

ALGUNS ASPECTOS DA CONVERSÃO DA ENERGIA SOLAR EM ENERGIA ELÉCTRICA

1 — Introdução

A potência bruta média anual da radiação solar na Terra pode tomar valores entre $0,1 \text{ kW/m}^2$ e $0,2 \text{ kW/m}^2$ de superfície horizontal, valores que correspondem a 1/10 e a 1/5 do valor máximo dessa potência que anda à volta de 1 kW/m^2 . A esta potência corresponde uma energia que pode ir de 876 kWh/m^2 a 1752 kWh/m^2 num ano.

Esta enorme quantidade de energia que a Terra recebe não pode ser utilizada senão numa pequeníssima fracção, seja porque se apresenta sob uma forma difusa obrigando a uma concentração posterior para que se torne viável a sua utilização, seja porque não é possível dispor de grandes extensões de terreno para a sua captação.

No estado actual dos estudos e pesquisas sobre a utilização da energia solar, conhecem-se as seguintes aplicações importantes:

Destilação da água
Climatização
Cozinha
Fotossíntese
Transformação em energia mecânica
Transformação em energia eléctrica.

Neste meu trabalho procurei focar alguns aspectos mais importantes relativos à conversão da energia solar em energia eléctrica quer do ponto de vista de realizações quer do ponto de vista económico.

2 — Processos directos e indirectos

2.1 — PRINCÍPIOS BÁSICOS

Os processos que se têm utilizado e que se utilizam na transformação da energia solar em energia eléctrica podem ser classificados em dois grupos:

- Processos indirectos* (envolvendo ciclos térmicos), em que a radiação solar é primeiro transformada em calor por meio de um *colector* que vai desempenhar tanto quanto possível o papel de *corpo negro* da física. No *colector* circula um fluido que aquece ou mesmo se vaporiza à custa do calor que extrai ao *colector*, levando o calor captado por este para uma máquina térmica que vai mover o gerador eléctrico.
- Processos directos*, em que a radiação solar é transformada directamente em energia eléctrica, isto é, não aparecendo como energia intermediária a energia mecânica. Isto consegue-se utilizando os conhecidos efeitos termoelectrónico, fotogalvânico e fotovoltaico.

Também, em certos casos, se utilizam colectores nos processos directos.

Passemos agora uma rápida revista aos tipos mais importantes de colectores realizados.

2.2 — COLECTORES

Os colectores podem ser do *tipo plano* e nesta hipótese são constituídos fundamentalmente por uma placa enegrecida isolada térmicamente tendo uma das suas faces exposta à radiação solar enquanto a outra face é percorrida pelo fluido de circulação; ou de *concentração*, em que um sistema óptico constituído por espelhos planos ou parabólicos concentra o fluxo solar sobre uma pequena superfície permitindo atingir temperaturas elevadas. Estes colectores são, por exemplo, utilizados nos fornos solares onde se podem atingir temperaturas da ordem dos 3000°C .

2.2.1 — Colectores planos

Há várias realizações de colectores planos; dão-se a seguir alguns dos tipos mais importantes (fig. 1). Em qualquer deles a placa enegrecida é montada numa caixa estanque cujas paredes estão revestidas dum isolante térmico, com excepção da face exposta, que pode ser constituída por uma ou várias placas de vidro. Procura-se assim utilizar o efeito de «serre», que se baseia no facto de o vidro e numa menor medida as matérias plásticas serem transparentes relativamente à radiação solar incidente, mas relativamente opacos à radiação a baixa temperatura emitida pelo absorvente (placa negra).

Nestes colectores não se conseguem temperaturas elevadas — estas variam entre 40°C e 60°C e em tipos mais aperfeiçoados, como o do *colector* de Miller, entre 65°C e 120°C (fig. 2).

A temperatura atingida pelo fluido de circulação resulta dum balanço entre as calorias recebidas da radiação e transmitidas ao fluido de circulação, e as perdas devidas à reflexão e absorção da luz incidente na face transparente, as devidas à radiação, à condução e convecção entre o absorvente e a face transparente, e as perdas por convecção e condução entre o conjunto do *colector* e o meio ambiente.

O rendimento médio dos colectores planos anda à roda dos 40%, sendo este rendimento calculado em relação à energia solar incidente; este rendimento é baixo mas em compensação o seu fabrico é simples e o custo relativamente menor.

2.2.2 — Colectores de concentração

Estes aparelhos exigem uma construção mais cuidada, um dispositivo para orientar o eixo óptico segundo a direcção do Sol e, como utilizam a radiação directa, devem ser instalados em locais com bastante Sol e com fraca nebulosidade.

Como trabalham sempre com incidência normal porque dispõem dum regulador da orientação do eixo óptico, a potência fornecida por estes colectores é praticamente constante durante 8 a 10 h por dia.

Chama-se *factor de concentração* do colector à relação entre a intensidade teórica da radiação na zona quente e a intensidade da radiação incidente no colector. Este factor de concentração depende da abertura n do colector,



Fig. 2 — Colector de Miller.

