

Impactos energéticos e ambientais do uso de sistemas solares fotovoltaicos para carregamento de carros elétricos em postos de abastecimento no Brasil

Energy and environmental impacts of using solar photovoltaic systems for charging electric cars at gas station in Brazil

Impactos energéticos y ambientales del uso de sistemas solares fotovoltaicos para cargar autos eléctricos en estaciones de servicio en Brasil

Recebido: 20/08/2020 | Revisado: 02/09/2020 | Aceito: 04/09/2020 | Publicado: 06/09/2020

Mariana Araújo Mendes Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5533-310x>

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

E-mail: mariana.amfe@gmail.com

Rafael Balbino Cardoso

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4239-3108>

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

E-mail: cardosorb@unifei.edu.br

Resumo

Esse trabalho apresenta um estudo sobre o aproveitamento da energia solar para carregamentos de carros elétricos com objetivo de avaliar a economia de energia elétrica para Sistema Interligado Nacional (SIN) e a redução de gases do efeito estufa pela implantação de sistemas fotovoltaicos *on-grid* em postos de recarga no Brasil. Para o abastecimento diário de dois veículos modelo Caoa Cherry Arrizo 5e com recarga de bateria de 50kW durante o período de uma hora, realizou-se o dimensionamento de sistemas *on-grid* para todos os postos de cada estado do Brasil, cadastrados na Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), considerando dados das capitais brasileiras. Os cálculos do dimensionamento resultam em uma economia para o SIN por meio de geração distribuída de 1.436.683 MWh/ano de energia produzida pelos postos de abastecimento. No quesito ambiental, verifica-se com uma redução nas emissões de gases do efeito estufa de 107.751,24 toneladas de CO₂ por ano. As conclusões obtidas por meio da análise dos resultados evidenciam os benefícios alcançados com a implantação dos sistemas.

Palavras-chave: Abastecimento; Carros elétricos; Energia solar fotovoltaica.

Abstract

This work presents a study on the use of solar energy for charging electric cars with the objective of evaluating the electricity savings for the “Sistema Interligado Nacional” (SIN) and the reduction of greenhouse gases by the implementation of photovoltaic systems in the grid at gas stations recharge in Brazil. For the supply of two vehicles of the Caoa Cherry Arrizo 5e model, daily, with 50kW battery recharge during the period of one hour, the on-grid systems were dimensioned for all gas stations in each state of Brazil, registered in the “Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis” (ANP), considering data from the Brazilian capitals. The calculations of the dimensioning of the systems obtained show the benefits achieved with the saving of electric energy from the generation annual of 1.436.683 MWh, and with an annual reduction of greenhouse gas emissions of tonnes of 107.751 CO₂. As concluded by analyzing the results, the benefits achieved with the implementation of systems.

Keywords: Supply; Electric cars; Photovoltaic solar energy.

Resumen

Este trabajo presenta un estudio sobre el uso de energía solar en la recarga de autos eléctricos con el objetivo de evaluar el ahorro de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional (SIN) y la reducción de gases de efecto invernadero por la implantación de sistemas fotovoltaicos en la red de recarga de gasolineras en Brasil. Para el suministro diario de dos vehículos modelo Caoa Cherry Arrizo 5e con recarga de batería de 50kW durante una hora, se dimensionaron los sistemas en red para todas las estaciones en cada estado de Brasil, registrados en la Agencia Nacional Petróleo, gas natural y biocombustibles (ANP), considerando datos de capitales brasileñas. Los cálculos de dimensionamiento resultan en ahorros para todo el Sistema Interconectado Nacional mediante la generación distribuida de 1,436,683 MWh / año de energía producida por las estaciones de servicio. En términos del medio ambiente, hay una reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero de 107,751.24 toneladas de CO₂ por año. Las conclusiones obtenidas a través del análisis de los resultados muestran los beneficios logrados con la implementación de los sistemas.

Palabras clave: Suministro; Carros eléctricos; Energía solar fotovoltaica.

1. Introdução

Considerada uma fonte de energia limpa e renovável, a energia solar para geração de energia elétrica vem sendo aproveitada de forma crescente nas últimas décadas. Por meio do desenvolvimento tecnológico, da expansão dos mercados e das escalas de produção as aplicações da energia solar tornaram-se viáveis economicamente.

Devido à sua extensão e localização geográfica, o Brasil possui potencial de geração de energia solar elevado. Em geral todas as regiões do país possuem um bom potencial se comparado à Europa, que é referência quando o assunto é energia solar fotovoltaica, porém, os estados do nordeste e Minas Gerais merecem destaque por possuírem o maior potencial. A maior porção de toda energia elétrica produzida no Brasil corresponde à energia hidráulica, mas a crescente utilização de energia eólica e solar vêm contribuindo para que a matriz energética brasileira continue sendo em sua maior parte de fontes renováveis.

As aplicações da energia fotovoltaica vão desde uso residencial, industrial, iluminação pública, atividades agrícolas como irrigação até o setor de transportes para abastecimento de carros elétricos. Esses veículos tiveram sua origem antes mesmo dos veículos convencionais de motores a combustão, no entanto, devido à baixa eficiência das baterias e do baixo custo dos combustíveis derivados do petróleo a produção de carros com motor a combustão interna fez com que os carros elétricos fossem substituídos.

Atualmente, com o desenvolvimento de novas tecnologias, os carros elétricos movidos à energia solar fotovoltaica se mostram como uma alternativa aos carros convencionais, apresentando grande vantagem ambiental pois além de serem mais eficientes, não emitem gases poluentes como os que utilizam combustíveis fósseis. Desta forma, os carros elétricos se apresentam como solução tendo em vista a necessidade de se alcançar uma mobilidade mais sustentável.

