

Sistemas Energéticos

3º ano 6º semestre

Aula 20



Aula 20: Energia Solar



Tópicos

- *Introdução*
- *Histórico*
- *Formas de Energia Solar*
- *Energia Solar Activa*
- *Energia Solar Passiva*

20.1 INTRODUÇÃO

O sol foi desde sempre considerado um Deus, mesmo fora de qualquer credo ou religião, pois sem o sol, a vida na Terra seria simplesmente impossível. O sol emite por dia 10 000 vezes mais energia do que a terra que consome.

A busca de sistemas alternativos de energia é uma constante, devido ao aumento do consumo e da dependência mundial da geração de energia através de fontes não renováveis.

A energia solar é uma das fontes alternativas que pode suprir com grandes vantagens determinadas necessidades, apesar de não ser uma solução total ou definitiva para o problema.

A energia captada do Sol deve ser devidamente condicionada para a sua utilização e é uma das tecnologias mais importantes para o desenvolvimento sustentável.



20.1 INTRODUÇÃO

A sua utilização é de altíssimo interesse para aqueles que vislumbram um mundo equilibrado, ecologicamente correcto e sem agressões à natureza.

Os núcleos de átomos de hidrogénio no centro do sol fundem-se originando núcleos de hélio. A sua superfície atinge a temperatura perto dos 6000 K.

A energia resultante desta reacção é radiada para o espaço, e parte dela atinge a atmosfera terrestre com uma intensidade de cerca de 1373 W/m^2 .

Uma vez que parte da energia inicial é reflectida ou absorvida pela atmosfera. Num dia de céu claro é possível medir junto à superfície terrestre num plano perpendicular, cerca de 1000 W/m^2 .



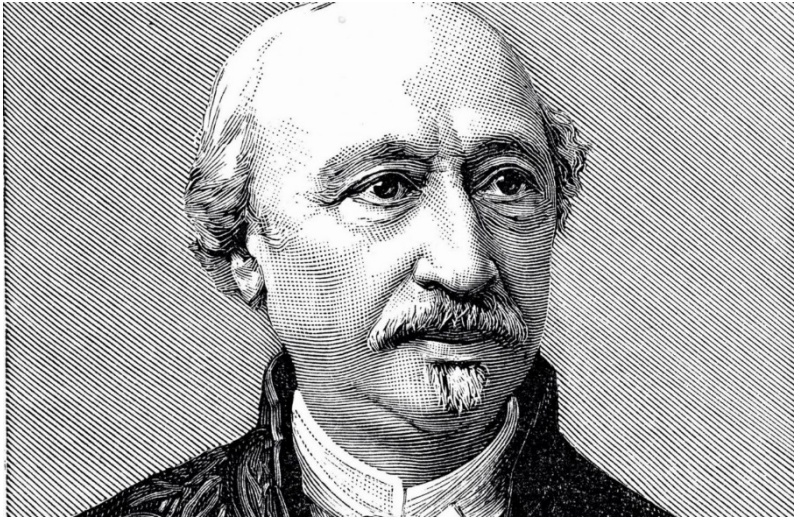
20.2 HISTÓRICO

Os primórdios da História da energia solar estão marcados pela serendipidade. O efeito fotovoltaico foi observado em 1839 pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel que analisou pela primeira vez o paramagnetismo do oxigénio líquido. Um muito jovem Becquerel conduzia experiências electroquímicas quando, por acaso, verificou que a exposição à luz de eléctrodos de platina ou de prata dava origem ao efeito fotovoltaico.

A serendipidade foi igualmente determinante na construção da primeira célula fotovoltaica. Nas palavras de Willoughby Smith, numa carta a Latimer Clark datada de 4 de Fevereiro de 1873, referiu-se que a sua descoberta do efeito fotovoltaico no selénio foi um acidente inesperado.



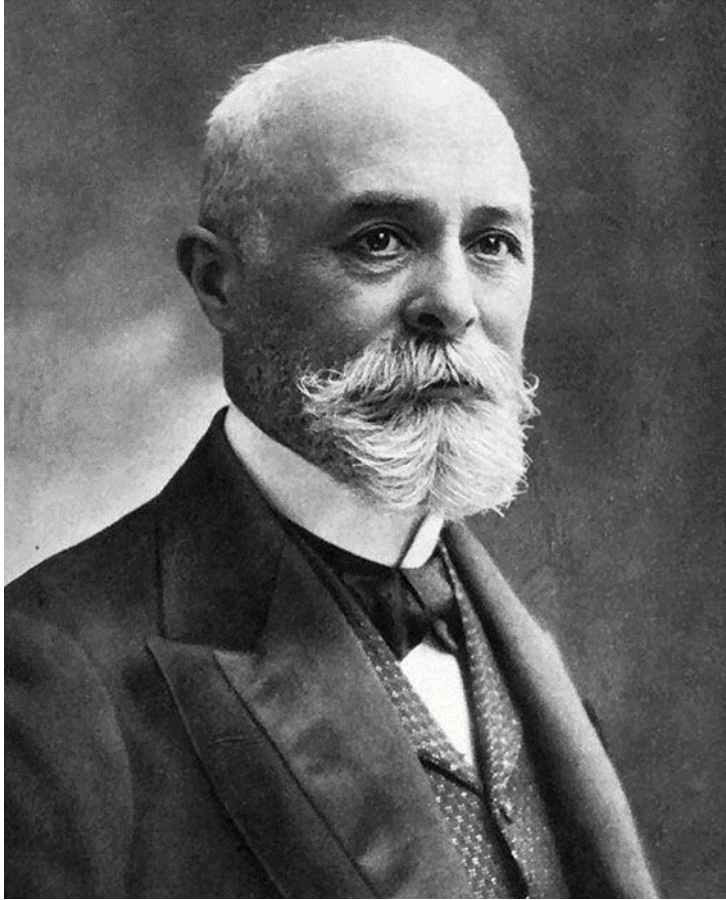
20.2 HISTÓRICO



Na sequência desta descoberta, Adams e o seu aluno Richard Day desenvolveram em 1877 o primeiro dispositivo sólido de foto produção de electricidade, um filme de selénio depositado num substrato de ferro em que um filme de ouro muito fino servia de contacto frontal. Este dispositivo apresentava uma eficiência de conversão de aproximadamente 0,5%.



20.2 HISTÓRICO



Charles Fritts %, uns anos depois, duplicou essa eficiência para cerca de 1 construindo as primeiras verdadeiras células fotovoltaicas, dispositivos assentes igualmente em selênio, primeiro com um filme muito fino de ouro e depois uma sanduíche de selênio entre duas camadas muito finas de ouro e outro metal na primeira célula de área grande.



20.2 HISTÓRICO

No entanto, não foram as propriedades fotovoltaicas do selénio que excitavam a imaginação da época, mas sim a sua fotocondutividade, isto é, o facto de a corrente produzida ser proporcional à radiação incidente e dependente do comprimento de onda de uma forma que o tornava muito atraente como medir a intensidade da luz em fotografia. E de facto, estes dispositivos encontraram a sua primeira aplicação nos finais do século XIX pela mão do engenheiro alemão Werner Siemens.



Werner Siemens, o fundador do império industrial homónimo que comercializou as células de silício como fotómetros para máquinas fotográficas.



20.1 HISTÓRICO

As primeiras células fotovoltaicas, assim produzidas, tinham alguns problemas técnicos que foram superados pela química quando Fuller dopou silício primeiro com arsênio e depois com boro obtendo células que exibiam eficiências recorde de cerca de 6%.

A primeira célula solar foi formalmente apresentada na reunião anual da National Academy of Sciences, em Washington, e anunciada numa conferência de imprensa no dia 25 de Abril de 1954. No ano seguinte a célula de silício viu a sua primeira aplicação como fonte de alimentação de uma rede telefónica em Americus, na Geórgia.



20.3 FORMAS DE ENERGIA SOLAR

Existem duas formas diferentes de utilização da energia solar:

- **Activa:** transformando os raios solares em outras formas de energia: térmica ou eléctrica.
- **Passiva:** aproveitando a energia solar para aquecimento de edifícios ou prédios, através de concepções e estratégias construtivas.



20.3.1 ENERGIA SOLAR ACTIVA

A energia solar activa consiste no processo de transformação da energia solar em electricidade através de painéis fotovoltaicos ou de transformação da energia solar em energia térmica através de painéis térmicos também chamados colectores.

