

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE EDUCACAO CONTINUADA – ESCOLA POLITÉCNICA
ENERGIAS RENOVÁVEIS, GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
ESPECIALIZAÇÃO/USP

HIGOR RAMIREZ EGOSHI

**Avaliação de geração fotovoltaica aplicada em posto de combustível para
recarga de veículos elétricos (VE)**

São Paulo
2016

HIGOR RAMIREZ EGOSHI

**AVALIAÇÃO DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA APLICADA EM POSTO DE
COMBUSTÍVEL PARA RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS (VE)**

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como requisito para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Área de Concentração:
Energia Solar Fotovoltaica

Orientador:
Prof. Dr. Cláudio Roberto de Freitas Pacheco

São Paulo
2016

FICHA CATALOGRÁFICA

Egoshi, Higor Ramirez

Avaliação de geração fotovoltaica aplicada em posto de combustível para recarga de veículos elétricos / H. R. Egoshi – São Paulo, 2016.

131 p.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.Energia solar 2.Veículos especiais 3.Geração de energia elétrica
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia II.t.

DEDICATÓRIA

Dedico ao meio ambiente à paz e ao amor.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar a oportunidade de viver ao lado de grandes pessoas, por ter uma família maravilhosa e muitos amigos.

Agradeço a todas as dificuldades passadas durante o curso, pois com elas me tornei mais forte e sábio para a caminhada da vida.

Agradeço a todos os professores (as) do curso, pelo conhecimento e experiências transmitidas, sempre muito dispostos e prestativos, em especial aos professores Claudio Roberto de Freitas Pacheco e Daniel Setrak Sowmy por ministrarem as disciplinas de energia solar que desde o início foi meu maior interesse.

Agradeço, a todos os colegas de sala que dê alguma forma me auxiliaram durante o curso, seja por sanarem minhas dúvidas ou pelos muitos momentos de risadas.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo significativo com base no aumento da quantidade de veículos na frota mundial e a crescente necessidade de energia elétrica no mundo contemporâneo. Reapresenta tecnologias capazes de mitigar as emissões de gases de efeito estufa e melhorar a qualidade de vida da população nas grandes cidades. Tecnologias como a geração de energia fotovoltaica e veículos elétricos, não são uma novidade, mas estão novamente em crescente aceitação pela sociedade.

A solução proposta no presente trabalho é uma sinergia entre ambas as tecnologias, que conforme mostra o estudo é uma solução nos grandes centros urbanos, para mitigar a poluição atmosférica e falta de energia. O estudo propõe a instalação de geração fotovoltaica aplicada nos postos de combustível, para suprir a crescente demanda de energia elétrica advindas pelo incremento dos veículos elétricos na frota brasileira.

Foi possível provar, que as coberturas dos postos de combustíveis podem vir a servir como local para geração de energia elétrica e se tornar um eletroposto, assim ampliando a estrutura de abastecimento e incentivando o mercado de energia solar fotovoltaica e de veículos elétricos.

Foi verificado a cobertura do posto de combustível com 487 m² comporta 190 placas fotovoltaicas, com 47.5 KWp. O preço médio para abastecer um veículo elétrico modelo Nissan Leaf 1.0 com bateria de 24KWh, é de R\$ 10.76 sendo que o custo a cada 10 km rodados ficou entre R\$ 0.60 a R\$1.00.

Palavras chaves: Geração Fotovoltaica, Veículo Elétrico, Geração Distribuída, Poluição Atmosférica.

ABSTRACT

This work presents a significant study based on the increasing number of vehicles of the worldwide fleet and on the need for electricity in the contemporary world. It restates technologies that mitigate greenhouse gas emissions and improves the quality of life of the population in big cities. Technologies such as photovoltaic power generation and electric vehicles are not new ones, but their acceptance is still growing at our society.

The proposed solution in this work is a synergy between both technologies, as shown in the study for large urban centers, in order to mitigate air pollution and lack of energy. The study proposes the installation of photovoltaic generation applied to gas stations, to meet the growing demand for electricity arising from the increase of electric vehicles in the Brazilian fleet.

It was possible to prove that the coverages of the gas stations can serve as a place for power generation and become an electric station, thus increasing the supply structure and encouraging the photovoltaic solar energy and electric vehicle market.

The fuel station coverage with 487 m² has been verified comprises 190 photovoltaic panels with 47.5 kWp. The average price to supply an electric vehicle model Nissan Leaf 1.0 with 24kWh battery is R\$ 10.76 and the cost for 10 km ride was between R\$ 0.60 to R\$ 1.00.

Key words: Photovoltaic Generation, Electric Vehicle, Distributed Generation, Air Pollution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Fluxograma do procedimento metodológico.	6
Figura 2.1 - Energia solar anual incidente no planeta, consumo energético global. Fonte: BMWi (2000) Apud DGS (2008).	8
Figura 2.2 – Estrutura cristalina do silício. Fonte: DSG, 2008.	10
Figura 2.3 – Estrutura de silício dopada com átomo de Boro e Fósforo. Fonte: DSG, 2008.	11
Figura 2.4 - Bandas em materiais condutores, semicondutores e isolantes. Fonte: (PINHO & GALDINO, 2014).	11
Figura 2.5 - Camada de junção <i>p-n</i> . Fonte: DSG, 2008.	12
Figura 2.6 - Designer genérico de célula fotovoltaica. Fonte: DSG, 2008.	13
Figura 2.7 - Conexões externas em série nas células fotovoltaicas. Fonte: DSG, 2008.	16
Figura 2.8 - Estrutura genérica dos módulos fotovoltaicos. Fonte: DSG, 2008.	16
Figura 2.9 - Características elétricas dos módulos em séries. Fonte: Adaptado de DSG, 2008.	17
Figura 2.10 - Características elétrica dos módulos em paralelo. Fonte: DSG, 2008.	18
Figura 2.11 - Curva <i>I-V</i> e seguidor de máxima potência. Fonte: Adaptado de DSG, 2008.	19
Figura 2.12 - Alteração na curva <i>I-V</i> , devido a variação de irradiância que chega na célula fotovoltaica. Fonte: PINHO e GALDINO (2014).	20
Figura 2.13 - Influência da temperatura da célula fotovoltaica na curva <i>I-V</i> (para irradiância de 1.000 W/m ² , espectro AM1,5). Fonte PINHO E GALDINO (2014).	21
Figura 2.14 - Sombreamento nas células fotovoltaicas. Fonte: DSG, 2008.	22

Figura 2.15 - Exemplo de sistema fotovoltaico isolado. Fonte: d-solarsystems.com.	23
Figura 2.16 - Exemplo de sistema autônomo sem armazenamento. Fonte: d-solarsystems.com.	23
Figura 2.17 - Caixa de conexão e terminais. Fonte: Adaptado de DSG, 2008.	24
Figura 2.18 - Curvas típicas do efeito da profundidade de descarga e da temperatura na vida útil da bateria. Fonte: IMAMURA; HELM; PALZ, 1992 apud Pinho e Galdino, 2014.	29
Figura 2.19 – Principais partes de uma bateria eletroquímica. Fonte: ZOBAA (2013) apud Pinho e Galdino (2014).	30
Figura 2.20 - Arranjos de baterias. Fonte: Adaptado de MPPTSOLAR.	31
Figura 2.21 - Banco de baterias. Fonte: Voltec Engenharia, 2016.	31
Figura 2.22 - Top 10 dos países em 2015 que instalaram SFV. Fonte: IEA-PVPS (2016).	37
Figura 2.23 - Top 10 capacidade instalada até final 2015. Fonte: IEA-PVPS (2016).	37
Figura 2.24 - Detroit 1919 - Carro elétrico recarregando em casa. Fonte: ABB.	40
Figura 3.1 - Região do projeto.	57
Figura 3.2 - Área do projeto. Fonte: Adaptado de Google Earth, 2016.	58
Figura 3.3 – Entorno (raio de 100 metros), com prédios residenciais. Fonte: Google Earth, 2016.	59
Figura 3.4 - Vista do posto de combustível. Fonte: Próprio autor.	60
Figura 3.5 - Parte interna e altura da cobertura. Fonte: Próprio autor.	60
Figura 3.6 - Presença de conveniência e grande quantidade de veículos. Fonte: Próprio autor.	60

Figura 3.7 - Constatação dos prédios residenciais próximos. Fonte: Próprio autor. .	60
Figura 3.8 - Presença de comércios ao lado. Fonte: Próprio autor.	60
Figura 3.9 - Espaço interno. Fonte: Próprio autor.	60
Figura 3.10 - Registro fotográfico dos prédios do entorno. Fonte: Próprio autor.....	62
Figura 3.11 - Sombreamento no dia 23/09/2015 as 15 horas. Fonte: Próprio autor..	63
Figura 3.12 – Especificações técnicas do módulo CS6P-250P. Fonte: CanadianSolar.....	67
Figura 3.13 - Características do inversor. Fonte: ABB.	68
Figura 3.14 – Característica da baterias. Fonte: https://www.victronenergy.com/batteries/lithium-battery-24v-180ah	70
Figura 3.15 – Modelo do eletroponto e especificações técnicas. Fonte: PSOLUTIONSBRASIL.....	73
Figura 3.16 – Ilustração do modelo e características do veículo. Fonte: Adaptado de catalogo Nissan Leaf.....	74
Figura 3.17 - Esquema para cálculo do sombreamento entre strings. Fonte: Adaptado de DOMINEGHETTI, (2015).	75
Figura 3.18 - Distância mínima entre fileiras de módulos . Fonte: Adaptado de DOMINEGHETTI, (2015).....	76
Figura 3.19 - Quantidade de fileiras. Fonte: Próprio autor.....	77
Figura 3.20 – Capacidade de instalação. Fonte: Próprio autor.	78

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Resume as eficiências da célula e submódulo terrestres medidos segundo o espectro de AM 1.5 global (1000 W / m ²) a 25 ° C (IEC 60904-3: 2008, ASTM G-173-03 global). Fonte: adaptado de GREEN et al., (2015).....	14
Quadro 2.2 - Tipologias de baterias recarregáveis. Fonte: Adaptado de Pinho & Galdino, 2014.....	28
Quadro 2.3 - Vantagens e desvantagens dos veículos elétrico e convencionais. Fonte: Adaptado de RAJA & KAY (2005).....	44
Quadro 2.4 - Tipos de Recarga. Fonte: Calçado (2015).....	47
Quadro 2.5 - Classificação das políticas e instrumentos encontrados no Brasil (2014) Fonte:Adaptado de BARASSA (2014) Apud BARASSA (2015).	54
Quadro 3.1 - Alturas levantadas dos prédios próximos. Fonte: próprio autor.....	62
Quadro 3.2 – Resultados de Irradiação solar Diária média Mensal para a região São Paulo. Fonte: CRESESB (http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data).	64
Quadro 3.3 - Dimensionamento bateria de íons de lítio.	72
Quadro 3.4 - Estimativa de geração fotovoltaica nominal.	79
Quadro 3.5 - Estimativa de carregamentos por dia, mês e ano.	81
Quadro 3.6 - Tarifa vigente em 01/05/2016. Fonte: Adaptado AES Eletropaulo.	83
Quadro 3.7 - Custo estimado por carregamento completo.....	84

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 - Preço histórico das células de silício. Fonte: Bloomberg New Energy Finance & pv.energytrend.com.....	34
Gráfico 2.2 – Produção mundial de módulos fotovoltaicos. Fonte: Ruther.....	35
Gráfico 2.3 - Evolução do potencial acumulado em instalações fotovoltaicas. Fonte: IEA, 2016.....	36
Gráfico 2.4- Evolução global das vendas de veículos elétricos a bateria, híbridos e plug-in. Fonte: Elaborado a partir de U.S.Department of Energy (2014), ICCT (2014), IEA (2013), Hybridcars.com (2015), Evobsession (2015) e EDTA (2015) apud BARASSA, 2015.	48
Gráfico 2.5 - Vendas de veículos elétricos a bateria e híbridos <i>plug-in</i> por países em 2013. Fonte: Elaboração Barassa a partir de Evobsession (2015).	49
Gráfico 2.6 - Série Histórica das Vendas de VEH no Mercado Norte-Americano (1999-2011). Fonte: U. S. Department of Energy Administration (2012) apud BARAN, 2013.	51
Gráfico 2.7 - Séries Históricas das Vendas do Nissan Leaf (VEB) e do GM Volt (VEH) no Mercado Norte-Americano. Fonte: GCBC (2012) apud BARAN, 2013.....	52
Gráfico 3.1 - Irradiação Solar no plano inclinado para a cidade de São Paulo. Fonte: CRESESB (http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data).....	65

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos	3
1.1.1. Objetivo Principal	3
1.1.2. Objetivos específicos	3
1.2. Justificativa	4
1.3. Procedimento Metodológico	5
2. ESTADO DA ARTE	7
2.1. Energia Solar	7
2.2. Energia Solar fotovoltaica	9
2.2.1. Efeito Fotovoltaico na estrutura do silício cristalino	9
2.2.2. Células, perdas e eficiências	12
2.2.3. Estrutura dos Módulos e Possíveis Arranjos (série e paralelo)	15
2.2.4. Arranjos (série e paralelo)	16
2.2.5. Curva I-V e seguidor de ponto de potência máxima (SPPM)	18
2.2.6. Influência da irradiação solar	19
2.2.7. Temperatura	20
2.2.8. Sombreamento	21
2.3. Equipamentos integrantes de sistema fotovoltaico isolado (SFI)	22
2.3.1. Caixa de conexão e terminais	24

2.3.2.	Controladores de carga	24
2.3.3.	Baterias.....	26
2.3.4.	Inversores	32
2.4.	Perspectivas da Energia Fotovoltaica	34
2.5.	Conclusão	37
2.6.	Veículos Elétricos (VE).....	39
2.6.1.	Aspectos históricos.....	40
2.6.2.	Veículos elétricos VS. Veículos convencionais.....	44
2.7.	Modos de Recarga dos veículos elétricos.....	45
2.7.1.	Nível 1	46
2.7.2.	Nível 2	46
2.7.3.	Nível 3	47
2.7.4.	Perspectivas atuais.....	48
2.8.	Conclusão - Veículos Elétricos.....	54
3.	estudo de caso.....	57
3.1.	Escolha do local	57
3.2.	Características da área e entorno	58
3.3.	Checagens de campo	59
3.4.	Estudo de sombreamento	61
3.5.	Levantamento da Irradiação Solar no Plano do Módulo Fotovoltaico	64

3.6. Seleção dos equipamentos para o estudo de caso.....	66
3.6.1. Módulos	66
3.6.2. Inversor cc-ca	68
3.6.3. Baterias.....	69
3.6.4. Estação de recarga - Eletroposto	72
3.6.5. Modelo de veículo elétrico	74
3.7. Cálculo de sombreamento entre strings e capacidade de instalação de módulos	75
3.8. Estimativa de produção de energia fotovoltaica	78
3.9. Avaliação da quantidade de veículos elétricos abastecidos pelo sistema fotovoltaico.....	80
3.10. Estimativa de custo por recarga.....	82
4. CONCLUSÃO	85
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

1. INTRODUÇÃO

Neste início de século XXI, de acordo, com a Organização das Nações Unidas (ONU, 2015) a população mundial ultrapassou a marca de 7 bilhões de habitantes e a frota mundial de veículos atingiu a quantidade de 1 bilhão conforme cita a Organização Internacional de Fabricantes de Veículos Automotores (OICA, 2014).

Analizando este contexto e seus desdobramentos, se identificou duas tendências desta negativa sinergia, o crescimento populacional acarretará em uma crescente demanda por energia elétrica e o crescimento da frota mundial de veículos em um aumento nas emissões de poluentes atmosféricos.

Com isso, coloca-se no centro deste debate a preocupação com o meio ambiente, necessidade de redução do uso de combustíveis fósseis responsáveis pela emissão de um grande volume de poluentes atmosféricos principalmente nas grandes cidades e a necessidade da geração de energia elétrica, para suprir o modo de vida adotado desta crescente população.

Conforme levantamento da OECD/IEA (2015), o setor de geração de energia contribui globalmente com 2/3 das emissões antrópicas de gases de estufa e das emissões de CO₂, concentrações que vêm aumentando ao longo do século passado para níveis cada vez mais elevados. Não obstante o setor de transporte também é destacado como grande poluidor, países não membros da OECD, dobraram as emissões de gases de efeito estufa nos últimos 15 anos, muito devido ao crescimento da frota de veículos.

Tais fatos fazem exigir um esforço contínuo dos governos, da comunidade técnico-científico e da população para mitigar os efeitos desta sinergia negativa.

Com o continuo avanço da tecnologia, atualmente é possível gerar energia elétrica sem grandes impactos ao meio ambiente e produzir veículos que não contribuam com as emissões de poluentes atmosféricos advindas da queima de combustíveis tradicionais.

Tecnologias como a geração de energia fotovoltaica e veículos elétricos, são soluções apresentadas em um passado recente, que vem ganhando destaque, fatos estes podem ser comprovados com o aumento na quantidade de fabricação de módulos fotovoltaicos nos últimos anos e as filas de espera para adquirir veículos elétricos. Segundo MacDonald (2016) é previsto a venda de 41 milhões de veículos elétricos até 2040, representando 35% do total de veículos comercializados.

Soluções como estas se fazem necessárias ainda mais quando a expectativa da população mundial em 2050 é de ultrapassarmos a marca de 10 bilhões de habitantes de acordo com o documento *World Population Prospects: The 2015 revision* do Departamento Econômico e Social das Nações Unidas, Divisão População (ONU, 2015).

Visando contribuir para mitigação das emissões de poluentes atmosféricos de origem antrópica e possível falta de energia o presente trabalho incentiva a inserção de veículos elétricos na frota brasileira e os carregamentos realizados através de sistemas fotovoltaicos.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Principal

O objetivo principal deste trabalho é avaliar o potencial solar de um sistema de geração fotovoltaico isolado instalado sobre a cobertura de um posto de combustível localizado na cidade de São Paulo, visando o abastecimento de veículos elétricos.

1.1.2. Objetivos específicos

O presente trabalho possui como objetivos específicos, os seguintes itens:

- ✓ Fornecer ao leitor informações suficientes para a compreensão do trabalho sobre os temas energia solar fotovoltaica e veículos elétricos;
- ✓ Levantar a área de cobertura do posto de combustível;
- ✓ Realizar inspeção no local e identificar possíveis fatores de sombreamentos;
- ✓ Estimar o potencial de geração dos módulos fotovoltaicos na cobertura do posto de combustível;
- ✓ Estimar a quantidade de kWh gerado pelo sistema;
- ✓ Estimar quantidade de veículos elétricos que podem ser carregados;

1.2. Justificativa

Este trabalho se justifica, pela percepção de uma “futura” demanda por energia elétrica, atribuída ao crescimento da comercialização de veículos elétricos na frota veicular Brasileira.

Para suprir tal demanda, este trabalho propõe unificar uma visão ambiental e energética, pelo fato de acreditar e incentivar o crescimento da comercialização de veículos elétricos na frota brasileira e pelo aproveitamento da energia solar tão abundante no Brasil.

Propõem-se então, um sistema de geração fotovoltaica isolado, para o abastecimento de veículos elétricos gerando diversos ganhos a sociedade e ao meio ambiente, em detrimento de outras fontes de energia que contribuem para o aquecimento global, poluição atmosférica e risco a saúde pública, assunto este que vem sendo discutido em grande parte do mundo.

A possibilidade real de redução da emissão de poluentes atmosféricos provenientes da queima de combustíveis tradicionais (Gasolina, Álcool, Diesel etc.) pelos automóveis convencionais é direta, assim como a redução durante o processo de geração da energia elétrica.

1.3. Procedimento Metodológico

O procedimento metodológico adotado neste trabalho compreende 5 fases até sua conclusão final.

Fase de Planejamento - Nesta fase é identificado o problema a qual se pretende sanar ou mitigar, após a identificação do problema são estabelecidos os objetivos almejados, estes devem ser realistas e alcançáveis, com os objetivos estabelecidos e claros, escolheu-se uma área física para o estudo e posteriormente foi elaborado o plano de atividades.

Fase Levantamentos Bibliográficos - Esta fase será realizada basicamente através de buscas na literatura utilizando os diversos meios disponíveis, por exemplo: internet e materiais das bibliotecas de Engenharia Elétrica e Mecânica da Universidade de São Paulo e do Instituto de Energia e Ambiente (IEE), visando sempre os principais autores e institutos nos assuntos relacionados ao trabalho energia solar, sistemas fotovoltaicos, veículos elétricos entre outros, compondo a *base de dados I*.

Fase de Levantamentos - Esta fase compreendeu as checagens confirmatórias de campo e registros fotográficos, após a análise das imagens de satélite da área de estudo através do Google Earth, formando a *base de dados II*.

Fase de Interpretação de Dados - Com as duas bases de dados (I e II) em mãos, os dados foram interpretados e então se pode escolher os equipamentos que serão utilizados na fase de projetos.

Fase de Projeto e Viabilidade Técnica – Nesta fase final, o projeto será realizado baseado nos conceitos e técnicas adquiridas durante o curso de especialização.

A **Figura 1.1**, revela em forma de fluxograma o procedimento metodológico utilizado no presente trabalho.

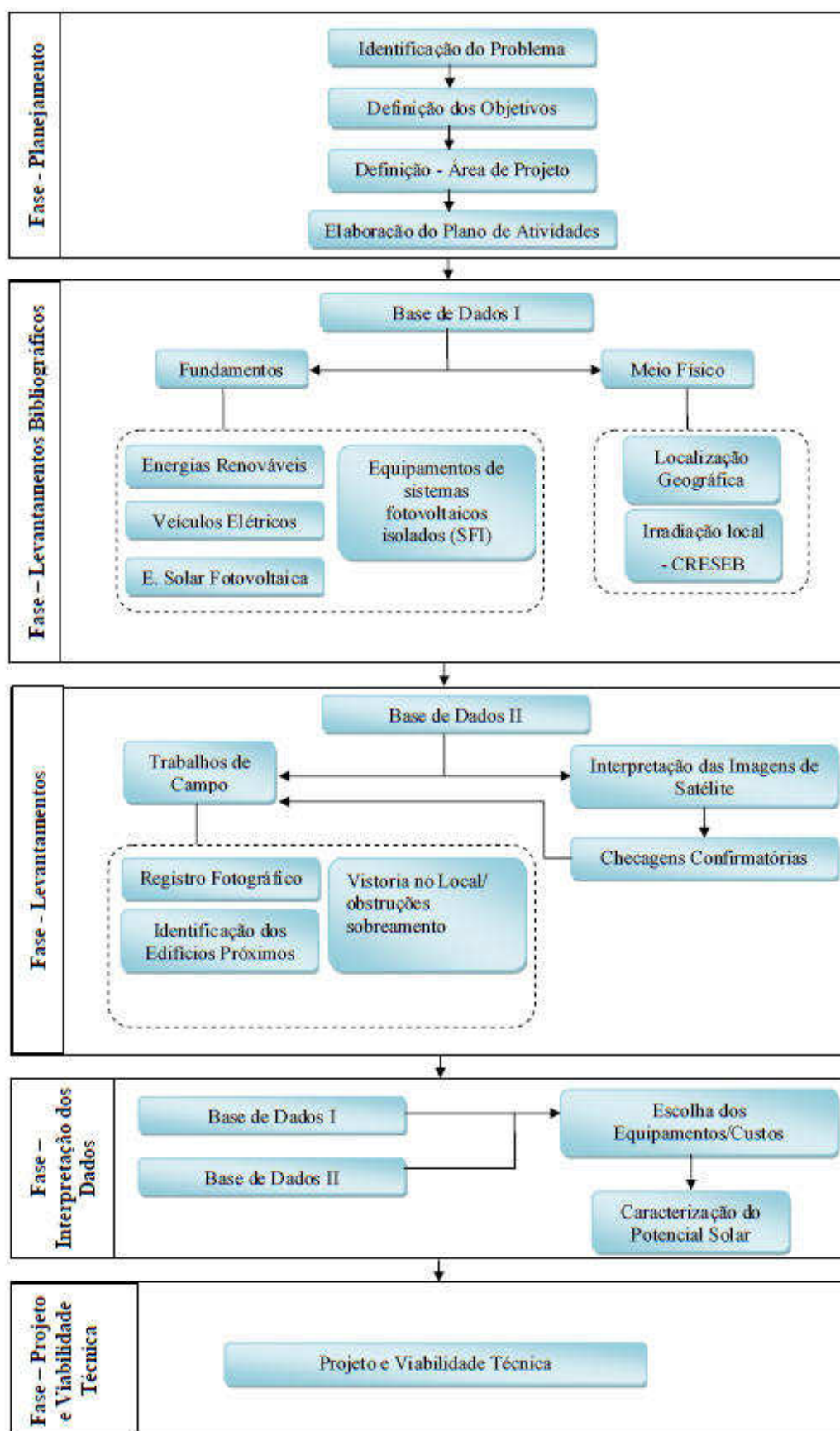


Figura 1.1 - Fluxograma do procedimento metodológico.

2. ESTADO DA ARTE

Neste capítulo serão discutidos dois temas centrais:

- ✓ Energia solar fotovoltaica – Aproveitamento da energia solar, tipos de células fotovoltaicas, limitações, equipamentos básicos para o sistema fotovoltaico isolado (SFI) e possibilidades de arranjos e perspectivas no Brasil.
- ✓ Veículos elétricos (VE) – Perspectiva da inserção no mercado brasileiro, características dos VE, vantagens e desvantagens do VE quando comparados a veículos convencionais.

2.1. Energia Solar

Energia solar é energia em forma de radiação proveniente do Sol. DUFFIE & BECKMAN (2013) descrevem o Sol como “uma esfera de gases quentes com diâmetro aproximado de 1.39×10^9 metros, cuja distância aproximada de 1.5×10^{11} metros do planeta Terra, e temperatura semelhante a um corpo negro de 5777 K”.

De acordo com BRAGA et al. (2005), as radiações provenientes do Sol são a principal fonte de energia da Terra sendo cerca de 99% da energia térmica aproveitada pelos ecossistemas, e que caso o Sol não existisse a temperatura terrestre seria da ordem de 200 °C negativos.

