



Mário Sergio Cassoli Dias
é engenheiro eletricista
e sócio-proprietário
da Solarterra Energias
Alternativas

Energia solar fotovoltaica

Uma alternativa para projetos de eficiência energética

Há muitas décadas a energia solar fotovoltaica é uma alternativa real para projetos que requerem confiabilidade absoluta no suprimento de energia elétrica, principalmente em localidades muito afastadas da rede elétrica convencional. Nesses casos utiliza-se a configuração clássica de um sistema de energia solar, no qual necessariamente existe um banco de baterias, um painel solar, um controlador de carga e, eventualmente, alguma eletrônica adicional (inversor CC-CA senoidal ou não, conversor CC-CC, Maximum Power Point Tracker [MPPT], etc.) a fim de condicionar a energia para o padrão exigido pelo tipo de carga a ser alimentado.

O painel solar converte a radiação solar em eletricidade corrente contínua que, por sua vez, é armazenada no banco de baterias. O controlador de carga regula a tensão do painel solar para evitar que a bateria seja sobrecarregada ou sobredescarregada. Dimensiona-se o banco de baterias para um determinado número de dias de autonomia, usualmente três ou mais dias, e então se obtém um sistema de altíssima confiabilidade e longa vida útil.

Sistemas desse gênero foram disseminados pelo mundo inteiro a partir da década de 1970 e

continuam sendo uma das principais aplicações para energia solar fotovoltaica, principalmente em projetos de eletrificação rural, automação/telemetria, telecomunicações, bombeamento de água, sinalização, entre outros. Seguem abaixo alguns exemplos reais de sistemas de energia solar empregados de forma bem-sucedida.

A partir da década de 1980 surgiram algumas iniciativas – em particular nos Estados Unidos – para uma nova modalidade de energia solar fotovoltaica com o objetivo principal não de armazenar a energia, e sim gerar energia em larga escala para interação com a rede elétrica convencional. A energia gerada durante o dia era toda direcionada para a rede elétrica por meio de uma eletrônica própria, conhecida como inversor para conexão à rede elétrica, que funciona sempre sincronizado com a tensão e com a frequência da rede elétrica.

O primeiro grande projeto desse gênero foi implantado pela empresa Arco Solar, com sua planta Clarissa Plains, de 6.5MWp de potência total. O projeto ficou em operação até o início da década de 1990, quando então a concessionária de energia elétrica Southern California Edison decidiu encerrar



Sistema telemetria



Sistema bombeamento d'água



Sistema autônomo híbrido solar-diesel

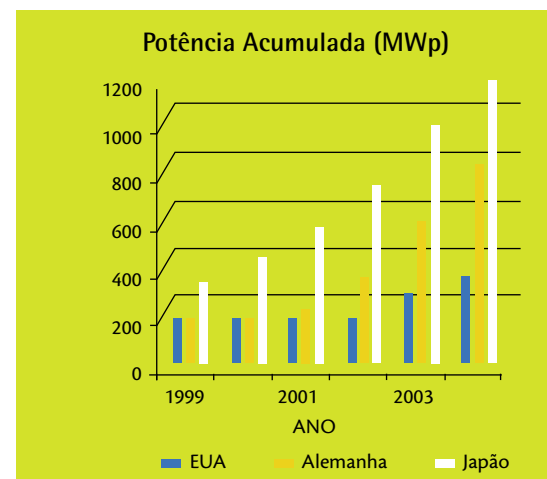
as atividades da planta. Os painéis solares foram desmontados e os módulos vendidos. O relativo insucesso do projeto deveu-se principalmente ao alto custo inicial do investimento, que não tornava viável a amortização pela quantidade de energia gerada na planta. Obviamente estamos falando de premissas econômicas de uma época em que a eletricidade nos Estados Unidos era abundante, seu preço era baixo e o petróleo não era um problema. Nessas condições era realmente impossível tornar o custo da energia elétrica gerada pelos painéis solares competitivo. Ademais, não existiam mecanismos de incentivo para tornar a energia elétrica solar mais atrativa, enfim, o projeto pioneiro conseguiu demonstrar sua viabilidade técnica, porém sucumbiu diante da fórmula capitalista do retorno do investimento.