Os objetivos deste trabalho foram avaliar a economia de energia elétrica para o Sistema Interligado Nacional e a redução de gases do efeito estufa pela implantação de sistemas fotovoltaicos *on-grid* em postos de recarga no Brasil. Realizou-se dimensionamento em base estadual para sistemas fotovoltaicos de geração de energia para cada posto de abastecimento, para recarregar dois carros diariamente.

2. Referencial Teórico

Conforme mencionado por Lima et al. (2008), o principal componente da matriz energética mundial é o petróleo: um combustível fóssil cujas reservas são insuficientes para manter o suprimento nas próximas quatro décadas. As energias renováveis, portanto, têm ganhado maior visibilidade por serem consideradas uma solução capaz de amenizar a dependência mundial do petróleo e as questões ambientais acerca da poluição atmosférica.

Este tipo de energia vem crescendo na utilização em veículos no mundo todo, e para que possa ser aplicada em veículos automotores é necessário que estes sejam compatíveis com a fonte de energia gerada. Assim o desenvolvimento tecnológico voltado para veículos alternativos como veículos elétricos, busca fazer com que estes atendam ou superem as qualidades dos veículos convencionais. Nessa busca, surgiram inovações principalmente advindas da energia solar fotovoltaica empregada em tecnologias automotivas (Bittencourt et al., 2017).

A geração de energia elétrica por sistemas fotovoltaicos no Japão e na Europa foram por muito tempo uma referência mundial. Políticas de incentivo como subsídios governamentais aplicados nessas localidades ajudaram a fomentar o desenvolvimento da geração de energia solar. Logo em seguida outros países assumiram posturas muito semelhantes, como: Bélgica, Grécia, Itália, Portugal, Espanha e algumas cidades dos Estados Unidos (Rella, 2017).

No contexto brasileiro, o desenvolvimento tecnológico voltado à energia solar fotovoltaica se equiparava ao restante do mundo nos anos 70, motivado pela crise mundial do petróleo. No entanto, nos anos 80 devido à falta de incentivos governamentais, os grupos de pesquisa em energia solar e as fábricas direcionaram suas atividades para outras áreas, e o aproveitamento da energia fotovoltaica entrou em declínio. Já nos anos 90, foram instalados os primeiros sistemas conectados à rede elétrica, e em meados dos anos 2000 a disseminação da energia solar foi impulsionada pelo Programa Luz para Todos que, por meio dos sistemas isolados, levou energia elétrica às regiões mais remotas do Brasil. (Pinho; Galdino, 2014)

As Resoluções Normativas da ANEEL 482/2012 e 687/2015 também ofereceram grande avanço em potência instalada no Brasil para micro e minigeração distribuída. Isso possibilitou a geração própria de energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada, em que, por um sistema de compensação de créditos o cliente fornece o excedente de produção para a rede de distribuição de sua localidade. (ANEEL, 2019)

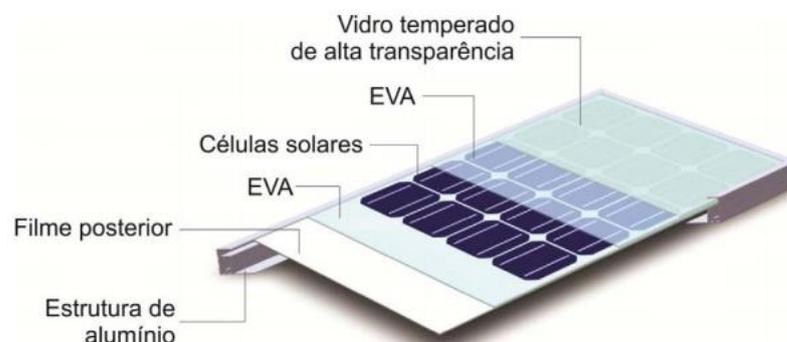
Fatores como o aumento da demanda de energia, crises políticas em regiões produtoras de petróleo e a decorrente redução de oferta de combustíveis, são fatores que têm trazido preocupações para o setor energético. Além disso, as alterações climáticas têm sido objeto de muitas pesquisas, e as discussões a respeito deste tema têm ganhado foco com o passar dos anos devido à uma relação de causa e efeito estabelecida as ações antrópicas e consequências graves que o planeta tem vivenciado.

A utilização da energia solar fotovoltaica apresenta diversas vantagens pois é oriunda de fonte renovável, causa baixo impacto ambiental, contribui para diversificação da matriz energética e possibilita a utilização de energia elétrica a localidades remotas e não abastecidas por concessionária. Além disso, pode ser integrada a edificações, reduzindo a demanda por área para instalação. Em contrapartida, as desvantagens que o uso da energia solar fotovoltaica apresenta estão relacionadas à variabilidade de radiação solar diária pois não produz energia à noite, e sazonal pois varia conforme as estações do ano. Conseqüentemente, há uma variação na produção de energia produzida.

2.1 Módulos, tipologias dos sistemas fotovoltaicos e dimensionamento

Os painéis solares ou módulos que constituem o bloco gerador de um sistema fotovoltaico, são constituídos de uma sobreposição de materiais, como pode se observar pela Figura 1:

Figura 1. Esquema dos componentes de um módulo fotovoltaico com células de silício cristalino.



Fonte: Pinho; Galdino (2014).

É importante salientar a função de cada um destes materiais. A moldura de alumínio é responsável por garantir a integridade dos módulos e proteger de danos, o vidro fotovoltaico é

um vidro temperado antirreflexivo, que reflete menos e deixa o máximo de luz passar através dele. A folha de EVA (acetato-vinilo de etileno) protege as células de temperaturas extremas e umidade. As células fotovoltaicas são fabricadas a partir de lâminas de silício e são partes fundamentais dos painéis solares, pois nelas ocorrem o chamado efeito fotovoltaico. Filme posterior funciona como isolante térmico e para proteger os componentes internos do painel solar. A caixa de junção fica na parte traseira dos painéis faz a interconexão das placas por meio de cabos que farão as associações, podendo ser em série ou em paralelo.