O aproveitamento desta energia inesgotável na escala terrestre de tempo tanto na forma de calor quanto de luz é hoje uma das alternativas energéticas mais promissoras para o desenvolvimento humano (PINHO e GALDINO, 2014).

A **Figura 2.1** ilustra a imensa disponibilidade de energia solar incidente no planeta quando comparada a outras fontes de energia disponíveis, como urânio (cor vermelha), gás (cor marrom), petróleo (cor verde) e carvão (cor preta) e o consumo energético global (cor azul).

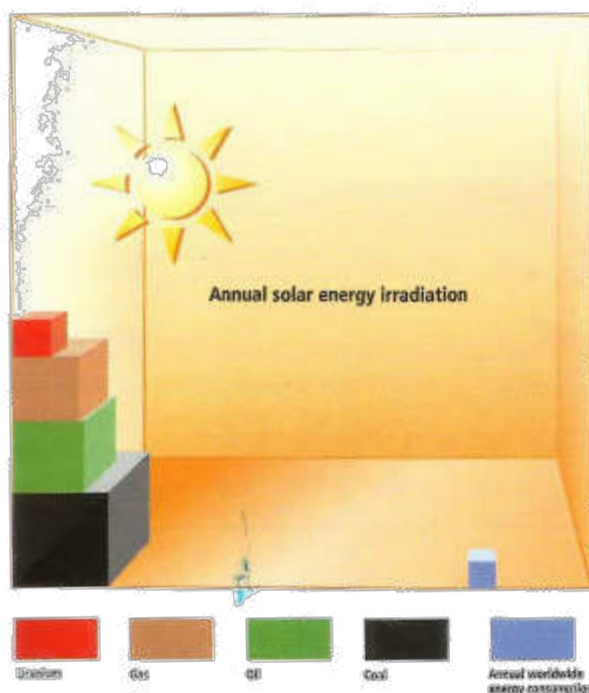


Figura 2.1 - Energia solar anual incidente no planeta, consumo energético global. Fonte: BMWi (2000) Apud DGS (2008).

De acordo com DGS (2008, p.09):

“a quantidade de energia solar que atinge a superfície da Terra é equivalente a cerca de 10.000 vezes a exigência de energia do mundo. Consequentemente, apenas 0.01 por cento da energia na luz solar teriam de ser aproveitada para cobrir as necessidades totais de energia do planeta.”

Buscando aproveitar o imenso potencial energético que o sol oferece, o próximo item irá abordar a energia solar fotovoltaica, que essencialmente é a conversão da energia solar em energia elétrica. Nele serão fundamentado o efeito fotovoltaico, tipos de células fotovoltaicas disponíveis no mercado, possíveis arranjos de módulos e equipamentos necessários para o funcionamento de um sistema fotovoltaico isolado (SFI).

2.2. Energia Solar fotovoltaica

A transformação direta da energia existente na luz do sol (fótons) em energia elétrica através do efeito fotovoltaico é denominada de energia solar fotovoltaica.

2.2.1. Efeito Fotovoltaico na estrutura do silício cristalino

O efeito fotovoltaico foi verificado pela primeira vez, em 1839, pelo físico inglês Alexandre Edmond Becquerel, onde observou uma diferença de potencial nos terminais de uma célula eletroquímica causada pela absorção de luz (PINHO & GALDINO, 2014).

ZILLES et al. (2012), explica que o efeito fotovoltaico:

“ocorre em certos materiais semicondutores¹ com capacidade de absorver energia contida nos fótons presentes na radiação luminosa incidente, transformando-a em eletricidade. A energia absorvida por esses materiais quebra as ligações químicas entre as moléculas presentes em suas estruturas. Com isso, cargas elétricas são liberadas e podem ser utilizadas para a realização de trabalho. O efeito fotovoltaico é uma característica intrínseca ao material que compõe os dispositivos de conversão fotovoltaica”.

A **Figura 2.2**, em consonância ao conceito apresentado acima, revela a estrutura cristalina de um semicondutor neste caso o silício (Si).

Pode-se observar que para cada átomo de silício (cor azul) ele possui 4 elétrons de ligação (cor vermelha) em sua camada externa (banda de valência), que podem ser quebradas pela ação da luz ou calor, o elétron então é livre para se mover e deixa um buraco na rede cristalina, que será preenchido por outro elétron que deixará outro buraco ou lacuna, isto é conhecido como condutividade intrínseca (movimentação das cargas).

¹ Semicondutores - Caracterizam por possuírem uma banda de valência totalmente preenchida por elétrons e uma banda de condução “vazia” (sem elétrons) na temperatura de zero absoluto (0 K). Assim sendo, um semicondutor comporta – se como um isolante a 0 K.

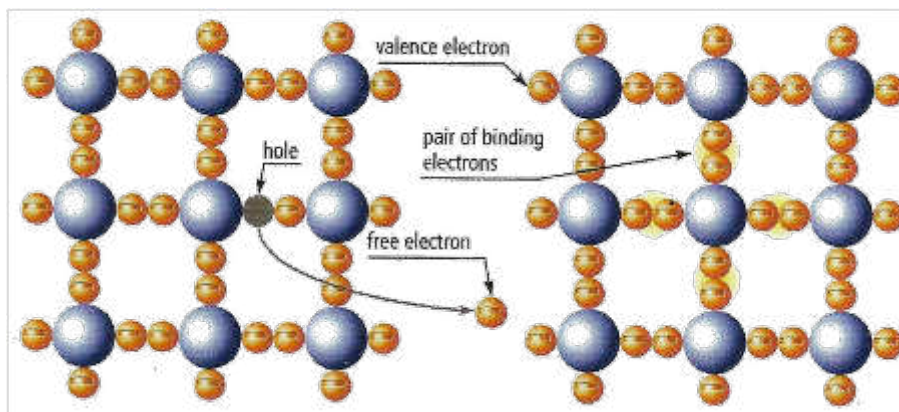


Figura 2.2 – Estrutura cristalina do silício. Fonte: DSG, 2008.

Para que o elemento silício possa ser usado para gerar energia, é necessário introduzir “impurezas” em sua estrutura cristalina, este método é conhecido como dopagem, onde são inseridos na grande maioria das células fotovoltaicas átomos de Boro (B) e Fósforo (P).

No caso da dopagem com fósforo (n-dopado) que possui 5 elétrons, ocorre um excesso de elétrons para cada átomo de fósforo na estrutura. Este elétron pode se mover livremente no cristal e, portanto transportar uma carga elétrica.

Em contra partida, no boro dopado (p-dopado) que possui apenas 3 elétrons, ocorre um buraco, isto é, ocorre a falta de um elétron de ligação para cada átomo de boro na rede cristalina, assim os elétrons de átomos de silício vizinhos acabam preenchendo esse buraco, criando um novo buraco em outro lugar.

A **Figura 2.3**, revela o que acontece com a dopagem por Boro (B) e fósforo (P), mostra também o buraco deixado pelo deslocamento do elétron. Este é conhecido como condução extrínseca no *n* e *p* silício dopado.

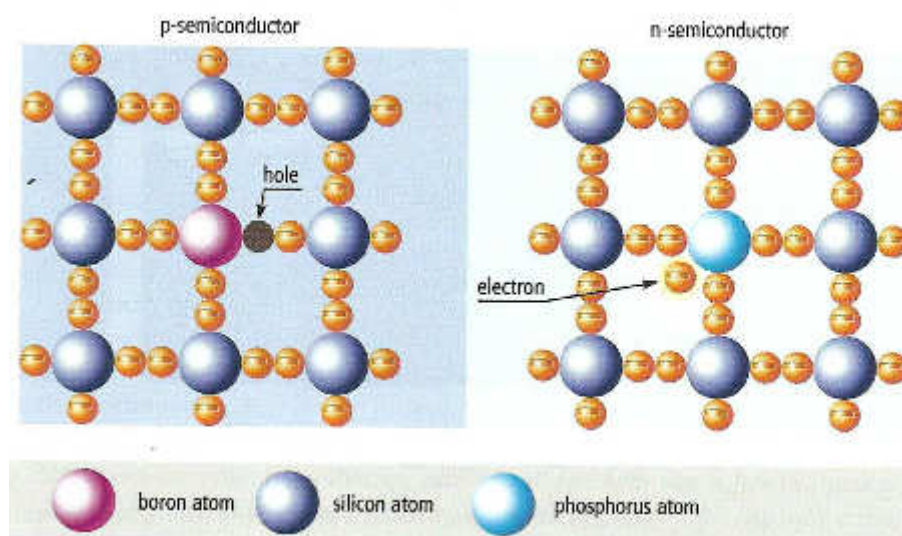


Figura 2.3 – Estrutura de silício dopada com átomo de Boro e Fósforo. Fonte: DSG, 2008.

Contudo, para que os elétrons possam sair da banda de valência é necessário atingir um nível mínimo de energia que dependerá do material utilizado, e quando atingir este nível mínimo passará pela banda proibida (bandgap ou gap) indo em direção à banda de condução.

Segundo PINHO & GALDINO (2014), a banda proibida localizada entre as bandas de valência e condução, podem atingir até 3,0 eV (elétrons-Volt) em semicondutores, diferenciando os de materiais isolantes, onde na banda proibida ultrapassam este valor. A **Figura 2.4** ilustra as bandas em materiais condutores, semicondutores e isolantes.

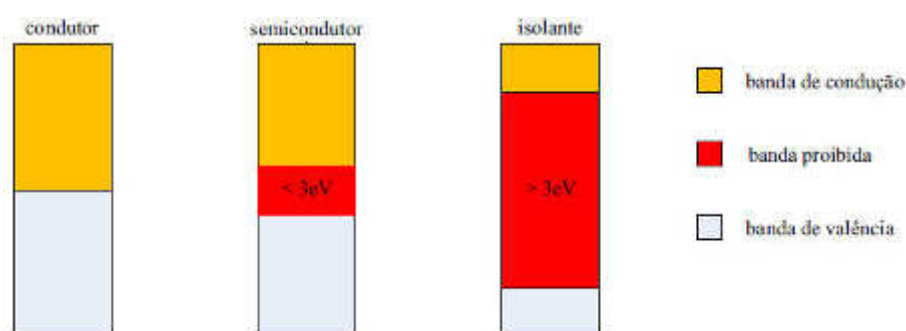


Figura 2.4 - Bandas em materiais condutores, semicondutores e isolantes. Fonte: (PINHO & GALDINO, 2014).

Considerando o material dopado, as cargas livres não têm qualquer sentido pré-determinado para o seu movimento, isto é, circulam aleatoriamente. Com isso,

forma-se nas camadas semicondutoras uma junção $p-n$ (positivo-negativo) região conhecida como área de carga espacial.

Nesta junção, os elétrons excedentes do n - *semicondutor* difundem-se para a camada de p - *semicondutor*, este cria uma região com buracos conforme revela a **Figura 2.5**.

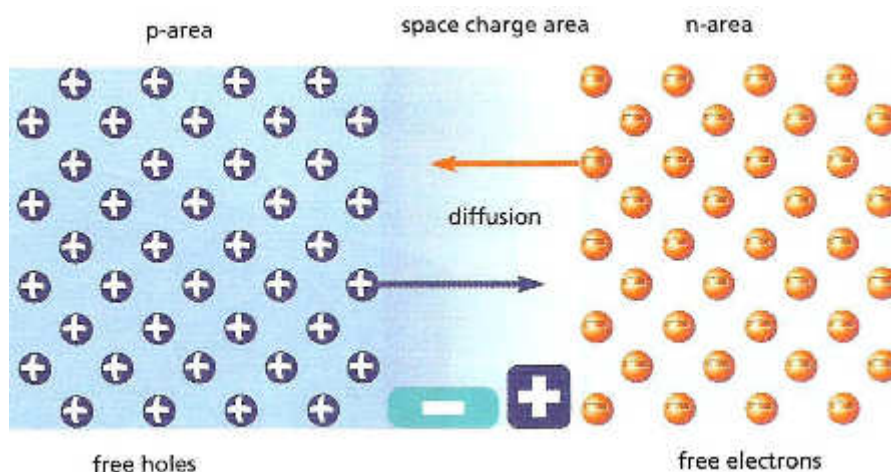


Figura 2.5 - Camada de junção $p-n$. Fonte: DSG, 2008.

Resumindo, com o condutor $n-p$ agora expostos à luz, os fótons com maior energia que o *gap* rompem as ligações da banda de valência, fazendo com que os elétrons sejam liberados, formando buracos na rede cristalina do silício, que são rapidamente recombinados visando equilibrar as cargas elétricas. Porém com a dopagem através da introdução do Boro e Fósforo é formada uma região de carga espacial ou zona de depleção, onde ocorre a difusão de portadores de carga para os contatos elétricos provocando uma diferença de tensão na célula solar. Se o circuito elétrico for fechado circula uma corrente.

2.2.2. Células, perdas e eficiências

Conforme PINHO & GALDINO (2014), a célula fotovoltaica é a unidade fundamental do processo de conversão da energia solar em eletricidade, dispositivo este fabricado com material semicondutor.

As células fotovoltaicas possuem geralmente três camadas, a saber: a frontal onde a irradiação solar atinge a superfície que recebeu a dopagem n (Fósforo), a

posterior que recebeu a dopagem p (Boro), ambas separadas pela terceira camada a junção P-N formada por material semiconductor onde é gerado o campo elétrico.

Conforme ilustra a **Figura 2.6**, para o funcionamento são necessários um contato elétrico frontal (malha metálica) na região n e um contato metálico na região p , quando esses contatos metálicos são conectados externamente por um meio condutor ocorrerá à circulação de elétrons.

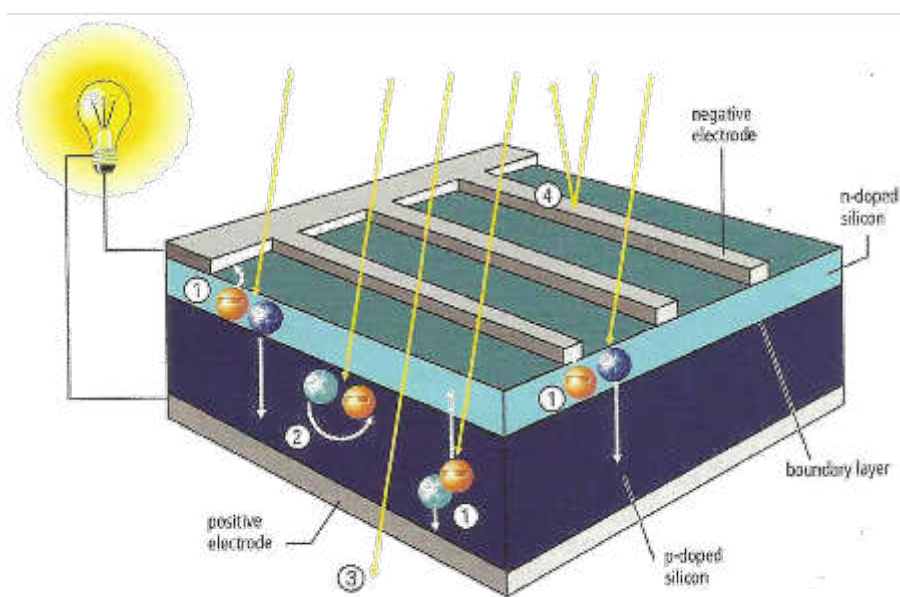


Figura 2.6 - Designer genérico de célula fotovoltaica. Fonte: DSG, 2008.

Existem alguns fatores que limitam a eficiência de conversão em uma célula fotovoltaica, são eles:

- ✓ Recombinação (2), isto é, o “reencontro” dos elétrons e lacunas em impurezas e defeitos do material;
- ✓ Energia do fóton não utilizado (3), isto é, absorção nula de fótons com energia menor do que o *gap*;
- ✓ Reflexão (4) e sombreamento pelos contatos metálicos na superfície frontal;

O processo de separação das cargas (1) na **Figura 2.6** é o que se espera quando a luz atinge as células fotovoltaicas.

Ainda sobre as perdas de eficiência nas células fotovoltaicas, PINHO & GALDINO (2014), citam a resistência elétrica oriundas dos dispositivos e contatos

metal – semicondutor e os possíveis caminhos de fuga da corrente elétrica (resistências em paralelo) como sendo causas da redução de eficiência das células.

No **Quadro 2.1** é possível verificar as principais tecnologias e eficiências das células fotovoltaicas existentes atualmente.

Caso o leitor se interesse em aprofundar seus conhecimentos quantos as tecnologias e eficiências existentes, recomendam-se buscar na literatura os autores, PINHO & GALDINO (2014); DSG (2008) e GREEN et al. (2013).

Quadro 2.1 - Resume as eficiências da célula e submódulo terrestres medidos segundo o espectro de AM 1.5 global (1000 W / m²) a 25 ° C (IEC 60904-3: 2008, ASTM G-173-03 global). Fonte: adaptado de GREEN et al., (2015).

Tecnologia		Eficiência (%)
Silício	Monocristalino	25,6 ± 0,5
	Policristalino	20,8 ± 0,5
	Filmes finos transferidos	21,2 ± 0,4
Compostos III A-VA ou (13-15)	GaAs (filme fino)	28,8 ± 0,9
	GaAs (policristalino)	18,4 ± 0,5
	InP (monocristalino)	22,1 ± 0,7
Calcogênios compostos II B – VI A (ou 12-16)	CIGS (CuIn _x Ga _(1-x) Se ₂) filme fino	19,6 ± 0,6
	CdTe (filme fino)	21,0 ± 0,4
Silício amorfo/nanocristalino	Amorfo (a-Si) (filme fino)	10,2 ± 0,3
	Nanocristalino (nc – Si)	11,8 ± 0,3
Células sensibilizadas por corantes (DSSC)		11,9 ± 0,4
Células Orgânicas (filme fino)		11,0 ± 0,3
Multijunção	Célula de Cinco junções	38,8 ± 1,2
	InGaP/GaAs/InGaAs	37,9 ± 1,2
	a-Si/nc-Si/nc-Si (filme fino)	13,6 ± 0,4

Vale destacar, a eficiência das células multijunção de aproximadamente 38,8%, pois a combinação dos diversos materiais permite o aproveitamento dos fótons em maior parte das frequências do espectro solar, também merece destaque para as células de silício monocristalino e policristalino que são as mais difundidas no mercado, cujas eficiências variam de 25 e 20% respectivamente.

A seguir serão apresentadas informações referentes às células de silício.

➤ **Silício cristalino**

Conforme, DSG (2008) e ANDRADE et al., (2009), o elemento silício (Si) é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, ficando atrás apenas do oxigênio (O_2) e portanto possui uma quantidade quase ilimitada, sabe-se que não está presente em sua forma pura, mas sim em compostos químicos como quartzos e areias.

Segundo (MME, 2009), os dados relacionados com reservas mundiais de quartzo são escassos. Contudo, o Brasil é detentor de 95% das reservas mundiais, o equivalente a 78 milhões de toneladas, pelas estatísticas oficiais do DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral), no ano de 1986. Estes dados referem-se a quartzo de todas as qualidades, ou seja, para fabricação de Fe-Si, vidros, silício metalúrgico, cerâmicas tradicionais, silício eletrônico, silício solar etc.

No entanto, esta vantagem é apenas parcialmente aproveitada, pois o país não dominou ainda o ciclo de capacitação tecnológica para manufaturar os produtos nas qualidades e purezas desejadas (MME, 2009).

PINHO & GALDINO (2014), citam que a pureza do silício que é utilizado na indústria fotovoltaica possuem uma pureza da ordem de 99,9999% (6N), chamado silício grau solar (Si-gS) que é obtido da sílica (SiO_2), através do processo Siemens modificado e outras rotas alternativas.

As células fotovoltaicas feitas a partir de silício cristalino (c-Si) em 2011 correspondiam a 87,9% do mercado mundial (PINHO & GALDINO, 2014).

2.2.3. Estrutura dos Módulos e Possíveis Arranjos (série e paralelo)

O módulo é um conjunto de células fotovoltaicas ligadas em série através de condutores (**Figura 2.7**), pois individualmente possuem tensão muito baixa da ordem de 0,5 a 0,8 volts para as células de silício.

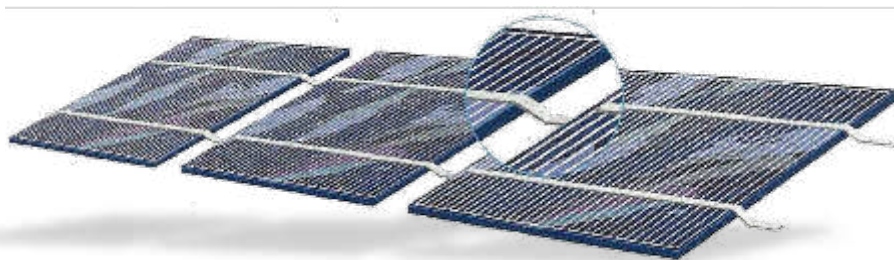


Figura 2.7 - Conexões externas em série nas células fotovoltaicas. Fonte: DSG, 2008.

Genericamente os módulos possuem estruturas similares a **Figura 2.8**. As células fotovoltaicas são envoltas de uma proteção na parte inferior e por EVA transparente na parte superior, ainda possuem uma vedação impermeável e esquadrias de alumínio.

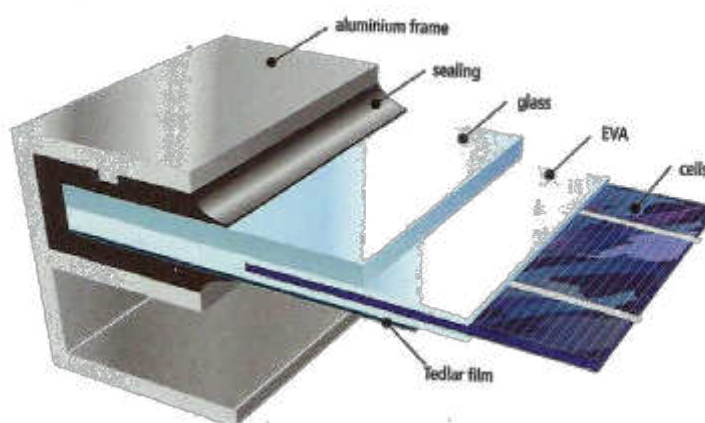


Figura 2.8 - Estrutura genérica dos módulos fotovoltaicos. Fonte: DSG, 2008.

Os módulos são projetados para alcançar a máxima eficiência no menor custo possível. Existem diferentes tamanhos, formas e custos. Para cada caso de aplicação devem ser avaliados qual modelo e marca serão utilizados, pois nem sempre o módulo mais caro é o melhor para o projeto e cliente.

2.2.4. Arranjos (série e paralelo)

Os módulos podem ser conectados em série e/ou paralelo e ajustados para a tensão (V) e corrente (I), necessária para funcionamento dos equipamentos do sistema fotovoltaico.

Quando um módulo isolado está recebendo radiação solar, uma tensão pode ser medida entre os terminais positivo e negativo usando um voltímetro, a tensão observada é a tensão de circuito aberto (V_{oc}).

Por outro lado, ao conectar os terminais desse módulo a um amperímetro mede-se sua corrente de curto-circuito (I_{sc}).

✓ Módulos conectados em série

Quando os n módulos são conectados em série na presença da irradiação solar, as tensões (V_{oc}) são somadas e a corrente (I_{sc}) se mantém constante, conforme equações abaixo.

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n \quad (1)$$

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n \quad (2)$$

A **Figura 2.9**, exemplifica a conexão de três células em série cujas características individuais são: V_{oc} 0,6 V; I_{sc} 3,0 A.

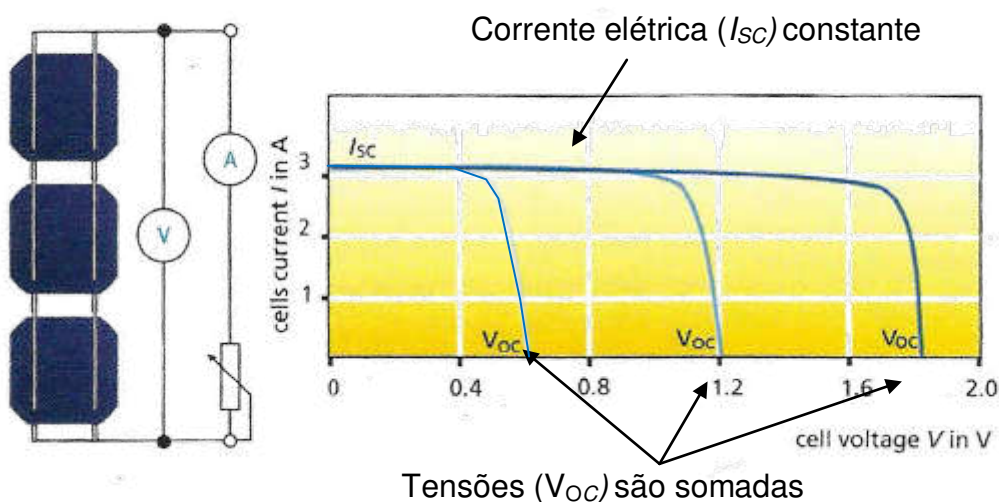


Figura 2.9 - Características elétricas dos módulos em séries. Fonte: Adaptado de DSG, 2008.

✓ Módulos fotovoltaicos conectados em paralelo

Na presença de luz solar, os módulos fotovoltaicos conectados em paralelo têm suas correntes (I_{sc}) somadas e a tensão (V_{oc}) se mantém constante.

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (3)$$

$$V = V_1 = V_2 = \dots = V_n \quad (4)$$

A **Figura 2.10**, mostra as mesmas células fotovoltaicas agora conectadas em paralelo, percebe-se que agora a corrente somada possui 9 A e a tensão se manteve constante (0,6 Voc).

