

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Análise do suprimento de frota de veículos elétricos por usina solar fotovoltaica de 1 MW_p*

Karina M. Strangueto

Aluna de doutorado no Programa de Planejamento de Sistemas Energéticos da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas.
E-mail: karina.kms@gmail.com

Ennio P. da Silva

Professor do Instituto de Física Gleb Wataghin e chefe do Laboratório de Hidrogênio da Universidade Estadual de Campinas.
E-mail: lh2ennio@ifi.unicamp.br



Nas últimas décadas, as emissões de gases de efeito estufa pelo homem têm sido objeto de um enorme número de estudos e de debates internacionais, sendo hoje um tema presente em todos os meios de comunicação.

Portanto, são de conhecimento geral as consequências dessas emissões, mas a existência de novas tecnologias que não emitem, ou emitem menor quantidade desses gases, ainda não está nesse mesmo estágio de conhecimento pela população. Dentre as tecnologias que estão sendo adotadas para uma geração de energia com um menor impacto para o meio ambiente está a tecnologia das células fotovoltaicas, à qual este artigo estará voltado.

As ideias iniciais dessa tecnologia apareceram ainda no século XIX e foram sendo desenvolvidas com o passar dos anos. Como a energia gerada com essa tecnologia tinha um custo elevado comparativamente a outras fontes, ela acabou destinada a usos específicos. Mais recentemente, no final do século XX e início do século XXI, devido às preocupações de fundo ambiental, essa tecnologia voltou a ser largamente estudada, desenvolvida e difundida.

No Brasil, essa tecnologia já é aplicada e está gerando energia. Segundo a Aneel (BIG), o Brasil conta com oitenta e sete usinas foto-



www.antp.org.br

voltaicas instaladas que, juntas, têm um potencial de 6.208,58 kW_p, sendo a usina Tanquinho a segunda maior em potência fiscalizada do Brasil, e a maior do Estado de São Paulo, com 1.082 kW_p, representando mais de 17,4% desse tipo de produção no país.

O acionamento das termoeletricas emergenciais entre 2013 e 2014 mostra o quanto é necessário incrementar a produção de energia elétrica no país, principalmente quando se leva em consideração que novas tecnologias que consomem energia elétrica começam a chegar ao Brasil, como a tecnologia dos veículos elétricos.

A tecnologia fotovoltaica está baseada na conversão da energia luminosa proveniente do Sol em energia elétrica através do efeito fotovoltaico, sendo a eletricidade produzida também conhecida como energia solar fotovoltaica. O termo efeito fotovoltaico foi utilizado pela primeira vez em 1890 e deriva do grego (*photo* que em grego é luz e *volt*, em homenagem a Alessandro Volta, pioneiro no estudo da eletricidade), mas, esse efeito já havia sido descoberto por Edmond Becquerel anteriormente, em 1839 (DOE/EERE).

Em 1954, os laboratórios Bell produziram a primeira célula solar de silício que rapidamente atraiu o interesse do programa espacial americano devido a sua vantajosa relação entre potência e unidade de peso (Shayani, 2006).

Por ter seus custos mais elevados em relação às fontes convencionais de eletricidade, inicialmente o desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica apoiou-se na busca, por empresas do setor de telecomunicações, de fontes de energia para sistemas instalados em localidades remotas. O segundo agente impulsionador foi o desenvolvimento científico aeroespacial realizado entre as décadas de 50 e 70 do século XX, que ficou conhecido como corrida espacial. A célula solar era, e continua sendo, o meio mais adequado (menor custo e peso) para fornecer a quantidade de eletricidade necessária ao suprimento dos satélites e para longos períodos de permanência no espaço.

A crise energética dos anos 1970 renovou e ampliou o interesse em aplicações terrestres. Porém, para tornar economicamente viável essa forma de conversão de energia, seria necessário, naquele momento, reduzir em até 100 vezes o custo de produção das células solares em relação ao daquelas células usadas em programas espaciais (Creserb, 2006).

