

USP - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PECE – PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA

GILSON ALVES DE CARVALHO

**Aplicação de painéis fotovoltaicos isolados para carregamento de baterias em
automóveis elétricos ou híbridos**

São Paulo

GILSON ALVES DE CARVALHO

Aplicação de painéis fotovoltaicos isolados para carregamento de baterias em automóveis elétricos ou híbridos

Trabalho apresentado como requisito para conclusão
do curso de pós-graduação em energias renováveis,
geração distribuída e eficiência energética
apresentada à USP – Universidade de São Paulo e
PECE – Programa de educação continuada.

Orientador (a):

Prof. Dr. Claudio R F Pacheco

São Paulo

2013

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada à fonte.

Aplicação de painéis fotovoltaicos isolados para carregamento de baterias em automóveis elétricos ou híbridos / Gilson Alves de Carvalho. – São Paulo, 2013. – 01 f.

Trabalho de conclusão de curso – Universidade de São Paulo – USP / PECE – Programa de educação continuada. Curso de energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética
Orientador: Prof. Dr. Claudio R F Pacheco

1. Solar 2. Renovável 3. Carro Elétrico

NOME: CARVALHO, Gilson Alves de

Titulo: Aplicação de painéis fotovoltaicos isolados para carregamento de baterias em automóveis elétricos ou híbridos

Trabalho apresentado como requisito para conclusão do curso de pós-graduação em energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética apresentada à USP – Universidade de São Paulo e PECE – Programa de educação continuada

Banca Examinadora

Prof. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof.Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Aprovado em: _____ / _____ / _____

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a minha esposa e minha filha com amor e gratidão e ao meu professor pela paciência e apoio que me proporcionaram em todo o período da elaboração desse trabalho

AGRADECIMENTOS

Aos meus companheiros de sala de aula que do início ao fim do curso mantiveram o companheirismo e o compartilhamento de conhecimento entre todos.

A minha esposa Francisca Edilândia e a minha filha Mariana, pelo apoio às atividades diárias e empreitadas assumidas

EPIGRAFE

“Procure ser uma pessoa de valor, em vez de procurar ser uma pessoa de sucesso”. O sucesso é consequência.

Albert Einstein

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo com base no avanço significativo das indústrias de veículos automotores em relação ao aumento da produção de veículos movidos com motores híbridos e motores exclusivamente movidos a motores elétricos integrados ao uso de sistemas geradores fotovoltaicos isolados capazes de atender à necessidade energética desses veículos desonerando assim o alimentador urbano dessa carga adicional.

A onda ecológica tem tido efeito nas grandes montadoras, levando ao desenvolvimento de veículos cada vez mais eficientes, confortáveis e cada vez menos dependentes de derivados de petróleo. Cada vez mais, existem estudos de eficiência energética, tornando os veículos outrora desacreditados em realidades, atendendo tanto a ambientalistas quanto a consumidores exigentes quanto à qualidade dos produtos da indústria de automotores. Restam questões como autonomia, que ainda se faz como grande vilão deste tipo de veículo, levantando questionamentos a respeito de viabilidade técnica, econômica e energética, uma vez que este depende de sistemas de recarregamento de baterias ou troca das mesmas.

O estudo visa avaliar também a viabilidade econômica e energética da integração desta tecnologia com sistemas geradores fotovoltaicos isolados, analisando os prós e os contras do uso desses sistemas como uma das soluções com o objetivo de garantir as baixas emissões de poluentes pelos carros elétricos quando visto essa emissão na sua cadeia de produção e utilização e a redução dos impactos da conexão dos veículos elétricos na demanda de energia nacional.

Palavras-chave: Veículo Elétrico, Painéis Fotovoltaicos, baterias, consumo energético.

ABSTRACT

This work presents a study based on the significant advancement of the industries of automotive vehicles in relation to increased production of vehicles with hybrid engines and engine powered exclusively by electric motors integrated use of photovoltaic systems alone can meet the energy needs of these vehicles thus relieving the urban feeder this additional load.

The green wave has had great effect on automakers, leading to the development of more efficient vehicles, comfortable and increasingly less dependent on petroleum. Increasingly, studies of energy efficiency, making the vehicles once discredited in realities, serving both the consumer as environmentalists demanding about the quality of the products of the automotive industry. Remaining issues as autonomy, that is still as great villain of this type of vehicle, raising questions about the technical feasibility, economic and energy, since this depends on systems recharging batteries or exchange them.

The study also aims to availability economic and energy integration of this technology with PV isolated generating systems, analyzing the pros and cons of using this system as a solution in order to ensure low emissions of pollutants from electric cars when viewed this emissions in their supply chain and reduce the use and impact of the connection of electric vehicles in the national energy demand.

Keywords: Electric Vehicle, photovoltaic panels, batteries, power consumption.

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 - Camadas do Sol (UFRGS)</i>	29
<i>Figura 2 - Granulação fotosférica (UFRGS).....</i>	30
<i>Figura 3 – Variação da irradiação solar ao longo dos anos (UFRGS).....</i>	31
<i>Figura 4 - Referências da latitude no globo terrestre (UFRGS).....</i>	32
<i>Figura 5 - Referências da longitude no globo terrestre (UFRGS).....</i>	33
<i>Figura 6 – Apresentação gráfica do ângulo horário (UFRGS ASTRO)</i>	34
<i>Figura 7 – Plano elíptico do planeta Terra (UFRGS ASTRO)</i>	37
<i>Figura 8 – Movimento aparente do Sol, esfera celeste e ângulo de declinação.</i>	38
<i>Figura 9 – Representação gráfica do ângulo azimute e Ângulo Zenital (UFRGS).....</i>	40
<i>Figura 10 – Posição do observador em uma esfera celeste (UFRGS).....</i>	41
<i>Figura 11 – Diagrama para cálculo da posição solar sobre uma superfície horizontal</i>	42
<i>Figura 12 - Diagrama para cálculo da posição solar sobre uma superfície inclinada</i>	44
<i>Figura 13 - Painel monocristalino (Uniblog)</i>	47
<i>Figura 14 - Painel Policristalino (Uniblog).....</i>	48
<i>Figura 15 - Painel Amorfo (Uniblog).....</i>	48
<i>Figura 16 - Regulador ou controlador de Carga (MPPTSOLAR).....</i>	50
<i>Figura 17 - Banco de baterias estacionárias (ANTUSOL)</i>	51
<i>Figura 18 - Inversor ou conversor de corrente (WEG).....</i>	51
<i>Figura 19 - Conversores CC/CC (Siemens).....</i>	52
<i>Figura 20 - Carro elétrico em abastecimento (Jornale)</i>	53
<i>Figura 21 - Poluição Atmosférica</i>	55
<i>Figura 22 - Configuração simples com um motor elétrico (LPS)</i>	57
<i>Figura 23- Configuração com dois motores elétricos (LPS).....</i>	57
<i>Figura 24 - Configuração com motores elétricos acoplados diretamente às rodas (LPS)</i>	58
<i>Figura 25 - Configuração híbrida em série (LPS)</i>	58
<i>Figura 26 - Configuração híbrida em paralelo (LPS)</i>	59
<i>Figura 27 - Sistema de gerenciamento de energia de um veículo híbrido</i>	60
<i>Figura 28 - Densidade de Energia x Densidade de Potência (ABVE, 2011)</i>	62
<i>Figura 29 – Motor elétrico automotivo (ABVE, 2011).....</i>	64
<i>Figura 30 – Tomada de 16 A padrão IEC 60309.....</i>	66
<i>Figura 31 – Adaptador de tomada modo 3 para carregamento em uma tomada doméstica</i>	66
<i>Figura 32 - Tipo de conexão modo 3 de carregamento</i>	67

<i>Figura 33 – Conversor AC-DC para carregamento direto de baterias</i>	68
<i>Figura 34 – Software Radiasol 2 (Solar UFRGS).....</i>	70
<i>Figura 35 - Localização.....</i>	70
<i>Figura 36 – Ábacos para análise simplificada do potencial de irradiação a ser recebido pelos módulos fotovoltaico em diferentes orientações e azimutes. (UFSC).....</i>	73
<i>Figura 37 - Modelagem para cálculo de distância entre coletores.....</i>	75
<i>Figura 38 - Representação do ângulo azimutal de uma superfície.....</i>	76
<i>Figura 39 - Veículo elétrico Smart Fortwo Electric Drive®</i>	80
<i>Figura 40 – Consumo em KW/h para um percurso de até 100 Km (OVK).....</i>	82
<i>Figura 41 – Pontos de medição (OVK).....</i>	83
<i>Figura 42 – Autonomia em relação à temperatura ambiente (OVK).....</i>	83

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1- Capacidade de aquecimento solar (MW) em operação no fim de 2010 no mundo (EIA, 2011).....</i>	24
<i>Tabela 2 - Capacidade de geração elétrica através de painéis solares (MW) em operação no fim de 2011 no mundo (REN21).....</i>	25
<i>Tabela 3 - Características gerais do Sol (UFRGS).....</i>	28
<i>Tabela 4 - Radiação Solar Média em KWh/m²-dia para uma inclinação de -33° graus.....</i>	71
<i>Tabela 5 – Irradiação Média mensal retirada do software Radiasol 2.....</i>	72
<i>Tabela 6 – Especificação do Painel Solar.....</i>	74
<i>Tabela 7 - Fator k para cálculo de distância entre coletores (ABRAVA, 2008)</i>	76
<i>Tabela 8 – Fator K encontrado através de interpolação linear.....</i>	77
<i>Tabela 9 – Distância entre coletores.....</i>	79
<i>Tabela 10 – Dados técnicos do Smart Fortwo Electric Drive® utilizado no estudo. (OVK).....</i>	81
<i>Tabela 11 – Consumo em KWh para carregamento da bateria veicular do Smart Fortwo Electric Drive® (OVK)</i>	84

LISTA DE EQUAÇÕES

<i>Equação 1 - $H = (HS - 12) * 15$</i>	34
<i>Equação 2 - $ET = H_{Solar} - H_{Solar\ média} = \alpha_{Solar} - \alpha_{Solar\ média}$</i>	35
<i>Equação 3 - $A = 2\pi/365 \cdot (Dn - 1)$ em radianos</i>	36
<i>Equação 4 - $Dn = Dia + (Mês - 1) * 30 + Cor$</i>	36
<i>Equação 5 - $\delta = 23.45 * \text{Sin}(360 / 365 * (284 + Dn))$</i>	39
<i>Equação 6 - $\alpha = \text{arcsen}(\text{sen}(\delta) * \text{sen}(\varphi) + \text{cos}(\delta) * \text{cos}(\varphi) * \text{cos}(\omega))$ (°)</i>	42
<i>Equação 7 - $\theta = \text{arccos}(\text{sen}(\delta) * \text{sen}(\varphi) + \text{cos}(\delta) * \text{cos}(\varphi) * \text{cos}(\omega)) = 90 - \alpha$ z (°)</i>	42
<i>Equação 8 - $\Psi = \text{arccos}(\text{sen}(\alpha) * \text{sen}(\theta) - \text{sen}(\delta) / \text{cos}(\alpha) * \text{cos}(\theta))$</i>	42
<i>Equação 9 - $\text{Cos}(\omega_s) = -\text{Tan}(\Phi) \text{Tan}(\delta)$</i>	43
<i>Equação 10 - $So = 2 \cdot (-\omega s)$</i>	43
<i>Equação 11 - $Hnascer = 12 + \omega s / 15$</i>	43
<i>Equação 12 - $Hpor = 12 - \omega s / 15$</i>	43
<i>Equação 13 - $So = Hpor - Hnascer$</i>	43
<i>Equação 14 - $\text{Cos}(\theta) = \text{Sin}(\delta) \text{Sin}(\Phi) \text{Cos}(\beta) - \text{Sin}(\delta) \text{Cos}(\Phi) \text{Sin}(\beta) \text{Cos}(\gamma) + \text{Cos}(\delta) \text{Cos}(\Phi) \text{Cos}(\beta) \text{Cos}(\omega) + \text{Cos}(\delta) \text{Sin}(\Phi) \text{Sin}(\beta) \text{Cos}(\gamma) \text{Cos}(\omega) + \text{Cos}(\delta) \text{Sin}(\beta) \text{Sin}(\gamma) \text{Sin}(\omega)$</i>	44
<i>Equação 15 - $\text{Cos} \theta_Z = \text{Sin}(\delta) \text{Sin}(\Phi) + \text{Cos}(\delta) \text{Cos}(\Phi) \text{Cos}(\omega)$</i>	44
<i>Equação 16 - $\text{Cos}(\theta) = \text{Cos}(\Phi - \beta) \text{Cos}(\delta) \text{Cos}(\omega) + \text{Sin}(\Phi - \beta) \text{Sin}(\delta)$</i>	45
<i>Equação 17 - $\text{Cos}(\theta) = \text{Cos}(\Phi + \beta) \text{Cos}(\delta) \text{Cos}(\omega) + \text{Sin}(\Phi + \beta) \text{Sin}(\delta)$</i>	45
<i>Equação 18 - $Eg = P \times HSP \times \eta_{cc}/ca$</i>	75
<i>Equação 19 - $d = h \times k$</i>	76

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	17
2.	OBJETIVOS DO TRABALHO	21
2.1	Objetivo Principal	21
2.2	Objetivo Específico.....	21
3.	JUSTIFICATIVA	22
4.	ENERGIA SOLAR – PERSPECTIVA MUNDIAL E BRASILEIRA	23
5.	SOLARIMETRIA.....	27
6.	O SOL.....	28
7.	CONSTANTE SOLAR	31
8.	COMPONENTES PARA CÁLCULOS	32
8.1	Latitude	32
8.2	Longitude	33
8.3	Ângulo horário.....	34
8.4	Hora solar, hora solar média e hora legal	35
8.5	Equação do tempo	35
8.6	Ângulo diário	36
8.7	Declinação Solar	37

8.8	Azimute da superfície.....	39
8.9	Ângulo Zenital	40
8.10	Posição solar sobre uma superfície horizontal.....	40
8.11	Posição solar sobre uma superfície inclinada.....	43
9.	COMPONENTES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	46
9.1	Painéis Fotovoltaicos	46
9.2	Controlador de carga	49
9.3	Banco de Baterias.....	50
9.4	Inversor ou conversor de Corrente – CC/CA	51
9.5	Conversor CC/CC	52
10.	CARRO ELÉTRICO – PERSPECTIVA MUNDIAL E BRASILEIRA.....	53
10.1	Carro elétrico como solução de transporte em centros urbanos	54
10.2	Tecnologia dos veículos híbridos e elétricos	56
10.2.1	Veículo elétrico a bateria (VEB).....	56
10.2.2	Veículo elétrico híbrido (VEH)	58
10.2.3	Veículo elétrico híbrido Plug-in (VEPH).....	59
10.3	Componentes de um veículo elétrico.....	60
10.3.1	Banco de Bateria.....	60
10.3.2	Motores elétricos.....	63
10.3.3	Gerenciamento eletrônico	64
10.3.4	Freio regenerativo	64
10.4	Recargas para os veículos elétricos	65
11.	ESTUDO DE CASO.....	69
11.1	Localização.....	70
11.2	Estudo Solarimétrico.....	71
11.2.1	Radiação Solar	71
11.2.2	Escolha do ângulo de instalação dos coletores solares	72

11.3	Capacidade de geração do local	73
11.4	Calculo de sombreamento.....	75
11.5	Área real de produção.....	80
11.6	Seleção do veículo	80
12.	ANÁLISE DO CONSUMO DA CARGA SOBRE O SISTEMA FOTOVOLTAICO	84
13.	CONCLUSÃO	85
14.	RECOMENDAÇÕES	86
15.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	87

1. INTRODUÇÃO

A elevação do efeito estufa na atmosfera do planeta terra, o aquecimento global e o constante crescimento da demanda energética estão entre os grandes problemas da sociedade atual. Esses temas atualmente são amplamente discutidos no mundo todo, requerendo dos órgãos governamentais e das instituições de pesquisas soluções imediatas na mitigação desses efeitos sobre o planeta. A crescente demanda por energia, por exemplo, necessita de grandes mudanças nas questões de geração e eficiência energética. O Brasil, quando o assunto é a composição do seu setor energético, tem se destacado da maioria dos países por apresentar uma matriz elétrica na sua maior parte de origem renovável, com geração predominantemente hidráulica. Por outro lado, a matriz energética da maioria dos países do mundo, depende em grande parte de fontes não renováveis e com altos índices de emissões, como petróleo, carvão e gás natural.

A geração centralizada de energia elétrica tem sido o modelo tradicionalmente utilizado no Brasil. Em 2011 a capacidade instalada das centrais de geração elétrica alcançou 117,35 GW, incluindo as centrais de serviço público e autoprodutoras. A geração de energia elétrica atingiu 531,8 Twh, 3,1% superior ao ano de 2010 (BEN). Essa crescente demanda energética obriga o setor elétrico a aumentar a oferta de energia para permitir e assegurar o avanço e o desenvolvimento da sociedade e economia brasileira. Para atender essa crescente demanda é necessários elevados investimentos na construção de novas unidades geradoras de energia e ampliação das linhas de transmissão.

A construção dessas novas unidades geradoras e linhas de transmissão enfrentam enormes dificuldades devido às novas exigências ambientais e outras intempéries como: desapropriação de terra; inundação de áreas para construção de reservatórios; impactos na fauna e flora da região; aumento do efeito estufa e aumento dos custos de operação e de manutenção. Diante deste cenário a geração distribuída desponha como uma opção para o setor elétrico, pois a geração ocorre de forma descentralizada, com unidades

geradoras de pequeno porte que ocasionam menor impacto ambiental e podem oferecer benefício ao sistema de geração, transmissão e distribuição. A energia gerada é entregue diretamente ou próximo ao ponto de consumo, reduzindo os elevados custos com as transmissão e manutenção.

A geração distribuída como característica usa diferentes tecnologias, dentre as quais se destacam os geradores a diesel, as turbinas a gás, as pequenas centrais hidrelétricas, os geradores eólicos, os geradores solares (fotovoltaicos) e as células de combustível.

A energia solar, utilizada na forma de geração distribuída, é uma opção complementar ao sistema elétrico nacional e pode ser considerada uma alternativa para medidas de gerenciamento pelo lado da demanda, quando conectada aos alimentadores urbanos¹. Os painéis solares fotovoltaicos geram eletricidade a partir da luz do Sol por meio do efeito fotovoltaico. Essa geração ocorre de maneira estática, silenciosa, sem emissão de gases e os geradores podem ser integrados às edificações gerando energia elétrica próxima ao ponto de consumo.