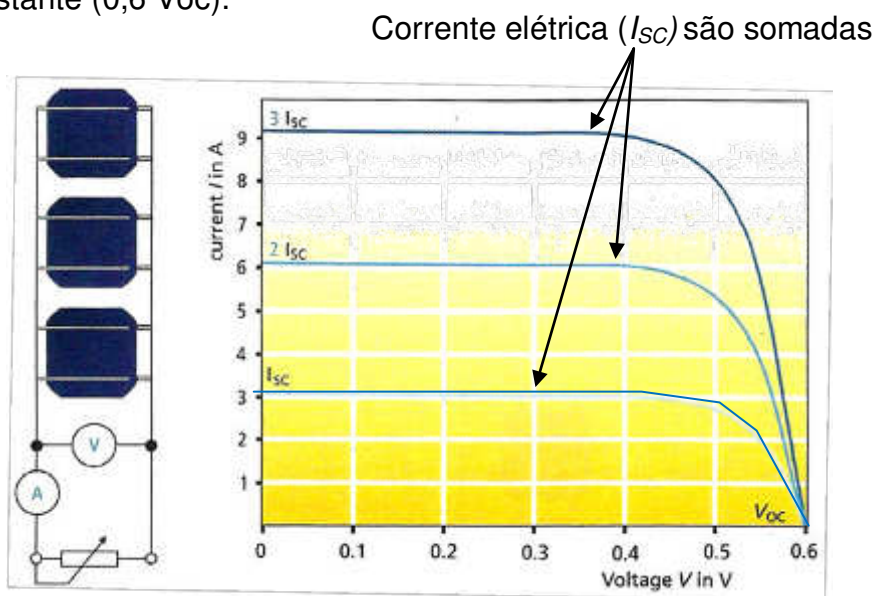


Figura 2.10 - Características elétrica dos módulos em paralelo. Fonte: DSG, 2008.

2.2.5. Curva I-V e seguidor de ponto de potência máxima (SPPM)

Para definir a curva I - V , o módulo é submetido às condições padrão de ensaio (STC) e uma fonte de tensão variável realiza uma varredura entre uma tensão negativa de poucos volts (em relação aos terminais do módulo) até ultrapassar a tensão de circuito aberto do módulo (quando sua corrente fica negativa).

Durante esta varredura são registrados pares de dados de tensão e corrente, permitindo o traçado de uma curva característica I - V .

Para um determinado ponto no tempo, o módulo funciona com uma tensão e corrente particular, chamado de ponto de operação (I , V), correspondendo na curva de potência no ponto (P , V).

Para obter a máxima potência entregue pelo módulo é necessário forçar para o ponto de operação correspondente à potência máxima (P_{mpp}), ou como é

geralmente chamado, o ponto de máxima potência (P_{mp}). Este ponto corresponde ao pico da curva de P-V ou de "joelho" da curva I-V.

Como a irradiância e a temperatura da célula modificam constantemente a curva I-V e por consequência, os pontos relacionados à máxima potência (P_{mp} , V_{mp} e I_{mp}), é conveniente que haja um mecanismo de controle eletrônico que observe continuamente as modificações na curva característica I-V e atue sobre a eletrônica do inversor e/ou do conversor c.c.- c.c., de modo a manter o gerador fotovoltaico operando na tensão correspondente à tensão de máxima potência, maximizando a transferência de potência e evitando perdas nas células, que surgiriam se o acoplamento ocorresse em outra tensão que não a ótima. Este processo é o chamado de seguimento do ponto de potência máxima (SPPM ou MPPT, em inglês).

A **Figura 2.11**, revela a curva I-V e o ponto de máxima potência.

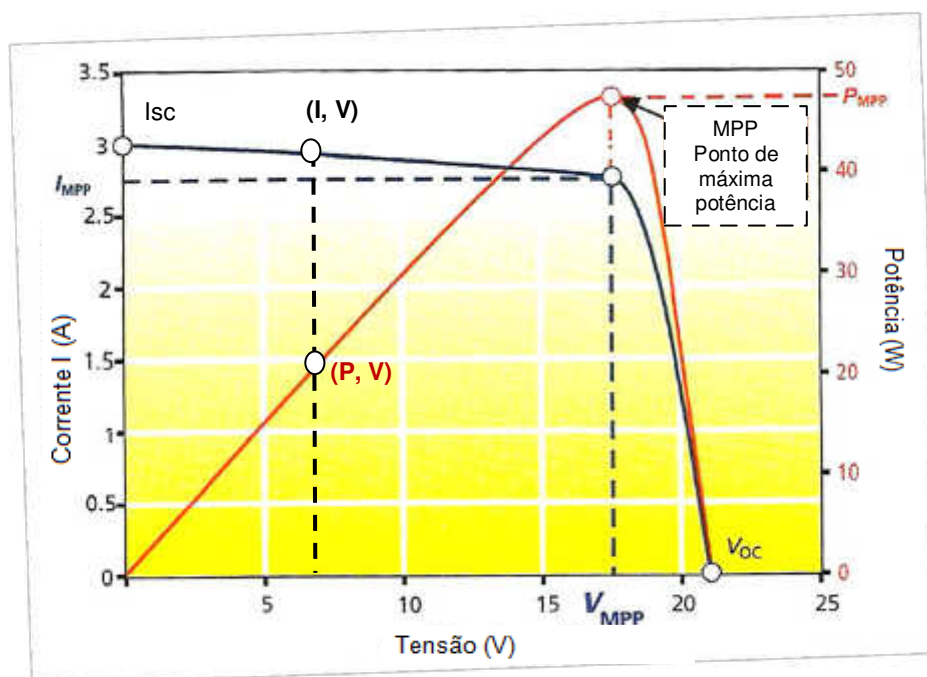


Figura 2.11 - Curva I-V e seguidor de máxima potência. Fonte: Adaptado de DSG, 2008.

2.2.6. Influencia da irradiação solar

A irradiância solar incidente em uma célula fotovoltaica afeta a curva I-V, a corrente elétrica gerada por uma célula fotovoltaica aumenta linearmente com o aumento da irradiância solar incidente, enquanto que a tensão de circuito aberto

(V_{oc}) aumenta de forma logarítmica (pela Equação 3.11), se mantida a mesma temperatura.

A **Figura 2.12**, revela as alterações na curva I-V provocadas pelos diferentes níveis de irradiação que atingem as células fotovoltaicas de silício a 25 °C.

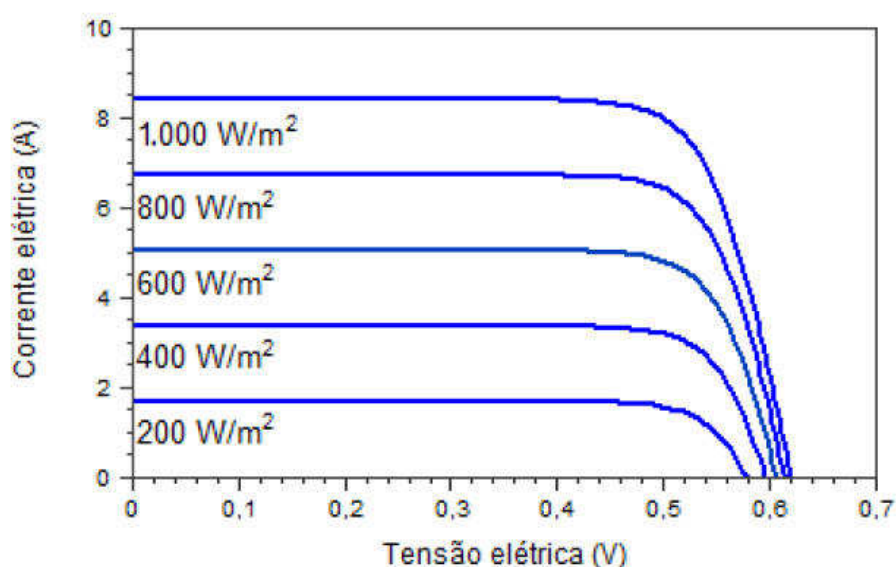


Figura 2.12 - Alteração na curva I-V, devido a variação de irradiação que chega na célula fotovoltaica.
Fonte: PINHO e GALDINO (2014).

2.2.7. Temperatura

Conforme PINHO e GALDINO (2014) o aumento da irradiação incidente e/ou da temperatura ambiente produz um aumento da temperatura da célula e, consequentemente, tende a reduzir a sua eficiência. Isto se deve ao fato de que a tensão da célula diminui significativamente com o aumento da temperatura, enquanto que sua corrente sofre uma elevação muito pequena, quase desprezível.

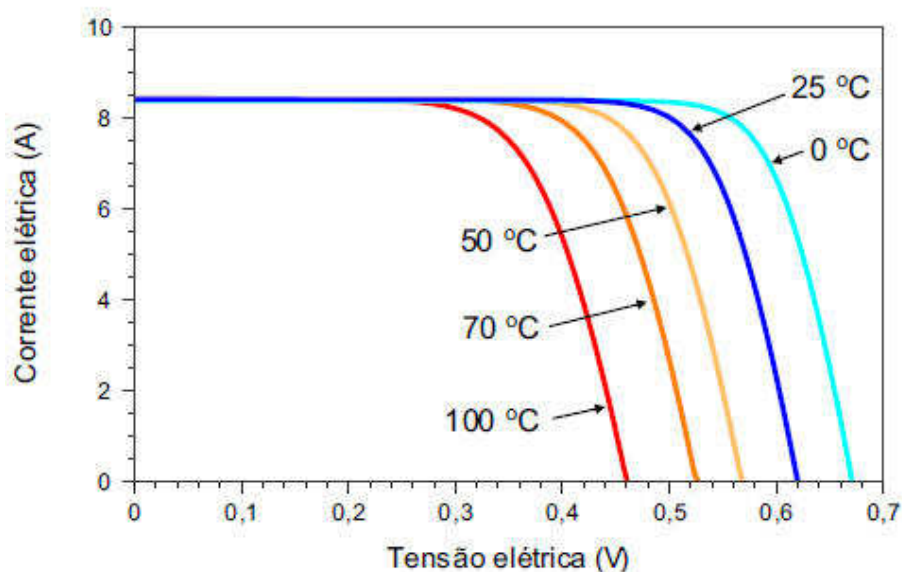


Figura 2.13 - Influência da temperatura da célula fotovoltaica na curva I - V (para irradiância de 1.000 W/m², espectro AM1,5). Fonte PINHO E GALDINO (2014).

2.2.8. Sombreamento

O sombreamento reduz a eficiência dos módulos podendo até anular a produção de energia elétrica. Como forma de driblar pequenas regiões sombreadas e danificar o equipamento, os módulos possuem diodos de desvio (*by-pass*) que servem para evitar a ocorrência de “pontos quentes” e oferecer um caminho alternativo para a corrente.

PINHO & GALDINO (2014) citam que dessa forma é possível limitar a dissipação de potência no conjunto de células sombreadas, reduzindo simultaneamente a perda de energia e o risco de dano irreversível das células afetadas, o que inutilizaria o módulo. Contudo os módulos fotovoltaicos já incluem, na sua maioria, um ou mais diodos de desvio, evitando que o projetista tenha que considerá-los em seu sistema.

A **Figura 2.14**, mostra o que acontece quando ocorre um sombreamento “pequeno” sobre as células fotovoltaicas.

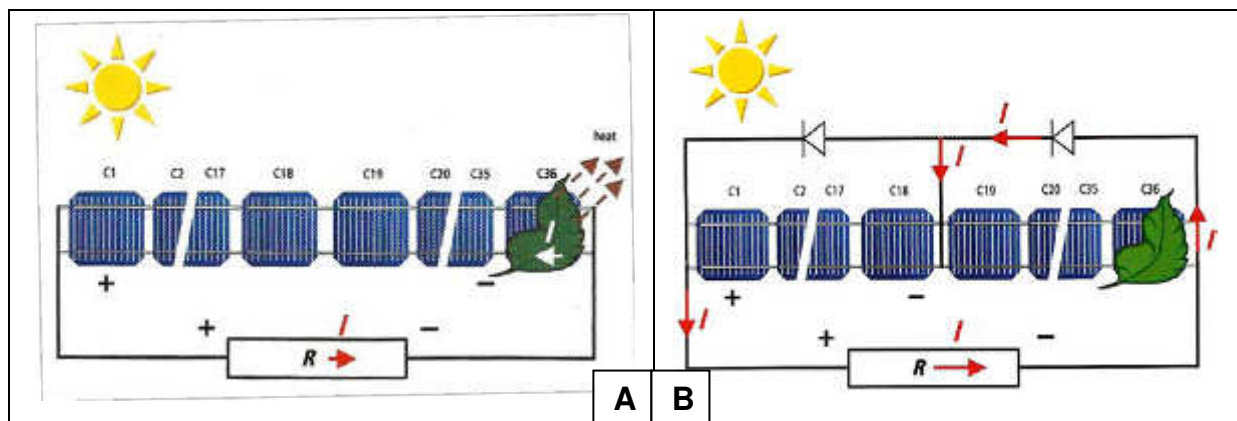


Figura 2.14 - Sombreamento nas células fotovoltaicas. Fonte: DSG, 2008.

Se uma folha cai sobre o módulo solar de modo a que a célula fotovoltaica é escurecida, esta célula solar torna-se uma carga de eletricidade (convertida em calor) e não gera mais corrente nesta célula conforme **Figura 2.14 (A)**.

Para evitar um ponto quente de se desenvolver, a corrente é desviada por meio de um diodo by-pass conforme **Figura 2.14 (B)**. Este impede que grandes tensões se acumulem através das células solares na direção reversa.

2.3. Equipamentos integrantes de sistema fotovoltaico isolado (SFI)

Os sistemas isolados ou autônomos não possuem contato com a rede de distribuição de eletricidade das concessionárias, eles podem ser individuais ou em minirredes, nos casos individuais, o fornecimento de energia é feito para uma única fonte consumidora Ex: residência, comércio, serviço de utilidade etc. No caso da minirrede a geração de energia pode ser distribuída em diversos pontos de consumo.

Os sistemas autônomos podem ser com armazenamento ou sem armazenamento de energia, dependendo da finalidade.

A **Figura 2.15**, exemplifica a forma básica de um sistema autônomo com armazenamento, isto é, a energia é gerada e armazenada para posteriormente ser utilizada, eles contam com uma unidade responsável pelo controle e condicionamento de potência composta por inversor, controlador de carga e baterias.



Figura 2.15 - Exemplo de sistema fotovoltaico isolado. Fonte: d-solarsystems.com.

Existe o sistema autônomo onde não é necessário o armazenamento de energia, onde a geração abastece diretamente os aparelhos (**Figura 2.16**) que utilizarão a energia e são geralmente construídos com um propósito local e específico. Esta solução é bastante utilizada em locais remotos já que muitas vezes é o modo mais econômico e prático de se obter energia elétrica nestes lugares. Exemplos de uso são sistemas de bombeamento de água, eletrificação de cercas, geladeiras para armazenar vacinas, postes de luz, estações replicadoras de sinal, etc.

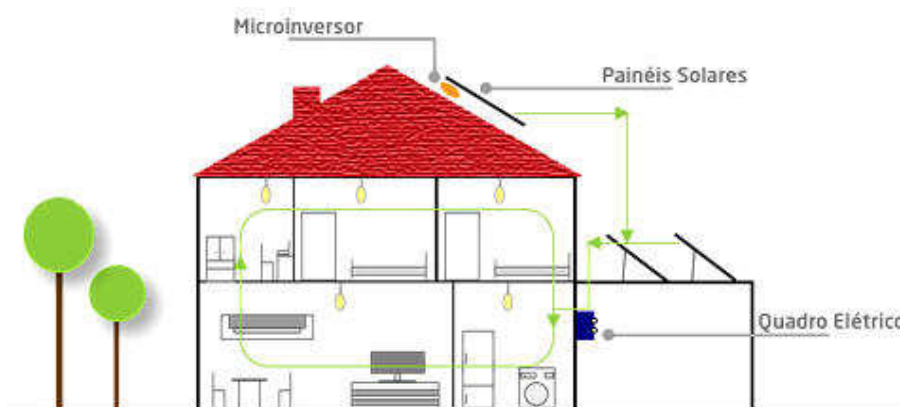


Figura 2.16 - Exemplo de sistema autônomo sem armazenamento. Fonte: d-solarsystems.com.

Dependendo da configuração a ser aplicada no projeto, podem variar os equipamentos a serem utilizados em um sistema fotovoltaico.

A seguir são detalhados os equipamentos integrantes de um sistema fotovoltaico isolado, isto é, desconectado da rede de distribuição.

2.3.1. Caixa de conexão e terminais

Para se alcançar a tensão (V) e corrente (I) desejada, os módulos são conectados entre si através de terminais. São conectados terminais positivos de um módulo nos terminais negativos de outro, e assim por diante.

Os terminais se localizam na parte traseira dos módulos onde geralmente possuem uma caixa de conexão. Esta caixa de conexão abriga os diodos de desvio (*by-pass*).

A **Figura 2.17**, mostra os tipos de conectores existentes (positivo e negativo), assim como a caixa de conexão.

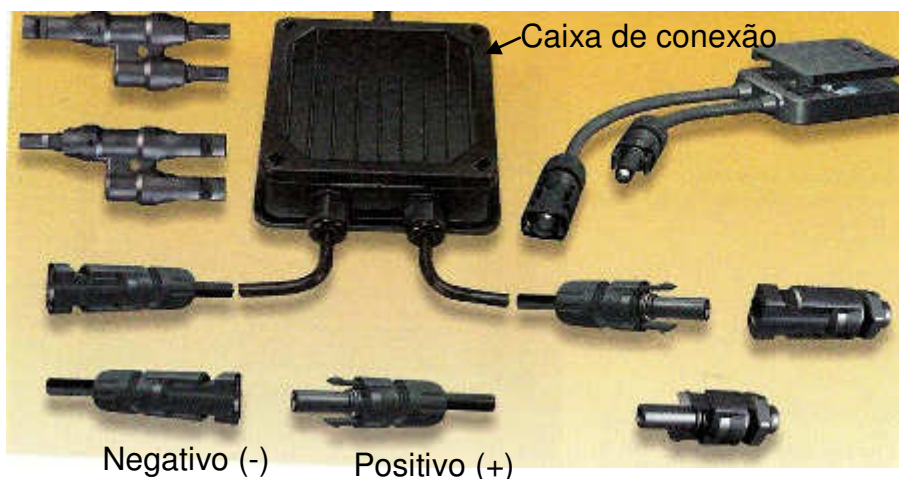


Figura 2.17 - Caixa de conexão e terminais. Fonte: Adaptado de DSG, 2008.

2.3.2. Controladores de carga

Conforme PINHO e GALDINO (2014), controlador de carga é o dispositivo responsável por regular e gerenciar o fluxo energético dos geradores fotovoltaicos para as baterias (ou banco de baterias), bem como protegê-las de uma descarga profunda decorrente de um longo período sem geração.

ZORZI (2013) comenta que os controladores de carga, servem ainda para impedir após o carregamento total da bateria (ou banco de baterias) que continuem a receber carga dos módulos fotovoltaicos, assim protegendo e aumentando a vida útil.

Segundo PINHO e GALDINO (2014), denominações do tipo “gerenciador de carga”, “regulador de carga” ou “regulador de tensão” são comuns e algumas vezes referem-se aos controladores de carga com diferentes níveis de sofisticação.

PINHO e GALDINO (2014) enfatizam que no momento de se especificar um controlador de carga, primeiro é importante saber o tipo de bateria a ser utilizada e o regime de operação do sistema, posteriormente determina-se a tensão e a corrente de operação do sistema.

Os parâmetros para especificação dos controladores de carga são obtidos das características elétricas do painel fotovoltaico e das cargas, bem como das curvas características das baterias, como as de carga e descarga, além da vida útil (em ciclos) desejada.

➤ **Tipos de controladores de carga**

Podem-se diferenciar os controladores de carga quanto à grandeza de controle, forma de desconexão do painel fotovoltaico e estratégia de controle adotada.

As grandezas de controle mais utilizadas são: estado de carga (integração do fluxo de corrente na bateria), tensão e densidade do eletrólito da bateria (PINHO e GALDINO 2014).

Quanto à forma utilizada para desconectar o painel fotovoltaico da bateria quando esta apresenta carga plena, podem ser classificados como paralelo (*shunt*) ou série.

Já quanto à estratégia de controle, PINHO e GALDINO (2014), citam a desconexão do painel FV (HVD²) e desconexão da carga (LVD³).

² HVD- High Voltage Disconnect.

³ LVD – Low Voltage Disconnect.

A desconexão do painel (HVD) é feita quando as baterias estão com carga plena e atingem um valor de tensão preestabelecido protegendo as baterias de sobrecargas, já a desconexão da carga (LVD), é quando se desconecta as cargas que estão sendo alimentadas pelo SFI, evitando que a bateria seja submetida a descargas excessivas.

PINHO e GALDINO (2014) ainda mencionam os controladores de SPPM⁴, que adotam a estratégia de seguimento do ponto de potência máxima do painel fotovoltaico visando aumentar a eficiência do processo de carga. Para isso, o equipamento opera em uma tensão de entrada mais elevada do que os controladores convencionais e inclui um conversor cc-cc como primeiro estágio, de forma a alcançar um melhor casamento entre a curva I-V do painel e as baterias.

2.3.3. Baterias

Dois tipos de baterias são mencionados na literatura, as não recarregáveis chamadas de primárias e recarregáveis conhecidas como secundárias. As primárias são baterias descartáveis e quando se descarregam completamente a sua vida útil se encerra, são utilizadas como fonte de energia de baixa potência (relógios de pulso, calculadoras etc.), já as secundárias podem ser recarregadas e utilizadas várias vezes por longos períodos (Exemplo: sistemas fotovoltaicos).

PINHO e GALDINO (2014) descrevem a bateria como um conjunto de células ou vasos eletroquímicos, conectados em série e/ou em paralelo, capazes de armazenar energia elétrica na forma de energia química por meio de um processo eletroquímico de oxidação e redução (redox) que ocorre em seu interior e permitem reações reversíveis, no caso das secundárias.

O uso de dispositivos de armazenamento é fundamental em sistemas fotovoltaicos isolados (SFI), isto é, sistemas não conectados com a rede elétrica.

Entretanto, PINHO e GALDINO (2014) destacam que mesmo em sistemas fotovoltaicos conectados na rede elétrica (SFCR) as baterias podem ser utilizadas

⁴ SPPM – Seguimento do ponto de máxima potência.

para operação ilhada, ou seja, quando faltar energia na rede as baterias forneceriam energia para a demanda, sistemas estes são comumente encontrados na Europa e EUA. No Brasil este tipo de conexão não possui ainda regulação pela ANEEL e as distribuidoras não aceitam esta configuração.

Como a geração fotovoltaica é intermitente pode haver períodos com baixa insolação ou até mesma nula (à noite ou em dias chuvosos e longos períodos de céu encoberto), nestas situações as baterias são importantes, pois armazenam energia nos períodos em que há irradiação solar para serem utilizados no período noturno ou até mesmo em outros dias.

Apenas para informação, existem diversas formas que armazenamento de energia, pode-se citar: campo elétrico (supercapacitores), campo magnético (indutores com supercondutores, *SMES – Superconducting Magnetic Energy Storage*), energia mecânica (volantes de inércia - *flywheels*, ar comprimido, bombeamento de água), vetores energéticos (como o Hidrogênio) etc.

Para PINHO e GALDINO (2014), as baterias eletroquímicas são as mais utilizadas em sistemas fotovoltaicos isolados (SFI), dos vários tipos existentes de acumuladores eletroquímicos, a bateria de Chumbo-ácido (Pb-ácido) ainda é a tecnologia mais empregada. Baterias com tecnologias mais modernas que possuem maior eficiência, vida útil e maior profundidade de carga como baterias de Níquel-Cádmio (NiCd), Níquel-hidreto metálico (NiMH), íon de Lítio (Li-ion), dentre outras, geralmente não são ainda economicamente viáveis na maioria dos projetos fotovoltaicos.

➤ **Baterias recarregáveis**

Baterias recarregáveis são aquelas que permitem reações químicas reversíveis e podem com auxílio de uma fonte externa, recuperar a composição química inicial e deixar a bateria pronta para um novo ciclo de operação.

PINHO e GALDINO (2014) classificam as baterias de acordo com a aplicação, em Automotivas, Tração, Estacionárias, Fotovoltaicas.

O **Quadro 2.2** compila as tipologias de baterias recarregáveis, suas características e aplicações.

Quadro 2.2 - Tipologias de baterias recarregáveis. Fonte: Adaptado de Pinho & Galdino, 2014.

Tipologia	Características
Automotivas	São projetadas fundamentalmente para descargas rápidas com elevadas taxas de corrente e com reduzidas profundidades de descarga, possuem maior número de placas e placas mais finas, em relação aos outros tipos. Não são adequadas ao uso em sistemas fotovoltaicos , pois tem baixa vida útil para operação em regime de ciclagem.
Tração	Indicadas para alimentar veículos elétricos são projetadas para operar em regime de ciclos diários com descarga profunda e taxa de descarga moderada (C/6). Possuem liga de Chumbo com alto teor de Antimônio e apresentam alto consumo de água.
Estacionárias	Direcionadas para aplicações em que as baterias permanecem em regime de flutuação e são solicitadas ocasionalmente para ciclos de carga/descarga. Esta condição é típica de sistemas de no-break ou UPS. Tem baixo Antimônio e baixo consumo de água.
Fotovoltaicas	É projetada para ciclos diários de profundidade rasa a moderada com taxas de descarga reduzidas (C/20) e devem suportar descargas profundas esporádicas devidas à ausência de geração (dias nublados).

Segundo PINHO e GALDINO (2014) os principais atributos para avaliação de baterias recarregáveis são: densidade de energia (volumétrica ou por peso), eficiência, capacidade, vida cíclica, taxa de autodescarga, reciclabilidade dos materiais e custo.

A eficiência das baterias recarregáveis depende de muitos fatores, dentre os quais se destacam: estado de carga, temperatura de operação, taxas de carga e descarga, além da idade, já os fatores mais importantes que afetam o desempenho, e a vida útil de qualquer bateria recarregável são: profundidade de descarga (por ciclo), temperatura, número de ciclos, controle da carga/descarga e manutenção periódica (PINHO e GALDINO, 2014).

Como a maioria dos SFI, tendem a operar por dias ou até semanas sem o completo carregamento das baterias, devido à falta de insolação, reduz a vida útil das baterias, principalmente para as baterias de chumbo-ácido.