Apesar dessa necessidade de redução de custo, a utilização da energia solar fotovoltaica se torna cada vez mais interessante, pois houve: grandes evoluções na eficiência; redução dos custos de fabricação; ganhos de escala; incentivos e regulamentações, (como a publicação

* Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica das empresas CPFL Paulista, CPFL Piratininga, CPFL Jaguari, CPFL Mococa, CPFL Santa Cruz, CPFL Leste paulista, CPFL Sul paulista, RGE, Foz do Chapecó, Enercan, Baesa, Ceran, Epasa e CPFL Renováveis que, através do Programa de P&D regulado pela Aneel, projeto PD-2937-0045/2011 - Inserção técnico-comercial de geração solar fotovoltaica na rede da CPFL - diversificando a matriz energética brasileira, financiou esse trabalho. Agradeço ao meu orientador, ao amigo Davi e ao João Camargo pela ajuda no projeto e também a todas essas instituições que permitiram o desenvolvimento deste trabalho.

da RN 482/12, que trata da mini e microgeração no Brasil); redução da oferta de algumas fontes de energia primária convencionais; e busca por uma maior segurança (independência) no suprimento energético em todo o mundo.

DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Geração de energia com painéis fotovoltaicos

O Sol fornece anualmente para o topo da atmosfera terrestre aproximadamente $5,51 \times 10^{24}$ J, ou $1,53 \times 10^{18}$ kWh. Para uma melhor visualização da dimensão desse valor, em 2008, o consumo mundial de energia foi de $504,7 \times 10^{15}$ Btu (DOE/EIA, 2011), o que equivale a aproximadamente $5,32 \times 10^{20}$ J ou $1,48 \times 10^{14}$ kWh, ou seja, todo o consumo energético anual da humanidade é de apenas 0,0097% do total fornecido anualmente pelo Sol.

Quando a radiação solar chega à Terra, ela interage com a atmosfera, onde é refletida, refratada e absorvida. A fração refletida volta ao espaço interestelar; uma parte da radiação refratada entra na atmosfera e é absorvida pelos elementos que a constituem e outra parte é espalhada pelo material particulado em suspensão (radiação difusa). A fração da radiação que não foi refletida, absorvida ou espalhada pela atmosfera atinge o solo terrestre (radiação direta), podendo ser absorvida ou refletida (albedo) (Oliveira, 1997).

Segundo Strangueto (2012), a partir da radiação incidente total (H_T) no local, na inclinação e intervalo de tempo desejado, assim como as características dos painéis e suas eficiências (η), pode-se determinar a energia total (ou densidade de energia total, em Wh.m^{-2}) média produzida para um ano.

Pode-se estimar a quantidade de energia elétrica gerada por um dado sistema fotovoltaico através da relação mostrada na equação 1.

$$E_{Fot} = \eta \cdot A \cdot H_T \quad (1)$$

onde A (m^2) é a área realmente ocupada pelo material semicondutor (Furlan, 2008).

A partir da equação 1, pode-se efetuar uma divisão pelo tempo, em ambos os lados da equação, e deduzir a potência fotovoltaica dada por determinado painel, mostrado em (2).

$$P_{Fot} = \eta \cdot A \cdot I_T \quad (2)$$

onde η é a eficiência de conversão do painel fotovoltaico, A (m^2) é a área realmente ocupada pelo material semicondutor e I_T (W.m^{-2}) é a incidência da radiação total na região analisada.



www.antp.org.br

O valor da área ocupada pelo material semicondutor (A) dificilmente é encontrada nos manuais de especificações técnicas dos equipamentos, mas é constante para cada modelo de painel. O valor da eficiência (η) é definido a partir dos valores padrão de teste e também é um valor característico de um painel. Desconsiderando outras perdas que possam ocorrer na utilização desse painel, pode-se observar que a multiplicação entre os fatores A e η deve ser um valor constante.

Dessa forma:

$$A \cdot \eta = \frac{P_{Fot}}{I_T} \quad (3)$$

Utilizando a equação 3, pode-se calcular o valor correspondente a essa multiplicação de $A \cdot \eta$ utilizando-se para os cálculos os valores padrões de teste do painel, já que os valores da radiação e da energia produzida são informados nos manuais de especificações técnicas do equipamento. Então, com esse valor calcula-se a energia fotovoltaica total que será gerada pelo painel no local de interesse desse trabalho, já que os valores da multiplicação e da radiação solar no local são conhecidos (Strangueto, 2012).

