

Energia solar fotovoltaica e automóveis elétricos: a combinação de um modelo para redução de emissões de carbono na cidade de Curitiba

RESUMO

Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFVCR) promovem em centros urbanos a geração distribuída de energia elétrica a partir de uma fonte renovável e ilimitada, o Sol. O incentivo a utilização da energia solar no mundo e no Brasil atende a uma demanda ecológica para redução dos gases do efeito estufa (GEE) que contribuem com o aquecimento global e mudanças climáticas. O Estado do Paraná possui um grande potencial fotovoltaico de geração quando comparados os dados de incidência de irradiação solar (kWh/m².ano) a outros estados do Brasil, países da Europa, Ásia, América do Norte e Oceania. Inserido no campus da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), em Curitiba, o Escritório Verde (EV) é um edifício projetado dentro dos princípios das construções sustentáveis, instalando 2.100 Watts no modelo SFVCR. Este trabalho analisa dados e parâmetros da operação deste sistema fotovoltaico ao longo dos anos de 2012 a 2018, onde foi avaliada a eficiência energética, desempenho e benefícios ambientais associada ao uso de um veículo elétrico e uma projeção de redução de emissão de CO₂ se este modelo fosse instalado em larga escala na cidade de Curitiba.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Solar Fotovoltaica. Geração Distribuída. Sustentabilidade. Automóveis Elétricos.

Eloy Fassi Casagrande Junior
fassi@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Curitiba, Paraná, Brasil.

Jair Urbanetz Junior
urbanetz@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Curitiba, Paraná, Brasil.

Arthur Rodrigues Seratiuk
seratiuk@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Curitiba, Paraná, Brasil.

Edwin Augusto Tonolo
edwintonolo@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Curitiba, Paraná, Brasil.

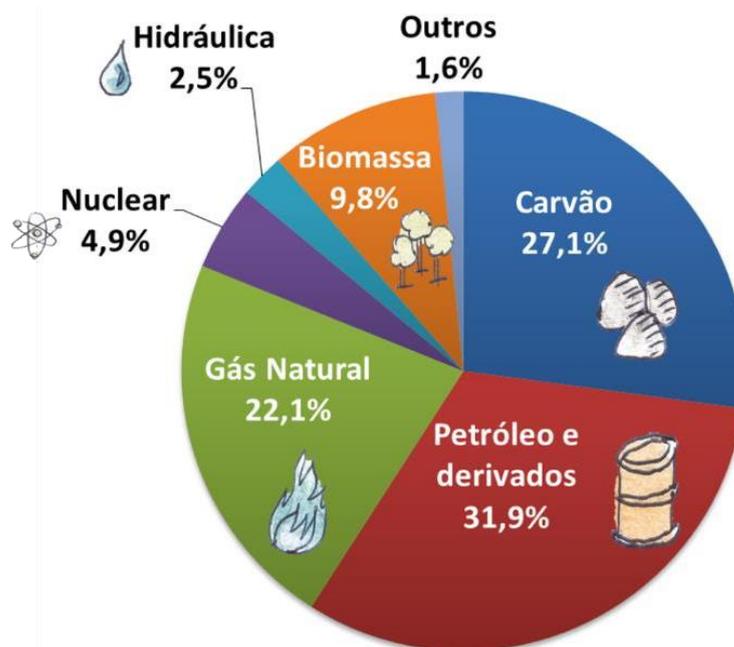
INTRODUÇÃO

A necessidade de diversificação das fontes de geração de energia elétrica é um dos tópicos de interesse não somente para o Brasil, mas para vários países que baseiam seu consumo energético em fontes não renováveis de energia, as quais, em grande parte tem sua origem em combustíveis fósseis (Figura 1) e que causam impactos que podem ser irreversíveis para o metabolismo da Terra e seus ecossistemas naturais (BEHLING et al., 1996). Uma das consequências diretas desta dependência fóssil mundial são as emissões dos Gases do Efeito Estufa (GEE), que contribuem para o aquecimento global e as mudanças climáticas.

A temperatura do planeta aumentou em torno de 0,5°C nos últimos 100 anos e cientistas estimam que deva aumentar em 4°C até o final desse século (EPE, 2018), se nada for feito em termos de políticas globais e internas de cada país que possam reverter este processo.

Para Lovelock (2006) as emissões de dióxido de carbono, na atmosfera, aumentaram a níveis exponenciais no último século como principal consequência da utilização do carvão, petróleo e gás natural, utilizados em processos de geração de energia térmica e elétrica. Deve-se levar em conta que boa parte da energia termoelétrica produzida no mundo ainda provém de usinas movidas a carvão mineral, processo que envolve a queima de combustíveis fósseis.

Figura 1. Matriz Energética Mundial.



Fonte: EPE, 2018.

A demanda crescente por energia devido ao crescimento populacional, o aumento do custo do processo energético desde a geração até o consumidor final, as perdas por transmissão, a crise hídrica mundial, a necessidade de utilização de fontes renováveis e menos agressivas ao meio ambiente, as

dificuldades de expandir o atual modelo de geração, são fatores que demonstram e comprovam a necessidade de mudanças mais ágeis para a diversificação das matrizes de geração de energia elétrica no mundo e no Brasil.