➤ Profundidade de descarga, número de ciclos e temperatura

A profundidade de descarga indica, em termos percentuais, quanto da capacidade nominal da bateria foi retirado a partir do estado de plena carga, quanto maior for a profundidade de descarga, menor a quantidade de ciclos que uma bateria de chumbo-ácido vai apresentar em sua vida útil.

Para facilitar a compreensão do conceito de profundidade de descarga, segue exemplo: uma bateria com capacidade nominal de 100Ah, onde teve uma remoção de 25 Ah resulta em uma profundidade de descarga de 25%.

A **Figura 2.18**, revela duas conclusões quanto à operação das baterias secundárias.

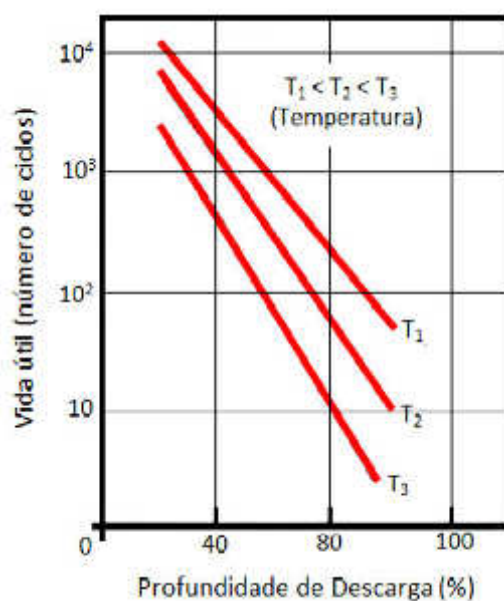


Figura 2.18 - Curvas típicas do efeito da profundidade de descarga e da temperatura na vida útil da bateria. Fonte: IMAMURA; HELM; PALZ, 1992 apud Pinho e Galdino, 2014.

- ✓ 1° - A vida cíclica ou vida útil está inversamente relacionada com a profundidade de descarga e a temperatura, ou seja, quanto maior for a profundidade de descarga da bateria e a temperatura, menor será o tempo de vida útil;
- ✓ 2° - A capacidade de qualquer bateria secundária degrada-se mais rapidamente quando a temperatura de operação da bateria e a profundidade

de descarga aumentam, isto é, a capacidade de fornecer Ah pela bateria é diminuída com o aumento da temperatura e da profundidade da descarga.

Com o objetivo de ilustrar as principais partes de uma célula eletroquímica é possível constatar na **Figura 2.19**, a complexidade de uma bateria e devido aos materiais utilizados em sua fabricação seu custo é significativo.

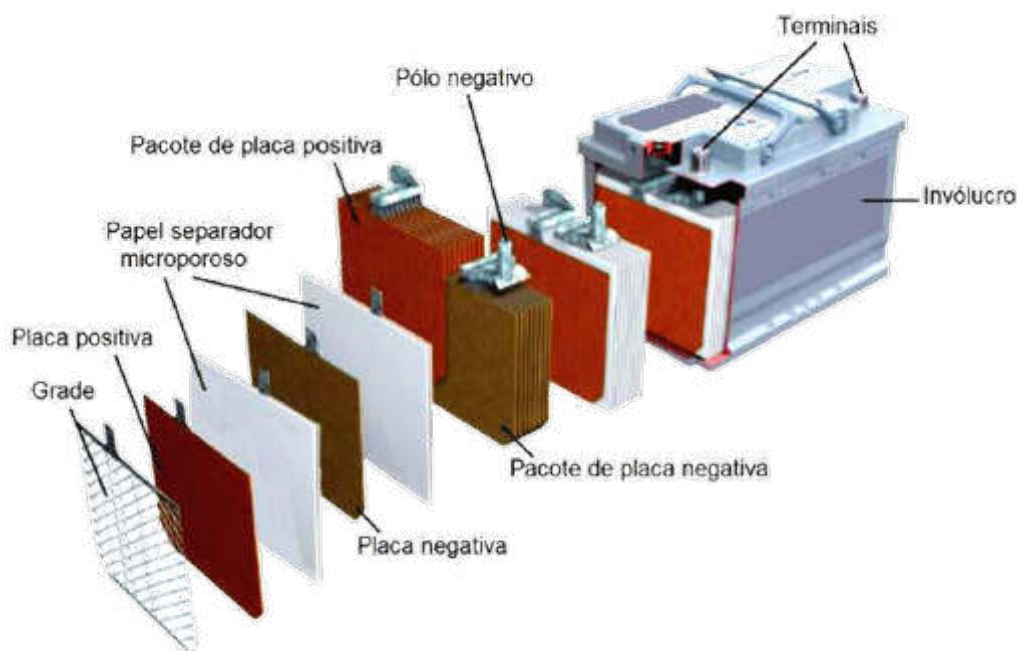


Figura 2.19 – Principais partes de uma bateria eletroquímica. Fonte: ZOBAA (2013) apud Pinho e Galdino (2014).

➤ Banco de baterias (série e paralelo)

Para sistemas fotovoltaicos mais robustos que necessitem de armazenamento de energia, apenas uma bateria pode não ser suficiente, neste caso há a possibilidade de se aumentar a capacidade de armazenamento através de arranjos entre n baterias (série, paralelo ou ambos) formando um banco de bateria.

Basicamente pode se seguir, os mesmos critérios adotados nos arranjos dos módulos fotovoltaicos para o banco de bateria, isto é, quando conectados em série soma-se as tensões individuais de cada bateria, resultando em uma tensão ainda maior (a corrente se mantém igual), quando agrupados em paralelo, somam-se as correntes (a tensão final se mantém igual). Se for necessário aumentar a corrente e tensão simultaneamente deve se realizar o arranjo série-paralelo.

A **Figura 2.20**, exemplifica os possíveis arranjos do banco de baterias onde a características individuais das baterias são 12V e 200 Ah.

- (1) Arranjo em paralelo - As ligações são feitas entre polos iguais, positivo-positivo e negativo-negativo das baterias;
- (2) Arranjo em série - As ligações são feitas entre os polos positivo-negativo das baterias;
- (3) Arranjo série e paralelo - São realizados os dois tipos de conexões anteriores.

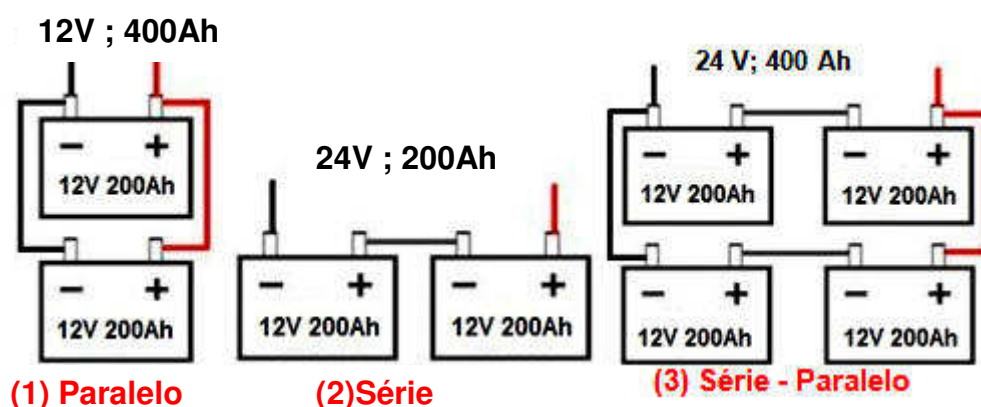


Figura 2.20 - Arranjos de baterias. Fonte: Adaptado de MPPTSOLAR.

Segundo (VOLTEC, 2016) alguns cuidados devem ser tomados quanto banco de baterias, o local de armazenamento deve ser arejado com temperatura próxima aos 25 °C e isento de umidade, não devem ficar no chão de preferência em um suporte, conforme ilustra a **Figura 2.21**.



Figura 2.21 - Banco de baterias. Fonte: Voltec Engenharia, 2016.

Quanto às manutenções, estas devem ser realizadas de duas a três manutenções por ano, verificando a situação dos bornes e conectores, impedindo a ferrugem ou zinabre nos mesmos. Baterias estouradas devem ser trocadas imediatamente, pois trazem riscos as pessoas (VOLTEC, 2016).

➤ **Características ideais para escolha da bateria em SFI**

Conforme PINHO e GALDINO (2014) a operação de uma bateria em um sistema fotovoltaico isolado (SFI) deve atender a dois tipos de ciclos:

- ✓ Ciclos rasos a cada dia;
- ✓ Ciclos profundos por vários dias (tempo nublado) ou semanas (durante o inverno).

Os ciclos profundos ocorrem quando o carregamento não foi suficiente para repor a quantidade de carga usada pelos aparelhos durante todo o dia. Por isso, o estado de carga depois de cada ciclo diário é ligeiramente reduzido e, se isto ocorrer por um período de vários dias, levará a um ciclo profundo.

Quando as condições meteorológicas melhoram, volta a haver um carregamento extra, aumentando o estado de carga depois de cada ciclo.

Para que as baterias tenham um bom desempenho em SFI, devem ser observadas algumas características:

- ✓ Elevada vida cíclica para descargas profundas;
- ✓ Necessidade de pouca ou nenhuma manutenção;
- ✓ Elevada eficiência de carregamento;
- ✓ Baixa taxa de autodescarga;
- ✓ Confiabilidade.

2.3.4. Inversores

PINHO & GALDINO, (2014) descrevem um inversor como um dispositivo eletrônico que fornece energia elétrica em corrente alternada (c.a.) a partir de uma fonte de energia elétrica em corrente contínua (c.c.).

Os inversores podem ser divididos com relação ao tipo de aplicação em duas categorias, (1) em sistemas fotovoltaicos isolados utilizam-se inversores *off-grid* e (2) em sistemas fotovoltaicos conectados a rede utilizam-se inversores *grid-tie*.

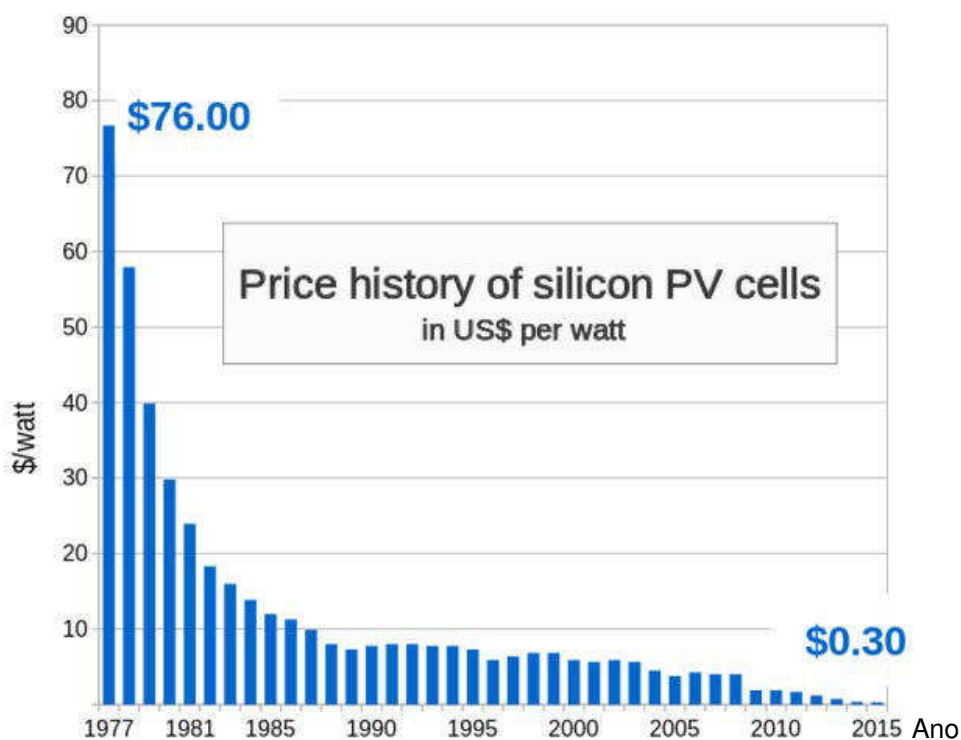
Para PINHO e GALDINO (2014) ao se especificar um inversor é preciso primeiramente considerar qual é o tipo de inversor: inversor de bateria, para SFI, ou inversor para SFCR, e cita os parâmetros que devem ser especificados: a tensão de entrada c.c. e a tensão de saída c.a, faixa de variação de tensão aceitável, potência nominal, potência de surto, frequência, forma de onda e distorção harmônica (THD), grau IP de proteção, temperatura ambiente e umidade do local da instalação além das certificações e tempo de garantia desejados.

2.4. Perspectivas da Energia Fotovoltaica

Para discussão das perspectivas da energia fotovoltaica, serão expostas informações referentes, ao histórico preço das células fotovoltaicas, crescimento da potencia instalada e países que mais investem nesta tecnologia.

O **Gráfico 2.1**, revela o histórico do custo das células fotovoltaicas de silício por watt gerado nas últimas décadas, é possível perceber a redução em mais de 90% do preço inicialmente praticado.

Gráfico 2.1 - Preço histórico das células de silício. Fonte: Bloomberg New Energy Finance & pv.energytrend.com.



O **Gráfico 2.2**, revela o crescimento da produção mundial de módulos fotovoltaicos, incluindo todas as tecnologias e todos os fabricantes, é possível perceber que a partir de 2002 até 2007 a produção começa a crescer, e em 2008 a produção anual de módulos chegava a 6000 MW, tendo em 2009 um crescimento mais de 110% comparado ao ano de 2008, alcançando a marca de mais de 16000 MW de módulos produzidos no ano de 2010.

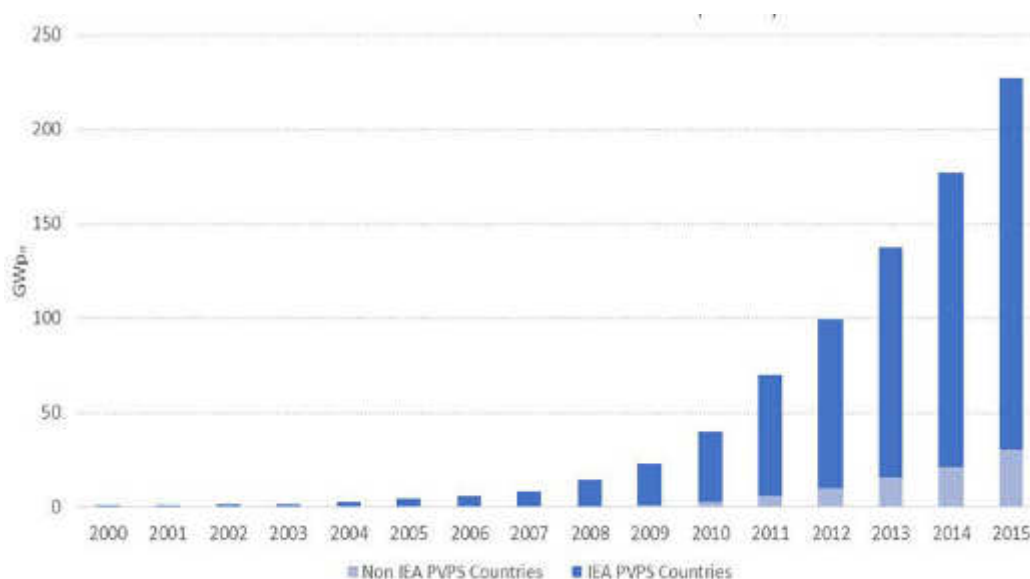
Gráfico 2.2 – Produção mundial de módulos fotovoltaicos. Fonte: Ruther.



Segundo IEA-PVPS (2016), estima-se que a capacidade instalada de geração fotovoltaica no mundo no final de 2015 atingiu a marca de 227,1 GW. Este montante corresponde a mais de 16 hidrelétricas de Itaipu operando com 20 unidades geradoras e capacidade instalada de 14 GW.

O **Gráfico 2.3** mostra a evolução da potência acumulada fotovoltaica no mundo durante o período de 2000 a 2015, juntos os 24 países participantes da IEA – PVPS contribuíram com 197 GW e os países não associados com aproximadamente 30 GW, vale a pena ressaltar que o Brasil faz parte dos não associados que contribuíram com menos de 1 GW.

Gráfico 2.3 - Evolução do potencial acumulado em instalações fotovoltaicas. Fonte: IEA, 2016.



Comparando o ano de 2009 e 2015, o crescimento da potência acumulada foi em torno de 10 vezes, isto é, em 6 anos a potência acumulada das instalações fotovoltaicas aumentaram 1000%.

O grande ator neste cenário continua sendo a China, que só em 2015 instalou 15,3 GW de potência, sendo que em 2014 e 2013 foram 10,95 e 10,6 GW respectivamente. O segundo país a instalar foi o Japão com aproximadamente 11 GW, seguido do EUA com 7,3 GW em 2015.

Para IEA-PVPS (2016), na América do Sul países como México, Brasil e Peru mesmo com medidas de incentivo, o mercado fotovoltaico continuou simbólico, o destaque ficou para o Chile com instalações cerca de 450 MW em 2014 e 2015.

As figuras a seguir, fornecem um panorama top 10 dos países que instalaram maiores SFV em 2015 e a potência acumulada.

1		China	15,2 GW
2		Japan	11 GW
3		USA	7,3 GW
4		UK	3,5 GW
5		India	2 GW
6		Germany	1,5 GW
7		Korea	1 GW
8		Australia	0,9 GW
9		France	0,9 GW
10		Canada	0,6 GW

Figura 2.22 - Top 10 dos países em 2015 que instalaram SFV. Fonte: IEA-PVPS (2016).

1		China	43,5 GW
2		Germany	39,7 GW
3		Japan	34,4 GW
4		USA	25,6 GW
5		Italy	18,9 GW
6		UK	8,8 GW
7		France	6,6 GW
8		Spain	5,4 GW
9		Australia	5,1 GW
10		India	5 GW

Figura 2.23 - Top 10 capacidade instalada até final 2015. Fonte: IEA-PVPS (2016).

2.5. Conclusão

A energia solar é o recurso energético mais abundante no planeta Terra, uma pequena fração dessa energia seria suficiente para atender a todas as necessidades da humanidade. Apesar de todo esse potencial pouco ainda é aproveitado.

A produção de energia elétrica por módulos fotovoltaicos no mundo vem crescendo, a maior parte do crescimento do mercado fotovoltaico está relacionada as instalações conectadas à rede, contudo nos sistemas isolados também há um crescimento, porém em menor escala.

A China, Japão e EUA, são os países que mais investem na geração fotovoltaica, e não parecem frear esta tendência. Países da América Latina, ainda patinam para seguir este caminho, mesmo o Brasil que está bem localizado geograficamente e possui uma imensa área disponível para aplicar esta tecnologia não aproveita o momento.

O Brasil possuidor das maiores reservas de quartzos do mundo, elemento fundamental para a fabricação das células de silício, não investe o que deveria para localizar e estudar estas áreas. Esquece que setor fotovoltaico propiciaria a geração de milhares de empregos em nível médio e superior, deixando de criar um mercado interno consumidor.

Como já visto, energia fotovoltaica tem grande potencial de redução de custos, promovendo a modicidade tarifaria no futuro.

A falta de incentivos para geração fotovoltaica distribuída é uma barreira para os consumidores adeptos desta energia e consequentemente para o estabelecimento de indústrias de células, módulos fotovoltaicos e equipamentos, pois sem demanda não viabiliza o restante da cadeia produtiva.

Conforme cita Zilles e Benedito (2012), o custo da energia produzida no Brasil por sistemas fotovoltaicos ainda é alto em relação à tarifa aplicada ao consumidor residencial, que acaba representando uma forte barreira à sua disseminação, contudo este custo vem diminuindo conforme o aumento da demanda e a curva de aprendizado na fabricação dos módulos fotovoltaicos.

É perceptível que o custo da energia elétrica convencional vem crescendo significativamente, sendo vislumbrado um momento onde esses custos serão equiparados, atingindo a chamada paridade tarifária.

2.6. Veículos Elétricos (VE)

Neste item serão apresentadas informações sobre a origem dos veículos elétricos⁵, sua aceitação no mercado atual, características construtivas, vantagens e desvantagens quando comparado a veículos convencionais.

Ao contrário que muitos pensam a tecnologia de veículos elétricos (VE) não é recente e durante sua evolução houveram diversos avanços tecnológicos como as baterias de íons de lítio, frenagens regenerativas e toda a tecnologia digital embarcada nos VE atuais (BARAN & LEGEY 2010).

Para SIMON (2013), os veículos elétricos são vistos hoje como uma das mais promissoras alternativas para reduzir os impactos ambientais e a dependência de combustíveis fósseis no setor de transportes.

Existem três tipos de veículos elétricos atualmente comercializados, veículo elétrico puro (VE), veículos híbridos (VEH) e os híbridos plug-in (VEHP).

Nos VEH, a bateria é recarregada pelo motor a combustão e frenagem regenerativa (Exemplo: Toyota Prius, GM Volt, Honda Insight, Ford Fusion Hybrid) já nos VEHP além destes dois modais é possível abastecer através de um carregador externo (Exemplo: Toyota Prius (2012), Ford Escape (2012), GM Volt (2010)).

No VE puro, a bateria é recarregada na rede de energia elétrica ou substituída por outra carregada ou carregada externamente através de eletroposto (Exemplo: Nissan LEAF, Renault Fluence).

⁵ Veículos elétricos - Atualmente são entendidos como veículos automotores que utilizam pelo menos um motor elétrico para acionamento da(s) roda(s).Fonte: ABVE, 2016.

2.6.1. Aspectos históricos

Na literatura os registros sobre veículos elétricos remontam mais de 150 anos de história, em meados da década de 1830 surgiram às primeiras demonstrações experimentais de veículos elétricos inicialmente nos EUA e na Europa, mas foi somente meio século depois que a propulsão elétrica começou a ganhar força (WAKEFIELD, 1998 apud SIMON, 2013).

Na virada do século XIX, o automóvel mais popular nos EUA era o “Locomobile”, movido a vapor. Naquela época, o mercado norte americano se dividia principalmente entre os elétricos e os a vapor (BARAN, 2012).

Segundo SIMON (2013), os anos de 1899 e 1900 foram áureos em termos de vendas de veículos elétricos, sobrepujando tanto os veículos a vapor como a gasolina. Apenas no ano de 1899, foram vendidos 1.575 automóveis elétricos, 1.681 a vapor e 936 a gasolina (Cowan e Hultén, 1996 apud Baran, 2012). Neste mesmo ano, o veículo elétrico, “*Le Jamais Contante*”, foi o primeiro automóvel a quebrar a barreira dos 100 km/h.



Figura 2.24 - Detroit 1919 - Carro elétrico recarregando em casa. Fonte: ABB.

RAJA & KAY (2005) citam que no final do século XIX, nos Estados Unidos havia mais veículos elétricos do que automóveis que utilizavam motor a combustão interna (MCI), de acordo com os autores a produção de veículos elétricos chegavam a ser 2:1 quando comparados a carros a gasolina.

Os veículos elétricos apresentavam vantagens claras sobre as demais tecnologias, não havia vibração, poluição ou quaisquer ruídos associados ao motor a gasolina. A mudança de marchas nos veículos a gasolina era considerada uma das partes mais difíceis no processo de condução do veículo, já os veículos elétricos não apresentavam marchas (SIMON, 2013).

Para garantir percursos mais longos, no mesmo período, surgem os primeiros veículos híbridos como opção para compensar a baixa autonomia das baterias e a falta de estrutura de distribuição para recarga de veículos elétricos (HOYER, 2008 apud SIMON, 2013).

Segundo D.O.E (2009) apud BARAN & LEGHEY (2010), entre os principais fatores apontados para o declínio dos carros elétricos, podem-se citar:

- O sistema de produção em série de automóveis, desenvolvido por Henry Ford, permitiu que o preço final dos carros a gasolina ficasse entre US\$ 500 e US\$ 1.000⁶, o que correspondia à metade do preço pago pelos elétricos;
- Em 1912 foi inventada a partida elétrica, que eliminou a manivela utilizada para acionar o motor dos veículos a gasolina;
- Nos anos 1920, as rodovias dos EUA já interligavam diversas cidades, o que demandava veículos capazes de percorrer longas distâncias;
- As descobertas de petróleo no Texas reduziram o preço da gasolina, tornando-a um combustível atrativo para o setor de transportes.

RAJA & KAY (2005) apontam também como fator do declínio dos veículos elétricos, os problemas ambientais quase inexistentes naquela época, pois o grande apelo dos veículos elétricos era ambiental.

Nos Estados Unidos, entre 1899 e 1909, enquanto as vendas de automóveis a gasolina cresceram mais de 120 vezes, as vendas de elétricos somente dobraram. Em 1924, a contabilidade dos veículos produzidos apontavam 3.185.490 veículos a

⁶ Em 1912, enquanto um veículo elétrico poderia custar US\$ 1.750, o veículo a gasolina era vendido por US\$ 650 (BARAN, 2011 apud SIMON, 2013).

gasolina e apenas 381 veículos elétricos, evidenciando, assim, a consolidação dos veículos a gasolina (COWAN e HULTÉN, 1996 apud SIMON, 2013).

Conforme BARAN & LEGY (2010), a partir dos anos 1930, os veículos elétricos passaram a ser produzidos em escala cada vez menor, sendo utilizados em algumas cidades dos EUA e Reino Unido, basicamente para coleta de lixo, serviços de entregas e para distribuição de leite. Segundo o mesmo autor, no Japão pós-guerra o carro elétrico tornou-se bastante popular, por causa do racionamento de combustíveis e mesmo assim sua produção foi descontinuada na década de 1950 quando o racionamento cessou.

➤ **Retomada dos veículos elétricos**

BARAN (2012); SIMON (2013) citam que no início dos anos 1970 problemas ambientais relacionados à qualidade do ar e a crise do petróleo de 1973 foram fatores que atraíram o interesse das grandes montadoras e os VEs despontaram como uma solução rápida para tais problemas.