As edificações comerciais são propícias à integração de painéis solares fotovoltaicos, pois os picos de demanda históricos das concessionárias responsáveis pelo abastecimento dessas regiões têm ocorrido no período diurno, causadas em grande maioria por cargas de ar condicionado. Observa-se que o elevado consumo de energia elétrica está diretamente ligado ao elevado nível de radiação solar, principalmente em dias de verão. Assim, é possível notar uma concomitância entre o consumo e a geração solar fotovoltaica (UFSC).

Por outro lado, as edificações, apresentam consumo energético significativo ao longo do dia, porém o maior consumo é verificado durante a noite, devido principalmente a demandas energéticas causadas por cargas de chuveiros elétricos. Neste caso, a geração solar fotovoltaica integrada a este tipo de edificação modelaria somente a curva de demanda do alimentador no horário em que há a ocorrência da geração solar, mas não seria possível modelar o pico de demanda que ocorre à noite (UFSC).

¹ Alimentador urbano – componente do sistema de distribuição em tensão primária com valores máximos operativos de 15 KV ou 24,5 KV e que alimenta diretamente, ou através de derivações primárias, os transformadores de distribuição ou consumidores (ANEEL, 2012).

Muitos são os países que incentivam por meio de políticas públicas a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, com o objetivo de reduzir as emissões de gases de efeito estufa ou complementar a sua matriz energética. O setor de transporte, no entanto, enfrenta ainda grandes desafios quanto à redução das emissões de CO₂, um dos principais gases de efeito estufa, emitidos pelos veículos com motor a combustão interna.

Há mais de um século o motor à combustão interna domina o setor de transporte e o surgimento dos veículos elétricos (VEs) no cenário mundial, com produção em série, pode contribuir na redução das emissões de gases de efeito estufa, desde que a energia elétrica utilizada para recarregar as baterias seja proveniente de fontes renováveis e não poluentes.

Os veículos elétricos (VEs) utilizam um motor elétrico em lugar do motor de combustão interna. O motor é alimentado pela energia armazenada em um banco de baterias, que pode ser recarregado ao ser conectado em uma tomada elétrica comum, residencial, comercial ou industrial. No passado o conceito de veículo elétrico teve várias tentativas de inserção no mercado automobilístico sem obter sucesso, apesar das suas vantagens sob o ponto de vista ambiental. Atualmente existe uma grande mobilidade no sentido de promover a sua utilização em grande escala em função da redução dos custos de produção e dos consideráveis avanços que esta tecnologia vem experimentando.

O veículo elétrico apesar de visto como uma solução ambiental, os efeitos sobre a poluição podem ser mistos, pois a redução nas emissões de poluentes no setor de transportes devido à inserção dos veículos elétricos poderá ser acompanhada pelo aumento das emissões devido à necessidade de elevação na produção de energia elétrica para suprir a nova demanda criada. Grande parte da produção mundial de CO₂ não sai do escapamento dos carros, mas das usinas termoelétricas a carvão, seguida do transporte e indústria (EIA, 2011).

É preciso também analisar o processo de carga dos veículos elétricos, para que não ocorram distorções na curva de carga do alimentador urbano e assim causando falha no correto dimensionamento do sistema elétrico.

Dessa forma, buscando eliminar a elevação do consumo energético dos alimentadores urbanos em decorrência da conexão dos veículos elétricos ao sistema e consequentemente a elevação da produção de CO₂ como explanado no parágrafo

anterior, nesta dissertação optou-se por analisar a contribuição e comportamento dos sistemas geradores solares fotovoltaicos isolados para carregamento dos veículos elétricos em residências ou comércios em grandes centros urbanos.

2. OBJETIVOS DO TRABALHO

2.1 Objetivo Principal

O objetivo deste trabalho é avaliar a interação de um sistema gerador solar fotovoltaico isolado e a capacidade desse sistema em carregar as baterias desses veículos elétricos ou híbridos. É também o objetivo analisar o potencial de geração de geradores solares fotovoltaicos instalados nas coberturas dos prédios da MTU do Brasil, que abrigam os usuários de um grupo de veículos (os quais poderiam ser elétricos ou híbridos).

2.2 Objetivo Específico

- Levantar a área de cobertura disponível nas edificações da MTU do Brasil, visando à integração de geradores solares fotovoltaicos, com tecnologia de silício policristalino (p-Si);
- Estimar o potencial de geração de geradores solares fotovoltaicos instalados nas áreas de cobertura disponíveis da MTU do Brasil;
- Estimar o número de veículos elétricos ou híbridos que podem ser utilizados como carga em função das características do sistema de geração fotovoltaico;

3. JUSTIFICATIVA

A crescente preocupação com as questões energéticas e ambientais proporciona motivação cada vez maior para utilização das chamadas tecnologias verdes, o que cria um cenário favorável aos geradores fotovoltaicos e veículos elétricos, uma vez que o uso destas tecnologias contribuirá para a redução das emissões de gases causadores de efeito estufa.

Diante desta perspectiva, este trabalho analisa o potencial energético dos geradores fotovoltaicos integrados às áreas de coberturas disponíveis em edificações que concentram um grande número de veículos, os quais poderiam ser veículos elétricos à bateria ou híbridos na recarga das baterias desses veículos estacionados nesses locais durante o período diurno.

No entanto, faz-se necessária uma avaliação do limite máximo de veículos que podem ser recarregados pelo gerador fotovoltaico, a fim de não ultrapassar o seu limite de carregamento.

4. ENERGIA SOLAR – PERSPECTIVA MUNDIAL E BRASILEIRA

As principais utilizações da energia solar no mundo são para o aquecimento de água e para a geração fotovoltaica de energia elétrica.

Quanto à aplicação da energia solar para o aquecimento de água, segundo informações do Atlas da Energia Elétrica do Brasil – 3^a Edição, durante muito tempo Israel foi o único país a exigir uma participação mínima de aquecimento de água a partir da energia solar. A partir de 2006, a Espanha assumiu postura semelhante e passou a exigir níveis mínimos de energia solar tanto para o aquecimento de água quanto para a geração de eletricidade em novas construções como prédios residenciais, hotéis e hospitais. (ANEEL A.)

Em 2007, a iniciativa foi acompanhada por países como Índia, Coréia do Sul, China e Alemanha. Os percentuais exigidos variam de 30% a 70%, dependendo do clima, nível de consumo e disponibilidade de outras fontes de energia. (ANEEL A.).

De acordo com dados do *Solar Heating and Cooling Programme*, da *International Energy Agency*, a capacidade instalada de coletores solares para aquecimento em operação no mundo, no fim de 2010, era de 195,8 GW, ou o equivalente a cerca de quatorze usinas hidrelétricas de Itaipu, cuja capacidade instalada é de 14 GW. No ano de 2009, o acréscimo de capacidade instalada foi de 36,5 GW, sendo que, desse total, 29,4 GW foram instalados na China. (IEA)

Tabela 1- Capacidade de aquecimento solar (MW) em operação no fim de 2010 no mundo (EIA, 2011).

Country	Water Collectors***			Air Collectors***		TOTAL [MW _e]
	unglazed	FPC	ETC	unglazed	glazed	
Albania		54.0	0.4			54.4
Australia	3,780.0	1,964.1	76.8			5,820.9
Austria	419.6	2,724.6	46.5	0.5		3,191.3
Barbados*		92.2				92.2
Belgium	32.8	198.7	22.9			254.5
Brazil	894.0	3,384.0				4,278.0
Bulgaria		32.3	0.5			32.7
Canada	459.5	33.4	12.9	214.6	3.2	723.7
Chile		19.7				19.7
China		9,448.3	108,151.7			117,600.0
Cyprus	2.4	626.9	6.9			636.1
Czech Republic	105.0	174.8	40.8			320.6
Denmark	14.4	365.3	5.7	2.3	12.6	400.2
Estonia		1.4	0.6			2.0
Finland	8.2	21.1	3.0			32.4
France ind. DOM	62.4	1,490.9	44.7			1,598.0
Germany	445.9	8,233.2	925.0		23.5	9,627.6
Greece		2,849.5	11.4			2,860.9
Hungary	5.7	83.8	21.1	0.6	0.2	111.3
India		2,413.2	365.8		11.4	2,790.4
Ireland	0.3	71.8	34.0			106.1
Israel	20.9	2,896.5		0.3		2,917.8
Italy	30.6	1,562.5	220.8			1,813.9
Japan		3,645.5	65.2		339.0	4,049.6
Jordan	4.2	538.3	153.0			695.5
Korea, South		1,096.4				1,096.4
Latvia		4.9	0.2			5.1
Lebanon**		243.8				243.8
Lithuania		3.0	0.2			3.2
Luxembourg		19.6	2.0			21.6
Macedonia*		17.5	0.5		0.003	18.0
Malta		22.5	7.9			30.4
Mexico	463.5	500.1	108.8		5.6	1,078.0
Morocco**		238.9				238.9
Namibia		14.5	0.9			15.4
Netherlands	277.5	283.4	7.0			567.9
New Zealand*	4.9	100.1	6.8			111.8
Norway	1.4	10.1	0.7		0.7	13.0
Poland		356.9	102.2			459.1
Portugal	1.7	512.2	13.8			527.7
Romania		65.8	11.2			77.0
Slovakia		84.5	10.5			95.0
Slovenia		105.5	9.1			114.6
South Africa	562.6	231.7	20.1			814.4
Spain	85.4	1,540.4	96.3			1,722.0
Sweden	98.0	171.5	39.9			309.4
Switzerland	149.0	521.6	35.1	606.9		1,312.6
Taiwan	0.1	1,379.2	52.8			1,432.1
Thailand*		64.0				64.0
Tunisia		319.3	23.5			342.8
Turkey		9,323.1				9,323.1
United Kingdom		307.8	87.5			395.3
United States	13,552.8	1,647.5	64.9	51.5		15,316.7
Uruguay*		8.5				8.5
Zimbabwe		12.6	0.2			12.7
TOTAL	21,482.7	62,132.6	110,911.7	825.2	447.8	195,800.0

*Capacidade total em operação refere-se ao ano de 2009

**Países recentemente incluídos em comparação com a edição de 2011 do relatório

***Se não há dados: nenhum banco de dados e confiáveis para este tipo de coletor

Relativamente à aplicação de painéis fotovoltaicos para geração de energia elétrica, segundo dados da (REN21) (*Renewable Energy Policy Network for the 21st Century*), em 2010, foram instalados, cerca de, 17 GW em painéis solares fotovoltaicos, dos quais 13,2 GW foram instalados na União Europeia, sendo que, apenas na Alemanha foram instalados 7,4 GW. No final do ano de 2010, a capacidade instalada de painéis fotovoltaicos no mundo era de aproximadamente 40 GW, ou cerca de três usinas hidrelétricas de Itaipu.

Tabela 2 - capacidade de geração elétrica através de painéis solares (MW) em operação no fim de 2011 no mundo (REN21)

COUNTRY	Added					Total				
	2007	2008	2009	2010	2011	2007	2008	2009	2010	2011
	(MW)				(GW)					
Germany	1,270	1,950	3,795	7,405	7,485	4.2	6.1	9.9	17.3	24.8
Italy	60	340	710	2,325	9,280 ¹	0.1	0.4	1.1	3.51	12.8
Japan	210	230	480	990	1,295	1.9	2.1	2.6	3.6	4.9
Spain	600	2,790	90	460	385	0.8	3.6	3.7	4.1	4.5
United States	205	340	475	890	1,855	0.8	1.2	1.7	2.5	4.0
China	20	40	160	500	2,140	0.1	0.2	0.3	0.9	3.1
France	15	60	185	820	1,635 ²	0.03	0.08	0.3	1.0	2.8
Belgium	25	80	520	420	975	0.03	0.1	0.6	1.0	2.0
Czech Republic	3	60	400	1,490	6	~ 0	0.06	0.5	2.0	2.0
Australia	6	12	80	390	775	0.05	0.06	0.1	0.5	1.3
Other EU	30	95	135	525	1,850	0.2	0.3	0.4	1	2.8
Other World	120	415	395	815	2,020	1.3	1.7	2.1	2.8	4.9
Total Added	2,530	6,330	7,435	16,815	29,665 ³					
World Total						9.4	15.8	23.2	40	70

Todo o crescimento da capacidade instalada de aquecedores solares de água e painéis fotovoltaicos no mundo é fortemente subsidiado. Nos diversos países onde há crescimento significativo do uso da energia solar, tanto fabricantes, quanto investidores contam com benefícios fiscais e incentivos nas tarifas de energia elétrica.

Na página 31, o Atlas Brasileiro de Energia Solar (INPE, 1996) informa que:

²Apesar das diferentes características climáticas observadas no Brasil, pode-se observar que a média anual de irradiação global apresenta boa uniformidade, com médias anuais relativamente altas em todo país. O valor máximo de irradiação global – 6,5 KWh/m²– ocorre no norte do estado da Bahia, próximo à fronteira com o estado do Piauí.

Essa área apresenta um clima semiárido com baixa precipitação ao longo do ano (aproximadamente 300 mm/ano) e a média anual de cobertura de nuvens mais baixa do Brasil. A menor irradiação solar global – 4,25 KWh/m² – ocorre no litoral norte de Santa Catarina, caracterizado pela ocorrência de precipitação bem distribuída ao longo do ano. Os valores de irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro (4200-6700 Wh/m²) são superiores aos da maioria dos países da União Europeia, como Alemanha (900-1250 Wh/m²), França (900-1650 Wh/m²) e Espanha (1200-1850 Wh/m²), onde projetos para aproveitamento de recursos solares, alguns contando com fortes incentivos governamentais, são amplamente disseminados.”.

Em análise ao texto descrito acima, é possível verificar que o aproveitamento da energia solar no território brasileiro, mesmo nas regiões menos favorecidas pela irradiação solar, deve mostrar-se vantajoso do ponto de vista econômico e técnico, uma vez que a região brasileira menos favorecida pela irradiação solar, o litoral norte do Estado de Santa Catarina apresenta irradiação solar global de 4.250 Wh/m², valor cerca de quatro vezes superior ao apresentado para o território da Alemanha, um dos países líderes mundial do setor de aproveitamento de energia solar.

² O texto original do trecho referenciado acima, há um erro na unidade dos valores, informados, entre parênteses, da irradiação global. A unidade correta seria o Wh/m² e não KWh/m², conforme informado no original. Optou-se por efetuar a correção na reprodução neste presente trabalho.

5. SOLARIMETRIA

É o estudo que se dedica à medição de parâmetros relativos à radiação solar. Esses parâmetros, tais como número de horas de sol em um dia, radiação difusa e radiação direta e em casos mais específicos a radiação em determinados comprimentos de onda, são usados para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos, aquecimento e outras áreas que necessitam de parâmetros de radiação solar na região em estudo.

A determinação da radiação solar é o primeiro passo para o dimensionamento correto de sistemas de geração elétrica por meio de geradores fotovoltaicos que possibilitem estimar, com precisão satisfatória, a quantidade de energia recebida e assim, dimensionar as instalações e equipamentos envolvidos no processo de geração de energia.

6. O SOL

O Sol é uma esfera gasosa brilhante, sustentada por sua própria gravidade e pelas forças geradas por reações nucleares que ocorrem no seu centro. Comparado com outras estrelas, em termos de massa, raio, brilho e composição química, o Sol está na faixa média de valores desses parâmetros.

Tabela 3 - Características gerais do Sol (UFRGS)

Massa	$M = 1,989 \times 10^{30} \text{ kg}$
Raio	$R = 695\,500 \text{ km} = 109 R_{\text{Terra}}$
Densidade média	1409 kg/m^3
Densidade central	$160\,000 \text{ kg/m}^3$
Distância	$1 \text{ UA} = 149\,600\,000 \text{ km}$
Luminosidade	$L = 3,9 \times 10^{26} \text{ watts} = 3,9 \times 10^{33} \text{ ergs/s}$
Temperatura efetiva	$T_{\text{ef}} = 5785 \text{ K}$
Temperatura central	$T_c = 15\,000\,000 \text{ K}$
Composição química principal (Nº)	Hidrogênio = 91,2 %
	Hélio = 8,7%
	Oxigênio = 0,078 %
	Carbono = 0,043 %
Período rotacional no equador	25,67 d

Os gases no interior solar (principalmente hidrogênio e hélio) encontram-se quase que completamente ionizados, pois estão submetidos à temperatura, pressão e densidade muito elevadas, as quais aumentam tanto quanto maior for à profundidade dentro do Sol. Assim, na região mais central as condições físicas propiciam as reações termonucleares de transformação do hidrogênio em hélio, liberando então grandes quantidades de energia na forma de fótons e movimentos térmicos.

Opticamente nós observamos apenas o contorno bem definido que é considerada a superfície solar, uma fina camada (espessura menor que 0,1% do raio do Sol) chamada fotosfera. No entanto, a estrutura interna do Sol pode ser representada por várias camadas, estabelecendo regiões sobre diferentes condições físicas, as quais estão demonstradas na Figura 1 - Camadas do Sol abaixo.