Para calcular o valor da energia gerada a partir dos painéis fotovoltaicos, são necessários estudos sobre a irradiação no local analisado e as características específicas de cada projeto como: o painel a ser utilizado, o número de painéis necessários, o inversor a ser instalado e o armazenamento em baterias ou não.

Para esse estudo serão utilizados os dados de irradiação solar para a cidade de Campinas-SP, já que a usina fotovoltaica analisada se encontra nesse município.

Radiação em Campinas

Das diversas fontes disponíveis de dados de irradiação solar para esse município, foram analisados os: valores observados pelo Creserb (2006) assim como realizado por Strangueto (2012); dados fornecidos pelo Levantamento do Potencial de Energia Solar Paulista (Gesp); dados obtidos por Lopes (2013) e os dados reais de produção da planta solar fotovoltaica.

Na tabela 1, podem ser observados os dados obtidos no Creserb (SunData).

Tabela 1
Radiação média anual para o município de Campinas-SP

Município	Campinas - SP
Latitude	22,905555° Sul
Longitude	47,060833° Oeste
Distância	0,0 km

Continua

Tabela 1 (continuação)

	Ângulo	Plano horizontal	Ângulo igual a latitude	Maior média anual	Maior mínimo mensal
	Inclinação	0° N	23° N	22° N	26° N
Radiação diária média mensal (kWh.m ⁻² .dia ⁻¹)	Jan	5,33	4,83	4,87	4,73
	Fev	5,56	5,30	5,33	5,23
	Mar	5,22	5,38	5,38	5,35
	Abr	4,53	5,14	5,13	5,18
	Mai	4,06	5,08	5,05	5,17
	Jun	3,56	4,65	4,62	4,75
	Jul	4,19	5,46	5,42	5,58
	Ago	4,58	5,45	5,43	5,51
	Set	4,75	5,07	5,06	5,06
	Out	5,58	5,45	5,47	5,39
	Nov	5,86	5,36	5,39	5,25
	Dez	5,53	4,94	4,97	4,83
	Média	4,90	5,18	5,18	5,17
Delta	2,30	0,81	0,85	0,85	

Fonte: Site do Creserb.

Observa-se que o valor fornecido pela tabela 1 para a média anual no plano horizontal é de 4,90 kWh.m⁻².dia⁻¹ (17,64 MJ.m⁻².dia⁻¹), podendo-se notar que, na existência de inclinação entre 22° e 23° (latitude de Campinas-SP), pode-se maximizar esse valor para 5,18 kWh.m⁻².dia⁻¹ (18,65 MJ.m⁻².dia⁻¹).

Os dados trazidos pelo Levantamento do Potencial de Energia Solar Paulista (Gesp) não trazem a informação se, nos dados obtidos para a radiação em Campinas, foi considerada a inclinação da localização, chegando a média anual de 5,388 kWh.m⁻².dia⁻¹ (19,40 MJ.m⁻².dia⁻¹).

Tabela 2
Radiação média anual e por estação

Radiação incidente (kWh.m ⁻² .dia ⁻¹)	Município: Campinas
Anual	5,39
Primavera	6,35
Verão	6,15
Outono	4,40
Inverno	4,65

Fonte: Levantamento do Potencial de Energia Solar Paulista (Gesp).

Oliveira (1997), em seu trabalho, apresentou os valores finais calculados pelo programa PVsyst para a usina Tanquinho, considerando as três áreas distintas de painéis solares: área 1 com 20° de inclinação, área 2 com 12° de inclinação e área 3 com 25° de inclinação; albedo 0,20; e



os dados do satélite Synthetic-Nasa-SSE satellite data, 1983-2005. Os valores retornados pelo programa serão discutidos nos resultados.

Os dados reais de produção de energia elétrica da usina Tanquinho, fornecidos pela CPFL, foram analisados, chegando-se aos valores reais da produção para cada mês, e o valor total produzido no ano, mostrados na tabela 3.