A eletricidade produzida a partir de fontes de energia renováveis no ano de 2017 foi responsável por cerca de 26,5% da geração global de energia elétrica, sendo estimada em 6.762 TWh, Terawatts-hora (REN21, 2018). Segundo previsões da Agência Internacional de Energia (IEA), sugere-se que o percentual de geração de energia elétrica por fontes renováveis chegue ao ano de 2023 a 30% do total produzido no planeta (IEA, 2018).

ENERGIA SOLAR

O Sol é a fonte de energia não poluente e renovável essencial para o equilíbrio dos ecossistemas terrestres, uma vez que regula e mantém os ciclos naturais do planeta, através de processos dinâmicos responsáveis pela constituição da paisagem física e da evolução da vida (BEHLING et al., 1996), de modo que, uma das fontes renováveis de energia com capacidade de crescimento mundial seria a energia solar (PEREZ et al., 2009).

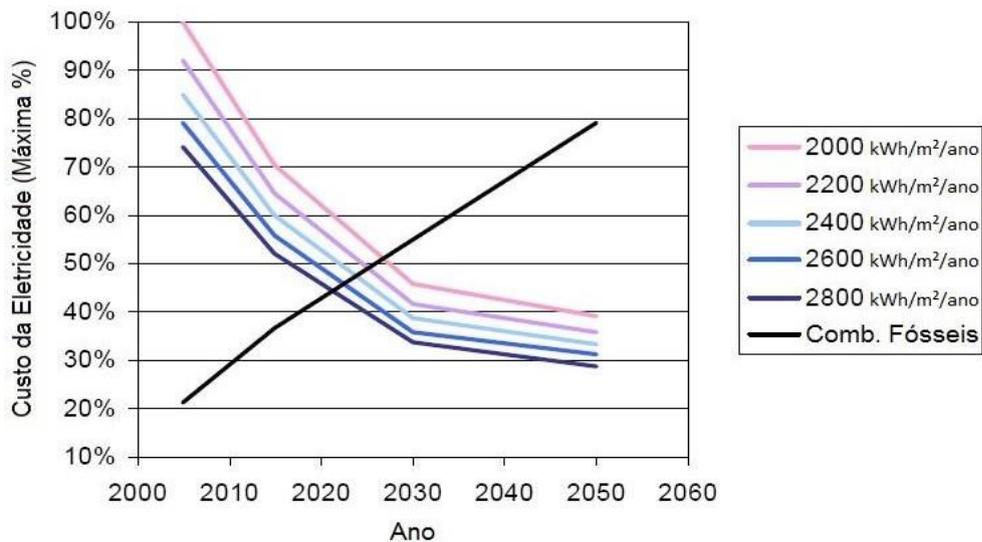
Os processos mais usuais de aproveitamento da irradiação solar para geração de eletricidade e térmica, são: o aproveitamento fotovoltaico (FV), que converte a luz do sol em energia elétrica nos painéis solares pelo campo de tensão elétrica gerada nos materiais semicondutores que compõem as células fotovoltaicas;

o aproveitamento da luz solar por concentração solar (CSP – Concentrating Solar Power), que produz energia térmica para uso direto ou geração de energia elétrica por meio de turbinas a vapor; o aproveitamento por meio das placas coletoras solares, que realizam o aquecimento direto da água para uso em equipamentos e em ambientes a partir da luz solar.

O custo da energia elétrica em taxa de porcentagem originária de fontes de combustíveis fósseis comparado ao custo da energia elétrica pela irradiação solar incidente ao longo das próximas décadas é apresentado no Gráfico 1.

A comparação demonstra que a energia solar pode se tornar plenamente competitiva entre os anos de 2020 e 2030, podendo mais tarde contribuir significativamente para estabilizar os custos globais de energia elétrica (TRIEB et al., 2009). A medida que a capacidade necessária para atingir a redução dos custos com a tecnologia de captação, a energia solar como fonte renovável, poderá ser uma medida preventiva contra a atual escalada dos custos com eletricidade no mundo (TRIEB et al., 2009).

Gráfico 1. Previsão da redução dos custos de energia solar comparado com o custo de geração de energia a partir de fontes de combustíveis fósseis.



Fonte: Adaptado de TRIEB *et al.*, 2009.