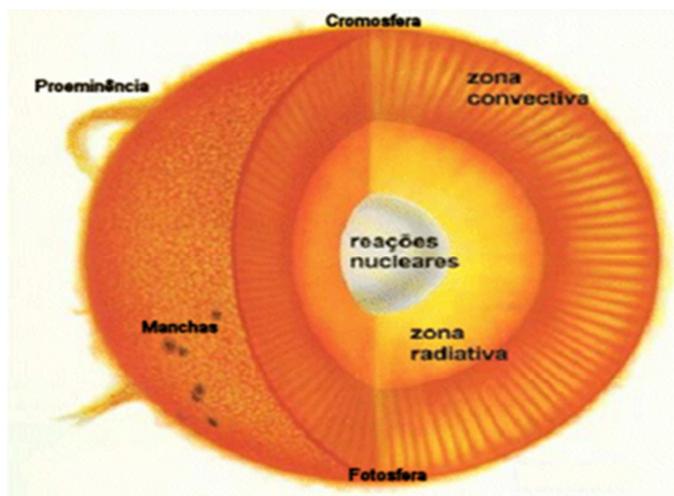


Figura 1 - Camadas do Sol (UFRGS)

A fotosfera é a superfície do sol onde o gás se torna suficientemente rarefeito para que os fótons provenientes do interior da estrela possam escapar para o espaço. No caso do Sol ela é a camada que é visível para nós e que tem uma temperatura de aproximadamente 6000° C. Ela tem a aparência de uma superfície cheia de grânulos, como ilustra a Figura 2 - Granulação fotosférica . Este fenômeno é chamado de granulação fotosférica. Os grânulos têm dimensões de 1000 a 5000 km e duram em torno de 10 minutos

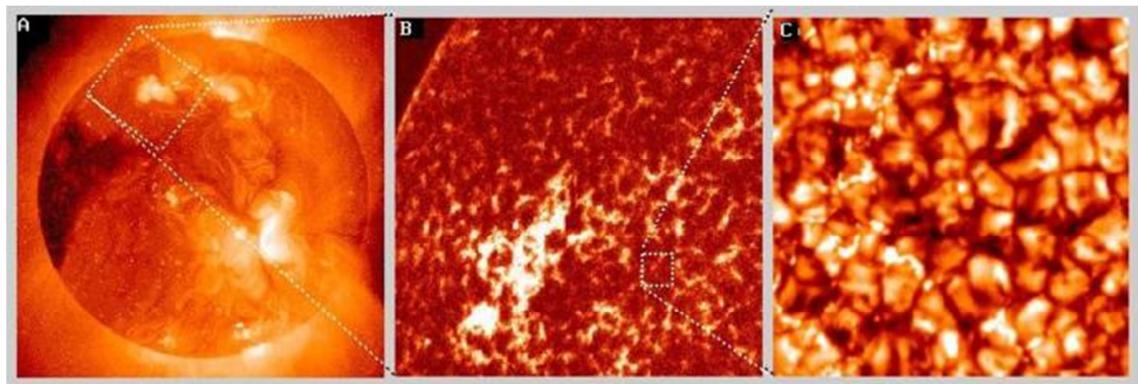


Figura 2 - Granulação fotosférica (UFRGS)

7. CONSTANTE SOLAR

A constante solar é o fluxo de radiação luminosa do Sol recebido no planeta Terra.

Essa constante é definida em energia por unidade de área e por unidade de tempo. Essa constante é apresentada em $J/m^2/s$ ou, simplesmente, W/m^2 . Seu valor, se medido fora da atmosfera da Terra com um piroheliômetro³ perfeito, seria de 1390 W/m^2 . Ou seja, uma área de um m^2 à distância em que se encontra a Terra do Sol recebe 1390 Joules de energia na forma de luz a cada segundo (UFRGS).

A constante solar varia, dependendo da época no ciclo de 11 anos, de 1364,55 a 1367,86 W/m^2 , como observado na Figura 3 (UFRGS). Segundo ABNT (1988), o valor adotado para verificação do rendimento de coletores solares planos é de 1353 W/m^2 .

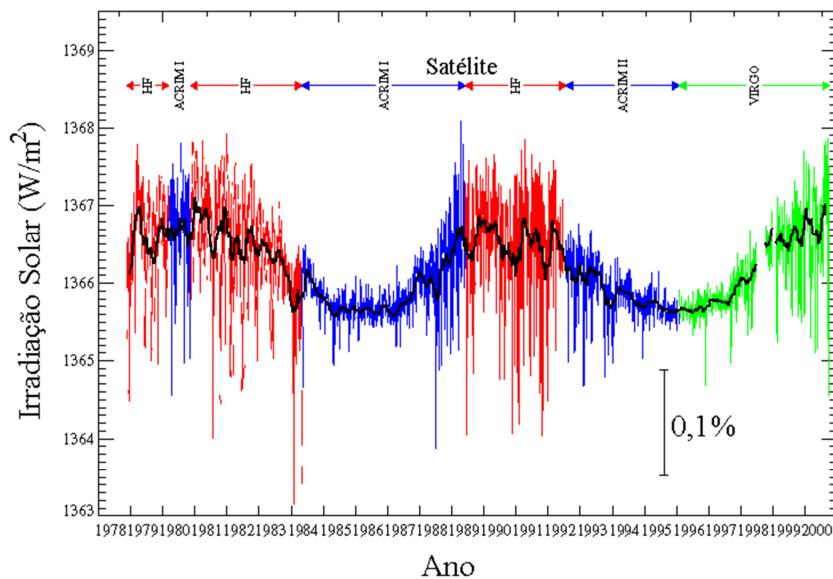


Figura 3 – Variação da irradiação solar ao longo dos anos (UFRGS)

³ Instrumento que mede a irradiação (W/m^2) que incide numa superfície plana perpendicular à incidência da radiação solar.

8. COMPONENTES PARA CÁLCULOS

Como já foi descrito anteriormente a irradiação solar que atinge a superfície da Terra não é constante variando ao longo dos anos e dos dias. Além destes fatores que alteram a radiação transmitida pelo sol, temos também de considerar fatores como a hora, posição do local em termos geográficos, latitude e longitude. Nos próximos itens são descritos variáveis indispensáveis para o dimensionamento de sistemas de geração elétrica ou aquecimento.

8.1 Latitude

Latitude é o ângulo entre o plano do equador à superfície de referência. A latitude mede-se para norte e para sul do equador, entre 90° sul, no Polo Sul e 90° norte, no Polo Norte.

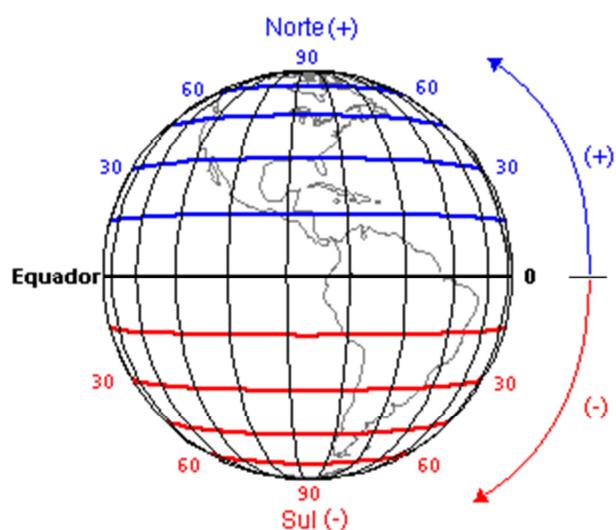


Figura 4 - Referências da latitude no globo terrestre (UFRGS)

8.2 Longitude

Longitude, algumas vezes representado pela letra grega λ (lambda) descreve a localização de um lugar na Terra medido em graus de 0° a 180° para leste ou para oeste a partir do primeiro meridiano. Diferentemente da Latitude, que tem o Equador como um marco inicial natural, não há uma posição inicial natural para marcar a Longitude. Portanto, um meridiano de referência tinha que ser escolhido. Enquanto os cartógrafos britânicos usavam o Meridiano de Greenwich há muito tempo, outras referências foram usadas como: Roma, Copenhague, Jerusalém, São Petersburgo, Pisa, Paris, Filadélfia e Washington. Em 1884 na International Meridian Conference foi adotado o Meridiano de Greenwich como primeiro meridiano mundial. (Wikipédia, 2008)

Cada grau de longitude é subdividido em 60 minutos, e estes em 60 segundos. Uma longitude é especificada no formato "graus° minutos' segundos". Caso a localidade esteja no Oeste põe-se um sinal negativo na frente da longitude. Ao invés de usar o sinal negativo, pode-se também usar as letras E W para indicar Leste e Oeste, respectivamente. (Wikipédia, 2008)

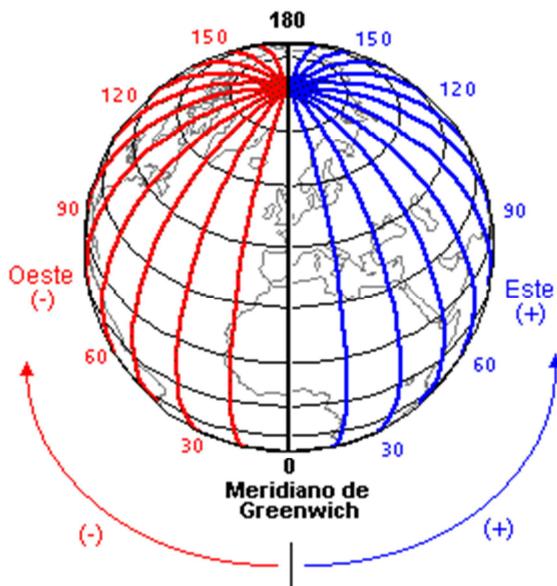


Figura 5 - Referências da longitude no globo terrestre (UFRGS)

8.3 Ângulo horário

Ângulo horário (H) é o ângulo medido sobre o equador, com origem no meridiano local e extremidade no meridiano onde se encontra o Sol. Varia entre -12h e +12h. O sinal negativo indica que o astro está a leste do meridiano, e o sinal positivo indica que ele está a oeste do meridiano. (UFRGS ASTRO)

O angulo horário pode ser obtido utilizando a equação 1 abaixo, onde HS é a hora solar.

$$\text{Equação 1} - H = (HS - 12) * 15$$

$$-180 \leq \text{o} \leq 180^\circ \text{ manhãs } < 0 \text{ tardes } > 0$$

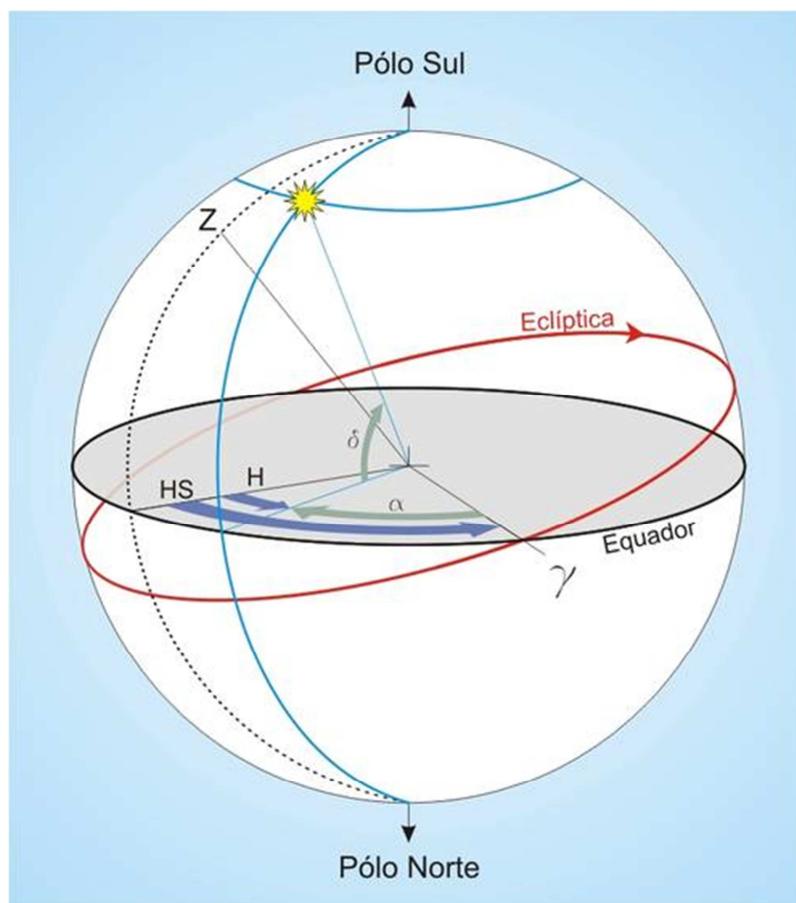


Figura 6 – Apresentação gráfica do ângulo horário (UFRGS ASTRO)

8.4 Hora solar, hora solar média e hora legal

A hora solar é o ângulo horário H (ângulo medido sobre o equador, desde o meridiano local até o meridiano onde se encontra o Sol). Como o ângulo horário é diferente para diferentes locais, já que o zênite⁴ muda a hora solar muda de local para local. (UFRGS ASTRO)

Hora solar média é o ângulo horário do centro do sol médio. O sol médio é um sol fictício, que se move ao longo do Equador celeste (ao passo que o Sol verdadeiro se move ao longo da Eclíptica⁵), vide Figura 6 – Apresentação gráfica do ângulo horário , com velocidade angular constante, de modo que os dias solares médios são iguais entre si (ao passo que os dias solares verdadeiros não são iguais entre si porque o movimento do Sol na eclíptica não tem velocidade angular constante). Mas o movimento do Sol na eclíptica é anualmente periódico, assim o ano solar médio é igual ao ano solar verdadeiro. (UFRGS ASTRO)

Hora legal é a hora solar média acrescida de 12 hr, isto é, usa como origem do dia o instante em que o sol médio passa pelo meridiano inferior do lugar. A razão da existencia da hora legal é não mudar a data durante as horas de maior atividade da humanidade nos ramos financeiros, comerciais e industriais, o que acarretaria inúmeros problemas para a sociedade moderna. (UFRGS ASTRO)

8.5 Equação do tempo

A equação do tempo é a diferença entre a hora solar e a hora solar média (Equação 2).

$$\text{Equação 2} - ET = H_{\text{Solar}} - H_{\text{Solar média}} = \alpha_{\text{Solar}} - \alpha_{\text{Solarl média}}.$$

⁴ Zênite em astronomia, é o termo técnico (também usado em trigonometria) que designa o ponto (imaginário) interceptado por um eixo vertical (imaginário) traçado a partir da cabeça de um observador (localizado sobre a superfície terrestre) e que se prolonga até a esfera celeste. O ponto (sobre a esfera celeste) traçado por um eixo vertical de sentido oposto recebe o nome de nadir.

⁵ A eclíptica é o plano da órbita da Terra ao redor do Sol, ou a órbita descrita neste plano. A razão do nome provém do fato que os eclipses somente são possíveis quando a Lua está muito próxima deste plano.

Seu maior valor positivo é cerca de 16 minutos e seu maior valor negativo é cerca de 14 minutos. Esta é a diferença entre o meio dia verdadeiro (passagem meridiana do Sol), e o meio dia do Sol médio. Quando se faz a determinação da longitude de um local pela medida da passagem meridiana do Sol, se não for corrigido a hora local do centro do meridiano pela equação do tempo, poderá ser introduzido um erro de até 4 graus na longitude. (UFRGS).

A equação do tempo é o resultado da combinação do efeito da excentricidade da órbita terrestre com a inclinação do eixo de rotação da Terra em relação à eclíptica. Em termos práticos, a equação do tempo reflete a diferença entre a hora marcada por um relógio solar, isto é a hora estimada a partir da posição do Sol no firmamento, ou tempo solar aparente, e a hora sideral (ou a hora legal), determinada pelo tempo solar médio. (Wikipédia, 2008)

8.6 Ângulo diário

O ângulo diário é um ângulo utilizado para nos indicar a posição da terra no plano elíptico, este valor vai de 0° para o dia 1 de Janeiro, dia Juliano número 1, e de 360° para o dia 31 de Dezembro, dia Juliano número 365.

Este ângulo é obtido através da equação 3 onde D_n é o numero do dia no ano.

$$\text{Equação 3} - A = 2\pi/365 \cdot (D_n - 1) \text{ em radianos}$$

O numero do dia é obtido através da equação 4 abaixo, onde Cor é uma correção

$$\text{Se } \text{Mes} \leq 2 \rightarrow \text{Cor} = \text{Int}(\text{Mes}/2)$$

$$\text{Se } 2 < \text{Mes} \leq 8 \rightarrow \text{Cor} = (\text{Int}(\text{Mes}/2) - 2)$$

$$\text{Se } \text{Mes} > 8 \rightarrow \text{Cor} = (\text{Int}(\text{Mes}/2 + 1/2) - 2)$$

$$\text{Equação 4} - D_n = \text{Dia} + (\text{Mês} - 1) * 30 + \text{Cor}$$

8.7 Declinação Solar

O movimento da Terra em torno do sol que segue uma trajetória elíptica, este movimento dá origem às estações do ano, tal como se pode ver na Figura 7 – Plano elíptico do planeta Terra

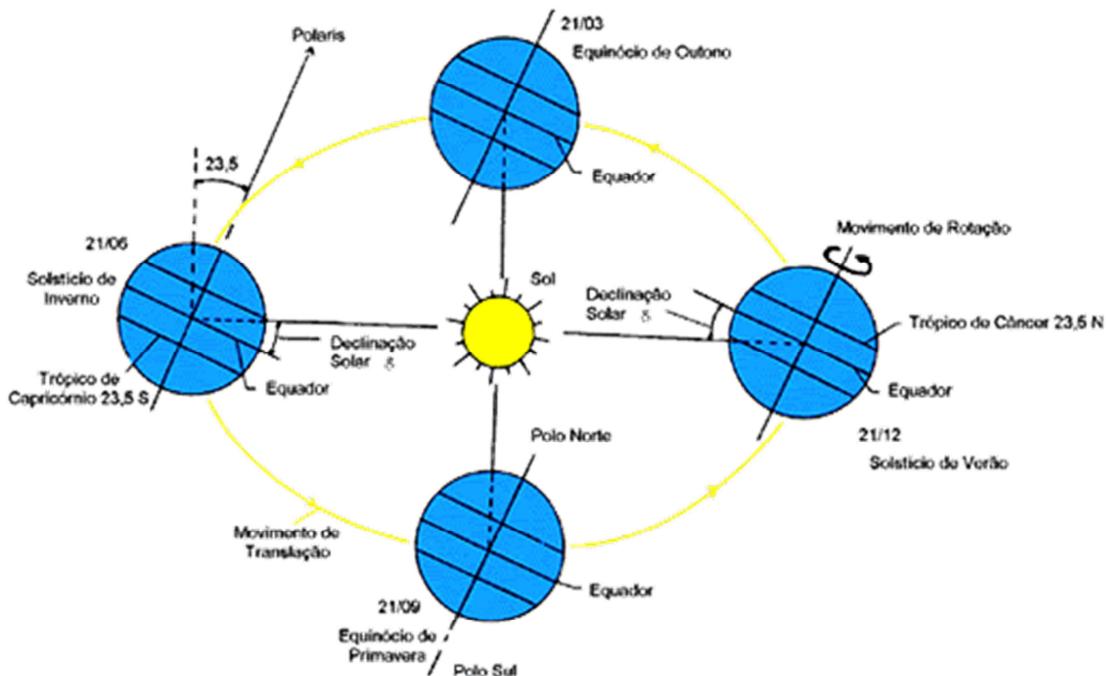


Figura 7 – Plano elíptico do planeta Terra (UFRGS ASTRO)

Na imagem está representado o eixo polar, este eixo é medido entre a linha imaginária que atravessa os polos e outra linha normal ao plano elíptico.