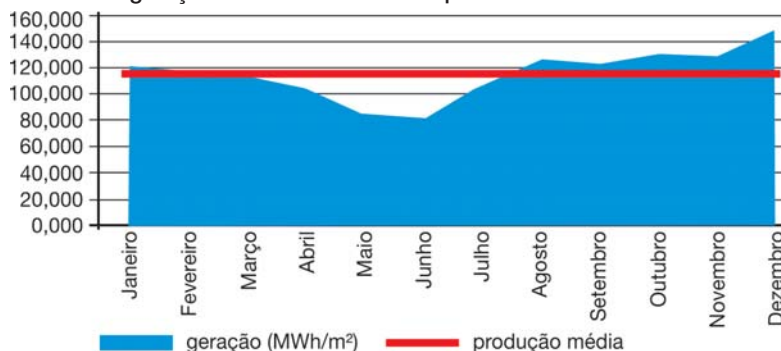
Tabela 3
Dados mensais reais de produção na estação de Tanquinho

Mês	Geração (MWh/m ²)
Janeiro	122,80
Fevereiro	116,90
Março	112,67
Abril	104,68
Mai	84,99
Junho	81,25
Julho	107,25
Agosto	127,40
Setembro	123,25
Outubro	130,38
Novembro	128,91
Dezembro	149,26
Média mensal	115,81
Total	1.389,74

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados fornecidos pela CPFL.

Para a média anual, obtida da produção mensal, observa-se o valor de 115,81 MWh.m⁻².mês⁻¹ (416,92 GJ.m⁻².mês⁻¹), como também pode ser observado na figura 1.

Figura 1
Gráfico da geração mensal na usina Tanquinho



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados fornecidos pela CPFL.

Características da usina Tanquinho

Segundo Oliveira (1997), a usina Tanquinho está dividida em três diferentes áreas que utilizam diferenciados painéis fotovoltaicos, de diversas tecnologias e com inclinações de 20°, 12° e 25°, respectivamente. As características de cada área estão apresentadas na tabela 4.

Tabela 4
Características da usina Tanquinho

Área	Modelo dos painéis utilizados	Potência do painel (W _p)	Nº de painéis	Inversor utilizado	Eficiência do inversor
1	Yingli Solar - YL280P-35b	280	1.782	Ingecon Sun 500 TL U X275	98,5%
2	DuPont Apollo - DA142-C1	142	3.600	IG Plus 120 V-3	95,9%
3	Yingli Solar - YL250P-32b	250	60	Sunny Mini	96,1%
	First Solar - FS-377	77,5	194	Central 5000A-11	
	DuPont Apollo - DA142-C1	142	106		
	SoloPower - 260 W SP3L	260	58		
	SunPower - SPR-425EWHT-D	425	35		

Fonte: Elaboração própria a partir de Oliveira, 1997.

Veículos elétricos

A história dos VE começa em meados do século XIX. De acordo com Baran e Legey (2011), ela está intimamente relacionada à história das baterias. Em 1859, o belga Gaston Planté realizou a demonstração da primeira bateria de chumbo-ácido. Esse equipamento veio a ser utilizado por diversos veículos elétricos desenvolvidos a partir do início da década de 1880 na França, EUA e Reino Unido. Em 1885, Benz construiu o primeiro motor de combustão interna. Em 1901, Thomas Edison, interessado no potencial dos veículos elétricos, desenvolveu a bateria níquel-ferro, com capacidade de armazenamento 40% maior que a bateria de chumbo, só que a um custo de produção muito mais elevado.

Ainda segundo Hoyer, além das baterias, duas tecnologias desenvolvidas entre 1890 e 1900 contribuíram para melhorar o desempenho dos carros elétricos: a frenagem regenerativa, um equipamento capaz de transformar a energia cinética do automóvel em energia elétrica durante uma frenagem, e o sistema híbrido a gasolina e eletricidade.

No início do século XX, três tecnologias de propulsão concorriam no mercado de automóveis: elétrica, a vapor e a gasolina.

A partir de 1912, nos EUA, a trajetória dos VE seguiu em forte queda. Entre os principais fatores apontados para esse declínio a partir de então, podem-se citar (Baran e Legey, 2011):

- O sistema de produção em série de automóveis, desenvolvido por Henry Ford, que barateou o custo dos carros a gasolina;
- A invenção da partida elétrica em 1912, que facilitou o manuseio dos carros a combustão interna;
- A demanda por veículos capazes de percorrer longas distâncias sem abastecimento;
- As descobertas de petróleo no Texas, que reduziram o preço da gasolina.