As células fotovoltaicas, responsáveis pela geração da corrente elétrica, são fabricadas a partir de cristais de silício que passam por processos de desoxidação, purificação e solidificação. As células produzidas por silício monocristalino apresentam eficiência elevada, portanto, traz consigo maior custo. Esse tipo de célula também sofre maior sensibilidade a temperaturas altas. Ao passo que as células de silício policristalino apresentam custos inferiores, menor sensibilidade a temperaturas altas, possuem menor eficiência.

Um sistema fotovoltaico constitui-se de um bloco gerador de energia, um bloco de condicionamento de potência e, opcionalmente, um bloco de armazenamento. O bloco gerador é formado pelos módulos fotovoltaico, o cabeamento elétrico e a estrutura de suporte. O bloco de condicionamento de potência composto por conversores, seguidor de ponto de potência máxima, inversores, controladores de carga (se houver armazenamento) e outros dispositivos de proteção, supervisão e controle. As Figuras 2 e 3 demonstram o funcionamento das tipologias dos sistemas.

Figura 2. Esquema de sistemas off-grid.



Fonte: Strom Brasil (2019).

No caso dos sistemas *off-grid* representados pela Figura 2, o bloco de armazenamento é constituído por baterias, que são os acumuladores elétricos.

Figura 3. Esquema de sistemas on-grid.



Fonte: Strom Brasil (2019).

Os sistemas *on-grid*, representados pela Figura 3 são aqueles diretamente conectados à rede elétrica.

De modo geral, um inversor é um dispositivo que converte a energia elétrica que vem de uma fonte corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA), permitindo a regulação da tensão para as características típicas de uma instalação. O inversor é um aparelho fundamental, pois fornece energia de maneira compatível com os limites da bateria e/ou painéis solares fotovoltaicos, desta forma, ao realizar-se o dimensionamento de inversores faz-se necessária a sinergia entre os dois.

De acordo com Pinho e Galdino (2014), para projetar-se um sistema fotovoltaico tanto *off-grid*, quanto *on-grid*, é necessário avaliar a disponibilidade do recurso solar, disponibilidade de área, a configuração dos módulos, demanda a ser atendida e diversos outros fatores. A partir disso, pode-se dimensionar o gerador fotovoltaico e os equipamentos de condicionamento e também de armazenamento nos casos dos sistemas isolados.

Desta forma, pretende-se adequar o gerador fotovoltaico às necessidades definidas pela demanda dos carros elétricos.

2.2 Avaliação do recurso solar

O primeiro e mais importante elemento em um projeto fotovoltaico é o recurso solar, que é fonte de energia para o sistema. Nesta fase, busca-se quantificar a radiação solar global

incidente sobre os módulos fotovoltaicos que pode ser medida por valores do fluxo de potência ou valores de energia por unidade de área, denominados como irradiância e irradiação, respectivamente.

A forma mais comum de apresentação dos dados de radiação é por valores médios mensais para a energia acumulada ao longo de um dia, denominada Horas de Sol Pleno (HSP), a qual indica o número de horas em que a irradiância solar é constante e igual a 1 kW/m² (Pinho; Galdino, 2014). A Figura 4 ilustra uma visão da média anual da irradiação global horizontal (kWh/m²) no Brasil.

Figura 4. Irradiação global horizontal no Brasil medida em kWh/m².



Fonte: Solargis.

Verifica-se que a figura representa a radiação solar global horizontal no Brasil. Dos estados com maior potencial fotovoltaico, destacam-se os estados do nordeste, e o de Minas Gerais. Nota-se também uma boa uniformidade na média anual de irradiação global, com valores anuais altos em todo país.

2.3 Veículos elétricos e pontos de abastecimento com energia solar

Os veículos elétricos se mostram como futuro da mobilidade apesar de não serem novidade, nem mesmo uma tecnologia recente. Os primeiros veículos elétricos datam do

início do séc. XIX, antes mesmo da invenção dos motores de combustão interna (MCI) por Benz em 1885-1886 (Baran;Legey, 2011).

De acordo com Fontes (2019) no ano de 1958 foi concebido o primeiro veículo solar dirigível pela empresa International Rectifier Company por meio de modificações no carro elétrico “Baker” para funcionar com energia fotovoltaica, e contava com aproximadamente 10.640 células fotovoltaicas instaladas sobre seu telhado.

O desenvolvimento dos sistemas FV e dos carros elétricos tiveram inúmeros altos e baixos ao longo da história. Essa é uma das razões pelas quais as tecnologias que envolvem o controle do veículo, seus componentes eletrônicos e principalmente as baterias, ainda são tecnologias que não atingiram sua fase de maturação. Mas com os recentes progressos aperfeiçoamentos em tecnologias, aliados ao aumento da produção em escala, os veículos elétricos vêm tendo quedas significativas de preço principalmente quando se fala em baterias. O valor de aquisição desses carros é realmente mais elevado comparados aos carros convencionais, no entanto, vale ressaltar que os veículos elétricos apresentam inúmeras outros benefícios como melhor eficiência energética e menor custo com manutenção do veículo.