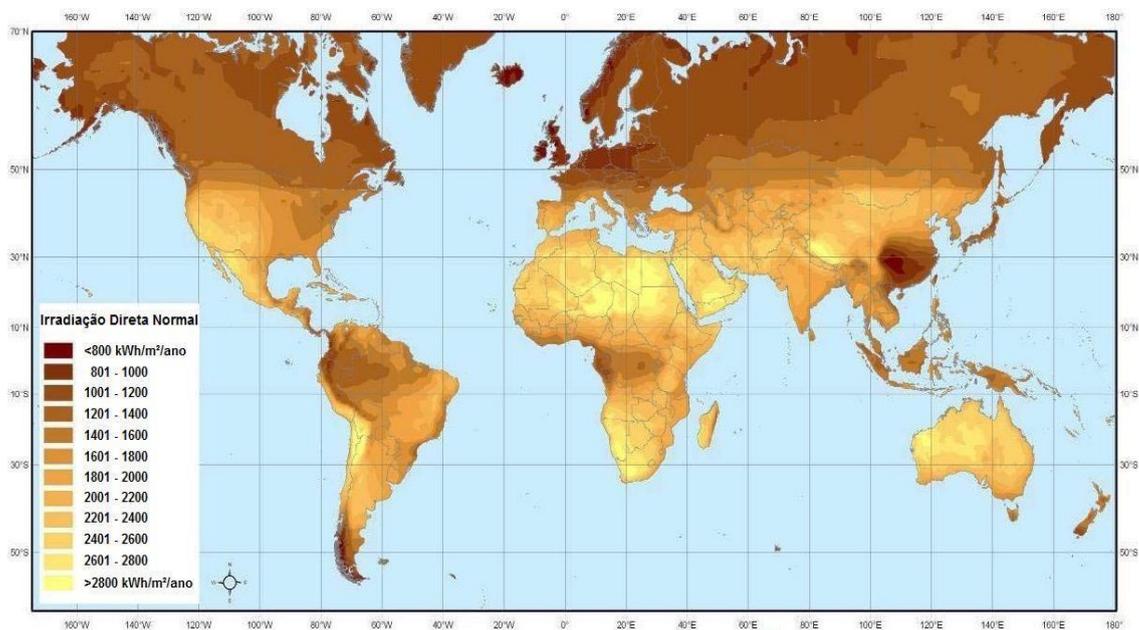
DADOS DE IRRADIAÇÃO SOLAR NO MUNDO

O conjunto de dados de irradiação direta normal, extraídos da base de dados “Nasa Surface Meteorology” e do “Solar Energy Program” (SSE) Version 6.0 é apresentado na Figura 2. O mapa da Figura 2 demonstra para os diferentes continentes a irradiação direta normal (kWh/m².ano), os dados foram coletados ao longo de 22 anos de observações com uma resolução espacial de 100 quilômetros (TRIEB *et al.*, 2009).

A Agência Internacional de Energia tem como um de seus acordos de desenvolvimento colaborativo, o programa de cooperação energética entre os seus 28 países membros, também com a participação dos países membros da Comissão Europeia, denominado de “IEA Photovoltaics Power Systems Programme”, o qual abrange a esfera de geração em sistemas de energia solar fotovoltaica, com fins de estabelecer a transição para sistemas energeticamente sustentáveis (IEA, 2014) e estabelece um panorama a ser seguido pelo Brasil e América Latina.

Os países integrantes do programa compreendem a Alemanha (DEU), Austrália (AUS), Áustria (AUT), Bélgica (BEL), Canadá (CAN), Coréia do Sul (KOR), China (CHN), Dinamarca (DNK), Espanha (ESP), Estados Unidos (USA), França (FRA), Países Baixos (NLD), Israel (ISR), Itália (ITA), Japão (JPN), Malásia (MYS), México (MEX), Noruega (NOR), Portugal (PRT), Suécia (SWE), Suíça (CHE), Tailândia (THA) e Turquia (TUR), e, países membros da Comissão Europeia, a Associação Europeia da Indústria Fotovoltaica, a Associação de Energia Elétrica Solar, a Associação das Indústrias de Energia Solar e da Aliança de Cobre, os quais, também são membros (IEA, 2014).

Figura 2. Mapa da irradiação direta normal no Mundo para classificação de valores de kWh/m².ano disponíveis para geração de energia por metro quadrado.



Fonte: Adaptado de TRIEB *et al.*, 2009.

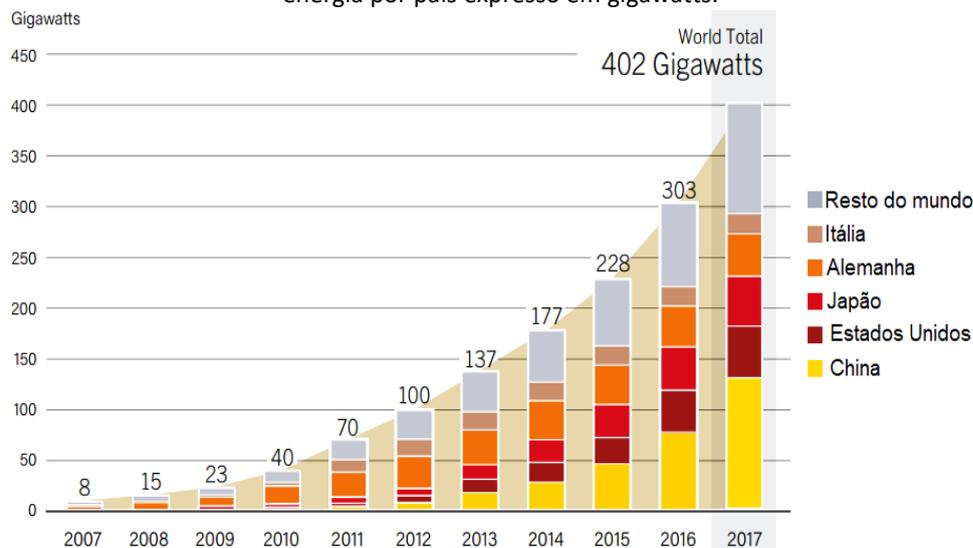
CAPACIDADE SOLAR INSTALADA POR PAÍSES

A capacidade instalada entre os anos de 2007 e 2017 anos cresceu a valores significativos, de acordo com o Gráfico 2. No ano de 2007 a capacidade instalada no mundo era de cerca de 8 Gigawatts, sendo que no ano de 2017, essa capacidade aumentou em mais de cinquenta vezes, resultando em um valor total de 402 Gigawatts devido a instalação em novos países. Os investimentos praticados mundialmente foram avaliados em cerca de 160,8 bilhões de dólares (REN21, 2018).