Somente após a década de 1960, quando a opinião pública começou a se voltar para os problemas ambientais, os automóveis elétricos voltaram a atrair a atenção dos grandes fabricantes. Naquela época, o chumbo ainda era utilizado como aditivo para a gasolina, não havia filtros nem catalisadores para conter as emissões e o automóvel era considerado uma das principais fontes da poluição atmosférica nas grandes cidades.

A partir dos anos 1970, a questão ambiental passou a fazer parte do debate sobre a geração e o consumo de energia, mas, apesar desses anos terem sido uma época propícia para os veículos elétricos, já que esses combinavam emissão nula de poluentes com a possibilidade de utilizar fontes de energias renováveis, os protótipos desenvolvidos não chegaram às linhas de produção. Houve diversas iniciativas de trazê-los de volta ao mercado no período, mas nem os automóveis elétricos puros nem os híbridos estavam aptos a competir com os automóveis convencionais, que passaram a contar com diversos dispositivos para a redução das emissões, além de se tornarem mais eficientes e dispor de combustíveis mais limpos.

Somente no fim dos anos 1980, as atenções voltaram-se mais uma vez para os veículos elétricos, novamente no intuito de reduzir a poluição nas grandes cidades. O conceito de desenvolvimento sustentável ganhou força, e o foco se concentrou na necessidade de utilização de fontes alternativas de energia e no desenvolvimento de novas tecnologias de transportes.

Em 1990, o Estado da Califórnia implementou suas primeiras normas regulatórias de emissão zero. Em 1992, a Agenda 21 enfatizou a importância dos problemas causados pelo uso extensivo de energia fóssil, bem como a necessidade de redução do consumo de energia nos países desenvolvidos e da busca de uma possível transição para fontes renováveis de energia.



www.antp.org.br

Ainda no ano de 1992, a União Europeia definiu uma política de transportes por meio da expressão “uma estratégia para a mobilidade sustentável”. Nesse contexto, a utilização dos VE era vista como uma das condições mais importantes para a sustentabilidade proposta. Apesar do sucesso dos veículos convencionais em reduzir as emissões de poluentes, a questão do aumento do CO₂ na atmosfera impunha a necessidade de se reduzir a queima de combustíveis fósseis, algo difícil de ser obtido em motores de combustão interna.

O governo norte-americano promulgou, em 2007, o Energy Independence and Security Act, que destinou US\$ 95 milhões anuais, entre os anos de 2008 e 2013, à pesquisa e ao desenvolvimento de um sistema de transporte elétrico e à formação de capital humano especializado em veículos elétricos e na tecnologia PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle).

Em julho de 2009, foi promulgado também nos EUA o American Clean Energy and Security Act 2009, instituindo que a Secretaria de Energia, as agências reguladoras estaduais e todas as distribuidoras de energia não reguladas deveriam apresentar planos para o desenvolvimento de redes inteligentes (*smart grids*) integradas, com suporte à tecnologia PHEV até julho de 2012. Com essa lei, o governo Obama tinha como objetivos principais criar empregos “verdes”, reduzir a dependência do petróleo, amenizar as emissões de gases de efeito estufa e buscar a transição para uma economia baseada em energia limpa (Baran e Legey, 2011).

Segundo o National Renewable Energy Laboratory (NREL, 2010), o veículo elétrico é um dos ramos de desenvolvimento paralelo ao da tecnologia de combustão interna, e o veículo elétrico puro é uma das opções finais da cadeia de desenvolvimento dos meios de transporte. Atualmente, existem diversas marcas e modelos de veículos elétricos; praticamente todos os grandes fabricantes mundiais de veículos possuem suas versões, sendo que várias delas já estão disponíveis em diversos países.

No Brasil, a primeira iniciativa de introduzir os VE no mercado de veículos ocorreu em 1981, com o lançamento do modelo Itaipu I-500 pela empresa Gurgel Motores S.A. Com o fracasso desta iniciativa, somente em 2007, com o início da produção do Fiat Palio Weekend Elétrico pela empresa Itaipu Binacional para as demais empresas de eletricidade parceiras do projeto, é que veículos elétricos voltaram a ser produzidos no país (Poggetto, 2011).