O abastecimento dos carros elétricos, no geral, ocorre na residência dos proprietários por meio dos sistemas FV *off-grid* instalados, mas convém lembrar que tais instalações devem ter capacidade para atender a potência exigida e por isso o dimensionamento das instalações deve ser feito adequadamente (ANEEL, 2017). Ainda conforme a ANEEL (2017) Existem três tipos de recarga: rápida (30 min), semirrápida (2h) ou lenta (8h), e para a realização desses processos os condutores (fios), acessórios e outros equipamentos, são conectados na entrada dos carros elétricos e fornecem eletricidade para carregar a bateria. Normalmente, as recargas rápidas ou semirrápidas são realizadas em eletropostos, como pode observar-se pela Figura 5:

Figura 5. Abastecimento de carro elétrico.



Fonte: Transporta Brasil (2012).

Os meios de transporte convencionais já têm uma média determinada de autonomia e o reabastecimento é feito de forma simples, ágil e rápida, enquanto no caso dos veículos elétricos este processo de recarga ainda é bastante demorado, portanto torna-se imprescindível o melhor aproveitamento e maximização da energia armazenada. (Freitas, 2012)

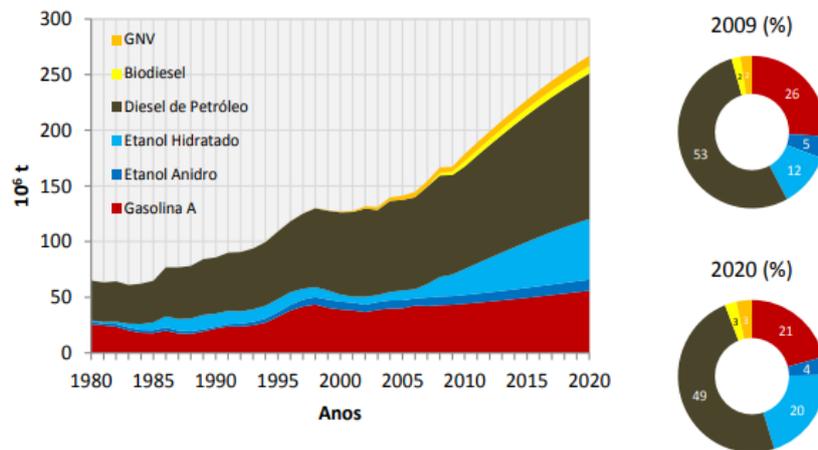
2.4 Fatores ambientais relacionados à implantação de sistemas fotovoltaicos e ampliação da frota de veículos elétricos

Os impactos ambientais negativos inerentes aos empreendimentos de aproveitamento solar para geração de energia fotovoltaica são inferiores quando comparados com os impactos positivos e as vantagens de sua implantação. Os sistemas fotovoltaicos não emitem poluentes durante sua operação, gerando impactos ambientais apenas durante sua fabricação e montagem das células fotovoltaicas. Ao passo que, grande parte dos impactos positivos tem seus efeitos postergados após a fase implantação e se consolidam durante a fase de operação. (Filho et al., 2015).

Como a demanda e o consumo de energia elétrica crescem cada vez mais e proporcionalmente ao aumento populacional e com o avanço tecnológico têm-se por consequência produção de CO_2 quando se utiliza fontes fósseis para produção de energia. Este gás contribui para o aquecimento global e retém oxigênio da atmosfera, prejudicando assim a disponibilidade de O_2 . (Lira et al., 2019). A queima desses combustíveis também libera outros gases, denominados gases do efeito estufa, como por exemplo metano (CH_4) e o monóxido de carbono (CO). O gráfico 1 mostra as emissões do setor de transporte rodoviário

brasileiro em 2009 e realiza uma projeção para o ano de 2020, como se pode observar a seguir:

Gráfico 1. Representação gráfica das emissões de CO_2 por tipo de combustível.



Fonte: MMA (2011).

Nota-se que em 2009, 53% do total foi da queima de óleo diesel de origem fóssil, 2% do biodiesel, 26% da gasolina, 17% do etanol e 2% do GNV. Para o cenário de 2020, a projeção se altera devido à queda no uso de gasolina com o uso de veículos *flex* associado ao uso do etanol. Desse modo, para 2020 a distribuição das emissões projetadas seria de 49% originadas da queima de diesel fóssil, 21% da gasolina, 3% do GNV, 24% do etanol e 2% do biodiesel. (MMA, 2011).

A geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN) apresenta um impacto no meio ambiente, que é mensurado considerando os fatores de emissão de CO_2 pela geração de energia elétrica e segue a metodologia proposta pelo MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo que estimula a substituição de energia de origem fóssil por outra de energia renovável, além da racionalização do uso de energia com objetivo de promover o desenvolvimento sustentável e as reduções de emissões. (Lira et al., 2019).

O cálculo da emissão de gases de efeito estufa é realizado pela relação entre a energia elétrica gerada em um período de tempo e do fator de emissão médio de CO_2 do SIN neste mesmo período, obtendo-se o valor em de emissão de CO_2 em t/MWh. Desta forma, conclui-se que a geração própria de energia economiza o que deveria ser produzido pelo SIN, destacado os benefícios gerados ao meio ambiente com a utilização de painéis fotovoltaicos para abastecimento de veículos elétricos.

3. Metodologia

A metodologia utilizada é de caráter quantitativo e segue o Manual de Engenharia Fotovoltaica elaborado pelos autores Pinho e Galdino (2014). Para o cumprimento dos objetivos, o desenvolvimento da metodologia encontra-se estruturado em três fases. Na primeira parte são apresentadas as generalidades, que consistem na avaliação do recurso solar disponível em cada estado brasileiro, a caracterização dos veículos e autonomia, e também a determinação da quantidade de postos por estado. Na segunda parte, segue a seleção dos carregadores e o dimensionamento dos componentes fotovoltaicos para cada proposta. Já a última fase consiste nas análises energética e ambiental decorrentes da adoção do sistema fotovoltaico para abastecimento de carros elétricos.