Ao final de 2014, a capacidade global total de geração de energia solar fotovoltaica passou a ser de aproximadamente 187 Gigawatts (TIEPOLO *et al.*, 2016), destes, 155 gigawatts representam o potencial de geração dos países integrantes da Agência Internacional de Energia, organismo autónomo no âmbito da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE).

Entre os países com maior capacidade instalada de geração de energia solar fotovoltaica encontra-se a China em primeiro lugar com 131,1 GW, seguida dos Estados Unidos em segundo lugar com 51 GW, Japão com 49 GW em terceiro lugar, Alemanha com 42 GW e Itália com 20 GW (REN21, 2018). No ano de 2017, a capacidade global instalada passou a ser de 402 gigawatts, obtendo um crescimento de 98 GW com relação ao ano anterior, onde apresenta uma alta equivalente a 32,67% na taxa de porcentagem, como pode ser visto no Gráfico 2 (REN21, 2018).

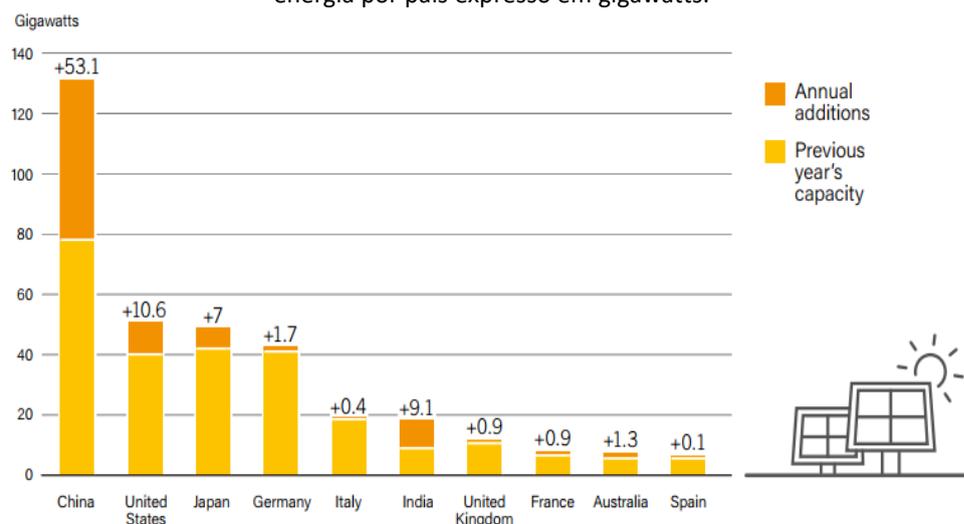
Gráfico 2. Capacidade global de potência instalada no setor fotovoltaico para geração de energia por país expresso em gigawatts.



Fonte: Adaptado de REN21, 2018.

Como pode ser visualizado no Gráfico 3, entre os dez países com maior potência fotovoltaica instalada, cinco deles estão localizados no continente europeu e, excluindo a China, a qual apresenta valores surpreendentes, a Europa possui a maior capacidade de potência instalada no mundo, o que demonstra o interesse na busca por energias renováveis e poder de investimento desses países. Desse modo, para que se possa criar um panorama do Brasil, em muitos cenários de desenvolvimento sustentável a comparação com a Europa, Ásia, Estados Unidos e Oceania se fazem presentes.

Gráfico 3. Capacidade global de potência instalada no setor fotovoltaico para geração de energia por país expresso em gigawatts.



Fonte: Adaptado de REN21, 2018.

AVANÇOS NAS POLÍTICAS INTERNACIONAIS

Ao final de fevereiro de 2015, foram instituídas ações pelo programa da União da Energia, iniciativa intergovernamental da União Europeia que alinhou diretrizes para garantir o fornecimento energético seguro e sustentável a preços acessíveis de energia elétrica para os países pertencentes ao bloco da União Europeia (EUROPEAN COMMISSION, 2015). Dada essa iniciativa, os compromissos firmados entre os países do bloco europeu para assegurar fontes mais seguras de recursos energéticos e menos dependentes de outros países, compreendem ações as quais deverão ser concluídas pelo programa até o ano de 2030.

