

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA  
TESE DEFENDIDA POR *Karina Maretti*  
*Strangueto* E APROVADA  
PELA COMISSÃO JULGADORA EM *24, 02, 2012*

*[Assinatura]*  
ORIENTADOR

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CÂMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

Karina Maretti Strangueto

**Usina Fotovoltaica de 1 MW<sub>p</sub> para Suprimento  
de Veículos Elétricos: Estimativa da Frota  
Atendida, Logística de Abastecimento e  
Emissões de CO<sub>2</sub> Evitadas.**

Karina Marette Strangueto

# **Usina Fotovoltaica de 1 MW<sub>p</sub> para Suprimento de Veículos Elétricos: Estimativa da Frota Atendida, Logística de Abastecimento e Emissões de CO<sub>2</sub> Evitadas.**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos.

Área de Concentração:

Orientador: Prof. Dr. Ennio Peres da Silva.

Campinas  
2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

St81u Strangueto, Karina Maretti  
Usina fotovoltaica de 1 MWp para suprimento de  
veículos elétricos: estimativa da frota atendida, logística  
de abastecimento e emissões de CO2 evitadas / Karina  
Maretti Strangueto. --Campinas, SP: [s.n.], 2012.

Orientador: Ennio Peres da Silva.  
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Geração de energia fotovoltaica. 2. Veículos  
elétricos. I. Silva, Ennio Peres da. II. Universidade  
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia  
Mecânica. III. Título.

Título em Inglês: Photovoltaic power plant of 1 Mwp for supply of electric  
vehicles: estimated served fleet, logistics supply and CO2  
emissions avoided

Palavras-chave em Inglês: Photovoltaic power generation, Electric vehicles  
Área de concentração: --

Titulação: Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos

Banca examinadora: Luiz Antonio Rossi, João Carlos Camargo

Data da defesa: 24-02-2012

Programa de Pós Graduação: Engenharia Mecânica

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA  
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS**

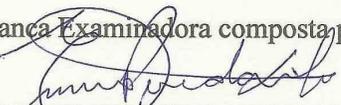
**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO**

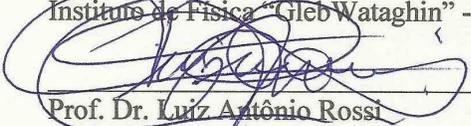
**Usina Fotovoltaica de 1 MW<sub>p</sub> para Suprimento  
de Veículos Elétricos: Estimativa da Frota  
Atendida, Logística de Abastecimento e  
Emissões de CO<sub>2</sub> Evitadas.**

**Autor: Karina Maretti Strangueto**

**Orientador: Prof. Dr. Ennio Peres da Silva**

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Ennio Peres da Silva, Presidente  
Instituto de Física "Gleb Wataghin" - UNICAMP

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Luiz Antônio Rossi  
Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. João Carlos Camargo  
Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético – UNICAMP

## **Dedicatória**

Dedico esse trabalho à minha querida família, que tanto me apoiou e incentivou.

## **Agradecimentos**

Este trabalho não poderia ser terminado sem a ajuda de diversas pessoas às quais presto minha homenagem:

Ao Prof. Ennio Peres da Silva pela orientação, confiança e discussões tão enriquecedoras.

Ao pessoal do Laboratório de Hidrogênio, amigos indispensáveis para todas as horas.

À minha família e amigos pelo apoio e incentivo em todos os momentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo suporte financeiro durante parte dessa jornada.

À CPFL Energia, cujo projeto elaborado para a Chamada 13 da ANEEL serviu de inspiração para o tema deste trabalho.

E, a todos os professores e colegas do departamento, que ajudaram de forma direta e indireta na conclusão deste trabalho.

*“Nada na vida deve ser temido, somente compreendido.  
Agora é hora de compreender mais, para temer menos.”*  
**Marie Curie**

## Resumo:

Desde a Revolução Industrial, as atividades desenvolvidas pelo homem têm provocado um crescimento maciço das emissões de gases de efeito estufa e poluentes para a atmosfera da Terra, devido, entre outros fatores, à constante e crescente necessidade de energia. Um grande esforço vem sendo realizado nas últimas décadas para a redução dessas emissões, com especial atenção ao setor de transporte, principalmente pelos efeitos provocados nas populações das grandes cidades devido à concentração de veículos em espaços reduzidos. Neste caso, busca-se aumentar: a eficiência dos veículos convencionais, o uso de biocombustíveis e de veículos híbridos, e, mais recentemente, o uso de veículos elétricos (VEs). Com o avanço da utilização de veículos elétricos como meio de transporte “limpo”, são necessários maiores estudos para avaliar a quantidade de energia necessária para o abastecimento das frotas destes veículos e, também, uma análise da quantidade evitada de emissões de gases de efeito estufa (gás carbônico) comparativamente aos modelos à combustão interna. Assim, esse trabalho teve como objetivo desenvolver esses temas. A geração de energia através painéis fotovoltaicos foi a escolha para essa dissertação, onde foi realizado um estudo de caso para uma usina de 1 MW<sub>P</sub>, determinando a quantidade de energia efetivamente produzida, considerando a usina localizada em Campinas, São Paulo. Dessa forma, pôde-se estimar que a frota de veículos que poderia ser abastecida com a energia gerada por essa usina teria um valor entre 955 e 1.118 veículos, dependendo de diferentes logísticas de abastecimento consideradas. Com a frota estimada, também foi possível calcular que emissões de até 2.004 toneladas anuais de CO<sub>2</sub> poderiam ser evitadas pela substituição dos veículos convencionais pelos por esta frota de VEs.

*Palavras-chave:* Energia Solar Fotovoltaica, Veículos Elétricos, Emissão de Gás Carbônico.

## Abstract

Since the Industrial Revolution, human activities have been causing a massive growth in greenhouse gases and pollutants emissions to the Earth's atmosphere, due to, between other factors, the continuing and growing need for energy. A great effort has been made in recent decades to reduce these emissions, with special attention to the transport sector, mainly caused by the effects on populations of large cities due to the concentration of vehicles in confined spaces. In this case, seeks to improve: the efficiency of conventional vehicles, the use of biofuels and hybrid vehicles, and, more recently, the use of electric vehicles (EVs). With advancing of Electric Vehicle use as a means of "green" transport, more studies are needed to assess the amount of energy required to supply fleets of this kind of vehicles and, also, an analysis of the amount of avoided emissions of greenhouse gases (carbon dioxide) compared with internal combustion models. Thus, this study aimed to develop these themes. The generation of energy through photovoltaic panels was the choice for this dissertation, which was conducted a case study for a generating station of 1 MW<sub>P</sub>, determining the amount of energy effectively produced, considering the generating station located in Campinas, Sao Paulo. Thus, it was estimated that the fleet of vehicles that could be supplied with energy generated by this plant would have a value between 955 and 1.118 vehicles, depending on different logistical supply considered. With the fleet estimated, it was also possible to calculate that 2.004 tons of CO<sub>2</sub> could be avoided by the replacement of conventional vehicles by EVs.

*Key Words:* Photovoltaic Solar Energy, Electric Vehicles, Carbon Dioxide Emissions.

## Lista de Ilustrações

Figura 2.1.1: Potencial Solar da cidade de Campinas-SP	5
Figura 2.1.2: Potencial Solar da cidade de Campinas-SP	6
Figura 2.1.3: Potencial Solar da cidade de Campinas-SP	7
Figura 2.2.1: a) célula de monocristal de silício; b) célula de policristal de silício	12
Figura 2.2.2: Evolução das eficiências das diferentes tecnologias das células fotovoltaicas	16
Figura 2.2.3: Curva característica I x V	18
Figura 2.2.4: Curva típica de Pot x V	19
Figura 2.2.5: Parâmetros de potência máxima	19
Figura 2.2.6: Efeito causado pela variação de intensidade luminosa na célula	20
Figura 2.2.7: Efeito causado pela temperatura na célula	21
Figura 2.2.8: Os 11 maiores fabricantes mundiais de células solares	23
Figura 2.2.9: Distribuição do mercado mundial de células solares por tecnologia	23
Figura 2.3.1: Visão do transporte futuro	29
Figura 2.3.2: Veículos elétricos emplacados no Brasil de 2007 a 2011	31
Figura 3.1: Fluxograma da metodologia utilizada	34
Figura 4.3.1: Arranjo de abastecimento veicular conectado à rede	42
Figura 4.4.1: Arranjo de abastecimento veicular isolado sem banco de baterias	44
Figura 4.4.2: Produção média diária de energia produzida na usina, para cada mês, na cidade de Campinas-SP.	45
Figura 4.4.3: Energia diária disponível para o sistema isolado sem banco de baterias, para cada mês do ano.	45
Figura 4.4.4: Excedente energético no sistema isolado sem banco de baterias.	46
Figura 4.5.1: Arranjo de abastecimento veicular isolado com banco de baterias	48

## Lista de Tabelas

Tabela 2.1.1: Irradiação média anual para a cidade de Campinas-SP	8
Tabela 2.1.2: Irradiação média anual para a cidade de Campinas-SP entre 97/98	8
Tabela 2.1.3: Análise dos valores médios obtidos para a irradiação diária de Campinas-SP	8
Tabela 2.2.1: Eficiência dos diferentes tipos de células fotovoltaicas e área necessária para 1 kW <sub>p</sub>	15
Tabela 2.2.2: Os 10 maiores produtores de módulos fotovoltaicos do mundo em 2010	24
Tabela 2.2.3: Empresas produtoras de painéis fotovoltaicos e seus comerciantes no Brasil	25
Tabela 2.3.1: Modelos de veículos puramente elétricos lançados ou com lançamento previsto	30
Tabela 2.4.1: Valores de emissões de gases de efeito estufa para veículos novos	33
Tabela 4.1.1: Valores de energia média diária produzida pela usina na cidade de Campinas-SP	39
Tabela 4.1.2: Custo dos painéis analisados	40
Tabela 4.6.1: Cálculos de emissões de CO <sub>2</sub> anuais evitadas para a maior frota	51
Tabela 4.6.2: Cálculos de emissões de CO <sub>2</sub> anuais evitadas para a menor frota	51

## Lista de Abreviaturas e Siglas

A – área ocupada pelo material semicondutor ( $m^2$ )

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono (kg)

E<sub>fot</sub> – Energia fotovoltaica total (J)

H<sub>T</sub> – radiação incidente ( $Wh.m^{-2}$ )

I – corrente (A)

I<sub>MP</sub> – Corrente de potência máxima (A)

I<sub>SC</sub> – Corrente de curto circuito (A)

I<sub>T</sub> – Incidência da radiação total ( $W.m^{-2}$ )

P<sub>fot</sub> – Potência fotovoltaica total (W)

P<sub>M</sub> – Potência máxima (W)

Pot – Potência (W)

PV – Painel Fotovoltaico

V – tensão (V)

VEs – Veículos Elétricos

V<sub>MP</sub> – Voltagem de potência máxima (V)

V<sub>OC</sub> – Voltagem de circuito aberto (V)

### *Letras latinas*

η – eficiência do painel fotovoltaico

# SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Estrutura da Dissertação	3
2 REVISÃO DA LITERATURA	4
2.1 Energia Solar	4
2.2 Energia Fotovoltaica	9
2.3 Veículos Elétricos	26
2.4 Emissões Veiculares	32
3 METODOLOGIA	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
4.1 Cálculo do número de painéis necessários para uma usina de 1MWp	37
4.2 Cálculo estimado da frota média de VEs	40
4.3 Logística de abastecimento conectado a rede	41
4.4 Logística de abastecimento isolado sem banco de baterias	43
4.5 Logística de abastecimento isolado com banco de baterias	47
4.6 Quantidade de CO <sub>2</sub> evitada	49
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS	52
5.1 Conclusões	52
5.2 Sugestões para próximos trabalhos	53
REFERÊNCIAS	54
ANEXO 1	58
ANEXO 2	63
ANEXO 3	71
ANEXO 4	76

# 1. INTRODUÇÃO

Desde a Revolução Industrial, as atividades desenvolvidas pelo homem têm provocado um crescimento maciço das emissões de gases de efeito estufa e poluentes para a atmosfera da Terra, devido, entre outros fatores, à constante e crescente necessidade de energia.

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 fazem parte da cultura de grande parte da população.

Dentre as tecnologias que são adotadas para uma geração de energia com um menor impacto para o meio ambiente, está a tecnologia das células fotovoltaicas. As idéias 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, principalmente 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 (2011), o Brasil conta com seis Usinas Fotovoltaicas instaladas, que juntas tem uma capacidade instalada de 1.087,44 kW, sendo a maior delas a Usina Tauá, com 1 MW de potência a única comercial.

Para o ano de 2012, são esperados muitos empreendimentos dessa natureza, como: a utilização de energia fotovoltaica no estádio Governador Professor Roberto Santos em Salvador, que está sendo construído para a Copa do Mundo (RE, 2011); a ampliação da capacidade da usina Tauá para 2 MW de potência previsto para o primeiro semestre (MPX, 2011); e a instalação de uma usina de 3 MW em Sete Lagoas, Minas Gerais, por uma parceria firmada entre a Cemig e a empresa Solaria Brasil (EM, 2011).

Um incremento na produção de energia elétrica é necessário, principalmente se for levado em conta a situação de crise no setor elétrico que o Brasil já enfrenta e que novas tecnologias em outros setores começam a chegar ao Brasil. Dentre essas novas tecnologias que estão chegando ao Brasil, se encontra a tecnologia dos Veículos Elétricos (VEs), que utilizam somente energia elétrica para seu funcionamento.

Os VEs foram desenvolvidos anteriormente aos veículos com motores a combustão. Mas, perdeu notoriedade e saiu de circulação e da mídia por vários motivos, voltando a ser muito lembrado e cogitado como uma opção de transporte “limpo” na década de 1970, mas entrou definitivamente em pauta após o apoio dado pelo governo de Barak Obama, presidente dos Estados Unidos da América, ao setor a partir de 2007.

Atualmente, diversas montadoras já têm modelos de veículos puramente elétricos sendo fabricados, e no Brasil, quatro modelos já podem ser encontrados (Fiat Palio Elétrico, Reva i, Th!nk City, Mitsubishi i-Miev), não todos disponíveis a comercialização.

Esse tipo de veículo é pensado, principalmente, para uso nos grandes centros urbanos como forma de evitar a grande quantidade de poluição gerada pelos veículos a combustão interna, mas frotas significativas de VEs nos grandes centros urbanos implicarão em uma profunda adaptação de toda a rede de distribuição de eletricidade, impondo custos a toda a sociedade. A disponibilidade local, mesmo nas residências, de energia solar fotovoltaica, como já demonstrado na Alemanha (Programa Mil Tetos), pode ser uma solução inteligente para esse problema.

Portanto, a associação da energia solar fotovoltaica e VEs apresenta-se como extremamente interessante, devendo ser considerada e analisada no âmbito do planejamento energético de todos os países que hoje se defrontam com os problemas mencionados anteriormente.

No Brasil, ficou muito claro nos últimos anos como o investimento no setor energético é necessário. Se for considerada ainda a possibilidade dessa quantidade de energia elétrica ser muito elevada, por conta do consumo que uma frota de VEs teria, alternativas energéticas, mesmo que mais caras, precisarão ser consideradas. Dessa forma, os estudos nesse campo são amplos e serão cada vez mais necessários nos próximos anos.

## **1.1 Objetivos**

Essa dissertação teve como objetivo geral fazer uma estimativa da frota de VEs que poderiam ser abastecidos com a energia elétrica gerada por uma Usina Fotovoltaica de 1 MW de potência que estivesse instalada na cidade de Campinas, no interior do Estado de São Paulo.

Além disso, são objetivos específicos: estimar a geração de energia elétrica nessa usina, pensar a logística de abastecimento dessa frota e calcular a quantidade de emissões de CO<sub>2</sub> que seriam evitadas ao se utilizar essa frota comparativamente a veículos a combustão interna.

## 1.2 Estrutura da dissertação

Esta dissertação é dividida em cinco capítulos, descritos a seguir:

- Capítulo 1: Introdução, representada por este capítulo.
- Capítulo 2: Revisão Bibliográfica, dividida em três subseções cobrindo os seguintes tópicos:
  - i) a energia solar, descrevendo qual seu potencial na área de interesse do trabalho;
  - ii) a energia fotovoltaica, como fonte geradora de energia elétrica, descrevendo suas principais tecnologias;
  - iii) os veículos elétricos, abordando sua história e sua presença no Brasil.
- Capítulo 3: Método, onde descrição detalhada dos procedimentos seguidos para a realização desse estudo.
- Capítulo 4: Resultados, onde são apresentados os resultados obtidos na realização do método proposto.
- Capítulo 5: Conclusões, onde são apresentadas as conclusões obtidas a partir da análise dos valores obtidos como resultados e sugestões para futuros trabalhos na área.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Nesse capítulo estão apresentadas as revisões realizadas nos temas: energia solar fotovoltaica, células solares, módulos e painéis fotovoltaicos, veículos elétricos e emissões veiculares. Através desta revisão se define os principais conceitos utilizados no trabalho, bem como se delimita seu escopo e se determina os parâmetros e variáveis a serem empregadas.

### 2.1 Energia Solar

O Sol fornece anualmente para o topo da atmosfera terrestre em torno de  $5,51 \times 10^{24}$  J, ou  $1,53 \times 10^{18}$  kWh por ano. 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 constitui 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).

Além disso, a composição espectral da radiação que consegue atravessar a atmosfera varia de acordo com as características da atmosfera local. Portanto, a radiação que chega à superfície terrestre, e conseqüentemente a energia disponível, varia segundo a posição no globo que a radiação incide e as características geográficas e meteorológicas locais. Esta última é aleatória, imprevisível. Para contornar este problema, utilizam-se modelos teórico-estatístico que estimam a interferência da atmosfera na radiação disponível a partir de longas séries históricas de medidas (Oliveira, 1997).

Para o caso específico da cidade de Campinas, SP, pode-se observar na figura abaixo (Figura 2.1.1) (adaptada do Atlas Brasileiro de Energia Solar – Pereira et al, 2006), que a faixa de valores correspondente à média anual de irradiação (exposição à radiação solar) no plano horizontal é de 5,25 kWh.m<sup>2</sup> a 5,60 kWh.m<sup>2</sup>, ou seja, entre 18,90 MJ.m<sup>2</sup> e 20,16 MJ.m<sup>2</sup>.

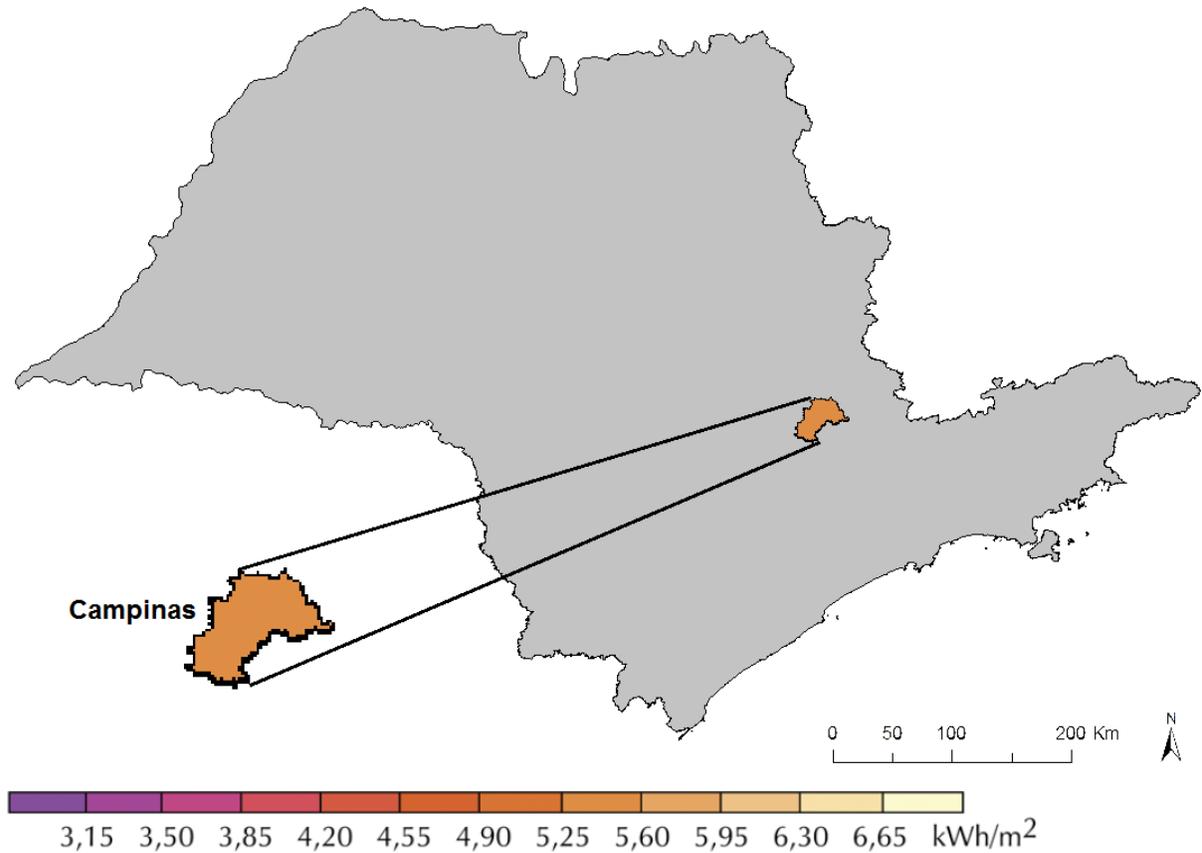


Figura 2.1.1: Potencial Solar da cidade de Campinas-SP.

Fonte: adaptado do Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira et al, 2006).

Em comparação, o Atlas de Energia Elétrica do Brasil traz um mapa solar do Brasil referenciado pela EPE *apud* (Aneel, 2008), mostrado na figura 2.1.2, onde pode-se observar Campinas na região definida por energias entre 16 MJ.m<sup>2</sup> e 18 MJ.m<sup>2</sup>, quantidade um pouco inferior do que a mostrada anteriormente.

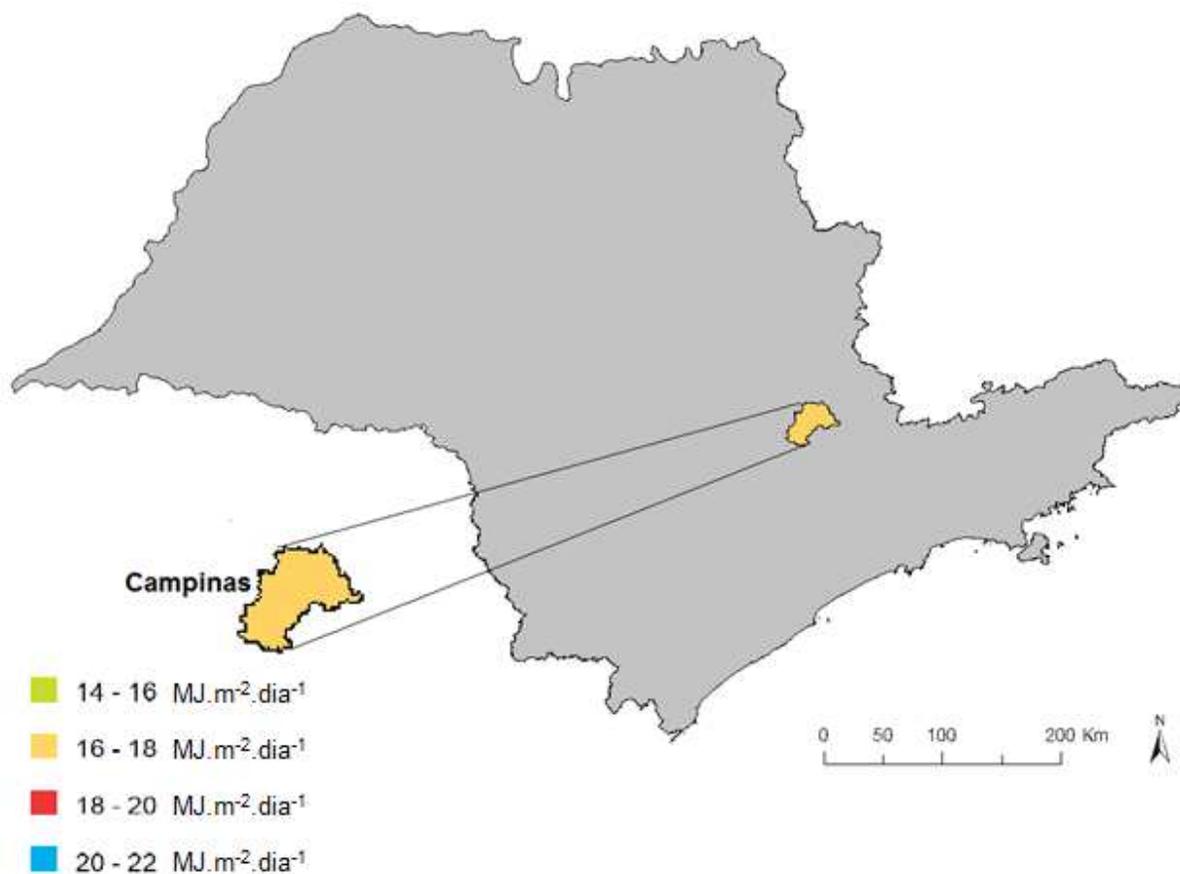


Figura 2.1.2: Potencial Solar da cidade de Campinas-SP.