3.1 Avaliação do recurso solar

A primeira etapa consiste na aquisição de base de dados e informações prévias necessárias para o projeto dos sistemas FV, adquiridas por meio da utilização da plataforma *SUNDATA* oferecida pelo CEPEL – CRESESB, são elas as coordenadas geográficas das capitais estaduais e horas de sol pleno, por meio da média anual de irradiação global em kWh/m² de cada uma delas.

3.2 Caracterização do veículo e distância anual média percorrida

O segundo passo consiste na determinação de um veículo elétrico padrão. Optou-se pelo veículo *Chery Arrizo 5e*, com as seguintes características, exibidas na Tabela 1:

Tabela 1. Especificações técnicas - Chery Arrizo 5e

Autonomia máxima	322 km
Bateria	53 kWh
Recarga em eletropostos	1h
Recarga doméstica	8h

Fonte: Autopapo (2019).

Observa-se então uma média de consumo de energia por km de 0,164 kWh/km, com um consumo de cerca de 2460 kWh por ano considerando 15.000km a distância média percorrida anualmente.

3.3 Definição do carregador

O carregador adotado é o modelo WEMOB-P-022-E-3G-R-H-2T2 trifásico, do fabricante WEG que, abastecendo 2 carros simultaneamente, consome de energia elétrica 100 kWh para suprir a demanda de carregamento considerando 50kW de carga para a bateria de cada carro.

3.4 Determinação da quantidade de postos por estado do Brasil

A determinação do número de postos por estado foi realizada identificando registros da Agência Nacional de Petróleo, responsável pelos postos de abastecimento. Os dados são apresentados na Tabela 2:

Tabela 2. Número de postos de abastecimento por estado brasileiro.

Estado	Postos de abastecimento
AC	177
AL	514
AM	729
AP	114
BA	2875
CE	1637
DF	326
ES	706
GO	1734
MA	1429
MG	4492
MS	603
MT	1042
PA	1248
PB	766
PE	1476
PI	1002
PR	2780
RJ	1977
RN	631
RO	519
RS	3159
SC	1969
SE	294
SP	8555
TO	411

Fonte: ANP (2020).

O Brasil conta então com aproximadamente 41.300 postos de abastecimento distribuídos por seus estados.

3.5 Dimensionamento dos sistemas *on-grid*

Quantidade de módulos fotovoltaicos

De acordo com Pinho e Galdino (2014), para determinação do consumo médio de energia foi utilizada a equação (1):

$$CM = \frac{P_g \times N_d \times D_m}{1000}, \quad (1)$$

em que CM é o consumo médio [kWh/mês], P_g é a potência da bateria [kW], N_d é o número de horas de utilização [horas/dia] e D_m o número médio de dias de utilização, por mês. Considerando o abastecimento de 2 carros de consumo energético de 50kWh, têm-se um consumo médio mensal de 3.000 kWh, e um consumo diário de 100kWh/dia.

De posse dos valores de Horas de Sol pleno de cada localidade, pode-se calcular a potência total dos painéis, que ainda conforme Pinho e Galdino (2014), pode ser obtida por meio da equação (2):

$$P_m = \frac{L_i}{HSP \times Red_1}, \quad (2)$$

onde:

P_m : Potência de pico [Wp];

L_i : Quantidade de energia consumida diariamente [kWh];

HSP: Horas de Sol Pleno;

Red_1 (%): Fator de redução da potência ao seu valor nominal, devido à efeitos de acúmulo de sujeira, degradação física ao longo do tempo, perdas devido à temperatura. Desta forma, para módulos de Silício cristalino, o *default* é de 0,75.

Para determinação da quantidade de módulos e da área necessária para a instalação, adotou-se o modelo CS3W 395 W ~ 415 W, com 415W de potência nominal, do fabricante Canadian, com as especificações apresentadas por meio da Tabela 3:

Tabela 3. Ficha técnica CS3W 395W~415W Canadian Solar.

Dados elétricos (STC)					
Potência nominal	395W	400W	405W	410W	415W
Dados mecânicos					
Tipo de célula	Policristalina				
Dimensões	2108 x 1048 x 40 mm				

Fonte: Canadian Solar.

Ressalta-se que em virtude da dificuldade de se estimar as temperaturas médias de cada localidade, para o correto dimensionamento dos módulos, será considerada a potência nominal da placa seguindo as condições padrão.

Sendo assim, foi utilizada a equação (3) para a quantidade de placas:

$$QT = \frac{P_m}{P_{\text{painel}}}, \quad (3)$$

Em que:

P_m : Potência de pico [Wp] e P_{painel} a potência nominal do painel escolhido.

Já a área total requerida para instalação dos módulos em cada posto, é calculada pela equação (4):

$$At = QT \times A, \quad (4)$$

Onde At [m²] é a área total requerida para a instalação dos módulos, e A [m²] é a área do módulo escolhido.

Dimensionamento do inversor

O inversor deve ser escolhido tendo como referência a potência do painel fotovoltaico P_m em kWp, multiplicada por uma faixa de operação de até 20% para mais considerando fator de segurança, ou 20% para menos considerando perdas na conversão, ainda segundo

Pinho e Galdino (2014). Considerando estes aspectos, foi definida uma eficiência de 90% para o cálculo da potência total dos inversores.

3.6 Estimar economia de energia e emissões de GEE

A energia anual produzida é igual a média da energia anual consumida por posto em cada estado, multiplicada pelo número de postos em cada estado e somando os estados, obtendo assim os valores em nível nacional. Com base na produção total de energia anual (no Brasil) e no consumo de cada carro. Desta forma, a energia produzida com os sistemas fotovoltaicos representa a economia para o Sistema Interligado Nacional, pois deixa-se de utilizar esta fonte. As reduções de emissões de GEE (tCO_2 /ano) referem-se à produção de energia do Brasil, multiplicada pelo o fator de emissão do SIN de $0,075 tCO_2/MWh$, registrado no ano de 2019 pelo MCIT.