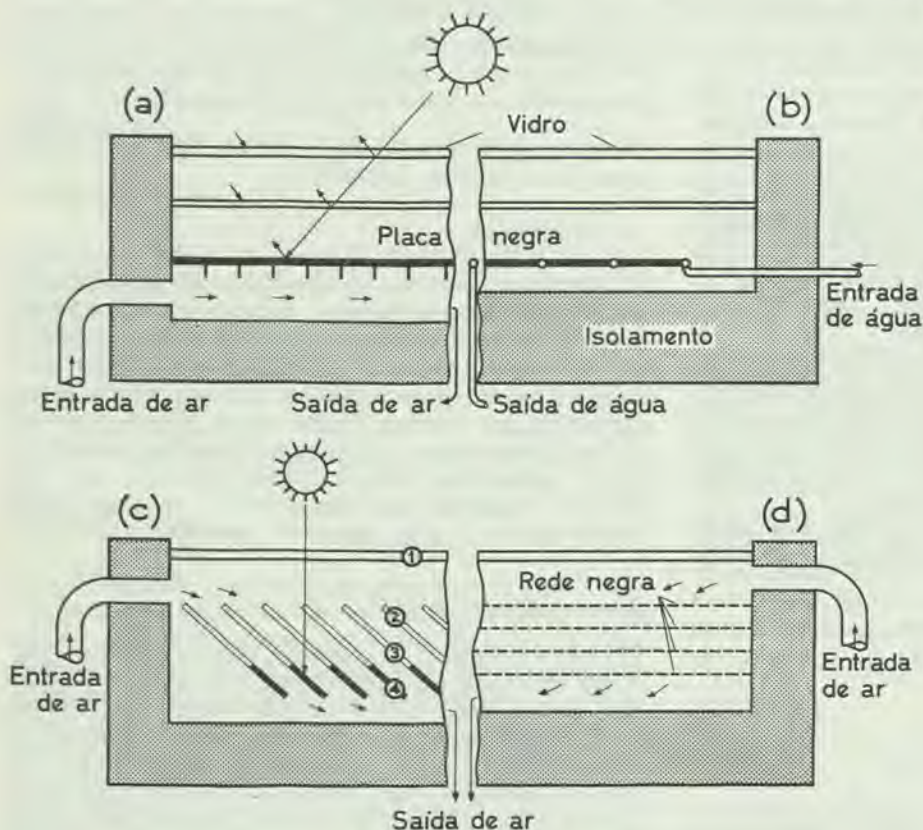


Fig. 1 — Tipos de colectores planos

que não é mais do que a relação entre o diâmetro e a distância focal do espelho (colector) e que varia entre 2 e 3,5 (fig. 3). O factor de concentração pode atingir normalmente valores da ordem dos 20 000 e em construções mais cuidadas valores superiores. O gráfico que se segue dá as temperaturas que se podem obter num colector de concentração em função do factor de concentração (fig. 4).

Vejamos agora algumas realizações neste campo; entre estas convém mencionar:

O colector parabólico de 10 m de diâmetro e 840 m² de superfície do laboratório de Tashkent, na Rússia, que faz o aquecimento duma caldeira tubular colocada no seu foco e que produz 50 kg de vapor por hora, a uma pressão de 7 kg/cm². O

Uma outra realização importante no campo de colectores e de produção de energia eléctrica é a central solar russa de 1 MW, cujo esquema se apresenta. As características principais daquela central são:

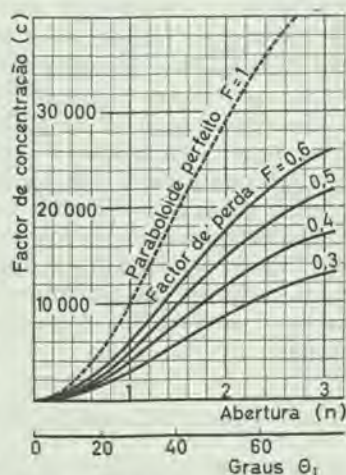


Fig. 3 — Variação do factor de concentração com a abertura para vários valores de factor de perda Θ_1 — Abertura angular do espelho

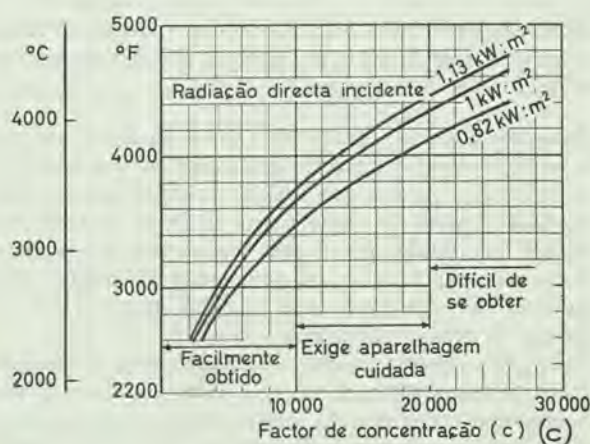


Fig. 4 — Temperaturas que se podem obter nos espelhos parabólicos em função do factor de concentração

Superfície total dos espelhos: 20 000 m²
 Número de horas anual de funcionamento: 1800 h
 Produtibilidade: Calor — 9,6.10⁶ kcal/hora; Vapor — 13 t/h;
 Energia eléctrica — 750 a 1000 kW e simultaneamente
 19 t/h de gelo ou 44 m³ de água fria (fig. 5).

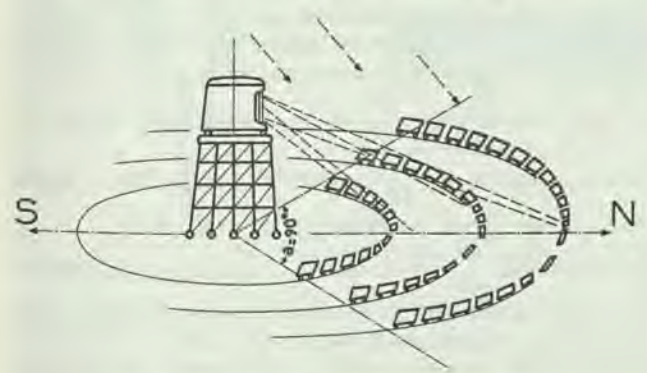


Fig. 5 — Central solar da U. R. S. S. de 1 MW

2.3 — PROCESSOS INDIRECTOS

Uma vez captada e transformada a energia solar para a forma calorífica através dos colectores, surge o problema da transformação dessa energia em energia mecânica, transformação efectuada por motores térmicos cujo rendimento admite como limite superior o rendimento do ciclo de Carnot. O gráfico seguinte (fig. 6) dá os rendimentos térmicos máximos do ciclo de Rankine mais aproximado dos ciclos reais. As curvas foram traçadas na hipótese de a fonte fria estar a uma temperatura de 37,8 °C e considerando além do vapor de água os fluidos álcool metílico e freon 113. A utilização destes fluidos vem reduzir as dimensões e o preço dos motores, embora não aumente o rendimento. Os tipos de motores térmicos utilizados dependem da tem-