Hoje, várias empresas, principalmente do setor energético, têm seus veículos elétricos para testes. Uma das aquisições mais recentes é o veículo elétrico Zoe da Renault (figura 2). As características técnicas

relacionadas à bateria desse veículo e a sua carga, podem ser observadas no quadro 1.

Figura 2
Veículo elétrico Zoe no momento do abastecimento



Fonte: Renault, 2014.

Quadro 1
Características da bateria e da carga do veículo Zoe

Bateria	Tecnologia	Íons de lítio
	Tensão total (volts)	400
	Número de módulos / células	12 / 192
	Capacidade de energia total embarcada (kWh)	22
	Peso da bateria (kg)	290
Carga	Carregador	Adaptativo, monofásico de 2 a 43 kW
	Tempo de carga	3 kW (Wall-box monofásica 16 A) = 9h; 22 kW (tomada trifásica 32 A) = 1h (80% da bateria carregada); 43 kW (tomada trifásica 63 A) = 30 min (80% da bateria carregada)
	Autonomia geralmente constatada em circulação urbana e suburbana: estação fria/ estação temperada (km)	100/150

Fonte: Renault, 2014.

Logística de abastecimento conectado a rede

Atualmente, com a progressão dos avanços e estudos sobre as tecnologias dos veículos elétricos, sua utilização em meio urbano, principalmente aqueles densamente povoados, apresenta vantagens em relação aos veículos convencionais, dados os problemas ambientais



normalmente encontrados nessas regiões, devidos em grande parte ao setor de transporte.

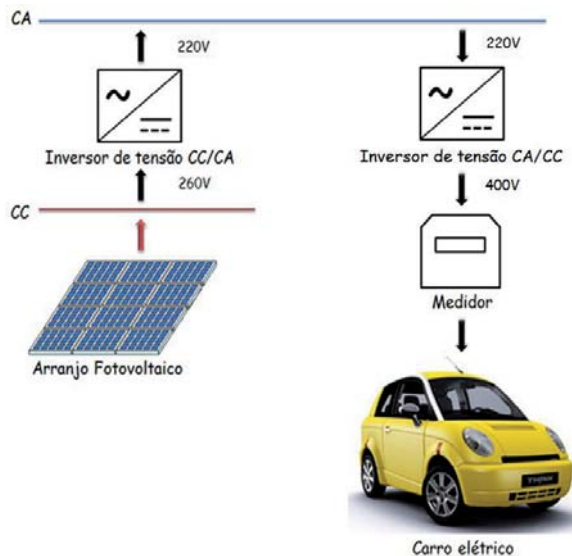
Nas metrópoles e principais cidades de cada estado, a energia elétrica está amplamente distribuída e disponível, sendo muito fácil a conexão à rede dos sistemas fotovoltaicos, servindo esta como um meio de armazenamento da eletricidade produzida e solucionando o problema da intermitência da energia solar.

Também a localização dos pontos de abastecimento dos veículos (eletropostos) é bastante favorecida, podendo ser utilizado qualquer local de maior conveniência, como estações localizadas em: shoppings centers, mercados, estacionamentos etc.

Segundo Strangueto (2012), para a análise desse caso de logística, considerou-se que a usina está conectada à rede e que toda a energia produzida pode ser nela inserida para posterior utilização. Dessa forma, não haveria desperdício de energia gerada, apenas as perdas de eficiências nos aparelhos seriam inevitáveis, como as perdas nos inversores, tanto na inclusão da energia gerada na rede, quanto no momento em que a energia da rede é utilizada no abastecimento.

O arranjo para esse modelo de logística de abastecimento pode ser observado na figura 3.

Figura 3
Arranjo de abastecimento veicular conectado à rede



RESULTADOS

Cálculo da produção de energia solar fotovoltaica

Para os cálculos de produção, foram considerados os valores de radiação apresentados anteriormente, na análise da radiação solar em Campinas, e as características descritas na tabela 4.

Com esses cálculos, chegou-se aos valores da tabela 5, considerando primeiramente os dados de Creserb (SunData) e aproximando o valor de 5,04 kWh.m⁻².dia⁻¹ (18,14 MJ.m⁻².dia⁻¹) para a inclinação de 12°.