Entre as principais ações da União da Energia estão a diversificação da matriz energética de fornecimento de gás natural liquefeito de petróleo, tornando a União Europeia mais independente quanto as fontes de origem desse recurso, para que seja mais resiliente, em função de riscos na interrupção de seu fornecimento (EUROPEAN COMMISSION, 2015); a premissa de que novas infraestruturas são condições para implementar um novo mercado da energia para a União Europeia, integrando fontes de recursos renováveis e garantindo o abastecimento energético através da implementação de projetos de interesse comum, por meio de incentivos financeiros e fiscais, promovendo financiamentos públicos e privados para o mercado de energia (EUROPEAN COMMISSION, 2015); uma redução das emissões de CO₂ em ao menos 40% do atual quadro (EUROPEAN COMMISSION, 2015); aliar as edificações potenciais ganhos em eficiência energética através do “Retrofit” de edifícios existentes, reduzindo assim, a atual demanda de importação de energia e custos de tarifas dos setores habitacionais e empresariais; aumentar a eficiência energética no setor de transportes, por meio de uma progressiva utilização de combustíveis alternativos e por meio de integração à rede elétrica (EUROPEAN COMMISSION, 2015); o compromisso de que 27% da matriz energética europeia seja constituída de fontes de recursos renováveis até o ano de 2030 (EUROPEAN COMMISSION, 2015).

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL

O relatório “Deutsche Bank – F.I.T.T for investors, 2015”, o qual avalia e expõe o cenário global para investidores na área de captação de energia solar paralelo a uma época de quedas no preço do petróleo aponta que a competitividade crescente do custo de geração de energia solar em mercados a nível mundial, o aprimoramento dos tipos de tecnologia de captação e distribuição, o desenvolvimento de programas de incentivo ao uso, a regulamentação para venda e utilização de créditos, a melhoria dos custos de financiamento, políticas públicas como fator indutor de desenvolvimento sustentável, o aumento de interessados na utilização desse tipo de geração de energia, são fatores que em cenários futuros irão determinar que países intrinsecamente dependentes da indústria dos combustíveis fósseis substituam suas fontes não renováveis por fontes que proporcionem maior eficiência energética no uso de recursos para geração de eletricidade, sendo a energia solar uma fonte renovável (DEUTSCHE BANK, 2015).

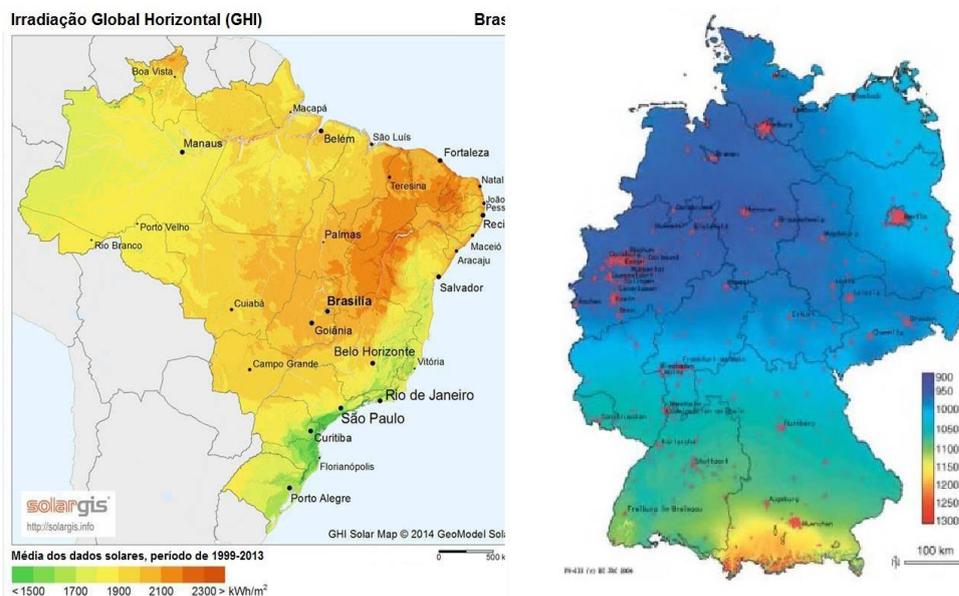
Relacionado as previsões futuras para a energia solar no mundo, o Brasil, dentre os países da América do Sul é o país que mais apresenta potencial para a geração desse tipo de energia em função da sua localização geográfica com

relação à linha do Equador e área disponível. Com uma capacidade instalada da ordem de 163.479 MW - Megawatts, sendo (60%+) proveniente de geração hidrelétrica e outros 40% derivados de outras fontes, o Brasil espera atingir a casa de geração de energia elétrica dos 200.000 MW nos próximos dez anos, uma média de acréscimo da geração energética em 7.000 MW ao ano (DEUTSCHE BANK, 2015) (ANEEL, 2019a).

Do ponto de vista geográfico, o Brasil possui várias séries incidentes de irradiação solar global, desde valores anuais de 900 kWh/m² (TIEPOLO et al., 2018) na região de mata atlântica até valores de 2.500 kWh/m² na região do centro-oeste e nordeste, mas em grande parte o valor de irradiação anual está na faixa dos 2.000 kWh/m².

Durante muitos anos, a Alemanha foi o país com maior potência fotovoltaica instalada e o país que mais investiu no setor, com diversos projetos integrados a usinas, cidades e vilas. Na Figura 3 é possível ver a comparação dos dados de irradiação entre o Brasil e a Alemanha, mostrando que o Brasil apresenta valores que tornam o investimento muito mais viável do que na Alemanha e mesmo assim, o país europeu apresenta cerca de dez vezes mais potência instalada do que o Brasil.