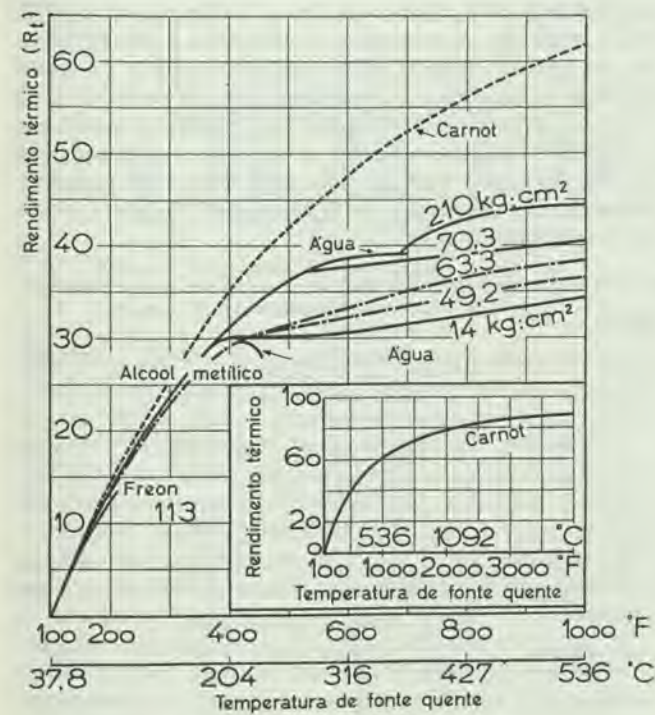


Fig. 6 — Rendimento do ciclo térmico em função da temperatura da fonte quente

peratura a que se lhes fornece o calor para transformarem em trabalho. Assim, temos motores térmicos para colectores planos e para colectores de concentração.

a) Motores térmicos para colectores planos

Com uma temperatura no condensador de 25 °C ($p = 0,03$ kg/cm²) e uma temperatura de 60 °C na fonte quente consegue-se um rendimento de 3%. Para potências maiores, superiores a 100 kW, aconselha-se o emprego de turbinas a baixa pressão. Para diminuir o tamanho dos motores utiliza-se como fluido motor um fluido mais volátil que a água, tal como o amoníaco, anidrido sulfuroso, freon, etc. Como realizações numa fase industrial citam-se os motores italianos «Somor» com as potências de 0,5 kW; 1,1 kW; 1,8 kW e 2,6 kW, cujos rendimentos chegam a atingir 4% (fig. 7). Outra realização é a turbina de d'Amello cujo rendimento anda à volta de 2%.

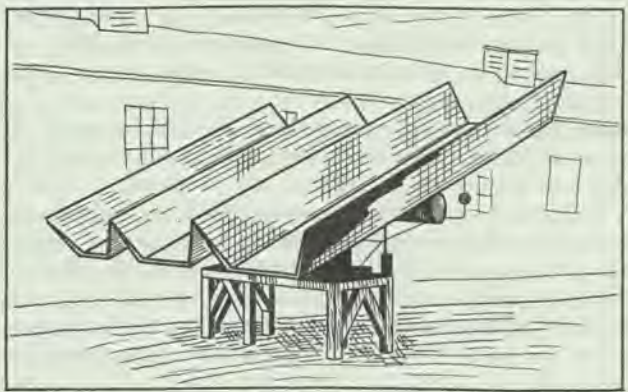


Fig. 7 — Motor «Somor»

b) Motores térmicos para colectores de concentração

As temperaturas mais altas a que conduzem os colectores de concentração permitem a utilização de máquinas a vapor clássicas ou de máquinas de ar quente. A temperatura e a pressão de vapor devem ser escolhidas tendo em conta o colector de concentração de forma que o rendimento global seja máximo. Conseguem-se assim rendimentos da ordem dos 10% a 15%. É interessante recordar que o motor de ar quente que parece o mais adequado para o aproveitamento da energia solar tem um rendimento que não passa dos 4%, quando o rendimento teórico anda à volta dos 53% (temperatura da fonte quente 565 °C, temperatura da fonte fria 121 °C.)

2.3.1 — Rendimentos dos processos indirectos

Em resumo, os rendimentos susceptíveis de se obter nas várias transformações de energia correspondentes aos processos indirectos são, em por cento:

a) Colectores planos

1) Energia solar — Calor	30 a 50
2) Calor — Energia mecânica	5 a 10
3) Energia mecânica — Electricidade	90 a 95

O rendimento global correspondente à passagem da energia solar para a energia eléctrica situa-se entre 1,5% a 5%.

b) Colectores de concentração

- 1) Energia solar — Calor 40 a 70
- 2) Calor — Energia mecânica 5 a 20
- 3) Energia mecânica — Electricidade 90 a 95

O rendimento global situa-se entre 2% a 15%. Também é importante recordar as conclusões de O. G. Löff quanto à superfície de colector plano necessária para produzir 10 kWh por dia com dez horas de Sol, com um rendimento de 5%. Estes valores variam entre 30 m² (na Índia) e 52 m² (na Grã-Bretanha). Se se pretender uma potência de 1 kWh durante as 24 horas, utilizando a acumulação, estes valores passam a 117 m² e 328 m².

2.4 — PROCESSOS DIRECTOS

Passemos agora aos processos directos de conversão da energia solar em energia eléctrica a que já nos referimos.

a) *Pares termoeléctricos* — Estes geradores baseiam-se no princípio conhecido de que num circuito fechado composto de dois metais diferentes, estabelece-se uma corrente contínua quando se mantêm, a temperaturas diferentes, as soldaduras entre esses dois metais. Isto deve-se a um efeito combinado dos efeitos Peltier (f. e. m. de contacto) e do efeito Thomson (f. e. m. produzida por uma diferença de temperatura entre os extremos dum mesmo condutor) a que se chama efeito Seebeck.