Tabela 5
Produção diária e anual da usina considerada (dados Creserb)

Área	Produto A.η	Radiação (kWh.m ⁻² .dia ⁻¹)	Produção diária (kWh)	Produção anual (MWh)
1	0,28	5,18	2.584,61	943,38
2	0,14	5,04	2.540,16	927,16
3	0,25	5,18	77,70	28,36
	0,08	5,18	80,39	29,34
	0,14	5,18	76,87	28,06
	0,26	5,18	78,11	28,51
	0,43	5,18	77,96	28,46
Total			5.515,80	2.013,27

Fonte: Elaboração própria.

Observando, então, os dados fornecidos pelo Levantamento do Potencial de Energia Solar Paulista (Gesp) e realizando os cálculos análogos ao caso anterior, chegou-se aos valores da tabela 6.

Tabela 6
Produção diária e anual da usina considerada (dados Gesp)

Área	Produto A.η	Radiação (kWh.m ⁻² .dia ⁻¹)	Produção diária (kWh)	Produção anual (MWh)
1	0,28	5,39	2.689,40	981,63
2	0,14	5,39	2.716,56	991,54
3	0,25	5,39	80,85	29,51
	0,08	5,39	83,65	30,53
	0,14	5,39	79,99	29,20
	0,26	5,39	81,28	29,67
	0,43	5,39	81,11	29,60
Total			5.812,84	2.121,68

Fonte: Elaboração própria.



Considerando que parte dessa energia gerada é dissipada no inversor e observando as eficiências desses equipamentos apontadas na tabela 4, a energia que chegaria à rede tem os valores apontados na tabela 7, para os dois casos estudados.

Tabela 7
Produção anual considerando perdas no inversor

Área	Produção anual (MWh) (Cresesb)	Produção anual (MWh) (Gesp)
1	929,23	966,91
2	889,15	950,89
3	27,25	28,36
	28,20	29,34
	26,97	28,06
	27,40	28,51
	27,35	28,45
Total	1.955,55	2.060,52

Fonte: Elaboração própria.

Já Oliveira (1997), com o uso do PVsyst para esse sistema, obteve os resultados mostrados na tabela 8, já levando em consideração todos os aspectos analisados para os cálculos dos demais resultados realizados.

Tabela 8
Valor anual de produção obtido por Lopes (2013)

Potência (MW _p)	1.085
Energia elétrica estimada (MWh/ano)	1.407
Área ocupada pelos módulos fotovoltaicos (m ²)	9.302
Média da relação do desempenho do sistema (%)	80,4
Média de horas de insolação equivalente (hora/dia)	4,4

Fonte: Lopes (2013).

Cálculo da frota potencialmente atendida pela usina

Considerando-se uma frota de veículos Zoe, da Renault, para uma carga completa da bateria de cada veículo são necessários 22 kWh (79,2 MJ) de energia, como visto na tabela 5. Considerando, ainda, que é necessário outro inversor para utilizar a energia da rede para o abastecimento veicular, e tomando a eficiência de 95,9% para esse equipamento, já que esta é a eficiência mínima dos inversores utilizados na estação, a carga necessária para o abastecimento de um veículo elétrico do modelo estudado é 22,94 kWh (82,58 MJ).

Com esse valor e supondo uma carga por veículo por dia, puderam-se obter os valores de frota mostrados na tabela 9.

Tabela 9
Cálculo do número de veículos elétricos potencialmente atendidos

Item	Valor Cresesb	Valor (Gesp)	Valor (Lopes, 2013)	Valor experimental
Energia produzida anualmente (MWh)	1.955,55	2.060,52	1.407,00	1.389,74
Média de produção mensal (MWh)	162,96	171,71	117,25	115,81
Energia diária disponível (kWh)	5.432,00	5.723,67	3.908,33	3.860,33
Nº de VE atendidos	236	249	170	168

Fonte: Elaboração própria.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Observando-se os resultados obtidos, pode-se notar uma maior aproximação dos dados obtidos por Lopes (2013) para a geração solar fotovoltaica com os dados experimentais, comparativamente com as outras fontes de dados de radiação solar incidente.