Mas o tempo veio demonstrar que o emprego de energias alternativas, em especial a energia solar fotovoltaica, teria seu lugar garantido. Hoje em dia, existem programas especialmente planejados para projetos de energia solar conectados à rede elétrica na Alemanha, no Japão, nos Estados Unidos e, mais recentemente, na Espanha. Só no ano passado foram produzidos mais de 3.000MWp em painéis solares para essa finalidade. Isso representa um volume quase cinco vezes maior do que o produzido em 2000. O mercado de produção de energia solar (silício purificado + células solares + módulos solares) cresce ininterruptamente a uma taxa anual superior a 25% e as perspectivas futuras são ainda mais promissoras. O crescimento acelerado criou alguns gargalos na produção, principalmente no downstream, ou seja, na produção de silício purificado para fabricação de células solares. A indústria químico-eletrônica não

estava preparada para a explosão que o mercado de energia solar viria a ter, principalmente na Alemanha, o que vem causando problemas no abastecimento de módulos solares e o conseqüente aumento no preço do Wp.

Hoje são muitos os fabricantes mundiais de painéis solares com plantas industriais de capacidade superior a 300MWp por ano (Sharp, MSK e Q-Cells, para citar os maiores). Isso representa a capacidade total de produção de módulos solares no início da década de 1990 somados todos os fabricantes.

O ingrediente crucial para o sucesso recente desse mercado foram os programas de incentivo criados nos países onde a tecnologia vem sendo amplamente utilizada. Na Alemanha, apenas para citar o exemplo mais representativo, foi promulgada em 2004 a Lei das Energias Renováveis, que remunera a energia gerada pelos painéis solares em 0.47 /kWh produzido. Esse incentivo criou uma equação generosa, que alavancou na Alemanha, apenas no ano passado, uma demanda superior a 350MWp por painéis solares. Para uso residencial, comercial ou industrial, é indiscutível hoje o papel relevante de que a energia





Sistema BIPV – Freiburg Alemanha

solar desfruta na Alemanha. Programas semelhantes estão em curso em outros países e devem se tornar uma realidade não muito distante até para países como o Brasil.

Em função dos incentivos existentes nesses países, passou a ser interessante para indivíduos e empresas não apenas gerar energia para suas próprias necessidades, mas também por vender a energia produzida.

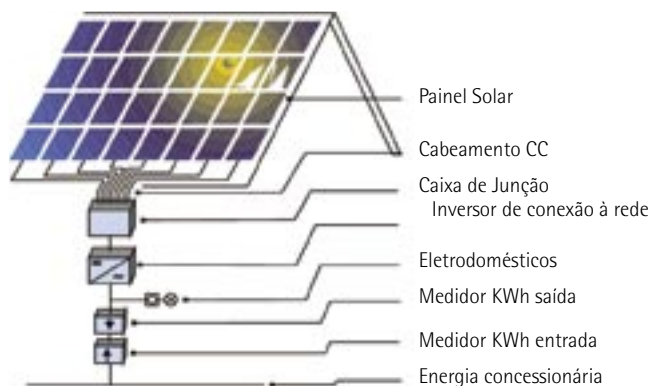
Os principais atributos que tornam a energia solar particularmente interessante como fonte energética são:

- Fonte não poluente e totalmente limpa;
- Contribui efetivamente na redução de CO₂ na atmosfera, podendo inclusive ser qualificada para projetos de seqüestro de carbono;
- Não gera ruídos;
- Pode ser instalada virtualmente em qualquer lugar e até mesmo incorporada em edificações (Building Integrated Photovoltaics [BIPV]), como no exemplo ilustrado acima;
- Aproveita espaços ociosos para geração de energia limpa, tornando o custo de infra-estrutura marginal em face de outras alternativas que necessariamente precisam de linhas de transmissão, como hidroelétrica, térmica ou nuclear.

Conexão à rede elétrica

Como previamente explicado, trata-se de uma modalidade de uso de energia solar fotovoltaica em que a energia produzida é sincronizada com a rede elétrica da concessionária sem que seja necessário armazená-la em um banco de bateria, embora isso também seja possível (nesse caso pode-se usar o sistema como uma UPS). Abaixo apresentamos uma ilustração esquemática de um sistema típico.

A simplicidade de operação é evidente dado os poucos elementos que compõem o sistema. Os mais modernos painéis solares asseguram garantia superior a 25 anos e para os inversores já existem opções com dez anos de garantia. A vida útil do



sistema como um todo é superior a 35 anos. É importante ressaltar que em sistemas desse gênero há um aproveitamento quase integral da energia gerada pelos painéis solares, limitado basicamente à eficiência dos inversores, que hoje pode chegar a 95%. O aproveitamento é, portanto, muito superior ao de qualquer sistema de energia solar autônomo, que só no processo de carga-descarga da bateria perde mais de 15% da energia gerada pelo painel solar.