A aplicação prática destes pares depende dos rendimentos que se podem obter e do seu custo, de forma que possam competir com outras fontes convencionais de energia eléctrica. O rendimento dos pares termoeléctricos é uma função da diferença de temperaturas mantida entre os extremos quente e frio dos pares e das propriedades físicas dos materiais utilizados.

Esse rendimento é dado pela expressão:

$$\eta = \frac{1}{\frac{2T_q}{T_q - T_f} + 4 \frac{[(k' \rho')^{1/2} + (k'' \rho'')^{1/2}]^2}{e^2 (T_q - T_f)}}$$

em que

- e — é a força electromotriz em volts por grau centrigrado
 ρ' e ρ'' — são as resistividades médias dos materiais termoeléctricos em $\Omega \cdot \text{cm}$
 k' e k'' — são as condutividades térmicas específicas médias dos materiais em $\text{W/cm} \cdot ^\circ\text{C}$

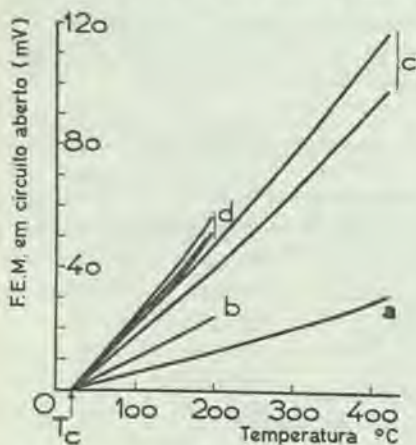


Fig. 8 — Poder termoeléctrico dos pares ensaiados por Telkes

T_f e T_q — são as temperaturas absolutas das soldaduras fria e quente.

Como se vê, a primeira parcela do denominador diz respeito ao rendimento de Carnot enquanto a segunda parcela depende das propriedades físicas dos materiais.

É sabido que a potência debitada por uma força electromotriz E com uma resistência interna r , sobre um circuito exterior de resistência R é máxima quando $r = R$, sendo

o valor desse máximo $\frac{E^2}{4R} = W$. O valor total da potência nessas condições é $\frac{2E^2}{4R} = 2W$, o que justifica o coeficiente 2 que figura na expressão do rendimento.

Da expressão $\frac{E^2}{4R}$ vê-se que se conseguirá uma potência útil maior se tivermos E elevado e R muito pequeno o que implica que r seja também pequeno.

A quantidade de calor necessário para a produção daquela energia é $\frac{W}{\eta} = 2W \frac{T_q}{T_q - T_f}$ se desprezarmos a segunda

parcela do denominador, o que corresponde a tomarmos o rendimento igual ao rendimento teórico de Carnot.

Como se viu, a resistência r deve ser pequena mas, por outro lado, é necessário que a resistência térmica do par seja elevada para que se mantenha uma diferença de temperaturas elevada $T_q - T_f$.

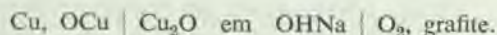
Atendendo à relação de Wiedemann-Franz-Lorenz, que relaciona na maioria dos metais e ligas a condutividade térmica com a resistividade eléctrica e a temperatura, $k\rho = 2,45 \cdot 10^{-8} T$, em que k é a condutividade térmica, ρ a resistividade eléctrica e T a temperatura do material em graus Kelvin, vê-se que as duas condições (pequena resistência eléctrica e grande resistividade térmica) são, de certo modo, não conciliáveis porque variam no mesmo sentido, de forma que a poderes termoeléctricos elevados podem corresponder em certos casos rendimentos menos elevados do que era de esperar. No seu trabalho «Materials for Thermoelectric Generators» apresentado na Conferência sobre a Utilização da Energia Solar realizada em Arizona, em 1955, MARIA TELKES depois de analisar alguns materiais termoeléctricos quer do ponto de vista de rendimento e potência, quer do ponto de vista das características físicas, como por exemplo a resistência mecânica para poder resistir a temperaturas elevadas, e escolhendo alguns tipos de pares mais adequados, apresenta os resultados dos ensaios neles efectuados. Damos a seguir esses resultados (fig. 8).

Par termoeléctrico		Temperaturas $T_q - T_f$ em $^\circ\text{C}$		
		100 — 20	200 — 20	420 — 20
Positivo		Poder termoeléctrico em microvolts $^\circ\text{C}$		
A) Cromel P		63	67	73
C) ZnSb (Sn, Ag, Bi)		210 — 250	225 — 270	240 — 290
D) ZnSb (Sn, Ag, Bi)		240 — 280	225 — 305	—
B) 91 Bi + 9 Sb + 5Sn		—	—	—
Negativo		Força electromotriz em milivolts		
Constantan		5,0	12,1	29,1
Constantan		16,8 — 20,0	40,5 — 48,6	96 — 110
91 Bi + 9 Sb		19,2 — 22,4	48,9 — 55,0	—
91 Bi + 9 Sb		—	—	—
		Rendimento do par termoeléctrico		
A) Calculado		0,16	0,37	0,83
Observado		0,15	0,35	0,76
C) Calculado		1,25	2,75	5,7
Observado		1,20	2,65	5,6
D) Calculado		1,55	3,05	—
Observado		1,5	3,4	—

dades de energia de que se necessita em certos domínios, como por exemplo as telecomunicações.

No trabalho a que nos referimos atrás estuda-se a pilha solar cíclica. Uma pilha em que os produtos da reacção fotoquímica (carga por actuação da luz solar) podem voltar ao seu estado original por meio da acção galvânica da pilha quando descarrega sobre um circuito exterior. A energia solar pode assim ser armazenada numa pilha nestas condições desde que os produtos fotoquímicos permaneçam na vizinhança do fotoelectrodo e a concentração desses produtos não venha prejudicar o funcionamento. Também os electrodos e o líquido electrolítico não devem sofrer alterações apreciáveis, permitindo uma duração longa.

