2 cm, qual será a nova força de interação elétrica entre elas?

## REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

### Presidente da República

Luiz Inácio Lula da Silva

### Ministro de Estado da Educação

Camilo Sobreira de Santana

### Secretário de Educação Profissional e Tecnológica

Getúlio Marques Ferreira

### Coordenação do Projeto Profissionais do Futuro: Competências para a Economia Verde

Fábio de Medeiros

## APOIO TÉCNICO

### Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável por meio da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

#### Diretor Nacional

Michael Rosenauer

### Coordenação do Projeto Profissionais do Futuro: Competências para a Economia Verde

Julia Giebeler Santos

#### Coordenação do material

Roberta Knopki (GIZ)

Marco Antonio Juliatto (MEC)

## Instalador de Sistemas Fotovoltaicos

### Fichas de Conteúdo

#### Organização

Roberta Knopki (GIZ)

#### Projeto Instrucional

Cristine Barreto (Ohje Soluções de Aprendizagem)

Anderson Castanha

#### Autoria

Cintia Gonçalves Mendes (IFSP)

Cristine Barreto (Ohje Soluções de Aprendizagem)

Anderson Castanha

#### Design Instrucional

Cristine Barreto (Ohje Soluções de Aprendizagem)

#### Revisão de Língua Portuguesa

Patrícia Sotello

#### Projeto Gráfico e Diagramação

André Guimarães S. (Yellow Carbo Design)

## Abril de 2023

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Instalador de sistemas fotovoltaico [livro eletrônico] :  
fichas de conteúdo / coordenação Roberta Hessmann Knopki, Marco Antonio Juliatto. --  
1. ed. -- Brasília, DF : Ministério da Educação :  
Deutsche Gesellschaft für Internationale  
Zusammenarbeit - GIZ, 2023.

PDF

Vários autores.

ISBN 978-85-92565-07-7

1. Energia - Fontes alternativas 2. Energia solar fotovoltaica 3. Instalações elétricas I. Knopki, Roberta Hessmann. II. Juliatto, Marco Antonio.

23-149831

CDD-621.47

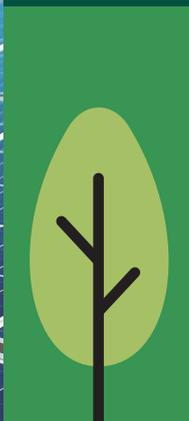
#### Índices para catálogo sistemático:

1. Energia solar fotovoltaica : Engenharia 621.47  
Henrique Ribeiro Soares - Bibliotecário - CRB-8/9314

## INFORMAÇÕES LEGAIS

As ideias e opiniões expressas nesta publicação são dos autores e não refletem necessariamente a posição do Ministério da Educação ou da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

A duplicação ou a reprodução do todo ou partes (incluindo a transferência de dados para sistemas de armazenamento de mídia) e a distribuição deste material para fins não comerciais é permitida, desde que o Ministério da Educação e a GIZ sejam citados como fonte da informação. Para usos comerciais, incluindo duplicação, reprodução ou distribuição do todo ou partes, é necessário o consentimento por escrito do MEC e da GIZ.



# SFV

Curso Híbrido de Instalador de  
**Sistemas Fotovoltaicos**