Para além da rotação da terra no plano elíptico, existe também uma rotação em volta do eixo polar. Esta rotação provoca as alterações diárias da incidência solar. Do mesmo modo este eixo é o responsável pelas diferenças que se verificam nas estações do ano.

A terra está mais próxima do sol no Inverno e no verão, que são representados como a fase de solstícios e o outono e primavera são representados como a fase de equinócio onde o sol incide verticalmente no equador, porém nesse momento a Terra encontra-se mais distante do Sol.

A inclinação do eixo polar é sempre constante e igual a $23,45^\circ$ em relação ao equador. Se tomarmos como ponto de referência fixa um ponto no hemisfério sul o período de solstício de 21 de Junho a 21 de Setembro faz com que no Inverno a radiação

que atinge o hemisfério Sul seja mais obliqua atravessando mais atmosfera, o que faz com que tenhamos inverno no hemisfério sul em contrapartida nesse mesmo período no hemisfério norte a radiação que atinge o hemisfério norte é mais direta, o que faz a radiação atravessar menos atmosfera, o que faz com que tenhamos o verão no hemisfério norte.

Tal como a inclinação do eixo polar é constante o mesmo se pode dizer se considerarmos um eixo equatorial. No entanto o ângulo formado entre o plano equatorial e a linha que une o centro do sol ao centro da terra varia de dia para dia, sendo este ângulo denominado de declinação solar.

Esta definição de declinação solar é um pouco confusa quando explicada em texto, de modo que se vai proceder a uma explicação mais visual.



Figura 8 – Movimento aparente do Sol, esfera celeste e ângulo de declinação.

Para uma explicação mais gráfica vamos colocar a Terra no centro, estando o Sol girando em volta da terra, desenhando a esfera celeste. Com estas posições podemos desenhar dois planos que poderão ser vistos na Figura 8 – Movimento aparente do Sol, esfera celeste e ângulo de declinação.

Os polos da esfera celeste correspondem aos pontos de intercepção entre a linha que une os polos terrestres com a esfera celeste. A partir desta linha é possível desenhar o plano equatorial celeste. Inserido na imagem está o plano equatorial do Sol, para relembrar que é o plano que corresponde ao movimento aparente do sol. O plano equatorial do Sol demora um ano a ser percorrido pelo Sol, deste modo podemos reparar que a cada dia que passa o ângulo formado entre a união do centro da Terra ao centro do Sol com a linha entre o centro da Terra e o plano equador celeste varia ao longo do ano. A este ângulo denomina-se declinação solar.

A declinação solar varia entre $-23,5^\circ$, no solstício de Inverno e $23,5^\circ$, no solstício de verão.

Os valores da declinação solar podem ser consultados em tabelas disponíveis nos mais variáveis meios, no entanto é possível o seu cálculo através da equação 5 abaixo.

$$\text{Equação 5} - \delta = 23,45 * \text{Sin}(360 / 365 * (284 + D_n))$$

$$-23,45 \leq \delta \leq 23,45 \text{ N} > 0$$

8.8 Azimute da superfície

O angulo Azimute (A) é o ângulo medido sobre o horizonte, no sentido horário (NLSO), com origem no Norte geográfico e extremidade no círculo vertical do astro. O azimute varia entre 0° e 360° . (UFRGS).

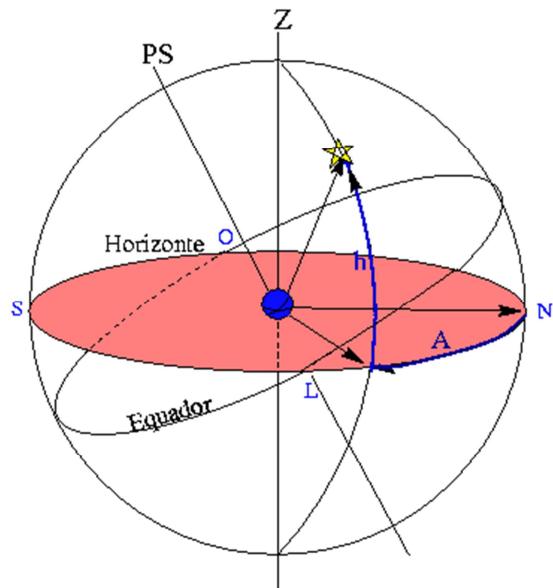


Figura 9 – Representação gráfica do ângulo azimute e Ângulo Zenital (UFRGS)

8.9 Ângulo Zenital

A Altura (h) é o ângulo medido sobre o círculo vertical do astro, com origem no horizonte e extremidade no astro. A altura varia entre -90° e $+90^\circ$. O complemento da altura se chama distância zenithal (z). Assim, a distância zenithal é o ângulo medido sobre o círculo vertical do astro, com origem no zênite e extremidade no astro. A distância zenithal varia entre 0° e 180° ($h + z = 90^\circ$). (UFRGS)

8.10 Posição solar sobre uma superfície horizontal

A quantidade de radiação que atinge um ponto na Terra depende muito da posição solar, como já foi dito, esta posição depende no dia e da hora.

O sistema mais utilizado para a posição do Sol relativamente a um observador na Terra é o sistema horizontal. Este sistema horizontal baseia-se numa esfera celeste em que no centro dessa esfera encontra-se o observador, Figura 10 – Posição do observador em uma esfera celeste.

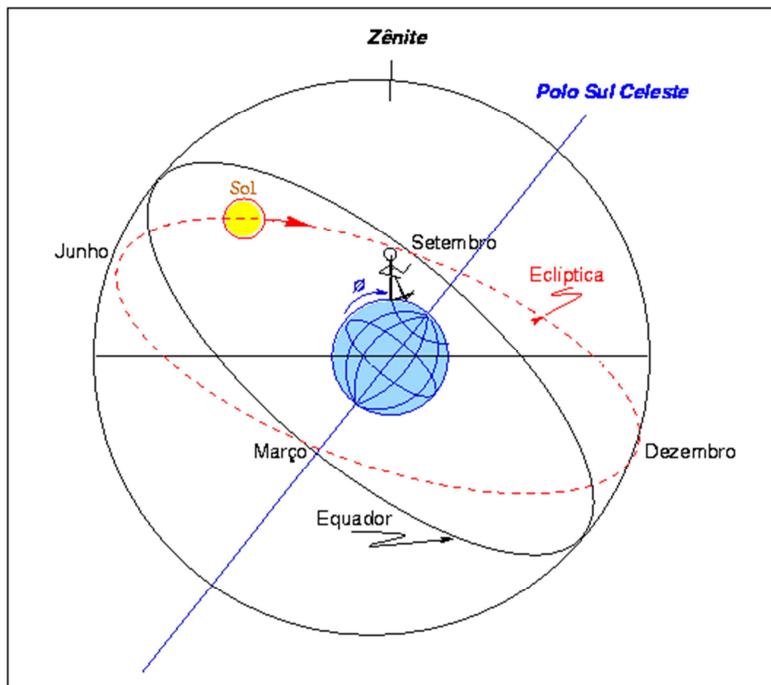


Figura 10 – Posição do observador em uma esfera celeste (UFRGS)

A posição do observador sobre a esfera celestial é chamada de Zênite local, este ponto encontra-se traçando uma linha normal a Terra na posição do observador, do outro lado dessa linha temos o nadir⁶ local. O horizonte do observador, horizonte celestial do observador é desenhado tendo como centro a Terra e com o auxílio do eixo celestial da Terra, linha que une o Zênite ao nadir, que é normal ao plano do horizonte celestial. Na esfera celestial é possível fazer o desenho do equador celeste, este equador é traçado pela linha do equador da Terra, ou então a colocação do polo norte e polo sul celestial que dá origem a linha eixo celestial da Terra normal a esse equador. A ter em atenção que a Terra encontra-se no centro do equador celeste.

Visto sobre uma superfície horizontal é mais fácil compreender este sistema, Figura 10 – Posição do observador em uma esfera celeste, no entanto é necessário fazer o esquema anterior antes de passar para um plano horizontal. De fazer notar que este sistema não igual para todas as posições do observador, muito pelo contrário já que cada posição do observador dá lugar a uma esfera celestial diferente.

⁶ Em astronomia e Geografia nadir é o ponto inferior da esfera celeste, segundo a perspectiva de um observador na superfície do planeta.

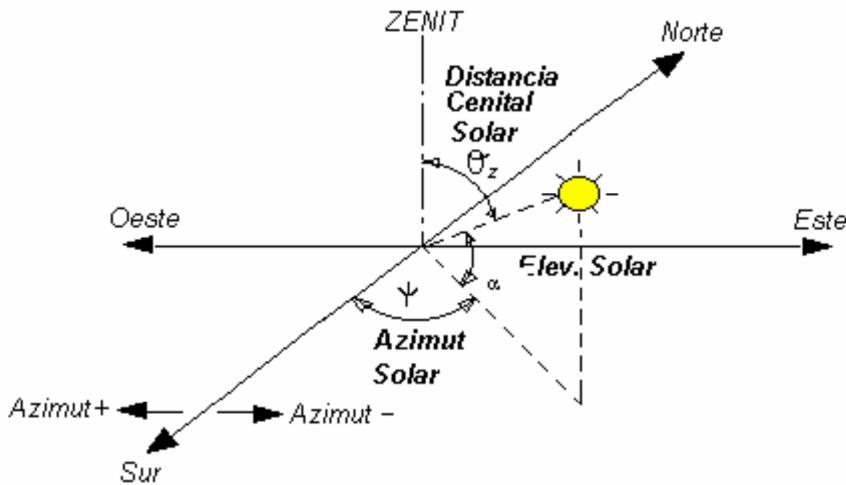


Figura 11 – Diagrama para cálculo da posição solar sobre uma superfície horizontal

Com base na Figura 11 – Diagrama para cálculo da posição solar sobre uma superfície horizontal é possível calcular a posição do sol a partir da posição de um observador com latitude Φ , e com ângulo horário H . Deste modo temos as seguintes expressões.

$$\text{Equação 6} - \alpha = \arcsen(\sin(\delta) * \sin(\phi) + \cos(\delta) * \cos(\phi) * \cos(\omega)) \text{ (°)}$$

$$\text{Equação 7} - \theta = \arccos(\sin(\delta) * \sin(\phi) + \cos(\delta) * \cos(\phi) * \cos(\omega)) = 90 - \alpha \text{ z (°)}$$

$$\text{Equação 8} - \psi = \arccos(\sin(\alpha) * \sin(\theta) - \sin(\delta) / \cos(\alpha) * \cos(\theta))$$

Pela convenção de sinais utilizados anteriormente temos que durante a manha, $\omega < 0$, $\psi = -\psi$.

A partir destes dados é possível realizar o cálculo do ângulo de saída do sol, da duração do dia, a hora do amanhecer e a hora do por do Sol, valores que são importantes, pois indicam o tempo em que haverá exposição solar.

O ângulo de saída do sol, ω_s , é calculada já que nesse momento a elevação solar é 0. Deste modo, utilizando a expressão.

$$\text{Equação 9} - \cos(\omega_s) = -\tan(\Phi) \tan(\delta)$$

Este valor é sempre negativo uma vez que o amanhecer é sempre de manhã e tal como foi dito, o ângulo horário é sempre negativo da manhã e positivo de tarde.

A partir destes valores e sabendo que quando ω_s é 0 o sol está no seu meio-dia solar, é possível calcular a amplitude do dia (So) através da fórmula abaixo.

$$\text{Equação 10} - So = 2 \cdot (-\omega_s)$$

Com estes três valores é possível, em hora solar, saber a hora do nascer do sol, por do Sol e o tempo em horas que o sol demora desde que nasce até que se põe. Para isso temos de transformar os ângulos em horas do seguinte modo.

$$\text{Equação 11} - H_{nascer} = 12 + \omega_s/15$$

$$\text{Equação 12} - H_{por} = 12 - \omega_s/15$$

O dia solar tem a duração de

$$\text{Equação 13} - So = H_{por} - H_{nascer}$$

8.11 Posição solar sobre uma superfície inclinada

Após o cálculo efetuado é possível calcular a posição do sol numa superfície inclinada e orientada, para tal temos de inserir dois ângulos novos, o ângulo de inclinação da superfície β , e o ângulo de orientação ε .

Na Figura 12 - Diagrama para cálculo da posição solar sobre uma superfície inclinada podemos ver um esquema no plano horizontal de uma superfície inclinada e orientada.

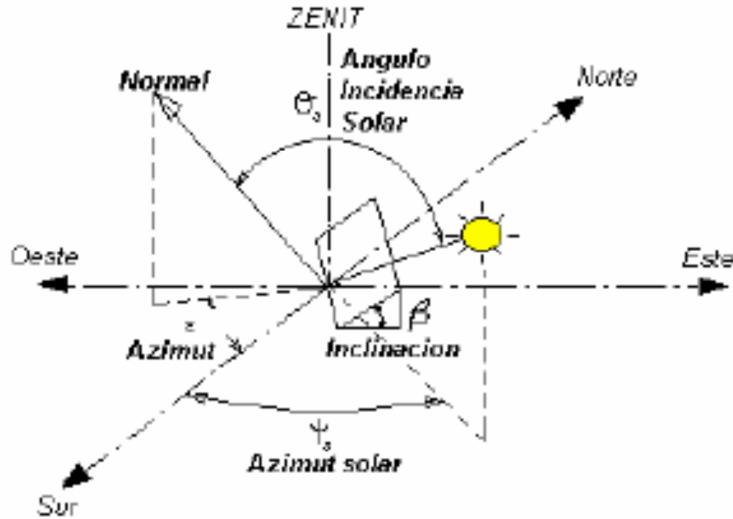


Figura 12 - Diagrama para cálculo da posição solar sobre uma superfície inclinada

Para este cálculo é necessário em primeiro lugar traçar a normal à superfície, o ângulo de incidência e o azimute vão ser calculados a partir dessa normal. A partir dessa normal temos as seguintes equações para os ângulos em causa.

Primeiro para o ângulo de incidência, θ_s .

$$\text{Equação 14} - \cos(\theta) = \sin(\delta) \sin(\Phi) \cos(\beta) - \sin(\delta) \cos(\Phi) \sin(\beta) \cos(\gamma) + \cos(\delta) \cos(\Phi) \cos(\beta) \cos(\omega) + \cos(\delta) \sin(\Phi) \sin(\beta) \cos(\gamma) \cos(\omega) + \cos(\delta) \sin(\beta) \sin(\gamma) \sin(\omega)$$

Ângulo zenithal

$$\text{Equação 15} - \cos \theta_z = \sin(\delta) \sin(\Phi) + \cos(\delta) \cos(\Phi) \cos(\omega)$$

Ângulo de Incidência para face SUL $\gamma = 0^\circ$

$$\text{Equação 16 - } \cos(\theta) = \cos(\Phi - \beta) \cos(\delta) \cos(\omega) + \sin(\Phi - \beta) \sin(\delta)$$

Ângulo de Incidência para face NORTE $\gamma = 180^\circ$

$$\text{Equação 17 - } \cos(\theta) = \cos(\Phi + \beta) \cos(\delta) \cos(\omega) + \sin(\Phi + \beta) \sin(\delta)$$

Para o calculo inicia-se pelo azimute para uma superfície inclinada orientada a sul, após isso adicionamos ou subtraímos o azimute do painel, se estiver orientado a oeste subtraímos e se estiver orientado para este somamos.

Para a superfície orientada a sul o seu azimute é o azimute solar, tal como foi calculado para uma superfície horizontal. Depois de adquirido esse valor é necessário efetuar a soma ou subtração tal como foi escrito acima.

9. COMPONENTES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Os principais componentes de um sistema de conversão de energia solar em energia elétrica são:

- a) Painel fotovoltaico: É o elemento conversor de energia que absorve a energia emitida pelo Sol em forma de luz transformando em corrente contínua;
- b) Controlador de carga: elemento de segurança, evita sobrecarga do banco de baterias;
- c) Banco de baterias: Elementos que armazenam a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos;
- d) Inversor ou conversor de frequência: Componentes que transforma a corrente contínua (CC) dos bancos de bateria em corrente alternada (CA);
- e) Conversor CC – CC: Componente que aumenta ou reduz um determinado nível de tensão CC

9.1 Painéis Fotovoltaicos

Os painéis fotovoltaicos são placas constituídas de células fotovoltaicas é um dispositivo que transforma a radiação eletromagnética emitida pelo Sol em energia elétrica por meio do efeito fotoelétrico⁷. É compreendida como um dispositivo semicondutor que produz corrente elétrica, quando exposta à luz.

Células Fotovoltaicas são produzidas com base em diversos elementos químicos, disposições construtivas, formas e dimensões variadas. Quando interligadas, formam

⁷ Efeito fotoelétrico – Descoberto pelo físico francês Edmond Becquerel, em 1839.

um módulo, que por sua vez combinados constituem sistemas de diferentes tamanhos e configuração, fornecendo energia elétrica em seus terminais de saída.

O material mais utilizado na construção das células é o silício, segundo elemento mais abundante no Planeta Terra. Sendo assim, têm-se três tipos de células, desse material, disponíveis no mercado:

- Células de silício monocristalinas;
- Células de silício policristalinas;
- Células de silício amorfo;

Os painéis monocristalinos são assim chamados, pois as células que os constituem são fabricadas a partir de seccionamentos de uma só peça de cristal de silício.

O rendimento normal dos painéis monocristalinos é de cerca de 16%, no entanto em laboratório é possível chegar aos 23%.

Este tipo de células a partir de um único cristal de silício são mais caros, porque produzir este tipo de cristais requer alta tecnologia e um gasto energético elevado. Apesar disso tendo em conta a sua maior eficiência, e a sua vida útil longa (superior a 25 anos) a aplicação desses painéis, pode oferecer mais rentabilidade do que a aplicação de painéis mais baratos e menos eficientes.

É fácil reconhecer os monocristalinos porque são mais finos que os policristalinos e costumam ter uma cor azul escuro.



Figura 13 - Painel monocristalino (Uniblog)

Os painéis policristalinos são assim chamados, pois as células que os constituem são fabricadas a partir de um processo menos rigoroso do que os monocristalinos em que as células são feitas a partir de vários cristais.