Um esquema simples para a pilha cíclica é o que se dá a seguir:



Temos na carga solar (no fotoelectrodo):



Na descarga (circuito exterior fechado)

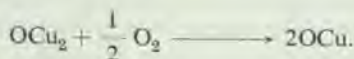
Electrodo de oxigénio — grafite:



Fotoelectrodo:



Reacção de descarga:



Segundo HAYAMI a força electromotriz desta pilha é 0,49 V.

c) *Células fotovoltaicas* — O caminho mais promissor na conversão directa da energia solar em energia eléctrica surgiu duma forma inesperada no domínio da investigação da física do estado sólido, domínio que parecia não ter ligação com a energia solar.

Há muitos anos que se conhecem as células fotovoltaicas que por exemplo são utilizadas na técnica da fotografia. Estas células oferecem uma possibilidade de conversão simples da luz solar em electricidade.

Embora o seu estudo rigoroso exija um conhecimento profundo da teoria dos semicondutores, procuraremos dar aqui uma ideia do que se passa nestas células descrevendo a célula de silício explorada à escala industrial pela Companhia BELL com o nome de «BELL SOLAR BATTERY».

A condução eléctrica no silício pode fazer-se através de cargas negativas (electrões) e cargas positivas (átomos com falta de electrões que se chamam «vazios»). No primeiro caso diz-se que o condutor é do tipo *n* e no segundo do tipo *p*. Se num cristal de silício uma parte é do tipo *p* e a outra do tipo *n*, a superfície de junção das duas partes chama-se junção *p-n*.

O silício que figura na quarta coluna da classificação periódica é praticamente um isolante quando puro e a temperatura normal. Quando se adiciona ao silício, como impureza, uma pequena porção dum elemento da quinta coluna, tal como fósforo ou arsénico, obtém-se um condutor do tipo *n*. Se adicionarmos uma pequena percentagem dum elemento

da terceira coluna, tal como boro ou gálio, obtém-se um condutor do tipo *p*. A superfície que separa o silício *p* do silício *n* é a ligação *p-n*.

Os materiais de que se parte na construção da célula de silício são o silício e o arsénico. Estes dois materiais são fundidos sendo a percentagem do arsénico 0,0001%, obtendo-se uma barra de silício tipo *n*. Depois essa barra é cortada em lâminas muito finas sendo as dimensões finais: diâmetro — 1 polegada; espessura — 1/25 polegada. Para formar uma camada do tipo *p* nas lâminas obtidas, estas são colocadas num forno eléctrico contendo vapores de compostos de boro. A temperatura do forno oscila entre 1000 °C e 1200 °C, mantendo-se as lâminas durante alguns minutos. Durante este tratamento depositam-se átomos de boro sobre a superfície da lâmina que, penetrando nesta, formam a camada superficial desejada do tipo *p*, camada cuja espessura pode ser regulada por controle do aquecimento. As melhores células são obtidas quando a ligação *p-n* se encontra a $\frac{1}{10\,000}$ de polegada da superfície. Após

o arrefecimento, remove-se a camada *p* numa pequena zona, fazendo-se então a ligação dos condutores. A incidência da luz na face exterior dá origem a uma corrente eléctrica quando se fecha o circuito exterior (fig. 12).

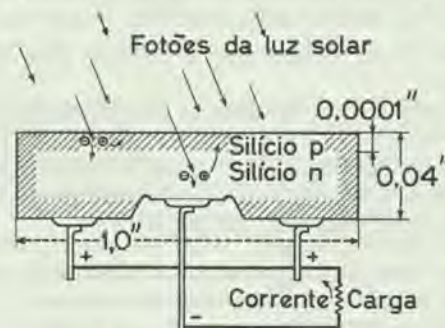


Fig. 12 — Esquema da célula Bell

Os fotões da luz solar incidindo no silício e com energia suficiente libertam electrões e «vazios». Não havendo circuito exterior, estes pares libertados recombinam-se por ausência dum campo eléctrico que os faça mover ao passo que com o circuito fechado os electrões e os «vazios» movem-se em sentidos opostos, dando origem a uma corrente eléctrica (fig. 13).

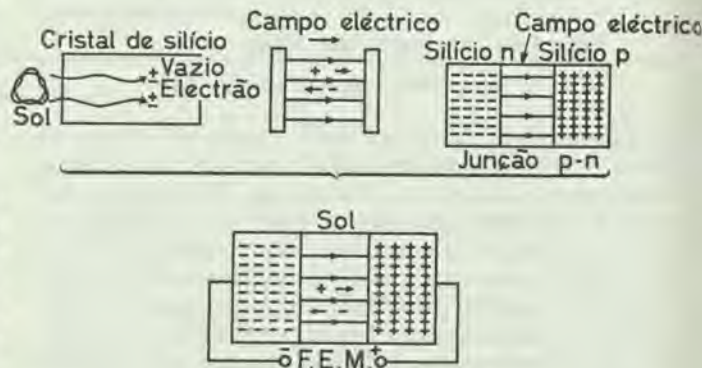
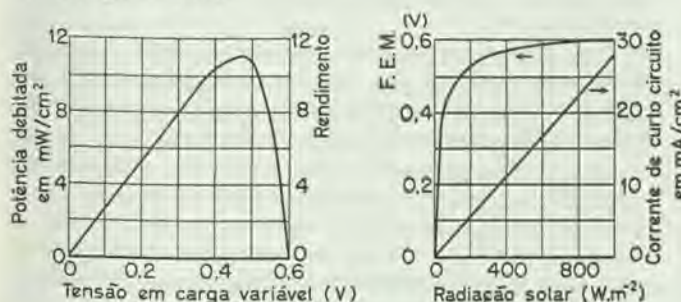


Fig. 13 — Princípio da célula Bell

Na ligação *p-n* existe um campo eléctrico que conserva os electrões do lado *n* e os «vazios» no lado *p*. Quando se absorve luz produzem-se os pares e o campo existente força os «vazios» a deslocarem-se para o lado *p* e os electrões

para o lado *n*, dando origem a uma diferença de potencial entre as duas regiões *p* e *n*, sendo a primeira positiva e a segunda negativa. Cada célula tem uma diferença de potencial de 0,6 V.