Figura 3. Dados de irradiação global horizontal para o Brasil em kWh/m² e irradiação global horizontal incidente sobre a Alemanha, em kWh/m².



Fonte: Adaptado de DEUTSCHE BANK (2015); SURI et al. (2005).

Nesse contexto cabe a sociedade e ao estado brasileiro, em tempos das atuais crises energéticas, reconhecer as grandes vantagens que o Brasil possui em função de sua localização geográfica próxima à linha do Equador, explorando os potenciais para geração de energia solar fotovoltaica, tanto a partir da geração distribuída como através de usinas de concentração solar fotovoltaica, planejar e implantar pequenas e grandes usinas fotovoltaicas e heliotérmicas nas áreas com maior irradiação solar do território nacional.

O POTENCIAL BRASILEIRO COMPARADO COM OUTROS PAISES

A matriz de geração de energia elétrica do Brasil é predominantemente hidrelétrica, o potencial de geração hídrica no Brasil, segundo o Plano 2015 (ELETROBRÁS, 1992), foi estimado em 251.490 MW conforme a Tabela 1, porém, o potencial explorado é de cerca de 80 GW, dos quais 70 GW são correspondentes as usinas já em operação em dezembro de 2005 e os outros 10 GW correspondem a usinas em construção e em processo de licenciamento (EPE, 2007).

Tais dados exemplificam que pouco mais de 30% do potencial hídrico estão explorados, sendo que dentro do potencial estimado, mais de 70% estão localizados nas bacias do rio Amazonas e dos rios Tocantins e Araguaia (EPE, 2007), caracterizando sua importância em longo prazo, mas evidenciando a necessidade da diversificação da matriz energética em função da questão dos impactos socioambientais junto às populações afetadas pela construção de novas usinas e pelo ponto de geração até o ponto de consumo da energia elétrica, o que acarreta na implantação e manutenção de infraestruturas de transmissão e de altos custos para a construção de novas usinas (ANEEL, 2005). Até 2030, dentro dos possíveis cenários relacionados ao consumo de energia elétrica no Brasil, o consumo total poderá se situar entre 950 e 1.250 TWh/ano (EPE, 2007).

A água, como fonte de recurso renovável, ainda assim, pode caracterizar cenários imprevisíveis, como possíveis secas e restrições ambientais relevantes (EPE, 2007). Ainda que a oferta interna de energia baseie-se na expansão do desenvolvimento do potencial hidrelétrico brasileiro, em função de fatores secundários, o aumento do potencial de geração de energia poderia não ser suficiente para atender à demanda, evidenciando um possível cenário de esgotamento a longo prazo do potencial hidrelétrico no Brasil (EPE, 2007). Embora a energia hidroelétrica seja considerada uma fonte renovável e a principal fonte de energia para geração de eletricidade no Brasil, ela tem impactos negativos sobre o meio ambiente, em função do alagamento de grandes áreas cultiváveis e dos gases do efeito estufa, em consequência de processos de degradação anaeróbica da matéria orgânica em áreas alagadas (PEREIRA et al., 2006).

Dessa forma, mesmo que a exploração do potencial hidrelétrico seja desenvolvida na expansão da oferta do sistema elétrico, é evidente a necessidade de oferta de outras fontes renováveis que deverão se somar a diversificação da matriz energética.

Tabela 1. Potencial Hidrelétrico Brasileiro em Megawatts (MW).

Bacia	Aproveitado	Inventário	Estimado	TOTAL	%
Amazonas	835	77.058	28.256	106.149	42,2
Paraná	41.696	10.742	5.363	57.801	23,0
Tocantins/Araguaia	12.198	11.297	4.540	28.035	11,2
São Francisco	10.290	5.550	1.917	17.757	7,1
Atlântico Sudeste	4.107	9.501	1.120	14.728	5,9
Uruguai	5.182	6.482	1.152	12.816	5,1
Atlântico Sul	1.637	1.734	2.066	5.437	2,2
Atlântico Leste	1.100	1.950	1.037	4.087	1,6
Paraguai	499	846	1.757	3.102	1,2
Parnaíba	225	819	0	1.044	0,4
Atlântico NE Oc.	0	58	318	376	0,1
Atlântico NE Or.	8	127	23	158	< 0,1
TOTAL	77.777	126.164	47.549	251.490	100,0
%	30,9	50,2	18,9	100,0	