O rendimento normal dos painéis policristalinos é de cerca de 12%, no entanto em laboratório é possível chegar aos 18%, rendimento inferior ao alcançado pelos painéis monocristalinos.

Este tipo de células produzidas a partir de vários cristais de silício são mais baratas de produzir, o que as tornam a escolha preferencial de muitos consumidores.

Pela forma como são produzidos costuma ter uma cor mais irregular e serem mais grossos.



Figura 14 - Painel Policristalino (Uniblog)

As células de silício amorfo são as que apresentam o custo mais reduzido, mas em contrapartida o seu rendimento elétrico é também o menor entre os tipos de painéis fotovoltaicos disponível no mercado (aproximadamente 8% a 10%, ou 13% em laboratório).

As células de silício amorfo pela forma como são produzidos costumam ter uma cor marrom escura e são películas muito finas, o que permite serem instaladas de diversas formas.



Figura 15 - Painel Amorfo (Uniblog)

Além das células produzidas a partir do silício, existem também as células produzidas de Gálio Arsênico (GaAs). Esse composto é utilizado para a produção das células fotovoltaicas de alta eficiência, usado especialmente na tecnologia espacial. As células ensaiadas em laboratório chegam a atingir eficiência entre 25% e 28%, porém esse tipo de célula possui um custo muito elevado.

Outro tipo de tecnologia existente é a de película fina de cobre Índio Desileno (CulnSe2, ou CIS). A célula relativa a este caso é composta por um filme fino de material policristalino, que experimentalmente chega a 17% de eficiência. Módulos de grandes dimensões atingem 11% (Portal das Energias Renováveis)

9.2 Controlador de carga

O controlador ou regulador de carga é o componente do sistema fotovoltaico responsável pela manutenção da vida útil dos bancos de baterias, que são uns dos componentes com maior valor agregado do sistema.

A função do controlador ou regulador de carga é de proteger as baterias de serem sobrecarregadas, ou descarregadas profundamente, e assim garantir, que toda a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos, é armazenada com maior eficácia nas baterias.

Os controladores de carga possuem recursos que informam permanentemente sobre o estado de carga do sistema e alertam o usuário para que este possa adaptar e monitorar a instalação às suas necessidades particulares, aumentando assim o tempo de vida útil das baterias.

Os reguladores de carga utilizam-se principalmente em sistemas isolados da rede, compostos por módulos fotovoltaicos, ligados a um regulador de carga, que por sua vez está ligado a baterias para alimentação.

Os reguladores de carga devem ser seleccionados tomando-se a atenção às características do sistema fotovoltaico utilizado e as características de tensão e corrente envolvidas no sistema solar fotovoltaico. (Portal Energia)



Figura 16 - Regulador ou controlador de Carga (MPPTSOLAR)

9.3 Banco de Baterias

As baterias são os elementos armazenadores de energia. A partir destes, é possível alimentar as cargas em condições nas quais não ocorre a produção de energia nos painéis solares. Este fato acontece, por exemplo, à noite, ou durante o dia, quando o clima está chuvoso ou nublado. As baterias são classificadas em primárias e secundárias.

As baterias primárias são aquelas que não podem ser recarregadas através da aplicação de uma corrente elétrica em seus terminais. Para os sistemas fotovoltaicos são utilizadas as secundárias (A.P.L.J.CUNHA, 2006), e em relação ao tipo de bateria utilizada, opta-se pelas baterias estacionárias (ou baterias de ciclo profundo). Ao contrário das baterias automotivas, as baterias estacionárias podem operar com ciclos diários de carga e descarga profundos, sem que se danifiquem. (SOLENERG)



Figura 17 - Banco de baterias estacionárias (ANTUSOL)

9.4 Inversor ou conversor de Corrente – CC/CA

O inversor, ou conversor CC-CA, é o dispositivo responsável pela conversão de grandezas de corrente contínua (CC), que se encontram na saída do painel solar, em grandezas de corrente alternada (CA). Este tipo de conversão é necessário, já que a maioria dos equipamentos elétricos atuais é alimentada por tensão CA. O controle deste dispositivo é, geralmente, realizado via modulação por largura de pulso PWM. (L.R.OSIS, 2007)

É importante saber que os inversores devem fornecer um sinal adequado para que o funcionamento dos equipamentos alimentados não seja afetado e também evitar que o sistema fotovoltaico quando estiver conectado à rede elétrica, a qualidade da tensão a ser fornecida pelo sistema fotovoltaico não seja prejudicada. (L.R.OSIS, 2007)



Figura 18 - Inversor ou conversor de corrente (WEG)

9.5 Conversor CC/CC

A utilização dos conversores CC/CC, tem a função de elevar ou reduzir um determinado nível de tensão CC. Existe aplicação de sistemas fotovoltaicos que não utilizam inversores de corrente CC/CA, já que as cargas que o usuário irá utilizar funcionam somente com CC. Essa aplicação ocorre principalmente em zonas rurais, onde, em alguns casos, a energia solar substitui pilhas e ou baterias que alimentam aparelhos como rádios, televisores portáteis, etc. (A.P.L.J.CUNHA, 2006)



Figura 19 - Conversores CC/CC (Siemens)

10. CARRO ELÉTRICO – PERSPECTIVA MUNDIAL E BRASILEIRA

As pesquisas com a propulsão elétrica de veículos já existem desde o final do século XIX, quando se desenvolviam também os sistemas de motores de combustão interna e a vapor. Como os combustíveis líquidos do petróleo tinham um preço muito acessível e a infraestrutura de distribuição da energia elétrica ainda era precária, o seu uso em automóveis e demais veículos rodoviários não foi buscada em escala industrial, ficando restrito a transportes como bondes, trens e metrôs. Só com a crise do petróleo na década de 70 e com a conscientização ambiental a partir dos anos 80, a solução elétrica voltou a ser considerada para os veículos leves.

Atualmente, a discussão sobre veículos acionados por motores elétricos como o ilustrado na Figura 20 - Carro elétrico em abastecimento é destaque em praticamente todos os eventos do setor automotivo. A história recente dos veículos elétricos começou na ultima década do século XX, através de iniciativas independentes no Japão, na França e nos EUA, especialmente no estado da Califórnia.



Figura 20 - Carro elétrico em abastecimento (Jornale)

No mundo atualmente um contingente entre 9 milhões e 14 milhões de veículos elétricos estarão em circulação no mundo até 2026. Mas uma pesquisa, realizada com

200 executivos do mercado automotivo mundial entre agosto e outubro de 2011, aponta que a maior parte dos entrevistados, cerca de 65%, mostra que hoje em dia a melhor solução é o veículo híbrido. Na China e no Japão, 33% e 46% dos entrevistados, respectivamente, acreditam que carros elétricos serão populares até 2025. (KPMG, 2012)

No Brasil o tema só começou a ganhar algum espaço depois que o governo Obama apostou na nova tecnologia em 2009 com o tríplice objetivo de diminuir a dependência do petróleo, reduzir emissões e fazer dessa uma novidade capaz de alavancar a economia norte-americana após a crise econômica de 2008. A imprensa brasileira passou a falar mais regularmente sobre os VE's e as autoridades de governo envolvidas começaram a se manifestar, mas com poucos avanços e muitos desencontros.

Não obstante, importantes montadoras já oferecem no mercado os primeiros VEH (Ford, Mercedes e Nissan) e VEB (Fiat, Renault e Mitsubishi). Pela pequena escala o objetivo dessas montadoras no curto prazo é, visivelmente, o de marcar posição de pioneirismo no mercado Brasileiro.

Com a globalização, essa tendência vai se reforçar e o Brasil vai entrar nesta era com tecnologias que já começam a ser sedimentadas no exterior.

Seguindo projeções estima-se que em 2021 cerca de 30% dos novos carros vendidos no Brasil sejam elétricos, híbridos ou a bateria. A penetração ocorrerá inicialmente feita com os VEH, seguidos dos VEHP e, em seguida, os VEB. (ABVE, 2011)

10.1 Carro elétrico como solução de transporte em centros urbanos

Os VEH não são somente utilizados em modelos de passeio, mas também em outros meios de transporte como ônibus, locomotivas, caminhões, entre outros.

A situação do tráfego em grandes centros urbanos é cada vez mais caótica, tendo em vista que é nela que está concentrada a maior frota de carros e que o número de automóveis em circulação é elevado a cada dia, o que provoca aumentos sucessivos nos índices de congestionamento.

Para tentar diminuir os índices de congestionamento e de poluição, uma das medidas adotadas por grandes cidades é adoção do programa de restrição ao trânsito de veículos automotores conhecidos como rodízio de veículos.

O trânsito na cidade de São Paulo por exemplo é crítico devido ao excesso de veículos e à má qualidade do transporte público. A população deixa de utilizar os transportes públicos que são de má qualidade e onerosos e buscam no uso do carro conforto e rapidez

Por conta dessa situação, são licenciados cerca de 800 veículos diariamente no município de São Paulo, contribuindo para o aumento da frota de veículos da cidade de São Paulo, que atualmente é de 7.391.554 unidades (DETAN, 2013)

A poluição atmosférica em grandes centros urbanos como ilustrado na Figura 21 - Poluição Atmosférica é proveniente em grande parte, dos veículos automotores. Os veículos automotores provocam continuamente a formação de poeiras, constituídas por gases, nocivos à população, tais como óxidos de carbono, óxido de enxofre, óxidos de nitrogénio, hidrocarbonetos e partículas sólidas.



Figura 21 - Poluição Atmosférica

O veículo elétrico ou híbrido pode ser uma solução viável para grandes centros urbanos na busca em reduzir os níveis de poluição de seu meio ambiente utilizando-o em certos nichos do mercado de transporte como, por exemplo, no transporte de passageiros em centros urbanos, frota de serviços, serviços de distribuição postal e logística de distribuição urbana, além é claro do uso individual, para aqueles usuários que utilizam o veículo diariamente em curtas distâncias.

10.2 Tecnologia dos veículos híbridos e elétricos

Os Veículos Híbridos Elétricos combinam os benefícios dos veículos com motor de combustão interna e os benefícios dos motores eléctricos e podem ter diferentes arquiteturas de modo a se atingir vários objetivos, como uma diminuição do consumo de combustível ou o aumento de potência, podendo estes veículos ser de emissão-zero na cidade e, em estrada, utilizar uma combinação motor térmico/eléctrico e/ou motor térmico.

O princípio da tração híbrida corresponde à associação de duas fontes de energia, embarcadas no veículo, para o fornecimento da energia necessária à tração. Uma das fontes é uma bateria que pode armazenar a energia elétrica e restituí-la ao motor elétrico. A outra fonte é um reservatório de combustível que alimenta um motor térmico que pode acionar diretamente as rodas ou fornecer energia mecânica a um gerador elétrico.

10.2.1 Veículo elétrico a bateria (VEB)

Os VEB utilizam a energia armazenada em um banco de baterias como fonte de energia primária na alimentação do motor elétrico. As questões relacionadas à infraestrutura de recarga e ao desenvolvimento tecnológico em baterias ainda são limitações para utilização dos VEBs, que ficam restritos a trajetos urbanos devido à baixa autonomia. Os VEBs necessitam ser recarregados com grande frequência e isto implica em longos períodos de recarga. A recarga pode ser feita durante a noite (fora do horário de pico noturno) ou no período diurno durante o tempo em que o veículo ficar estacionado, a partir de uma tomada de tensão típica residencial, comercial ou industrial. No entanto, se for desejado que a recarga seja realizada num intervalo curto de tempo será necessária uma infraestrutura elétrica diferenciada, com conexões elétricas adequadas a este tipo de serviço, pois as elevadas correntes relacionadas à grande potência requerida excedem a capacidade elétrica das tomadas convencionais.

A configuração mais simples para um carro elétrico a bateria (VEB) é apresentada na Figura 22 - Configuração simples com um motor elétrico. Nesta configuração temos um conjunto de baterias alimentando um conversor eletrônico CC/CA que, por sua vez,

aciona um motor elétrico. Este motor irá fornecer potência mecânicas às rodas passando através de um sistema de engrenagens e uma embreagem diferencial. (LPS)

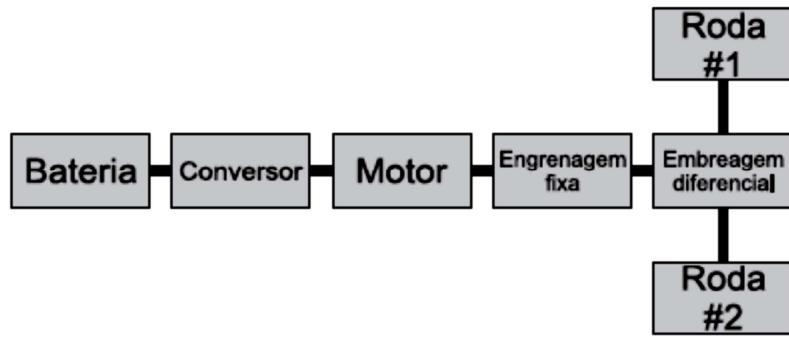


Figura 22 - Configuração simples com um motor elétrico (LPS)

Na configuração abaixo, uma alternativa possível seria eliminar a embreagem diferencial na forma ilustrada pela Figura 23- Configuração com dois motores elétricos. Neste arranjo passamos a ter dois conversores e dois motores independentes. O mecanismo de embreagem diferencial é implementado eletronicamente, ajustando-se velocidades levemente distintas para cada um dos motores (e suas respectivas rodas) com o auxílio de um gerenciamento eletrônico da eletrônica embarcada do veículo. (LPS)

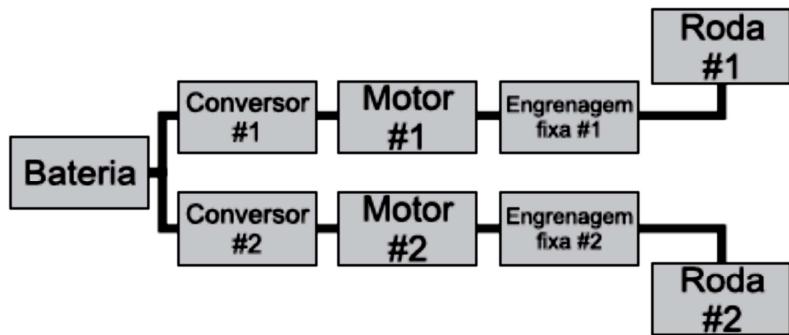


Figura 23- Configuração com dois motores elétricos (LPS)

A configuração apresentada na Figura 24 - Configuração com motores elétricos acoplados diretamente às rodas incorpora os motores diretamente nos corpos das rodas. Tal configuração pode ser expandida para permitir um sistema de tração nas quatro rodas. (LPS)

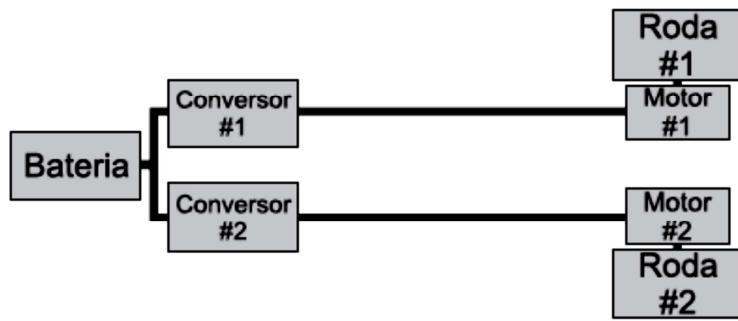


Figura 24 - Configuração com motores elétricos acoplados diretamente às rodas (LPS)

10.2.2 Veículo elétrico híbrido (VEH)

O VEH é um veículo que utiliza um motor elétrico acionado pela energia armazenada em um pequeno banco de baterias e um motor à combustão interna (usado em veículos convencionais) alimentado por combustível líquido (gasolina, etanol, diesel) e/ou gasoso (gás natural veicular).

O conjunto motor a combustão interna e motor elétrico que caracteriza os VEHs permite uma redução no consumo de combustível quando comparados aos veículos convencionais que só utilizam o motor à combustão interna. O VEH pode apresentar duas configurações: série e paralelo.

Na configuração em série, o motor à combustão move um gerador com a finalidade de gerar energia elétrica e o gerador pode tanto carregar as baterias ou alimentar o motor elétrico. Já na configuração em paralelo, o motor à combustão e o motor elétrico são conectados à transmissão e, ambos podem fornecer energia para movimentar o veículo.

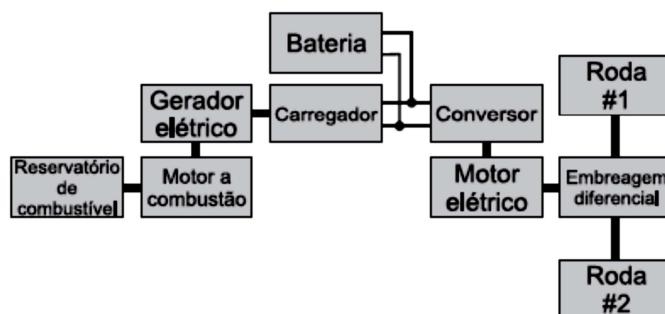


Figura 25 - Configuração híbrida em série (LPS)

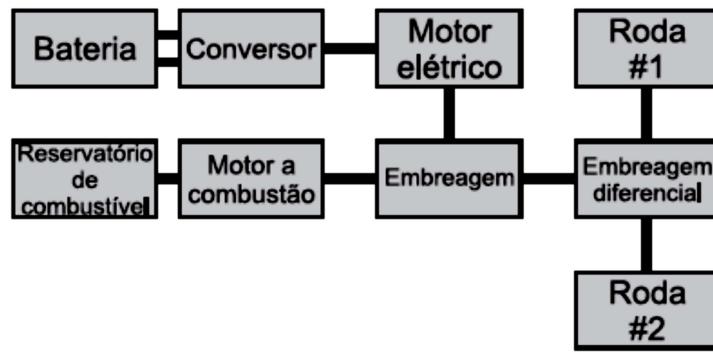


Figura 26 - Configuração híbrida em paralelo (LPS)

O carro híbrido “paralelo” é uma combinação de dois tipos de tração e está mostrado na Figura 26 - Configuração híbrida em paralelo. Tanto o motor elétrico como o motor a combustão atuam de forma conjunta através de embreagens de modo a tracionar o veículo. Tanto um como o outro motor podem ser desconectados o que torna possível tracionar usando apenas o motor a combustão ou apenas o motor elétrico.