Neste período, governos e montadoras realizaram investimentos na tentativa de disseminar veículos elétricos no mercado, porém, nem veículos elétricos a bateria (VEB) nem veículos elétricos híbridos (VEH) estavam aptos para competir com o consolidado mercado de carros a gasolina (BARAN, 2011 apud SIMON, 2013).

Naquela época o chumbo era utilizado como aditivo para a gasolina, não havia filtros nem catalisadores para conter as emissões e os automóveis eram considerados como uma das principais fontes da poluição atmosférica nas grandes cidades BARAN (2012).

Segundo RAJA & KAY (2005); BARAN (2012) o governo americano motivado politicamente pela crise do petróleo, visando diminuir a dependência dos países árabes, criou em 1976 um programa de desenvolvimento de carros elétricos e híbridos.

O programa contava com US\$ 160 milhões para o desenvolvimento de baterias de níquel-ferro e níquel-zinco e veículos elétricos e o objetivo era a fabricação de 2.500 automóveis elétricos e híbridos entre junho de 1978 e dezembro

de 1979, e mais tarde aumentar a produção para 5.000, atingindo em seguida 50.000 veículos por ano. Segundo BARAN (2012) o programa nunca atingiu seu objetivo, tendo sido terminado durante o governo Reagan (1981-1989) por razões econômicas.

No final dos anos 80, houve outra tentativa de trazer de volta os veículos elétricos e o objetivo era novamente reduzir as emissões de poluentes nas grandes cidades, neste momento o conceito de sustentabilidade estava em alta.

Em 1990 o estado da Califórnia implementou as primeiras normas regulatórias de emissão zero, obrigando as montadoras a servirem veículos elétricos aos consumidores (Sovacool e Hirsh, 2008 apud BARAN, 2012).

No mesmo período (1992), a Agenda 21⁷ 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 (BARAN & LEGEY, 2010).

A CARB (*California Air Resources Board*), órgão do governo responsável por monitorar a qualidade do ar no estado da Califórnia, definiu uma cota de vendas de veículos com emissão zero (ou ZEV – *zero-emmission vehicle*) de 2% em 1998, 5% em 2001 e 10% em 2003. Os estados de Nova York e Massachusetts adotaram medidas semelhantes logo em seguida.

Todavia, este movimento não foi suficiente para manter a presença desses veículos no longo prazo e muitos modelos saíram de circulação após poucos anos do seu lançamento.

BEDSWORTH e TAYLOR (2007) apud SIMON (2013) consideram que a baixa autonomia das baterias associados aos preços mais baixos de petróleo

⁷ Agenda 21 - Foi resultado da conferência Rio-92, em que se discutiu pela primeira vez o aquecimento global e suas consequências. Instrumento de planejamento para a construção de sociedades sustentáveis, em diferentes bases geográficas, que concilia métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica. Fonte: MMA, 2016.

registrados na história foram os principais motivos para a descontinuidade desses modelos.

Para BARAN (2012), eram muitas as forças contrárias à iniciativa da CARB: outras montadoras, a AAMA (*American Automobile Manufacturers Association*) alegavam que o veículo elétrico sairia caro demais para os consumidores e que o chumbo, presente nas baterias, não traria benefícios ambientais à substituição da gasolina.

As companhias de petróleo (como Exxon, Shell e Texaco) contribuíam para campanhas de políticos contrários aos veículos elétricos e financiavam propagandas contrárias aos veículos elétricos (BARAN, 2012). Com resultado, em 1996 a CARB capitulou e postergou seu cronograma.

2.6.2. Veículos elétricos VS. Veículos convencionais

Algumas comparações podem ser realizadas entre veículos elétricos e veículos convencionais, a tabela a seguir compila dos autores RAJA & KAY (2005); ABVE (2016)

Quadro 2.3 - Vantagens e desvantagens dos veículos elétrico e convencionais. Fonte: Adaptado de RAJA & KAY (2005).

	Veículo elétrico	Veículos convencionais
Vantagem	Maior eficiência energética	Autonomia elevada
	Frenagens regenerativas em alguns modelos	Capacidade de manter-se em altas velocidades mesmo em ambientes íngremes.
	Não emitem poluentes atmosféricos	Facilidade e rapidez no abastecimento
	Torque elevado em baixa rotação	Boa infraestrutura de abastecimento
	Menos manutenção	
	Inexistência da troca de marcha (conforto)	
	Consomem energia somente em movimento	
	Alta durabilidade dos pneus e transmissões no caso de não haver embreagens e caixa de marcha	
	Podem ser utilizados em ambientes fechados (fábricas, depósitos e hospitais)	

Desvantagens	Baterias pesada que diminuem a carga útil	Aquecimento e desgaste excessivo do motor, caixa de marcha, embreagem, freios provocados pelas frequentes partidas, aumentando o consumo de combustível e emissão de poluentes
	Limitações de aplicação devido a baixa autonomia das baterias	Manutenção mais rigorosa
	Preços elevados devido aos métodos de fabricação ainda não convencionais	Ruído
	Dificuldades de recargas devido a inexistência de infraestruturas para esse serviço.	Motor de combustão interna tem vida útil inferior
	Tempo de recarga	Desgaste e cansasso do motorista devido a intensa troca de marchas
	Custo de aquisição devido a altos impostos	Não pode ser utilizados em ambientes fechados, devido a emissão de poluentes nocivos a saúde

Vale ressaltar o estudo da CPFL Energia, onde mostra que o valor do quilômetro rodado de um carro a combustão, considerando o uso do etanol, é de aproximadamente R\$ 0,19, já no veículo movido à eletricidade, este valor é R\$ 0,05, ou seja, quatro vezes menor (ABVE, 2016).

Como se percebe existem diversos pontos positivos e negativos entre os veículos elétricos e convencionais, contudo o mercado de veículos elétricos vem crescendo no Brasil e no mundo, uma das alternativas para quem não quer ter um elétrico puro são os veículos híbridos, uma transição de valores e conceitos.

2.7. Modos de Recarga dos veículos elétricos

BARROS (2013) cita que juntamente com as baterias, os carregadores tem papel fundamental no desenvolvimento dos veículos elétricos. O carregador deve ser eficiente, confiável, com alta potência, baixo custo e pequeno volume e peso, principalmente naqueles que são instalados nos próprios veículos.

Basicamente há duas formas de recarregar os VE, em veículos híbridos não plug-in, ou seja, aqueles que em nenhum momento se conectam a rede elétrica, o próprio motor a combustão é encarregado de recarregar as baterias. Já os veículos

plug-in, necessitam se conectar à rede elétrica para recarregarem, e esses por sua vez, possuem geralmente três modos de recarga: um lento, um normal e um expresso (YILMAZ; KREIN, 2013).

Os carregadores possuem diferentes níveis de classificação que envolvem a sua potência, tempo de recarga, local, custo, equipamento e efeitos sobre a rede.

A seguir são descritas as características de cada nível, de acordo com YILMAZ e KREIN (2013).

2.7.1. Nível 1

Este nível é relacionado ao recarregamento mais lento, se valendo de entradas de energia monofásica com valores de 127V / 15A com aterramento, especificação encontrada na maioria das tomadas de uso comum hoje instaladas na maioria das residências, e portanto nenhuma mudança estrutural é exigida para a conexão de um carregador desse nível.

Neste nível já ocorre a aparição do conector padrão da norma SAE J1772, o impacto de um carregador desse nível na rede é mínimo, já que a energia demanda se dá por um longo período de tempo com uma baixa potência. (YILMAZ; KREIN, 2013).

2.7.2. Nível 2

Este é o nível de carregamento considerado principal, é um intermediário entre o carregamento mais lento e o mais rápido. Nesse nível a tomada de energia é feita em até 240V / 80A com aterramento, porém diferentemente do Nível 1, uma infraestrutura dedicada para a função é necessária, não podendo ser utilizada uma tomada comum. Como o carregamento exige mais potência por menos tempo, o impacto na rede é maior, com uma potência de quase 20 kW, picos de demanda podem surgir durante os carregamentos simultâneos dos veículos.(YILMAZ; KREIN, 2013).

2.7.3. Nível 3

Neste nível a utilização da recarga pode tomar um modo mais comercial, se reservando a locais onde uma recarga rápida (com menos de 1 hora) seja atrativa, como estabelecimentos comerciais ou em postos de recarga (similares aos postos de combustíveis).

Este sistema trabalha normalmente com tensões que variam de 400V a 480V num sistema trifásico e requer um carregador externo ao veículo com conversão regulada de corrente alternada para contínua, já que a tensão fornecida para o veículo será em corrente contínua.

No **Quadro 2.4** pode-se constatar as características de tensão e corrente necessários para cada tipo de recarga, assim como o tempo de carregamento, muito importante quando se pretende comercializar os carregamentos de VE.

Quadro 2.4 - Tipos de Recarga. Fonte: Calçado (2015).

Método	Corrente Máxima (A)	Tensão nominal de alimentação (V)	Média de tempo para recarga
CA Modo 1 (Residencial)	16 A	110 a 127 V ou 220 a 240 V	8 a 10 horas
CA Modo 2 (Normal)	32 A	220 a 240 V	5 a 8 horas
CC Modo 3 (Rápida)	até 400 A	400 a 600 V	1/2 hora

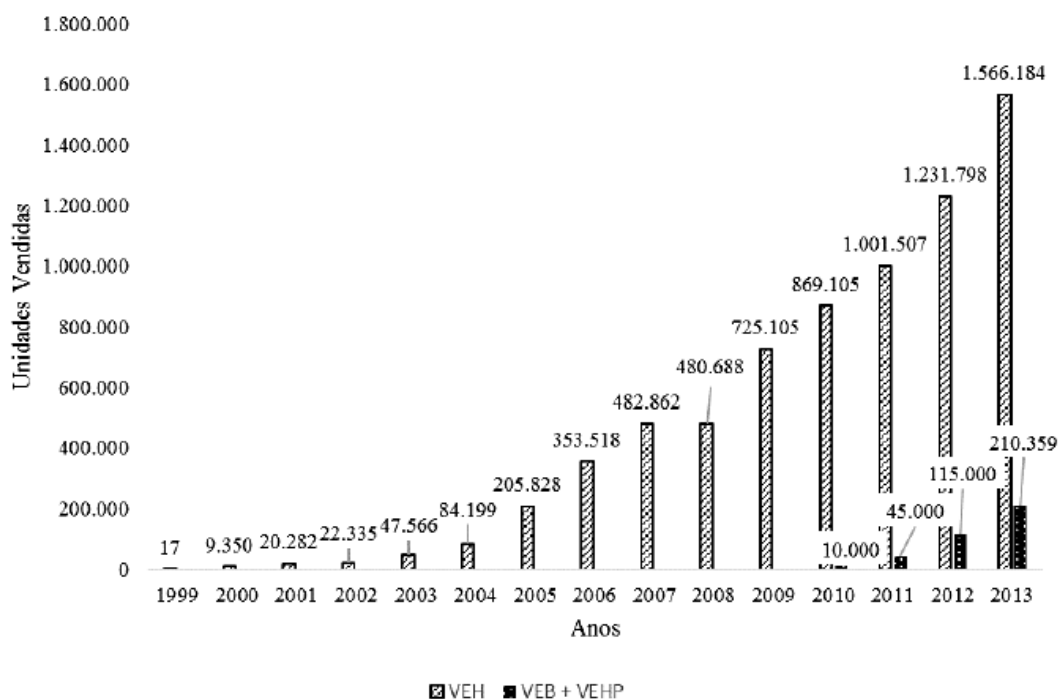
Nota-se que o modo de recarga 3, é o mais rápido chegando a recarregar 80% de uma bateria em até 30 minutos, contudo deve possuir tensão a partir de 400V, fator este limitante para algumas aplicações.

2.7.4. Perspectivas atuais

Nos últimos anos, com a crescente evolução no preço do petróleo e crescente emissão de poluentes atmosféricos originários dos veículos automotores, reacende novamente a busca por alternativas para substituição dos veículos convencionais, ganhando importância social e política em grande escala (SIMON, 2013).

Comprovando o aumento da aceitação dos consumidores por veículos mais sustentáveis, o **Gráfico 2.4** retrata as vendas de veículos elétricos a bateria (VEB), híbridos e *plug-in* entre os anos de 1999 e 2013 no mercado mundial, com isso pretende-se destacar a evolução expressiva pela qual tem passado o segmento dos veículos elétricos nos últimos anos.

Gráfico 2.4- Evolução global das vendas de veículos elétricos a bateria, híbridos e plug-in.
 Fonte: Elaborado a partir de U.S.Department of Energy (2014), ICCT (2014), IEA (2013), Hybridcars.com (2015), Evobsession (2015) e EDTA (2015) apud BARASSA, 2015.



BARASSA (2015) analisa que as vendas dos veículos elétricos aumentaram gradualmente durante o período observado, com exceção do ano 2008 devido à crise econômica global que acabou afetando o setor automobilístico.

Contudo verifica-se que este crescimento não foi proporcional entre os modelos de veículos. Esta diferença segundo Freyssenet (2011) apud Barassa (2015) se deve a indústria automobilística apostar no cenário de progressão, isto é, mudança gradual entre as formas de propulsão na indústria automobilística, bem como das fontes energéticas utilizadas.

HybridCars (2014) apud Barassa (2015) afirma que até o ano de 2006 as vendas dos veículos elétricos híbridos se concentravam em solo norte americano, e após 2006 em solo asiático e europeu.

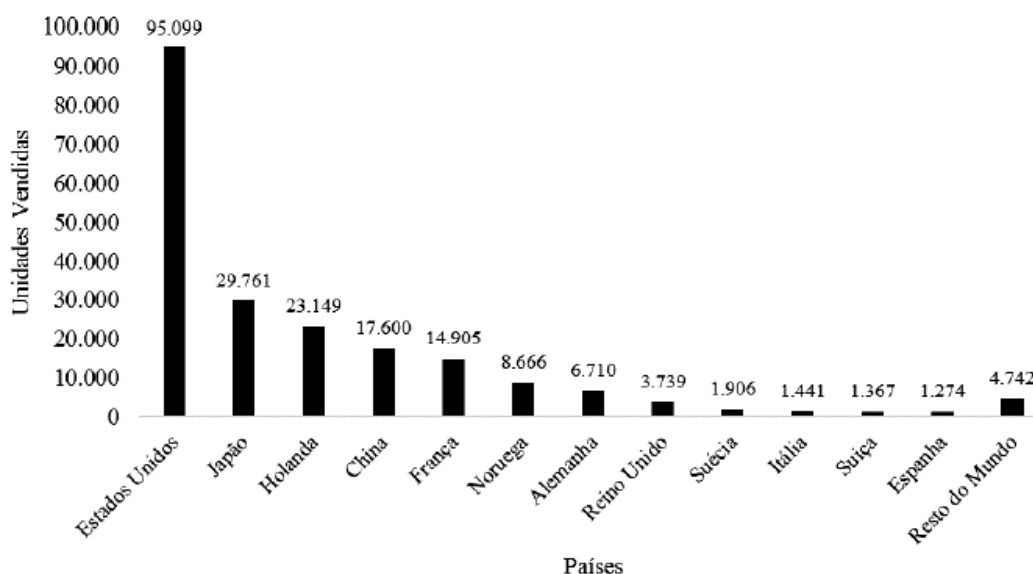
Já a partir de 2010, se verificou uma nova trajetória nas vendas de veículos elétricos no mundo, relacionada ao crescimento das vendas de veículos elétrico do tipo a bateria (VEB) e *plug-in*.

Vale destacar o ano de 2013, onde mais de 1 milhão e meio de veículos híbridos (VEH) foram vendidos e mais de 200 mil unidades de veículos elétricos a bateria (VEB) e *plug-in* (VEHP) foram para as ruas.

✓ **Mercado Norte Americano e Japonês em destaque**

BARASSA (2015) identifica no **Gráfico 2.5** os maiores mercados no ano de 2013 para veículos elétricos a bateria, híbridos e *plug-in* e salienta que países que comercializaram menos de mil unidades entraram na categoria de “resto do mundo”.

Gráfico 2.5 - Vendas de veículos elétricos a bateria e híbridos *plug-in* por países em 2013. Fonte: Elaboração Barassa a partir de Evobsession (2015).



BARASSA (2015) destaca em primeiro lugar as vendas nos EUA, que corresponderam a aproximadamente a 45% do total comercializado quando comparado aos híbridos (VEH) e atribui este fato às políticas de promoção de veículos elétricos implementadas no referido país desde a década de 1990.

Em segundo lugar, o Japão que vem desde a década de 1970 despendendo esforços em P&D de veículos elétricos. Diferentemente dos Estados Unidos, o Japão focou mais esforços nas políticas de oferta, isto é, políticas que objetivaram o desenvolvimento da tecnologia dos veículos elétricos, e seus mais distintos componentes.

Entre os principais incentivos adotados pelos norte-americanos, pode-se citar a *Energy Policy Act*, programa iniciado em 2005, que incentivava a compra do veículo elétrico híbrido (VEH) e ocorreu por meio do fornecimento de crédito não-reembolsável aos compradores deste tipo de veículo.

BARAN (2013) destaca o ano de 2007 com a promulgação do *Energy Independence and Security Act* que destinaram milhões de dólares entre 2008 e 2013, à P&D de sistemas de transporte elétrico, formação de capital humano especializado em VE e na tecnologia VHEP⁸ e 25 bilhões de dólares aos fabricantes

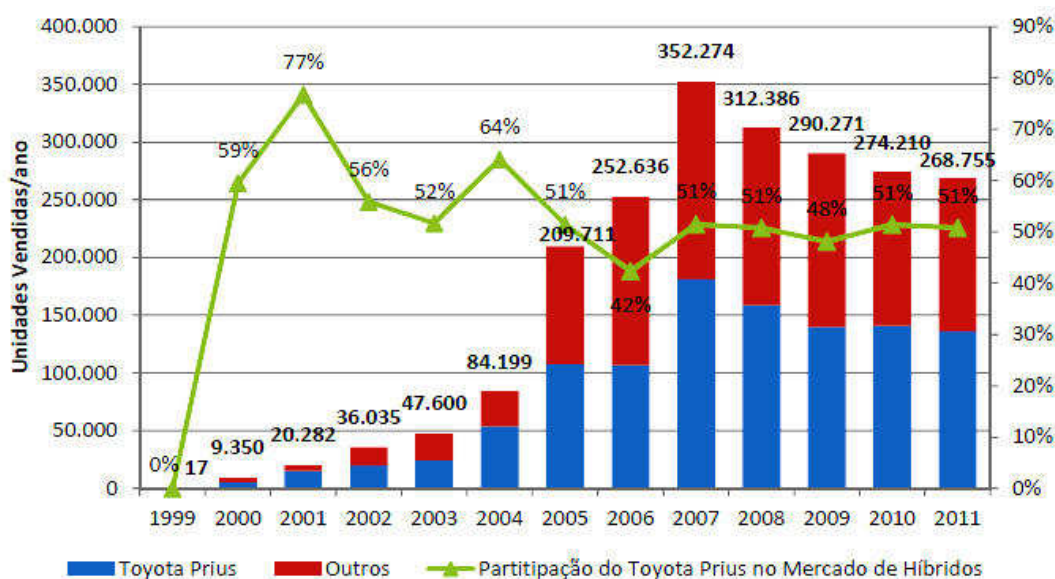
⁸ VHEP - Veículos Elétricos Híbridos Plug-in.

de automóveis e fornecedores que produzem veículos híbridos e seus componentes até o ano de 2020.

Em resposta aos incentivos governamentais e a conscientização da população, a quantidade de veículos híbridos (VEH) cresceu significativamente, o modelo Prius da Toyota a quantidade vendida entre 1999 (ano de lançamento) e 2011 foi de 1.091.564 unidades. Apenas no ano de 2011 foram vendidas 268.755 unidades conforme revela o **Gráfico 2.6**.

Desde o lançamento do híbrido da Honda Insight, em 1999 foram comercializados 38 modelos distintos, o que demonstra o interesse do setor automobilístico em atender as expectativas do mercado.

Gráfico 2.6 - Série Histórica das Vendas de VEH no Mercado Norte-Americano (1999-2011).
Fonte: U. S. Department of Energy Administration (2012) apud BARAN, 2013.



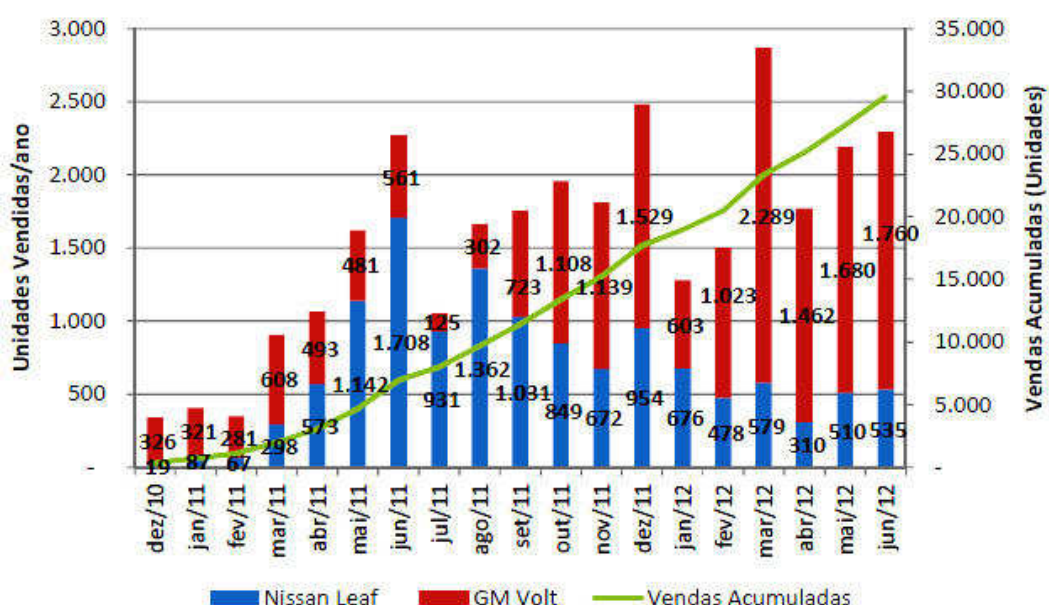
BARAN (2013) cita ainda que após o Prius, os lançamentos mais marcantes do mercado norte-americano foram o GM Volt (VEH) e o Nissan Leaf (VEB).

O lançamento do Volt foi anunciado pela General Motors em 2007, com carga plena, percorre 40 milhas (ou 64 km), quando descarregado, entra em ação um motor a gasolina que gera eletricidade para alimentar o motor elétrico, tal qual um híbrido em série convencional.

O lançamento do Leaf foi anunciado pela Nissan em 2 de agosto de 2009. Trata-se de um carro elétrico a bateria (VEB) que pode percorrer, de acordo com o fabricante, 100 milhas (ou 160 km) a cada recarga.

O **Gráfico 2.7** mostra as unidades vendidas dos modelos Volt e Leaf durante dezembro de 2010 e junho de 2012, as vendas acumuladas ultrapassam as 30.000 unidades.

Gráfico 2.7 - Séries Históricas das Vendas do Nissan Leaf (VEB) e do GM Volt (VEH) no Mercado Norte-Americano. Fonte: GCBC (2012) apud BARAN, 2013.



Contudo, o sucesso de vendas destes modelos (híbrido e elétrico) representa na verdade uma pequena parcela quando comparados aos 12 milhões automóveis vendidos no ano de 2011 (BARAN, 2013).

Seja híbrido ou elétrico puro, o fato é que existe uma aceitação dos consumidores quanto a estas tecnologias e é comprovada pelo sucesso das vendas e pelas filas de espera de alguns meses para adquiri-los.

BARAN (2013), afirma que os híbridos representam um passo intermediário da evolução entre veículos convencionais e elétricos, e que mesmo não sendo uma tecnologia recente, representam uma novidade para a geração atual de consumidores e, portanto deve ser tratada como um produto novo a ser inserido no mercado.

✓ Mercado Brasileiro

A indústria automobilística brasileira é um setor estratégico e de suma importância para a geração de emprego e renda interna. No ano de 2013 foram produzidos 3.712.736 unidades de veículos (automóveis, veículos leves, caminhões e ônibus), seguido de 3.146.386 em 2014 e 2.429.421 em 2015, ficando o Brasil em 2013 na 7ª posição entre os países que mais produziram autoveículos e na 8ª posição em 2014. O faturamento líquido do setor foi de U\$ 98.881 bilhões em 2013 e U\$ 84.901 bilhões em 2014, o que corresponde a 23% e 20,4 % do PIB brasileiro respectivamente. (ANFAVEA, 2015; ANFAVEA, 2016).

A redução no desempenho de produção registrado em 2014 ocorreu, na avaliação da Anfavea (2015), por dois fatores principais: queda no mercado interno – afetado pelas oscilações na oferta de crédito – e redução das exportações, principalmente pela crise econômica da Argentina, a maior importadora de nossos produtos, com mais de 70% dos negócios.

Da mesma forma que acontece nos EUA, os veículos elétricos no Brasil a bateria (VEB), híbridos (VEH) e os *plug-in* (VEHP) ainda são uma irrisória proporção deste cenário.

BARAN e LEGY (2010) afirmam a necessidade de se adotar no curto prazo, uma política de incentivo à sua utilização, pois o carro elétrico pode tornar-se uma alternativa importante, pois traria diversos benefícios estratégicos e ambientais efetivos no longo prazo.

Na análise de BARASSA (2015) os atores envolvidos na promoção do veículo elétrico brasileiro são o Estado, Empresas e Institutos de Ciência e Tecnologia.

NEMET (2009) apud BARASSA (2015) separa sua análise de políticas em duas: (1) Políticas de Demanda (*Demand-pull*) que são as ações que buscam desenvolver o mercado de uma nova tecnologia e protegê-la frente à concorrência e (2) Políticas de oferta (*Technology-push*), que são as ações que objetivam reduzir o custo da inovação tecnológica e estimulam a P&D de novas tecnologias.

No **Quadro 2.5** BARASSA (2015) identifica no cenário brasileiro quais são os principais incentivos e ações dos atores governamentais relevantes para o veículo elétrico, as políticas públicas e instrumentos praticados no Brasil, destacadas pelas políticas no âmbito industrial, fiscal e marcos regulatório.