Fonte: adaptado do Atlas Brasileiro de Energia Elétrica (Aneel, 2008).

Esse valor está de acordo com o valor calculado no Atlas Solarimétrico (Tiba, 2000), onde se pôde observar o valor de 16 MJ.m<sup>2</sup> para a região de Campinas (Figura 2.1.3).

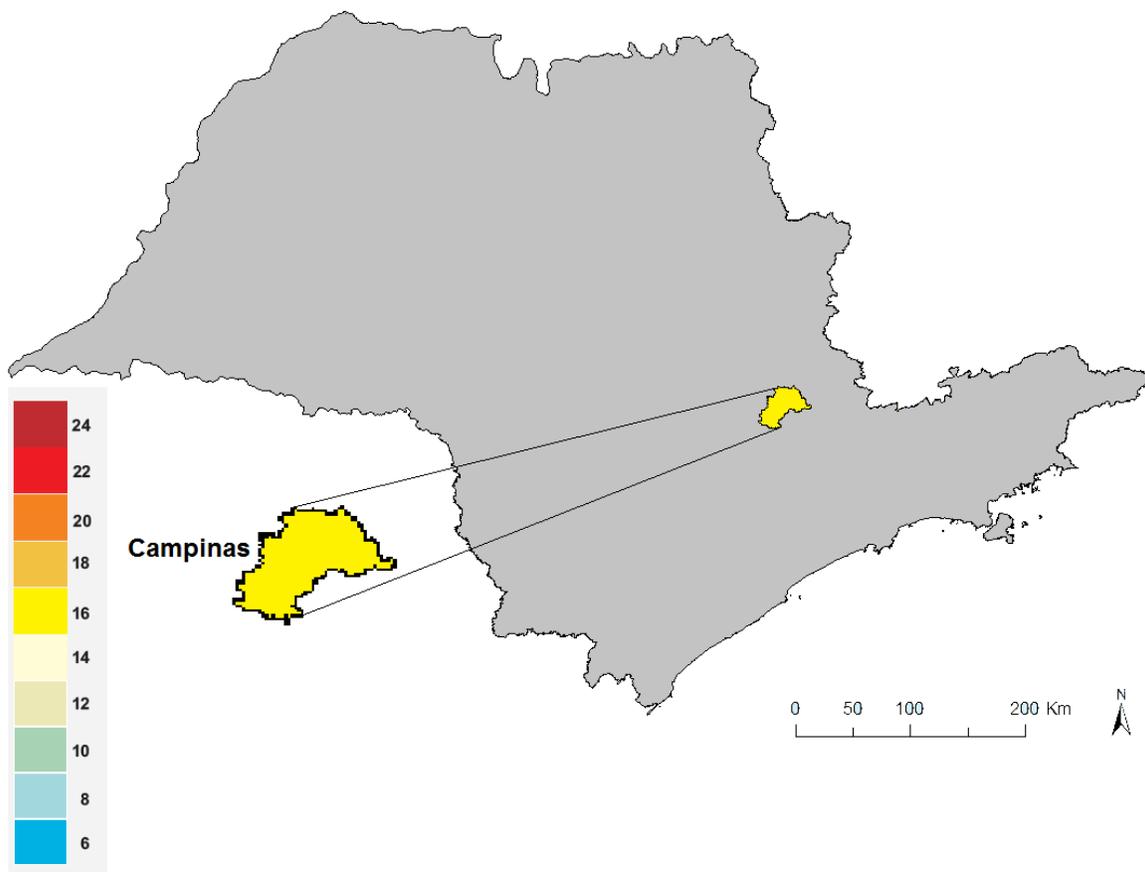


Figura 2.1.3: Potencial Solar para a cidade de Campinas-SP.

Fonte: adaptado de Atlas Solarimétrico do Brasil (Tiba, 2000).

Como esses valores, apresentados pelos Atlas, são gerais e não muito precisos quanto à localização da cidade escolhida e valores referentes a ela, podem-se utilizá-los para ter uma noção de valores esperados, mas, a fim de fazer um levantamento mais detalhado sobre esses valores, podem-se observar os valores da Tabela 2.1.1, gerada no site do CRESESB quando colocada a localização geográfica exata da cidade.

Tabela 2.1.1: Irradiação média anual para a cidade de Campinas-SP.

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

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

Fonte: Site CRESESB (2011).

Observa-se que o valor fornecido pela tabela para a média anual no plano horizontal é de 4,90 kWh.m<sup>2</sup> (17,64 MJ.m<sup>2</sup>), 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<sup>2</sup> (18,65 MJ.m<sup>2</sup>).

Camargo (2000) utilizou dados obtidos pelo Cepagri (valores médios entre 1997/1998) para essa mesma região e que estão apresentados na Tabela 2.1.2 em kWh.m<sup>2</sup>.dia.

Tabela 2.1.2: Irradiação média anual para a cidade de Campinas-SP entre 97/98.

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
5,96	5,84	5,78	5,08	3,96	3,42	4,23	4,78	4,94	5,4	5,41	6,06
Média:	5,07	Máx:	6,06	Mín:	3,42						

Fonte: Cepagri *apud* (Camargo, 2000).

Essa ultima tabela mostra uma média anual de 5,07 kWh.m<sup>2</sup> (18,25 MJ.m<sup>2</sup>).

Com os dados obtidos pôde-se montar a Tabela 2.1.3 para analisar quais dados seriam adotados nesse estudo, para o plano horizontal.

Tabela 2.1.3: Análise dos valores médios obtidos para a irradiação diária de Campinas-SP.

Fonte	Pereira et al	Aneel	Tiba	CRESESB	Cepagri	Valor médio (MJ.m <sup>-2</sup> )
Valor mínimo (MJ.m <sup>-2</sup> )	18,9	16,0	16,0	12,8	12,3	15,2
Valor máximo (MJ.m <sup>-2</sup> )	20,2	18,0	16,0	21,1	21,8	19,4
Valor médio (MJ.m <sup>-2</sup> )	19,5	17,0	16,0	17,6	18,3	17,3

Fonte: Elaboração própria.

Analisando os valores da Tabela 2.1.3, observa-se uma variação entre  $15,2 \text{ MJ.m}^2$  e  $19,4 \text{ MJ.m}^2$  para o valor médios da mínima e máxima irradiação, respectivamente, e o valor de  $17,3 \text{ MJ.m}^2$  para o valor médio anual da irradiação. Dessa forma, os dados que mais se aproximam da média encontrada são os da Aneel e os do CRESESB.

Como o CRESESB fornece os dados de forma mais detalhada que a Aneel, resolveu-se utilizar os dados dessa instituição como base para os cálculos que serão necessários nessa dissertação. Também optou-se por efetuar os cálculos com os valores que maximizam o resultado, ou seja, com os valores para a inclinação de  $23^\circ$ .

## 2.2 Energia Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida pela conversão da energia luminosa em energia elétrica, através do efeito fotovoltaico. O termo efeito fotovoltaico foi utilizado pela primeira vez em 1890 e deriva do grego (*photo* que em grego é luz e *volt* em relação a Alessandro Volta, pioneiro no estudo da eletricidade), mas, esse efeito já havia sido descoberto por Edmond Becquerel anteriormente, em 1839 (DOE/EERE, 2011).

O efeito fotovoltaico consiste no aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz. A célula fotovoltaica, por sua vez, é a unidade fundamental do processo de conversão.

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

Devido aos 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 energia necessária ao suprimento dos satélites e para longos períodos de permanência no espaço.

A crise energética de 1973 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 (CRESESB, 2006).

Apesar dessa necessidade de redução de custo, a utilização da energia solar fotovoltaica se torna cada vez mais interessante, tanto pela evolução de suas eficiências, como pela redução dos custos de fabricação e ganhos de escala. Também contribui as preocupações com o esgotamento de algumas fontes de energia primária convencionais e a busca por uma maior segurança (independência) no suprimento energético dos países, considerando que o consumo de energia elétrica é um fator crescente.

O material mais utilizado na fabricação das células fotovoltaicas, até a atualidade, é o silício. O silício é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, aparecendo normalmente na forma de dióxido de silício (sílica) e silicatos cujos processos de obtenção de sua forma mais purificada são bem conhecidos, devido a sua ampla utilização na microeletrônica. Boa parte do material que é considerado fora da especificação para os dispositivos microeletrônicos, que utilizam o silício com alto grau de pureza, é utilizada na fabricação das células fotovoltaicas, contribuindo também para a redução de seus custos de fabricação.

Existem vários tipos de células fotovoltaicas e elas são caracterizadas principalmente pela sua forma (formato restrito ou não). As de formato restrito são as células que utilizam o silício cristalizado (monocristalinas ou policristalinas) e as de formato não restrito são chamadas de filmes finos (silício amorfo, disseleneto de cobre e índio e telureto de cádmio). Para cada uma dessas células, existem processos de produção e características específicas, que seguem descritos abaixo.

No formato monocristalino, o silício é refinado para atingir uma pureza entre 99,99% e 99,9999%. O silício de alta pureza é derretido e colocado em contato com um único cristal que orientará a solidificação do restante seguindo sua forma cristalina. A esse cristal se dá o nome de semente (Souza, 2011).

Existem três processos que podem ser utilizados: método Czochralski, técnica *float-zone* e técnica *ribbon-growth*.

No processo Czochralski, que é o mais difundido, o silício bruto é primeiro derretido e purificado em um cadinho, depois entra em contato com uma semente do cristal, que foi mergulhada no cadinho com o silício líquido. Então é retirado lentamente por cima, fazendo com que uma estrutura cilíndrica monocristalina se solidifique à medida em que a semente é erguida.

O processo *float-zone* produz cristais de silício mais puros que o método Czochralski, pois não ocorre a contaminação pelo cadinho. Nesta técnica, uma barra de silício com uma semente é lentamente inserida em uma espiral eletromagnética. O campo magnético induz um campo elétrico na barra, aquecendo e derretendo a união entre a barra e a semente. O silício monocristalino é formado nessa união, crescendo à medida que a bobina é levantada.

Após a barra cilíndrica de silício monocristalino ser produzida, independentemente do método, ela deve ser fatiada em finas camadas, entre 200 e 400  $\mu\text{m}$ , o que provoca um desperdício de aproximadamente 20% do material. Para maximizar a quantidade de células que podem ser agrupadas em um painel, elas são cortadas em formato retangular, o que faz com que o desperdício total do material já tratado chegue a 50% (Shayani, 2006). Podem-se utilizar células arredondadas, o que minimiza o desperdício de silício, mas aumenta a área ocupada em um painel, o que faz com que ele tenha uma menor relação entre potência por área ocupada.

Após a laminagem do cristal em pastilhas, é depositado o elemento fósforo (que irá dopar o material, a fim de potencializar seu efeito), através de difusão de vapor a temperaturas entre 800 e 1.200°C, e criada a rede de contatos frontais e traseiras que recolherão os elétrons liberados pelo efeito fotovoltaico, e uma camada antirreflexo na parte posterior. A eficiência dessas células é de 15 a 18%, quando produzidas pelo processo Czochralski (Souza, 2011).

Ainda segundo Shayani (2006), as duas técnicas mencionadas acima são complexas e caras, por terem um intenso consumo de energia, uma vez que as temperaturas de fusão envolvidas são da ordem de 1.400°C.

Com isso, pode-se explicar o último processo mencionado anteriormente, o *ribbon-growth*. Esse processo é mais barato, e produz silício de menor qualidade. Ele consiste em criar diretamente camadas finas, evitando o desperdício que ocorre no fatiamento das barras

cilíndricas. Utilizam-se dois cristais como sementes, que capturam um material entre eles quando são removidos da fonte de silício derretido.

O silício policristalino (p-Si) utiliza técnicas menos rígidas de fabricação, resultando em menor eficiência e menor gasto de energia durante o processo de produção. O método de produção mais utilizado consiste em aquecer o silício no estado bruto até a temperatura de 1.500°C (aquecimento a vácuo) e depois despejar o silício derretido em uma forma, permitindo que ele se resfrie até a temperatura de 800°C, solidificando-se em um lingote. Pode-se utilizar silício de menor grau de pureza nesse processo, comparativamente com a produção do silício monocristalino. A taxa de resfriamento determina o tamanho final dos cristais e a distribuição das irregularidades. O formato é normalmente quadrado, para se minimizar perdas de espaço nos módulos (Shayani, 2006 e Souza, 2011).

Pode-se aproveitar o processo de purificação do silício e já adicionar o elemento boro que, assim como o fósforo, introduzido posteriormente, tem função de dopar o material, criando a junção p-n, fundamental para o funcionamento da célula. Considerando a utilização de tinta antirreflexiva, que aumenta o rendimento da célula por evitar que o raio incidente seja refletido, a eficiência desse tipo de célula varia entre 13 e 15%.

Na Figura 2.2.1 estão representados os dois tipos de celular de silício cristalino.

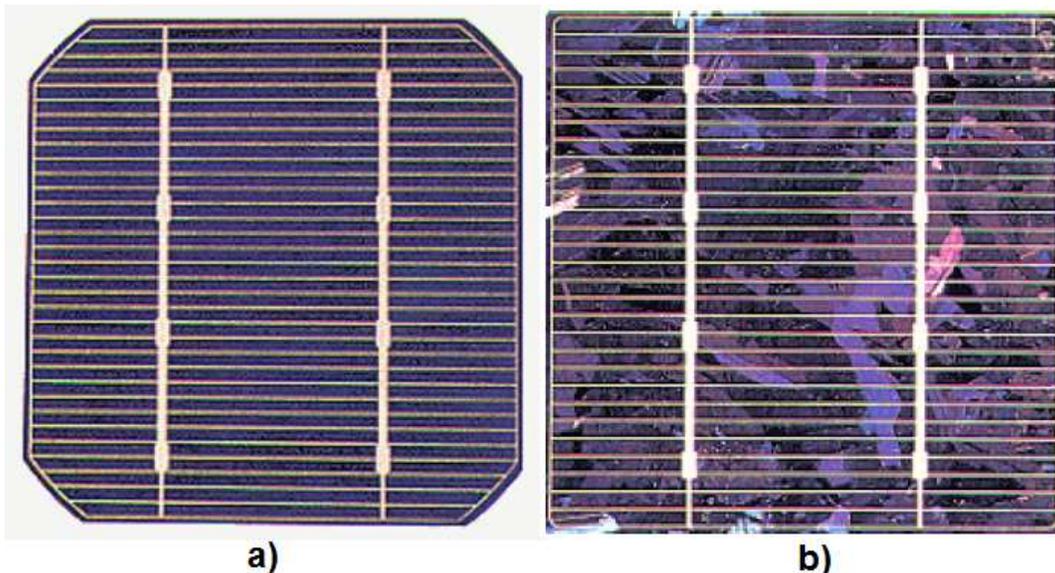


Figura 2.2.1: a) célula de monocristal de silício; b) célula de policristal de silício.

O silício amorfo (a-Si) não possui uma estrutura cristalina, mas sim uma rede irregular; com isso, se formam ligações livres que absorvem hidrogênio até a sua saturação. O silício amorfo hidrogenado (a-Si:H) é criado em reatores plasmáticos, através da vaporização química do silano gasoso ( $\text{SiH}_4$ ), o que requer temperaturas relativamente baixas (de 200 a 250°C). Dessa forma, seu processo de produção é mais barato (Souza, 2011).

O silício amorfo absorve 40 vezes mais irradiância solar que o silício monocristalino, pois possui uma resposta espectral mais voltada para a região azul do espectro eletromagnético, mostrando ser mais eficiente nas condições de iluminação artificial e para irradiância difusa. Logo, um filme fino de aproximadamente 1  $\mu\text{m}$  de espessura pode absorver até 90% da energia luminosa incidente.

Além da baixa temperatura necessária durante o processo de fabricação, esse filme gasta 1% de matéria prima comparativamente ao silício cristalino e pode ser depositado em substratos simples, como plásticos, vidros e metais (Shayani, 2006). Esta característica o torna flexível, o que é muito importante pensando-se na tendência de construções e projetos arquitetônicos voltados à economia de energia.

A grande desvantagem das células de a-Si é a instabilidade apresentada quando exposto a luz solar. Sua eficiência diminui cerca de 20% depois de 6 a 12 meses de funcionamento, até que atinge um valor estável (entre 5 e 9% de eficiência). Essa diminuição de eficiência é devido a sua degradação provocada pela luz, pelo chamado Efeito Staebler-Wronski (Shayani, 2006 e Souza, 2011).

Para se fabricar as células de disseleneto de cobre e índio (CIS), o substrato é revestido com uma fina camada de molibdênio através de deposição catódica e a outra camada pode ser fabricada através da vaporização simultânea do cobre, índio e selênio, numa câmara de vácuo a 500°C, ou através da deposição camada a camada dos materiais. O óxido de zinco contaminado com alumínio ( $\text{ZnO:AL}$ ) é utilizado como contato frontal transparente. Nesse material é depositada uma camada intermediária de óxido de zinco intrínseco (i-ZnO) e ainda uma camada de sulfato de cádmio (CdS) é utilizada para reduzir as perdas causada pela combinação inadequada das redes cristalinas das camadas de CIS e ZnO.

Diferentemente do silício amorfo, células CIS não são degradadas pela luz, mas apresentam problemas de estabilidade em ambientes quentes e úmidos. Por isso, necessitam de boa selagem. Sua eficiência varia entre 7,5 e 9,5%.

Por fim, as células de telureto de cádmio (CdTe) são fabricadas sobre um substrato de vidro, com uma camada de óxido de estanho e índio (OTI) como contato frontal, que é revestido com uma camada transparente de sulfato de cádmio (CdS) e depois com uma camada de telureto de cádmio (CdTe). Podem ser fabricadas por *silkscreen*, deposição galvânica ou pirólise pulverizada (Souza, 2011).

A desvantagem dessa tecnologia está na toxicidade do cádmio. O CdTe é um composto atóxico estável, mas pode apresentar risco para o ambiente e à saúde na condição de gás. Sua eficiência varia entre 6 e 9%.

Nessas últimas células, aparecem elementos que são tóxicos (Cd, Se, Te), ou raros (Cd, Se, Te, In), ou ambos, o que inicialmente se mostrou um obstáculo considerável ao uso mais intensivo dessas tecnologias (Camargo, 2000).

O aprofundamento dessas tecnologias não faz parte do escopo desta dissertação devendo-se, neste caso, ser consultada as referências indicadas.

Como se pode notar, a primeira geração de tecnologia de fabricação fotovoltaica se caracteriza pelo uso intensivo de material semicondutor, sendo que mais de 40% do custo do produto final se atribui ao custo da fatia de silício inicial. Já a segunda geração, que utiliza na fabricação a tecnologia de filmes finos, tem a capacidade de utilizar bem menos material semicondutor (até 100 vezes menos), podendo trazer enormes vantagens em termos dos custos. No entanto, como desvantagem, os rendimentos ficam na faixa de 8% para painéis comerciais, comparado a 16% da tecnologia tradicional com lâminas de silício (Green e KYOCERA *apud* Furlan, 2008).

Já as células de terceira geração são: filmes finos inorgânicos avançados com CIS esférico e filmes finos com células solares de silício policristalino, células solares orgânicas que incluem células solares orgânicas e híbridas *dye-sensitised* e, Termo-fotovoltaicas (TPV) que são células de pequena banda que pode ser usada em sistemas combinados de calor e energia (CHP). Estas células de terceira geração têm uma vantagem significativa em aplicações de consumo por causa da sua flexibilidade e capacidade do substrato funcionar em condições de iluminação fraca ou

variável. As áreas de aplicação possíveis incluem equipamentos eletrônicos de baixo consumo de energia (como carregadores de celular, aplicações em iluminação e em displays) (EPIA, 2011).

As eficiências dos diferentes tipos de células podem ser vistas na Tabela 2.2.1, assim como a área equivalente ocupada pelas células. Também a evolução das eficiências das células com o passar dos anos está mostrada na Figura 2.2.2.

Tabela 2.2.1: Eficiência dos diferentes tipos de células fotovoltaicas e área necessária para 1 kW<sub>p</sub>.

<b>Material da célula</b>	<b>Eficiência do módulo</b>	<b>Área de superfície necessária para 1 kW<sub>p</sub></b>
Silício monocristalino	13-19%	5-8 m <sup>2</sup>
Silício policristalino	11-15%	7-9 m <sup>2</sup>
Silício microamorfo (a-Si/μc-Si)	8-10%	10-12 m <sup>2</sup>
Filme fino de disseleneto de cobre e índio (CIS)	10-12%	8-10 m <sup>2</sup>
Filme fino de telureto de cádmio (CdTe)	9-11%	9-11 m <sup>2</sup>
Filme fino de silício amorfo (a-Si)	5-8%	13-20 m <sup>2</sup>
Filme fino <i>dye-sensitised</i>	2-4%	
Concentrador Fotovoltaico (CPV)	~25%	

Fonte: adaptado de RENI (2011) e (EPIA, 2011).

# Best Research-Cell Efficiencies

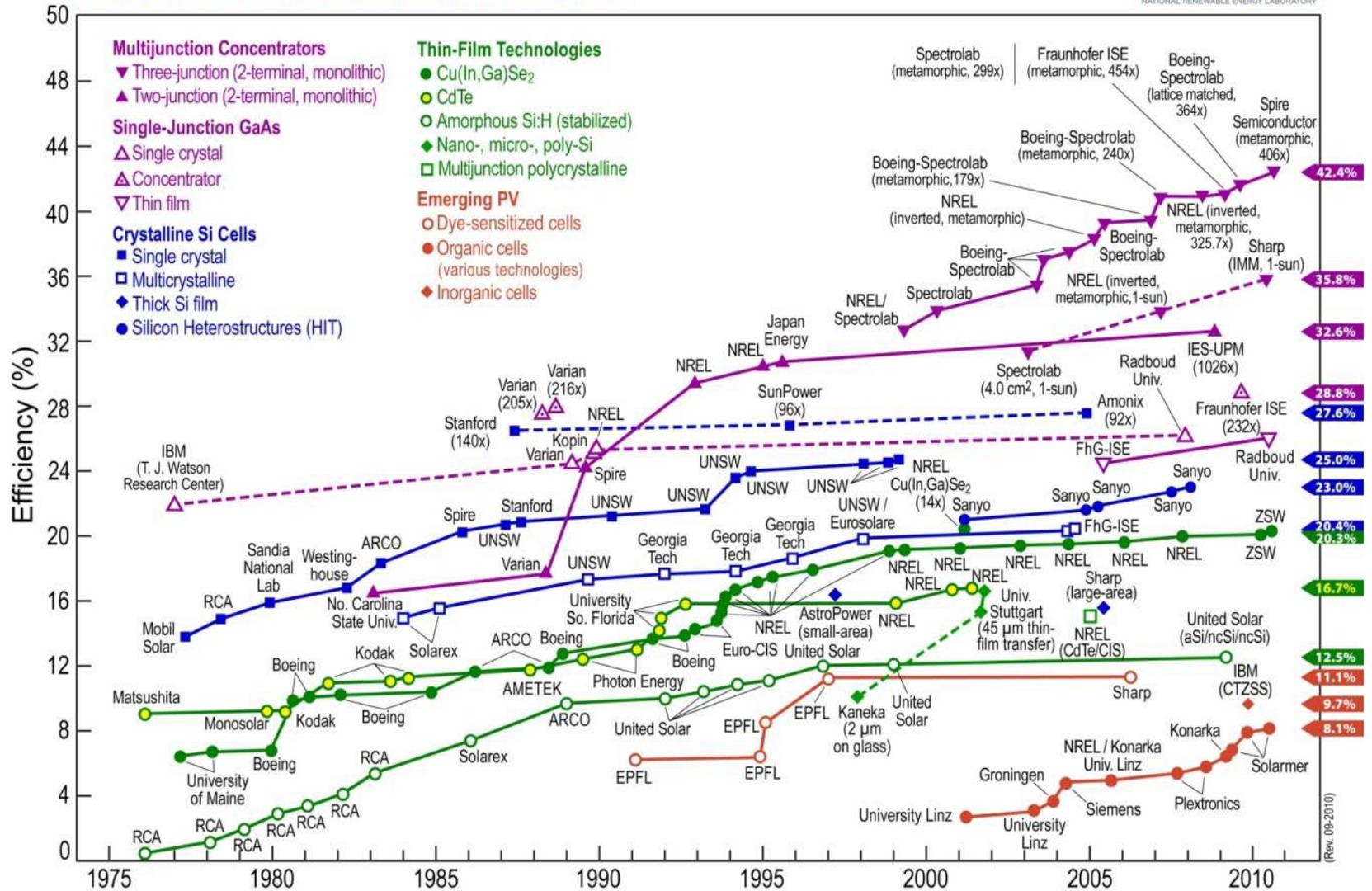


Figura 2.2.2: Evolução das eficiências das diferentes tecnologias das células fotovoltaicas (NREL *apud* Camargo, 2011).

Para o cálculo dessas eficiências os módulos passam por testes nos laboratórios das empresas produtoras, e em outras instituições, onde é observada sua operação em condições padronizadas. As condições de operação padronizadas de um módulo fotovoltaico são (Diniz *apud* Camargo, 2000):

- STC (Standard Test Condition) – Condição padrão de teste:
  - Incidência de radiação de  $1000 \text{ W.m}^{-2}$ ;
  - Células fotovoltaicas a  $25^{\circ}\text{C}$ ;
  - Distribuição do espectro de radiação de acordo com a ASTM E892 ou “Air mass (AM) 1,5”: Sol de meio-dia em dia claro, a aproximadamente  $60^{\circ}$  acima do horizonte, atravessando assim o equivalente a 1,5 vezes a espessura da atmosfera e temperatura do ar a  $0^{\circ}\text{C}$ .