No carro híbrido paralelo também é possível inverter o fluxo de potência fazendo com que o motor elétrico passe a operar como gerador. Deste modo o sistema de baterias poderá ser carregado a partir do motor a combustão e também a partir do excesso de energia cinética durante os intervalos de frenagem.

10.2.3 Veículo elétrico híbrido Plug-in (VEPH)

Os VEPHs são semelhantes aos VEHs, porém podem ser conectados a uma tomada elétrica para recarregar as baterias, e ainda podem operar em vários modos de gerenciamento de energia, dentre os quais se destacam:

- *Charge Sustaining Mode (CS)*: Modo no qual o estado de carga da bateria é controlado para permanecer dentro de uma faixa de operação. Como o estado de carga da bateria não muda com o tempo, o motor a combustão é o responsável pela propulsão do veículo.
- *Charge Depleting Mode (CD)*: Modo no qual uma parte da energia é fornecida pela bateria. Com isso o estado de carga da bateria diminui até atingir um nível mínimo.
- *Electric Vehicle Mode*: Modo no qual somente o motor elétrico está em funcionamento. A energia armazenada na bateria é a fonte principal de energia.

- *Engine Only Mode*: Modo no qual o sistema de tração elétrico não opera. A alternância entre os modos de gerenciamento de energia é controlada automaticamente em função do estado de carga da bateria, velocidade do veículo, temperatura da bateria, temperatura ambiente, torque e velocidade de rotação do motor (EPRI, 2011).

Quase todos os sistemas híbridos utilizam algum tipo de bateria que precisam ser baterias especiais capazes de suportar ciclos de carga e descarga intensos. Além disso, os sistemas de gerenciamento de energia, Figura 27 - Sistema de gerenciamento de energia de um veículo híbrido possuem um papel fundamental, definindo a eficiência global do sistema e o nível de emissão de poluentes. Para que tais sistemas de gerenciamento operem corretamente são necessários bons sistemas de aquisição de dados aliados a bons sistemas de controle.



Figura 27 - Sistema de gerenciamento de energia de um veículo híbrido

10.3 Componentes de um veículo elétrico

10.3.1 Banco de Bateria

Os veículos elétricos são dotados de um motor elétrico alimentado por um banco de baterias que pode ser recarregado em um ponto de reabastecimento específico. A função do motor a combustão interna nos veículos híbridos pode ser a de gerar energia e assim

recarregar a bateria do veículo, ou a de gerar força motriz para a propulsão direta do veículo.

Todas as baterias são formadas por dois eletrodos conectados por um condutor iônico, denominadas eletrólito. Os eletrodos têm diferentes potenciais químicos determinados pela reação química que ocorre em cada um deles. Quando eles são conectados a um dispositivo externo, elétrons fluem do potencial negativo para o positivo, e íons se movimentam no eletrólito para manter o balanço de carga e a energia elétrica pode ser consumida no circuito externo. A quantidade de energia elétrica por massa ou volume que pode ser extraída depende da tensão da célula e de sua capacidade, que por sua vez dependem da química dos eletrodos. Outro parâmetro é a potência, que depende em grande parte da engenharia da bateria, além dos parâmetros mencionados anteriormente. Em linhas gerais, as baterias são dispositivos que armazenam energia química e a tornam disponível na forma de energia elétrica.

Os principais parâmetros que caracterizam um dispositivo de armazenamento de energia são: densidade de energia (DE) em Wh/kg, e densidade de potência (DP) em W/kg. A DE descreve basicamente a quantidade de energia que está disponível para o uso, e a DP mostra a rapidez com que esta energia pode ser liberada. Estes dois fatores são determinantes na escolha de um dispositivo para uma aplicação específica. Por exemplo, alimentar uma pequena lâmpada pode exigir razoáveis quantidades de energia, mas que devem ser entregues lentamente para que a lâmpada opere durante horas de uso. Por outro lado, um interruptor eletrônico de alta velocidade de um computador pode exigir pouca energia para sua ativação, no entanto esta deve ser entregue com rapidez suficiente para concluir a transação em microssegundos. Estas são duas aplicações que exigem dispositivos de armazenamento com qualidades opostas, uma com alta DE e outra com alta DP, respectivamente.

Um diagrama que usualmente é utilizado para a comparação dos vários dispositivos de armazenamento de energia é o diagrama Ragone. A Figura 28 - Densidade de Energia x Densidade de Potência ilustra um diagrama de Ragone simplificado apenas as principais classes de dispositivos de armazenamento de energia são mostradas: células a combustível, baterias, supercapacitores e capacitores convencionais. A diferença entre estes dispositivos está na forma como armazenam a energia elétrica, nos mecanismos de conversão e no seu desempenho.

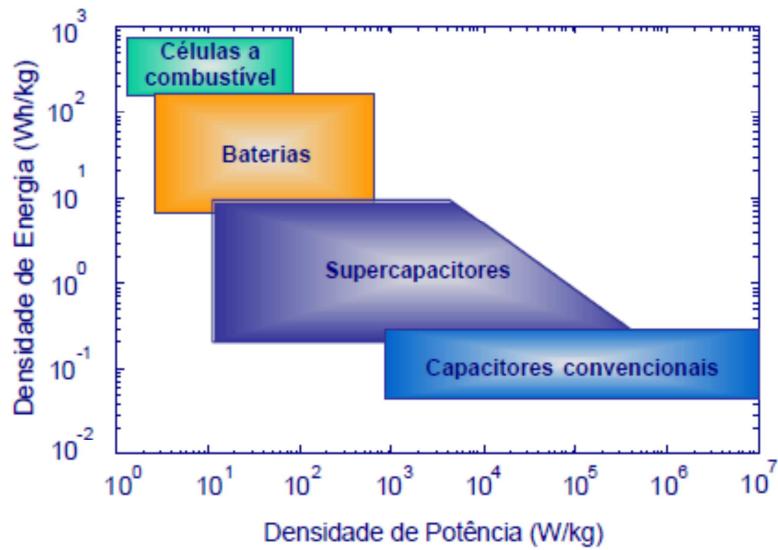


Figura 28 - Densidade de Energia x Densidade de Potência (ABVE, 2011)

Percebe-se, através deste diagrama, que a distribuição da energia armazenada em um dispositivo decai com o aumento da demanda por potência. Portanto, os atuais dispositivos de armazenamento de energia possuem uma limitação para aplicações que exijam ao mesmo tempo altas densidades de energia e altas densidades de potência.

As crescentes preocupações energéticas e ambientais têm acelerado o processo evolutivo tecnológico em diversas áreas e de igual modo na inovação das baterias recarregáveis, com profundo interesse em utilizá-las não somente para dispositivos pequenos, mas também na propulsão de veículos elétricos, sendo para os veículos elétricos hoje o grande desafio para sua inserção no mercado, pois esse componente é determinante para a formação do seu preço e a sua autonomia.

A seguir são descritos alguns dos principais tipos de baterias utilizados no mercado

- *Bateria Chumbo-Ácido*

As baterias do tipo chumbo-ácido têm sido as mais utilizadas pela indústria automotiva, possuindo vantagem em relação às demais tecnologias devido ao baixo custo. No caso da utilização em veículos elétricos apresentam desvantagem, pois oferecem baixa densidade de energia. A energia específica dessas baterias está na ordem de 33 Wh/kg, sua densidade energética é de 75 Wh/L e potência específica de 75 W/kg (CHEN, 2009).

- *Bateria Níquel-Cádmio (NiCd)*

A tecnologia de NiCd possui energia específica igual a 50Wh/kg e tem sido utilizada em veículos de tração elétrica devido à disponibilidade de carga rápida. Possui uma potência específica de 120 W/kg, densidade energética da ordem de 80 Wh/L e um bom ciclo de vida (CHEN, 2009). Todavia, apresenta elevados custos e preocupações ambientais com a presença de cádmio em sua composição, além do efeito memória.

- *Bateria Níquel-Metal-Hidreto (Ni-MH)*

A bateria de NiMH tem desempenho comparável à de NiCd e, tem sido utilizada em veículos híbridos como o Toyota Prius. Os componentes da NiMH são inofensivos ao meio ambiente. Além disso, as baterias podem ser recicladas, apresentam ciclo de vida longo e são resistentes a carga e descarga (CHEN, 2009).

- *Bateria de Íons de Lítio (Li-íon)*

As baterias de Li-íon são leves, compactas e apresentam uma densidade energética na faixa de 100 a 150 Wh/L sendo, portanto, bastante atrativas para os VEs devido à sua alta densidade de energia. Apresenta uma potência específica de 370 W/kg e energia específica em torno de 120 Wh/kg (CHEN, 2009).

10.3.2 Motores elétricos

As características dos motores elétricos têm servido muito bem as aplicações automotivas. Eles desenvolvem o torque máximo desde o início em baixas velocidades, provendo bom desempenho principalmente nas situações de saída dos veículos. O torque se mantém constante por uma grande faixa de velocidade, a partir da qual o torque começa a diminuir proporcionalmente com o aumento da velocidade.

Nos motores elétricos, o limite mínimo de rotação de funcionamento não existe, pois, dependendo de seu tipo de construção, são capazes de fornecer torque mesmo à rotação nula. Esta condição pode eliminar a necessidade da transmissão de múltiplas velocidades ou reduzi-la a um número menor de velocidades em comparação com uma transmissão para motores à combustão. Caso seja eliminada a transmissão de múltiplas velocidades, pode-se também eliminar o acoplamento entre o motor e transmissão, que permite a seleção das múltiplas velocidades (embreagem).



Figura 29 – Motor elétrico automotivo (ABVE, 2011).

10.3.3 Gerenciamento eletrônico

Os veículos elétricos e híbridos requerem uma série de módulos de controle e conversores eletrônicos de energia para controlarem o sistema de propulsão, bem como gerenciar o armazenamento de energia e os sistemas de recarga. Isso inclui os conhecidos conversores CC-CC, inversores CA-CC, unidades de controle eletrônico e sistemas de distribuição de energia. Pelo fato dos veículos elétricos e híbridos exigirem o uso de mais componentes puramente elétricos, como direção elétrica e ar-condicionado elétrico, é necessário uma eletrônica para o controle dessas funções.

10.3.4 Freio regenerativo

Em um sistema de freios tradicional, as pastilhas de freio produzem atrito com os discos dos freios para desacelerar ou parar o veículo. Atrito adicional é produzido entre as rodas e a superfície da estrada. Esse atrito é o que transforma a energia cinética do carro em calor. Com freios regenerativos, por outro lado, o sistema que conduz o veículo faz a maior parte da frenagem. Quando o motorista pisa no pedal de freio de um carro elétrico ou híbrido, esses tipos de freios colocam o motor elétrico do carro no modo gerador desacelerando as rodas do carro ao produzir a força contrária ao movimento. Dessa forma o motor, agora gerador elétrico, produz a corrente elétrica que alimentará as baterias do carro.

Um gerenciamento eletrônico sofisticado é necessário para decidir quando o motor elétrico deve operar como gerador, enquanto circuitos elétricos específicos encaminham a eletricidade gerada pelo motor para as baterias do carro. Em alguns casos, a energia

produzida por esses freios é armazenada em uma série de capacitores para ser usada posteriormente, como nos carros de Fórmula 1 (Kers). Além disso, uma vez que os carros que usam esses tipos de freios também contam com o sistema de freios padrão de atrito, o gerenciamento eletrônico do veículo deve decidir qual sistema é mais apropriado para ser usado naquele momento.

Nos carros que usam esses tipos de freios, o controlador de freio não monitora apenas a rotação das rodas, mas também pode calcular a quantidade de torque – força rotacional – que está disponível para gerar eletricidade para alimentar as baterias.

A função mais importante do controlador de freio, no entanto, pode ser decidir se o motor é capaz de lidar com a força necessária para parar o carro. Se não for, o controlador de freios passa a função para os freios de atrito, evitando assim uma possível catástrofe. Nos carros que usam esses tipos de freios, como em qualquer outra peça eletrônica a bordo de um carro elétrico ou híbrido, o controlador de freio faz todo o processo de frenagem regenerativa possível para que o veículo se torne o mais eficiente possível.

10.4 Recargas para os veículos elétricos

Quando se discutem as diferentes formas que existem de carregar um veículo elétrico surge sempre à questão de qual a diferença entre carregar um veículo elétrico ou alimentar qualquer outro equipamento. Dois fatores determinam que o ponto de tomada para recarregar um veículo elétrico deve ser exclusivo:

- O equipamento pode solicitar uma corrente elevada, equivalente a uma casa inteira, durante muito tempo (cerca de 5 a 7 horas);
- Em caso de falha na instalação elétrica, o risco de choque elétrico é maior, por sua maior dimensão e exposição.

A norma europeu-portuguesa EN/NP61851 – Sistema de carga condutiva para veículos elétricos de 2003, revista em Dezembro de 2010, define como deve ser feito a recarga de um veículo elétrico e em que condições, nela são apresentados 4 (quatro) modos de recarga dos veículos elétrico.

- O Modo 1 refere-se à ligação do veículo elétrico ao ponto de tomada de até 16A, com proteção adicional obrigatória de um disjuntor diferencial, que pode ser instalado no quadro de distribuição ou no cabo de recarga;



Figura 30 – Tomada de 16 A padrão IEC 60309

- O Modo 2 é um sistema de carregamento desenvolvido para permitir um veículo que só carrega em Modo 3, carregar numa tomada existente doméstica ou industrial, com a adição de um disjuntor diferencial no cabo de recarga;



Figura 31 – Adaptador de tomada modo 3 para carregamento em uma tomada domestica

- O Modo 3, Figura 32 - Tipo de conexão modo 3 de carregamento utiliza um sistema de fornecimento de energia com corrente alternada, desenvolvido especificamente para veículos elétricos, com alimentação monofásica ou trifásica, em várias correntes possíveis, com dispositivo para segurança adicional;
 - *Verificação de conexão correta da tomada*
 - *Percorrer o cabo e o veículo para verificação da continuidade de terra de proteção*
 - *Energização e corte de tensão na tomada quando não em utilização*
 - *desconexão da tomada sem tensão*
 - *Um veículo Modo 3 só carrega numa tomada Modo 3*



Figura 32 - Tipo de conexão modo 3 de carregamento

- O Modo 4 é definido como um sistema de ligação indireta do veículo elétrico à rede. Um exemplo deste método são os carregadores rápidos DC, que alimentam a bateria do veículo diretamente em DC, Figura 33 – Conversor AC-DC para carregamento direto de baterias.



Figura 33 – Conversor AC-DC para carregamento direto de baterias

11. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso que será apresentado nos próximos tópicos busca avaliar a interação de um sistema gerador solar fotovoltaico isolado e a capacidade desse sistema em carregar as baterias desses veículos elétricos ou híbridos. É também o objetivo analisar o potencial de geração de geradores solares fotovoltaicos instalados nas coberturas dos prédios da MTU do Brasil, que abrigam os usuários de um grupo de veículos (os quais poderiam ser elétricos ou híbridos) e verificar sua autonomia.

Para esse estudo foi utilizado o software RADIASOL 2, Figura 34 – Software Radiasol 2, desenvolvido no laboratório de energia solar da universidade federal do Rio Grande do Sul (Solar UFRGS)

O software RADIASOL 2 é um programa que pretende auxiliar os interessados em utilizar a energia solar no Brasil a realizar cálculos de determinação da disponibilidade da radiação solar em planos de diferentes orientações. O software não é um programa fonte de dados meteorológico ou climático, o mesmo apenas ajuda a lidar com dados que o próprio usuário deve inserir no programa (Solar UFRGS).

Os valores de radiação obtidos através do programa são valores médios mensais em $\text{KWh/m}^2/\text{dia}$, calculados a partir do banco de dados de radiação solar disponibilizado pelo LABSOLAR.

Para esse trabalho foi escolhido o veículo elétrico Smart Fortwo Electric Drive®, Figura 39 - Veículo elétrico Smart Fortwo Electric Drive® fabricado pela Mercedes Benz USA sem o objetivo de realizar comparações entre desempenho de outras marcas.



Figura 34 – Software Radiasol 2 (Solar UFRGS)

11.1 Localização

O local de estudo encontra-se à latitude de $23^{\circ}24'24.66''$ e longitude de $46^{\circ}49'16.92''$ na cidade de São Paulo, estado de São Paulo, Brasil. Figura 35 - Localização

A área possui 8340 m^2 de área disponível para instalação dos painéis solares, onde será definida através desse estudo de caso a real área útil para instalação dos painéis solares buscando o melhor custo benefícios em relação à produção e quantidade de painéis instalados.



Figura 35 - Localização

11.2 Estudo Solarimétrico

11.2.1 Radiação Solar

A tabela 4 mostra os valores de incidência de radiação solar média mensal do total diário nos 12 meses do ano, considerando uma superfície inclinada de -33° graus voltado para o norte geográfico retirados do software Radiasol 2.

Conforme a

Tabela 4 - Radiação Solar Média em KWh/m²-dia para uma inclinação de -33° graus, a incidência de radiação é maior nos meses de Janeiro e Novembro e atinge o seu menor valor no mês de Junho.