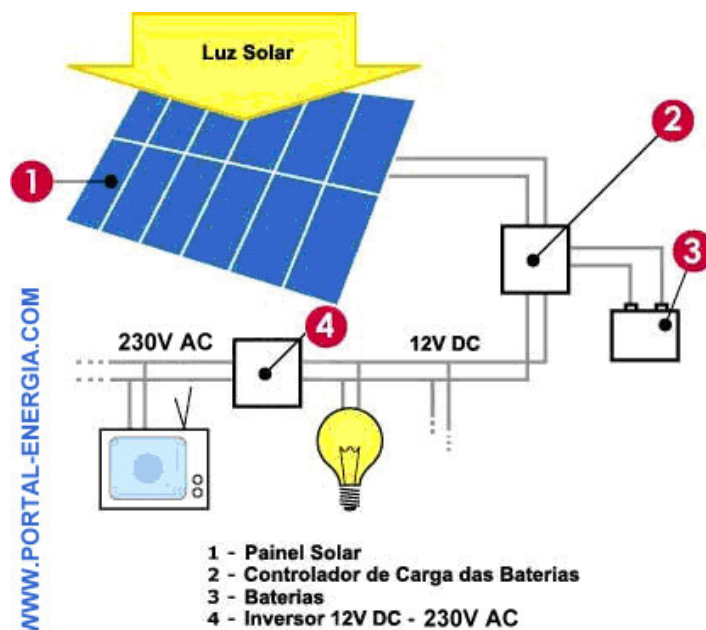
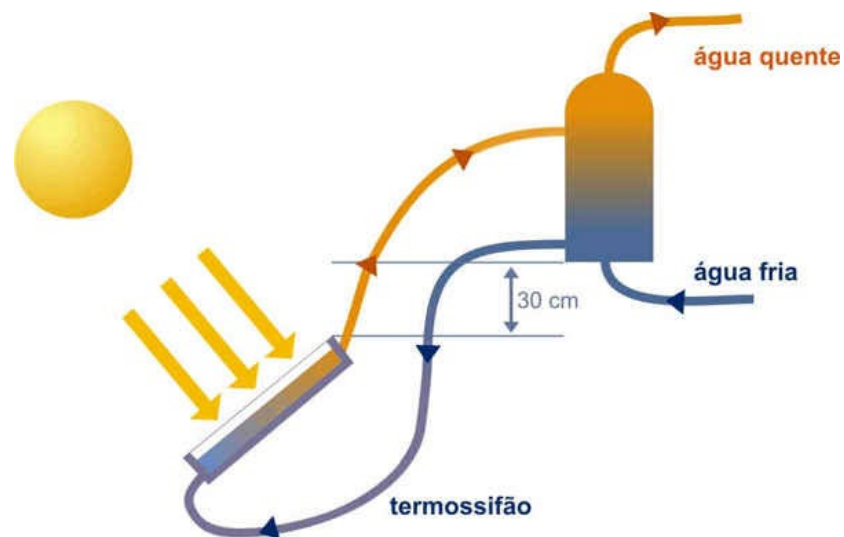


Figura 20.1 – Energia solar activa



20.3.1 ENERGIA SOLAR ACTIVA

Vantagens

Tanto na sua forma mais simples, obtenção de água quente, como em outras aplicações do género, a significativa poupança energética e económica (que chega a atingir em alguns casos mais de 80%), e ainda a grande disponibilidade de tecnologia no mercado, são factores que transformaram a energia solar térmica numa das mais comuns, vantajosas e alternativas formas de energia renovável.

Desvantagens

Elevado investimento inicial na instalação solar, apresenta-se por vezes como o maior entrave ao desenvolvimento desta solução.



20.3.1 ENERGIA SOLAR ACTIVA-principio

Qualquer objecto exposto à radiação solar " Q " aquece. Simultaneamente, há perdas por radiação, convecção e condução, que aumentarão com a temperatura do corpo.

Chega-se a um determinado momento que as perdas térmicas, " Q_p ", se igualam aos ganhos devido ao fluxo energético incidente, atingindo-se a temperatura de equilíbrio, " T_c ".

Assim, no equilíbrio tem-se:

$$Q = Q_p \quad 20.1$$

Se conseguir-se extrair continuamente uma parte do calor gerado alterar-se as condições de equilíbrio anterior, ficando:

$$Q = Q_p + Q_u \quad 20.2$$

Sendo Q_u a energia extraída do corpo ou energia útil.



20.3.2 ENERGIA SOLAR ACTIVA-principais aplicações

A produção de Água Quente Sanitária (AQS), para uso doméstico, hospitalar, hoteleiro, etc. Para temperaturas inferiores a 60°C , com períodos mínimos de utilização do equipamento solar entre oito a dez meses por ano, estas instalações dimensionam-se, normalmente, para as necessidades energéticas anuais, evitando assim excedentes energéticos nos meses de verão.



Esquema Solar
Circulação Forçada

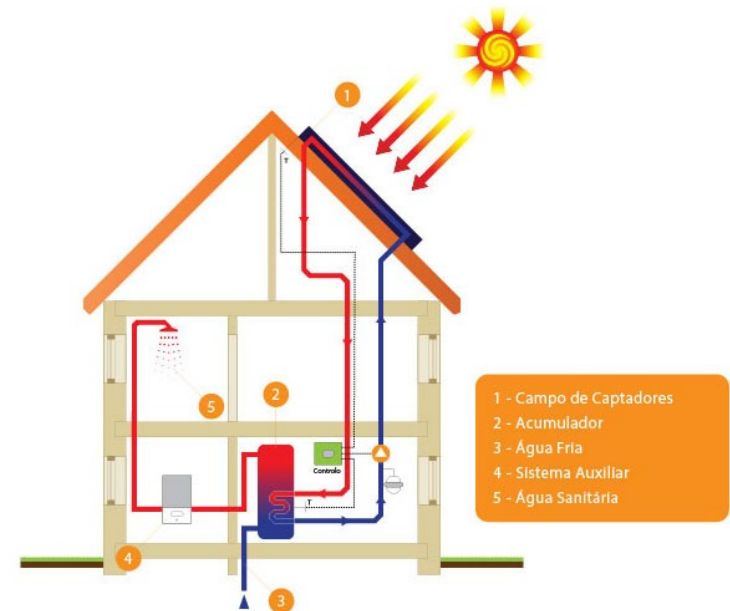


Figura 20.2 – Principais aplicações da energia solar activa



20.3.2 ENERGIA SOLAR ACTIVA-principais aplicações

Aquecimento de piscinas: dependendo do tipo e finalidade da piscina, os valores da temperatura de utilização variam entre 25-35°C, sendo possível a aplicação a piscinas de utilização anual ou sazonal (verão).

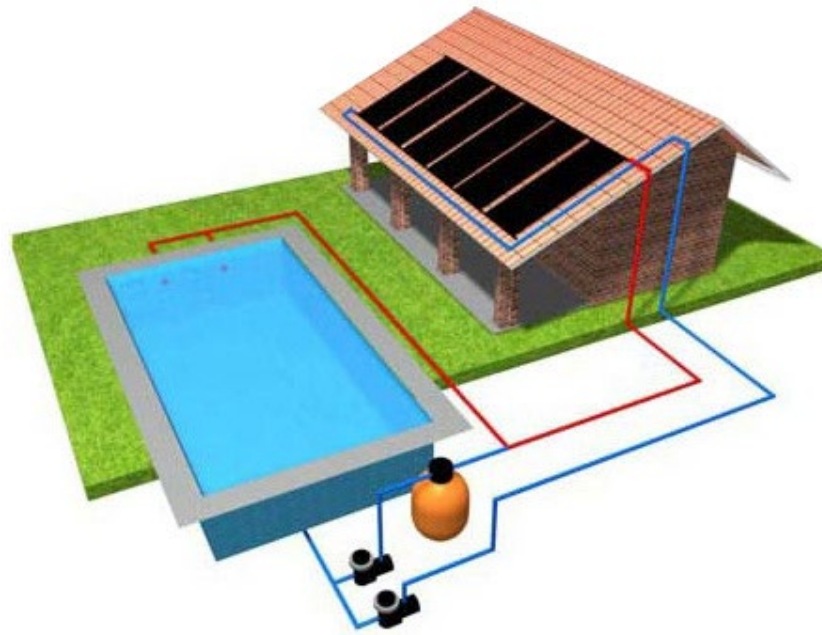


Figura 20.3 – Principais aplicações da Energia solar activa



20.3.2 ENERGIA SOLAR ACTIVA-principais aplicações

Aquecimento do ambiente: do ponto de vista tecnológico é possível a utilização da energia solar para o aquecimento ambiente dos edifícios de forma activa, no entanto esta aplicação está limitada pela utilização em apenas 3 a 4 meses por ano, sendo assim economicamente menos interessante.

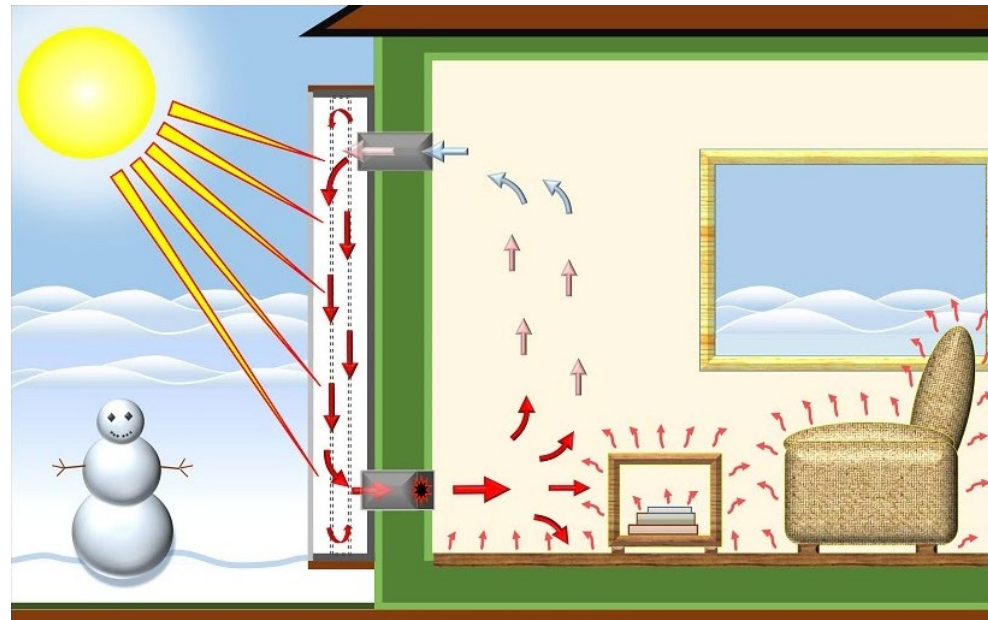


Figura 20.4 – Principais aplicações da Energia solar activa



20.3.2 ENERGIA SOLAR ACTIVA-principais aplicações

Arrefecimento ambiente: é possível produzir frio combinando energia solar com máquinas de absorção ou sistemas híbridos (solar-gás), que operam a temperaturas na ordem dos 80 °C (máquinas de Brometo de Lítio), ou 120 °C (máquinas de Amónia/H₂O), o que, combinado com o aquecimento ambiente no Inverno, tornam estas aplicações muito interessantes, quer do ponto de vista ambiental com a redução de consumo de energia primária, quer do ponto de vista económico, como na rentabilização total do sistema.