Os testes ocorrem em uma câmara de teste, em um simulador, com um flash de luz especial que simula o espectro solar como descrito, pelo tempo de 50 ms.

- NOCT – Temperatura de operação nominal da célula solar:
  - Incidência de radiação de  $1 \text{ kW.m}^{-2}$ ;
  - Temperatura ambiente de  $20^{\circ}\text{C}$ ;
  - Velocidade do vento  $1 \text{ m.s}^{-1}$  máximo;
  - Módulo fotovoltaico a circuito aberto.
  
- SOC – Condição padrão de operação:
  - Incidência de radiação de  $1 \text{ kW.m}^{-2}$ ;
  - Temperatura das células solares NOCT.
  
- NOC – Condição Normal de operação:
  - Incidência de radiação de  $800 \text{ W.m}^{-2}$ ;
  - Temperatura das células solares NOCT.

A potência do módulo fotovoltaico é dada pela potência de pico, em Watt pico ( $W_p$ ) que é a potência extraída do módulo da condição padrão de teste – STC – em laboratório. Também existem outras características elétricas que melhor caracterizam o funcionamento do módulo. As principais são (CRESESB, 2006):

- Voltagem de circuito Aberto ( $V_{OC}$ );
- Corrente de Curto Circuito ( $I_{SC}$ );
- Potência Máxima ( $P_M$ );
- Voltagem de Potência Máxima ( $V_{MP}$ );
- Corrente de Potência Máxima ( $I_{MP}$ ).

A Figura 2.2.3 apresenta a curva característica entre a corrente e tensão, mostrando a corrente de corte e a voltagem de circuito aberto. Já na Figura 2.2.4, pode-se observar a curva típica da potência pela tensão no módulo. Sobrepondo essas duas figuras (Figura 2.2.3 e Figura 2.2.4), pode-se observar o ponto de potência máxima do módulo (Figura 2.2.5).

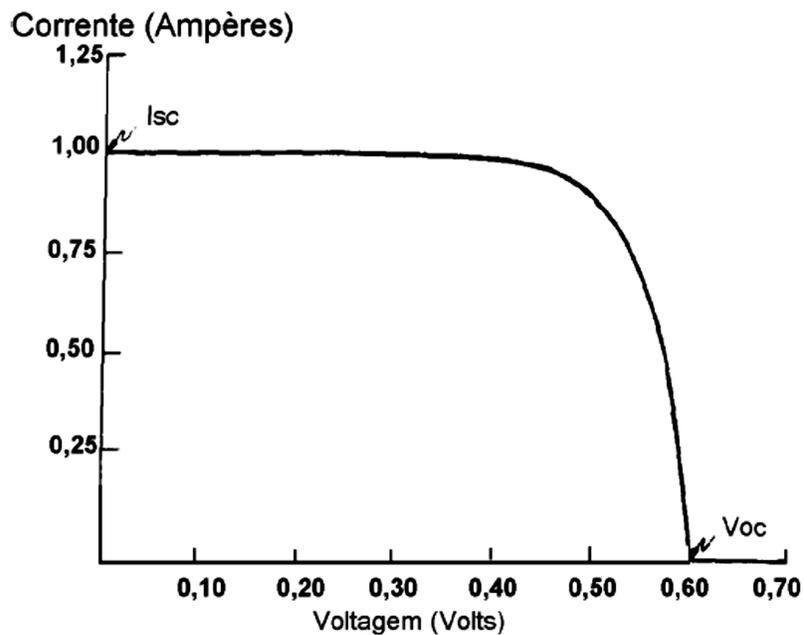


Figura 2.2.3: Curva característica I x V.

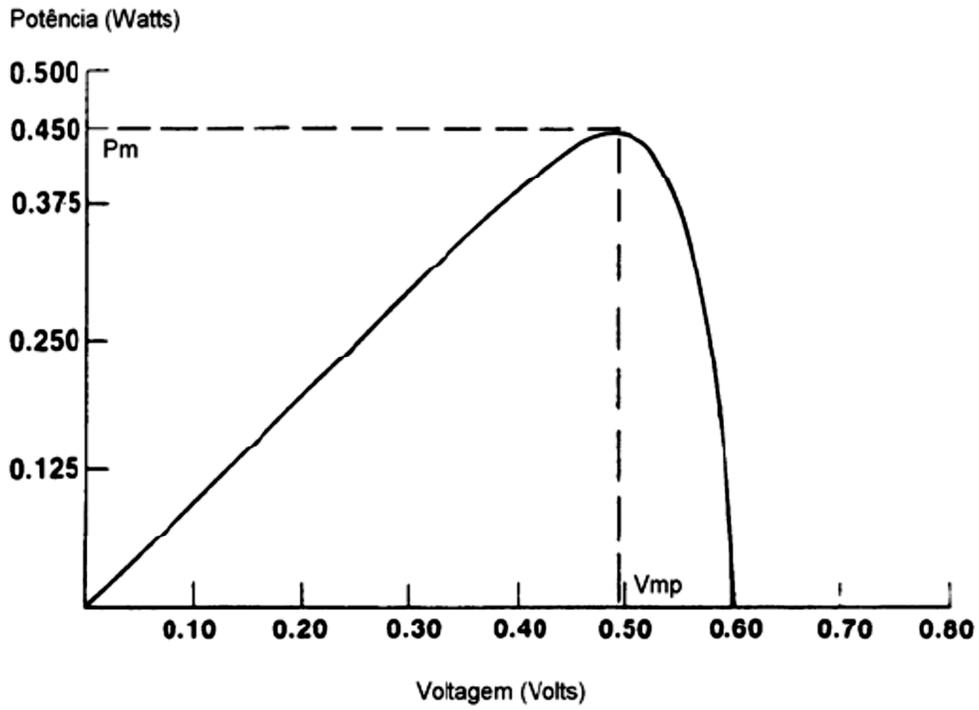


Figura 2.2.4: Curva típica de Pot x V.

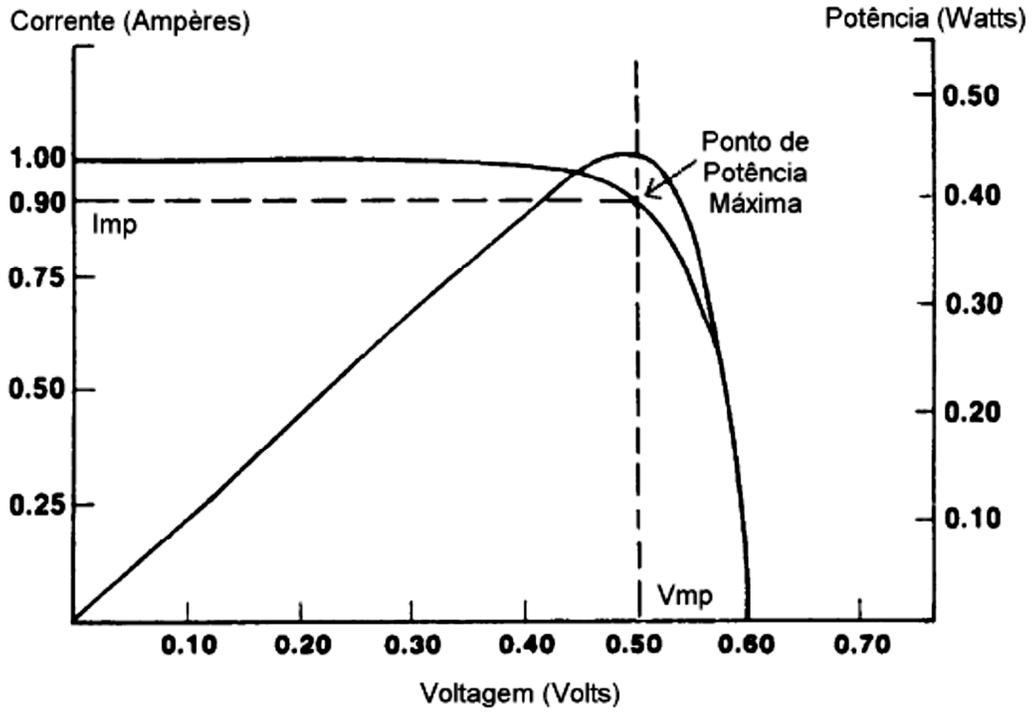


Figura 2.2.5: Parâmetros de potência máxima.

As características dos painéis são influenciadas pela radiação incidente e pela temperatura das células. A corrente gerada no módulo aumenta linearmente com o aumento da intensidade luminosa, por outro lado, o aumento da temperatura na célula faz com que a eficiência do módulo diminua (módulos de silício monocristalino e policristalino), diminuindo os pontos de potência máxima gerada no painel. Os gráficos correspondentes a essas influencias podem ser observados nas Figuras 2.2.6 e 2.2.7 (CRESESB, 2006).

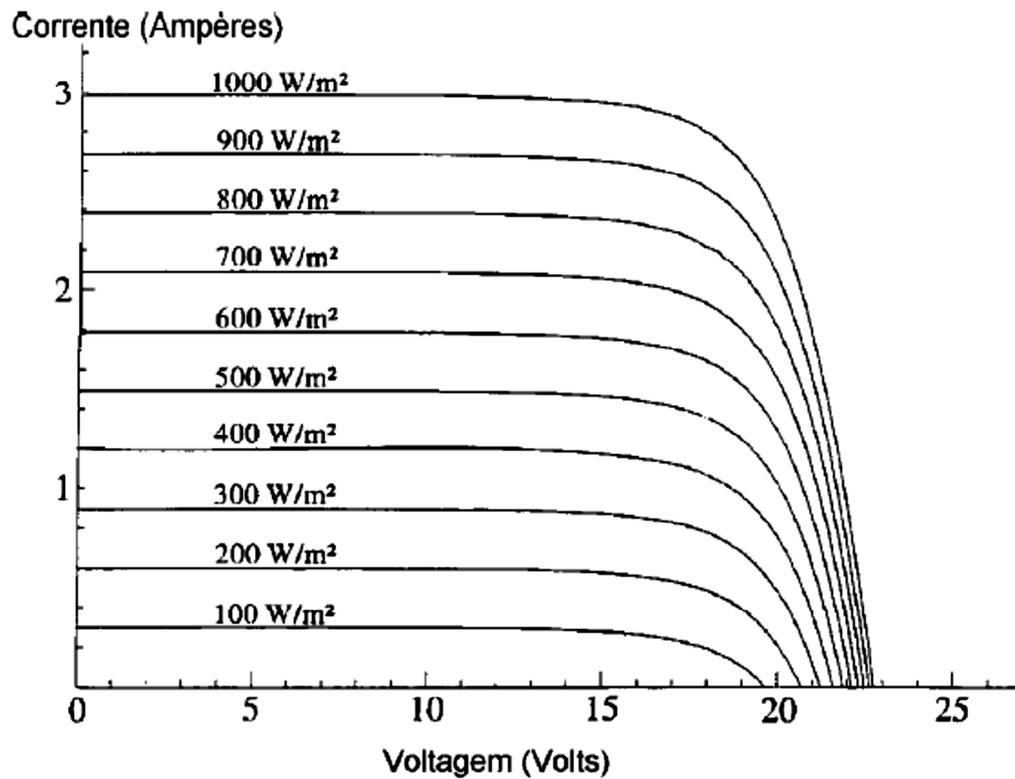


Figura 2.2.6: Efeito causado pela variação de intensidade luminosa na célula.

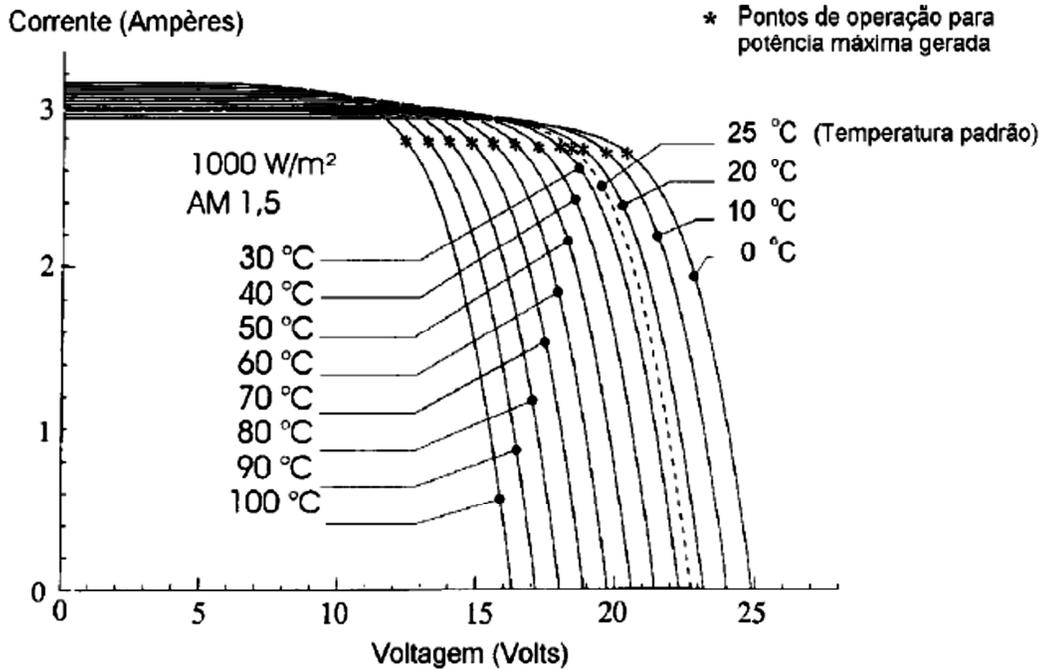


Figura 2.2.7: Efeito causado pela temperatura na célula.

Assim, tendo estudado a radiação incidente total ( $H_T$ ) no local da aplicação da usina, na inclinação e intervalo de tempo desejados, assim como as características dos painéis e suas eficiências ( $\eta$ ), pode-se determinar a energia total (ou densidade de energia total, em Wh.m<sup>2</sup>) média produzida para um ano fazendo a multiplicação de  $H_T$  pelo número de dias em um ano.

Este valor final pode então ser utilizado para estimar a quantidade de energia elétrica gerada por um dado sistema fotovoltaico através da relação mostrada na equação 01.

$$E_{fot} = \eta \cdot A \cdot H_T \quad (\text{Eq. 01})$$

onde  $\eta$  é a eficiência de conversão do painel fotovoltaico,  $A$  (m<sup>2</sup>) é a área realmente ocupada pelo material semiconductor (Furlan, 2008).

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

$$P_{fot} = \eta \cdot A \cdot I_T \quad (\text{Eq.02})$$

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

O valor da área ocupada pelo material semiconductor ( $A$ ) dificilmente é encontrada nos manuais de especificações técnicas dos equipamentos, mas, é constante para cada modelo de painel. O valor da eficiência ( $\eta$ ) é definido a partir dos valores padrão de teste e também é um valor característico de um painel. Desconsiderando a perda de eficiência, que ocorrem no decorrer da utilização desse painel, pode-se observar que a multiplicação entre os fatores  $A$  e  $\eta$  deve ser um valor constante.

Dessa forma:

$$A \cdot \eta = \frac{P_{fot}}{I_T} \quad (\text{Eq. 03})$$

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 o valor 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.

Com relação aos fabricantes de células solares, o NREL (2011) estimou que no ano de 2010 foram produzidos 23.899 MW, sendo que os maiores produtores podem ser observados na Figura 2.2.8.

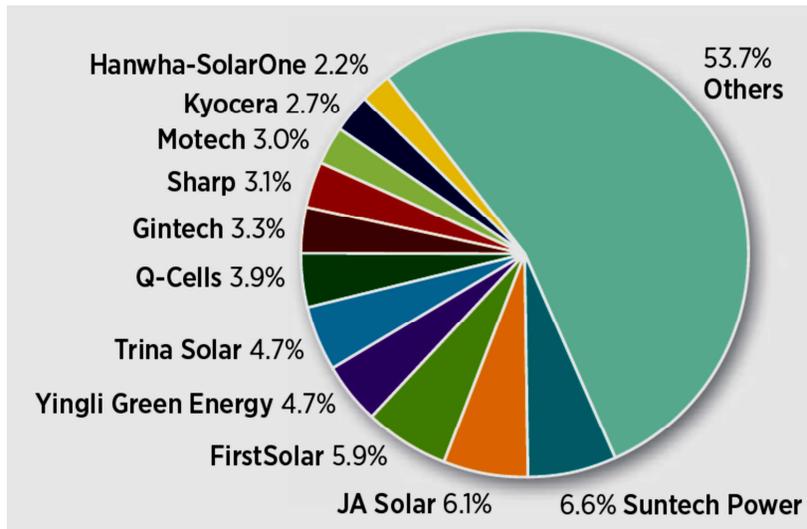


Figura 2.2.8: Os 11 maiores fabricantes mundiais de células solares.  
 Fonte: PV News *apud* DOE/NREL (2011)

Como se pode notar pela Figura 2.2.8, as 11 maiores empresas produtoras de células solares fabricaram 46,3% dos 23.899 MW da produção mundial. Dez das quinze maiores empresas estão localizadas na Ásia, sendo que a produção realizada na China e Taiwan, sozinhas, foi de 59% enquanto a participação europeia foi de 13%, a japonesa de 9% e a norte americana de 5% (REN21, 2011).

Dentre as diferentes tecnologias que compõem o mercado mundial de células solares atualmente, as células de silício policristalino são as que estão dominando o mercado, como pode ser observado na Figura 2.2.9.

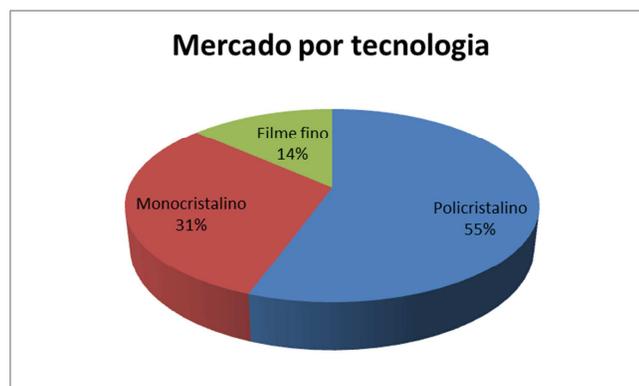


Figura 2.2.9: Distribuição do mercado mundial de células solares por tecnologia (Camargo, 2011).

Fazendo a relação dos dez maiores fabricantes de módulos fotovoltaicos no final de 2010, visualiza-se a Tabela 2.2.2.

Tabela 2.2.2: Os 10 maiores produtores de módulos fotovoltaicos do mundo em 2010.

<b>Classificação</b>	<b>Empresa</b>
1º	Suntech
2º	First Solar
3º	Sharp
4º	Yingli
5º	TrinaSolar
6º	Canadian
7º	Hanwha SolarOne
8º	Sunpower
9º	Renewable Energy Corporation
10º	Solarworld

Fonte: PV insights (2011).

Comparando os 10 maiores produtores de células solares com os 10 maiores produtores de painéis fotovoltaicos, observa-se que cinco empresas aparecem nas duas relações (First Solar, Yingli, Trina Solar, Sharp Solar, e Renewable Energy Corporation).

Nem todas essas empresas da lista das dez mais estão sendo comercializadas no Brasil. Fazendo uma pesquisa dos revendedores de painéis fotovoltaicos no país, usando o trabalho de Varella (2009) como base e realizando mais buscas na internet para complementação da informação, verificaram-se as empresas que já tem representação no Brasil, ou que ao menos são revendidas. As empresas encontradas nessa pesquisa estão apresentadas na Tabela 2.2.3:

Tabela 2.2.3: Empresas produtoras de painéis fotovoltaicos e seus comerciantes no Brasil.

<b>Empresa</b>	<b>Representante/ Revendedor/ Distribuidor</b>
Atersa	Neosolar energia
AVProject	Aerbrax Power
Canadian Solar	Gehrlicher Solar
Conergy	Bahia Solar
ENN Solar	Gehrlicher Solar
Exxa Solar	Exxa Global
First Solar	Gehrlicher Solar
Kyocera	Blue Sol, BR Eletron, Brasil Hobby, Comercial elétrica Redimax, FC Solar, Kyocera Solar do Brasil Ltda, Minha Casa Solar, Neosolar energia, R F Com, Solar Brasil Tecnologia & Energia Fotovoltaica Ltda, Solenerg
LG	Blue Sol
Mitsubishi	Energia Pura Empreendimentos Ltda, Solarterra Energias Alternativas Ltda
Sanyo	Apolo Energia
Sharp	Apolo Energia, Gehrlicher Solar
Siemens Solar	Planeta Solar
SolarWord	Apolo Energia, Blue Sol, Minha Casa Solar, SS Solar
Solarfabrik	Gehrlicher Solar
Solaria	Solaria
Solaris	Neosolar energia
Sunpower	Gehrlicher Solar
Suntech Power	Blue Sol, BR Solar, Guascor
Tecnometal <sup>1</sup>	Apolo Energia, Blue Sol, Tecnometal
Yingli	Apolo Energia, Blue Sol, Gehrlicher Solar, YingliSolar

Fonte: Elaboração própria.

Varias dessas empresas já estão submetendo seus painéis aos testes de qualidade e eficiência do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), dessa forma, já está disponível no site do instituto tabelas com as informações de Consumo / Eficiência Energética dos módulos fotovoltaicos (as informações contidas nessas tabelas estão apresentadas no Anexo 2) (INMETRO, 2011).

Para a escolha do painel a ser utilizado nessa dissertação, foram analisadas os painéis com maior eficiência vendidos no Brasil, considerando as maiores empresas fabricantes do mundo (informações presentes na Tabela 2.2.2 e 2.2.3 e no Anexo 2).

<sup>1</sup> Única empresa brasileira fabricante de painéis.

## 2.3 Veículos Elétricos

Os veículos elétricos (VE) são utilizados nesta dissertação como a aplicação final da energia elétrica produzida pela unidade de geração de 1 MW<sub>p</sub>. Assim sendo, as características mais importantes desses veículos a serem consideradas são o consumo específico de energia (kWh.km<sup>-1</sup> ou GJ.km<sup>-1</sup>), a autonomia (quilometragem percorrida até a necessidade de um novo abastecimento) e o quanto o uso destes veículos significa de emissões de gases de efeito estufa evitadas, especificamente a quantidade de CO<sub>2</sub> que deixou de ser lançada na atmosfera. Portanto, neste trabalho a história desses veículos será apresentada de forma bastante breve, sem um aprofundamento sobre suas tecnologias, o mesmo acontecendo com as baterias, que constituem parte fundamental dos VEs.

A história dos VEs começa em meados do século XIX. De acordo com Hoyer *apud* (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 e 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 abateria níquel-ferro, com capacidade de armazenamento 40% maior que a bateria de chumbo, só que a um custo de produção muito mais elevado.

As baterias níquel-zinco e zinco-ar foram também criadas no final do Século XIX. Além das baterias, duas tecnologias desenvolvidas entre 1890 e 1900contribuíram 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 VEs seguiu em forte queda. Entre os principais fatores apontados para esse declínio a partir de então, podem-se citar (DOE *apud* 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 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 das grandes montadoras. 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 ganhava força, e o foco se concentrava 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 de busca de uma possível transição para fontes renováveis de energia.

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 VEs 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 CO<sub>2</sub> 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), 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, como pode ser observado na Figura 2.3.1.

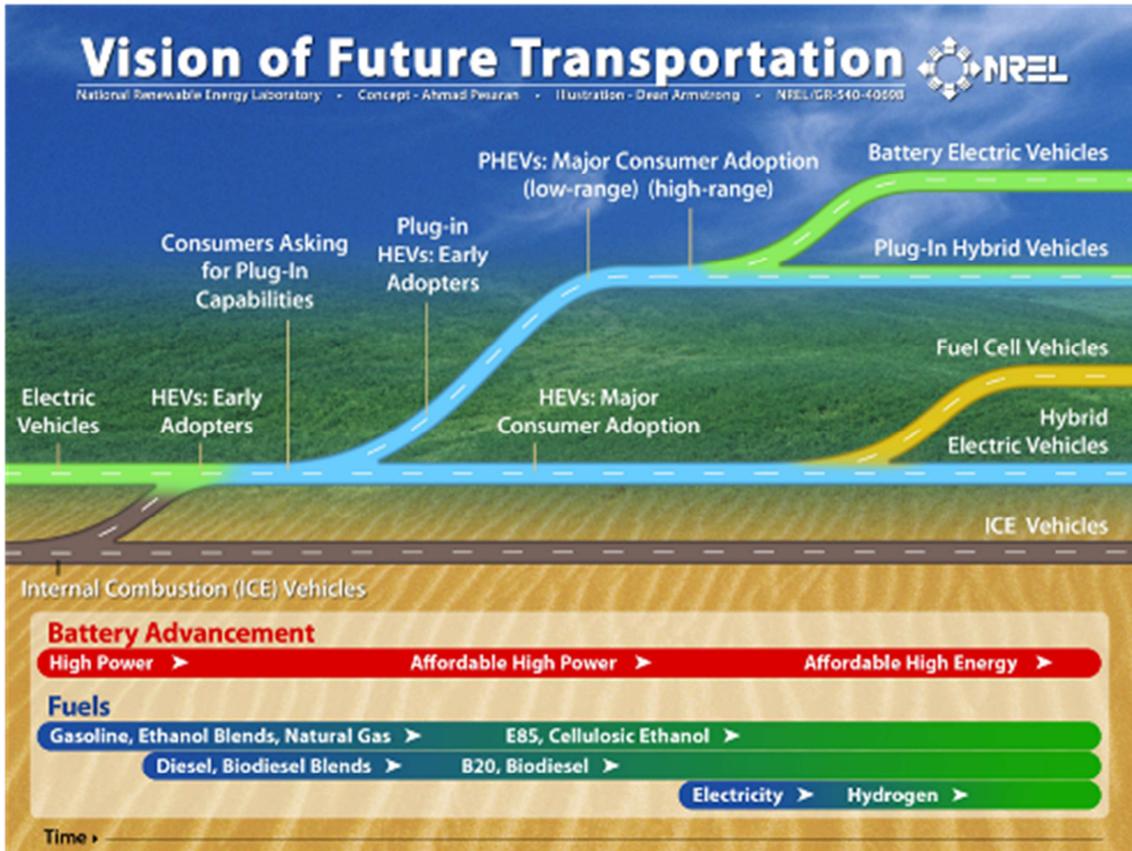


Figura 2.3.1: Visão do transporte futuro (NREL).