Mostram-se um esquema da célula Bell (fig. 12) e algumas características para uma temperatura de funcionamento de 17°C (figs. 14 e 15).



Figs. 14 e 15 — Características de funcionamento da célula Bell

Como se vê, já se atinge um rendimento de 11%, esperando-se conseguir rendimentos da ordem dos 20%.

Os factores fundamentais que vêm afectar o rendimento são:

- 1) Uma parte da energia recebida da luz solar é reflectida pelo silício, não chegando a ser transformada
- 2) Cerca de 30% dos pares formados perdem-se por recombinação imediata
- 3) Uma parte da energia eléctrica é consumida na própria célula.
- 4) Nem todos os fotões incidentes originam pares.

Com efeito, em qualquer semiconductor é necessária uma certa quantidade de energia para produzir um par «vazio» — electrão. No silício, por exemplo, essa energia é 1,1 eV (1 eV = $1,60 \times 10^{-12}$ erg). É preciso portanto que o fotão cuja energia é $\frac{hc}{\lambda}$, em que *h* é a constante de Planck, *c* a

velocidade da luz e λ o comprimento da onda associada ao fotão, tenha uma energia superior ou igual a esse valor. Resolvendo esta desigualdade vê-se que somente os fotões com comprimento de onda inferior ou igual a $1,1 \mu$ produzem pares. Os fotões com comprimento de onda superior não podem formar pares. Os fotões com comprimento de onda inferior a $1,1 \mu$ têm energia mais que a necessária e esse excesso perde-se sob a forma de calor. O facto de haver fotões inúteis faz baixar o rendimento do processo (fig. 16).

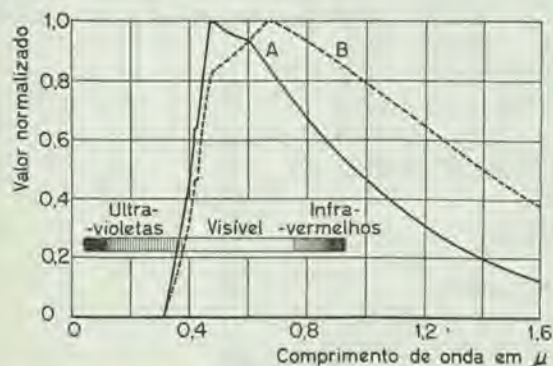


Fig. 16 — A: Curva de distribuição de energia na radiação solar
B: Curva de distribuição de fotões na radiação solar

A célula Bell é muito utilizada para alimentação de circuitos telefónicos rurais, nas telecomunicações e recentemente já foi utilizada nos satélites artificiais.

3 — Aspectos económicos

Excluem-se, nestas considerações, os processos directos da conversão da energia solar em energia eléctrica. Com efeito, apesar dos rendimentos relativamente elevados das células Bell, os rendimentos crescentes dos pares termoeléctricos e possíveis aumentos de rendimentos das células fotogalvânicas que se espera obter com as investigações em curso, não há dúvida de que as potências alcançadas são muito pequenas e que o custo desses geradores é ainda muito elevado. A vantagem de serem geradores estáticos é contrabalançada por aqueles factores. REMENIERAS indica um custo de 5 000 F a 7 000 F (francos antigos) para o quilowatt-hora produzido pela célula Bell!

Tratar-se-á, portanto, somente de processos indirectos. Uma central electro-solar tem encargos elevados relativos aos investimentos que há que fazer na construção, mas os seus encargos de exploração são reduzidos. Nesse aspecto é comparável a uma central a fio de água e essa analogia mantém-se até do ponto de vista da flutuação e intermitência no fornecimento da energia. A central solar tem, no entanto, um número de horas de utilização menor, 1500 h a 2000 h por ano.

Recordemos o cálculo feito por REMENIERAS nas conferências proferidas em Julho de 1957*.

Considerando uma central de colector plano com um rendimento global de 5%, vê-se que há necessidade de 20 m² de superfície de colector para obtenção de 1 kW de potência máxima. Se a insolação média diária é de 0,3 kW, a produção anual será de $0,3 \times 8760 \text{ kWh} = 2630 \text{ kWh}$.

Comparando a central solar com uma central térmica clássica e admitindo que a parte electromecânica representa cerca de 70% do custo total, resulta para aquela um custo de 56 000 F/kW (francos antigos — 1957), supondo um custo total de 80 000 F/kW instalado. Admitindo igualdade de custo do quilowatt-hora de origem solar e de origem hídrica a fio de água, o custo do primeiro estabelecimento do quilowatt-hora de produção anual será aproximadamente 30 F, a que correspondem, tendo em conta a energia produzida, cerca de 75 000 F/kW. O custo do colector será pois $75 000 \text{ F} - 56 000 \text{ F} = 19 000 \text{ F}$, isto é, cerca de 1000 F/m², valor que é cerca de 20 vezes inferior ao valor real. Se entrarmos com o valor real do colector resulta para o custo do quilowatt-hora um valor 6 vezes superior ao admitido!

Note-se também que o facto de aumentar a potência da central não vem diminuir a despesa relativa ao colector. Em compensação, uma central solar pode ser instalada «in loco», no caso de haver condições favoráveis, poupando-se no transporte de energia. Também as despesas relativas ao transporte e armazenamento do combustível desaparecem. Em resumo: a energia eléctrica de origem solar não pode competir nas condições actuais com a energia das fontes convencionais, nos grandes centros industrializados, mas a sua utilização pode justificar-se economicamente nas regiões muito afastadas dos centros de produção, com consumo fraco, por exemplo uma pequena cidade desprovida de actividade industrial importante. Note-se que quando

* Estas conferências foram lidas no Lab. Nac. de Engenharia Civil

se instalam linhas de transporte muito longas para servir centros com utilização pequena o custo do quilowatt-hora pode ser 5 a 6 vezes superior.