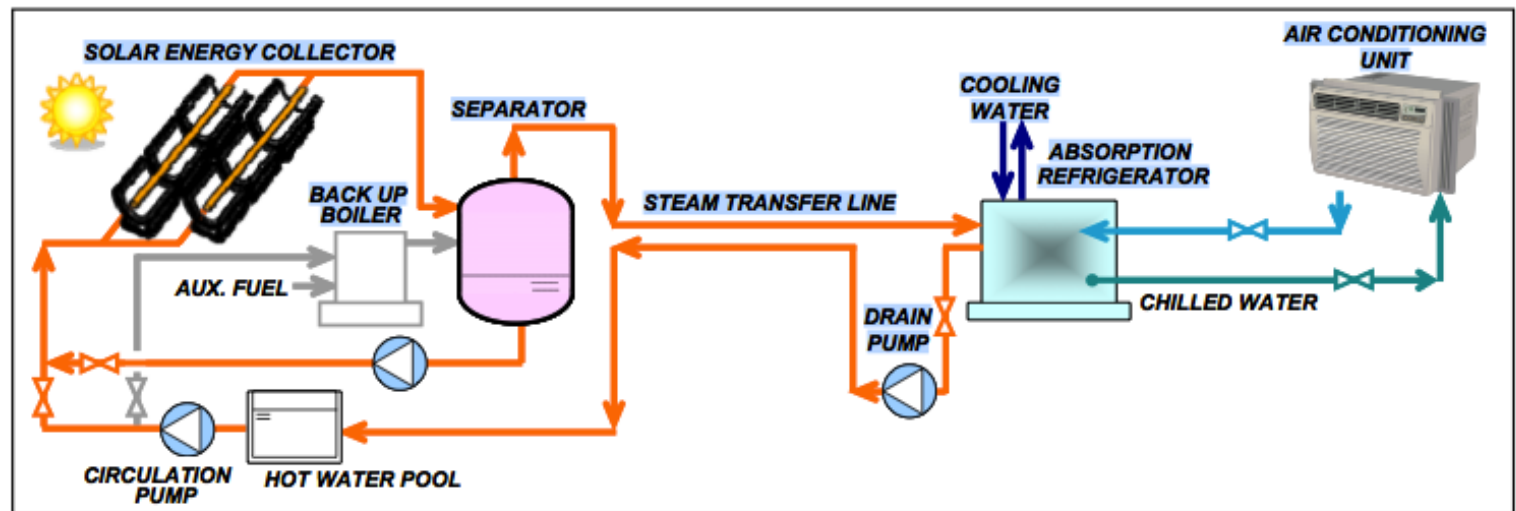


Figura 20.5 – Principais aplicações da Energia solar activa



2.3.2 ENERGIA SOLAR ACTIVA - principais aplicações

Produção de água a elevadas temperaturas destinada ao uso industrial: temperaturas superiores a 80 °C ou 100 °C (água saturada ou vapor), com aplicações industriais directas, de pré-aquecimento de água de processo ou vapor para produção de energia eléctrica (temperaturas de superiores a 450 °C).

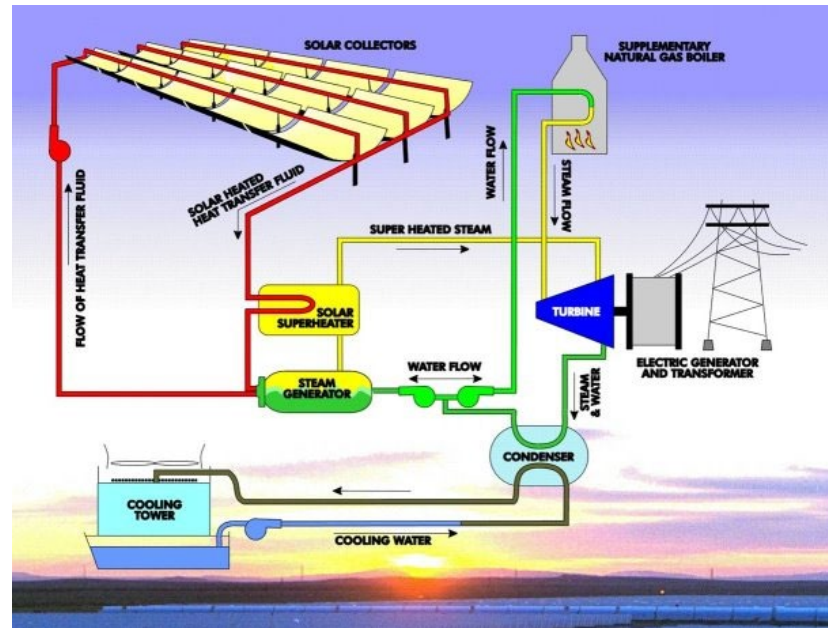


Figura 20.6 – Principais aplicações da Energia solar activa

20.3.2 ENERGIA SOLAR ACTIVA-principais aplicações

Outras aplicações: aplicações de baixa ou intermédia temperatura, como estufas, secadores, dessanilizadores, secadores, destoxificadores (Ultra Violeta) e ainda cozinhas.



Figura 20.7 – Principais aplicações da Energia solar activa



20.3.2 ENERGIA SOLAR ACTIVA-principais aplicações

Outras aplicações: sistema é alimentado por fonte solar, sendo que um colector solar de calha parabólica fornece o calor necessário para a vaporização da água, enquanto um painel solar fotovoltaico gera a electricidade essencial para o accionamento dos componentes eléctricos. .

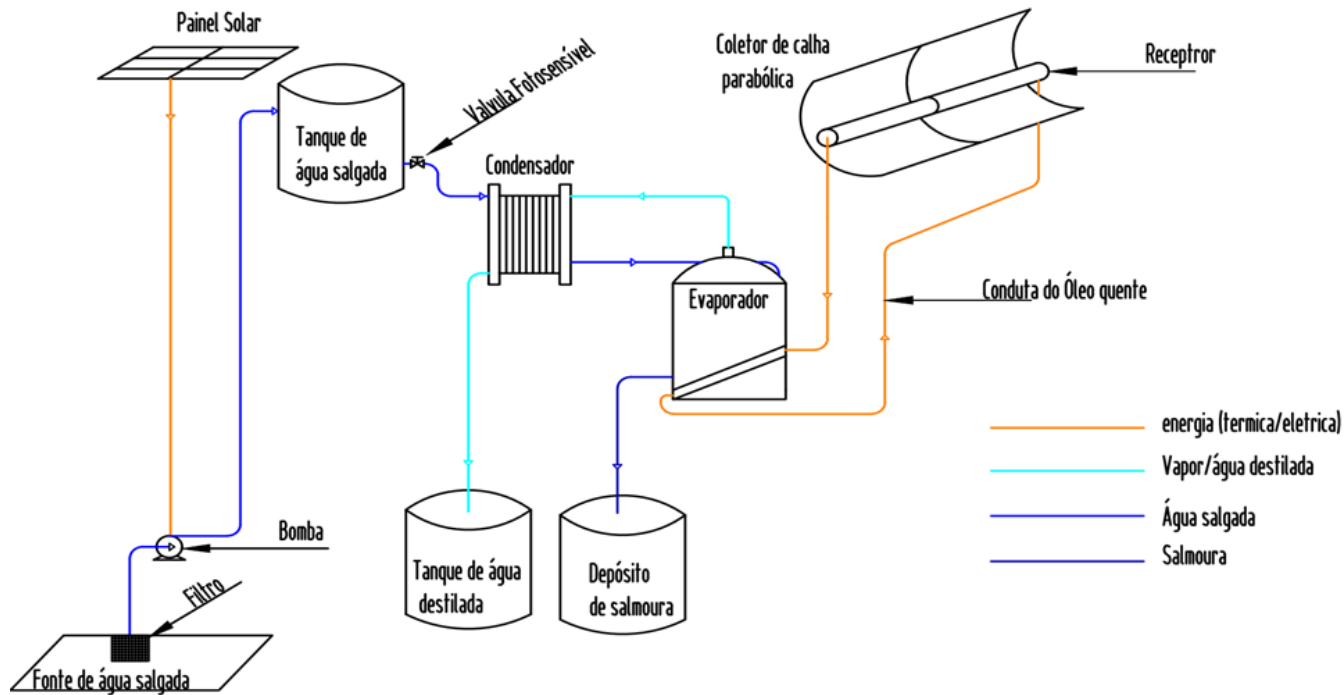


Figura 20.7 – Esquema do sistema de dessalinização. Fonte: Durão, Jorge

20.3.3 ENERGIA SOLAR eléctrica ou fotovoltaica (PV) - princípios

A conversão directa da energia solar em energia eléctrica envolve a transferência dos fotões da radiação incidente para os electrões da estrutura atómica desse material.