Atualmente existem diversas marcas e modelos de veículos elétricos; praticamente todos os grandes fabricantes mundiais de veículos possuem suas versões, várias delas já sendo comercializadas em diversos países, como se pode observar na Tabela 2.3.1, que foi elaborada através de pesquisas na internet e nos sites de diversas montadoras.

Tabela 2.3.1: Modelos de veículos puramente elétricos lançados ou com lançamento previsto.

Em produção	Em testes e pré-produção em 2011	2012	2013
Buddy	Blue Car	Audi E-tron	BMW i3
BYD e6	BMW Active E	Fiat 500 Elettra	Chevrolet Spark EV
Citröen C-Zero	BMW Mini E	Honda Fit EV	Volkswagen e-Up!
CODA Sedan	Hyundai BlueOn	RAV4 EV 2 <sup>a</sup> Geração	Reva NXG
Ford Focus Eletric	OpelAmpera	Renault Twizy Z.E.	
FordBattery Eletric Van	Renault Fluence Z.E.	Renault Zoe Z.E.	
Mia Eletric	Saab 9-3 ePower	Reva NXR	
Mitsubishi i-MiEV	Volkswagen Golf blue-e-motion	ScioniQ EV	
Nissan Leaf		Smart ED	
Peugeot iOn		Tesla Model S	
Renault Kangoo Z.E.		Th!nk City <sup>2</sup>	
Reva i/G-Wiz i			
RevaL-ion			
Smart ED			
Tata Indica Vista EV			
Tazzari Zero			
Tesla roadster			
Volvo C30 Drive Eletric			
WheegoWhip Life			

Fonte: Elaboração própria.

No Brasil, a primeira iniciativa de introduzir os VEs 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. Nesses últimos quatro anos, 72 automóveis elétricos foram emplacados, sendo que a maioria pertence às frotas de empresas ou organizações, sobretudo as de energia. Existem três modelos à venda, sendo que somente um para pessoa física (Dal Poggetto, 2011).

<sup>2</sup> Existem vários veículos desse modelo comercializados, inclusive no Brasil. Essa data é referente ao lançamento do novo modelo.

Os modelos compreendidos por esses 72 veículos puramente elétricos emplacados no Brasil podem ser observados na Figura 2.3.2, assim como algumas de suas características básicas. O detalhamento das características técnicas desses modelos está apresentado no anexo A.

### Carros elétricos emplacados no Brasil

#### Fiat Palio Elétrico (58 unidades)



**Motor:** 15 kW (20 cv) bateria de sais e níquel  
**Autonomia:** 120 km  
**Preço:** cerca de R\$ 140 mil (carro não é vendido, apenas cedido a empresas parceiras)

#### Reva i (9 unidades)



**Motor:** 13 kW (18 cv) bateria de chumbo ácido  
**Autonomia:** 80 km  
**Preço:** Cerca de US\$ 30 mil

#### Think City (3 unidades)



**Motor:** 34-37 kW (50 cv) bateria de ion-lítio  
**Autonomia:** 160 km  
**Preço:** cerca de US\$ 30 mil - sem importação oficial no Brasil, o carro foi encomendado pela CPFL

#### Mitsubishi i-Miev (1 unidade)



**Motor:** 80 kW (107 cv) bateria de ion-lítio  
**Autonomia:** 160 km  
**Preço:** cerca de R\$ 200 mil

Figura 2.3.2: Veículos elétricos emplacados no Brasil de 2007 a 2011.

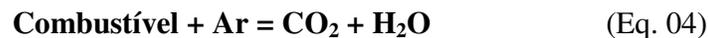
Foi adotado, neste trabalho, o veículo modelo Think City para se avaliar o consumo de eletricidade por uma frota desses veículos, a ser suprida por uma usina fotovoltaica de 1MW<sub>p</sub>. Se forem analisadas as características técnicas dos demais veículos disponíveis no mundo, poderá ser constatado que os parâmetros utilizados a partir do modelo adotado não diferem

significativamente da maioria dos VEs fabricados pelas demais empresas em todo mundo. As demais características analisadas para a escolha desse modelo podem ser encontradas no capítulo 4.2 desse trabalho.

## 2.4 Emissões Veiculares

Questões relacionadas à poluição atmosférica urbana têm aparecido com grande frequência em estudos e na mídia, por ser considerada um dos problemas ambientais mais significativos da atualidade.

Quando se queima um combustível baseado no carbono lança-se basicamente CO<sub>2</sub> e água para a atmosfera, ao mesmo tempo em que se consome oxigênio (geralmente utiliza-se o oxigênio contido no ar), como mostra a equação 04 (ANFAVEA *apud* Araújo, 2004).



Na utilização de combustíveis fósseis (petróleo, carvão, gás natural, xisto) esse processo tem um caráter irreversível, pois além de consumir o oxigênio, a queima destes combustíveis aumenta, de fato, a quantidade de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Além disso, os processos de queima nunca são completos e eles inevitavelmente lançam também para a atmosfera monóxido de carbono, hidrocarbonetos, aldeídos (R-CHO), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>) e material particulado. A formação de NO<sub>x</sub> ocorre devido ao nitrogênio e ao oxigênio existentes no ar e a emissão de SO<sub>x</sub> devido ao enxofre geralmente contido nesses combustíveis (Araújo, 2004). O resultado final está esquematizado na equação 05 (ANFAVEA, *apud* Araújo, 2004). O ozônio troposférico (O<sub>3</sub>), outro importante poluente, tem a sua formação associada à presença de HC e NO<sub>x</sub> na atmosfera.



Os valores referentes às emissões de veículos de diferentes modelos e tipos de combustível podem ser observados na Tabela 2.4.1 (CETESB, 2011). Os valores que mais interessam a esse trabalho são aqueles referentes aos veículos novos, já que serão comparados com o valor deixado de emitir por um veículo elétrico, que está entrando no mercado substituindo um veículo convencional, dessa forma, os valores apresentados na Tabela 2.4.1 são relativos aos modelos veiculares do ano de 2010.

Tabela 2.4.1: Valores de emissões de gases de efeito estufa para veículos novos.

<b>Combustível</b>	<b>CO (g/km)</b>	<b>HC (g/km)</b>	<b>NO<sub>x</sub> (g/km)</b>	<b>RCHO (g/km)</b>	<b>CO<sub>2</sub><sup>3</sup> (g/km)</b>	<b>MP (g/km)</b>	<b>Autonomia (km/L)</b>
Gasolina C <sup>4</sup>	0,23	0,03	0,02	0,001	213	nd <sup>5</sup>	10,2
Flex-Gasolina C	0,28	0,04	0,03	0,002	178	nd	12,2
Flex-Etanol	0,51	0,09	0,04	0,007	172	nd	8,3
Diesel	0,14	0,03	0,72	nd	266	0,062	10,0

Fonte: adaptado de Cetesb (2011).

<sup>3</sup> Valor obtido por balanço de carbono, conforme a NBR 7024, para ciclo de condução urbana.

<sup>4</sup> Gasolina C: 78% + 22% Etanol anidro

<sup>5</sup> nd: não disponível.

### 3 METODOLOGIA

Nesse capítulo são apresentados os procedimentos realizados para os cálculos e análises desse trabalho. Para tanto, foi desenvolvida a sequência lógica mostrada no fluxograma da Figura 3.1.

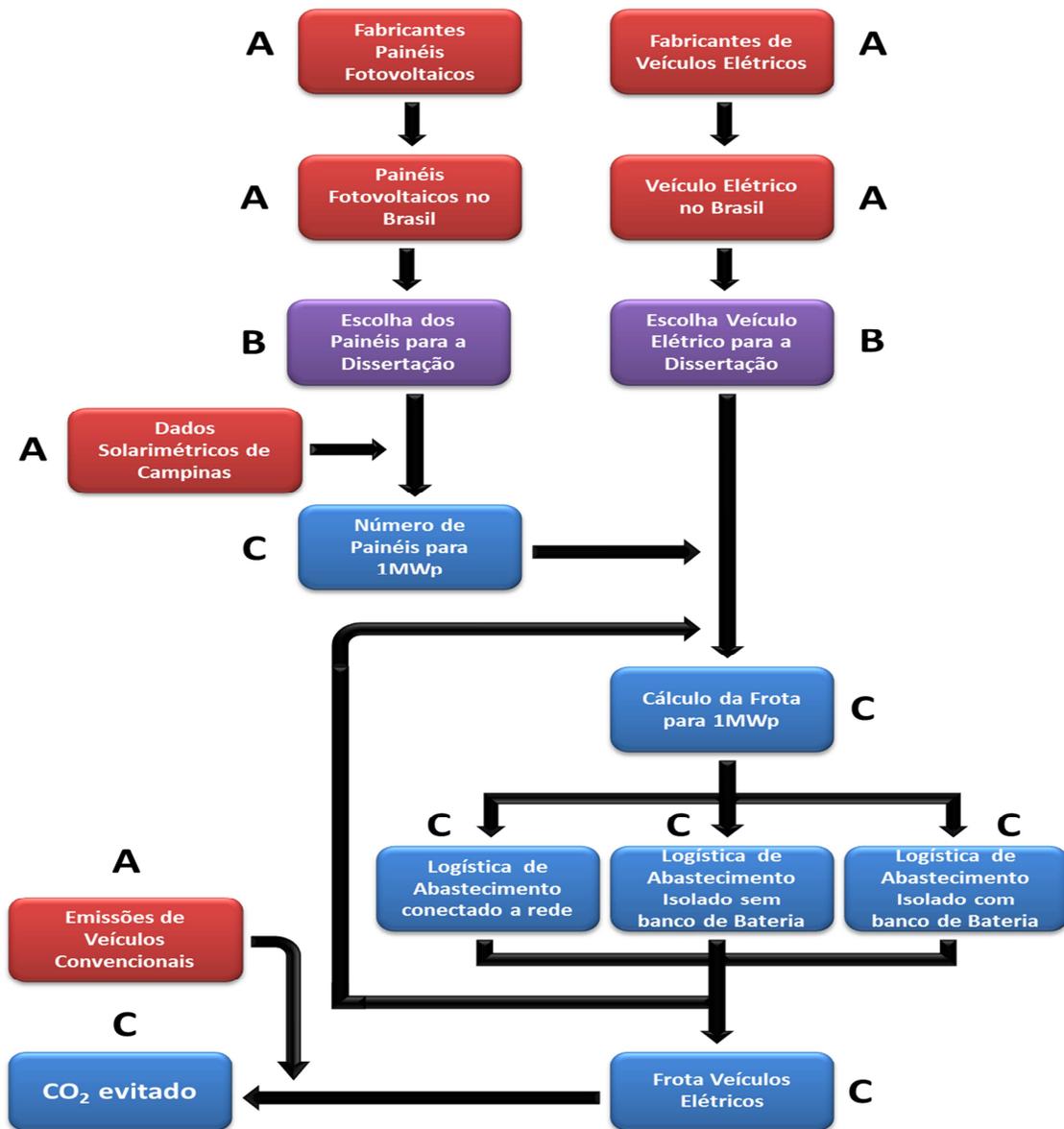


Figura 3.1: Fluxograma da metodologia utilizada

Os itens (A), em vermelho, se referem aos dados que foram obtidos através de pesquisas bibliográficas e deram base para as escolhas de hipóteses e para toda a parte de cálculo posteriormente realizada.

Os itens (B), em roxo, se referem às decisões tomadas como melhores hipóteses e que foram escolhidas para basearem, juntamente com as informações das pesquisas bibliográficas, os cálculos.

Os itens (C), em azul, se referem à cadeia lógica utilizada para os cálculos, considerando todas as opções que foram avaliadas durante a dissertação.

Assim, a partir da busca dos maiores fabricantes de painéis fotovoltaicos do mundo e da pesquisa de quais desses painéis estão disponíveis no Brasil para revenda, foi possível escolher uma marca e um modelo de painel que melhor se adequasse aos objetivos propostos, utilizado para os cálculos do número de painéis necessários para uma estação de geração de 1MWp.

Dessa forma, o número de painéis a serem utilizados na instalação foi definido a partir da divisão da potencia nominal proposta para a usina pelo valor nominal do painel selecionado. Também foi utilizado o software PVSYST para confirmar o valor encontrado, já que esse software considera mais detalhes técnicos na hora da realização dos cálculos.

Após definido o número de painéis fotovoltaicos, a partir das suas características técnicas obteve-se a quantidade de energia que poderia ser efetivamente produzida, utilizando para essa análise os dados solarimétricos para a região de Campinas, SP, que é a região de interesse nesse estudo.

Paralelamente a esse estudo, foi feito um levantamento dos fabricantes de veículos elétricos no mundo e quais veículos elétricos já existem licenciados no Brasil. Esse levantamento orientou a escolha de qual veículo elétrico seria mais adequado usar no trabalho e mostrou qual é a realidade brasileira nessa área. Com esta escolha ficaram disponíveis os dados técnicos do consumo de energia do veículo e a periodicidade necessária para seu abastecimento (autonomia).

Em seguida, a partir da quantidade de energia que poderia ser produzida na região pela planta de 1MWp e de quanto um desses veículos elétricos consome, foi estimada a frota de veículos elétricos que poderia ser abastecida.

Com esse valor estimado, passou-se para a análise da forma de abastecimento da frota, sendo considerado neste caso três cenários possíveis. No primeiro cenário, a estação estava conectada à rede e, dessa forma, tem acesso a um fornecimento contínuo de energia para o abastecimento dos veículos. No segundo cenário, a estação estava isolada da rede, mas dispunha de um banco de baterias para o armazenamento da energia nos horários de maior produção. No terceiro cenário, a estação estava isolada do sistema e não dispunha de banco de baterias para armazenamento de energia excedente nos horários de pico de geração.

Realizada toda essa etapa do trabalho, pôde-se verificar se a quantidade da frota de veículos elétricos estimada estava correta e fazer correções no valor estimado para cada cenário analisado. Com os valores finais da frota para cada cenário, foi analisado qual cenário seria o melhor a ser desenvolvido, já que o melhor cenário nem sempre é no qual mais veículos podem ser abastecidos, e sim um conjunto de fatores a serem considerados, envolvendo principalmente as possibilidades e dificuldades de conexão à rede, custos (principalmente das baterias), entre outros.

A partir da definição do cenário com sua respectiva frota, e, utilizando-se dos valores de emissões de CO<sub>2</sub> de um carro convencional novo, obteve-se a quantidade de emissões de CO<sub>2</sub> evitadas com a utilização dessa frota de veículos elétricos e, conseqüentemente, a quantidade de CO<sub>2</sub> evitada por uma estação de geração de 1MW<sub>P</sub> que tenha como finalidade o abastecimento veicular, como era um dos objetivos específicos desse trabalho.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse capítulo são mostrados e discutidos os resultados obtidos através do desenvolvimento do método proposto para essa dissertação, apresentado no capítulo anterior. Eles estão divididos em seis partes:

- Parte 1: cálculo do número de painéis necessário para uma usina de  $1\text{MW}_p$ ;
- Parte 2: estimativa da frota média de VEs atendida pela usina;
- Parte 3: logística de abastecimento com a usina conectada à rede;
- Parte 4: logística de abastecimento com a usina isolada e sem banco de baterias;
- Parte 5: logística de abastecimento com a usina isolada e com banco de baterias;
- Parte 6: quantidade de  $\text{CO}_2$  evitada através da frota de VEs.

Os valores foram calculados considerando-se as eficiências dos componentes de todo o sistema, mas sem levar em conta perdas na transmissão e no armazenamento da energia.

### 4.1 Cálculo do número de painéis necessários para uma usina de $1\text{MW}_p$ .

Para esse cálculo foram considerados os seguintes fatores:

- a fonte dos dados solarimétricos;
- a escolha do modelo de painel fotovoltaico a ser utilizado na usina.

No item 2.1 dessa dissertação já foi discutido de qual fonte se utilizaria os dados solarimétricos e, também, o porquê dessa escolha, concluindo-se pela seleção dos valores do CRESESB.

Para a escolha dos painéis fotovoltaicos utilizado nos cálculos, foram observados os módulos atualmente oferecidos no mercado brasileiro. Decidiu-se escolher um painel de fabricante nacional e um painel de fabricante internacional para a realização dos cálculos.

Como atualmente só há uma empresa nacional fabricante de painéis, a Tecnometal, esta foi a escolhida. Foi realizada, então, uma pesquisa dos painéis dessa empresa em comercialização no país. Nessa pesquisa observou-se que os painéis de maior potencia nominal em comercialização são de 140  $W_p$  e de 230  $W_p$ , optando-se por este de maior potência nominal.

A escolha do painel de um fabricante internacional foi um pouco mais complexa. Primeiramente se considerou as 10 maiores empresas fabricantes desses painéis (informação apresentada na Tabela 2.2.2), partindo-se da premissa que neste conjunto estão as tecnologias mais confiáveis e mais testadas em todo mundo, havendo também a possibilidade de que sejam as que apresentem menor relação custo/benefício. Em seguida, foram observadas quais dessas empresas têm representantes no Brasil (Tabela 2.2.3), sendo este um critério importante para o fornecimento e manutenção dos painéis, uma vez conhecidas as dificuldades enfrentadas por empresas do setor elétrico para concretizarem a importação de equipamentos, constatadas em muitos projetos desenvolvidos pelo Laboratório de Hidrogênio da UNICAMP. Dessa forma, observou-se que as empresas Suntech, First Solar, Sharp, Yingli, Canadian, Sunpower e SolarWorld têm representantes ou revendedores no Brasil e foram selecionadas para o fornecimento dos painéis.

O próximo critério de seleção foi a eficiência dos painéis fotovoltaicos, buscando-se maximizar o aproveitamento da energia solar disponível, com um menor uso de área, uma vez que a aplicação do sistema fotovoltaico se destina ao suprimento veicular devendo, ao operar nos modos não conectados à rede, estar situado em área urbana, onde não há grandes áreas disponíveis e os custos do metro quadrado de terreno é bastante elevado. Assim, foram observadas nas Tabelas do INMETRO (Anexo 2), quais as maiores potências e eficiências apresentadas por esses painéis testados no Brasil. Com isso chegou-se a três modelos de painéis: Suntech de 245  $W_p$  (eficiência de 14,8%); Yingli de 265  $W_p$  (eficiência de 16,2%) e SolarWorld de 85  $W_p$  (eficiência de 12,5%).

Após essa primeira etapa da escolha do painel de fabricante internacional, verificou-se se havia realmente venda dos três primeiros painéis no país, através dos *sites* das empresas representantes na Internet, constatando-se que os painéis Yingli de 265  $W_p$  não estão sendo importados pelas representantes, mas, havia a disponibilidade do modelo de 260  $W_p$  desse mesmo fabricante (modelo YL260C-30b), com eficiência de 15,9%.

Como esse painel é mais eficiente do que os das demais marcas e estava presente no mercado, ele foi escolhido para os cálculos desse trabalho. Para maiores informações técnicas sobre esse painel, observar o Anexo 3 dessa dissertação.

Utilizando os painéis escolhidos no software PVSYST, pôde-se calcular que seriam necessários 4.340 painéis da Tecnometal, ou 3.840 painéis da Yingli para obter-se o  $1 \text{ MW}_p$  desejado, lembrando que esta potência é apenas uma referência de projeto, que não será de fato alcançada em nenhum momento.

Com o número de painéis calculado, pode-se obter a energia média produzida por dia na usina. Utilizando-se a equação 03, apresentada no item 2.2 do Capítulo 2, para a situação padrão ( $I_T$  de  $1.000 \text{ W.m}^{-2}$  e potencia dos painéis de  $230 \text{ W}_p$  e  $260 \text{ W}_p$ ) obtêm-se as áreas efetivas, respectivamente de  $0,23 \text{ m}^2$  e  $0,26 \text{ m}^2$ . Finalmente, multiplicando esses valores encontrados pelo valor da irradiação média na cidade considerada ( $5,18 \text{ kWh.m}^2.\text{dia}^{-1}$ ) e pelo número total de painéis calculado, chega-se aos valores, médios, da potência fotovoltaica produzida. Também é possível calcular a energia fotovoltaica total produzida diariamente, como mostrado na equação 01 presente no item 2.2 do Capítulo 2. Esses resultados, para os dois painéis escolhidos, estão mostrados na Tabela 4.1.1.

Tabela 4.1.1: Valores de energia média diária produzida pela usina na cidade de Campinas-SP.

Painel	Energia diária (GJ)	Energia diária (MWh)
Tecnometal – $230 \text{ W}_p$	18,62	5,17
Yingli – $260 \text{ W}_p$	18,62	5,17

Foi realizada uma pesquisa do preço desses painéis ao consumidor, e notou-se que o painel da Tecnometal, apesar de ter menor potencia nominal, é encontrado por valores maiores do que o painel da Yingli aqui também analisado (Tabela 4.1.2). Dessa forma, preferiu-se continuar os cálculos desse trabalho apenas considerando as características do painel da Yingli.

Tabela 4.1.2: Custo dos painéis analisados.

Painel	Valor Unitário (R\$) <sup>6</sup>	Valor Total (R\$)	R\$.kW <sub>p</sub> <sup>-1</sup>
Tecnometal – 230 W <sub>p</sub>	1.976,40	8.577.576,00	8,58
Yingli – 260 W <sub>p</sub>	1.699,00	6.524.160,00	6,52

## 4.2 Cálculo estimado da frota média de VEs.

Para a escolha do VE a ser utilizado nos cálculos, dois critérios foram considerados:

- a relação de kWh gasto por km rodado;
- o valor de venda do veículo, considerando os carros presentes no Brasil, ou seja, os modelos mostrados no Capítulo 2.

Se fosse só considerado o primeiro critério, o veículo Mitsubishi i-Miev seria o escolhido, mas seu preço no mercado é muito superior ao do Th!nk City, que tem um valor de kWh.km<sup>-1</sup> bem próximo.

Considerando ainda que, um novo modelo do Th!nk City está para ser lançado ao mercado, segundo a montadora, com uma eficiência superior à do modelo já presente no Brasil, esse VE se torna a escolha mais adequada para os cálculos dessa dissertação. Os detalhes técnicos desse veículo estão no Anexo 1.

Segundo a CETESB *apud* Araújo (2006), a quilometragem média rodada por ano por veículos novos é de 22.000 km. Considerando que um veículo elétrico rode anualmente 50% dessa quilometragem, ele percorrerá, em média, 30,6 km por dia, utilizando-se meses de 30 dias para os cálculos. O valor de 50% foi adotado pensando-se em um uso exclusivamente urbano do veículo, portanto inferior a 22.000 km.ano<sup>-1</sup>, presumindo-se que o melhor valor no intervalo de 0 a 22.000 é a metade, uma vez que não estão disponíveis dados sobre a quilometragem anual média de frotas de veículos elétricos.

A partir da autonomia do veículo escolhido (160 km) e admitindo-se que ele rode 30,6 km por dia, o reabastecimento deverá ocorrer pelo menos a cada cinco dias. Entretanto, percebe-se

<sup>6</sup> Valores praticados pelo revendedor Apolo Energia.

neste cálculo diário um excedente de horas por dia que irá se acumular ao longo do ano, permitindo um maior número de abastecimentos. Assim sendo, é mais adequado considerar-se uma base anual para os cálculos. Neste caso, o conjunto de painéis produzirá anualmente (360 dias.ano<sup>-1</sup>) 6,70 TJ (1,86 GWh.ano<sup>-1</sup>), sendo que cada veículo necessita de 23 kWh (82,8 MJ) para carregar por completo sua bateria (Anexo 1). Portanto, não havendo nenhuma perda ou conversão desta energia, então a frota limite seria de 1.177 veículos elétricos. Deve-se lembrar, entretanto, que nem toda a energia produzida poderá ser utilizada, devido às perdas inerentes a todo o processo de geração, injeção ou não na rede, carregamento das baterias, passagem pelos controladores de carga (eletropostos), etc., o que dependerá de cada logística de suprimento, analisadas a seguir.