Essa maior aproximação pode ser devida a maiores especificidades consideradas pelo programa PVsyst, já que ele realiza uma análise detalhada para os dados inseridos, como os dados específicos de radiação para cada inclinação, quais painéis e inversores foram utilizados, entre outros.

Com relação à frota que pode ser atendida pela estação considerada, o valor calculado foi de 168 veículos, considerando uma carga diária. Como os veículos elétricos são pensados para utilização urbana, pode-se considerar que esses rodariam menos de 50 km no dia. Como a autonomia do veículo é de 100 a 150 quilômetros, dependendo da estação, poder-se-ia pensar em abastecer os veículos a cada três dias, o que triplicaria a frota possivelmente atendida, fazendo com que esta chegue a, aproximadamente, 500 veículos. Dessa forma, empresas do setor energético poderiam ampliar suas frotas, tendo segurança e certeza de poder atender a todos os seus veículos.

CONCLUSÕES

Com esse trabalho, pode-se concluir que os valores obtidos a partir do programa PVsyst são os que mais se aproximam aos valores de produção de energia solar fotovoltaica reais. Além disso, pode-se observar a frota que poderia ser atendida com a produção de energia fotovoltaica conectada a rede, chegando-se ao número de 500 veículos.



Com isso, nota-se a multiplicidade de funções de uma usina solar fotovoltaica, que pode atender com sua energia elétrica, além de residências e indústrias, veículos elétricos que são alternativas eficientes para um futuro sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Periódicos:

BARAN, R. e LEGEY, L. F. L. Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil. *BNDES Setorial*, vol. 33, abril 2011, p. 207-224.

Livros:

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. *Energia solar princípios e aplicações*, vol. I. Rio de Janeiro: Creserb, 2006, 28 p.

Relatórios técnicos:

[ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Banco de Informações sobre Geração – BIG. Brasília: Aneel [Online]. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/GeracaoTipoFase.asp?tipo=12&fase=3>.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Potencial energético solar – SunData. Rio de Janeiro: Cresesb [Online]. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/sundata/index.php#sundata>.

POGGETTO, P. D. Brasil tem 72 automóveis elétricos emplacados em quatro anos. São Paulo: G1 [Online] Disponível em: <http://g1.globo.com/carros/noticia/2011/07/brasil-tem-71-automoveis-eletricos-emplacados-em-quatro-anos.html>.

DOE/EERE. Photovoltaic technology basics. Washington, DC: U.S. Department of Energy Efficiency & Renewable Energy [Online] Disponível em: <http://energy.gov/eere/energybasics/articles/photovoltaic-technology-basics>.

DOE/EIA. International Energy Outlook 2011. Washington, DC: U.S. Energy Information Administration [Online] Disponível em: <http://www.eia.gov/404r.cfm?v=http://www.eia.gov/ieo/pdf/0484%282011%29.pdf>.

DOE/NREL. 2010 Renewable energy data book. Denver, CO: National Renewable Energy Laboratory [Online] Disponível: <http://www.nrel.gov/analysis/pdfs/51680.pdf>.

GESP – Governo do Estado de São Paulo. Levantamento do Potencial de Energia Solar Paulista. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo [Online] Disponível em: <http://www.energia.sp.gov.br/portal.php/atlas-solar>.

RENAULT. Catálogo técnico veículo ZOE – 2014. Renault, recebido através de pedido pelo site da fabricante.

Dissertações e teses:

FURLAN, A. L. *Análise comparativa de sistemas de armazenamento de energia elétrica fotovoltaica por meio de baterias e hidrogênio em localidades isoladas da região Amazônica*. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

LOPES, G. D. *Análise de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no âmbito do mecanismo de desenvolvimento limpo: estudo de caso dos projetos da Chamada Estratégica n°13 da Aneel*. Tese de doutorado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.



www.antp.org.br

OLIVEIRA, S. H. F. *Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos autônomos: ênfase na eletrificação de residências de baixo consumo*. Dissertação de mestrado, Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

SHAYANI, R. A. *Medição do rendimento global de um sistema fotovoltaico isolado utilizando módulos de 32 células*. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

STRANGUETO, K. M. *Usina fotovoltaica de 1 MW_p para suprimento de veículos elétricos: estimativa da frota atendida, logística de abastecimento e emissões de CO₂ evitadas*. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.