Nos materiais semicondutores sob o efeito de uma radiação luminosa, a energia dos fotões incidentes é directamente transferida para o sistema electrónico do material, podendo excitar electrões da banda de valência para a banda de condução e dando origem à criação de pares de electrões (absorção).



20.3.3 ENERGIA SOLAR eléctrica ou fotovoltaica (PV) - princípios

Para obter uma corrente eléctrica é criada uma estrutura de separação dos portadores de carga foto gerados, por acção do campo eléctrico interno, antes de se recombinarem. Segue-se logo a extracção das cargas em corrente contínua para utilização. A este efeito dá-se o nome de efeito Fotovoltaico.

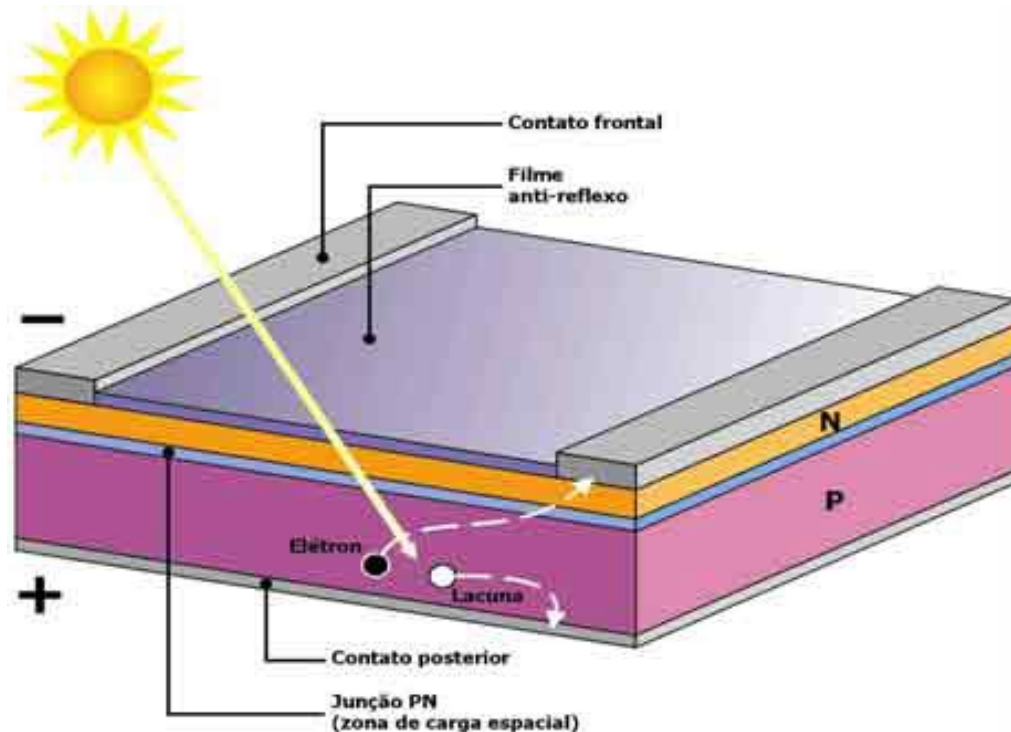


Figura 20.8 – Princípio de obtenção da energia solar fotovoltaica



20.3.3 ENERGIA SOLAR eléctrica ou fotovoltaica (PV)

Vantagens

A energia fotovoltaica é uma das mais promissoras fontes de energia renováveis. A vantagem mais clara é a quase total ausência de poluição. Para além desta vantagem a ausência de partes móveis susceptíveis de se danificarem, não produz cheiros ou ruídos, têm baixa ou nenhuma manutenção, e com tempo de vida elevados para os módulos.



20.3.3 ENERGIA SOLAR eléctrica ou fotovoltaica (PV)

Desvantagens

Uma das principais limitações dos dispositivos fotovoltaicos é o seu baixo rendimento, isto é, uma baixa conversão da energia solar em energia eléctrica. A razão deste facto reside fundamentalmente na deficiente exploração do espectro da radiação incidente (sol) por parte dos dispositivos. Outro inconveniente está nos custos de produção dos painéis, estes devidos principalmente a pouca disponibilidade de grandes quantidades de materiais semicondutores, e de processos de obtenção, por vezes, muito caros. No entanto este factor está progressivamente a desaparecer com os desenvolvimentos das deposições e das micro tecnologias.



20.3.3 ENERGIA SOLAR eléctrica ou fotovoltaica (PV) - aplicações

Electrificação remota: actualmente uma das principais aplicações da energia fotovoltaica é a possibilidade de fornecer energia eléctrica a lugares remotos, onde os custos da montagem de linhas eléctricas são superior ao sistema fotovoltaico, ou existe a impossibilidade deste tipo de fornecimento.



Figura 20.9 – Aplicação da energia solar fotovoltaica



20.3.3 ENERGIA SOLAR eléctrica ou fotovoltaica (PV) - aplicações

Sistemas autónomos: bombagem de água para irrigação, sinalização, alimentação de sistemas de telecomunicação, etc.

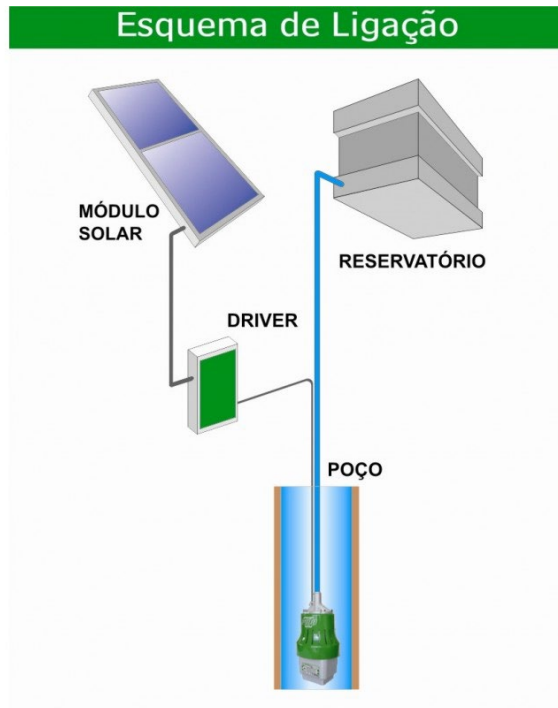


Figura 20.10 – Aplicação da energia solar fotovoltaica



20.3.3 ENERGIA SOLAR eléctrica ou fotovoltaica (PV) - aplicações

Veículos: outra aplicação, ainda em fase de investigação, é a de automóveis de recreio providos de células fotovoltaicas, com suficiente potência para movimentá-los, assim como também embarcações de recreio.



Figura 20.11 – Aplicação da energia solar fotovoltaica



20.3.4 ENERGIA SOLAR passiva

A energia solar térmica passiva consiste em técnicas que permitem o uso de energia solar directamente, sem transformação prévia. Por exemplo, de acordo com o projecto de arquitectura na construção de edifícios pode-se aumentar consideravelmente o uso de energia natural para o aquecimento ou iluminação.

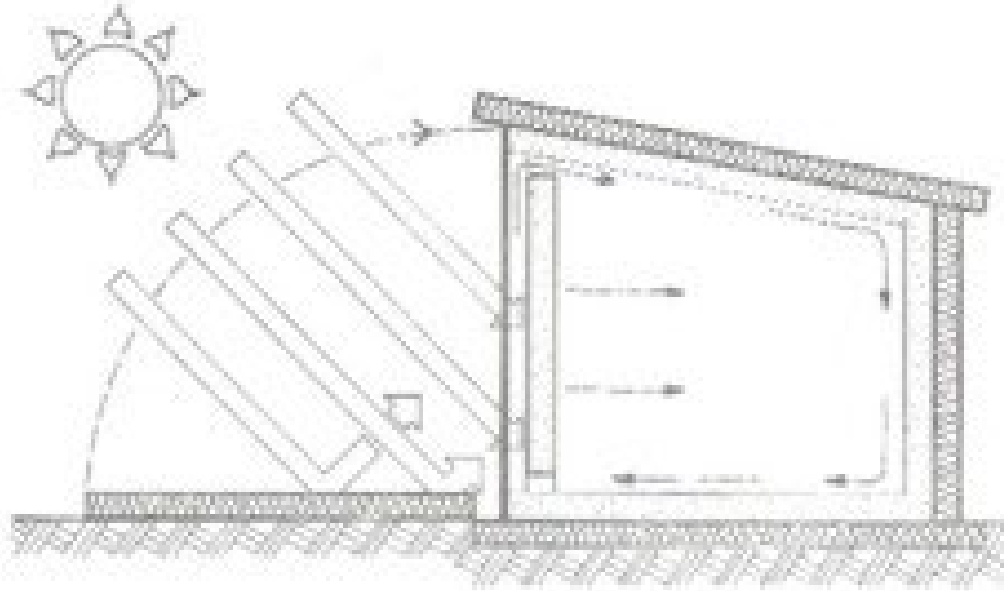


Figura 20.12 – Utilização da energia solar passiva para aquecimento



2.3.4 ENERGIA SOLAR *passiva*

Vantagens

O baixo custo de algumas soluções, como o bom planeamento e orientação do edifício podem resultar em consumos energéticos evitados até 40%.