A utilização das centrais electro-solares pode ter interesse em zonas rurais, quer para bombagem, quer para iluminação, podendo substituir os grupos geradores trabalhando a gasolina ou a óleos pesados.

Um outro aspecto das centrais solares que convém ponderar é o da flutuação da energia que produzem. Por exemplo, um centro de consumo que disponha duma central solar para fins de iluminação precisará de acumular energia produzida de dia para a consumir de noite; precisará de aproveitar o excedente de produção dos dias de muito Sol para os

dias nebulosos. Um dos processos de acumulação consiste no aproveitamento da energia excedente na carga duma bateria de acumuladores.

Recentemente surgiu um outro processo que pode interessar na regularização da energia solar: trata-se da pilha Bacon cujo esquema damos a seguir (fig. 17).

A energia excedente é aproveitada na electrólise da água. O oxigénio e o hidrogénio são recombinados produzindo energia eléctrica.

Os rendimentos conseguidos actualmente (note-se que o invento está ainda na fase experimental) andam à volta de 55%, contando com as duas transformações à entrada e à saída da pilha, que podem aqui ser evitadas.

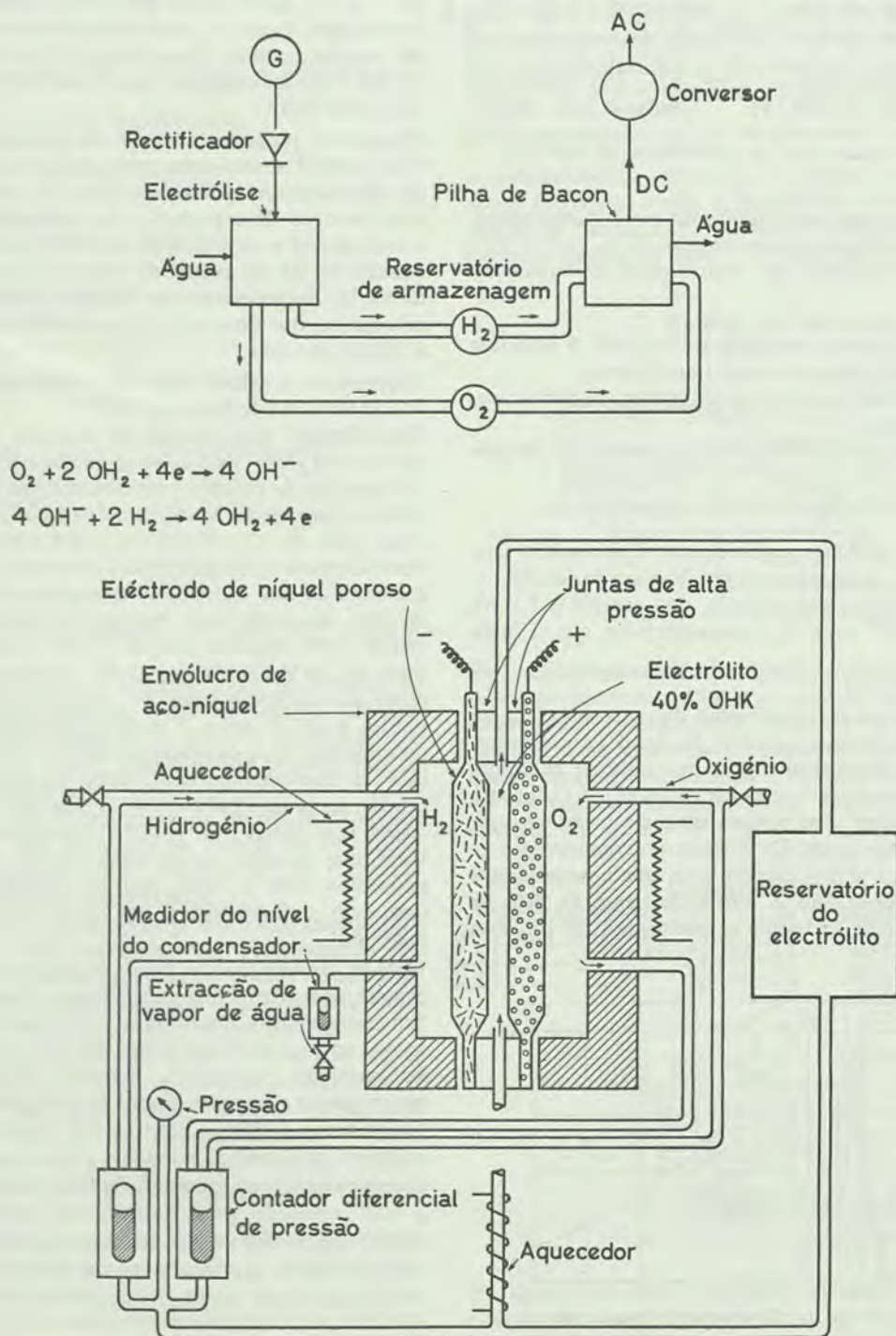


Fig. 17 — Esquema da pilha de Bacon

4 — Observações finais

No estado actual do desenvolvimento dos processos de aproveitamento da energia solar, conclui-se que embora o Sol seja a nossa maior fonte de energia e uma energia simpática que não levanta problemas de segurança nem deixa cinzas, essa energia não pode ser utilizada economicamente no que respeita à produção de electricidade. Mas também não é menos verdade que até há pouco o interesse neste campo era muito reduzido!

Quaisquer melhorias ou afinações de processos teóricos, até se tornarem industriais, exigem uma fase laboratorial de investigação e isso exige dinheiro. Quero eu dizer com isto que se uma parte dos fundos que os Estados destinam à investigação nos outros campos fosse desviada para este, já se teria verificado um maior avanço técnico na produção de electricidade a partir da energia solar. Por exemplo, há actualmente um grande entusiasmo na investigação no domínio da termoelectricidade porque os pares termoelétricos estão a ser utilizados nos foguetões e satélites.