### **4.3 Logística de abastecimento conectado a rede.**

Com a atual tecnologia dos veículos elétricos, sua utilização em meio urbano, principalmente aqueles densamente povoados (regiões metropolitanas e grandes capitais), é a que apresenta maiores vantagens em relação aos veículos convencionais, dados os problemas ambientais normalmente encontrados nessas regiões, devidos em grande parte ao setor de transporte. Nas metrópoles 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 utilizados qualquer local de maior conveniência.

Entretanto, apesar destas vantagens técnicas há desvantagens econômicas e comerciais. Primeiramente porque ao injetar a energia na rede a empresa proprietária do sistema fotovoltaico caracterizou-se como uma empresa geradora, devendo atender uma legislação específica, regulada pela ANEEL, com inúmeros complicadores comerciais. Sendo já a empresa proprietária uma geradora, não haverá esta problemática, mas a legislação atual não permite que as empresas distribuidoras, que normalmente atuam nos centros urbanos, sejam também geradoras de

eletricidade. Além disso, sobre a energia injetada na rede incidirá uma série de tributos que compõem o custo da energia da rede, encarecendo a energia gerada, que já é bastante cara. Não é objetivo desta dissertação abordar esses aspectos regulatórios e econômicos.

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 seriam inevitáveis, como as perdas no inversor, nesse caso.

O arranjo para esse modelo de logística de abastecimento pode ser observado na Figura 4.3.1.

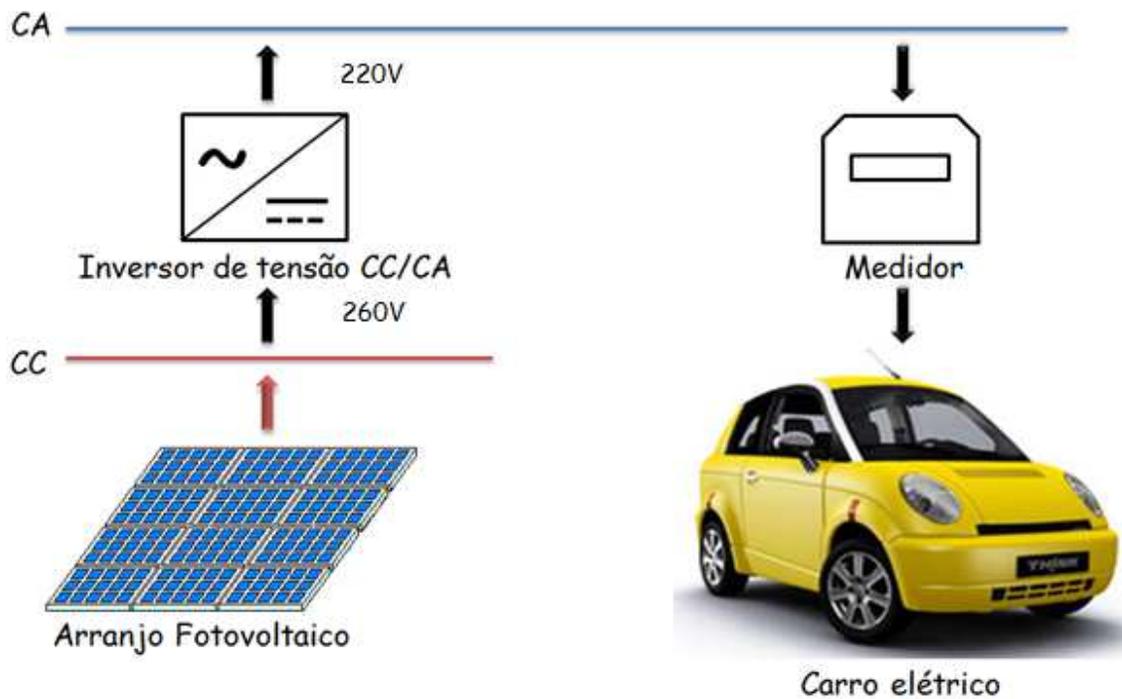


Figura 4.3.1: Arranjo de abastecimento veicular conectado à rede.

O suprimento de energia elétrica à rede permite tratar este caso como se o abastecimento fosse independente da geração. Como calculado anteriormente, a energia média anual disponibilizada pelos painéis é de 6,70 TJ ( $1,86 \text{ GWh}\cdot\text{ano}^{-1}$ ) mas, como os inversores têm eficiências próximas a 95% (Furlan, 2008), o total de energia colocada na rede é de

aproximadamente  $1,77 \text{ GWh.ano}^{-1}$  (6,37 TJ). Considerando-se as perdas no sistema de medição de carga não relevantes e que os 23 kWh gastos para se completar a carga dos veículos incluem todas as perdas internas de seus inversores, controladores de carga e de suas baterias, então a frota máxima possível seria de 1.118 veículos elétricos.

Deve-se observar que a independência entre a produção de eletricidade pelos painéis e o abastecimento dos veículos traz como vantagem a possibilidade de uma programação de carga da frota que seja a mais conveniente, podendo-se inclusive realizar o abastecimento de vários veículos simultaneamente, se o eletroposto assim o permitir, com um consumo de energia superior ao fornecido pelos painéis naquele momento. O mesmo ocorre no período noturno, pois a rede está disponível para essa finalidade.

Outra vantagem, considerando essa logística de abastecimento conectado à rede, é que mesmo nos meses de menor produção de energia a frota pode ser mantida, já que haverá uma compensação, da energia consumida, nos meses de maior produção, onde a energia produzida superará a necessária ao abastecimento veicular.

#### **4.4 Logística de abastecimento isolado sem banco de baterias.**

No caso do sistema fotovoltaico não ser conectado à rede e nem possuir sistema de armazenamento de eletricidade, sua operacionalidade se reduz ao período de insolação. Para o atendimento de frotas de veículos urbanos, esta limitação encarece significativamente o sistema, em vista de seu baixo fator de capacidade, ao mesmo tempo em que produz muitas dificuldades e desconfortos aos usuários, que serão obrigados a programar seus horários de abastecimento.

Entretanto, este não é um problema relevante para frotas cativas de veículos, pertencentes, por exemplo, a empresas de serviços, que normalmente trabalham com abastecimentos programados. O uso deste tipo de sistema em frotas de veículos elétricos de serviço traz a vantagem das empresas poderem ser caracterizadas como autoprodutoras de eletricidade, pagando por ela o custo de geração e não a tarifa da rede, além dos menores condicionantes regulatórios em relação às empresas de geração.

Apesar do uso de sistemas fotovoltaicos ser adequado em comunidades isoladas, desconectadas da rede, não é este o caso presente, uma vez que em pequenos centros urbanos os veículos elétricos perdem totalmente seu apelo ambiental e, até o momento, dificilmente se justifica seu uso, por serem mais caros que os veículos convencionais.

Para o caso de abastecimento isolado sem banco de baterias, não há onde armazenar a energia excedente para uma utilização posterior, como pode ser observado na Figura 4.4.1. Essa característica impõe que a análise da logística de abastecimento seja feita diariamente, conforme a energia elétrica esteja disponível. Dessa forma, para o cálculo da frota é necessário utilizar os valores referentes ao pior desempenho na produção de energia, assegurando-se a energia necessária ao abastecimento de todos os veículos, mesmo nesses meses de menor produção fotovoltaica. Assim, observou-se na Tabela 2.1.1 e na Figura 4.4.2 que o mês onde há a menor média de irradiação é Junho, com um valor de  $4,65 \text{ kWh.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  ( $16,74 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ).

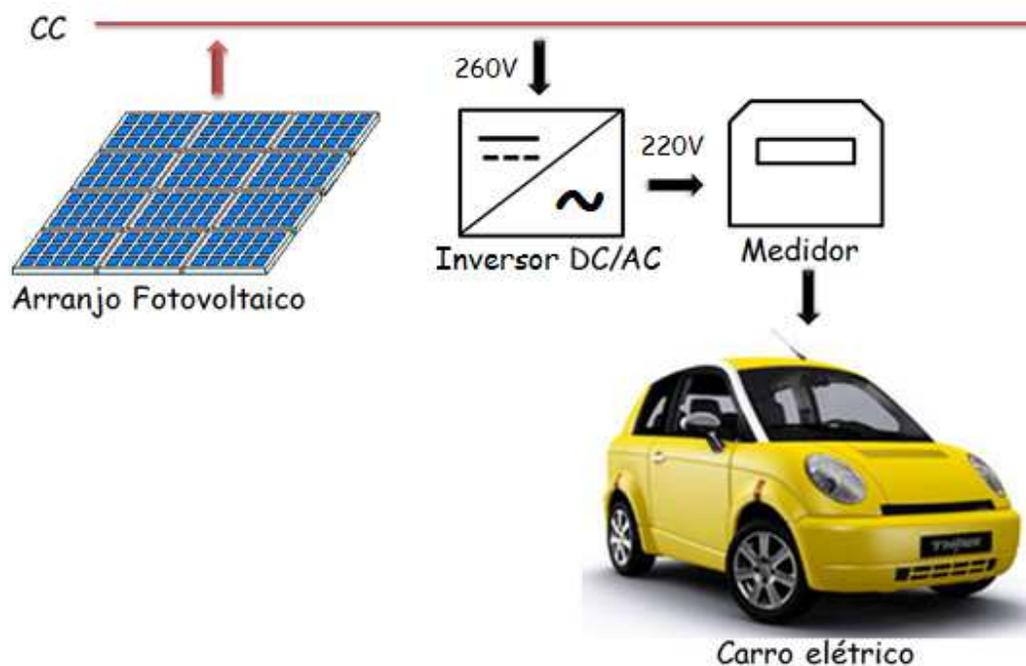


Figura 4.4.1: Arranjo de abastecimento veicular isolado sem banco de baterias.

Com esse valor de irradiação e utilizando a equação 01 do item 2.2, é possível se produzir em uma usina de  $1 \text{ MW}_p$  em média  $4,64 \text{ MWh}$  ( $16,70 \text{ GJ}$ ) de energia por dia (Figura 4.4.2) mas,

considerando que em um sistema desse tipo é necessário utilizar um inversor, 5% dessa energia não poderá ser aproveitada, já que a eficiência de um inversor DC/AC é da ordem de 95% (Furlan, 2008). Dessa forma, seria possível utilizar diariamente 4,41 MWh (15,88 GJ) de energia para o abastecimento da frota (Figura 4.4.3), e ter-se-ia, dependendo do mês, altos excedentes não utilizados, como pode ser notado na Figura 4.4.4.

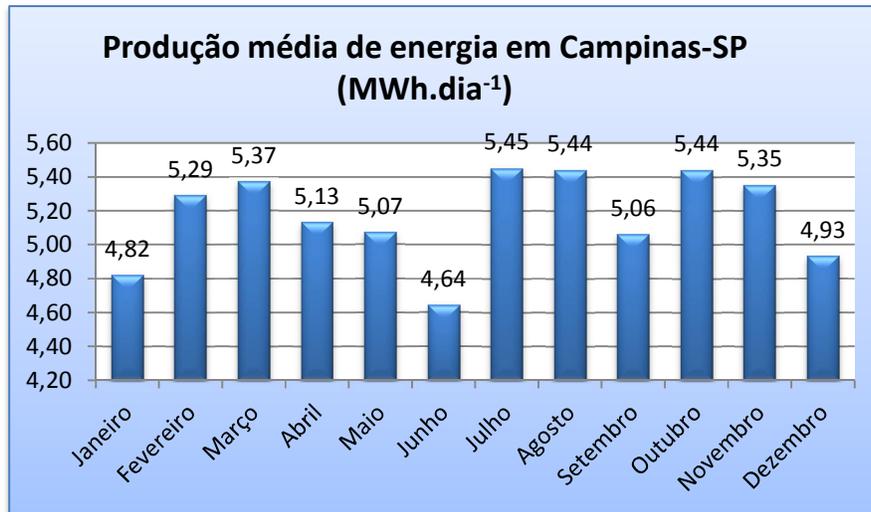


Figura 4.4.2: Produção média diária de energia produzida na usina, para cada mês, na cidade de Campinas-SP.

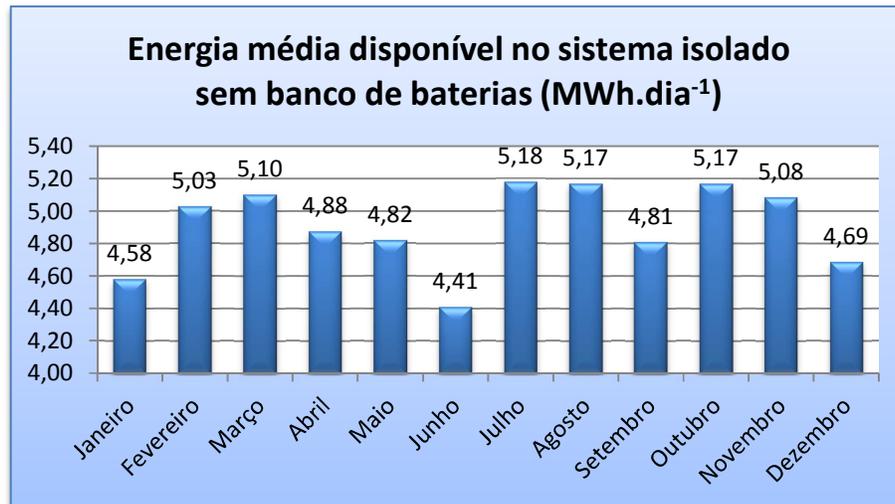


Figura 4.4.3: Energia diária disponível para o sistema isolado sem banco de baterias, para cada mês do ano.

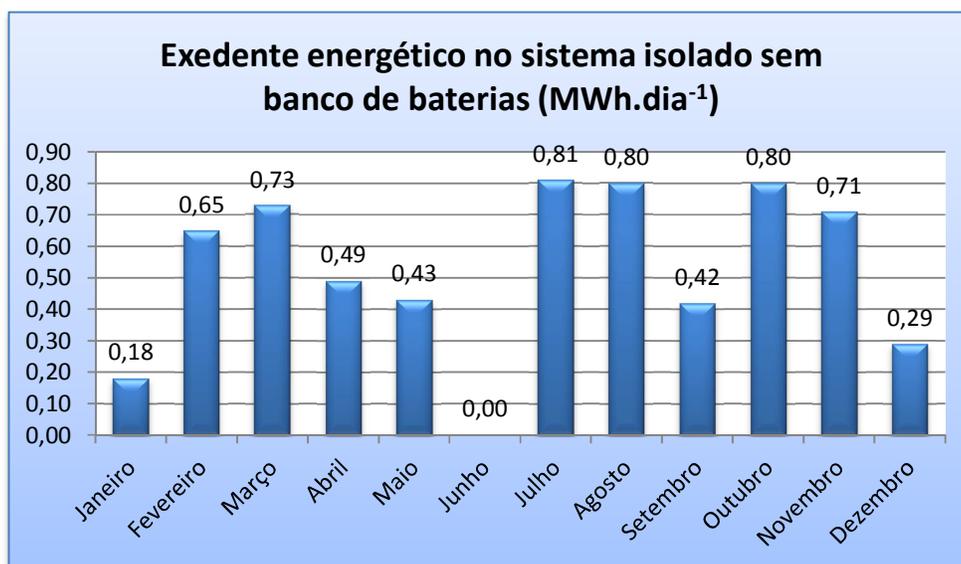


Figura 4.4.4: Excedente energético no sistema isolado sem banco de baterias.

Com essa quantidade de energia (15,88 GJ) seria possível abastecer 191 veículos por dia e, como os reabastecimentos ocorrem a cada 5 dias, a frota máxima seria de 955 veículos.

Com a irradiação média do mês de Junho, utilizada para suprimento da frota, a usina fotovoltaica produz anualmente 1,67 GWh (6,01 TJ), para uma produção total anual pelos painéis de 1,86 GWh.ano<sup>-1</sup> (6,70 TJ), em corrente contínua (antes dos inversores). Portanto, a energia excedente será equivalente a 0,19 GWh (0,69 TJ) anualmente, que será perdida ou poderá ser utilizada em outras aplicações, pois não há meio de armazenamento.

Da mesma forma, também para o mês de Junho, o abastecimento de 191 veículos por dia equivale a um consumo diário de eletricidade de 4,39 MWh (15,80 GJ), enquanto o total produzido será, em média, de 4,41 MWh (15,88 GJ). Portanto haverá uma sobra diária de aproximadamente 20 kWh (72 MJ), insuficiente para abastecer mais um veículo, mas que poderá ser utilizada para abastecimentos complementares, dias nublados, paradas para manutenção do sistema, ou em outras aplicações, uma vez que não tem como ser armazenada para usos posteriores. Nos demais meses do ano esta energia será maior, podendo-se ampliar estas utilizações.

Deve-se observar que a disponibilidade de energia ao longo do dia impõe uma programação para o abastecimento dos veículos, podendo-se atender um maior número de unidades por volta das 12 horas, diminuindo-se pela manhã e ao final da tarde. Ainda mais, dias nublados, com baixa insolação, devem ser previstos e os abastecimentos ajustados para que a eventual paralisação de alguns veículos por falta de carga seja minimizada. Esse fato será inevitável, principalmente nos meses mais chuvosos.

#### **4.5 Logística de abastecimento isolado com banco de baterias.**

Esta alternativa se caracteriza por uma situação intermediária entre as duas abordadas anteriormente, tentando-se reduzir as desvantagens comerciais e regulatórias da opção com conexão à rede e minimizar o problema de disponibilidade limitada da energia elétrica verificada na opção isolada sem banco de baterias. Com o armazenamento eletroquímico da eletricidade, um adequado dimensionamento do sistema permite o aproveitamento da energia que foi perdida no caso anterior, mostrada na Figura 4.4.4.

Considerando um conjunto de baterias que consiga armazenar toda a energia excedente no período de maior produção para posterior utilização no período de menor geração, lembrando que as baterias convencionais de ciclo profundo suportam até 70% de descarga e têm eficiência de 80% (Furlan, 2008), e sabendo que nesse circuito deve existir um controlador de carga (eficiência 90%) e um inversor DC/AC (eficiência 95%) (Figura 4.5.1), pode-se estimar a frota que poderia ser abastecida.

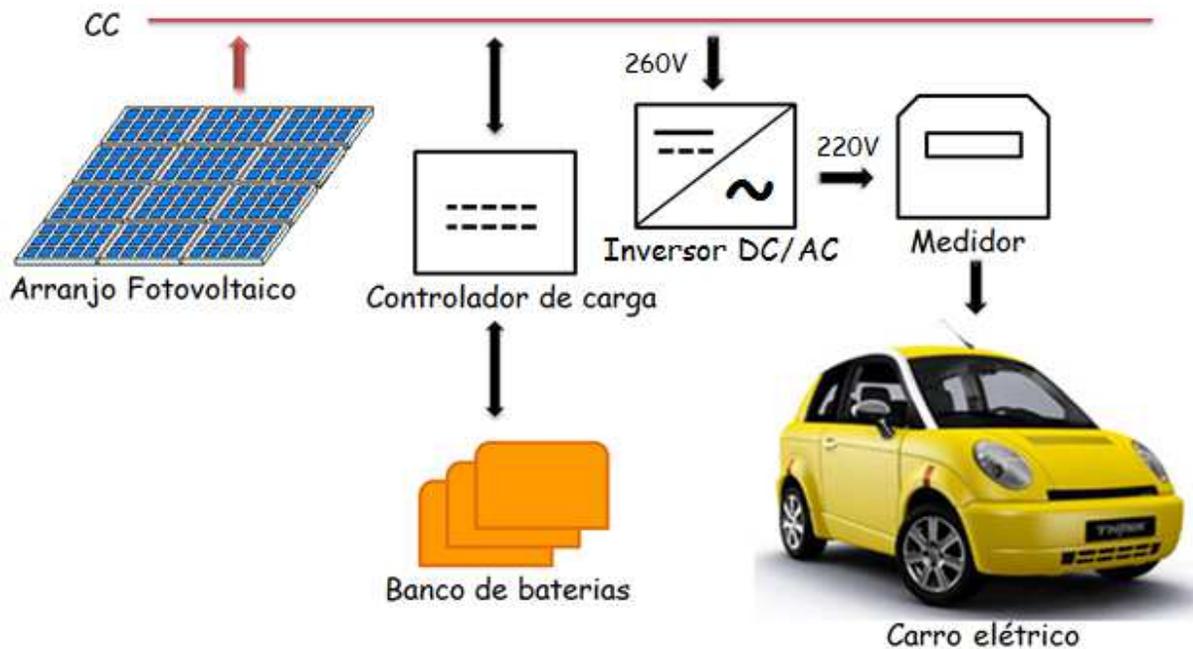


Figura 4.5.1: Arranjo de abastecimento veicular isolado com banco de baterias.

Esta alternativa é semelhante a anterior, sendo que o banco de baterias poderá armazenar e disponibilizar a energia excedente (Figura 4.4.4), que foi desperdiçada naquele caso, a saber, 0,19 GWh (0,68 TJ) anualmente. Para isso essa energia elétrica deverá percorrer o caminho controlador/baterias/controlador, voltando ao barramento CC apenas 64,8% dela, ou seja, 0,12 GWh (0,43 TJ) no ano. Uma vez disponibilizada no barramento CC, devido às perdas no inversor (5%) anualmente apenas 0,11 GWh (0,40 TJ) será utilizada nos veículos, o que equivale ao abastecimento de 69 veículos.

Para efeitos dos cálculos, pode-se tomar a frota da logística anterior (sem baterias) e acrescentar os veículos que podem utilizar esta energia elétrica armazenada nas baterias, ao longo do ano todo, o que totaliza 1.024 VEs.

Deve-se ressaltar que, apesar do banco de baterias permitir flexibilidade no abastecimento dos veículos, inclusive à noite, não é esta a ideia aqui considerada. O que está sendo proposto é uma solução para a sazonalidade da disponibilidade de energia ao longo do ano, com uma abordagem mensal. Assim, trata-se do caso anterior onde a energia armazenada nos meses de maior produção seja guardada para os meses em que se faça necessária.

Também haveria uma sobra da energia fornecida pelo banco de baterias ao longo do ano que, juntamente com a sobra da geração direta dos painéis, constitui uma energia elétrica utilizável em outras aplicações ou de reserva para dias de baixa insolação ou nos quais haja necessidade de manutenção no sistema.

Quanto ao banco de baterias, deve-se levar em conta que sua utilização tem características específicas que variam dependendo desde a temperatura de operação até o nível da descarga realizada. Conforme a forma de utilização, pode ter baixa durabilidade e agregar alto custo ao sistema, além dos problemas ambientais que trazem em seu ciclo de vida. Esses aspectos econômicos e ambientais não fazem parte dos objetivos desta dissertação e poderá ser objeto de estudos posteriores.

#### **4.6 Quantidade de CO<sub>2</sub> evitada.**

Para o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> evitadas, escolheu-se abordar o maior e o menor valor de frota obtidos. Dessa forma, se utilizou a quantidade de veículos elétricos para o cenário do sistema conectado à rede (1.118 veículos) e o cenário do sistema isolado da rede sem banco de baterias (955 veículos). Esses veículos elétricos, ao entrarem em operação, irão substituir veículos convencionais novos, devendo-se lembrar que não de forma integral, uma vez que suas características urbanas impõem um uso limitado, que neste trabalho foi suposto da ordem de 50% da quilometragem anual dos equivalentes de combustão interna. Assim sendo, o cálculo das emissões evitadas exige a determinação das quilometragens evitadas e as respectivas quantidades de combustível que não foram queimados. Para isso, algumas hipóteses são necessárias:

- a) Não há emissões de CO<sub>2</sub> associadas aos VEs, uma vez que os painéis fotovoltaicos quando em uso não apresentam essas emissões e, mesmo considerando-se o ciclo de produção das células fotovoltaicas, onde de fato esta tecnologia apresenta emissões de gases de efeito estufa, além de pequenas em relação aos combustíveis fósseis, devido ao uso de painéis importados essas emissões não foram contabilizadas no país.

- b) Segundo a FENABRAVE (2011), no ano de 2010 86,24% dos carros vendidos foram tipo flex e os 13,76% restantes foram dos demais tipos, considerando os autos e os comerciais leves. Sabe-se que os veículos flex utilizam etanol e/ou gasolina em função dos preços relativos destes dois combustíveis, que oscilam durante o ano principalmente devido à safra e à entressafra da cana, estando também sujeitos aos problemas tradicionais do setor agrícola (chuvas, secas, mercado interno e externo, etc.). Assim sendo, considerou-se para os flex metade do consumo anual de gasolina e metade etanol, o que equivale a dizer que metade dos 86,24% usariam exclusivamente etanol e a outra metade só gasolina. Assim, a composição da frota substituída pelos VEs seria 13,76% veículos à gasolina (Gasolina C, segundo a CETESB, como mostrado no Capítulo 2), 43,12% Flex a gasolina (Flex-Gasolina C) e 43,12% Flex a etanol (Flex-Etanol).
- c) Segundo CGEE (2008), ao longo de todo o seu ciclo de vida (da formação da muda de cana até a queima do etanol no motor do veículo), ocorre uma emissão líquida de 309 kg de CO<sub>2</sub>/1.000 L de etanol. Para o caso da gasolina a mesma referência estabeleceu a emissão líquida total de CO<sub>2</sub> em 3.009 kg/1.000 L.
- d) Pela Tabela 2.4.1 tem-se os seguintes consumos específicos, para cada modelo de veículo: Gasolina C: 10,2 km/L; Flex-Gasolina C: 12,2 km/L e Flex-Etanol: 8,3 km/L. Portanto, para uma quilometragem anual de 11.000 km adotada neste trabalho, por ano cada tipo de veículo irá utilizar respectivamente 1.073 L de gasolina, 902 L de gasolina e 1.326 L de etanol.