Principais aplicações

Quanto às possíveis aplicações, em qualquer edifício habitacional, de escritórios ou industrial, podem ser aplicadas soluções de eficiência energética e de energia solar passiva, tendo em conta as questões de projecto e estudo de forma a maximizar este tipo de aproveitamento energético.



20.3.5 Equipamentos solares

Existem vários tipos de tecnologia para o aproveitamento e conversão da energia solar:

- colector solar;
- painel fotovoltaico;
- outras tecnologias térmicas activa;
- tecnologias passivas.

Colector Solar

A mais comum das tecnologias de aproveitamento da energia solar térmica activa é o colector solar. Existem vários tipos de colectores tais como:

- planos;
- concentradores;
- CPC ou concentradores parabólicos compostos;
- de tubo de vácuo.





20.3.5 Equipamentos solares

Colector Solar Plano

Este tipo de colector é o mais comum e destina-se ao aquecimento de água a temperaturas inferiores a 60 °C. Este é formado por:

- **cobertura transparente:** para provocar o efeito de estufa e reduzir as perdas de calor e ainda assegurar a estanquicidade do colector.
- **placa absorsora:** serve para receber a energia e transforma-la em calor, transmitindo-a para o fluido térmico que circula por uma série de tubos em paralelo ou serpentina. Para obter maiores rendimentos existem superfícies selectiva que absorvem como um corpo negro mas perdem menos radiação.
- **caixa isolada:** serve para evitar perdas de calor uma vez que deverá ser isolada termicamente, para dar rigidez e proteger o interior do colector, dos agentes externos.

20.3.5 Equipamentos solares

Colector Solar Plano

Ao fazer-se circular o fluido térmico através dos tubos dos colectores, retira-se calor destes podendo aproveitar-se este calor para aquecer um depósito de água

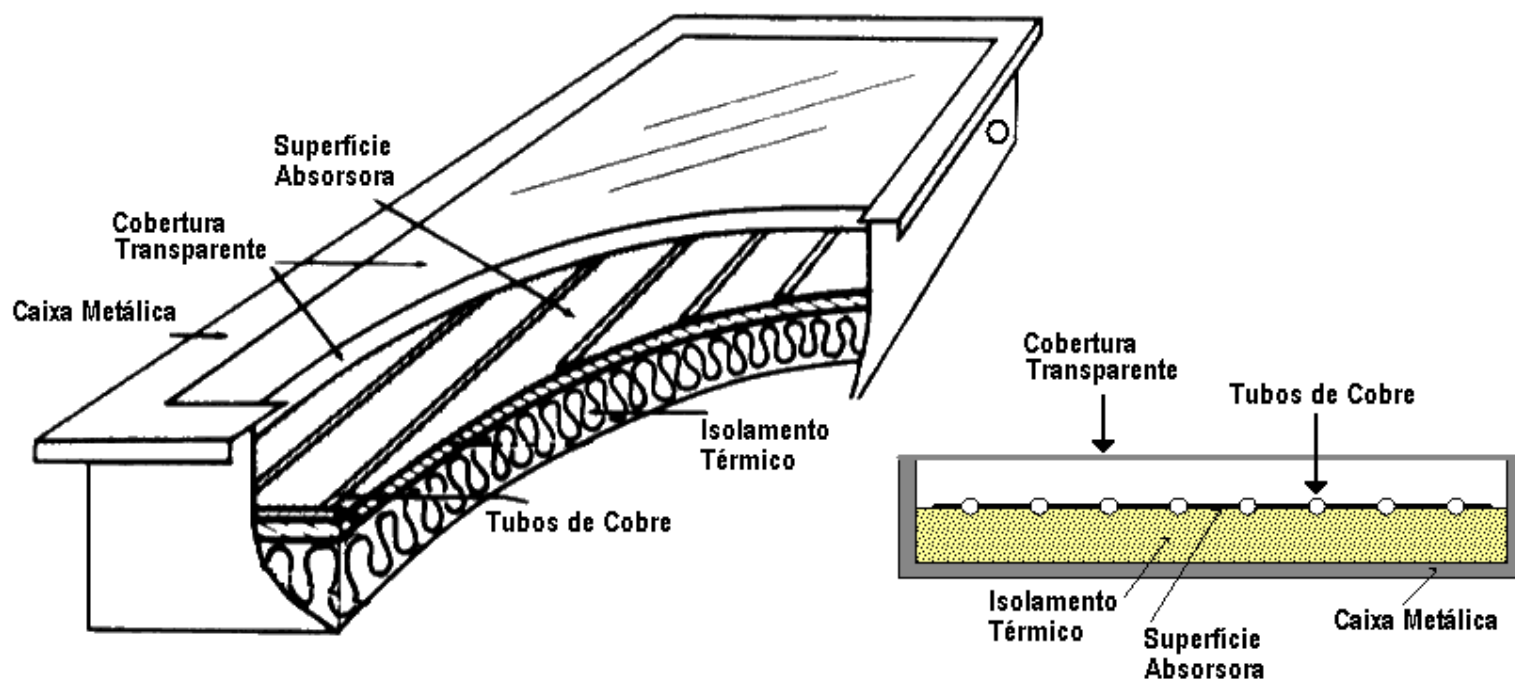


Figura 20.13 – Colector Solar Plano



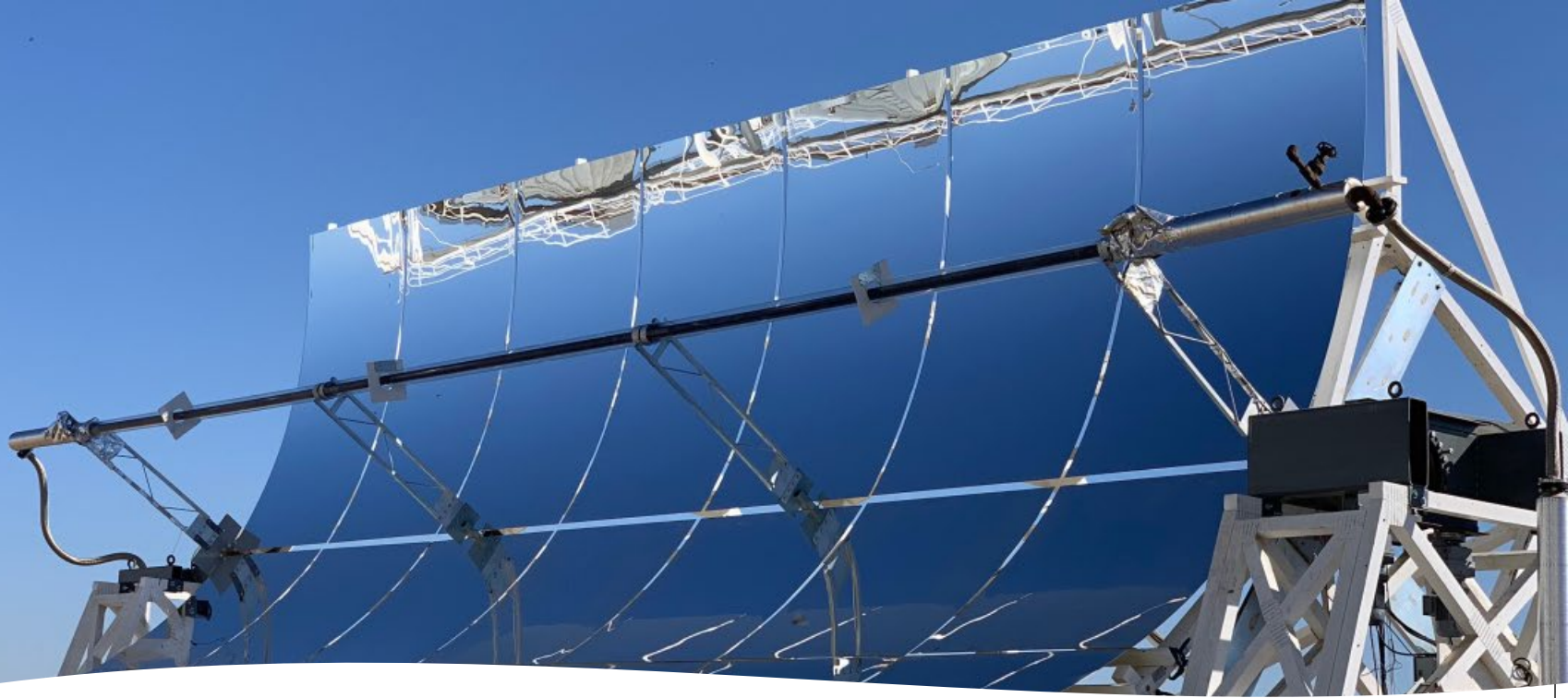
20.3.5 Equipamentos solares

- **Colector Parabólico Linear**

As calhas parabólicas são utilizadas para concentrar a luz solar em tubos receptores, posicionados por toda a linha focal dos painéis solares, desenhados especialmente para seguir a posição do sol.

Um fluido de transferência circula através desses tubos e é aquecido pelos raios de sol. Depois, o fluido é bombeado por meio de trocadores de calor, produzindo vapor dentro da usina de energia heliotérmica (que por meio de um fluido, gera vapor para turbina). O vapor movimentava as turbinas, que por sua vez, produzem electricidade.