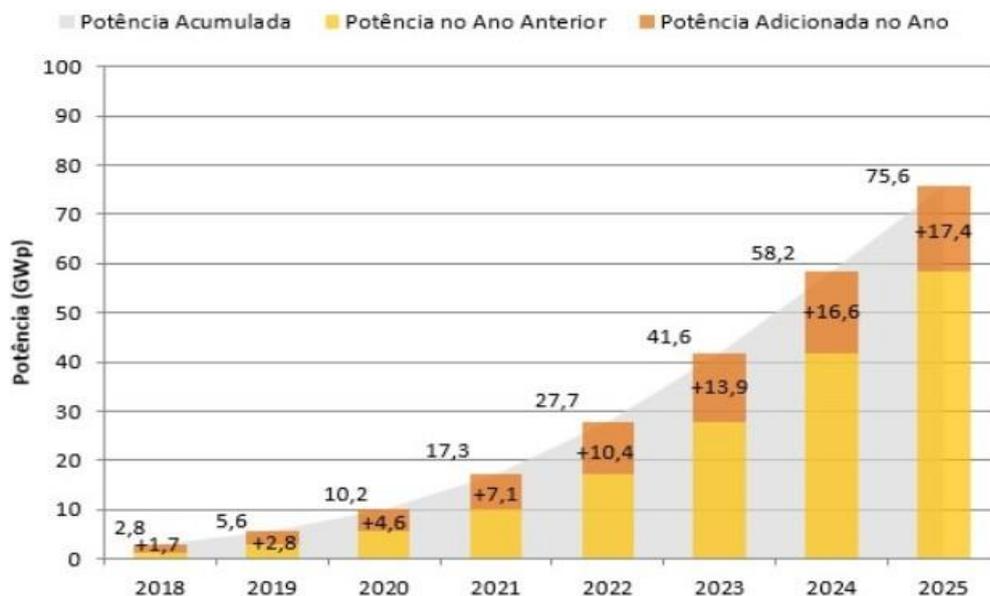
Fonte: EPE, 2007.

Até o final do ano de 2017, China, Estados Unidos, Japão, Alemanha e Itália juntos representavam aproximadamente 75% da capacidade solar instalada no mundo. Entre os países com maior capacidade instalada situados nas regiões de latitudes altas da Europa, encontram-se a Alemanha, Itália, Reino Unido, França e Espanha, os quais, até o ano de 2016, representavam cerca de 28% da capacidade global instalada em sistemas fotovoltaicos (TIEPOLO et al., 2016).

Comparado a outros países que já possuem um grau de desenvolvimento tecnológico maior, o Brasil apresenta diferentes valores de irradiação global solar para diferentes regiões do país (900 – 2.500 kWh/m².ano), os quais são dados superiores a países que já possuem um grau de desenvolvimento e capacidade instalada maior, como é o caso da Alemanha (900 – 1.250 kWh/m².ano), França (900 – 1.650 kWh/m².ano) e Espanha (1.200 – 1.850 kWh/m².ano) (PEREIRA et al., 2006). Dessa forma, percebe-se que a incidência da irradiação sofre variações de acordo com a latitude do local, intensificando-se quanto mais próxima da linha do Equador, como pode ser visto na Figura 3, anteriormente apresentada.

O Gráfico 4 apresenta as instalações solares no Brasil com dados estimados a partir do ano de 2018 para a capacidade instalada, com um total de 2,8 GW ao final do ano, valor que se mostrou coerente, onde dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) mostram que a potência total foi de 2,2 GW (URBANETZ JR et al., 2018) (ANEEL, 2019a) (ANEEL, 2019b).

Gráfico 4. Previsão do crescimento das instalações solares no Brasil.



Fonte: URBANETZ JR *et al.* (2018).

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO ESTADO DO PARANÁ

O estado do Paraná apresenta potencial fotovoltaico similar ao de estados europeus e valores elevados de irradiação comparado ao território nacional (TIEPOLO *et al.*, 2018). O Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná foi desenvolvido em parceria com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR/LABENS/LABREN), com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a Itaipu Binacional através do Parque Tecnológico Itaipu (PTI) e com o Centro Internacional de Hidroinformática (CIH), permitindo a análise de dados de irradiação solar distribuídos no estado do Paraná por mesorregião.

O setor de energia solar fotovoltaica vem crescendo nos últimos anos, em grande parte devido ao aumento da competitividade em termos de preço, combinado com a crescente demanda por eletricidade nos países em desenvolvimento, bem como a conscientização do potencial da energia solar fotovoltaica para aliviar a poluição e reduzir as emissões de CO₂ (REN21, 2018).

Por meio dos dados de irradiação solar identificados no Atlas de Energia Solar do Paraná pode-se relacionar nas Tabelas 2 e 3 abaixo, que a diferença em taxa percentual entre a média anual no Paraná e nos países europeus é superior em alguns casos e inferior em outros, respectivamente, a média do Paraná é superior para Alemanha em 43%, para a Itália em 2,22%, em 55,11% para o Reino Unido, em 18,25% para a França e 8,14% inferior para a Espanha, país este que atinge latitudes mais próximas à linha do Equador no contexto europeu (TIEPOLO *et al.*, 2016).

Em valores para o Estado do Paraná, a irradiação solar média do total anual obtida foi de 1.705 kWh/m².ano para a irradiação global horizontal, 1.560 kWh/m².ano referente a irradiação direta normal, 695 kWh/m².ano para a irradiação difusa e 1.789 kWh/m².ano da irradiação no plano inclinado da latitude encontrada no local (TIEPOLO *et al.*, 2018).

O potencial fotovoltaico do Paraná é realmente evidente quando comparado ao território nacional brasileiro e com países europeus, os quais possuem alto grau de desenvolvimento tecnológico fotovoltaico e apontam suas diretrizes políticas por meio da União da Energia para se tornarem autossuficientes no uso da energia elétrica e menos dependentes de fontes não renováveis (EUROPEAN COMMISSION, 2015).

Tabela 2. Comparação dos valores médios de irradiação solar no estado do Paraná em relação as demais unidades federativas e regiões do Brasil; Tabela 3. Comparação dos valores médios de irradiação solar e de produtividade do estado do Paraná em relação a países europeus.