Os resultados dos cálculos das emissões estão, para a frota maior e a menor, respectivamente nas Tabelas 4.6.1 e 4.6.2.

Tabela 4.6.1: Cálculos de emissões de CO<sub>2</sub> anuais evitadas para a maior frota.

<b>Combustível</b>	<b>Nº de veículos</b>	<b>Consumo de combustível (11.000 km)</b>	<b>CO<sub>2</sub> evitado em 1.000 L (kg)</b>	<b>CO<sub>2</sub> evitado por ano (ton)</b>
Flex-Etanol	482	638903	309	197
Gasolina C	154	165.902	3.009	499
Flex Gasolina C	482	434.664	3.009	1.308
Total	1.118			2.004

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 4.6.2: Cálculos de emissões de CO<sub>2</sub> anuais evitadas para a menor frota.

<b>Combustível</b>	<b>Nº de veículos</b>	<b>Consumo de combustível (11.000 km)</b>	<b>CO<sub>2</sub> evitado em 1.000 L (kg)</b>	<b>CO<sub>2</sub> evitado por ano (ton)</b>
Flex-Etanol	412	545.754	309	169
Gasolina C	131	141.715	3.009	426
Flex Gasolina C	412	371.291	3.009	1117
Total	955			1.712

Fonte: Elaboração própria.

## 5 Conclusões e Sugestões para Próximos Trabalhos

### 5.1 Conclusões

A análise dos resultados obtidos indica que, do ponto de vista exclusivamente da frota a ser atendida, a melhor opção de logística de abastecimento é a do sistema fotovoltaico de 1 MW<sub>p</sub> conectado à rede, já que essa logística é a que propicia uma maior frota de veículos elétricos (1.118 unidades). A opção intermediária seria a de logística de abastecimento isolado com banco de baterias (1.024 veículos) e a pior opção de logística de abastecimento é a isolada sem banco de baterias, já que resultou em uma menor frota (955 veículos). Pode-se observar que a relação entre a maior e a menor frota é de aproximadamente 1,17, o que mostra um valor não tão discrepante entre as opções de logística de abastecimento.

A energia excedente no caso de abastecimento isolado sem banco de baterias poderia ser pensada com outra finalidade ligada à sua sazonalidade. Dessa forma, essa opção de logística de abastecimento poderia se tornar mais interessante de acordo com a utilização dessa energia excedente, considerando que não haveria perdas no controlador de carga e no armazenamento da energia.

A quantidade de emissões evitadas variou conforme o modelo escolhido, proporcionalmente a frota utilizada. Dessa forma, a relação entre as emissões evitadas no caso da maior frota e da menor frota também é de aproximadamente 1,1, cujos valores obtidos foram respectivamente 2.004 e 1.712 ton CO<sub>2</sub>/ano.

Segundo o DENATRAN (2012) a frota de veículos em Campinas-SP, no final de Dezembro de 2011 era de 513.630, ou seja, a frota representada nesse trabalho corresponde a aproximadamente 0,22% para o melhor caso e 0,19% para o pior caso. Dessa forma, pode-se observar que haveria uma leve redução nas emissões.

Podem-se comparar as emissões evitadas, pela utilização dessa frota, com as emissões evitadas no Aterro Bandeirantes. Neste, a Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo (2004) havia previsto 8 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> reduzidos em 15 anos. Comparando com a

quantidade de CO<sub>2</sub> evitada pela frota calculada neste trabalho (considerando o caso de 1065 veículos utilizando Gasolina e Flex-Gasolina C), observa-se que a quantidade de emissões evitadas anualmente representam 0,38% das emissões evitadas pela utilização do Biogás no aterro.

Com tudo isso, pode-se concluir que os objetivos gerais e específicos dessa dissertação foram alcançados, já que se buscou fazer uma estimativa da frota de VEs que poderiam ser abastecidos com a energia elétrica gerada por uma Usina Fotovoltaica de 1 MW de potência que estivesse instalada na cidade de Campinas, no interior do Estado de São Paulo, tendo como objetivos específicos estimar a geração de energia elétrica nessa usina, pensar a logística de abastecimento dessa frota e calcular a quantidade de emissões de CO<sub>2</sub> que seriam evitadas ao se utilizar essa frota comparativamente a veículos a combustão interna.

## **5.2 Sugestões para próximos trabalhos**

O software PVSYST também tem ferramentas para calcular o número de painéis necessários para obter a potência nominal em 1 MW<sub>médios</sub>, quando considerados sistemas conectados à rede e isolados, considerando as perdas nos equipamentos do sistema e no armazenamento nas baterias. Como essa análise não era objetivo deste trabalho, essa opção é deixada como um possível trabalho futuro.

Outra sugestão para trabalho futuro seria estabelecer uma frota e calcular qual seria a potencia nominal de uma usina para abastecer essa frota pré-determinada. Esse raciocínio seria muito útil para a construção de postos para veículos elétricos.

Também poderia ser realizado um trabalho maior relacionado às emissões dos veículos elétricos, expandindo dessa pesquisa para os setores de produção, já que desde a fabricação eles levam alguns componentes diferenciados aos dos veículos a combustão interna.

Sobre aspectos mais amplos, as questões regulatórias, comerciais e econômicas envolvidas em toda a logística de geração, transmissão e distribuição de eletricidade para os veículos elétricos sem dúvida merecem estudos aprofundados.

## Referências

ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil 3ª edição**. Brasília, 2008. 236p.

ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica. Banco de Informações sobre Geração – BIG. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/GeracaoTipoFase.asp?tipo=12&fase=3>, Acesso dia 24/10/2011.

ARAÚJO, Paula Duarte. **Impactos ambientais e na matriz de consumo de combustíveis pela introdução de uma frota de veículos leves com células a combustível na cidade de São Paulo – SP**. 2004. 164p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BARAN, Renato e LEGEY, Luiz F. L.: Veículos Elétricos: História e Perspectivas no Brasil. **BNDES Setorial**, v.33, p.207-224, 2011.

CAMARGO, João Carlos. **Curso de Treinamento em Operação de Planta FV**. Campinas, 2011.

CAMARGO, João Carlos. **Medidas do potencial fotovoltaico na região das bacias dos Rios Piracicaba e Capivari**. 2000. 130p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade do ar no Estado de São Paulo 2010**. São Paulo, 2011. 234p.

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: BNDES, 2008. 316p. Disponível em <http://www.bioetanoldecana.org>, Acessado dia 14/02/2012.

CRESESB – Centro de Referencia para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Energia Solar Princípios e Aplicações**. Rio de Janeiro, 2006. 28p.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Potencial Energético Solar – SunData.** Disponível em <http://www.cresesb.cepel.br/sundata/index.php#sundata>, Acesso dia 06/07/2011.

DAL POGGETTO, Priscila – repórter do G1. **Brasil tem 72 automóveis elétricos emplacados em quatro anos.** São Paulo, 2011. Disponível em <http://g1.globo.com/carros/noticia/2011/07/brasil-tem-71-automoveis-eletricos-emplacados-em-quatro-anos.html>, Acesso dia 16/09/2011.

DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito. **Frota Municipal.** 2012. Disponível em <http://www.denatran.gov.br/frota.htm>, Acesso dia 11/02/2012.

DOE/EERE – U.S. Department of Energy Efficiency & Renewable Energy. **Photovoltaics.** 2011. Disponível em [www.eere.energy.gov/basics/renewable\\_energy/photovoltaics.html](http://www.eere.energy.gov/basics/renewable_energy/photovoltaics.html), Acesso dia 19/08/2011.

DOE/EIA – **International Energy Outlook 2011.** Washington, DC, 2011. 301p. Disponível em <http://www.eia.gov/404r.cfm?v=http://www.eia.gov/ieo/pdf/0484%282011%29.pdf>, Acesso dia 06/10/2011.

DOE/NREL – U.S. Department of Energy Efficiency & Renewable Energy/ National Renewable Energy Laboratory. **2010 Renewable energy Data Book.** 2011. Disponível em <http://www.nrel.gov/analysis/pdfs/51680.pdf>, Acesso dia 15/11/2011.

EM – Estado de Minas. Minas terá a maior usina de energia fotovoltaica do País, com investimentos de R\$25 milhões. Disponível em [http://www.em.com.br/app/noticia/economia/2011/11/09/internas\\_economia,261110/minas-tera-a-maior-usina-de-energia-fotovoltaica-do-brasil-com-investimentos-de-r-25-mil.shtml](http://www.em.com.br/app/noticia/economia/2011/11/09/internas_economia,261110/minas-tera-a-maior-usina-de-energia-fotovoltaica-do-brasil-com-investimentos-de-r-25-mil.shtml), Acesso dia 14/11/2011.

EPIA – European Photovoltaic Industry Association. **Solar Generation 6: Solar photovoltaic electricity empowering the world.** 2011. 100p. Bélgica.

FENABRAVE – Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores. **Informativo Emplacamentos –Resumo Mensal de Dezembro de 2011**. 2011. Disponível em [http://www.tela.com.br/dados\\_mercado/emplacamentos/index.asp?coditem=1](http://www.tela.com.br/dados_mercado/emplacamentos/index.asp?coditem=1), Acessado dia 24/10/2011.

FURLAN, André Luiz. **Análise comparativa de sistemas de armazenamento de energia elétrica fotovoltaica por meio de baterias e hidrogênio em localidades isoladas da região Amazônica**. 2008. 118p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Tabelas de Consumo/ Eficiência Energética – Componentes Fotovoltaicos – Módulos – Edição 10/11**. 2011. 8p. Rio de Janeiro.

MPX, MPX Tauá. Disponível em <http://www.mpx.com.br/pt/nossos-negocios/geracao-de-energia/usinas-em-operacao/Paginas/mpx-taua.aspx>, Acesso dia 24/10/2011.

OLIVEIRA, Sérgio Henrique Ferreira de. **Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos autônomos: ênfase na eletrificação de residências de baixo consumo**. 1997. 260p. Dissertação de Mestrado – Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

PEREIRA, Enio Bueno, MARTINS, Fernando Ramos, ABREU, Samuel Luna de, RÜTHER, Ricardo. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2006. 60p. São José dos Campos: INPE.

PV insights. **PVinsights announces worldwide 2010 top 10 ranking of PV module makers**. Disponível em <http://pvinsights.com/Report/ReportPMM04A.php>, Acesso dia 27/10/2011.

RE – Rotas Estratégicas. **Primeiro estádio de futebol com geração fotovoltaica do Brasil**. Publicado dia 28/10/2011. Disponível em <http://rotaenergia.wordpress.com/2011/10/28/primeiro-estadio-de-futebol-com-iluminacao-fotovoltaica-no-brasil/#more-2098>, Acesso dia 24/10/2011.

RENI – Renewables Insight, **PV POWER PLANTS: Industry guide**. 2011. 108p.

REN21 – Renewable Energy Policy Network for the 21<sup>st</sup> Century. **Renewables 2011 – Global Status Report**. Paris, 2011. 116p. Disponível em [http://www.ren21.net/Portals/97/documents/GSR/REN21\\_GSR2011.pdf](http://www.ren21.net/Portals/97/documents/GSR/REN21_GSR2011.pdf).

Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo. **Termelétrica do Aterro Bandeirantes reduz emissão de CO2 para atmosfera.** Publicado dia 25/03/2004. Disponível em [http://www.ambiente.sp.gov.br/destaque/2004/marco/25\\_termeletrica.htm](http://www.ambiente.sp.gov.br/destaque/2004/marco/25_termeletrica.htm), Acesso dia 11/02/2012.

SHAYANI, Rafael Amaral. **Medição do rendimento global de um sistema fotovoltaico isolado utilizando módulos de 32 células.** 2006. 184p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília.

SOUZA, Ronilson di. **Curso de introdução aos sistemas de energia solar fotovoltaica.** 2011. 80p. Curso oferecido pela empresa BlueSol energia solar durante a EcoEnergy, São Paulo.

TIBA, Chigueru, et al. **Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos.** 2000. 111p. Recife.

VARELLA, Fabiana Karla de Oliveira Martins. **Estimativa do índice de nacionalização dos sistemas fotovoltaicos no Brasil.** 2009. 148p. Dissertação de Doutorado – Pós-Graduação em Planejamento de Sistemas Energéticos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

## ANEXO 1

### **Palio elétrico de Itaipú:**

Símbolo:



Ficha Técnica:

#### **Motor**

Tipo: Eléctrico assíncrono trifásico  
Potência nominal: 15 kW (20 cv)  
Torque nominal: 50 Nm (5,1 kgm)  
Potência máxima: 28 kW (37,8 cv)  
Torque máximo: 124 Nm (12,6 kgm)  
Rotação: 9.000 RPM  
Tração: Dianteira

#### **Bateria**

Tipo: Níquel  
Marca: Zebra (Zero Emission Battery Research Activity)  
Tensão final a vácuo: 278 v  
Mínima tensão de operação: 186 v  
Máxima corrente de descarga: 224 v  
Temperatura ambiente: -40°C a +50°C  
Temperatura interna: 260°C  
Peso: 165 kg  
Dimensões: 680 x 609 x 292 mm  
Capacidade: 76 Ah  
Corrente de carga: 16 A  
Consumo de energia para cada 100 km: 15 kWh  
Tempo de recarga total: 8 horas

#### **Câmbio**

Número de marchas 3 (drive, neutro e ré)

## **Freios**

De serviço: Hidráulico com comando no pedal

Dianteiro: A disco ventilado ( $\varnothing$  de 257 mm) com pinça flutuante

Traseiro: A disco tambor ( $\varnothing$  de 185 mm) com sapatas autocentrantes e regulação automática

## **Suspensão**

### 1) Dianteira

Tipo: McPherson com rodas independentes, braços oscilantes inferiores transversais e barra estabilizadora

Amortecedores Hidráulicos, telescópios de duplo efeito

Elemento elástico: Molas helicoidais

### 2) Traseira

Tipo: Com rodas independentes, braços oscilantes longitudinais e barra estabilizadora

Amortecedores Hidráulicos, telescópios de duplo efeito, tipo WET

Elemento elástico: Molas helicoidais

## **Peso**

Em ordem de marcha (Std A): 1.029 Kg

Carga útil (com condutor): 342 Kg

## **Dimensões externas**

Comprimento: 3.827 mm

Largura: 1.834 mm

Altura: 1.433 mm

Distância entre eixos: 2.373 mm

Bitola dianteira: 1.418 mm

Bitola traseira: 1.378 mm

## **Desempenho**

Velocidade máxima: 110 km/h

Autonomia: 120 km

Aceleração 0 a 50 km/h: em 7s

0 a 100 km/h: em 28s

Fonte: [http://www2.itaipu.gov.br/ve/portugues/ficha\\_tecnica.html](http://www2.itaipu.gov.br/ve/portugues/ficha_tecnica.html).

## Reva i:

TECHNICAL SPECIFICATIONS	VARIANTS
Length	2638 mm
Width	1324 mm
Height	1510 mm
Ground Clearance	150 mm
Wheelbase	1710 mm
Turning Radius	3.5 m
Kerb Weight	700 kg
Type	3 - door hatchback
Seating Capacity	Two adults & two children (227 kg)
Top Speed	80 km/hr
Charge Time	80% charge in 2.5 hours; 100% in 8 hours
Integrated Power System Motor	High torque (52 Nm), AC Induction Motor, 3 phase 13 kW peak
Controller	350 Amp microprocessor based, with regenerative braking
Charger	220 V, 2.2 kW, requiring a 15 Amp socket
Energy Management System (EMS)	Microprocessor-based battery management system
Power Pack	48 V, 200 Amp-hr, EV lead acid batteries

Fonte: <http://www.petrofreesworld.com/>

## **Think City:**

### Technical data

#### Performance

Top speed 110 km/h

Acceleration 0-50km/h 6.5 seconds

Acceleration 0-80km/h 16.0 seconds

Typical charge time: Lithium battery; 0-100% 8 hours. Zebra battery; 0-80% 7 hours, 80-100% 4 hours.

Range 160\* km

#### Dimensions

Length: 3143 mm

Width: 1658 mm

Height: 1596 mm

Wheel base: 1970mm

Track: 1374mm front/1424mm rear

Tires: 165/65 x 14

Turning diameter: 9m (turning radius 4.5m)

#### Weight

Battery weight: 245 - 260 kg

Kerb weight: 1038 kg

Payload 2 seater: 165 kg

#### Batteries

MES DEA – Zebra Sodium, 24 kWh

EnerDel, Lithium-ion, 23 kWh

#### Powertrain

Motor: 3 phase asynchrone electric motor

Peak power, normal: 34kW

\* According to ECE-R101

Fonte: <http://www.thinkev.com/The-THINK-City/Specifications/Technical-data>.

## Mitsubishi i-Miev:

MODELO			i-MiEV
TRACÇÃO			2WD
DIMENSÕES E PESOS	Comprimento total	mm	3.475
	Largura total	mm	1.475
	Altura total	mm	1.610
	Distância entre eixos	mm	2.550
	Largura Dianteira de vias	mm	1.310
	Traseira	mm	1.270
	Distância ao solo	mm	150
	Comprimento interior	mm	1.790
	Largura interior	mm	1.270
	Altura interior	mm	1.250
	Tara	kg	1.110
	Peso bruto	kg	1.450
	Lotação	lugares	4
PERFORMANCE	Consumo de energia eléctrica (NEDC) <sup>1</sup>	Wh/km	135
	Autonomia (NEDC) <sup>1</sup>	km	150
	Velocidade máxima	km/h	130
	Aceleração (0-100km/h)	sec.	15,9
	Raio de viragem mínimo	m	4,5
MOTOR	Modelo		Y4F1
	Potência nominal <sup>2</sup>	kW	35
	Potência máxima <sup>3</sup>	kW/rpm	49/2.500 - 8.000
	Binário máximo	N.m/rpm	180/0 - 2.000
TEMPO DE CARGA	Carregamento normal (AC 230V monofásica) <sup>4</sup>	16A	Aprox. 6 hrs.
		13A	Aprox. 7 hrs.
		10A	Aprox. 8 hrs.
	Carregamento rápido <sup>5</sup>		Aprox. 30 min.
BATERIAS DE TRACÇÃO	Tipo		Baterias de iões de lítio
	Voltagem	V	330
	Consumo da bateria	kWh	16
TRANSMISSÃO	Relação final		6,066
DIRECÇÃO	Tipo		Pinhão e cremalheira (assistida electricamente)
SUSPENSÃO	Dianteira		McPherson com molas helicoidais
	Traseira		Dion de 3 tirantes
TRAVÕES	Dianteiros		Discos ventilados
	Traseiros		Tambores
PNEUS (de baixo atrito)	Dianteiros		145/65R15
	Traseiros		175/55R15

Fonte: <http://www.mitsubishi-motors.pt/digital/2070/asset/get/i-miev-brochure-my11.aspx?format=pdf>

## Anexo 2



INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA

PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM



Tabelas de Consumo / Eficiência Energética - Componentes Fotovoltaicos - MÓDULOS - Edição 10/11

Nº Modelos: 201  
Nº Marcas: 27

28/10/11

CLASSES	ÍNDICE MÓDULO		SILÍCIO CRISTALINO		FILMES FINOS		EE
	SILÍCIO CRISTALINO (MONO-SI / MULTI-SI)	FILMES FINOS	TOTAL	%	TOTAL	%	
A	EE > 13,5	EE > 9,5	100	50,8	0	0,0	Mais eficiente
B	13,5 >= EE > 13,0	9,5 >= EE > 7,5	27	13,7	1	25,0	
C	13,0 >= EE > 12,0	7,5 >= EE > 6,5	35	17,8	1	25,0	
D	12,0 >= EE > 11,0	6,5 >= EE > 5,5	9	4,6	2	50,0	
E	EE < 11,0	EE > 5,5	26	13,2	0	0,0	
			197	100,0	4	100,0	

### A) SILÍCIO CRISTALINO (mono-Si ou multi-Si)

FABRICANTE	MARCA	FAMILIA / MODELO	AREA EXTERNA (m2)	POTENCIA NA CONDIÇÃO PADRÃO (W)	CORRENTE NO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA (A)	PRODUÇÃO MÉDIA MENSAL DE ENERGIA (Wh/m2)	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (%)	PESO (kg)	CLASSIFICAÇÃO
AERBRAX POWER	AVPROJECT	AVP48-190Wp	1,330	190	7,46	23,75	14,4	16,0	A
AERBRAX POWER	AVPROJECT	AVP60-235Wp	1,630	235	7,61	29,38	14,4	21,0	A
AERBRAX POWER	AVPROJECT	AVP60-240Wp	1,630	240	7,74	30,00	14,7	21,0	A
AERBRAX POWER	AVPROJECT	AVP72-285Wp	1,960	285	8,04	35,63	14,5	26,0	A
AERBRAX POWER	AVPROJECT	AVP72-290Wp	1,960	290	8,06	36,25	14,8	26,0	A
AERBRAX POWER	AVPROJECT	AVP48M-195Wp	1,330	195	8,09	24,38	14,7	16,0	A
AERBRAX POWER	AVPROJECT	AVP60M-245Wp	1,630	245	8,09	30,63	15,0	21,0	A
AERBRAX POWER	AVPROJECT	AVP60M-250Wp	1,630	250	8,20	31,25	15,3	21,0	A
AERBRAX POWER	AVPROJECT	AVP72M-295Wp	1,960	295	8,17	36,88	15,1	26,0	A
AERBRAX POWER	AVPROJECT	AVP72M-300Wp	1,960	300	8,15	37,50	15,3	26,0	A
BLUE SOL	BLUE SOL	STP0100-12/KEA	0,110	10	0,57	1,25	8,8	1,5	E
BLUE SOL	BLUE SOL	STP0300-12/LEA	0,290	30	1,74	3,75	10,4	3,2	E
BLUE SOL	BLUE SOL	STP0500-12/MEA	0,420	50	2,93	6,25	11,9	5,3	D
BLUE SOL	BLUE SOL	STP0650-12/SEA	0,510	65	3,69	8,12	12,7	6,2	C
BLUE SOL	BLUE SOL	STP1350-12/TEA	1,000	135	7,71	16,88	13,5	12,0	B
BLUE SOL	BLUE SOL	STP240-20/Wda	1,640	240	8,11	30,00	14,6	19,8	A
BLUE SOL	BLUE SOL	STP020B-12/CEA	0,200	20	1,14	2,50	10,0	2,5	E
BLUE SOL	BLUE SOL	STP085B-12/BEA	0,650	85	4,80	10,63	13,1	8,0	B
CONERGIA	SUNCO	SSM 40	0,354	40	2,20	5,00	11,3	5,8	D
CONERGIA	SUNCO	SSM 80	0,660	80	4,58	10,00	12,1	9,2	C
CONERGIA	SUNCO	SSM 120	0,971	120	3,43	15,00	12,4	14,0	C
CONERGIA	SUNCO	SSM 175	1,277	175	4,64	21,88	13,7	17,0	A

Valores de referência medidos em laboratórios, conforme procedimentos estabelecidos no Regulamento de Avaliação da Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica



## Tabelas de Consumo / Eficiência Energética - Componentes Fotovoltaicos - MÓDULOS - Edição 10/11

Nº Modelos 201

Nº Marcas: 27

## A) SILÍCIO CRISTALINO (mono-Si ou multi-Si)

28/10/11

FABRICANTE	MARCA	FAMÍLIA / MODELO	ÁREA EXTERNA (m <sup>2</sup> )	POTENCIA NA CONDIÇÃO PADRÃO (W)	CORRENTE NO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA (A)	PRODUÇÃO MÉDIA MENSAL DE ENERGIA (kWh/mês)	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (%)	PESO (kg)	CLASSIFICAÇÃO
ELTEK	NAPS	NP 125 GK	0,992	125	7,30	15,63	12,6	10,6	C
ELTEK	NAPS	NP 130 GK	0,992	130	7,50	16,25	13,1	10,6	B
ELTEK	ERDM	QM 590/12	0,655	90	5,13	11,25	13,7	11,0	A
ELTEK	ERDM	QPS-130/12	0,994	130	7,65	16,25	13,1	14,0	B
EXXA GLOBAL	EXXA SOLAR	CSUN 50M	0,356	50	2,67	6,25	13,9	5,1	A
EXXA GLOBAL	EXXA SOLAR	CSUN 60M	0,440	60	3,21	7,50	13,7	6,0	A
EXXA GLOBAL	EXXA SOLAR	CSUN 75M	0,509	75	4,03	9,38	14,7	6,8	A
EXXA GLOBAL	EXXA SOLAR	CSUN 100M	0,662	100	5,35	12,50	15,0	8,5	A
EXXA GLOBAL	EXXA SOLAR	CSUN 150M	0,992	150	8,03	18,75	15,1	12,5	A
EXXA GLOBAL	EXXA SOLAR	CSUN 220M	1,466	220	8,04	27,60	16,0	17,8	A
EXXA GLOBAL	EXXA SOLAR	CSUN 290M	1,936	290	8,11	36,25	14,9	23,8	A
EXXA GLOBAL	EXXA SOLAR	CSUN 135-36P	0,992	135	7,72	16,88	13,6	13,0	A
FC SOLAR	FC SOLAR	MDP-215	1,468	215	7,88	26,88	14,6	17,2	A
GUASCOR	SUNTECH	STP075S-12Bb	0,646	75	4,35	9,37	11,6	8,0	D
GUASCOR	SUNTECH	STP085S-12Bb	0,646	85	4,80	10,63	13,1	8,0	B
GUASCOR	SUNTECH	STP130-12/Tb	1,002	130	7,47	16,25	13,0	12,0	C
GUASCOR	SUNTECH	STP135-12/Tb	1,002	135	7,71	16,88	13,5	12,0	B
GUASCOR	SUNTECH	PLUTO 245 WDE	1,650	245	8,23	30,63	14,8	19,8	A
GEHRLICHER	JINKO	JKM185M-72	1,280	185	5,09	23,13	14,5	14,5	A
GEHRLICHER	JINKO	JKM190M-72	1,280	190	5,19	23,75	14,9	14,5	A
GEHRLICHER	JINKO	JKM195M-72	1,280	195	5,30	24,38	15,3	14,5	A
GEHRLICHER	JINKO	JKM250M-96	1,700	250	5,05	31,25	14,7	20,0	A
GEHRLICHER	JINKO	JKM255M-96	1,700	255	5,10	31,88	15,0	20,0	A
GEHRLICHER	JINKO	JKM260M-96	1,700	260	5,15	32,50	15,3	20,0	A
GEHRLICHER	JINKO	JKM235M-60	1,640	235	7,83	29,38	14,4	19,0	A
GEHRLICHER	JINKO	JKM240M-60	1,640	240	7,95	30,00	14,7	19,0	A
GEHRLICHER	JINKO	JKM275M-72	1,940	275	7,61	34,38	14,2	27,0	A
GEHRLICHER	JINKO	JKM225P-60	1,640	225	7,65	28,13	13,7	19,0	A
GEHRLICHER	JINKO	JKM230P-60	1,640	230	7,78	28,75	14,1	19,0	A
GEHRLICHER	JINKO	JKM235P-60	1,640	235	7,86	29,38	14,4	19,0	A
GEHRLICHER	JINKO	JKM280P-72	1,940	280	7,89	35,00	14,4	27,0	A
GEHRLICHER	JINKO	JKM135P-36	1,000	135	7,55	16,88	13,5	11,5	B
GEHRLICHER	JINKO	JKM140P-36	1,000	140	7,78	17,50	14,0	11,5	A

Valores de referência medidos em laboratórios, conforme procedimentos estabelecidos no Regulamento de Avaliação da Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica



## Tabelas de Consumo / Eficiência Energética - Componentes Fotovoltaicos - MÓDULOS - Edição 10/11

Nº Modelos 201

Nº Marcas: 27

## A) SILÍCIO CRISTALINO (mono-Si ou multi-Si)

28/10/11

FABRICANTE	MARCA	FAMÍLIA / MODELO	ÁREA EXTERNA (m2)	POTENCIA NA CONDIÇÃO PADRÃO (W)	CORRENTE NO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA (A)	PRODUÇÃO MÉDIA MENSAL DE ENERGIA (kWh/mês)	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (%)	PESO (kg)	CLASSIFICAÇÃO
HELIOTEK	SUNWATT	SW 50H	0,356	50	2,67	6,25	13,9	5,1	A
HELIOTEK	SUNWATT	SW 60H	0,440	60	3,21	7,50	13,7	6,0	A
HELIOTEK	SUNWATT	SW 75H	0,509	75	4,03	9,38	14,7	6,8	A
HELIOTEK	SUNWATT	SW 100H	0,662	100	5,35	12,50	15,0	8,5	A
HELIOTEK	SUNWATT	SW 150H	0,992	150	8,03	18,75	15,1	12,5	A
HELIOTEK	SUNWATT	SW 220H	1,465	220	8,04	27,50	15,0	17,8	A
HELIOTEK	SUNWATT	SW 290H	1,935	290	8,11	36,25	14,9	23,8	A
HELIOTEK	SUNWATT	SW 135HT	0,992	135	7,72	16,88	13,6	13,0	A
KYOCERA	KYOCERA	KC 50T	0,417	54	3,11	6,25	12,9	5,0	C
KYOCERA	KYOCERA	KC 65T	0,490	65	3,75	8,45	13,2	6,0	B
KYOCERA	KYOCERA	KC 85T	0,656	87	5,02	10,62	13,3	8,3	B
KYOCERA	KYOCERA	KC 130TM	0,920	130	7,39	17,00	13,9	11,9	A
KYOCERA	KYOCERA	K85T	0,072	5	0,29	0,625	6,9	1,2	E
KYOCERA	KYOCERA	K810T	0,107	10	0,58	1,250	9,4	1,6	E
KYOCERA	KYOCERA	K820T	0,183	20	1,16	2,500	10,9	2,5	E
KYOCERA	KYOCERA	KC40T	0,343	43	2,48	5,375	12,5	4,5	C
KYOCERA	KYOCERA	KD205GX-LP	1,500	205	7,71	25,625	13,7	18,5	A
KYOCERA	KYOCERA	K820-652	0,231	20	1,16	2,500	8,7	3,5	E
KYOCERA	KYOCERA	KD1358XUPU	1,002	135	7,63	16,875	13,5	13,0	B
KYOCERA	KYOCERA	K820T668	0,237	20	1,16	2,560	8,4	3,5	E
KYOCERA	KYOCERA	KD185GX-LPU	1,325	185	7,84	23,125	14,0	16,0	A
KYOCERA	KYOCERA	KD210GX-LPU	1,485	210	7,90	26,250	14,1	18,0	A
KYOCERA	KYOCERA	KD215GX-LPU	1,485	215	8,09	26,875	14,5	18,0	A
KYOCERA	KYOCERA	KD235GX-LPB	1,645	235	7,89	29,375	14,3	21,0	A
KYOCERA	KYOCERA	SM40-KSM	0,381	40	2,25	5,000	10,5	4,2	E
KYOCERA	KYOCERA	SM42-KSM	0,343	42	2,55	5,250	12,2	4,2	C
KYOCERA	KYOCERA	SM48-KSM	0,381	48	2,56	6,000	12,6	4,5	C
KYOCERA	KYOCERA	SM63-KSM	0,486	63	3,82	7,875	13,0	6,2	C
KYOCERA	KYOCERA	SM70-KSM	0,541	70	3,80	8,750	12,9	8,4	C
KYOCERA	KYOCERA	SM83-KSM	0,626	83	5,07	10,375	13,3	8,4	B
KYOCERA	KYOCERA	SM85-KSM	0,700	85	4,78	10,625	12,1	8,4	C

Valores de referência medidos em laboratórios, conforme procedimentos estabelecidos no Regulamento de Avaliação da Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica



## Tabelas de Consumo / Eficiência Energética - Componentes Fotovoltaicos - MÓDULOS - Edição 10/11

Nº Modelos 201

Nº Marcas: 27

## A) SILÍCIO CRISTALINO (mono-Si ou multi-Si)

28/10/11

FABRICANTE	MARCA	FAMÍLIA / MODELO	ÁREA EXTERNA (m <sup>2</sup> )	POTÊNCIA NA CONDIÇÃO PADRÃO (W)	CORRENTE NO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA (A)	PRODUÇÃO MÉDIA MENSAL DE ENERGIA (kWh/mês)	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (%)	PESO (kg)	CLASSIFICAÇÃO
KYOCERA	KYOCERA	KD240GX-LPB	1,650	240	8,06	30,000	14,6	21,0	A
KYOCERA	KYOCERA	KD245GX-LPB	1,650	245	8,23	30,630	14,9	21,0	A
LG ELECTRONICS	LG ELECTRONICS	LD130R9W-G2	0,980	130	7,77	16,250	13,2	12,4	B
LG ELECTRONICS	LG ELECTRONICS	LG240M1C-G2	1,610	240	8,10	30,000	14,9	18,9	A
MINHA CASA SOLAR	ET SOLAR ENERGY	ET -P636135	1,000	135	7,67	16,860	13,5	13,2	B
NEOSOLAR	JETION	JT0908Fb	0,650	90	4,86	11,250	13,9	8,0	A
NEOSOLAR	JETION	JT140PF9	1,000	140	7,65	17,500	14	12,0	A
PRESERVA	SOLARA	SM 340S	0,688	85	4,72	10,625	12,4	7,9	C
PRESERVA	SOLARA	SM 500S	1,017	125	7,14	15,625	12,3	12,1	C
PRESERVA	SOLARA	SM 520S	1,020	130	7,65	16,250	12,8	12,1	C
PRESERVA	SOLARA	SS20P36ULTRA	1,020	130	7,30	16,250	12,7	12,1	C
SOLARIA	SOLARIA	S6M176	1,251	176	4,84	21,875	14,0	14,3	A
SOLARIA	SOLARIA	S6M225	1,609	225	7,74	28,125	14,0	21,0	A
SOLARIA	SOLARIA	S6M230	1,609	230	7,86	28,750	14,3	21,0	A
SOLARIA	SOLARIA	S6P225	1,609	225	7,74	28,125	14,0	21,0	A
SOLARIA	SOLARIA	S6P230	1,609	230	7,86	28,750	14,3	21,0	A
SOLARIA	SOLARIA	S6M235	1,608	235	7,94	29,375	14,6	21,0	A
SOLARIA	SOLARIA	S6P220	1,608	220	7,63	27,500	13,7	21,0	A
SOLARIA	SOLARIA	S6P235	1,608	235	7,94	29,375	14,6	21,0	A
SOLARIA	SOLARIA	S6P205	1,608	205	6,88	25,625	12,8	21,0	C
SOLARIA	SOLARIA	S6P217	1,608	217	7,23	27,125	13,5	21,0	B
SOLARIA	SOLARIA	S6M217	1,608	217	7,23	27,125	13,5	21,0	B
SOLARIA	SOLARIA	S6M220	1,608	220	7,63	27,500	13,7	21,0	A
SOLARIA	SOLARIA	S6P215	1,608	215	7,51	26,875	13,4	21,0	B
SOLARIA	SOLARIA	S6M215	1,608	215	7,51	26,875	13,4	21,0	B
SOLARIA	SOLARIA	S5M170	1,251	170	4,77	21,250	13,6	13,6	A
SOLARIA	SOLARIA	S5M174	1,251	174	4,85	21,750	13,9	13,9	A
SOLARIA	SOLARIA	S5M165	1,251	165	4,68	20,625	13,2	13,2	B
SOLARIA	SOLARIA	S5M90	0,662	90	4,93	11,250	13,6	13,6	A
SOLARIA	SOLARIA	S6P8130	0,996	130	7,50	16,250	13,0	13,0	C

Valores de referência medidos em laboratórios, conforme procedimentos estabelecidos no Regulamento de Avaliação da Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica



## Tabelas de Consumo / Eficiência Energética - Componentes Fotovoltaicos - MÓDULOS - Edição 10/11

Nº Modelos: 201

Nº Marcas: 27

## A) SILÍCIO CRISTALINO (mono-Si ou multi-Si)

28/10/11

FABRICANTE	MARCA	FAMÍLIA / MODELO	ÁREA EXTERNA (m <sup>2</sup> )	POTÊNCIA NA CONDIÇÃO PADRÃO (W)	CORRENTE NO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA (A)	PRODUÇÃO MÉDIA MENSAL DE ENERGIA (kWh/mês)	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (%)	PESO (kg)	CLASSIFICAÇÃO
SOLARIA	SOLARIA	\$6P8135	0,996	135	7,74	16,875	13,5	13,5	B
SOLARIA	SOLARIA	\$6P2G215	1,630	215	7,35	26,880	13,2	19,0	B
SOLARIA	SOLARIA	\$6P2G217	1,630	217	7,23	27,130	13,3	19,0	B
SOLARIA	SOLARIA	\$6P2G220	1,630	220	7,44	27,500	13,5	19,0	B
SOLARIA	SOLARIA	\$6P2G225	1,630	225	7,53	28,130	13,8	19,0	A
SOLARIA	SOLARIA	\$6P2G230	1,634	230	7,62	28,750	14,1	19,0	A
SOLARIA	SOLARIA	\$6P2G235	1,630	235	7,71	29,380	14,4	19,0	A
SOLARIA	SOLARIA	\$6P2G240	1,630	240	7,80	30,000	14,7	19,0	A
SOLARIA	SOLARIA	\$6M2G225	1,630	225	7,72	28,130	13,8	19,0	A
SOLARIA	SOLARIA	\$6M2G230	1,634	230	7,81	28,750	14,1	19,0	A
SOLARIA	SOLARIA	\$6M2G235	1,634	235	7,90	29,375	14,4	19,0	A
SOLARIA	SOLARIA	\$6M2G240	1,634	240	7,99	30,000	14,7	19,0	A
SOLARIA	SOLARIA	\$6M2G245	1,634	245	8,08	30,625	15,0	19,0	A
SOLARIS	SOLARIS	\$ 30P	0,281	30	1,71	3,750	10,7	3,5	E
SOLARIS	SOLARIS	\$ 82M	0,666	82	4,65	10,250	12,3	8,1	C
SOLARIS	SOLARIS	\$ 87M	0,666	87	4,85	10,875	13,1	8,1	B
SOLARIS	SOLARIS	\$ 130P	1,006	130	7,26	16,250	12,9	9,6	C
SOLARIS	SOLARIS	\$ 80P	0,659	80	4,98	10,000	12,1	8,1	C
SOLARIS	SOLARIS	\$ 85P	0,659	85	5,08	10,625	12,9	8,1	C
SOLARIS	SOLARIS	\$ 135P	1,006	137	7,47	17,125	13,6	11,6	A
SOLARIS	SOLARIS	\$ 140P	1,006	140	7,65	17,500	13,9	11,6	A
SOLAR TERRA	SOLAR TERRA	HG 135	0,964	135	7,45	16,875	14,0	11,5	A
SOLAR TERRA	SOLAR TERRA	HD210	1,465	210	7,64	26,260	14,3	17,0	A
SOLBRATEC	SOLBRATEC	K\$ 5T	0,072	5	0,29	0,625	6,9	1,2	E
SOLBRATEC	SOLBRATEC	K\$ 10T	0,107	10	0,58	1,250	9,3	1,6	E
SOLBRATEC	SOLBRATEC	K\$ 20T	0,183	20	1,16	2,500	10,9	2,6	E
SOLBRATEC	SOLBRATEC	K\$ 35GT	0,316	35	2,33	4,375	11,1	4,5	D
SOLBRATEC	SOLBRATEC	K\$ 50TA	0,439	50	3,33	6,250	11,4	6,3	D
SOLBRATEC	SOLBRATEC	K\$ 60T	0,491	60	3,45	7,500	12,2	7,1	C
SOLBRATEC	SOLBRATEC	K\$ 85GT	0,687	85	4,89	10,625	12,4	9,1	C

Valores de referência medidos em laboratórios, conforme procedimentos estabelecidos no Regulamento de Avaliação da Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica



Tabelas de Consumo / Eficiência Energética - Componentes Fotovoltaicos - MÓDULOS - Edição 10/11

Nº Modelos: 201

Nº Marcas: 27

A) SILÍCIO CRISTALINO (mono-Si ou multi-Si)

28/10/11

FABRICANTE	MARCA	FAMÍLIA / MODELO	ÁREA EXTERNA (m <sup>2</sup> )	POTENCIA NA CONDIÇÃO PADRÃO (W)	CORRENTE NO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA (A)	PRODUÇÃO MÉDIA MENSAL DE ENERGIA (kWh/mês)	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (%)	PESO (kg)	CLASSIFICAÇÃO
SS SOLAR	SOLAR WORLD	SW50 MONO/RSC	0,460	50	3,10	6,250	10,9	5,5	E
SS SOLAR	SOLAR WORLD	SW85 MONO	0,683	85	4,78	10,625	12,5	7,6	C
SS SOLAR	SOLAR WORLD	SW75 MONO	0,683	75	4,34	9,375	10,9	7,6	E
SS SOLAR	KOMAES	KM5	0,059	5	0,28	0,625	8,5	1,0	E
SS SOLAR	KOMAES	KM10	0,110	10	0,57	1,250	9,1	2,0	E
SS SOLAR	KOMAES	KM20	0,187	20	1,13	2,500	10,7	2,6	E
TECNOMETAL	TECNOMETAL	TW-40D4	0,600	43	7,55	5,375	7,2	5,8	E
TECNOMETAL	TECNOMETAL	TW-85D12	0,660	85	4,83	10,625	12,9	8,0	C
TECNOMETAL	TECNOMETAL	8V-230D20	1,614	230	7,67	28,750	14,3	16,4	A
UNITRON	BOSCH	M220 3BB	1,633	220	7,55	27,500	13,5	21,0	B
UNITRON	BOSCH	M225 3BB	1,633	225	7,65	28,125	13,8	21,0	A
UNITRON	BOSCH	M235 3BB	1,634	235	7,85	29,375	14,4	21,0	A
YINGLI GREEN ENERGY DO BRASIL	YINGLI	YL75(17)P1	0,594	75	4,29	9,375	12,6	7,6	C
YINGLI GREEN ENERGY DO BRASIL	YINGLI	130(17)P	0,997	130	7,22	16,250	13,0	13,3	C
YINGLI GREEN ENERGY DO BRASIL	YINGLI	YL260C-30b	1,630	260	8,46	32,600	15,9	19,5	A
YINGLI GREEN ENERGY DO BRASIL	YINGLI	YL265-30b	1,630	265	8,55	32,120	16,2	19,5	A
YINGLI GREEN ENERGY DO BRASIL	YINGLI	YL065P-17b 1/2	0,508	65	3,71	8,125	12,7	6,2	C
YINGLI GREEN ENERGY DO BRASIL	YINGLI	YL070P-17b 1/2	0,508	70	4,00	8,750	13,7	6,2	A
YINGLI GREEN ENERGY DO BRASIL	YINGLI	YL075P-17b 3/5	0,594	75	4,29	9,375	12,6	7,3	C
YINGLI GREEN ENERGY DO BRASIL	YINGLI	YL080P-17b 3/5	0,594	80	4,57	10,000	13,4	7,3	B
YINGLI GREEN ENERGY DO BRASIL	YINGLI	YL085P-17b 2/3	0,667	85	4,86	10,625	12,7	7,9	C
YINGLI GREEN ENERGY DO BRASIL	YINGLI	YL085P-17b 3/5	0,594	85	4,86	10,625	14,3	7,3	A
YINGLI GREEN ENERGY DO BRASIL	YINGLI	YL090P-17b 2/3	0,667	90	5,14	11,250	13,5	7,9	B

Valores de referência medidos em laboratórios, conforme procedimentos estabelecidos no Regulamento de Avaliação da Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica



INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA

PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM



Tabelas de Consumo / Eficiência Energética - Componentes Fotovoltaicos - MÓDULOS - Edição 10/11

Nº Modelos 201

Nº Marcas: 27

A) SILÍCIO CRISTALINO (mono-Si ou multi-Si)

28/10/11

FABRICANTE	MARCA	FAMÍLIA / MODELO	ÁREA EXTERNA (m <sup>2</sup> )	POTÊNCIA NA CONDIÇÃO PADRÃO (W)	CORRENTE NO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA (A)	PRODUÇÃO MÉDIA MENSAL DE ENERGIA (kWh/mês)	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (%)	PESO (kg)	CLASSIFICAÇÃO
YINGLI GREEN ENERGY DO BRASIL	YINGLI	YL095P-17b 2/3	0,667	95	4,43	11,875	14,2	7,9	A
YINGLI GREEN ENERGY DO BRASIL	YINGLI	YL120P-17b	1,000	120	6,90	15,000	12,0	11,8	D
YINGLI GREEN ENERGY DO BRASIL	YINGLI	YL130P-17b	1,000	130	7,38	16,250	13,0	11,8	C
YINGLI GREEN ENERGY DO BRASIL	YINGLI	YL140P-17b	1,000	140	7,77	17,500	14,0	11,8	A
YINGLI GREEN ENERGY DO BRASIL	YINGLI	YL010P-17b 1/12	0,100	10	0,58	1,250	10,0	1,4	E
YINGLI GREEN ENERGY DO BRASIL	YINGLI	YL020P-17b 1/6	0,160	20	1,16	2,500	10,8	1,4	E
YINGLI GREEN ENERGY DO BRASIL	YINGLI	YL030P-17b 1/4	0,270	30	1,76	3,750	10,9	3,5	E
YINGLI GREEN ENERGY DO BRASIL	YINGLI	YL050P-17b 2/5	0,420	50	2,87	6,250	12,0	5,2	D
YINGLI GREEN ENERGY DO BRASIL	YINGLI	YL055P-17b 2/5	0,420	55	3,14	6,875	13,2	5,2	B
YINGLI GREEN ENERGY DO BRASIL	YINGLI	YL060P-17b 1/2	0,510	60	3,47	7,500	11,8	6,2	D
YINGLI GREEN ENERGY DO BRASIL	YINGLI	YL080P-17b 2/3	0,670	80	4,71	10,000	12,0	7,9	D
YINGLI GREEN ENERGY DO BRASIL	YINGLI	YL180P-23b	1,300	180	7,83	22,500	13,8	15,8	A
YINGLI GREEN ENERGY DO BRASIL	YINGLI	YL185P-23b	1,300	185	7,87	23,125	14,2	15,2	A
YINGLI GREEN ENERGY DO BRASIL	YINGLI	YL230P-29b	1,630	230	7,80	28,750	14,0	19,8	A
YINGLI GREEN ENERGY DO BRASIL	YINGLI	YL235P-29b	1,630	235	7,97	29,375	14,3	19,8	A
YINGLI GREEN ENERGY DO BRASIL	YINGLI	YL275P-35b	1,950	275	7,75	34,380	14,1	26,8	A
YINGLI GREEN ENERGY DO BRASIL	YINGLI	YL280P-35b	1,950	280	7,89	35,000	14,3	26,8	A

Valores de referência medidos em laboratórios, conforme procedimentos estabelecidos no Regulamento de Avaliação da Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica



INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA

PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM



Tabelas de Consumo / Eficiência Energética - Componentes Fotovoltaicos - MÓDULOS - Edição 10/11

Nº Modelos 201

Nº Marcas: 27

YOMACAMA	CHN	CHN5-36M	0,060	5	0,29	0,630	8,3	0,8	E
YOMACAMA	CHN	CHN10-36M	0,100	10	0,57	1,250	10,0	1,2	E
YOMACAMA	CHN	CHN20-36M	0,190	20	1,16	2,500	10,5	2,0	E
YOMACAMA	CHN	CHN30-36M	0,230	30	1,64	3,750	13,0	3,0	C
YOMACAMA	CHN	CHN40-36M	0,330	40	2,22	5,000	12,1	4,4	C
YOMACAMA	CHN	CHN50-36M	0,330	50	2,75	6,250	15,2	4,4	A
YOMACAMA	CHN	CHN60-36M	0,650	60	3,49	7,500	9,2	7,8	E
YOMACAMA	CHN	CHN80-36M	0,650	80	4,55	10,000	12,3	7,8	C
YOMACAMA	CHN	CHN100-36M	0,710	100	5,49	12,500	14,1	7,8	A
YOMACAMA	CHN	CHN180-72M	1,280	180	4,90	22,500	14,1	15,5	A
YOMACAMA	CHN	CHN230-96M	1,680	230	4,79	28,750	13,7	20,0	A

B) FILMES FINOS

28/10/11

FABRICANTE	MARCA	FAMÍLIA / MODELO	ÁREA EXTERNA (m <sup>2</sup> )	POTENCIA NA CONDIÇÃO PADRÃO (W)	CORRENTE NO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA (A)	PRODUÇÃO MÉDIA MENSAL DE ENERGIA (kWh/mês)	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (%)	PESO (kg)	CLASSIFICAÇÃO
ELTEK	ERDM	CIGS 140	1,756	140	5,44	17,500	8,0	24,0	B
GEHRLICHER	UNI-SOLAR	PVL-68	1,123	68	4,13	8,500	6,1	3,9	D
GEHRLICHER	UNI-SOLAR	PVL-136	2,166	136	4,13	17,000	6,3	7,7	D
GEHRLICHER	UNI-SOLAR	PVL-144	2,166	144	4,36	18,000	6,6	7,7	C

Valores de referência medidos em laboratórios, conforme procedimentos estabelecidos no Regulamento de Avaliação da Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica

## ANEXO 3

# MÓDULOS GERADORES FOTOVOLTAICOS SV-17D12 a SV-230D20

*A melhor opção para conversão direta de luz em eletricidade.*



TECNOMETAL



ENERGIA SOLAR

DO SILÍCIO À ELETRICIDADE

### Células Fotovoltaicas de Silício Cristalino

As células solares são, essencialmente, diodos fotosensíveis que geram eletricidade quando expostos à luz.

As células que constituem o módulo solar SuryaVolt série D são produzidas com lâminas de silício cristalino, utilizando técnicas já intensamente consolidadas na indústria microeletrônica, e o seu comportamento em campo está respaldado por milhares de aplicações espalhadas pelas mais diversas regiões da Terra e do Espaço.

A sua alta eficiência é assegurada pela texturização da superfície exposta - melhor absorção da luz incidente - e pela utilização da tecnologia BSF (Back Surface Field) - maior aproveitamento dos fótons de baixa energia que atingem a célula.

As depuradas técnicas e os materiais utilizados nos processos de metalização com pasta de prata garantem uma grande resistência às degradações químico-físicas, mecânicas e elétricas.