Tabela 4 - Radiação Solar Média em KWh/m²-dia para uma inclinação de -33° graus

RADIAÇÃO SOLAR MÉDIA (KWh/m²/dia)					
latitude: -23,24°		Longitude: 46,49°		Inclinação: 33°	
Mês	Radiação (KWh/m ² /dia)	Umidade Relativa (%)	Temp. Máxima (C°)	Temp. Média (C°)	Temp. Mínima (C°)
Janeiro	4,670	85,000	29,700	24,600	20,500
Fevereiro	4,610	85,000	30,300	25,000	20,800
Março	4,610	86,000	29,400	24,300	20,300
Abril	3,690	88,000	27,500	22,400	18,300
Maio	3,440	88,000	25,700	20,000	15,400
Junho	2,940	87,000	24,900	18,200	13,500
Julho	3,390	87,000	24,100	17,600	12,800
Agosto	3,920	86,000	24,700	18,700	14,300
Setembro	4,170	87,000	24,500	19,600	15,500
Outubro	4,110	87,000	25,400	21,000	17,300
Novembro	5,390	83,000	26,100	21,700	18,000
Dezembro	4,940	83,000	28,400	23,500	19,600

HSP⁸	4,157				
------------------------	-------	--	--	--	--

Tabela 5 – Irradiação Média mensal retirada do software Radiasol 2

IRRADIAÇÃO MÉDIA (KWh/m²/dia)				
Mês	Global	Direta	Difusa	Inclinada
Janeiro	4,660	0,140	2,000	2,210
Fevereiro	4,600	0,230	2,090	2,250
Março	4,600	0,260	2,040	2,170
Abril	3,680	0,280	1,980	2,050
Maio	3,430	0,270	1,660	1,710
Junho	2,930	0,280	1,770	1,750
Julho	3,380	0,270	1,630	1,680
Agosto	3,910	0,270	1,730	1,800
Setembro	4,160	0,310	1,980	2,080
Outubro	4,100	0,360	1,830	1,960
Novembro	5,380	0,560	1,840	2,120
Dezembro	4,930	0,770	2,260	2,570

11.2.2 Escolha do ângulo de instalação dos coletores solares

Pelo fato de que o custo de um sistema de geração fotovoltaica ainda ser elevado, foi assumido que, para a implementação de um sistema fotovoltaico a um nível vantajoso, só seriam admitidas orientações que poderiam gerar no mínimo 90% da energia a ser gerada pela orientação ideal, ou seja, áreas voltadas para o norte

⁸ O tempo de pico de energia solar (HSP) é uma unidade que mede a radiação solar, e é definido como o tempo em horas, de uma irradiação constante hipotética de 1000 W/m². Esse valor é utilizado para dimensionamento de painéis solares

verdadeiro e com inclinação igual a sua latitude e um desvio azimutal de +60° e -60° graus. Desta forma, foi possível identificar quanto da área real existente pode ser aproveitada para a implementação de um sistema a um nível vantajoso.

O valor de inclinação e desvio azimutal ideal foi obtido através do ábaco de potencial de radiação (UFSC) desenvolvido pela universidade federal de Santa Catarina.

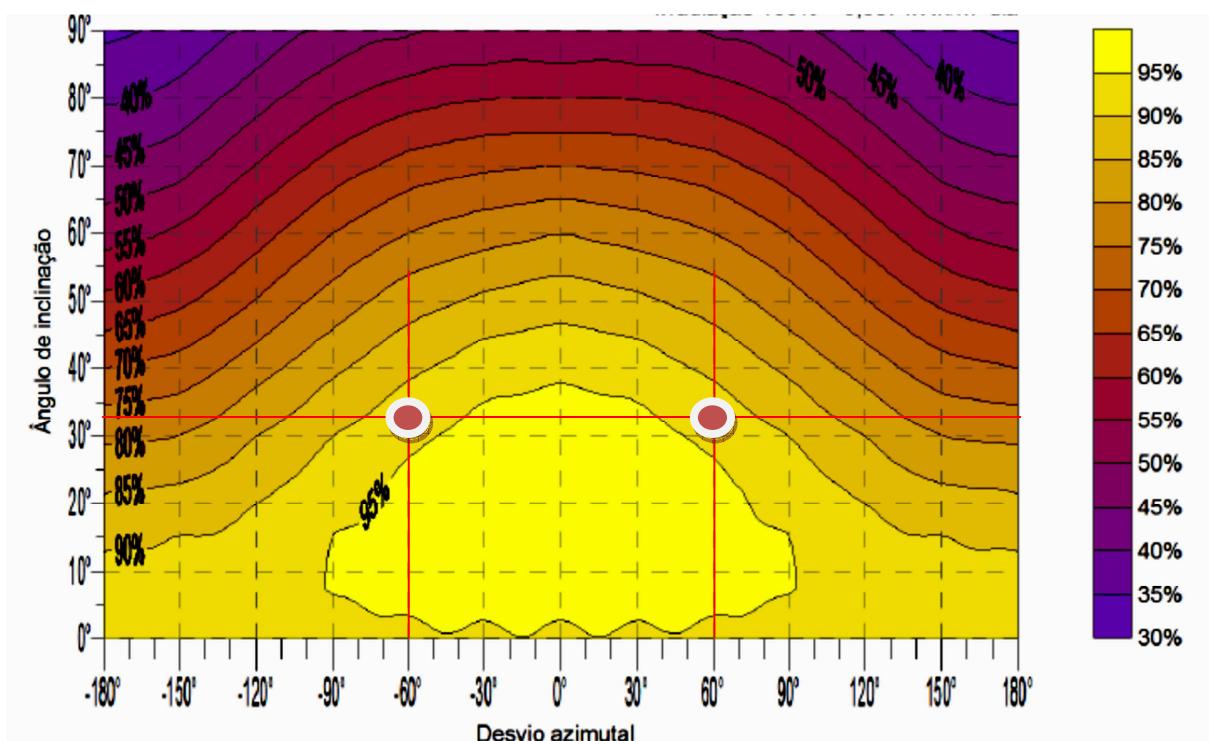


Figura 36 – Ábacos para análise simplificada do potencial de irradiação a ser recebido pelos módulos fotovoltaico em diferentes orientações e azimutes. (UFSC)

11.3 Capacidade de geração do local

Para esse estudo foram definidas as seguintes características do painel solar a ser utilizado seguindo a disponibilidade de tecnologia no mercado nacional apresentado na Tabela 6 – Especificação do Painel Solar.

Tabela 6 – Especificação do Painel Solar

ESPECIFICAÇÃO DO PAÍNEL SOLAR	
Especificações elétricas (STC⁹)	
Potência Máxima	83W
Tolerância na saída de potência	10 % /-5 %
Tensão com circuito aberto	19.7V
Corrente de Curto Circuito	5.78A
Máxima Tensão	16.5V
Máxima Corrente	5.07A
Máximo fusível de série	8A
Máxima tensão do painel	600VDC
Especificações mecânicas	
Altura	920 mm
Largura	680 mm
Espessura	38 mm
Peso	8,4 Kg

A estimativa de produção de energia local é obtida através da fórmula abaixo

⁹ O desempenho do módulo é geralmente avaliado sob condições de teste padrão (STC): irradiância de 1000 W / m², espectro solar de AM 1.5 e temperatura do módulo a 25 ° C.

AM - Em astronomia, a massa de ar é o comprimento do percurso óptico através da atmosfera da Terra para a luz de uma fonte celestial. À medida que passa através da atmosfera, a luz é atenuada por dispersão e absorção, quanto mais atmosfera através da qual a luz passa, maior a atenuação. Devido a isso os corpos celestes no horizonte aparecem com menos brilho do que quando no auge. A atenuação, conhecido como extinção atmosférica, é descrito quantitativamente pela lei de Beer-Lambert-Bouguer.

Equação 18 - $E_g = P \times HSP \times \eta_{cc/ca}$

Onde, E_g : energia produzida pelo gerador fotovoltaico (KWh); P : potência nominal do gerador fotovoltaico (KW); HSP (Horas): número de horas de sol pleno em média diária a intensidade de 1000 W/m²); $\eta_{cc/ca}$: rendimento do inversor de corrente contínua para corrente alternada ($\eta_{cc/ca} = 0,85$).

Considerando uma potência de saída de 0,083 KW do painel solar, HSP (horas) de 4,157 e um rendimento do inversor de corrente contínua para corrente alternada de 0,85 teremos uma produção estimada de 0,29 KWh. m². Considerando que a área disponível é de 8340 m² podemos estimar que a produção de energia pudesse atingir 2418 KWh de potência disponível

Será visto nos próximos tópicos que esse valor é reduzido devido a perdas de instalação, acumulo de poeira na superfície dos coletores e redução da área de instalação devido à disponibilidade de espaço para manutenção e sombreamentos.

11.4 Calculo de sombreamento

Uma vez definido o ângulo de inclinação e a orientação do coletor deve-se definir a distância mínima entre eles para que não ocorra sombreamento e prejudique o rendimento do sistema. A Figura 37 - Modelagem para cálculo de distância entre coletores mostra a distância “d” que deve ser calculada entre duas baterias de coletores (ABRAVA, 2008).

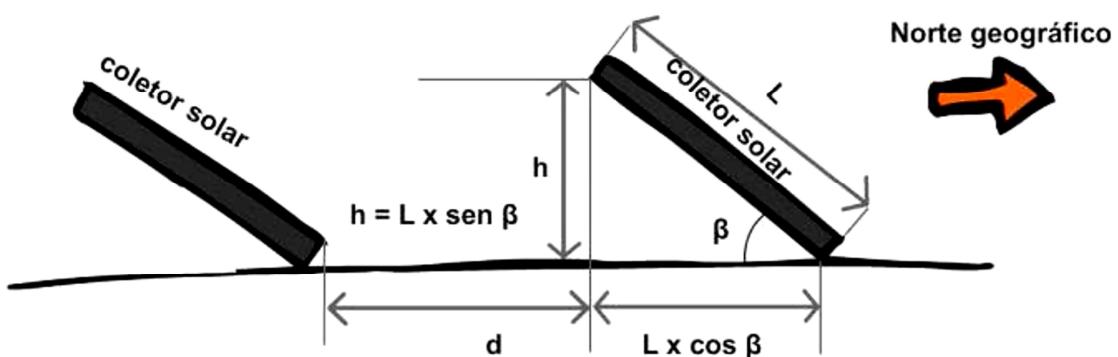


Figura 37 - Modelagem para cálculo de distância entre coletores

A distância horizontal d entre os coletores pode ser calculada através da seguinte equação abaixo:

Equação 19 - $d = h \times k$

Onde, d é a distância entre os coletores, h é a altura do coletor; k é um fator que varia em função da latitude e possui influência do ângulo azimutal de superfície e pode ser observado na Tabela 7 - Fator k para cálculo de distância entre coletores.

Tabela 7 - Fator k para cálculo de distância entre coletores (ABRAVA, 2008)

Latitude (°)	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35
k	0,541	0,433	0,541	0,659	0,793	0,946	1,126	1,347	1,486

Quanto maior for o ângulo azimutal da superfície, Figura 38 - Representação do ângulo azimutal de uma superfície. maior será a perda de energia recebida pelos coletores solares. Quanto maior for a latitude do local, maior será o efeito do ângulo azimutal nessa perda de energia. Muitas vezes, os coletores são instalados em superfícies já existentes, como telhados de casas e prédios e, dessa maneira, podem apresentar um ângulo azimutal diferente de zero. (ABRAVA, 2008)

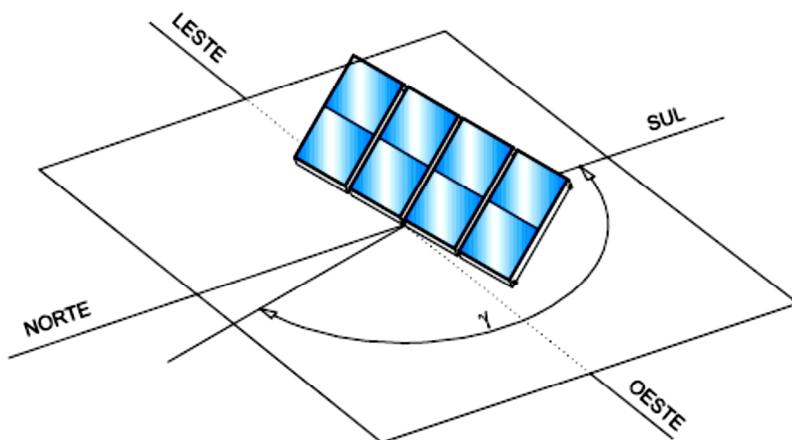


Figura 38 - Representação do ângulo azimutal de uma superfície.

A distância ideal entre os coletores deve considerar, além dos efeitos do sombreamento, um espaço suficiente para que se realizem manutenções e limpeza dos coletores.

Vale lembrar que a equação 19 é apenas para orientação, e a análise de distâncias entre os coletores deve ser criteriosamente desenvolvida para cada projeto.

A Tabela 8 – Fator K encontrado através de interpolação linear abaixo

Tabela 8 – Fator K encontrado através de interpolação linear

FATOR K			
Latitude (°)	Fator k	Latitude (°)	Fator k
-90	3,466	-45	1,846
-89	3,430	-44	1,810
-88	3,394	-43	1,774
-87	3,358	-42	1,738
-86	3,322	-41	1,702
-85	3,286	-40	1,666
-84	3,250	-39	1,630
-83	3,214	-38	1,594
-82	3,178	-37	1,558
-81	3,142	-36	1,522
-80	3,106	-35	1,486
-79	3,070	-34	1,450
-78	3,034	-33	1,414
-77	2,998	-32	1,378
-76	2,962	-31	1,342
-75	2,926	-30	1,350
-74	2,890	-29	1,270
-73	2,854	-28	1,234
-72	2,818	-27	1,198
-71	2,782	-26	1,162
-70	2,746	-25	1,126
-69	2,710	-24	1,090
-68	2,674	-23	1,054
-67	2,638	-22	1,018
-66	2,602	-21	0,982
-65	2,566	-20	0,946
-64	2,530	-19	0,861
-63	2,494	-18	0,838
-62	2,458	-17	0,816
-61	2,422	-16	0,793
-60	2,386	-15	0,793
-59	2,350	-14	0,748
-58	2,314	-13	0,725
-57	2,278	-12	0,703
-56	2,242	-11	0,680
-55	2,206	-10	0,659
-54	2,170	-9	0,635
-53	2,134	-8	0,612
-52	2,098	-7	0,590
-51	2,062	-6	0,567
-50	2,026	-5	0,541
-49	1,990	-4	0,522
-48	1,954	-3	0,499
-47	1,918	-2	0,477
-46	1,882	-1	0,454
		0	0,433

Para esse calculo foi utilizado o fator K para uma latitude de -13° que é o resultado da soma algébrica da latitude local $-23^\circ + 10^\circ = -13^\circ$.

A tabela abaixo apresenta a distância entre coletores para o ângulo de inclinação do coletor de 33° o que proporcionará uma eficiência superior a 90% na captação solar de acordo com a Figura 36 – Ábacos para análise simplificada do potencial de irradiação a

ser recebido pelos módulos fotovoltaico em diferentes orientações e azimutes. e o espaço a ser ocupado pelo coletor.

Tabela 9 – Distância entre coletores

DISTÂNCIA ENTRE COLETORES							
Ângulo do Painel (°)	Altura (h) (m)	Distância entre coletores (m)	Espaço da base do coletor	Ângulo do Painel (°)	Altura (h) (m)	Distância entre coletores (m)	Espaço da base do coletor
0	0,00	0,00	0,92	46	0,66	0,48	0,64
1	0,02	0,01	0,92	47	0,67	0,49	0,63
2	0,03	0,02	0,92	48	0,68	0,50	0,62
3	0,05	0,03	0,92	49	0,69	0,50	0,60
4	0,06	0,05	0,92	50	0,70	0,51	0,59
5	0,08	0,06	0,92	51	0,71	0,52	0,58
6	0,10	0,07	0,91	52	0,72	0,53	0,57
7	0,11	0,08	0,91	53	0,73	0,53	0,55
8	0,13	0,09	0,91	54	0,74	0,54	0,54
9	0,14	0,10	0,91	55	0,75	0,55	0,53
10	0,16	0,12	0,91	56	0,76	0,55	0,51
11	0,18	0,13	0,90	57	0,77	0,56	0,50
12	0,19	0,14	0,90	58	0,78	0,57	0,49
13	0,21	0,15	0,90	59	0,79	0,57	0,47
14	0,22	0,16	0,89	60	0,80	0,58	0,46
15	0,24	0,17	0,89	61	0,80	0,58	0,45
16	0,25	0,18	0,88	62	0,81	0,59	0,43
17	0,27	0,20	0,88	63	0,82	0,59	0,42
18	0,28	0,21	0,87	64	0,83	0,60	0,40
19	0,30	0,22	0,87	65	0,83	0,60	0,39
20	0,31	0,23	0,86	66	0,84	0,61	0,37
21	0,33	0,24	0,86	67	0,85	0,61	0,36
22	0,34	0,25	0,85	68	0,85	0,62	0,34
23	0,36	0,26	0,85	69	0,86	0,62	0,33
24	0,37	0,27	0,84	70	0,86	0,63	0,31
25	0,39	0,28	0,83	71	0,87	0,63	0,30
26	0,40	0,29	0,83	72	0,87	0,63	0,28
27	0,42	0,30	0,82	73	0,88	0,64	0,27
28	0,43	0,31	0,81	74	0,88	0,64	0,25
29	0,45	0,32	0,80	75	0,89	0,64	0,24
30	0,46	0,33	0,80	76	0,89	0,65	0,22
31	0,47	0,34	0,79	77	0,90	0,65	0,21
32	0,49	0,35	0,78	78	0,90	0,65	0,19
33	0,50	0,36	0,77	79	0,90	0,65	0,18
34	0,51	0,37	0,76	80	0,91	0,66	0,16
35	0,53	0,38	0,75	81	0,91	0,66	0,14
36	0,54	0,39	0,74	82	0,91	0,66	0,13
37	0,55	0,40	0,73	83	0,91	0,66	0,11
38	0,57	0,41	0,72	84	0,91	0,66	0,10
39	0,58	0,42	0,71	85	0,92	0,66	0,08
40	0,59	0,43	0,70	86	0,92	0,67	0,06
41	0,60	0,44	0,69	87	0,92	0,67	0,05
42	0,62	0,45	0,68	88	0,92	0,67	0,03
43	0,63	0,45	0,67	89	0,92	0,67	0,02
44	0,64	0,46	0,66	90	0,92	0,67	0,00
45	0,65	0,47	0,65				

Tomando-se como base na tabela apresentada é possível verificar que para que não ocorra sombreamento entre os coletores os mesmos devem atender a uma distância mínima de 0,36 metros, considerando o espaço de circulação para manutenção de 1,5 essa distância irá ser atendida.

11.5 Área real de produção e nova capacidade de produção

Após a determinação da distância mínima para evitar o sombreamento entre os coletores a área de produção foi reduzida para 5560 m² o que nos remete a uma produção de 1612 KWh, considerando uma produção estimada de 0,29 KWh. m² como visto no tópico inicial.

A eficiência na produção de energia fotovoltaica ainda sofre influencia por acumulo de poeira na superfície dos coletores. Essa perda pode atingir 16,26% de acordo com estudo realizado pela universidade federal do Paraná (UFPR). Considerando essa perda de eficiência a produção de energia do local pode cair para 1349,89 KWh.

11.6 Seleção do veículo

Para esse trabalho foi escolhido o veiculo elétrico Smart Fortwo Electric Drive®, Figura 39 - Veiculo elétrico Smart Fortwo Electric Drive® fabricado pela Mercedes Benz USA sem o objetivo de realizar comparações entre desempenho de outras marcas.