4. Resultados e Discussão

O dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos para abastecimento de carros elétricos foi realizado via *software MICROSOFT EXCEL* para uma geração anual de 38,4 MWh, e o detalhamento é retratado na Tabela 4:

Tabela 4. Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos para abastecimento de carros elétricos.

Estados	Número de postos	Capitais	HSP	Quantidade de placas	Área total (m ²)	Potência de Pico (kWp)
AC	177	Rio Branco	4,56	68	150,52	28,27
AL	514	Maceió	5,35	58	128,29	24,09
AM	729	Manaus	4,32	72	158,88	29,84
AP	114	Macapá	4,94	63	138,94	26,09
BA	2875	Salvador	5,36	58	128,05	24,05
CE	1637	Fortaleza	5,69	55	120,63	22,65

DF	326	Brasília	5,25	59	130,74	24,55
ES	706	Vitória	4,96	63	138,38	25,99
GO	1734	Goiânia	5,25	59	130,74	24,55
MA	1429	São Luis	5,36	58	128,05	24,05
MG	4492	Belo Horizonte	5,17	60	132,76	24,93
MS	603	Campo Grande	5,03	62	136,46	25,62
MT	1042	Cuiabá	5,11	61	134,32	25,22
PA	1248	Belém	4,86	64	141,23	26,52
PB	766	João Pessoa	5,53	56	124,12	23,31
PE	1476	Pernambuco	5,34	58	128,53	24,14
PI	1002	Teresina	5,54	56	123,89	23,27
PR	2780	Curitiba	4,19	74	163,81	30,76
RJ	1977	Rio de Janeiro	4,73	66	145,11	27,25
RN	631	Natal	5,67	55	121,05	22,73
RO	519	Porto Velho	4,48	69	153,21	28,77
RR	119	Boa Vista	4,32	72	158,88	29,84
RS	3159	Porto Alegre	4,43	70	154,94	29,09
SC	1969	Florianópolis	4,25	73	161,50	30,33
SE	294	Aracaju	5,5	56	124,79	23,43
SP	8555	São Paulo	4,45	70	154,24	28,96

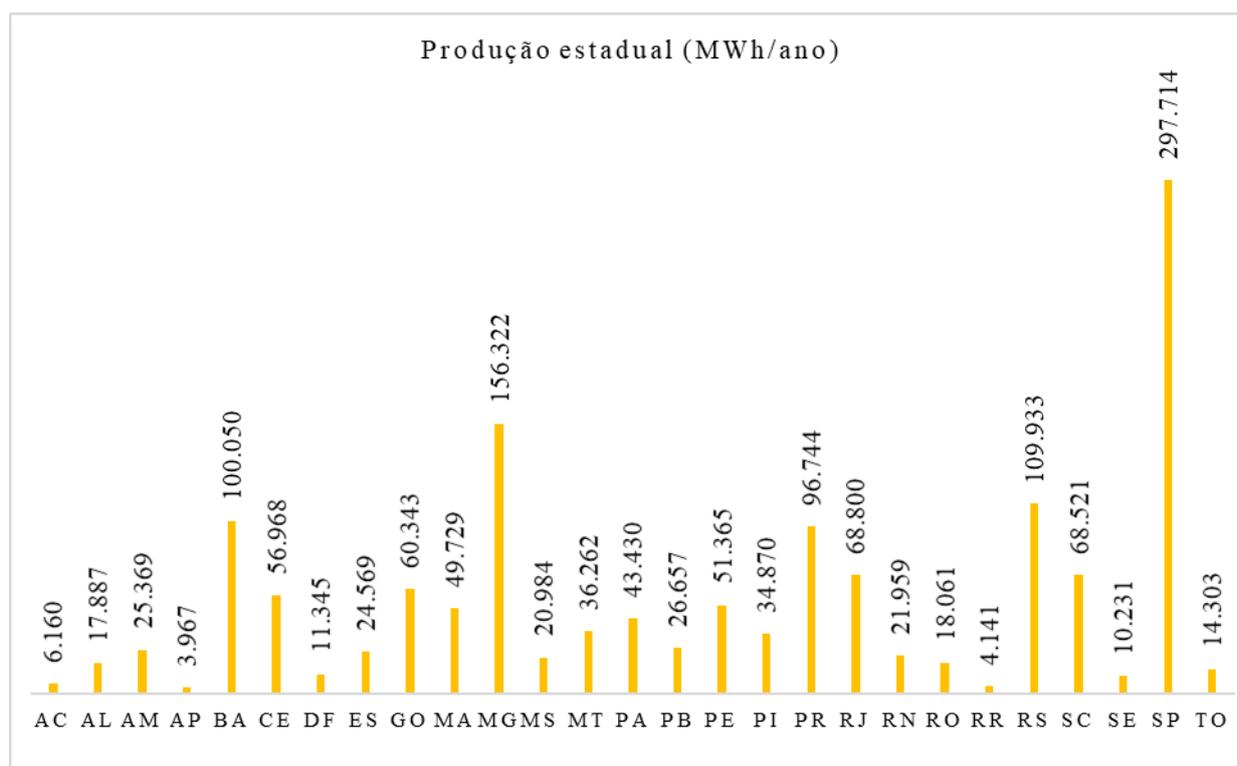
TO	411	Palmas	5,22	59	131,49	24,69
----	-----	--------	------	----	--------	-------

Fonte: Autores (2020).