Quadro 2.5 - Classificação das políticas e instrumentos encontrados no Brasil (2014) Fonte: Adaptado de BARASSA (2014) Apud BARASSA (2015).

Políticas de <i>Demand-pull</i>	Políticas de <i>Technology-push</i>
Desconto em taxas e impostos na aquisição de novas tecnologias pelos consumidores;	Subsídio governamental a P&D;
<u>Esfera Federal</u>	<u>Ações do MCTI:</u>
Inovar Auto ⁹ : contempla a esfera dos VEH e propõe a redução da alíquota do imposto de importação (II);	CNPq ¹⁰ : formação de recursos humanos e pessoal especializado.
<u>Esfera Estadual</u>	FINEP ¹¹ : aporte de recursos para estudos e projetos;
Isonção dos Impostos Privados sobre Veículos Automotores IPVA nos estados do CE, MA, PE, PI, SE, RN e RS e abatimento no RJ, SP e MS.	<u>Ações do BNDES¹² nas quais se enquadra o veículo elétrico:</u>
	Linha de Inovação Tecnológica do BNDES, que conta com o Programa de Sustentação do Investimento (PSI);
	Linha de Capital Inovador;
	Programa BNDES Proengenharia e a Linha de Inovação Produção.

2.8. Conclusão - Veículos Elétricos

O veículo elétrico é colocado como uma das soluções possíveis para o problema da emissão de poluentes dos veículos, dado que o veículo elétrico puro não emite qualquer poluente nocivo à atmosfera (BARASSA, 2015).

⁹ Inovar auto - Medida adotada pelo governo federal brasileiro a partir de 2014 para veículos elétricos híbridos (sem conexão externa) que estimula e se dá pela concessão de benefícios e reduções em relação ao Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) para as empresas do segmento automobilístico que dispensarem esforços em prol da P&D dentro do Brasil.

¹⁰ CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

¹¹ FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos.

¹² BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social.

Com base nas barreiras e desafios que veículo elétrico possui, seja no âmbito de sua consolidação no mercado ou no aperfeiçoamento de sua tecnologia, é possível afirmar que o desenvolvimento do veículo elétrico não depende somente dos esforços das empresas do setor automobilístico, mas de um conjunto de organizações que transcendem a esfera corporativa, além do importante papel das instituições e do Estado (BARASSA, 2015).

No caso dos EUA os carros híbridos, como o Volt da GM, vêm tendo boa aceitação no mercado, e podem servir como uma “ponte” entre a gasolina e a eletricidade como fonte de energia no setor de transportes (BARAN e LEGHEY, 2010).

Com o esperado aumento do número de automóveis elétricos no Brasil certamente demandará uma quantidade crescente de energia nos próximos anos, o que torna o uso da eletricidade no setor de transportes uma interessante alternativa aos combustíveis utilizados atualmente, tanto sob o ponto de vista estratégico quanto ambiental (BARAN e LEGHEY, 2010).

Pelo lado estratégico, quanto a maior diversificação de fontes energéticas para o setor de transportes, menor será a dependência dos combustíveis fósseis, gerando uma maior segurança e previsibilidade no fornecimento.

BARAN e LEGHEY (2010) destacam que pelo lado ambiental, o uso de energia elétrica é importante, já que no Brasil é gerada quase que totalmente a partir de fontes renováveis [em torno de 74,6%, de acordo com EPE (2015)], o que reduz o uso do motor de combustão, uma importante fonte emissora de gases de efeito estufa. Além do mais, contribui para aumentar a eficiência energética, já que o motor elétrico tem eficiência da ordem de 90%, contra 40% do motor de combustão.

CASTRO & FERREIRA (2015), destacam o setor de serviços, como o campo mais promissor, pois haverá a necessidade de suprir a demanda energética dos veículos elétricos, onde a transformação parcial dos atuais postos de combustíveis em eletropostos é uma das alternativas, na qual as bombas de combustíveis coexistiriam com modelos alternativos de alimentação energética.

Das barreiras BARASSA (2015) cita que um dos principais fatores que dificultam o desenvolvimento de mercado para os veículos elétricos no Brasil refere-

se à elevada carga tributária que incide sobre os veículos elétricos comercializados podendo passar de 80% em relação ao valor do veículo.

Contudo a história tem mostrado que não são poucas as forças contrárias à idéia do carro elétrico. Há barreiras institucionais e políticas, além das mercadológicas, a serem vencidas para que o carro elétrico se consolide no mercado (BARAN e LEGEY, 2010).

3. ESTUDO DE CASO

Este trabalho se baseia em um cenário de crescente aceitação dos veículos elétricos pelos consumidores, fabricantes e outros players do mercado, gerando oportunidade para o Brasil e o mundo suprir esta futura demanda de energia elétrica com sistemas fotovoltaicos, onde unifica benefícios energéticos, ambientais e sociais.

Nos próximos itens, serão desenvolvidas as etapas para se alcançar o objetivo principal deste trabalho.

3.1. Escolha do local

A escolha do local se baseou em uma área de intensa circulação de veículos problemas com poluição atmosférica e possíveis consumidores de veículos elétricos.

A área escolhida é um posto de combustível localizado na esquina da Avenida Henrique Schaumann com a Rua Teodoro Sampaio na cidade de São Paulo/SP conforme revela a **Figura 3.1**.



Figura 3.1 - Região do projeto.

3.2. Características da área e entorno

Conforme a **Figura 3.2**, é possível verificar em vermelho, que a área pretendida para instalação do sistema fotovoltaico isolado (SFI) possui aproximadamente 487 m^2 , está localizada entre as coordenadas geográficas do polígono (Ponto 01 - $23^\circ 33'35.01'' \text{ S}$ e $46^\circ 40'54.01'' \text{ O}$; Ponto 02 - $23^\circ 33'34.64'' \text{ S}$ e $46^\circ 40'53.36'' \text{ O}$; Ponto 03 - $23^\circ 33'35.13'' \text{ S}$ e $46^\circ 40'53.00'' \text{ O}$; Ponto 04 - $23^\circ 33'35.34'' \text{ S}$ e $46^\circ 40'53.04'' \text{ O}$ e Ponto 05 - $23^\circ 33'35.63'' \text{ S}$ e $46^\circ 40'53.54'' \text{ O}$) e o norte geográfico possui o mesmo eixo dos pontos 02 e 05.

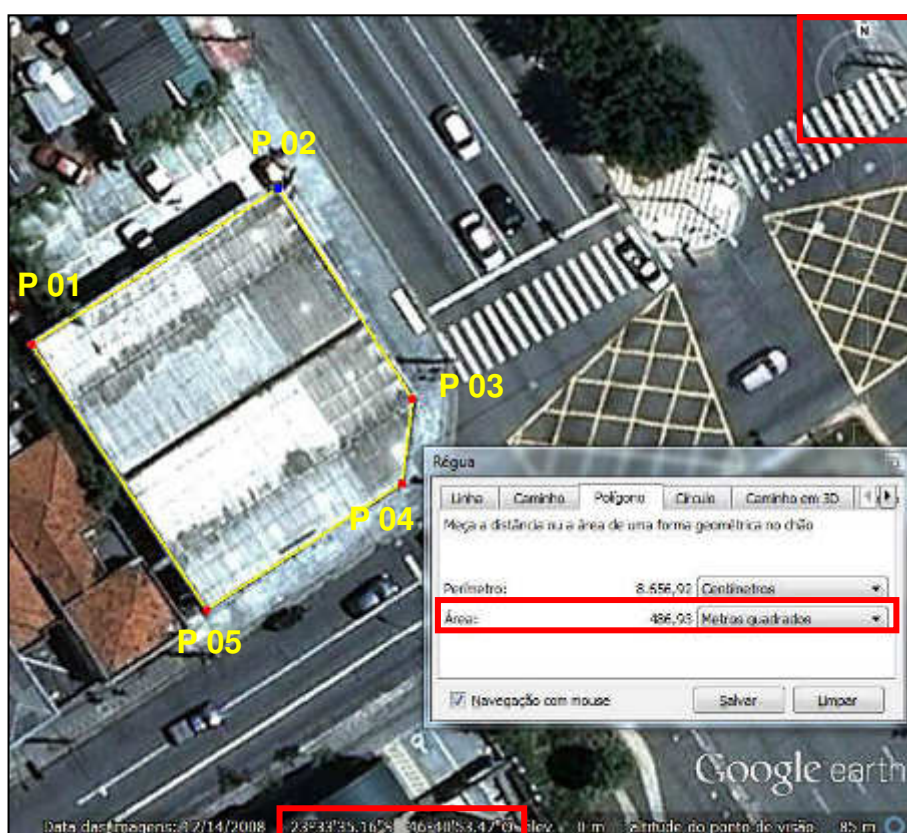


Figura 3.2 - Área do projeto. Fonte: Adaptado de Google Earth, 2016.

Adotado o raio de 100m como entorno próximo para análise, foi possível observar (**Figura 3.3**), que a região é densamente urbanizada (muitas casas e prédios residenciais), e se trata de uma área privilegiada por ser esquina; possui presença de comércios nos terrenos contíguos (até 2 andares). Vale destacar a presença de prédios residenciais (em vermelho).

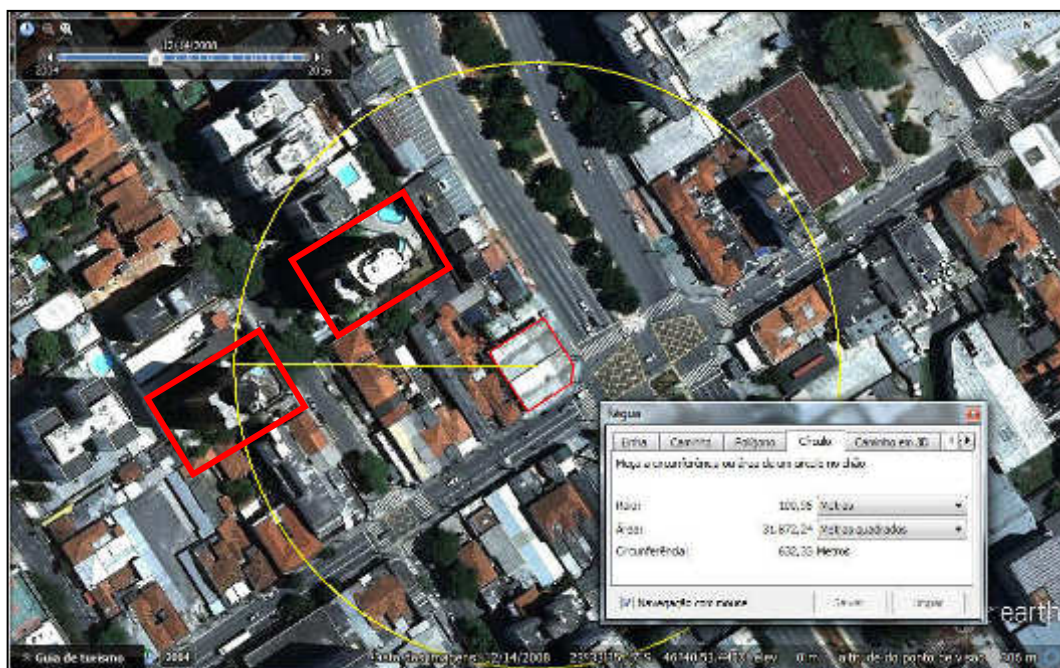


Figura 3.3 – Entorno (raio de 100 metros), com prédios residenciais. Fonte: Google Earth, 2016.

3.3. Checagens de campo

As checagens de campo foram realizadas durante os dias 01 e 02 de Abril de 2016, no período comercial.

Conforme revelam as **Figura 3.4** a Figura 3.9, foi possível confirmar a existência de elementos pré-identificados, como a existência dos prédios residenciais próximos, o grande fluxo de veículos e pessoas que passam diariamente pelo local, altura da cobertura do posto de combustível e existência de espaço suficiente para a implantação de eletroponto, isto é, pontos de recarga dos veículos elétricos.



Figura 3.4 - Vista do posto de combustível.
Fonte: Próprio autor.



Figura 3.5 - Parte interna e altura da cobertura.
Fonte: Próprio autor



Figura 3.6 - Presença de conveniência e grande quantidade de veículos. Fonte: Próprio autor.



Figura 3.7 - Constatação dos prédios residenciais próximos. Fonte: Próprio autor.



Figura 3.8 - Presença de comércio ao lado.
Fonte: Próprio autor.



Figura 3.9 - Espaço interno. Fonte: Próprio autor.

3.4. Estudo de sombreamento

Para efetuar as simulações de sombreamento foi necessário realizar as checagens de campo. Através de análise visual foram estimadas as alturas dos prédios próximos identificados e confrontadas com as medições feitas no Software Google Earth, para assim ser definida a altura e rodar as simulações.

Pela análise visual realizada em campo, o prédio A com 8 andares duplex considerando 5.0m cada andar ficou com 40.0m e o prédio B também duplex com 12 andares com 60.0m. Pelo Google Earth, as alturas constatadas para os prédios A e B foram respectivamente de 53.8m e 64.0m.

A **Figura 3.10** a seguir mostra os registros fotográficos dos prédios A e B, e a medição realizada com o Google Earth.

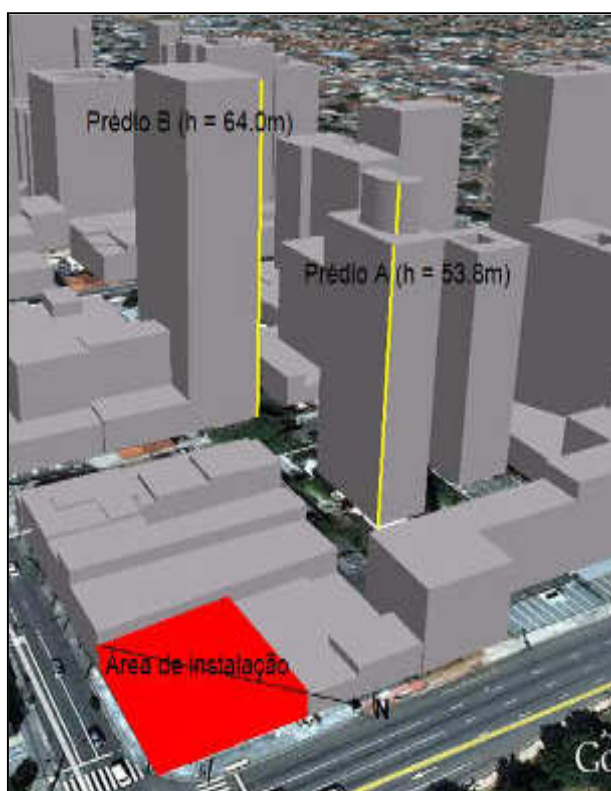




Figura 3.10 - Registro fotográfico dos prédios do entorno. Fonte: Próprio autor.

O **Quadro 3.1**, mostra as alturas encontradas e a adotada para a simulação de sombreamento.

Quadro 3.1 - Alturas levantadas dos prédios próximos. Fonte: próprio autor.

	Medições das alturas (m)		
	Google Earth	Levantamento Visual	Altura adotada
Prédio A	53.8	40.0	54.0
Prédio B	64.0	60.0	64.0

De maneira conservadora se adotou as maiores alturas observadas, ou seja, prédio A 54.0m e prédio B 64.0m.

✓ Simulação de sombreamento

Para a execução das simulações de sombreamento foi utilizado o software Google Sketchup, onde primeiramente, a área foi georreferenciada, definido o norte geográfico e ajustada à escala cartográfica. Posteriormente, se modelou o posto de combustível e prédios do entorno, levando-se em consideração as alturas dos mesmos.

Para as simulações, foi considerado o ano de 2015 nos equinócios e solstícios, segundo FILHO & SARAIVA nas datas 20 de março, 21 de junho, 23 de setembro e 22 de dezembro. Os horários estipulados foram 9h00 e 15h00, pois são geralmente utilizados nos estudos de sombreamento para conforto térmico.

A **Figura 3.11**, exemplifica a simulação para o dia 23 de setembro de 2015, às 15 horas. As simulações completas podem ser visualizadas no **Anexo III**.

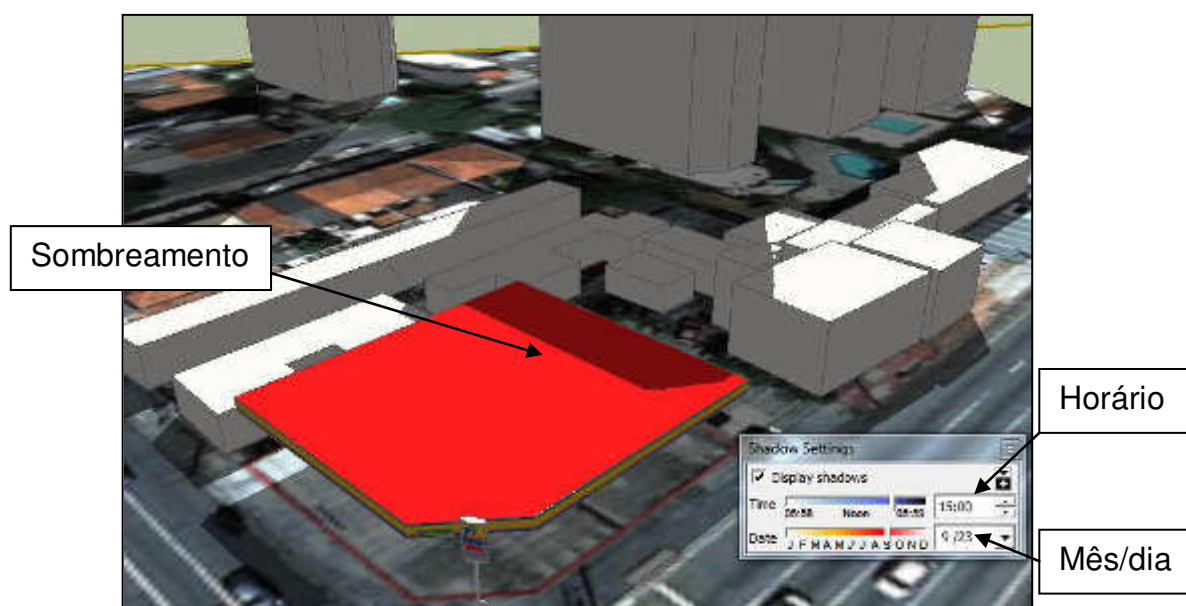


Figura 3.11 - Sombreamento no dia 23/09/2015 as 15 horas. Fonte: Próprio autor.

Considerando os valores adotados de alturas dos prédios residenciais, constata-se a existência de sombreamento sobre a cobertura do posto, porém este sombreamento está limitado ao período da tarde, após as 14h30, quando a incidência solar começa a diminuir.

Dessa forma, o aproveitamento do potencial solar pode ser melhor explorado durante todo o ano, entre período matutino e as 14h30. Vale ressaltar que entre o período de setembro a março não há o sombreamento da cobertura.

Feitas essas exposições, considera-se a cobertura do posto de combustível apta a ser integralmente ocupada pelas instalações fotovoltaicas.

3.5. Levantamento da Irradiação Solar no Plano do Módulo Fotovoltaico

Para auxiliar este levantamento foi utilizado o software SunData 2.0 (CRESESB), que destina-se ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território brasileiro, este programa utiliza no banco de dados: Valores Medios de Irradiacion Solar Sobre Suelo Horizontal do Centro de Estudos de la Energia Solar (CENSOLAR, 1993), Atlas Solarimétrico do Brasil (2000), Atlas Brasileiro de Energia Solar (2006), Atlas Solarimétrico de Minas Gerais (2012) e Energia Solar Paulista: Levantamento do Potencial (2013).

Inserindo as coordenadas geográficas da área de estudo (23°33'34"S e 46°40'52 O), o software disponibiliza como saída os dados de irradiação solar diária média mensal (kWh/m².dia) para todos os meses do ano, nos planos, horizontal e ângulo igual a latitude, maior média anual e maior mínimo mensal conforme mostra o **Quadro 3.2**.

Quadro 3.2 – Resultados de Irradiação solar Diária média Mensal para a região São Paulo. Fonte: CRESESB (<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>).

Estação: São Paulo
Município: São Paulo, SP - BRA
Latitude: 23,5° S
Longitude: 46,637421° O
Distância do ponto de ref.: (23,569722° S; 46,681389° O): 8,0 km

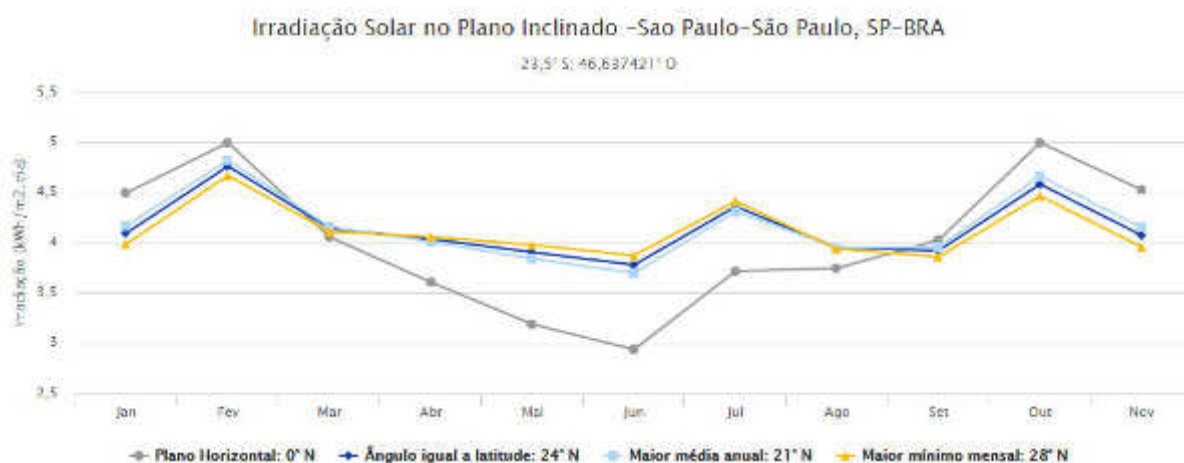
#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal (kWh/m ² .dia)												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
✓	Plano Horizontal	0° N	4,50	5,00	4,06	3,61	3,19	2,94	3,22	3,72	3,75	4,03	5,00	4,53	3,98	2,08
✓	Ângulo igual a latitude	24° N	4,10	4,77	4,15	4,04	3,91	3,78	4,06	4,36	3,95	3,92	4,55	4,08	4,14	,98
✓	Maior média anual	21° N	4,17	4,83	4,16	4,01	3,84	3,70	4,01	4,31	3,95	3,95	4,67	4,16	4,15	1,12
✓	Maior mínimo mensal	28° N	3,99	4,67	4,11	4,00	3,98	3,88	4,18	4,42	3,94	3,85	4,47	3,95	4,13	,81

Destacado em vermelho, está o ângulo igual à latitude do projeto, que será utilizado nos cálculos mais adiante.

Pelos valores de radiação solar diária média mensal percebe-se que a região possui um bom índice de radiação solar e também não há grande alteração na média com a variação dos ângulos mencionados. Contudo, sabe-se que outras regiões do Brasil apresentam números mais atraentes para a implantação de sistemas fotovoltaicos, como é o caso da cidade de Juazeiro do Norte no Ceará com média anual de 5.53 kWh/m².dia, Belém do Para 5.06 kWh/m².dia e Porto alegre com média anual de 4.74 kWh/m².dia (CRESESB, 2016).

O programa SunData, também disponibiliza na forma do **Gráfico 3.1** os valores de irradiação nos planos inclinados e horizontal para os 12 meses do ano.

Gráfico 3.1 - Irradiação Solar no plano inclinado para a cidade de São Paulo. Fonte: CRESESB (<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>).



O gráfico revela, que no plano horizontal os meses entre outubro e fevereiro apresentam as maiores médias (valor máximo atingido de 5 kWh/m².dia), contudo também apresenta as piores médias entre os meses de março e meados de agosto.

Já nos planos inclinados as médias estão mais lineares, não tendo grandes variações durante o ano.

Como geralmente se deseja a maior geração anual de energia, é utilizado o valor da latitude local como ângulo de inclinação do módulo fotovoltaico, pois este ângulo apresenta geralmente a maior média diária anual de irradiação solar CRESESB (2016).

Com isso o ângulo adotado para o presente projeto é o ângulo igual à latitude 23.5° e direcionado ao norte geográfico.

3.6. Seleção dos equipamentos para o estudo de caso

A escolha dos equipamentos é uma etapa importante, pois se deve levar em consideração não apenas a qualidade do produto, mas também aspectos como: estrutura logística se possui assistência técnica, comentários dos clientes atendidos, pós-atendimento, entre outros.

Quanto à qualidade dos produtos, o INMETRO¹³ disponibiliza em seu site a relação dos produtos etiquetados, dessa forma o consumidor encontrará de forma mais clara as informações de eficiência energética e suas principais características, auxiliando-o a tomar uma decisão de compra mais consciente.

Todos os equipamentos escolhidos neste trabalho passaram por uma busca no site do INMETRO, como são o caso do módulo fotovoltaico que possui 548 modelos, 207 marcas e 100 empresas registradas e baterias possuindo 25 modelos de apenas duas marcas sendo que uma das marcas possui 24 modelos. Diferentemente o inversor off-grid possui apenas dois modelos e duas marcas etiquetadas.

Embora, existam muitos modelos etiquetados pelo INMETRO, nem todos os produtos disponíveis no mercado são registrados e avaliados, devendo ser ponderados individualmente, como o caso do controlador de carga.

3.6.1. Módulos

O modelo escolhido para o trabalho consta na lista do INMETRO é da marca Canadian Solar e modelo CS6P-250P.

De acordo com o manual do módulo, os dados são fornecidos em dois cenários de referência, (1) Teste sob condições padrão (STC) sobre irradiância de

¹³ INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia.