Colector Parabólico Linear

- Espelhos parabólicos em formato de calha concentram luz solar em um tubo receptor.
- Fluidos: óleo térmico, vapor ou sais fundidos.
- Temperaturas: 150 °C a 400 °C.
- Aplicações: usinas de médio a grande porte (ex: Andasol – Espanha).

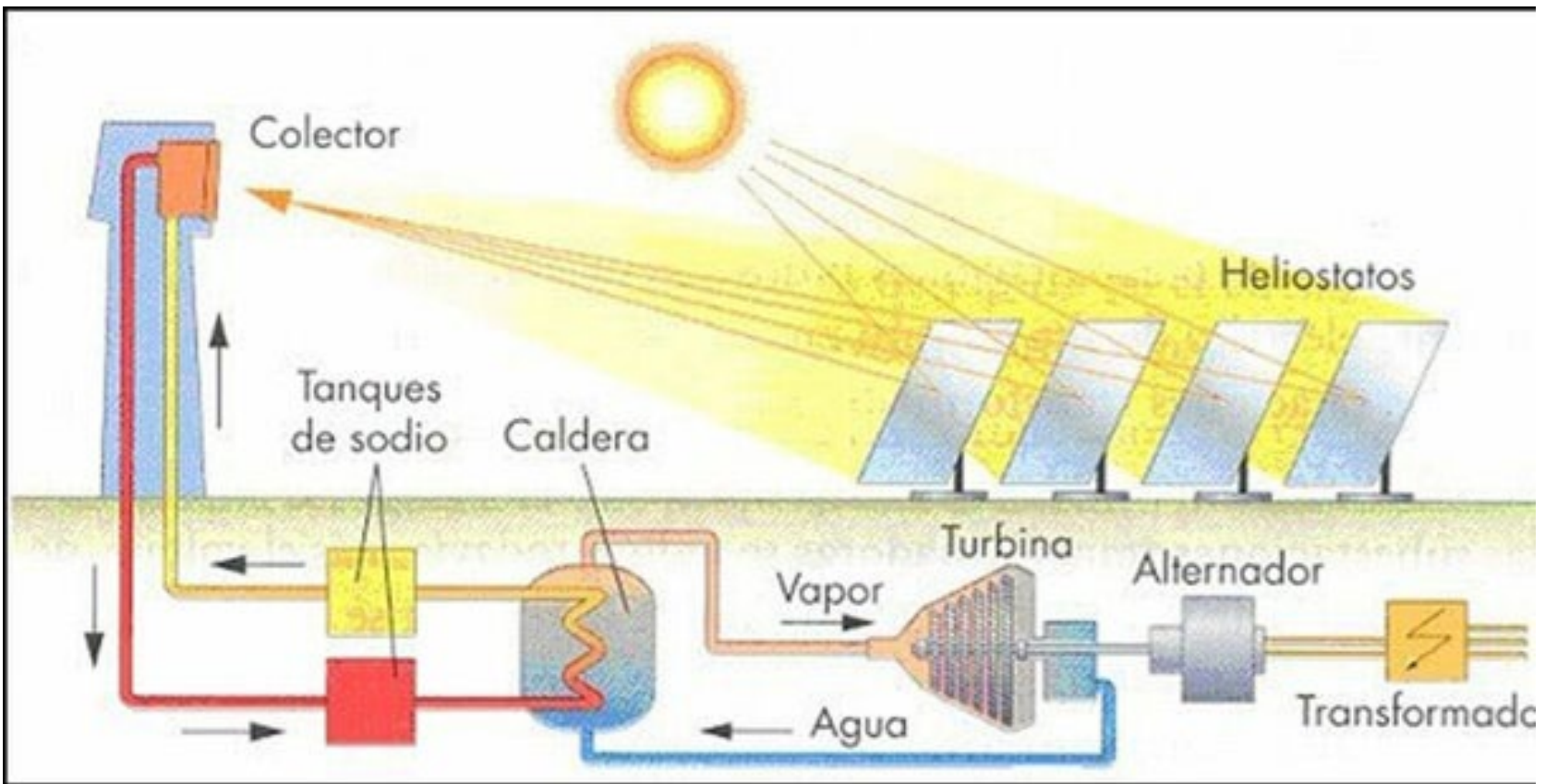
20.3.5 Equipamentos solares

- **Torre Solar (Central Receiver System)**

Como o próprio nome sugere, essa tecnologia possui uma imensa torre no centro da usina de energia heliotérmica.

Um conjunto de painéis solares concentra a luz do sol num receptor localizado no topo da torre. Esse receptor absorve a energia solar e a converte em calor, que em seguida segue para o gerador de vapor da usina, através do fluido térmico.





Torre Solar (Central Receiver System)

37

- Heliostatos reflectem a luz solar para um receptor no topo de uma torre.
- Fluidos: ar, sais fundidos ou vapor directo.
- Temperaturas: 500 °C a 1000 °C.
- Aplicações: geração de electricidade em larga escala (ex: Ivanpah – EUA).

20.3.5 Equipamentos solares

- **Disco Parabólico**

A captação da luz solar é feita por um reflector em formato de disco parabólico, essa tecnologia concentra os raios de sol em um receptor, que fica no ponto focal do painel solar parabólico. O receptor absorve o feixe de energia que aquece o fluido, o calor dele é utilizado num motor localizado no receptor, para então gerar energia limpa.





Disco Parabólico

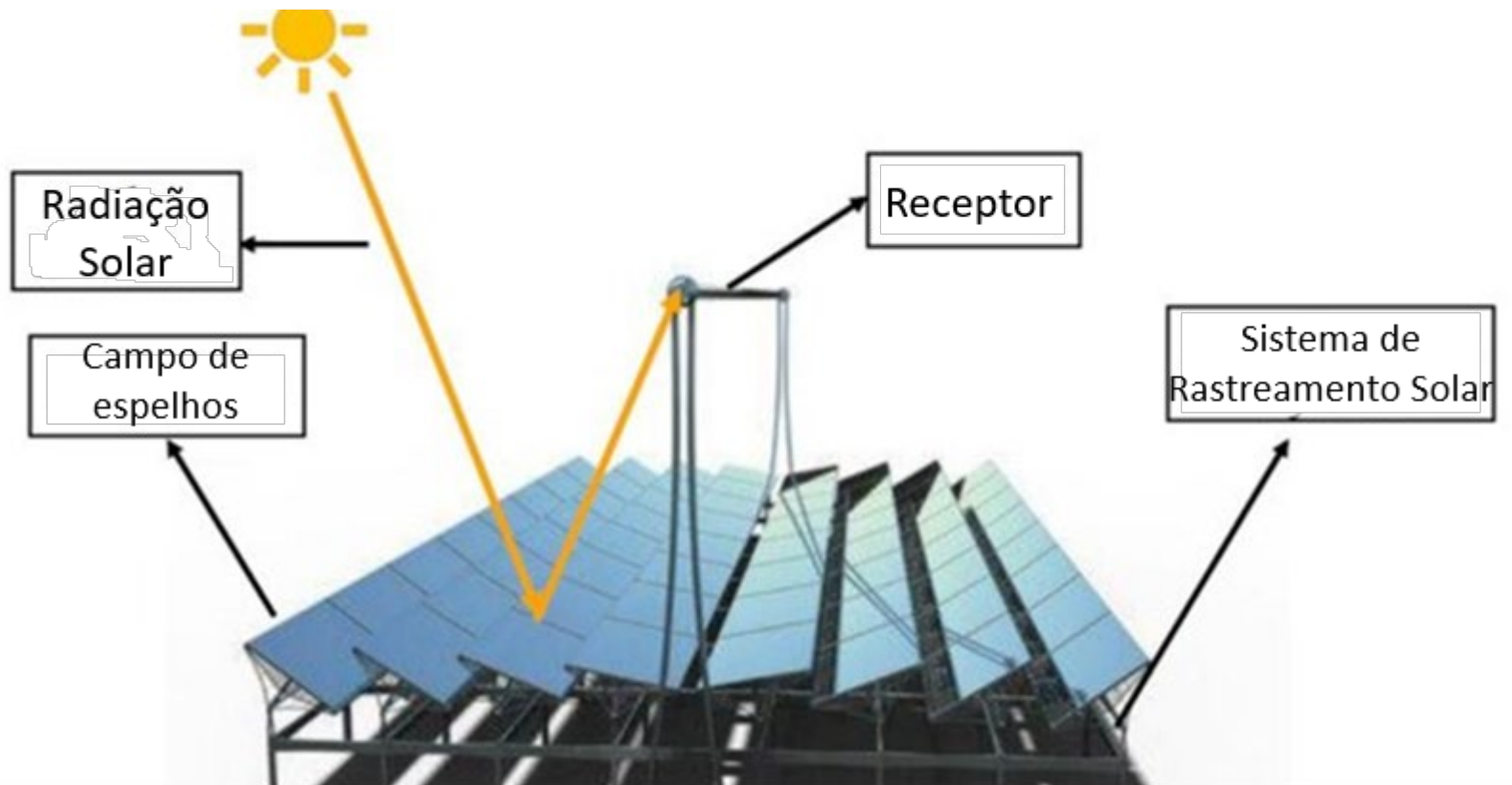
- Descrição: Espelho parabólico de forma circular que foca a luz solar em um ponto focal, onde há um receptor acoplado a um motor Stirling ou microturbina.
- Fluido de trabalho: Gases (hidrogénio, hélio, ar).
- Temperatura típica: 500 °C a 1200 °C.
- Aplicações: Sistemas descentralizados e de pequena escala.