Em relação à Potência de Pico, esta tem grande variabilidade devido a sua relação direta com as Horas de Sol Pleno, que também variam em caráter regional. Em relação ao número de placas, pode-se explicar a relação direta com a Potência de Pico, haja vista que quanto maior a energia a ser gerada, maior deve ser o número de placas, dada a mesma potência destas.

Tendo em vista os aspectos mencionados e diante do Gráfico 2, observa-se que a quantidade de energia gerada tem grande variabilidade, principalmente, pela grande diferenciação na quantidade de postos por estado e por quantidade de radiação.

Gráfico 2. Produção anual de energia (MWh) para cada estado brasileiro.



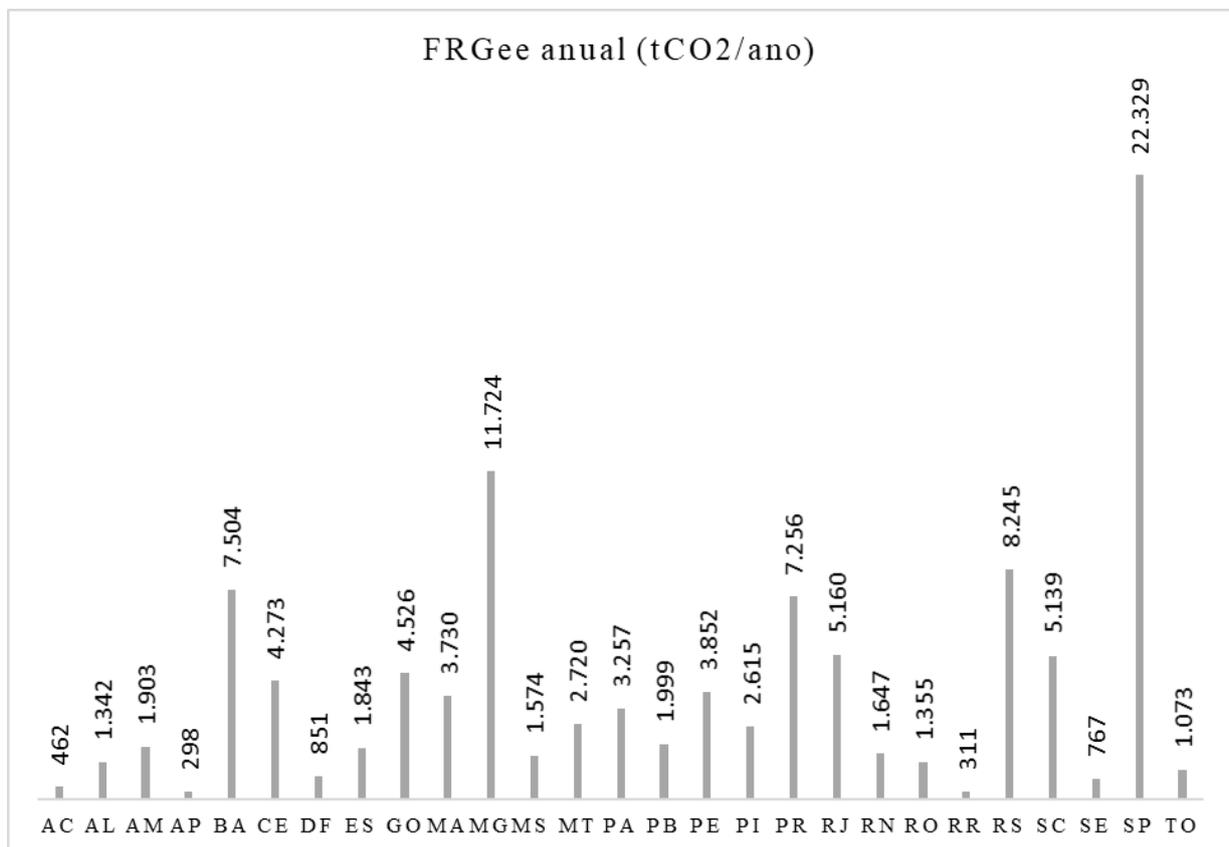
Fonte: Autores (2020).

O estado do Amapá apresenta uma menor quantidade de energia gerada anualmente, ao passo que o estado de São Paulo se mostra como o maior produtor, tendo em vista sua grande frota de veículos e conseqüentemente grande número de postos de abastecimento de veículos para suprimento da demanda.

Desta forma, com a seleção de sistemas de geração distribuída conectada à rede para abastecimento de carros elétricos, evidencia-se a relevância no planejamento estratégico do setor energético, pois 1.436.683 MWh/ano de energia do Sistema Interligado Nacional deixariam de ser consumidas, representando grandes economias tanto no aspecto econômico quanto energético do Brasil.

Do ponto de vista ambiental, o fator de redução de gases de efeito estufa calculado apresenta redução das emissões de gases de efeito estufa advinda da dos sistemas solares fotovoltaicos seriam significativas, representando um total de 107.751,24 toneladas de CO₂ por ano no Brasil. O Gráfico 3 demonstra o comportamento do fator de redução dos de gases de efeito estufa em base estadual.

Gráfico 3. Fator de redução de gases de efeito estufa (FRGee) por estado do Brasil.



Fonte: Autores (2020).

De acordo com o gráfico, pode-se sugerir que a adoção dos sistemas fotovoltaicos e uso dos veículos elétricos seria uma medida interessante para reduzir a poluição atmosférica que sofre principalmente a cidade de São Paulo, onde se encontra a maior frota de veículos de todo Brasil.