1000 W / m², espectro AM¹⁴ 1.5 e célula na temperatura de 25°C e (2) Teste sobre condição nominal de operação da célula e temperatura (NOCT), irradiação de 800 W/m², espectro AM 1.5, temperatura ambiente de 20°C e velocidade do vento 1 m/s. As especificações completas do módulo podem ser consultadas no **Anexo I**.

Algumas características como, máxima potência do módulo (P_{máx}), corrente ótima de operação (I_{mp}), voltagem ótima de operação (V_{mp}), voltagem de curto circuito (V_{oc}) e corrente de curto circuito (I_{sc}), podem ser visualizadas para os dois padrões STC e NOCT (**Figura 3.12**).

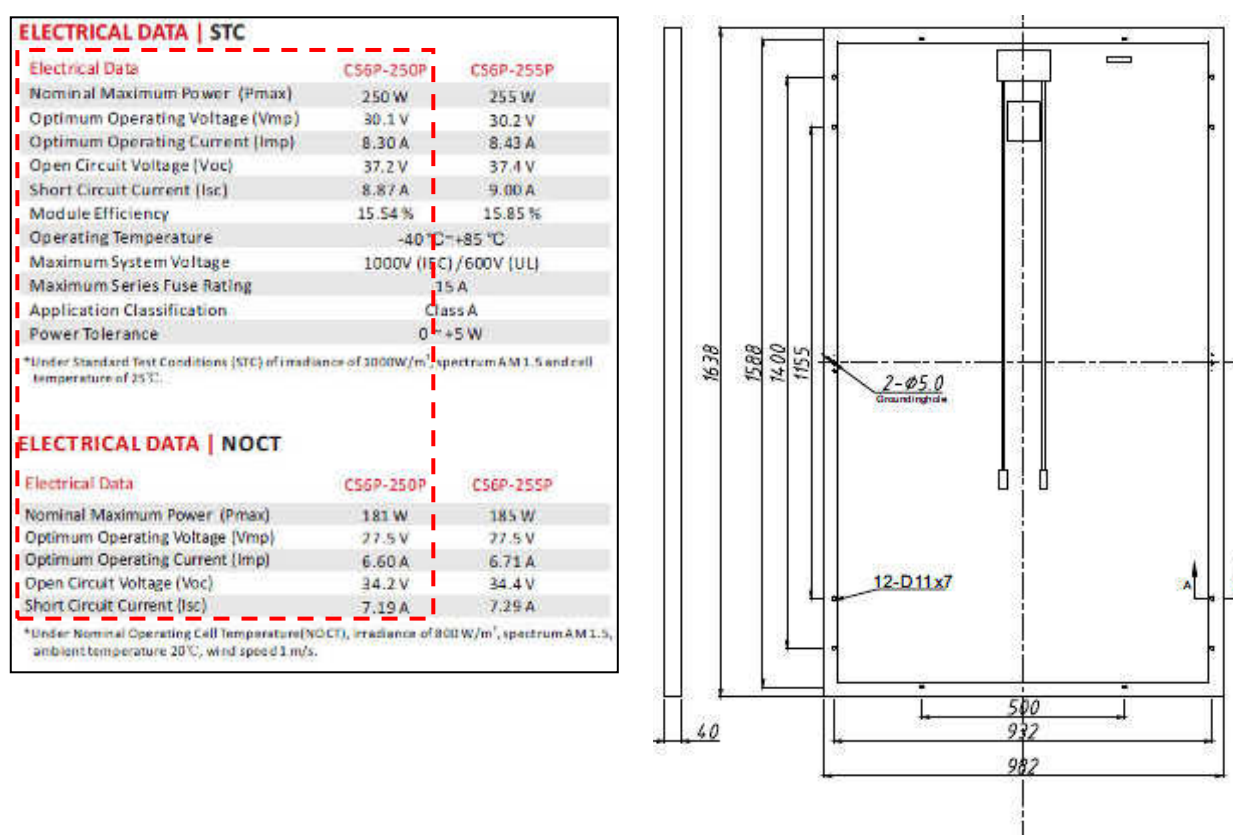


Figura 3.12 – Especificações técnicas do módulo CS6P-250P. Fonte: CanadianSolar.

¹⁴ AM - Massa de Ar, se refere a intensidade e distribuição espectral em função da distância percorrida pela luz do Sol em um determinado percurso através da atmosfera. AM=1 indica o Sol a pino. AM=1,5 indica uma posição do Sol tal que a distância do percurso é 1,5 vezes maior.

3.6.2. Inversor cc-ca

Foi escolhido para a avaliação o inversor da marca italiana ABB, modelo TRIO-50.0-TL-OUTD, modelo robusto possui capacidade de entrada de grandes tensões (1000V) e correntes (110 - 160 A), consequentemente alta potência (51.200W). Sendo compatível, com as características do carregador de carga rápida apresentado a seguir.

As informações completas podem ser consultadas no **Anexo IV**. Algumas características são apresentadas na **Figura 3.13**.



Type code	TRIO-50.0-TL-OUTD
Input side	
Absolute maximum DC input voltage (V_{max})	1000 V
Start up DC input voltage (V_{start})	500...500 V (Default: 500)
Operating DC input voltage range ($V_{min} - V_{max}$)	0.7xV _{max} ... 950 V (min: 250 V)
Rated DC input voltage (V_{in})	610 Vdc
Rated DC input power (P_{in})	51200 W
Number of independent MPPT	1
MPPT input DC voltage range ($V_{min} - V_{max}$) at 1% Maximum DC input current (I_{max}) / for each MPPT (A _{max})	480-800 Vdc 110 A
Maximum input short circuit current	160 A
Number of DC inputs/pairs	16 / (8X version)
DC connection type	Tool Free PV connector WM / MC4 / (8X version)
Output	
AC Grid connection type	Three-phase
Rated AC power (P_{ac} , P_{acmax} - L)	50000 W
Maximum AC output power (P_{acmax} , P_{acmax} - L)	50000 W
Maximum apparent power (S_{ac})	50000 VA
Rated AC grid voltage (V_{ac})	400 V
AC voltage range	320...480 V ¹⁾
Maximum AC output current (I_{acmax})	90 A
Contributory fault current	90 A
Rated output frequency (Hz)	50 Hz / 60 Hz
Output frequency range (f_{min} ... f_{max})	47...53 Hz / 57...63 Hz ²⁾
Nominal power factor and adjustable range	> 0.995, 0...1 with max S_{acmax}
AC connection type	Screw terminal block
Operating performance	
Maximum efficiency (typical)	98.20%

Figura 3.13 - Características do inversor. Fonte: ABB.

3.6.3. Baterias

As baterias comumente utilizadas em sistemas fotovoltaicos (Estacionárias 12V), não foram utilizadas para esta avaliação, pois mostrou-se necessário grandes quantidades para o armazenamento de energia devido as características de baixa voltagem (12V) e capacidade de armazenamento.

Com isso buscou-se na literatura o tipo de baterias que estão sendo usadas em sistemas fotovoltaicos para carregamento de veículos elétricos chegando a conclusão que as baterias de íons de lítio possuem características mais apropriadas, com maior voltagem e capacidade.

PINHO e GALDINO (2014) consideram a tecnologia promissora e que ainda tem muito espaço para novos desenvolvimentos e ainda citam outras vantagens: a alta densidade energética, a ausência de “efeito memória”, a possibilidade de suportar altas taxas de carga e descarga, o baixo tempo de carga e a baixa taxa de auto-descarga.

Para avaliação considerou-se a bateria da marca Victron Energy de íons de lítio, 24V e capacidade de 180Ah, vale ressaltar que esta bateria não consta no site do INMETRO. As informações completas podem ser visualizadas no **Anexo II**.



24V 180Ah Lithium-Ion Battery

Lithium-ion 24V 180Ah 4.75kWh battery	
Technology	Lithium iron phosphate (LiFePo ₄)
Nominal voltage	26,4V
Nominal capacity	180Ah
Nominal power	4,75kWh
Weight	55kg
Power/Weight ratio	86Wh/kg
Dimensions (l x w x h)	625 x 195 x 355mm
Charge cut-off voltage at 0.05C	28,8V
Discharge cut-off voltage	20V
Recommended charge/discharge current	54A (0,3C)
Maximum charge current (1C)	180A
Maximum discharge current (1.5C)	270A
Pulse discharge current (10s)	1000A
Cycle Life @80% DOD (0.3C)	2000

Figura 3.14 – Característica da baterias. Fonte: <https://www.victronenergy.com/batteries/lithium-battery-24v-180ah>.

3.6.3.1. Dimensionamento de baterias de íons de lítio

Utilizando o fluxo de cálculo a seguir, executou-se o dimensionamento do banco de baterias.

1. A capacidade do banco de baterias é dada pela equação (5).

$$CB = \frac{\frac{E_b}{\eta_{bat}} \times N_a}{Pd} \quad (5)$$

Onde:

CB: é capacidade do banco de baterias [Wh];

E_b: é a energia demandada pela carga [Wh];

N_a: é o número de dias de autonomia;

η_{bat}: é o rendimento da bateria;

Pd: é a profundidade de descarga.

2. A capacidade do banco de baterias (CBI) em Ah é dada pela expressão (6).

$$CBI = \frac{CB}{V_b} \quad (6)$$

Onde:

CB: é a capacidade do banco de baterias calculada pela expressão (5);

V_b : é a tensão de operação da carga (estação de recarga).

3. No número de baterias em paralelo (N_{Batp}) é dado pela equação (7);

$$NBat_p = \frac{CBI}{CBI_{bat}} \quad (7)$$

Onde:

CBI_{bat} : é a capacidade nominal da bateria selecionada [Ah];

CBI: é a capacidade do banco de baterias em Ah calculada pela equação (6).

4. O número de baterias em série (N_{Bats}) é dado pela expressão (8).

$$NBat_s = \frac{V_b}{Vbat_n} \quad (8)$$

Onde:

V_b : é a tensão de operação da carga;

V_{batn} : é a tensão nominal da bateria especificada em catálogo.

5. A corrente de carga da bateria é dada pela expressão (8).

$$I_{Bc} = \frac{CBI_{bat}}{T_{carga}} \quad (9)$$

Onde:

I_{Bc} : é a corrente de carga da bateria [A];

T_{carga} : é o tempo de carga especificado pelo fabricante [h];

CBI_{bat} : é a capacidade nominal da bateria [Ah].

As premissas para os dimensionamentos foram:

- ✓ A autonomia escolhida foi de 1 dia ($N_a=1$);
- ✓ A eficiência da bateria foi estimada em 98%;
- ✓ A profundidade de carga foi estabelecida em 80%;
- ✓ A maior geração fotovoltaica é no mês de fevereiro com a produção de 208.44 kWh valor utilizado para o dimensionamento;
- ✓ Tempo de carga = 20h.

O **Quadro 3.3** apresenta o dimensionamento do banco de baterias de íons lítio.

Quadro 3.3 - Dimensionamento bateria de íons de lítio.

DADOS DE ENTRADA			Unid.	DADOS DE SAÍDA			Unid.
Eb	208440		Wh	CB	265.867,35		Wh
η_{bat}	0,98		%	CBI	664,67		Ah
N_a	1		dia	Nbatp	3,69		unid.
Pd	0,8		%	Nbats	15,15		unid.
Vb	400		V	IBc	9,00		A
CBIbat	180		Ah	Total de baterias	56		Unid.
Vbatn	26,4		V				
Tcarga	20		Horas				

Conforme as premissas e características da bateria de íons de lítio serão necessárias 56 unidades.

3.6.4. Estação de recarga - Eletroposto

O eletroponto selecionado será de recarga rápida, pois possui a finalidade comercial e deve atender o máximo de veículos possíveis enquanto houver energia armazenada nas baterias, no menor tempo.

A estação de recarga (**Figura 3.15**) aplicada no posto de combustível é da marca ABB e modelo Terra 53 com potência de 50 kW recomendado quando se pretende a máxima rapidez na carga do veículo elétrico.

Segundo o fabricante, pode carregar todas as marcas de veículos elétricos e integrar qualquer sistema de gerenciamento remoto e possibilita o carregamento simultâneo de dois veículos DC e AC.

Promete carregar o veículo elétrico de 0 – 80% da bateria em menos de 30 minutos, o que é muito importante quando se pretende comercializar um produto. As informações completas podem ser visualizadas no **Anexo V**.

A **Figura 3.15**, mostra as especificações técnicas do modelo utilizado.

	General specifications	
	Environment	Indoor / outdoor
	Operating temperature	-10 °C to +50 °C (de-rating characteristic applies) Option: -35 °C to +50 °C
	Storage temperature	-40 °C to +70 °C
	Compliance and safety	CE / Option: CHAdeMO
	Input AC power connection	3P + N + PE
	Input voltage range	400 V _{Ac} +/-10% (50 Hz or 60 Hz)
	Max. rated input current & power	C, CJ: 80 A, 55 kVA
		CT: 112 A, 77 kVA
		CJG: 143 A, 98 kVA
	Power limiting options available	
	Power factor (full load)	> 0.96
	Efficiency	94% at nominal output power

Figura 3.15 – Modelo do eletroponto e especificações técnicas. Fonte: PSOLUTIONSBRASIL.

3.6.5. Modelo de veículo elétrico

O veículo elétrico utilizado como referência será o modelo Nissan Leaf 1.0, um veículo elétrico puro, com grande aceitação entre os consumidores.

Segundo o fabricante possui um consumo 15 kWh por 100 km rodados, emissão zero de CO₂, velocidade máxima de 144 km/h e uma aceleração de 0 - 100km/h em 11,5 segundos, e autonomia de 100-160 km com a bateria de 24 kWh.

A **Figura 3.16** revela algumas características do veículo. As características completas podem ser visualizadas no **Anexo VI**.



MOTOR	Código motor		EM57	
	Tipo eléctrico		AC síncrono	
	Potência máxima del motor (1)	kW (CV) / min-1	80 (109) / 3008-10 000 rpm	
	Binário máximo (1)	Nm / min-1	254 / 0-3008 rpm	
	rpm máx.		10 500	
	Tipo de energia		Electricidade	
BATERIA	Tipo de bateria		Laminada de iões de lítio	
	Voltagem	V	360	
	Capacidade	kWh	24	30
	Número de células		192	
	Carregador a bordo	kWh	3,6	
	Carregador a bordo	kWh	6,6 (segundo versão)	
RECARGA	Carregador a bordo	kW	3,6; 6,6 (segundo versão)	
	Cargador rápido	kW	50 (segundo versão)	
	Cabo de recarga		EVSE 6m de largo, 32 A	

Figura 3.16 – Ilustração do modelo e características do veículo. Fonte: Adaptado de catalogo Nissan Leaf.

3.7. Cálculo de sombreamento entre strings e capacidade de instalação de módulos

Para saber a área útil de cobertura do posto de combustível, o sombreamento entre os módulos devem ser evitados, portanto, se faz necessário saber qual é a distância mínima entre cada string ou fileira no sistema fotovoltaico.

A **Figura 3.17** apresenta um método de cálculo da distância mínima representada pela letra D entre os strings.

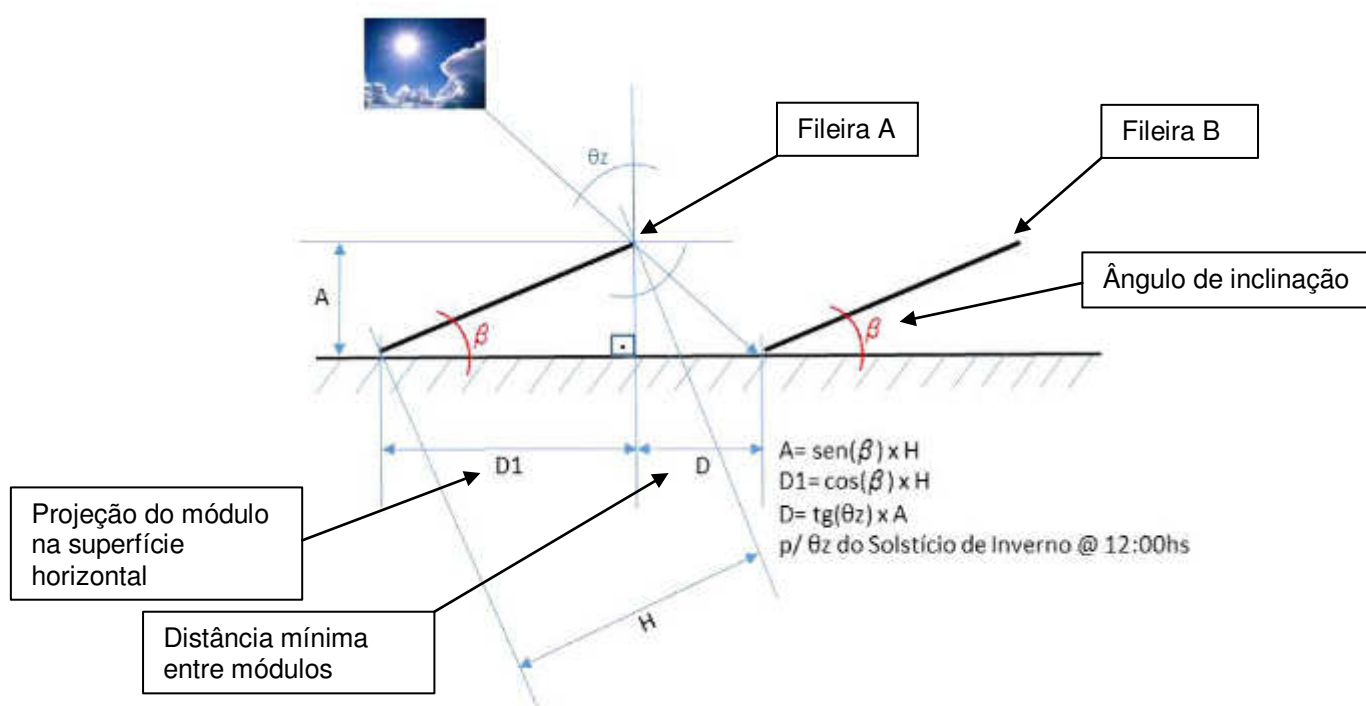


Figura 3.17 - Esquema para cálculo do sombreamento entre strings. Fonte: Adaptado de DOMINEGHETTI, (2015).

Para encontrar o valor da distância mínima entre os módulos, sugerem-se as etapas:

- I. Calcula-se o ângulo zenital (θ_z) para meio-dia solar em 21/06 para a localidade utilizando a equação:

$$\cos \theta_z = \sin(\delta) \sin(\Phi) + \cos(\delta) \cos(\Phi) \cos(\omega) \quad (10)$$

- II. O comprimento máximo da sombra projetada pela fileira de módulos de altura H , inclinada de um ângulo β em relação a superfície terrestre, que equivale a distância (D) mínima entre as fileiras, é dada pela equação:

$$D = \tan(\theta_z) \times \sin(\beta) \times H \quad (11)$$

A área total necessária pelo arranjo fotovoltaico normalmente é calculada, área do módulo multiplicada pela quantidade total de módulos, porém desta forma não se considera fatores como, inclinação dos módulos, a distância entre os módulos para fixar uma na outra e espaçamentos entre os strings para realizar tarefas de manutenção, limpezas e substituições.

Como o arranjo deste trabalho será disposto conforme a **Figura 3.17**, a área total mínima, deve incluir área entre as fileiras e a área das projeções dos módulos sobre a superfície horizontal.

Neste caso, considerando os cálculos para o solstício de inverno (21 de junho) ao meio dia solar e sabendo as dimensões do módulo ($L = 1.638\text{m}$; $H = 0.982\text{m}$) e ângulo de inclinação do módulo ($\beta = 23.5^\circ$), foi possível calcular a distância mínima entre os strings ($D = 0.42\text{m}$), conforme revela a **Figura 3.18**.

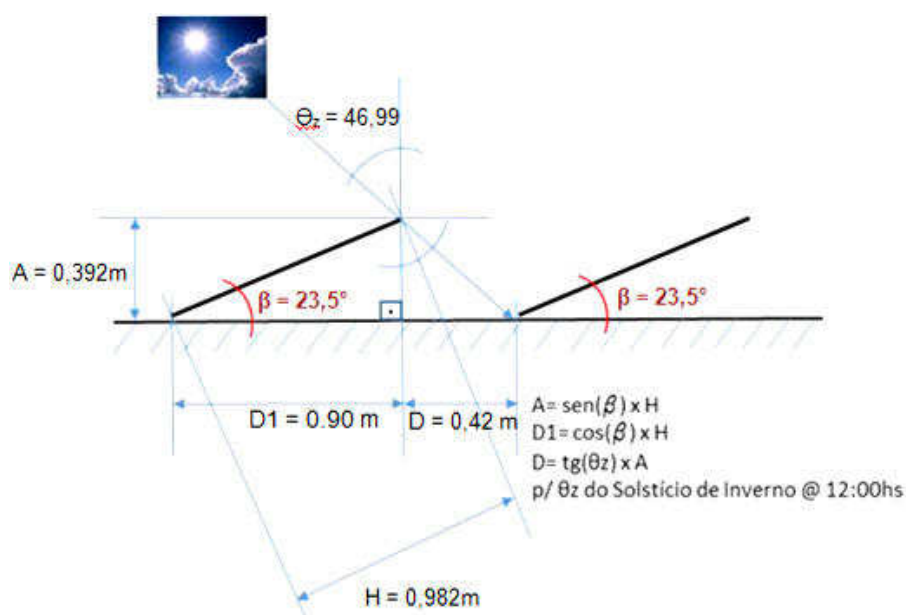


Figura 3.18 - Distância mínima entre fileiras de módulos . Fonte: Adaptado de DOMINEGHETTI, (2015).

Embora, a distância de 0.42m seja suficiente para não ocorrer o sombreamento entre fileiras, considera-se insuficiente para realização das atividades de manutenções e limpeza. Considerando que o operador adulto, realizará um trabalho em altura munido de equipamentos de manutenção, limpeza e eventualmente até para a substituição de algum módulo, se adotou para este estudo a distância entre as fileiras de 0.60 m, oferecendo maior segurança e mobilidade ao operador.

Considerando agora, a distância de $D=0.60m$ entre os strings e eixo de referência Norte-Sul, pode-se definir a quantidade máxima de fileiras sobre a cobertura do posto de combustível.

Sendo $D1$, a projeção do módulo na superfície horizontal e D a distância adotada entre strings têm-se que cada string ocupará 1.50 m, isto é, 0.60m de espaçamento mais 0.9m da projeção do módulo.

Como o comprimento entre as extremidades norte e sul da cobertura do posto é 32.0m e cada string ocupará 1.50m, teoricamente poderiam ser instaladas 21 fileiras, porém há uma pequena distância das extremidades até o início dos módulos, fazendo reduzir em uma fileira, totalizando 20 fileiras de módulos conforme **Figura 3.19**.

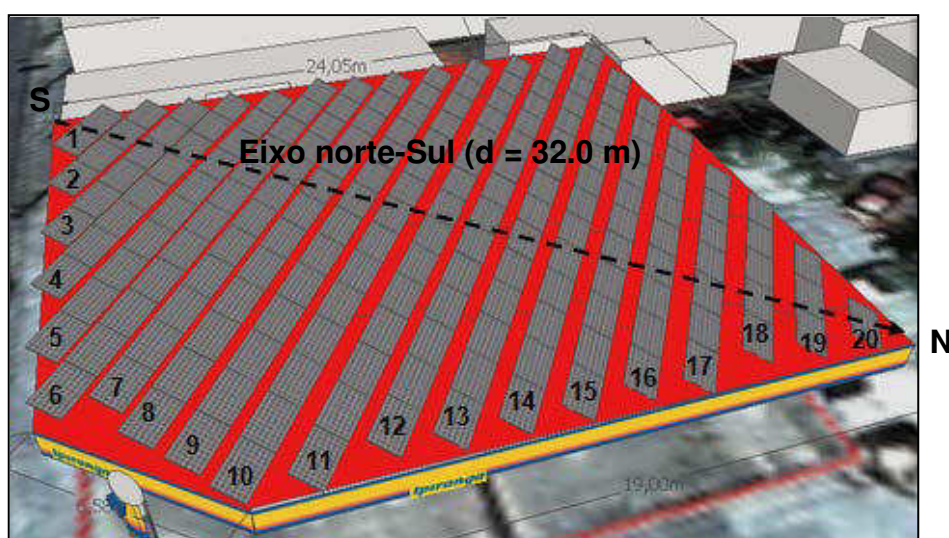


Figura 3.19 - Quantidade de fileiras. Fonte: Próprio autor.

Definida a quantidade máxima de fileiras, buscou-se preencher a cobertura do posto de combustível com a maior quantidade possível de módulos, resultando na capacidade de instalação de 190 módulos fotovoltaicos (**Figura 3.20**), baseado nas dimensões do modelo CS6P-255P da marca Canadian Solar.



Figura 3.20 – Capacidade de instalação. Fonte: Próprio autor.

3.8. Estimativa de produção de energia fotovoltaica

Para se estimar a produção de energia fotovoltaica, foram utilizados os dados de irradiação solar diária média mensal para a região de São Paulo, levantados no software Sundata 2.0 (Quadro 3.2) e correlacionados com o estudo de sombreamento e características dos módulos.

Considerando a quantidade máxima de 190 módulos com área de $1,48\text{m}^2/\text{unid}^{15}$, foi definida a área total de captação de energia solar de $281,2\text{m}^2$.

Com as informações acima e eficiência nominal de 15,54% em condições de ensaio se obteve a geração média diária, mensal e anual.

O **Quadro 3.4**, resume o fluxo de cálculo realizado.

¹⁵ Área de $1,48\text{m}^2$ – Considerada área interna do módulo, sendo descartada área de acabamento onde não há células fotovoltaicas.

Quadro 3.4 - Estimativa de geração fotovoltaica nominal.