Os inversores de conexão à rede elétrica possuem dispositivos de seguimento de máxima potência MPPT, que fazem o painel solar operar sempre em seu ponto de potência máxima instantânea, definida pela insolação que incide sobre sua superfície a cada momento.

Ao contrário do que se pode pensar, não existe o menor risco na operação de um sistema desses, pois

o gerador solar é totalmente dependente da rede elétrica. Digamos que será feita a manutenção da rede elétrica da concessionária. Nesse caso, a partir do momento em que a rede for interrompida, o gerador solar irá ficar imediatamente inoperante.

Eficiência energética

O conceito original de eficiência energética está associado com a melhoria de determinado processo de fabricação no que concerne ao uso da energia elétrica ou energia térmica. Isso normalmente será alcançado por meio da substituição de aparelhos/equipamentos antigos por outros que sejam mais eficientes: lâmpadas fluorescentes, motores elétricos de alta eficiência, entre outros. O objetivo, portanto, é chegar ao final do mês com a conta de energia elétrica/térmica mais baixa.

Com o aumento consistente da energia elétrica no Brasil (média de 10% por ano nos últimos cinco anos), bem como o crescente aumento do petróleo, tornou-se imperativo para as empresas industriais e comerciais a busca por ações de eficiência energética em suas unidades. Em determinados casos, dada a complexidade do processo envolvido, empresas especializadas denominadas Escos são contratadas para essa finalidade.

A busca pela eficiência energética é portanto uma necessidade competitiva. Quem puder produzir mais consumindo menos energia estará melhor posicionado no mercado, seja ele qual for. A lógica se aplica inclusive para indivíduos privados, que podem recorrer a ações elementares de eficiência energética em suas próprias residências. O uso de coletores solares para aquecimento de água em substituição ao uso de chuveiros elétricos é um exemplo bem-sucedido de eficiência energética aplicada em uma residência. A redução na conta de luz no final do mês é evidente.

Ocorre que ações de eficientização possuem certo limite técnico-financeiro para render resultados práticos na redução da conta de energia. Vamos supor que uma determinada empresa queira reduzir sua conta de energia. Ela provavelmente fará

uma análise inicial de quanto ela consome para identificar possíveis áreas em que seja possível, por exemplo, deixar as lâmpadas apagadas em vez de permanecerem ligadas 24 horas por dia. Seguindo essa lógica, o próximo passo seria renegociar com a concessionária as tarifas praticadas e o valor da demanda contratada. Assim feito, poderia-se até contratar energia no mercado livre ou, sendo mais radical, alterar a rotina de produção para fugir das tarifas do horário de pico. Enfim, estas são todas as ações já praticadas em empresas na busca por eficiência energética. Em grandes complexos industriais pode-se ainda estudar a possibilidade de investir em co-geração de energia.

Embora existam inúmeras formas de alcançar resultados positivos em eficiência energética é senso comum que irá chegar um certo ponto no qual não há mais recursos técnicos para reduzir a conta de energia e, se houver, o custo será proibitivo. É nessa linha de raciocínio que entra a possibilidade real de não apenas empresas, mas também indivíduos, empregar energia solar fotovoltaica como um elemento confiável e prático para a redução da conta de energia, principalmente em situações nas quais já foi feito de tudo para que isso fosse alcançado.

A energia solar fotovoltaica aplicada em sistemas conectados à rede elétrica é uma solução ideal como vetor de eficiência energética. Os painéis solares irão gerar energia que será utilizada imediatamente nos processos em uso, gerando economia na energia que antes teria de ser provida por alguma concessionária. Veja que não estamos falando em venda de energia, e sim na geração de uma parcela do consumo de um dado projeto com o objetivo claro e imediato de reduzir a conta de energia.

Até poderíamos pensar na venda de energia em larga escala, mas para isso seria necessário que a fonte solar fotovoltaica estivesse inclusa dentro do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), que assegura a compra da energia gerada por meio de fontes renováveis: biomassa, eólica e PCHs. Como a energia solar fotovoltaica foi deixada de lado, então devemos pensá-la como uma alternativa viável como ação de eficiência energética.

informativo técnico

Energia solar fotovoltaica – Eficiência energética

A primeira pergunta que qualquer investidor vai fazer é: em quantos anos o investimento inicial será pago? Partindo de premissas bastante conservadoras, é possível estimar que este retorno, em projetos no Brasil, onde não existe atualmente nada em termos de incentivo para essa modalidade de uso da energia solar, vai ser da ordem de 12 anos. Estamos falando aqui de tecnologia atual a preços internacionais (atualmente severamente inflacionados) e sem contar com quaisquer benefícios de uma eventual venda de créditos de carbono que um sistema de energia solar fotovoltaico é capaz de gerar.