20.3.5 Equipamentos solares

- **Colector Linear Fresnel (Linear Fresnel Reflector)**

O colector Fresnel funciona de maneira semelhante a calha parabólica, porém, com algumas diferenças. Por exemplo, a linha focal onde a energia do sol é concentrada, não se move. Além disso, a água sob pressão pode ser utilizada directo no receptor, dispensando o trocador de calor, ou seja, é possível asar a água no estado de vapor para movimentar a turbina.





41

Colector Linear Fresnel (Linear Fresnel Reflector)

- Descrição: Espelhos planos ou levemente curvos que reflectem a luz solar em direcção a um tubo receptor fixo acima do campo de espelhos.
- Fluido de trabalho: Água/vapor ou óleo térmico.
- Temperatura típica: 200 °C a 450 °C.
- Aplicações: Usinas de médio porte, mais simples e baratas que as de calha parabólica.

20.3.5 Equipamentos solares

Concentração Fotovoltaica (Concentrated Photovoltaics – CPV)

Para gerar electricidade, o CPV utiliza lentes ou espelhos curvos para concentrar a luz solar em pequenas células solares multijunção (MJ) de alta qualidade e alta eficiência. Além disso, os sistemas CPV às vezes utilizam um sistema de resfriamento e rastreadores solares para aumentar sua eficiência, o que o sistema fotovoltaico convencional não possui.

Essas células solares multijunção (MJ) utilizam uma variedade de células solares, cada uma empilhada uma sobre a outra. Cada uma dessas células solares empilhadas é sintonizada para um comprimento de onda de luz específico para maximizar a eficiência da conversão da luz incidente em electricidade. Para obter maior eficiência das células solares, é necessário um espectro solar mais amplo de conversão em electricidade.





Concentração Fotovoltaica (Concentrated Photovoltaics – CPV)

- Descrição: Utiliza lentes ou espelhos para concentrar a luz solar sobre células fotovoltaicas de alta eficiência.
- Grau de concentração: 2x até mais de 1000x.
- Aplicações: Geração eléctrica directa (não térmica), em locais com alta irradiação directa.



20.3.5 Equipamentos solares

Colectores de tubo de vácuo

Estes consistem geralmente de tubos de vidro transparente, cujo interior contem tubos metálicos (absorvedores). A atmosfera interior dos tubos de vácuo é livre de ar, o que elimina as perdas por convecção, elevando assim o rendimento a altas temperaturas, devido a menores coeficientes de perda a eles associados.



20.3.5 Equipamentos solares

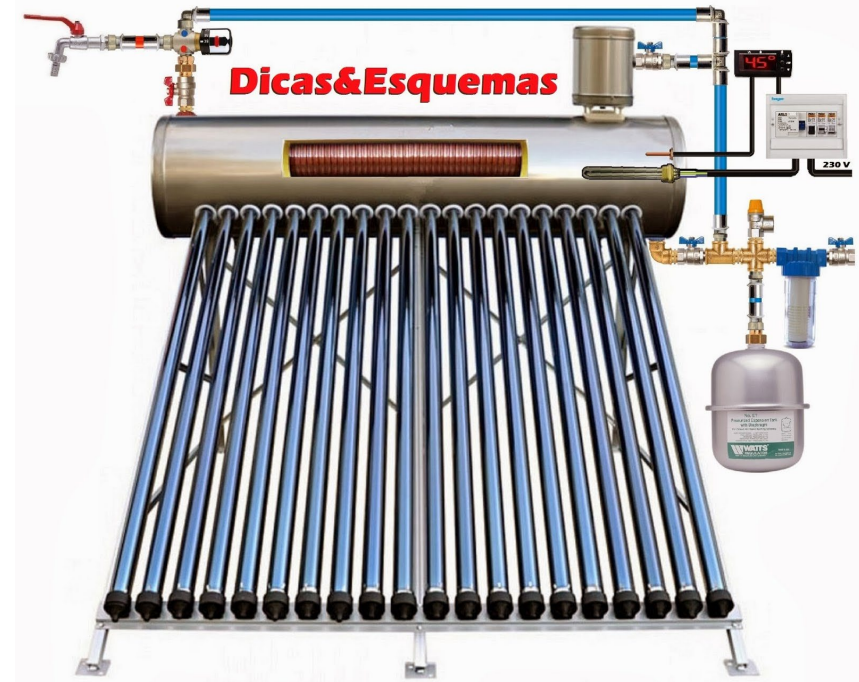
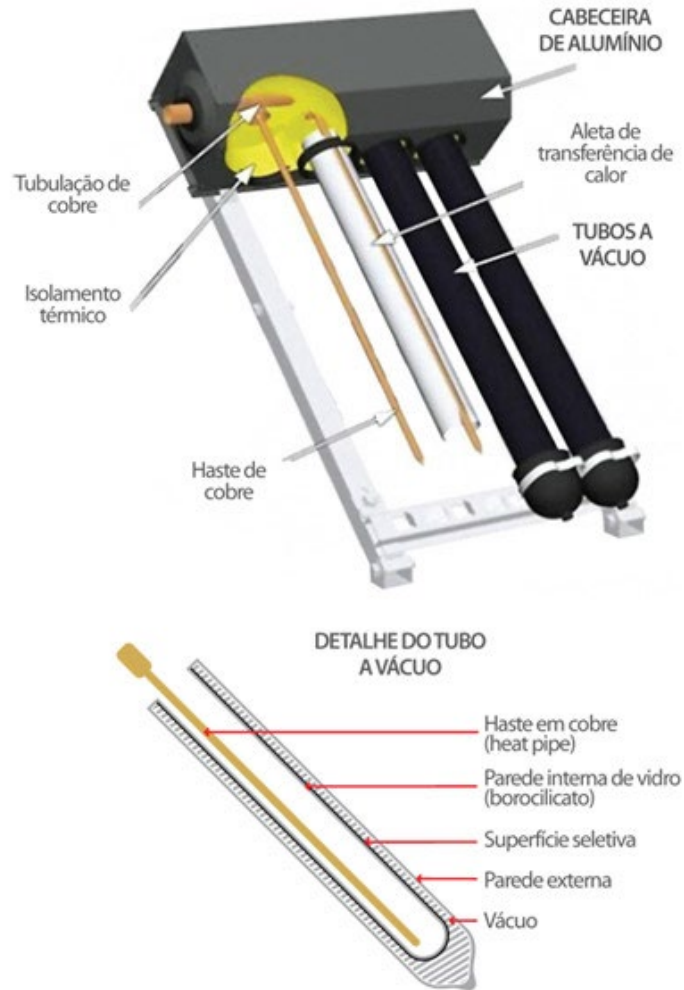


Figura 20.16 – Colectores Solares de tubo de vácuo



20.3.6 Tipos de sistemas solares térmicos

Os dois principais tipos de sistemas de energia solar térmica são:

- circulação em termo sifão;
- circulação forçada.

Circulação em termo sifão

O mesmo fluido a temperaturas diferentes tem também densidades diferentes, quanto maior é a sua temperatura menor a sua densidade. Por isso, quando se aquece um fluido, este tem tendência a estratificar-se ficando a parte mais quente na zona superior. No sistema de termo sifão a água aquecida pelo sol no colector, sobe "empurrando" a água mais fria do depósito, forçando-a a tomar o seu lugar, descendo, para subir novamente quando, por sua vez for aquecida.



20.3.6 tipos de sistemas solares térmicos

Circulação em termo sifão

O depósito deve ficar acima do coletor, senão dá-se o fenómeno inverso quando já não houver sol (termo sifão invertido). Estes sistemas são compostos pelo coletor solar, depósito acumulador, purgador, vaso de expansão e outros pequenos acessórios.

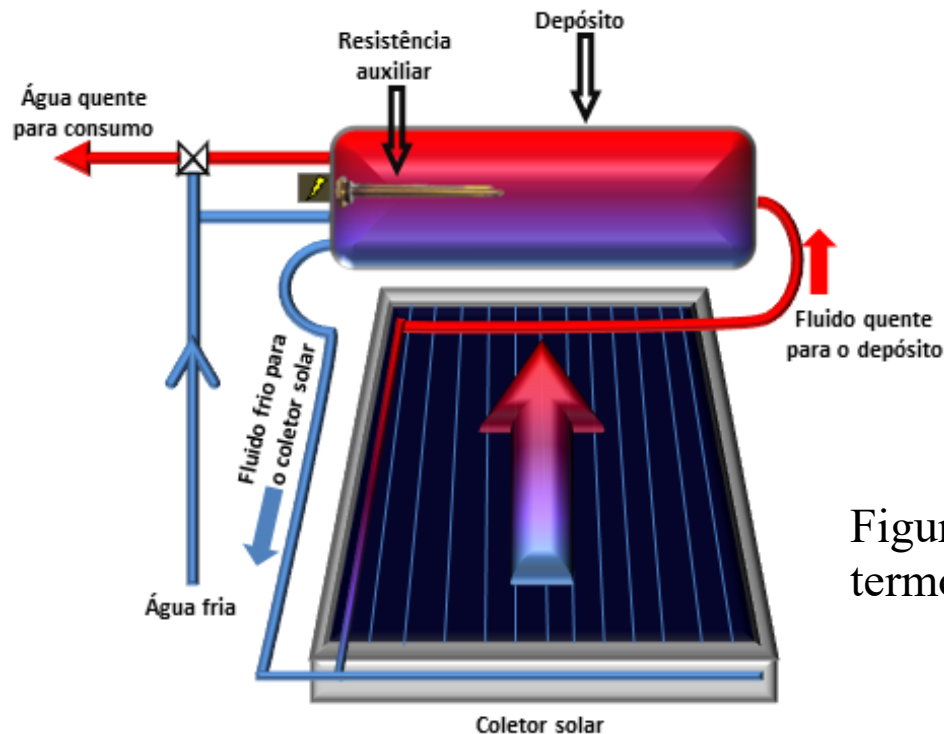


Figura 20.17 – Sistema de termosifão

20.3.6 tipos de sistemas solares térmicos

Circulação forçada

Nas situações em que não é viável a colocação do depósito acima da parte superior dos colectores e para os grandes sistemas em geral é necessário usar bombas electro-circuladoras para movimentar o fluido térmico. A bomba poderá ser comandada por um sistema de controle automático (o comando diferencial).