O desenvolvimento técnico dos processos de utilização solar é um dos meios de ajuda que os países ricos e florescentes podem prestar aos países menos desenvolvidos e pobres, tanto mais que na maioria estes países são ricos em Sol, que é de graça!

BIBLIOGRAFIA

A Companhia Hoffman domina o progressivo mercado de células solares (Noticiário) — (Publ. na «Electricidade»).

Actividade em Portugal no domínio da energia solar (Noticiário) — (Publ. na «Electricidade»).

Applications and Industry — Jan. 1960 (pág. 445).

An elementary design discussion of thermoelectric generation — (Publ. na Rev. «Applications and Industry»).

A one-watt solar energy plant — D. H. SMITH — (Publ. na Rev. «Communication and Electronics»).

A transformação da radiação solar em energia eléctrica — G. L. PEARSON — (Publ. na «Electricidade»).

Desenvolvimento mundial dos estudos sobre energia solar — JOAQUIM LAGINHA SERAFIM e MANUEL J. ESTEVES FERREIRA.

Energia Solar — DANIELS e DUFFIE — (Publ. na «Electricidade»).

Energia Solar — (Publ. na «Electricidade»).

Energia Solar — Desenvolvimento mundial dos estudos sobre a energia solar — J. LAGINHA SERAFIM e A. SALGADO PRATA — (Publ. na «Electricidade»).

Energia solar no Japão (Noticiário) — (Publ. na «Electricidade»).

Estudo preliminar sobre destilação solar — J. LAGINHA SERAFIM e A. SALGADO PRATA — (Publ. na «Electricidade»).

Introduction à l'étude de l'utilisation de l'énergie solaire pour la production d'énergie électrique — G. REMENIERAS — (Publ. na «Electricidade»).

Laboratoire solaire russe — Böhm — (Publ. na Revista «Energie»).

La chaleur solaire: les recherches ont abouti à son utilisation dans les habitations — M. STERN — (Publ. na «Engineering News-Record»).

Le chauffage domestique par utilisation de l'énergie solaire — W. A. DANIELSON — (Publ. no «Rapport A. I. E. E.»).

L'énergie solaire — G. R. SMITH — (Publ. na Rev. «Compressed Air Magazine»).

L'utilisation de l'énergie solaire en Amérique du Nord — J. I. YELLOTT — (Comunicação à C. M. E. — Montreal 1958).

L'utilisation de l'énergie solaire par sa transformation directe en énergie électrique — G. GÉNIN — (Publ. na Rev. «Chaleur & Industrie»).

Optimum reflector — Absorber geometry for a solar generator — R. W. STINEMAN — (Publ. na Rev. «Applications and Industry»).

O sucesso da energia solar na Feira Internacional de Salónica — Grécia — (Publ. na «Electricidade»).

Perspectives actuelles de l'emploi de l'énergie solaire — PIERRE MAILLET — (Publ. na «Revue Française de l'Énergie»).

Pile solaire portative (Westinghouse) — (Publ. na Rev. «Mécanique Électrique»).

Resultados do 1º Simpósio Brasileiro sobre Energia Solar — THEODORO ONIGA — (Publ. na «Electricidade»).

Silicon solar energy converters — M. B. PRINCE — (Publ. no «Journal of Appl. Physics»).

Solar-powered light and sound — (Publ. no «The Electrical Journal»).

Solar-powered thermoelectric generator design considerations — N. N. SCHUCH e R. J. TALLENT — (Publ. na Rev. «Electrical Engineering»).

Solar thermoelectric generator — MARIA TELKES — (Publ. no «Journ. of Appl. Physics»).

Studi e progressi degli impianti di produzione di energia elettrica da fonti diverse da quelle tradizionali e dall'energia nucleare — A. ASTA — (Publ. na Rev. «L'Elettrotecnica»).

Transformation directe de l'énergie solaire en électricité. Les semi-conducteurs et l'énergie solaire. Cycle de l'énergie solaire — P. AIGRAN.

Thermoelectric and mechanical conversion of solar energy — R. C. SCHLICHTIG e J. A. MORRIS JR.

Transactions of the Conference on the Use of Solar Energy — Arizona, October 31, November 1 — 1955.

Electrical Processes:

Materials for thermoelectric Generators — MARIA TELKES.

Mechanical Construction and Thermal Characteristics of Solar Operated Thermoelectric Generators — HAROLD HEYWOOD.

The Efficiency of Solar Thermoelectric Generators Composed of Semiconductors — T. MOMOTA e T. MATSUKURA.

The Technical and Economic Limitations of Low-Voltage Generators for the Production of Large Amounts of Electric Power — MARCUS O'DAY.

A Thermoelectric Effect with Powered Metallic Oxides — M. PERROT, G. PERI e J. ROBERT.

Photogalvanic Cells — K. M. SANCER.

The Theory of Energy Conversion in p-n Junctions — ROBERT L. CUMMEROW.

Theoretical Considerations Governing the Choice of the Optimum Semiconductor for Photovoltaic Solar Energy Conversion — JOSEPH J. LOFERSKI.

The Silicon p-n Junction Solar Energy Converter — M. B. PRINCE.

The Photovoltaic Effect of Cadmium Sulfide Crystals — D. C. REYNOLDS.

Some Observations from a Year of Silicon Solar Battery Testing — D. M. CHAPIN.

Areas for Improvement in the Semiconductor Solar Energy Converter — EDMUND D. JACKSON.

Military Considerations for a Photovoltaic Solar Energy Converter — WILLIAM R. CHERRY.

JOSÉ MARIA DE QUADROS E COSTA
Engenheiro electrotécnico (I.S.T.)

SERVIÇOS DE ENERGIA DA COMPANHIA NACIONAL DE ELECTRICIDADE

LA LUMIERE, LES QUANTA ET L'ECLAIRAGISME

de LOUIS DE BROGLIE

Por motivos estranhos à nossa vontade fomos obrigados a retirar o trabalho acima mencionado, que deveria ser publicado como Caderno Técnico esperando que saia no próximo número.