Ademais, considerando apenas as reduções associadas às emissões de CO₂, entre outros gases produzidos pela queima de combustíveis fósseis, projetadas para o ano de 2020, a questão ambiental se torna ainda mais evidente. Se toda a frota brasileira fosse de veículos elétricos, haveria uma redução de aproximadamente 196 milhões de toneladas, sendo 131 milhões de toneladas associadas ao diesel, 56 milhões de toneladas associadas à gasolina e 9 milhões de toneladas associadas ao GNV, conforme o Inventário Nacional De Emissões Atmosféricas Por Veículos Automotores Rodoviários, produzido pelo Ministério do Meio Ambiente.

5. Considerações Finais

Cerca de 41.300 postos de abastecimento cadastrados da ANP, atuam realizando abastecimento de combustíveis convencionais, de forma simples, ágil e rápida, enquanto no caso dos veículos elétricos este processo de recarga ainda é bastante demorado. Os sistemas *on-grid*, se instalados em todos os postos do Brasil abasteceriam cerca de 30.150.000 carros elétricos e teriam uma potência de 1.103,87 kWp, sendo que, em média, em cada posto são necessários cerca de 63 módulos fotovoltaicos ocupando aproximadamente 140m² de área nos telhados. Portanto a utilização destas áreas para aproveitamento da potência visando a recarga dos carros elétricos pode colaborar para maior aprimoramento e desenvolvimento dos sistemas de recarga dos carros elétricos.

Destaca-se que o dimensionamento realizado revela os estados de São Paulo e Minas Gerais como grandes responsáveis pela geração de energia advinda do sistema *on-grid* para abastecimento de carros elétricos. Ao passo que Amapá e Roraima contribuem com uma geração significativamente inferior. Dada a condição de abastecimento diário de dois carros do modelo Cherry Arrizo 5e, durante o período de uma hora, a economia energética de 1.436.683 MWh/ano para o Sistema Interligado Nacional, seria suficiente para abastecer cerca de 597.000 residências no Brasil, adotando um consumo residencial médio de 2,4MWh/ano.

Tendo em vista os aspectos mencionados, a partir deste estudo pode-se utilizar informações como incentivo nas tomadas de decisões através de planos e programas que possam proporcionar o crescimento da energia solar no Brasil, contribuindo ainda mais para a diversificação da matriz energética, e também a difusão dos carros elétricos, colaborando para a sustentabilidade ambiental, econômica e social.

Portanto, com objetivo de enriquecer as análises e melhorar os resultados obtidos, podem ser realizados trabalhos futuros para fortalecer o desenvolvimento dos sistemas

fotovoltaicos para abastecimento de carros elétricos. Sendo assim, sugere-se pesquisas que contenham:

- Consideração sobre o efeito da temperatura nas placas na etapa de dimensionamento para definir a potência dos módulos e dos inversores;
- Realização de análise de viabilidade econômica dos sistemas;
- Realização de estudos com diferentes tipos de tecnologias de carregadores, módulos e modelos de veículos elétricos.

Referências

Aneel. (2017). Mobilidade Elétrica - tecnologias limpas e sustentáveis. Recuperado de <https://www.aneel.go.br/mobilidade-eletrica>.

Anp - Agência nacional de petróleo. (2020). Consulta posto web. Recuperado de <https://postos.anp.gov.br/>.

Baran, R., & Legey, L. F. L. (2011). Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil. BNDES Setorial, Rio de Janeiro (33), 207-224.

Bittencourt, F. T., Mota, L. S., Santana, P. L., Costa, M. M., & Souza, J. C. (2017). Construção de um protótipo de rastreador solar para aplicação em sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Revista Sítio Novo, Tocantins, 1, 147-157.

Canadian solar. (2020). Datasheet HiKu CS3W 395- 415P. Recuperado de <https://www.ecorienergiasolar.com.br/repositorio>.

Filho, W. P. B., et al. (2015). Expansão da energia solar fotovoltaica no brasil: impactos ambientais e políticas públicas. lenzR. gest. sust. ambient., Florianópolis, 628 – 642.

Freitas, J. C. N. (2012). Projeto e análise ao funcionamento de carros elétricos. Guimarães. Portugal.

Lima, D. O, Sogabe, V. P., & Calarge, T. C.C. (2008). Uma análise sobre o mercado mundial do biodiesel. 46º Congresso da Sociedade Brasileira De Economia, Administração E Sociologia Rural (Sober). Rio Branco, Acre.

Lira, M. A. T., et al. (2019). Contribuição dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica para a Redução de CO₂ no Estado do Ceará. Revista Brasileira de Meteorologia, Fortaleza, CE, ano 2019, 34(3), 389-39.

Martins, F. R., Pereira, E. B., & Echer, M. P. S. (2004) Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geostacionário: o Projeto Swera. Rev. Bras. Ensino Fís., São Paulo 26(2), 145-159.

Ministerio do meio ambiente - MMA. (2011). 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários. Recuperado de https://www.mma.gov.br/estruturas/163/_publicacao/163_publicacao27072011055200.pdf.

Pinho, J., & Galdino, M. (2014). Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb.

Rella, R. (2017) Energia solar fotovoltaica no brasil. Revista de Iniciação Científica, Criciúma, 15, 1-11.

Solargis. (2020). Solar resource map: Photovoltaic power potential Solargis: Global horizontal radiation. Recuperado de <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/>.

Solstício energia. (2017). Como funcionam as células fotovoltaicas. Recuperado de www.solsticioenergia.com/2017/08/17/como-funciona-celula-fotovoltaica.

Strom Brasil. (2014). Sistemas on grid e off grid. Recuperado de <http://www.strombrasil.com.br/sistemas-on-grid-e-off-grid/>.

Weg. (2020). WEMOB Estação de Recarga para Veículos Elétricos. Recuperado de <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h2e/hff/WEG-estacoes-de-recarga-de-veiculos-eletricos-WEMOB-50094133-pt.pdf>.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Mariana Araújo Mendes Ferreira – 70%

Rafael Balbino Cardoso – 30%