Figura 39 - Veiculo elétrico Smart Fortwo Electric Drive®

Os dados de desempenho apresentados a seguir foram retirados de um estudo realizado pela sociedade austríaca de engenharia automotiva ADAC¹⁰ (OVK)

A análise foi realizada sob as condições de operação reais, levando em conta o controle de temperatura interno do veículo utilizando o ar condicionado e aquecimento do interior do veículo como uma função da temperatura ambiente. (OVK)

Foram consideradas as curvas de temperatura para a Áustria e a União Europeia sobre o período de um ano, de modo que os agregados de aquecimento e de ar condicionado foram também tidos em conta durante a execução dos testes (medidas feitas em 30 °C e -20 °C, em incrementos de 10°C). (OVK)

Foi considerada a influência das condições de condução em meio urbano, extraurbano, autoestrada e stop-and-go. (OVK)

Na Tabela 10 – Dados técnicos do Smart Fortwo Electric Drive® utilizado no estudo, foi utilizado para o levantamento de dados do estudo apresentado nesse capítulo. (OVK)

Tabela 10 – Dados técnicos do Smart Fortwo Electric Drive® utilizado no estudo. (OVK)

Nome commercial: Smart Fortwo Electric Drive®
Ano de fabricação: 2011
Peso sem carga: 1.010 kg
Distância entre eixos: 1.867 mm
Potência Mecânica: 35 KW
Pneus: Dianteiro: 155/60 R15, Traseiro: 175/55 R15
Máxima Velocidade: 100 km/h
Capacidade da bateria declarada pelo fabricante: 17,6 KWh
Tipo de bateria: Lithium-ion

A Figura 40 – Consumo em KW/h para um percurso de até 100 Km indica a necessidade de energia do Fortwo (incluindo motor elétrico,

¹⁰ A ADAC (Allgemeiner Deutsche Automobil-Club) é o maior clube de automobilismo da Alemanha e Europa, com 15.290.614 membros em agosto de 2005. Foi fundada em 24 de maio de 1903 como "Deutsche Motorradfahrer-Vereinigung", sendo renomeada.

inversor, sistema de baixa tensão, conversor DC / DC e perdas de carga e descarga num gradiente de estrada¹¹ de + / -2% e uma temperatura ambiente de 20 ° C (sem aquecimento e sem ar condicionado) para vários tipos de regimes de rodagens¹². (OVK).

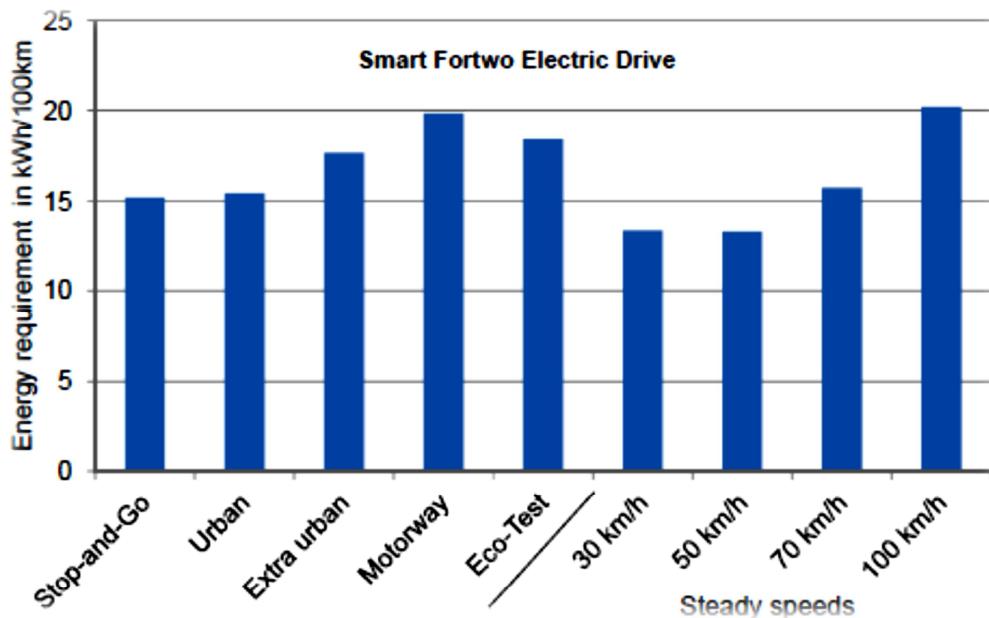


Figura 40 – Consumo em KW/h para um percurso de até 100 Km (OVK)

A Figura 41 – Pontos de medição mostra um exemplo dos pontos onde foram obtidos os fluxo de corrente para determinação da potência consumida no veículo

Os seguintes componentes foram medidos:

- Placa de controle de carregamento
- DC / DC conversor (Alta tensão DC / Baixa tensão DC)
- AC / DC conversor (Tensão AC / Tensão DC)
- Bateria para tração
- Ar condicionado
- Aquecimento

¹¹ Gradiente de estrada é o mesmo de acente e declive

¹² Stop-and-go (Partida seguida de um trajeto de 700 m seguido de uma parada), urban (Regime urbano), Extra urban (Regime médio), Motorway (Auto estrada), Eco-Test (Protocolo ADAC de testes).

A energia consumida da fonte de energia para carregamento da bateria foi medida durante o processo de carregamento para a bateria de tração. (OVK)

Durante o funcionamento do veículo foi medida a quantidade de energia a partir da bateria de tração que alimenta o a tração do veículo, ar condicionado, aquecimento e acessório que é representado na figura de N1 a N6. (OVK)

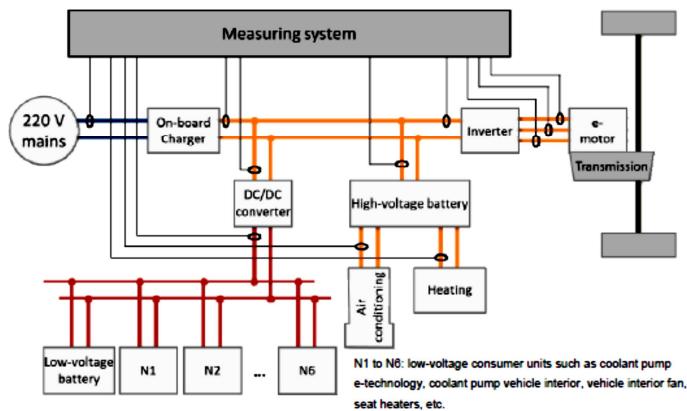


Figura 41 – Pontos de medição (OVK)

A Figura 42 – Autonomia em relação à temperatura ambiente mostra a autonomia apresentada no Eco-Test¹³ com uma carga de bateria e em um gradiente de estrada de + / -2% em função da temperatura ambiente.

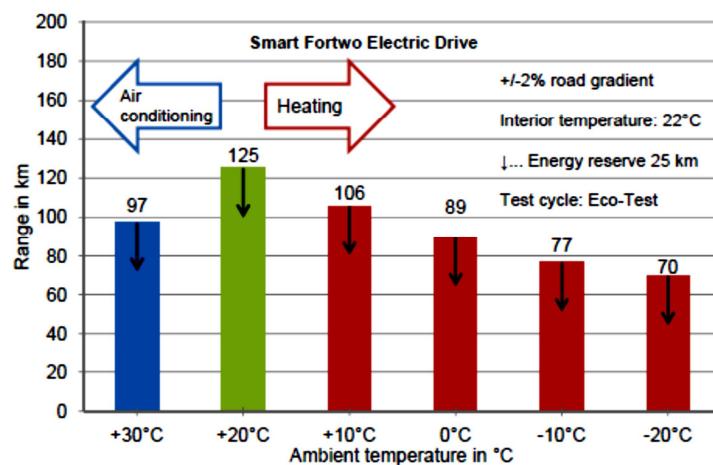


Figura 42 – Autonomia em relação à temperatura ambiente (OVK)

¹³ Eco-Test (Protocolo ADAC de testes)

12. ANÁLISE DO CONSUMO DA CARGA SOBRE O SISTEMA FOTOVOLTAICO

[É possível verificar na](#)

que para uma temperatura ambiente de 20 C° o consumo para o carregamento da bateria da fonte de energia será de 23,00 KWh, sendo que o tempo de carregamento total será de 07h51min.

Tabela 11 – Consumo em KWh para carregamento da bateria veicular do Smart Fortwo Electric Drive® (OVK)

Stop and GO / Urbano / Extra Urbano / Autor Estrada / Ecotest	Temperatura Ambiente (C°)	Tempo de carregamento (Horas)	Consumo da fonte de energia (kwh)	Perdas de carga incluindo o controlador(kwh)	Perdas de descarga(kwh)	Capacidade da bateria antes do inicio dos testes (kwh)
	30,00	08:05:04	23,80	4,80	1,20	17,80
	20,00	07:51:58	23,00	4,00	1,20	17,80
	10,00	07:44:07	22,50	3,40	1,50	17,50
	0,00	07:38:59	22,00	3,30	1,80	16,90
	-10,00	09:35:06	25,00	6,20	1,90	16,80
	-20,00	08:36:06	25,00	5,90	2,60	16,50

Considerando uma produção de 1349,89 KWh como verificado no tópico 11.5 e um consumo da fonte de energia para carregamento de 23 KWh por veiculo é possível nesse estudo afirmar que o sistema fotovoltaico em estudo poderá atender a uma demanda de **58 veículos** em carga durante o período comercial e cada veiculo poderá atingir a uma autonomia de 125 km como visto na figura Figura 42 – Autonomia em relação à temperatura ambiente

13. CONCLUSÃO

A geração de energia solar fotovoltaica apresenta-se como uma forma de geração de energia promissora. Atualmente existem diversas linhas de pesquisa para aplicação da geração de energia elétrica através da energia solar, com o objetivo de elevar sua eficiência e reduzir seu custo. Devido a esses dois fatores, custo e eficiência a geração fotovoltaica ainda não é competitiva em relação às outras fontes de energia convencionais. É utopia pensar em substituir integralmente a geração de energia térmica ou hidráulica pela geração solar. Entretanto, as aplicações em locais remotos, back-up para o sistema energético e pequenas aplicações urbanas como apresentado nesse trabalho, estão sendo desenvolvidas e ampliadas.

O Brasil, com elevado potencial para a utilização deste tipo de conversão, não possui muitas pesquisas na área. Países com um nível de irradiação solar inferior, como os europeus, têm aplicações e investimento bem maiores.

O objetivo deste trabalho, além de incentivar as linhas de pesquisas relacionadas às fontes alternativas de energia é demonstrar que é possível unir o desenvolvimento dos sistemas fotovoltaicos com o advento pela busca de uma melhor qualidade de vida nos grandes centros urbanos reduzindo o uso de veículo movido a combustíveis fosseis.

Este trabalho de conclusão de curso abordou uma aplicação específica dentro de várias formas de aplicação possíveis e existentes. O objetivo é utilizar este trabalho como base para outras pesquisas relacionadas à geração de energia solar fotovoltaica. Como por exemplo, no uso para alimentação de sistema de ar condicionado, iluminação pública entre alternativas.

14. RECOMENDAÇÕES

Para um maior aprofundamento sobre o estudo de caso é necessário avaliar outras variáveis que poderá influenciar na produção de energia, carga e na utilização do sistema pelo usuário.

- Levantamento de disponibilidade de painéis solares em operação devido a durabilidade e disposição dos circuitos. Pois em caso de painéis em manutenção produção será reduzida.
- Fator de utilização dos veículos para carregamento nas estações de carga, pois a probabilidade de todos os veículos estarem carregando ao mesmo tempo pode ser pequena.
- Levantamento entre o usuário para determinar em médias as distâncias percorridas. Importante informação para determinar o melhor veículo que se adequa a necessidade do usuário.
- Controle de demanda para que as estações fiquem inoperantes na falta de energia suficiente para carregamento dos veículos. Nesse caso o usuário poderá buscar outra fonte de energia para o carregamento
- By-pass do sistema fotovoltaico para a rede da concessionária em caso de falha no sistema fotovoltaico ou baixa produção de energia
- Estudo de viabilidade técnico e econômica para instalação de banco de baterias para o sistema fotovoltaico a fim de armazenar parte da energia produzida e não consumida durante o dia.
- Levantamento da relação custo x benefício para implantação do projeto.

15. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Wikipédia. (2008). Acesso em 14 de Abril de 2013, disponível em <https://pt.wikipedia.org/wiki/Longitude>
- A.P.L.J.CUNHA. (2006). Eletrificação de edificações rurais isoladas utilizando energia solar fotovoltaica. Fl 49. *Monografia (Pós Graduação Lato Sensu em Fontes Alternativas de Energia*, 49. Lavras, MG.
- ABVE. (2011). Acesso em 08 de Março de 2013, disponível em [www.abve.org.br](http://www.abve.org.br/downloads/Road_Map_2011_%202020_%20maio_2011.pdf):
- ANEEL. (2012). www.aneel.gov.br. Acesso em 10 de Janeiro de 2013, disponível em www.aneel.gov.br/15.htm
- ANEEL, A. (s.d.). <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em 16 de 03 de 2013, disponível em http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas_par2_cap5.pdf
- ANTUSOL*. (s.d.). Acesso em 03 de Março de 2013, disponível em <http://antusol.webcindario.com/sistemafotovoltaico.html>.
- BEN. (s.d.). Acesso em 08 de 03 de 2013, disponível em <https://ben.epe.gov.br>:
- https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2010.pdf.
- CHEN. (2009). Progress in electrical energy storage system. In: H. CHEN, T. CONG, W. YANG, C. TAN, LI,Y, & DING,Y, *Progress in electrical energy storage system* (pp. Vol. 19 , 291- 312).
- DETRAN. (2013). Acesso em 08 de Março de 2013, disponível em <http://www.detran.sp.gov.br/>: <http://www.detran.sp.gov.br/>
- EIA. (2011). Acesso em 2013 de Março de 10, disponível em <http://www.eia.gov>:
- <http://www.eia.gov/forecasts/ieo/index.cfm>

- EPRI. (2011). Acesso em 08 de Março de 2013, disponível em <http://www.epri.com: http://www.epri.com/abstracts/Pages/ProductAbstract.aspx?ProductId=0000000000001000349&Mode=download>
- IEA. (s.d.). Acesso em 16 de Março de 2013, disponível em [http://mojo.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/Solar_Heat_Worldwide-2012.pdf](http://mojo.iea-shc.org: http://mojo.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/Solar_Heat_Worldwide-2012.pdf)
- INPE. (1996). Acesso em 17 de Março de 2013, disponível em [http://mtc-m17.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/05.04.14.11/doc/atlas_solar-reduced.pdf](http://mtc-m17.sid.inpe.br: http://mtc-m17.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/05.04.14.11/doc/atlas_solar-reduced.pdf),
- Jornale. (s.d.). Acesso em 08 de Março de 2013, disponível em <http://jornale.com.br/mirian/wp-content/uploads/2011/11/carro-eletrico.jpg>
- KPMG. (2012). *KPMG'S Global Automotive Executive Survey 2012*. São Paulo: KPMG.
- L.R.OSIS. (2007). Alimentação de motores para refrigeração doméstica utilizando energia solar fotovoltaica - Fl 81. *Tese (Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Fontes de energia para obtenção do título de especialista) - Universidade Federal de Lavras*. Lavras, MG.
- LPS. (s.d.). www.lps.usp.br. Acesso em 16 de Março de 2013, disponível em <http://www.lps.usp.br/lps/arquivos/conteudo/grad/dwnld/CarroEletrico2005.pdf>
- MPPTSOLAR. (s.d.). www.mpptsolar.com. Acesso em 05 de 03 de 2013, disponível em <http://www.mpptsolar.com/pt/images/controladores/controlador-de-carga-solar-mppt.jpg>
- OVK. (s.d.). Acesso em 29 de Abril de 2013, disponível em [www.ovk.at: http://www.ovk.at/aktuelles/2012/Battery%20Electric%20Vehicles%20in%20Practice.pdf](http://www.ovk.at/aktuelles/2012/Battery%20Electric%20Vehicles%20in%20Practice.pdf)
- Portal das Energias Renováveis*. (s.d.). Acesso em 10 de Março de 2013, disponível em http://www.energiasrenovaveis.com: http://www.energiasrenovaveis.com/Area.asp?ID_area=8

Portal Energia, P. (s.d.). www.porta-energia.com. Acesso em 05 de Fevereiro de 2013, disponível em <http://www.portal-energia.com/dimensionamento-do-controlador-de-carga-para-um-sistema-solar/>

REN21. (s.d.). <http://new.ren21.net>. Acesso em 2013 de Março de 16

Siemens. (s.d.). www.industry.siemens.com.br. Acesso em 05 de Março de 2013, disponível em <http://www.industry.siemens.com.br/drives/br/PublishingImages/stromrichter-siemens.jpg>

Solar UFRGS. (s.d.). Fonte: <http://www.solar.ufrgs.br/#linhas03>

SOLENERG, E. (s.d.). *Sistema de iluminação pública solar*. Acesso em 03 de Fevereiro de 2013, disponível em <http://www.solenerg.com.br/>.

UFPR. (s.d.). Acesso em 09 de Junho de 2013, disponível em <http://www.if.suldeminas.edu.br/~ojs/index.php/Agrogeoambiental/article/download/221/217>.

UFRGS. (s.d.). Acesso em 2013 de Abril de 13, disponível em <http://www.if.ufrgs.br:8080/ast/solar/portug/sun.htm#intro>

UFRGS ASTRO. (s.d.). Acesso em 13 de Abril de 2013, disponível em <http://astro.if.ufrgs.br/tempo/mas.htm>; <http://astro.if.ufrgs.br/tempo/mas.htm>

UFSC. (s.d.). <http://www.fotovoltaica.ufsc.br/>. Acesso em 09 de 03 de 2013, disponível em <http://www.fotovoltaica.ufsc.br/conteudo/paginas/6/livro-edificios-solares-fotovoltaicos.pdf>

Uniblog. (s.d.). www.uniblog.com.br. Acesso em 2013 de Março de 07, disponível em http://www.uniblog.com.br/energia_renovavel

WEG. (s.d.). www.weg.net. Acesso em 04 de 03 de 2013, disponível em <http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Drives/Inversor-Solar-Fotovoltaico/SIW>