Pode parecer um horizonte muito longo para um investimento desse gênero, mas não podemos deixar de considerar que sistemas solares são projetos de longa vida útil, superior a 35 anos. A manutenção é baixíssima, para não dizer inexistente. Não é preciso mão-de-obra específica para sua operação, ou seja, ele opera sozinho. O sistema é totalmente modular podendo crescer a qualquer momento e, se necessário, pode ser mudado para outro local sem que nada se perca do investimento já feito. O único insumo necessário é o sol, que vai existir em qualquer local do território brasileiro e, pelo menos por enquanto, ainda não é tributado.

Se compararmos o período do retorno de investimento de um projeto de energia solar com um de co-geração, constataremos que não estamos falando de nada absurdo, e me digam quantos projetos de co-geração prosperaram ou estão em operação no Brasil? Certamente são pouquíssimos.

Se projetarmos o cenário mundial do mercado de energia solar daqui há cinco anos, teremos parâmetros muito mais favoráveis. Se todas as fábricas de módulos solares confirmarem os investimentos em novas plantas industriais e se for resolvido o gargalo na produção de silício purificado, é de se esperar que o preço do Wp caia dos atuais US\$4,00 para algo em torno de

US\$2,50 com referência a tecnologias tradicionais baseadas em silício cristalino. Se analisarmos o futuro das tecnologias baseadas em filme fino, podemos ser ainda mais otimistas, com preços possivelmente inferiores a US\$2,00/Wp e com a mesma garantia técnica e longevidade. Outra alternativa técnica não considerada, mas que pode elevar o retorno do investimento em pelo menos 30% são os rastreadores solares, estruturas para instalação dos painéis solares que



Rastreador solar instalado em Magé (RJ)

acompanham a trajetória solar e que aumentam a sua geração média. Veja ilustração abaixo.

Os 12 anos de retorno de investimento de um projeto concebido hoje poderão facilmente ser reduzidos à metade num prazo não superior a cinco. Ora, se o aspecto financeiro é um problema para que projetos de energia solar sejam considerados seriamente como ação de eficiência energética, então esse argumento cairá por terra em breve.

Ainda que o aspecto financeiro prevaleça quase sempre em tomadas de decisão, é fundamental que outros atributos da energia solar possam ser levados em consideração nesse momento em que a questão da eficiência energética e do emprego de energias limpas está na pauta de qualquer grande corporação. Os benefícios indiretos que o emprego da energia



Sistema solar implantado em Duque de Caxias (RJ) gera economia real de 700 kWh

solar traz ao investidor são inúmeros, a começar pelo compromisso real de que está se fazendo uso de uma energia totalmente limpa e não poluente.

Na ilustração acima, temos um caso real de um sistema conectado à rede elétrica instalado na cidade de Duque de Caxias (RJ), no qual a energia produzida pelo painel solar de 4.800Wp de potência gera mensalmente uma economia real de 700kWh de energia elétrica, bem como evita o lançamento na atmosfera do equivalente a quase 600kg por mês de CO₂.

Aspectos técnicos

Apesar de o Brasil não possuir fórmulas e subsídios especiais como outros países, não podemos deixar de ressaltar que existem aspectos técnicos que tornam a energia solar fotovoltaica muito atrativa para quem quer investir em sua aplicação. Em comparação à Alemanha, temos cerca de 50% a mais de radiação solar anual. Ora, se lá os projetos andam à toda velocidade, por que não esperar que aqui aconteça a mesma coisa, com muito mais eficiência na conversão solar? Veja na outra página a comparação do perfil de insolação de uma cidade na Alemanha e de uma no Brasil.