No decurso de todo o complexo processo de fabricação, são utilizados os mais sofisticados métodos de controle de qualidade, e finalmente, as células são testadas individualmente em simulador solar, para aferição de suas características, classificação e seleção.

Cada módulo é constituído de 36 células, dimensionadas de forma que possibilite o melhor aproveitamento de material com um excelente aproveitamento de área útil.



### Módulos Geradores Fotovoltaicos

Os módulos geradores fotovoltaicos SuryaVolt série D são resultado de mais de 30 anos de experiência nacional, com milhares de sistemas em operação no Brasil e no Mundo, sob as mais severas condições ambientais. São fabricados utilizando-se um processo de encapsulamento que obedece rigorosamente às

estritas especificações, internacionalmente reconhecidas, do JPL (Jet Propulsion Laboratories, NASA).

### Cobertura Frontal

Em vidro temperado de alta transparência, resistente à degradação por radiação ultravioleta, conferindo ao módulo a proteção necessária contra chuva, granizo, ventos e impactos mecânicos, bem como vedação adequada contra a penetração de poeira e umidade.

O coeficiente de dilatação do vidro, muito próximo ao das células fotovoltaicas, elimina o risco de fadiga (interna ao circuito elétrico) por tensões mecânicas provenientes de variação na temperatura de trabalho dos módulos.

### Encapsulamento

As células fotovoltaicas são encapsuladas em EVA (Acetato de Vinil Etileno), formando um meio homogêneo e opticamente contínuo, que através de ciclos de pressão e temperatura é transformado em um laminado perfeitamente aderente ao vidro e à proteção posterior do módulo.

A característica sem elástica do EVA evita a transmissão de choques ou esforços mecânicos externos às células, assegurando uma proteção adicional e aumentando a confiabilidade dos módulos fotovoltaicos.

A utilização de EVA com aditivos apropriados, proporciona excelente resistência à degradação por ação dos raios ultravioleta, garantindo vida útil prolongada, sob condições de intensa radiação solar.

### Proteção na Parte Posterior

Em filme Tedlar - resistente à água, raios ultravioleta, agentes químicos - assegurando vedação perfeita contra poeira e umidade.

As características ópticas da proteção de Tedlar e do encapsulamento transparente proporcionam um acréscimo na energia luminosa captada pelas células solares, causado por múltiplas reflexões internas, com máximo aproveitamento da radiação solar incidente.

### Estrutura

O laminado é montado em estrutura de alumínio extrudado e anodizado, que lhe confere a necessária rigidez mecânica e excelente resistência à corrosão, permitindo sua instalação em ambientes salinos e outros ambientes agressivos.

## Caixa de Terminais

As conexões elétricas são feitas no interior de uma caixa de ligações montada na parte posterior do módulo. É construída em nylon, com reforço de 30% de fibra de vidro. Anéis do tipo "o-ring" proporcionam perfeita vedação contra poeira e umidade. A utilização de prensa-cabos propicia fácil e segura execução da fiação elétrica.

## Testes Finais

Cada módulo fotovoltaico é submetido a teste final (levantamento da curva I x V), em simulador solar. O equipamento utilizado, único do gênero no Brasil, possui interface analógico/digital para computador, permitindo a análise em tempo real das mais significativas características do módulo fotovoltaico.

Complementarmente é executado um controle de qualidade final, incluindo teste de isolamento e rigidez dielétrica, o que confere a todos os módulos SuryaVolt a confiabilidade de um perfeito desempenho.

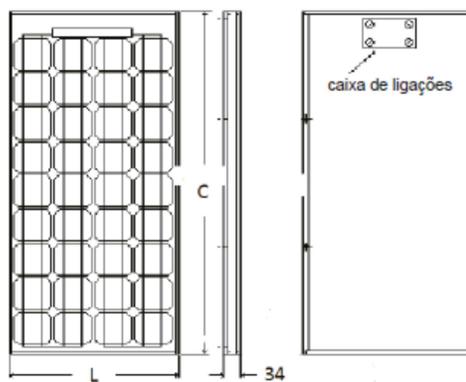
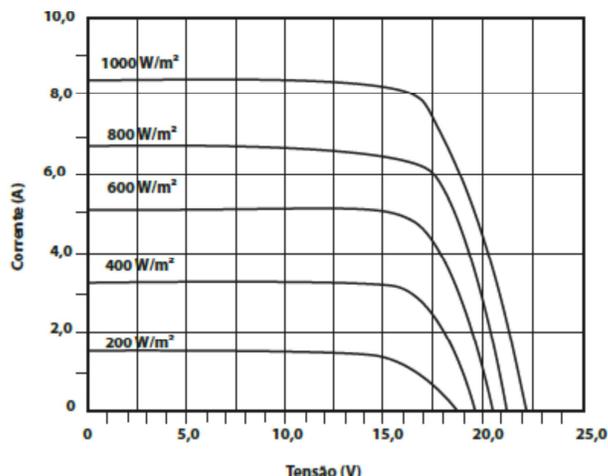
## Especificações Técnicas

Modelo	SV-230D20	SV-140D12	SV-85D12	SV-55D12	SV-27D12	SV-17D12
Potência Máxima (W)*	230	140	85	55	27	17
Corrente em potência Máxima (A)*	7,67	7,67	4,89	3,19	1,61	1,01
Tensão em potência Máxima (V)*	30,0	18,0	17,4	17,2	17,2	17,2
Corrente de curto-circuito (A)*	8,36	8,36	5,24	3,48	1,75	1,1
Tensão de circuito aberto (V)*	36,0	22,2	21,8	21,8	21	21
Dimensões (CxLxA em mm)	1645X981X34	655X1485X34	655X920X34	655X640X34	655X350X34	480X340X34
Peso (kg)	16,4	11,4	7	5,2	3,1	2,1
Capacidade de geração (Wh/dia)	1280	780	470	305	150	94

\*Especificações médias sob radiação solar de 1000W/m<sup>2</sup>, AM 1,5 e temperatura de 25°C, sujeitas a variação de 10%

\*\*Sob insolação média anual de 5580 Wh/m<sup>2</sup>.dia

Curva característica típica do módulo fotovoltaico  
SV-140D12  
(Temperatura da célula = 25°C)



Sujeito a alterações sem aviso prévio.

**TECNOMETAL ENERGIA SOLAR**, empresa privada e independente, genuinamente brasileira, utilizando uma tecnologia avançada desenvolvida com recursos integralmente nacionais, constitui-se na única indústria da América Latina a produzir geradores fotovoltaicos. Fundada em 1990, a **TECNOMETAL** construiu uma história de sucesso e credibilidade no mercado nacional e internacional, destacando-se por oferecer soluções completas no desenvolvimento de projetos, com qualidade superior e prazos que atendem a cronogramas arrojados.

Com equipe de reconhecimento internacional e domínio de tecnologia de ponta cria a divisão **TECNOMETAL ENERGIA SOLAR** com objetivo de produzir no Brasil lâminas de silício, células, módulos, kits e sistemas fotovoltaicos completos de alta qualidade, integrando todas as fases da cadeia de valor da indústria.

Atualmente gera cerca de 1500 empregos diretos e como empresa genuinamente brasileira, emprega no Brasil, recolhe seus tributos no Brasil e aqui reinveste seus lucros, permanentemente atenta à sua responsabilidade social.



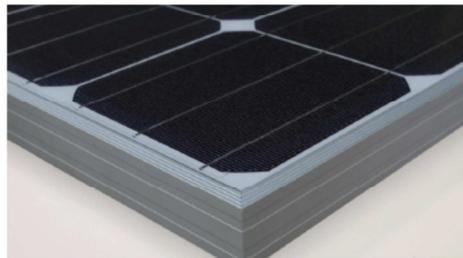
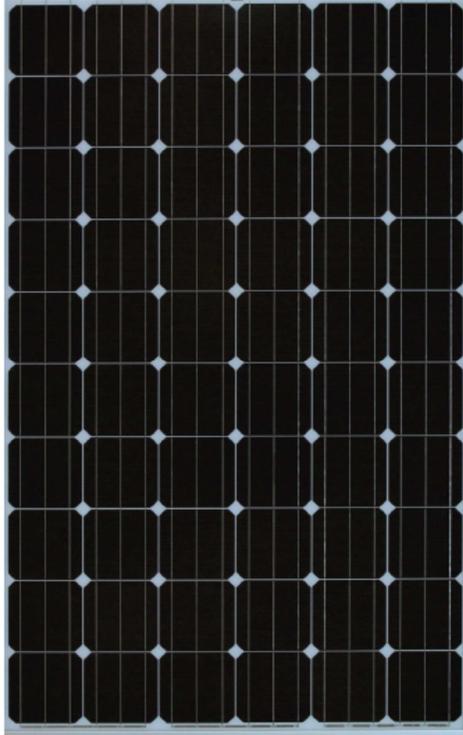
Visite nosso site e conheça mais sobre a Tecnometal Energia Solar e suas soluções.

Rod. Dom Pedro I, Km 145 - CIATEC - Av 01, 101 - Campinas - tel: 55 19 3781-2533

[www.tecnometalenergiasolar.com.br](http://www.tecnometalenergiasolar.com.br)

# Panda 265 SERIES

YL265C-30b  
YL260C-30b  
YL255C-30b  
YL250C-30b  
YL245C-30b



## ABOUT YINGLI GREEN ENERGY

Yingli Green Energy Holding Company Limited (NYSE: YGE) is one of the world's largest fully vertically integrated PV manufacturers, which markets its products under the brand "Yingli Solar". With over 2GW of modules installed globally, we are a leading solar energy company built upon proven product reliability and sustainable performance. We are the first renewable energy company and the first Chinese company to sponsor the FIFA World Cup™.

## PERFORMANCE

- Yingli Solar Panda is a new monocrystalline module technology with n-type solar cells that have average efficiencies higher than 18.5%. Combined with high transmission glass, module efficiencies are up to 16.2%.
- Compared to traditional modules with p-type solar cells, Panda modules have lower initial degradation and higher performance under both high temperature and low irradiation conditions.
- Power tolerance of +/-3% minimising PV system mismatch losses.

## QUALITY & RELIABILITY

- Robust, corrosion resistant aluminum frames independently tested to withstand wind loads of up to 2.4kPa and snow loads of up to 5.4kPa ensuring a stable mechanical life for your modules.
- Module packaging optimized to protect product during transportation and minimize on-site waste.
- Modules independently tested to ensure conformance with certification and regulatory standards.
- Manufacturing facility certified by TÜV Rheinland to ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 and BS OHSAS 18001:2007.

## WARRANTIES

- 5-year limited product warranty<sup>1</sup>.
- Limited power warranty<sup>1</sup>: 10 years at 90% of the minimal rated power output, 25 years at 80% of the minimal rated power output.

<sup>1</sup> In compliance with our Warranty Terms and Conditions.

## QUALIFICATIONS & CERTIFICATES

IEC 61215, IEC 61730, CE, ISO 9001:2008, ISO 14001:2004, BS OHSAS 18001:2007, SA 8000, PV Cycle



YINGLISOLAR.COM

# Panda 265 SERIES

## ELECTRICAL PERFORMANCE

### Electrical parameters at Standard Test Conditions (STC)

Module name			PANDA 265	PANDA 260	PANDA 255	PANDA 250	PANDA 245
Module type			YL265C-30b	YL260C-30b	YL255C-30b	YL250C-30b	YL245C-30b
Power output	$P_{max}$	W	265	260	255	250	245
Power output tolerances	$\Delta P_{max}$	%	+/- 3				
Module efficiency	$\eta_{in}$	%	16.2	15.9	15.6	15.3	15.0
Voltage at $P_{max}$	$V_{mppt}$	V	31.0	30.8	30.6	30.5	30.4
Current at $P_{max}$	$I_{mppt}$	A	8.55	8.46	8.33	8.20	8.07
Open-circuit voltage	$V_{oc}$	V	39.0	38.6	38.2	38.1	38.1
Short-circuit current	$I_{sc}$	A	8.93	8.91	8.85	8.71	8.59

STC: 1000W/m<sup>2</sup> irradiance, 25°C module temperature, AM 1.5g spectrum according to EN 60904-3.  
Ave. efficiency reduction of 5% at 200W/m<sup>2</sup> according to EN 60904-1.

### Electrical parameters at Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)

Power output	$P_{max}$	W	192.4	188.8	185.2	181.6	177.9
Voltage at $P_{max}$	$V_{mppt}$	V	28.1	27.8	27.7	27.6	27.5
Current at $P_{max}$	$I_{mppt}$	A	6.86	6.79	6.68	6.58	6.48
Open-circuit voltage	$V_{oc}$	V	35.9	35.5	35.2	35.1	35.1
Short-circuit current	$I_{sc}$	A	7.20	7.18	7.13	7.02	6.92

NOCT: open-circuit module operation temperature at 800W/m<sup>2</sup> irradiance, 20°C ambient temperature, 1m/s wind speed.

## THERMAL CHARACTERISTICS

Nominal operating cell temperature	NOCT	°C	46 +/- 2
Temperature coefficient of $P_{max}$	$\gamma$	%/°C	-0.45
Temperature coefficient of $V_{oc}$	$\beta_{voc}$	%/°C	-0.33
Temperature coefficient of $I_{sc}$	$\alpha_{isc}$	%/°C	0.04

## OPERATING CONDITIONS

Max. system voltage	1000Vdc
Max. series fuse rating	20A
Limiting reverse current	Do not apply external voltages larger than $V_{oc}$ of the module.
Operating temperature range	-40 to 85°C
Max. static load, front (e.g., snow and wind)	5400Pa
Max. static load, back (e.g., wind)	2400Pa
Max. hailstone impact (diameter / velocity)	25mm / 23m/s

## CONSTRUCTION MATERIALS

Front cover (material / type / thickness)	low-iron tempered glass / 3.2mm
Cell (quantity / material / type / dimensions)	60 / monocrystalline / 156mm x 156mm
Encapsulant (material)	ethylene vinyl acetate (EVA)
Frame (material / color / anodization color)	anodized aluminum alloy / silver / clear
Junction box (protection degree)	IP65
Cable (length / cross-sectional area)	1200mm / 4mm <sup>2</sup>
Plug connector (type / protection degree)	MC4 / IP67 or Amphenol H4 / IP68

- Due to continuous innovation, research and product improvement, the specifications in this product information sheet are subject to change without prior notice. The specifications may deviate slightly and are not guaranteed.
- The data do not refer to a single module and they are not part of the offer; they only serve for comparison to different module types.

Yingli Green Energy Holding Co. Ltd.  
service@yinglisolar.com  
Tel: 0086-312-8929802

YINGLISOLAR.COM

© Yingli Green Energy Holding Co. Ltd. | DS\_YL265C-30b\_EU\_EN\_201107\_v02.3

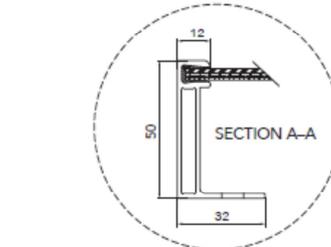
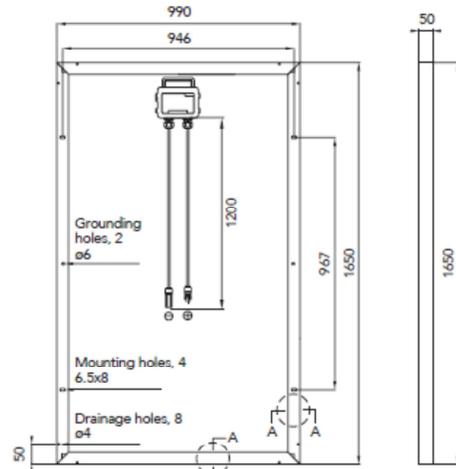
## GENERAL CHARACTERISTICS

Dimensions (L / W / H)	1650mm / 990mm / 50mm
Weight	19.5kg

## PACKAGING SPECIFICATIONS

Number of modules per pallet	20
Number of pallets per 40' container	28
Packaging box dimensions (L / W / H)	1700mm / 1150mm / 1190mm
Box weight	427kg

Unit: mm



Warning: Read the instruction manual in its entirety before handling, installing, and operating Yingli Solar modules.

Our Partners:



Fonte: <http://www.tecnometalenergiasolar.com.br/produtos/modulos-solares>, Acesso dia 09/02/2012.

[http://www.civicsolar.com/sites/default/files/library/panels/collateral/Panda\\_265\\_Series\\_EU\\_EN\\_0.pdf](http://www.civicsolar.com/sites/default/files/library/panels/collateral/Panda_265_Series_EU_EN_0.pdf), Acesso dia 23/11/2011.

# ANEXO 4

Para um sistema com painéis Yingli:

The screenshot shows the 'DC-Grid System definition' window for a 'New simulation variant'. The interface is divided into several sections:

- Presizing help:** A field for 'Enter planned power' is set to 1000.0 kWp.
- DC-grid characteristics:**
  - Main Power Supply Nominal Voltage: 600 V
  - Maximum (safety) Voltage at the PV array output: 900 V
  - PV-system to User Line resistance (=> loss 0.0 % at STC): 0.0 mOhm
  - Power supply to User Line resistance (incl. supply internal res.): 0.0 mOhm
- Regulation behaviour at Vmax:**
  - General cut
  - Cut of Module Strings
  - Cut of modules in series
- Select modules:**
  - Sort modules by:  power,  technology,  manufacturer
  - Manufacturer: All modules
  - Table: 260 Wp 26V, Si-mono, Panda, Yingli
  - Approx. needed modules: 3846
  - Sizing voltages: Vmpp (50°C) 28.6 V, Voc (-10°C) 42.6 V
- Design array:**
  - modules in series: 20
  - modules in parallel: 192
  - Autom.
  - Operating conditions:  ?
  - Diagram: A schematic showing 192 modules in parallel, with 20 modules in series in each branch.
  - Operating parameters:
    - Vmpp (50°C): 572 V
    - Voc (-10°C): 852 V
    - Impp (50°C): 1590 A
    - Isc (50°C): 1728 A
  - Summary:
    - Array's operating power: 910 kW (50°C)
    - Array's nominal power: 998 kWp (STC)
    - Number of modules: 3840

At the bottom, there are buttons for 'Load', 'Cancel', 'OK', and 'Detailed losses'.

DC-Grid System definition, Variant "New simulation variant"

**Presizing help**  
Enter planned power  kWp Schema

**DC-grid characteristics**

Main Power Supply Nominal Voltage	<input type="text" value="600"/>	V
Maximum (safety) Voltage at the PV array output	<input type="text" value="900"/>	V
PV-system to User Line resistance (=> loss <b>0.0</b> % at STC)	<input type="text" value="0.0"/>	mOhm
Power supply to User Line resistance (incl. supply internal res.)	<input type="text" value="0.0"/>	mOhm

**Regulation behaviour at Vmax**

- General cut
- Cut of Module Strings ?
- Cut of modules in series

**Select modules**

Sort modules by:  power  technology  manufacturer All modules

<input type="text" value="230 Wp 25V"/>	<input type="text" value="Si-mono"/>	<input type="text" value="Tecnometal"/>	<input type="text" value="Tecnometal"/>	<input type="text" value="Manufacturer"/>	<span>Open</span>
---	--------------------------------------	---	---	---	-------------------

Approx. needed modules **4348**    Sizing voltages:    Vmpp (50°C) **28.6** V  
 Voc (-10°C) **37.0** V

**Design array**

modules in series  Autom.    Operating conditions ?

modules in parallel  Autom.

Vmpp (50°C)	<b>572</b> V	Array's operating power	<b>972</b> kW (50°C)
Voc (-10°C)	<b>740</b> V	Array's nominal power	<b>998</b> kWp (STC)
Impp (50°C)	<b>1699</b> A	Number of modules	<b>4340</b>
Isc (50°C)	<b>1832</b> A		

Load    Cancel    OK    Detailed losses

Resultados do pré-projeto (modelo conectado a rede) com tecnologia policristalina:

### Grid system presizing

<b>Geographical Site</b>	<b>Campinas</b>	<b>Country</b>	<b>Brazil</b>
<b>Situation</b>	Latitude 22.8°S	Longitude	47.0°E
Time defined as	Solar Time	Altitude	640 m
<b>Collector Plane Orientation</b>	Tilt 23°	Azimuth	0°

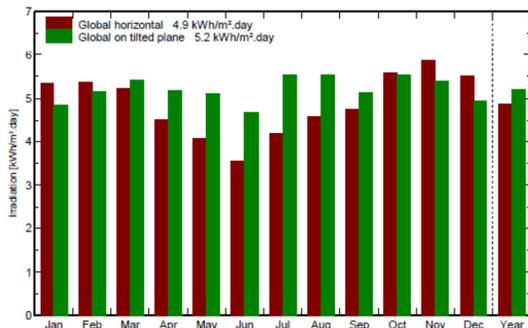
#### PV-field installation main features

Module type	Standard
Technology	Polycrystalline cells
Mounting method	Facade or tilt roof
Back ventilation properties	Ventilated

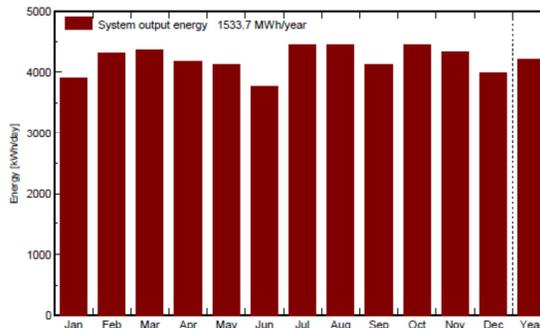
#### System characteristics and pre-sizing evaluation

PV-field nominal power (STC)	P <sub>nom</sub>	1000 kWp		
Collector area	A <sub>coll</sub>	9524 m <sup>2</sup>		
Annual energy yield	Year	1534 MWh	Specific yield	1534 kWh/kWp
Economic gross evaluation	Investment	*96619 Real	Energy price	0.73 Real/kWh

**Meteo and incident energy**



**System output**



	Gl. horiz. kWh/m².day	Coll. Plane kWh/m².day	System output kWh/day	System output kWh
Jan.	5.33	4.85	3907	121106
Feb.	5.56	5.34	4301	120429
Mar.	5.22	5.42	4364	135280
Apr.	4.53	5.18	4171	125136
May	4.06	5.11	4114	127527
June	3.56	4.67	3759	112782
July	4.19	5.53	4450	137952
Aug.	4.58	5.54	4458	138211
Sep.	4.75	5.12	4125	123740
Oct.	5.58	5.52	4448	137880
Nov.	5.86	5.39	4344	130313
Dec.	5.52	4.94	3979	123341
Year	4.89	5.22	4202	1533697

Resultados do pré-projeto (modelo conectado a rede) com tecnologia monocristalina:

### Grid system presizing

<b>Geographical Site</b>	<b>Campinas</b>	<b>Country</b> Brazil
<b>Situation</b>	Latitude 22.8°S	Longitude 47.0°E
Time defined as	Solar Time	Altitude 640 m
<b>Collector Plane Orientation</b>	Tilt 23°	Azimuth 0°

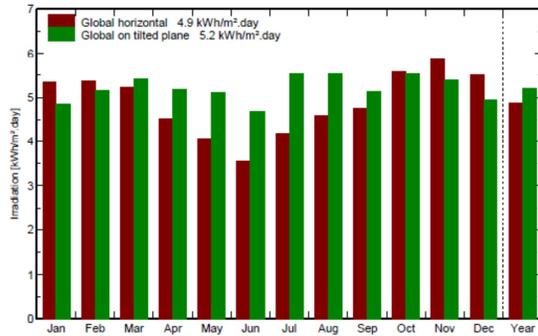
#### PV-field installation main features

Module type	Standard
Technology	Monocrystalline cells
Mounting method	Facade or tilt roof
Back ventilation properties	Ventilated

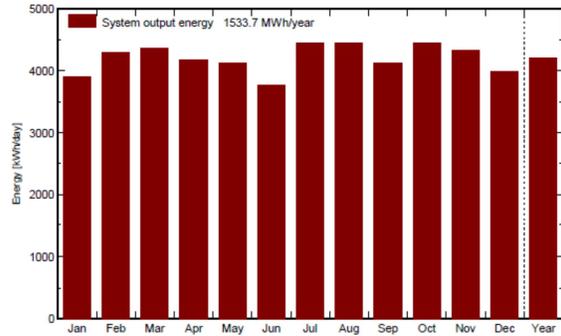
#### System characteristics and pre-sizing evaluation

PV-field nominal power (STC)	Pnom	1000 kWp		
Collector area	Acoll	8333 m <sup>2</sup>		
Annual energy yield	Eyear	1534 MWh	Specific yield	1534 kWh/kWp
Economic gross evaluation	Investment	*69476 Real	Energy price	0.71 Real/kWh

**Meteo and incident energy**



**System output**



	Gl. horiz. kWh/m <sup>2</sup> .day	Coll. Plane kWh/m <sup>2</sup> .day	System output kWh/day	System output kWh
Jan.	5.33	4.85	3907	121106
Feb.	5.56	5.34	4301	120429
Mar.	5.22	5.42	4364	135280
Apr.	4.53	5.18	4171	125136
May	4.06	5.11	4114	127527
June	3.56	4.67	3759	112782
July	4.19	5.53	4450	137952
Aug.	4.58	5.54	4458	138211
Sep.	4.75	5.12	4125	123740
Oct.	5.58	5.52	4448	137880
Nov.	5.86	5.39	4344	130313
Dec.	5.52	4.94	3979	123341
Year	4.89	5.22	4202	1533697