O sistema de controle (comando diferencial) está regulado de modo a pôr a bomba em funcionamento, logo que a diferença de temperatura ($T_{\text{out}} - T_{\text{dep}}$) entre os colectores e o depósito seja de 5 °C.



20.3.6 tipos de sistemas solares térmicos

Estes sistemas são compostos pelo coletor solar, depósito acumulador, bomba electro-circuladora, controlador diferencial, purgador, vaso de expansão e outros pequenos acessórios.

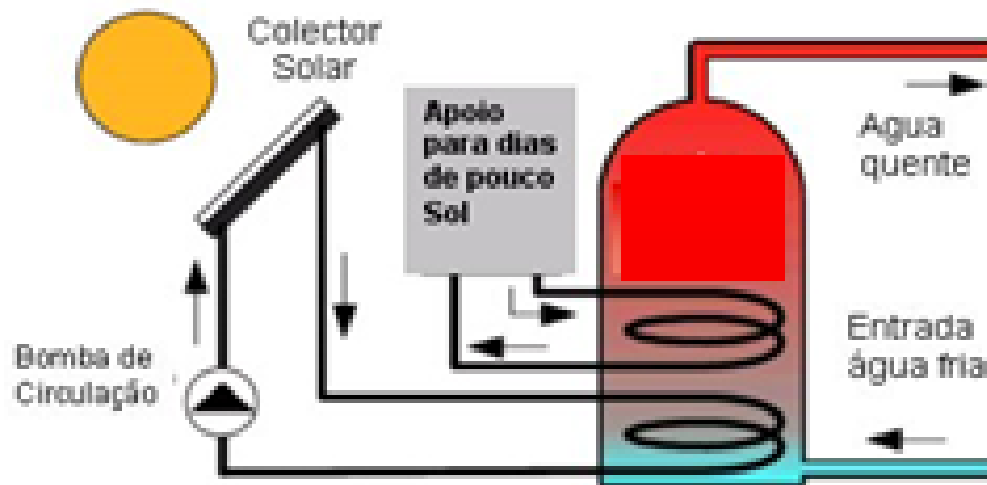


Figura 20.18 – Sistema de circulação forçada



20.3.7 sistemas de energia solar eléctrica ou fotovoltaica (PV)

A energia fotovoltaica pode ser gerada de várias formas, com grandes variações de eficiência e custos. Podem-se dividir em dois grupos básicos: tecnologia de células discretas e tecnologia de película fina integrada.

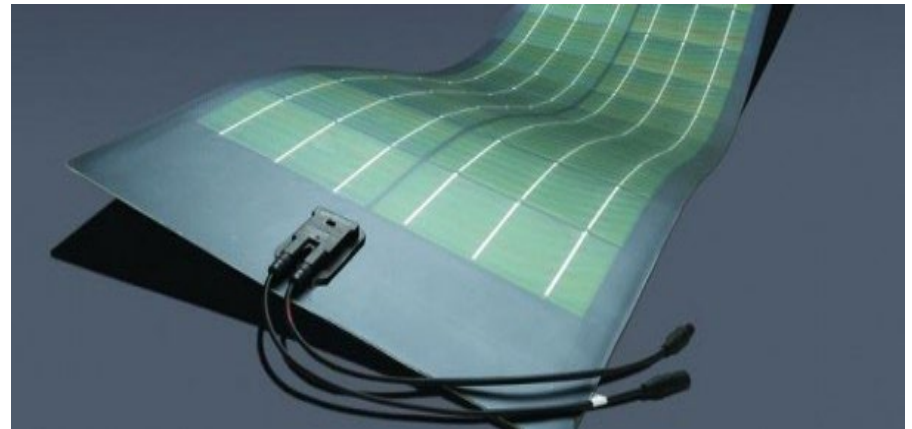


Figura 20.19 - Película fina integrada





20.3.7 Sistemas de energia solar eléctrica ou fotovoltaica (PV)

Além do **painel fotovoltaico (1)** o sistema é geralmente composto por:

- **Controlador de carga (2):** de forma a gerir a "entrada" e "saída" de energia das baterias;
- **Grupo acumulador (baterias) (3) :** onde a energia é armazenada para uso posterior quando não há luz solar;
- **Inversor de corrente (4):** uma vez que os painéis produzem Corrente Contínua, e a maior parte dos electrodomésticos consomem Corrente Alternada.



20.3.7 sistemas de energia solar eléctrica ou fotovoltaica (PV)

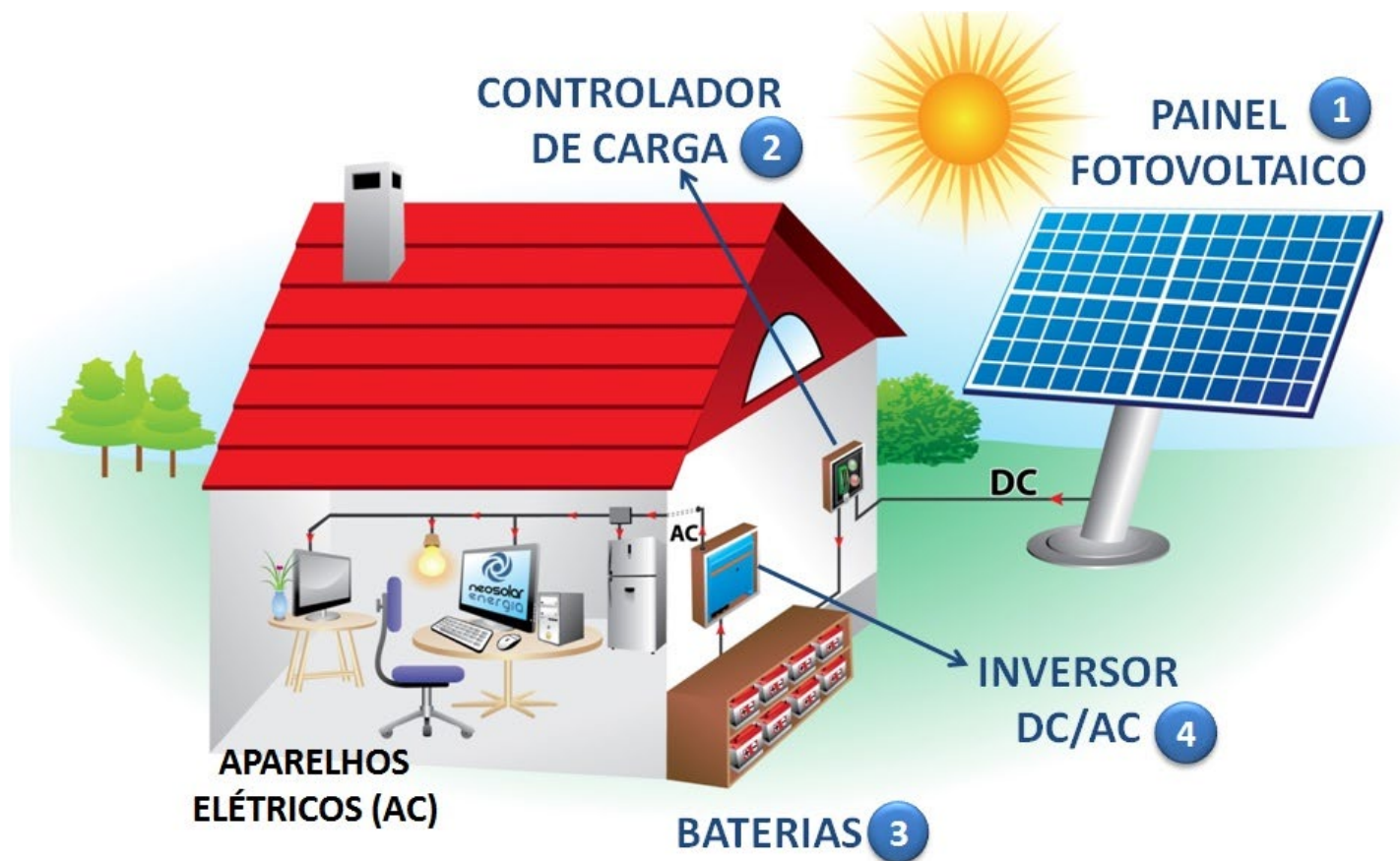


Figura 20.20 – Sistema de energia solar fotovoltaica (PV)