Grosso modo, podemos utilizar os seguintes parâmetros básicos para dimensionar um sistema de energia solar fotovoltaica conectado à rede elétrica:



Indicação do mostrador do inversor com o equivalente de CO₂ evitado



Indicação do mostrador do inversor com a energia poupada em um mês

informativo técnico

Perfil de Insolação Brasil x Alemanha

INFORMAÇÕES SOBRE INSOLAÇÃO

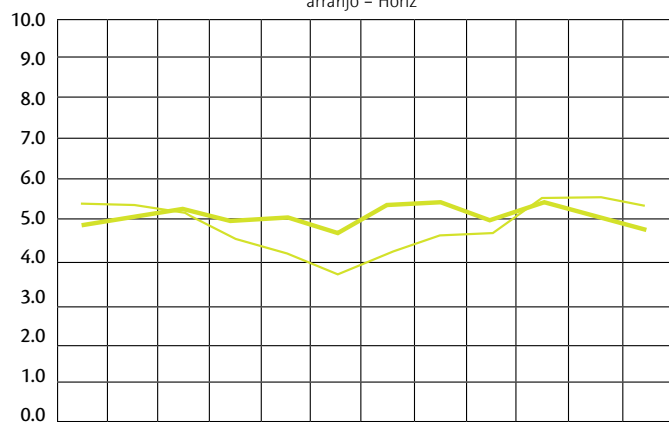
Mês	Insolação Horizontal (kWh/m²/dia)	Temperatura Diária (°C)	Fator Claridade (KT_bar)	Fator Inclinação	Arranjo da Insolação (KWh/m²/dia)
Jan	5.42	25.0	0.47	0.90	4.90
Fev	5.44	25.0	0.49	0.94	5.13
Mar	5.25	25.0	0.53	1.01	5.31
Abr	4.58	25.0	0.54	1.10	5.05
Mai	4.22	25.0	0.60	1.21	5.12
Jun	3.69	25.0	0.58	1.28	4.73
Jul	4.22	25.0	0.64	1.28	5.42
Ago	4.67	25.0	0.61	1.17	5.46
Set	4.78	25.0	0.52	1.05	5.03
Out	5.61	25.0	0.54	0.97	5.45
Nov	5.61	25.0	0.50	0.92	5.15
Dez	5.39	25.0	0.46	0.90	4.83
Mínimo:				4.73	
Média:				5.13	

INFORMAÇÕES SOBRE INSOLAÇÃO

Mês	Insolação Horizontal (kWh/m²/dia)	Temperatura Diária (°C)	Fator Claridade (KT_bar)	Fator Inclinação	Arranjo da Insolação (KWh/m²/dia)
Jan	0.66	25.0	0.24	1.29	0.85
Fev	1.30	25.0	0.31	1.29	1.67
Mar	2.96	25.0	0.46	1.23	3.63
Abr	3.64	25.0	0.41	1.08	3.91
Mai	4.74	25.0	0.45	1.01	4.81
Jun	5.68	25.0	0.50	0.99	5.62
Jul	5.25	25.0	0.47	1.00	5.24
Ago	4.67	25.0	0.45	1.05	4.90
Set	3.58	25.0	0.47	1.16	4.14
Out	2.14	25.0	0.41	1.32	2.83
Nov	0.84	25.0	0.25	1.26	1.06
Dez	0.74	25.0	0.32	1.56	1.15
Mínimo:				0.85	
Média:				3.32	

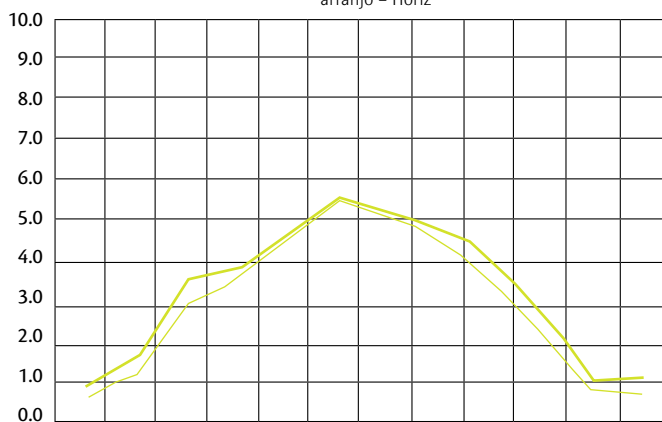
Insolação Horizontal

arranjo - Horiz



Insolação Horizontal

arranjo - Horiz



Número de horas de sol médio por ano	2.000 horas
Geração média de energia por Wp instalado	2.000Wh
Valor economizado pela energia autogerada (*)	R\$0,44/kWh
Potência instalada por unidade de área (**)	110Wp
Custo do módulo solar instalado por unidade de área (***)	R\$3.000,00/m2

(*) Supondo tarifa residencial Eletropaulo referente a Abril de 2006, com impostos inclusos

(**) Supondo módulo de tecnologia cristalina

(***) Incluindo todos os componentes: módulo solar + inversor + acessórios de montagem

Wp: unidade de potência utilizada para módulos solares