Meses	Dias	Irradiação solar Diária média Mensal [kWh/m ² .dia]	Área útil de painel (m ²)	Irradiação solar útil [kW.dia]	Eficiência do Painel Solar [%]	Geração de energia fotovoltaica [kWh.dia]	Geração de energia fotovoltaica [kWh.mês]
Janeiro	31	4,1	281,2	1.152,92	15,54%	179,16	5.553,96
Fevereiro	28	4,77	281,2	1.341,32	15,54%	208,44	5.836,32
Março	31	4,15	281,2	1.166,98	15,54%	181,35	5.621,85
Abril	30	4,04	281,2	1.136,05	15,54%	176,54	5.296,20
Mai	31	3,91	281,2	1.099,49	15,54%	170,86	5.296,66
Junho	30	3,78	281,2	1.062,94	15,54%	165,18	4.955,40
Julho	31	4,09	281,2	1.150,11	15,54%	178,73	5.540,63
Agosto	31	4,36	281,2	1.226,03	15,54%	190,53	5.906,43
Setembro	30	3,95	281,2	1.110,74	15,54%	172,61	5.178,30
Outubro	31	3,92	281,2	1.102,30	15,54%	171,30	5.310,30
Novembro	30	4,59	281,2	1.290,71	15,54%	200,58	6.017,40
Dezembro	31	4,08	281,2	1.147,30	15,54%	178,29	5.526,99
Total Anual							66.040,44

Analisando o quadro acima, se verifica que nos meses de fevereiro e novembro há maior geração de energia, 5.8 MWh e 6.0 MWh respectivamente, já os meses de menor geração são os meses de junho com 4.9 MWh e setembro com geração de 5.1 MWh.

Desconsiderando as perdas por cabeamento e degradação dos módulos, pode se concluir que a cobertura do posto de combustível, possui um potencial de geração fotovoltaica anual de aproximadamente 66.04 MWh.

Com os 190 módulos fotovoltaicos o sistema possui a potência de pico de 47.500 Wp ou 47.5 kWp, o que é perfeitamente aceitável para o inversor que possui limite de entrada de 51.2 kW e saída compatível com o carregador de 50 kW.

3.9. Avaliação da quantidade de veículos elétricos abastecidos pelo sistema fotovoltaico

Para se estimar a quantidades de veículos elétricos abastecidos, não foi apenas estimada a geração fotovoltaica e dividida pelo consumo do VE, mas sim estimado o conjunto de equipamentos envolvidos desde a captação da energia solar realizada pelos módulos passando pelos controladores de carga, baterias, inversores até a ponta final no eletroposto de carga rápida.

O objetivo do trabalho não é realizar o dimensionamento das tensões e correntes que circulam entre os equipamentos e sim estimar a capacidade deste sistema em carregar o máximo de veículos possíveis, para isso serão adotadas algumas premissas, são elas:

- ✓ Módulo fotovoltaico modelo CS6P 250P – Potência de 181 W (NOCT) e Eficiência de 15,54%;
- ✓ Controlador de carga – Não encontrado controlador de carga para as características do sistema, contudo baseado na literatura adotou-se a eficiência média de 95%;
- ✓ Banco de baterias – O ciclo de vida varia conforme a temperatura e profundidade de descarga este serão considerados como 98% de eficiência até o final da vida útil;
- ✓ Inversor cc-ca da marca ABB modelo TRIO-50.0-TL-OUTD – Eficiência de 98,3%;
- ✓ Eletroposto de carga rápida marca ABB modelo Terra 53 – Eficiência de 94%;
- ✓ Como referência se utilizou o veículo elétrico Nissan Leaf (VEB) com bateria de 24kWh;

Com essas premissas foi possível estimar a quantidade de carregamentos realizados por dia, mês e ano conforme mostra o **Quadro 3.5**.

Quadro 3.5 - Estimativa de carregamentos por dia, mês e ano.

Meses	Dias	Irradiação solar Diária média Mensal [kWh/m2.dia]	Área útil de painel (m2)	Irradiação solar útil [kWh.dia]	Eficiência do Painel Solar [%]	Geração de energia fotovoltaica [kWh.dia]	Eficiência Controlador de carga [%]	Eficiência Baterias [%]	Eficiência do inversor [%]	Eficiência do eletroposto [%]	Energia final para recarga [kWh.dia]	Qt. de veículos abastecidos por dia [24kWh]	Qt. de veículos abastecidos por mês [unidade]
Janeiro	31	4,1	281,2	1.152,92	15,54%	179,16	95,00%	98,00%	98,30%	94,00%	154,12	6,4	198
Fevereiro	28	4,77	281,2	1.341,32	15,54%	208,44	95,00%	98,00%	98,30%	94,00%	179,31	7,5	210
Março	31	4,15	281,2	1.166,98	15,54%	181,35	95,00%	98,00%	98,30%	94,00%	156,01	6,5	202
Abril	30	4,04	281,2	1.136,05	15,54%	176,54	95,00%	98,00%	98,30%	94,00%	151,87	6,3	189
Maio	31	3,91	281,2	1.099,49	15,54%	170,86	95,00%	98,00%	98,30%	94,00%	146,98	6,1	189
Junho	30	3,78	281,2	1.062,94	15,54%	165,18	95,00%	98,00%	98,30%	94,00%	142,10	5,9	177
Julho	31	4,09	281,2	1.150,11	15,54%	178,73	95,00%	98,00%	98,30%	94,00%	153,75	6,4	198
Agosto	31	4,36	281,2	1.226,03	15,54%	190,53	95,00%	98,00%	98,30%	94,00%	163,91	6,8	211
Setembro	30	3,95	281,2	1.110,74	15,54%	172,61	95,00%	98,00%	98,30%	94,00%	148,49	6,2	186
Outubro	31	3,92	281,2	1.102,30	15,54%	171,30	95,00%	98,00%	98,30%	94,00%	147,36	6,1	189
Novembro	30	4,59	281,2	1.290,71	15,54%	200,58	95,00%	98,00%	98,30%	94,00%	172,55	7,2	216
Dezembro	31	4,08	281,2	1.147,30	15,54%	178,29	95,00%	98,00%	98,30%	94,00%	153,38	6,4	198
Total Anual													2363

De acordo com o **Quadro 3.5** é possível carregar completamente o Nissan Leaf cuja bateria tem 24 kWh de capacidade em média 6 unidades por dia, aparentemente não é muito, porém quando verificado a média mensal de recargas as quantidades ficam mais atraentes, em torno de 197 veículos por mês e anualmente 2363 carregamentos completos.

Contudo sabe-se, que a grande maioria dos carregamentos não será de carga completa, isto é, 24 kWh, pois os VEs provavelmente chegaram ao eletroposto com a bateria parcialmente carregada, desta forma a quantidade de veículos atendidos será superior aos estimados.

3.10. Estimativa de custo por recarga

Verificando a quantidade de energia produzida pelo sistema fotovoltaico e consumida no eletroposto, foi possível realizar uma estimativa de custo por carregamento (R\$/carregamento).

O valor final da simulação não inclui PIS/PASEP (Programa de Integração Social e Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público), COFINS (Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social), COSIP (Lei nº 13.479/02 – Institui no Município de São Paulo a Contribuição Para Custeio da Iluminação Pública), ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços) e encargos setoriais.

O **Quadro 3.6**, mostra as bandeiras tarifárias praticadas pela concessionária que atende a região do estudo. Segundo a Resolução Normativa nº. 547/13 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, as bandeiras verde, amarela e vermelha indicarão se a energia custará mais ou menos, em função das condições de geração de eletricidade, que será sinalizada mensalmente pela ANEEL, de acordo com informações prestadas pelo Operador Nacional do Sistema – ONS, conforme a capacidade de geração de energia elétrica do país.

Quadro 3.6 - Tarifa vigente em 01/05/2016. Fonte: Adaptado AES Eletropaulo.

Tarifas aplicadas a clientes atendidos em baixa tensão (grupo B)		
MODALIDADE TARIFÁRIA CONVENCIONAL		
SUBGRUPO/CLASSE/SUBCLASSE [R\$/kWh]	Tarifa do uso do sistema de distribuição (TUSD) [R\$/kWh]	Tarifa de Energia (TE) [R\$/kWh]
B1 - RESIDENCIAL	0,19896	0,23715
B3 - DEMAIS CLASSES	0,19896	0,23715
BANDEIRA VERDE	BANDEIRA AMARELA	BANDEIRA VERMELHA
Sem acréscimo na tarifa	Acréscimo de R\$0,015 a cada 1 kWh consumido	Acréscimo de R\$0,045 a cada 1 kWh consumido

Para realizar esta estimativa, adotou-se a premissa que durante o ano as bandeiras seriam verdes nos meses de janeiro a maio, amarelas durante junho e julho, bandeira vermelha nos meses de agosto e setembro, amarela durante setembro e verde até dezembro.

O **Quadro 3.7**, revela duas informações importantes, primeiro o custo aproximado (R\$) por mês caso o empreendedor opte por consumir energia da rede para abastecer a mesma quantidade de veículos elétricos que o sistema fotovoltaico supriria, uma média de R\$ 2.117,44 por mês e o total de R\$ 25.409,25 por ano para atender 2363 carregamentos completos.

A segunda informação é o valor em reais (R\$) por VE carregado (24 kWh), que fica em média R\$ 10.76 para carregamento completo em até 1h.

Com isso, sabendo que o intervalo de autonomia real do Leaf é de 100 a 160 km com 24 kWh, o preço por 10 km rodados é extremamente vantajoso, ficando em torno de R\$ 0.67 – R\$1.07.

Meses	Dias	Irradiação solar Diária média Mensal [kWh/m2.dia]	Área útil de painel (m2)	Irradiação solar útil [kWh.dia]	Eficiência do Painel Solar [%]	Geração de energia fotovoltaica [kWh.dia]	Eficiência Controlador de carga [%]	Eficiência Baterias [%]	Eficiência inversor [%]	Eficiência do eletroposto [%]	Energia final para recarga [kWh.dia]	Qt. de recargas por dia [bateria 24kWh]	Qt. de recargas por mês [unidade]	Tarifa do uso do sistema de distribuição (TUSD) [R\$/kWh]	Tarifa de Energia (TE) [R\$/kWh]	Bandeira Adotada	Custo da energia mensal [R\$]	Valor por VE abastecido [R\$/unid. VE]
Janeiro	31	4,1	281,2	1.152,92	15,54%	179,16	0,950	0,980	0,983	0,940	154,12	6,4	198	0,19896	0,23715	Sem acréscimo na tarifa	R\$ 2.083,61	R\$ 10,52
Fevereiro	28	4,77	281,2	1.341,32	15,54%	208,44	0,950	0,980	0,983	0,940	179,31	7,5	210	0,19896	0,23715	Sem acréscimo na tarifa	R\$ 2.189,57	R\$ 10,43
Março	31	4,15	281,2	1.166,98	15,54%	181,35	0,950	0,980	0,983	0,940	156,01	6,5	202	0,19896	0,23715	Sem acréscimo na tarifa	R\$ 2.109,16	R\$ 10,44
Abril	30	4,04	281,2	1.136,05	15,54%	176,54	0,950	0,980	0,983	0,940	151,87	6,3	189	0,19896	0,23715	Sem acréscimo na tarifa	R\$ 1.986,96	R\$ 10,51
Maior	31	3,91	281,2	1.099,49	15,54%	170,86	0,950	0,980	0,983	0,940	146,98	6,1	189	0,19896	0,23715	Sem acréscimo na tarifa	R\$ 1.987,08	R\$ 10,51
Junho	30	3,78	281,2	1.062,94	15,54%	165,18	0,950	0,980	0,983	0,940	142,10	5,9	177	0,19896	0,23715	Acrescimo de R\$0,015 a cada 1 kWh consumido	R\$ 1.923,08	R\$ 10,86
Julho	31	4,09	281,2	1.150,11	15,54%	178,73	0,950	0,980	0,983	0,940	153,75	6,4	198	0,19896	0,23715	Acrescimo de R\$0,015 a cada 1 kWh consumido	R\$ 2.150,10	R\$ 10,86
Agosto	31	4,36	281,2	1.226,03	15,54%	190,53	0,950	0,980	0,983	0,940	163,91	6,8	211	0,19896	0,23715	Acrescimo de R\$0,045 a cada 1 kWh consumido	R\$ 2.444,62	R\$ 11,59
Setembro	30	3,95	281,2	1.110,74	15,54%	172,61	0,950	0,980	0,983	0,940	148,49	6,2	186	0,19896	0,23715	Acrescimo de R\$0,045 a cada 1 kWh consumido	R\$ 2.143,20	R\$ 11,52
Outubro	31	3,92	281,2	1.102,30	15,54%	171,30	0,950	0,980	0,983	0,940	147,36	6,1	189	0,19896	0,23715	Acrescimo de R\$0,015 a cada 1 kWh consumido	R\$ 2.060,74	R\$ 10,90
Novembro	30	4,59	281,2	1.290,71	15,54%	200,58	0,950	0,980	0,983	0,940	172,55	7,2	216	0,19896	0,23715	Sem acréscimo na tarifa	R\$ 2.257,52	R\$ 10,45
Dezembro	31	4,08	281,2	1.147,30	15,54%	178,29	0,950	0,980	0,983	0,940	153,38	6,4	198	0,19896	0,23715	Sem acréscimo na tarifa	R\$ 2.073,61	R\$ 10,47
Total													2363				R\$ 25.409,25	
Média Anual													197				R\$ 2.117,44	R\$ 10,76

Quadro 3.7 - Custo estimado por carregamento completo.

4. CONCLUSÃO

O Brasil quando comparado a países europeus, em relação ao potencial de irradiação solar, possui uma enorme vantagem, contudo tal vantagem não é aproveitada conforme se espera.

Esta fonte abundante de energia que é a solar, poderia suprir todas as necessidades energéticas do planeta, porém é realmente aproveitada apenas em poucos países (China, Japão, EUA e alguns países europeus).

Sabe-se que o setor de geração de energia, contribui com 2/3 das emissões de gases de efeito estufa em todo o planeta. Semelhante, o setor de transporte contribui enormemente com as emissões de gases de efeito estufa tornando a atmosfera nas grandes cidades em uma mistura de poluentes tóxicos, responsáveis por grande parte das doenças respiratórias.

Embora, existam tecnologias para mitigar os efeitos da degradação do meio ambiente, como a geração de energia fotovoltaica e veículos elétricos, não há ainda incentivos suficientes dos governos para mudar realmente o cenário atual, apenas ações pontuais por parte de alguns países.

Com as informações levantadas durante o estudo, sabe-se que os preços dos sistemas fotovoltaicos tendem a diminuir a cada ano, assim como o preço dos veículos elétricos. Na contra mão destas reduções, o custo da energia elétrica proveniente das concessionárias tendem apenas aumentar. É vislumbrado o momento onde a geração de energia fotovoltaica irá equiparar com os preços de energia praticados pelas concessionárias.

O estudo realizado neste trabalho de monografia apresenta uma oportunidade para a geração fotovoltaica e veículos elétricos se unirem em uma sinergia sustentável, mitigando a emissão de poluentes atmosféricos responsáveis por grande parte dos problemas respiratórios nas grandes cidades e tornar a matriz energética brasileira ainda mais renovável.

O estudo realizado na cidade de São Paulo, mostra que é possível conciliar a geração de energia fotovoltaica no meio urbano.

O fornecimento de energia para recarga de veículos elétricos por sistemas fotovoltaicos se mostrou uma solução sustentável e ideal nos centros urbanos, além de futuramente poder se tornar um setor de geração de empregos e enormes benefícios ambientais e sociais.

Foi provado, que um posto de combustível inserido no meio urbano é possível também ser um eletroposto, apenas realizando pequenas adequações na estrutura. Com uma área útil de painéis de aproximadamente 281m² foi possível simular o recarregamento de 177 a 216 veículos elétricos do modelo Leaf por mês e o total de 2363 VE por ano.

O custo da recarga completa do VE Nissan Leaf (24 kWh) ficou entre R\$ 10.43 e R\$ 11.59 e apresentou uma média anual de R\$ 10.76.

Com isso sabendo que o VE possui uma autonomia real de 100 a 160 Km com carga completa, o custo a cada 10 quilômetros rodados ficou em torno de R\$ 0.67 a R\$ 1.07 comprovando a alta eficiência que é atribuída aos veículos elétricos.

Concluindo, apesar da excepcional combinação da geração de energia fotovoltaica para recarga de veículos elétricos, constatou-se haver ainda uma necessidade de equipamentos específicos para esta finalidade, como é o caso do controlador de carga, que não foi possível ser encontrado durante as pesquisas realizadas com as características necessárias para atender os equipamentos de carga rápida.

Uma alternativa para evitar o alto custo das baterias de íons de lítio (56 unidades) é conectar o sistema fotovoltaico a rede da concessionária (SFCR) onde a geração de energia será injetada na rede gerando créditos para serem consumidos conforme demanda (REN nº482/12 alterada pela REN nº687/15). Esta configuração é atualmente a mais utilizada em sistemas fotovoltaicos residenciais e comerciais.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABB. Trio-50.0-tl-outd. Disponível em: <<http://new.abb.com/power-converters-inverters/solar/string/three-phase/trio-50-0kw>>. Acesso em: 01 mai. 2016.

ABB. Terra 53 CJ. Disponível em: <<http://new.abb.com/ev-charging/charger-selector>>. Acesso em: 10 mai. 2016.

ABVE. Associação Brasileira do veículo elétrico. Perguntas. Disponível em: <<http://www.abve.org.br/perguntas>>. Acesso em: 01 mar. 2016.

AES ELETROPAULO. Tarifa de energia elétrica. Disponível em: <<https://www.aeseletropaulo.com.br/para-sua-casa/prazos-e-tarifas/conteudo/tarifa-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 01 mai. 2016.

ANDRADE F. R. D. et al. Decifrando a Terra. 2º ed. São Paulo, 2009.

ANFAVEA. Brazil automotive guia 2015. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/automotiveguide.html>>. Acesso em: 01 mar. 2016.

ANFAVEA. Anuário da indústria automobilística brasileira 2016. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/anuario.html>>. Acesso em: 01 mar. 2016.

BARAN, R.. A introdução de veículos elétricos no Brasil: avaliação do impacto no consumo de gasolina e eletricidade: Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro,. Rio de Janeiro: [s.n.], 2012. 139 p.

BARAN, R.; LEGEY, L. F. L.. Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil. XIII Congresso Brasileiro de Energia, BNDES Setorial 33, Rio de Janeiro, p. 207-224, nov. 2010. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Publicacoes/Consulta_Expressa/Setor/Complexo_Automotivo/201103_06.html>. Acesso em: 01 abr. 2016.

BARASSA, E. Trajetória tecnológica do veículo elétrico: atores, políticas e esforços tecnológicos no Brasil: Dissertação de mestrado. Campinas, SP: [s.n.], 2015. 132 p.

BRAGA, B. et al. Introdução a engenharia ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável. 2 ed. São paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 318 p.

CALÇADO, T. E. O. Estudo preliminar de implantação de estações de recarga de veículos elétricos no centro de tecnologia da UFRJ: Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: [s.n.], 2015. 85 p.

CARVALHO, G. A.. Aplicação de painéis fotovoltaicos isolados para carregamento de baterias em automóveis elétricos ou híbridos: Trabalho de Conclusão de Curso – Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência. Energética pelo Programa de educação continuada PECE-USP. São Paulo, 2013. 89 p.

CASTRO, B. H. R.; FERREIRA, T. T.. Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades. BNDES Setorial, n. 32, p. 267-310, mar. 2015. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set32108.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2016.

CRESESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio Brito. Potencial solar - sundata. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em: 01 abr. 2016.

DGS. Planning and installing photovoltaic systems: a Guide for installers, architects and engineers. Berlin, German: Deutsche Gesellschaft fur Sonnenenergie (DGS) – The German Solar Energy Society, 2008.

DOMINEGHETTI, N. Estudo de viabilidade técnica-econômica de utilização de energia solar fotovoltaica na irrigação de lavouras no nordeste do Brasil: Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética. São Paulo: [s.n.], 2015. 109 p.

D-SOLARSYSTEMS. Autoconsumo uma aposta no futuro. Disponível em: <<http://www.d-solarsystems.com/#!autoconsumo/c203m>>. Acesso em: 01 mai. 2016.

DUFFIE, J.; BECKMAN, W. Solar Engineering of Thermal Processes. 4th Ed, Wisconsin, 2013.

EPE. Empresa De Pesquisa Energética. Balanço energético nacional 2015: ano base 2014. Rio de Janeiro: [s.n.], 2015. 292 p.

GREEN, M. A.; EMERY, K.; HISHIKAWA, Y.; WARTA, DUNLOP, E. D. Solar cell efficiency tables (version 46). Progress in Photovoltaics: Research and applications, v.23, 2015.

GOLDEMBERG, J.; PALETTA, F. C.. Energias renováveis: Série Energia e Sustentabilidade. 1 ed. São Paulo: Blucher, 2012. 110 p.

IEA. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Energy climate and change world energy outlook special report. Disponível em: <<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/weo2015specialreportonenergyandclimatechange.pdf>>. Acesso em: 01 mar. 2016.

INMETRO. Tabelas de consumo/eficiência energética, Sistema de energia fotovoltaico. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/sistema-fotovoltaico.asp>>. Acesso em: 01 mai. 2016.

MACDONALD J. BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE. Electric vehicles to be 35% of global new car sales by 2040. Disponível em: <<http://about.bnef.com/press-releases/electric-vehicles-to-be-35-of-global-new-car-sales-by-2040/>>. Acesso em: 01 abr. 2016.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Agenda 21. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21>>. Acesso em: 01 abr. 2016.

MME. Ministério de Minas e Energia. Contrato nº 48000.003155/2007-17: Desenvolvimento de Estudos para Elaboração do Plano Duodecenal (2010 - 2030) de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Relatório Técnico (RT – 37) Perfil do Quartzo. Consultor Emilio Lobato, 2009. Disponível em: http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P27_RT37_Perfil_do_Quartzo.pdf/3ea3802c-8da9-4012-a246-c722d750de1f. Acessado em 10/03/2016.

MPPTSOLAR. Ligação série paralelo de várias baterias. Disponível em: <http://www.mpptsolar.com/pt/baterias-serie-paralelo.html>. Acesso em: 01 mar. 2016.

NASCIMENTO, G. F.. Estudo piloto de uma microgeração solar fotovoltaica conectada à rede e com armazenamento em baterias em Santa Rosa, RS. Trabalho de Conclusão de Curso – Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética pelo Programa de educação continuada PECE - USP. São Paulo, 2013.

PACHECO, C. R. F. Apostila ERG 006 Energia Solar I. São Paulo: PECE - USP Poli, 2013.

PARENTE, V.; MARQUES, F. Apostila ERG 001 - Análise de Viabilidade Econômica de Projeto de Energia. São Paulo: PECE - USP Poli, 2013.

PINHO, J. T; GALDINO, M. A. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro: CEPEL – CRESESB, 2014.

PSOLUTIONSBRASIL Power Solutions Brasil. Carregadores para veículos elétricos. Disponível em: <http://www.psolutionsbrasil.com.br/carregadores-para-veiculos-eletricos/>. Acesso em: 01 mai. 2016.

RAJA, D.R.S; KAY, D.U. Estado da arte de veículos elétricos e caracterização de um sistema de controle dinâmico do veículo elétrico Kombi. Projeto de formatura apresentado a disciplina PEA 2507 – PROJETO DE FORMATURA II, da escola Politécnica de Universidade de São Paulo, 2005.

REIS, L. B.; CUNHA, E. C. N. Energia Elétrica e Sustentabilidade – Aspectos tecnológicos, Socioambientais e legais. São Paulo, 2006.

RUTHER R. O potencial da energia solar o potencial da energia solar fotovoltaica no Brasil fotovoltaica no brasil. Disponível em: <<http://www.ambbaku.esteri.it/nr/rdonlyres/f061d8fb-d4cc-4959-8baa-95917c22084d/46120/ufsc.pdf>>. Acesso em: 01 abr. 2016.

OICA. ORGANISATION INTERNATIONALE DES CONSTRUCTEURS D'AUTOMOBILES. World vehicles in use - all vehicles. Disponível em: <<http://www.oica.net/wp-content/uploads//total-inuse-2014.pdf>>. Acesso em: 01 mar. 2016.

OECD/IEA. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. World energy outlook special report 2015: energy and climate change. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/weo-2015-special-report-energy-climate-change.html>>. Acesso em: 04 mai. 2016.

ONU. UNITED NATIONS POPULATION DIVISION OF THE DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS OF THE UNITED NATIONS SECRETARIAT. World population prospects the 2015 revision. Disponível em: <http://esa.un.org/unpd/wpp/publications/files/key_findings_wpp_2015.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2016.

SIMON, E. C.. Avaliação de impactos da recarga de veículos elétricos em sistemas de distribuição: Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: [s.n.], 2013. 149 p.

SUSTERAS, G. L; MORAES, M. V. Reengenharia do Veículo Elétrico. Projeto de formatura apresentado a disciplina PEA 2507 – Projeto de Formatura II, da escola Politécnica de Universidade de São Paulo, 2003.

FILHO. K. S. O; SARAIVA. M. F. O. Departamento de Astronomia do Instituto de Física da UFRGS. Estações do ano tabela de equinócios, solstícios, periélio e afélio. Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/estacoes.html>>. Acesso em: 01 abr. 2016.

VELLOSO, J. P. D. R.. Estratégia de implantação do carro elétrico no Brasil versão preliminar: XXII Fórum Nacional 2009 - Na Crise, Brasil, Desenvolvimento de uma Sociedade Ativa e Moderna (Sociedade do Diálogo, da Tolerância, da Negociação), “Programa Nacional de Direitos Humanos”. E Novos Temas. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Altos Estudos, INAE, 2010. 212 p.

VOLTEC. Perguntas frequentes sobre o sistema de energia solar isolado. Disponível em: <<http://voltec.eng.br/sistema-isolado.html>>. Acesso em: 01 mar. 2016.

YILMAZ, M.; KREIN, P. T.: “Review of Battery Charger Topologies, Charging Power Levels, and Infrastructure for Plug-In Electric and Hybrid Vehicles”, IEEE Transaction On Power Electronics, Vol. 28, Nº 5, 2013.

ZILLES, R.; MACEDO, W. N; GALHARDO, M. A. B. Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

ZORZI, A. Conexão de instalação fotovoltaica a rede de distribuição: Trabalho de Conclusão de Curso – Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência. Energética pelo Programa de educação continuada PECE-USP. São Paulo, 2013. 88 p.