Região e Unidade Federativa	Irradiação Média Anual no Plano Inclinado na Latitude		Paraná/País Europeu	Irradiação Média Anual no Plano Inclinado na Latitude		Diferença Percentual entre a Média Anual no Paraná e no país europeu
	Irradiação (kWh/m ² .ano)	Diferença em % do Paraná em relação a Região/UF		Irradiação (kWh/m ² .ano)	Produtividade (kWh/kWp.ano)	
Centro-Oeste	1900	-5,86%	Paraná	1789	1342	
Distrito Federal	2012	-11,08%	Chipre	2217	1663	-19,31%
Goiás	1998	-10,44%	Malta	2155	1617	-17,00%
Mato Grosso	1859	-3,79%	Portugal	1996	1497	-10,38%
Mato Grosso do Sul	1906	-6,13%	Espanha	1948	1461	-8,14%
Nordeste	2016	-11,26%	Grécia	1897	1423	-5,68%
Alagoas	1947	-8,11%	Turquia	1873	1405	-4,47%
Bahia	2015	-11,24%	Itália	1750	1313	2,22%
Ceará	2080	-13,98%	Macedônia	1696	1272	5,47%
Maranhão	1907	-6,20%	Bulgária	1631	1223	9,71%
Paraíba	2082	-14,07%	Croácia	1570	1178	13,93%
Pernambuco	2037	-12,16%	Montenegro	1563	1172	14,45%
Piauí	2095	-14,59%	Sérvia	1531	1148	16,83%
Rio Grande do Norte	2106	-15,05%	França	1513	1135	18,25%
Sergipe	1940	-7,76%	Romênia	1496	1122	19,60%
Norte	1702	5,09%	Hungria	1490	1117	20,10%
Acre	1697	5,45%	Eslovênia	1444	1083	23,90%
Amapá	1692	5,70%	Eslováquia	1333	1000	34,17%
Amazonas	1641	9,02%	Áustria	1325	994	35,00%
Pará	1714	4,35%	República Tcheca	1256	942	42,44%
Rondônia	1697	5,43%	Polônia	1252	939	42,85%
Roraima	1760	1,64%	Alemanha	1251	938	43,00%
Tocantins	1950	-8,27%	Luxemburgo	1243	932	43,94%
Sudeste	1917	-6,65%	Holanda	1242	931	44,06%
Espírito Santo	1814	-1,38%	Bélgica	1238	928	44,54%
Minas Gerais	1960	-8,73%	Dinamarca	1211	908	47,73%
Rio de Janeiro	1792	-0,19%	Lituânia	1183	987	51,28%
São Paulo	1861	-3,85%	Letônia	1175	881	52,23%
Sul	1743	2,64%	Irlanda	1174	880	52,42%
Paraná	1789		Reino Unido	1153	865	55,11%
Rio Grande do Sul	1752	2,13%	Estônia	1151	864	55,36%
Santa Catarina	1639	9,14%	Suécia	1084	813	64,99%
Brasil	1824	-1,94%	Finlândia	1054	790	69,81%
			Islândia	949	712	88,43%

Fonte: Adaptado de (TIEPOLO, G. M.; URBANETZ JR, J., 2018)

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INTEGRADOS À ARQUITETURA

A adoção dos sistemas fotovoltaicos integrados à arquitetura varia muito em cada país, dependendo do clima, ambiente construído, grau de desenvolvimento tecnológico da indústria de eletricidade, de políticas públicas e governamentais, ofertas de produtos, mecanismos de estimulação do mercado, demandas das capacidades industriais existentes e, das formas de arranjo tarifário para a energia fotovoltaica conectada à rede de energia pública (NORTON et al., 2010).

Dentro desse cenário de expansão da crescente demanda por energia, a energia solar fotovoltaica pode representar uma oportunidade de minimizar perdas e custos em deslocamento – já que são disponíveis para instalação Sistemas Fotovoltaicos Isolados (SFVI) e Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFVCR) (URBANETZ JR, 2014) no próprio local de consumo de eletricidade – sua aplicação também diminui a necessidade de consumo de energia por fontes energia não renováveis e poluentes do meio ambiente.

Na maioria das instalações de módulos fotovoltaicos, a orientação dos painéis solares e seu ângulo de inclinação são fixos de acordo com a latitude do local (URBANETZ JR et al., 2011), sendo cada vez mais aperfeiçoadas pela utilização de bases de dados de irradiação solar contendo condicionantes mais aprimoradas, além de ser influenciada por fatores como a altura das edificações, orientação das fachadas, o ângulo de desvio azimutal e o estudo do efeito do sombreamento (DGS, 2008); estabelecendo assim um critério de análise para a previsão de geração de energia elétrica para projetos de arquitetura e edifícios, através do constante aperfeiçoamento energético (PINHO, J.T.; GALDINO, M.A., 2016).

A integração de sistemas fotovoltaicos aos ambientes urbanos é uma tendência para que arquitetos, urbanistas e engenheiros, apliquem novas estratégias de projeto para que formas diferentes comecem a surgir nas construções e na arquitetura, sendo que podem ser projetados até mesmo em faces curvas (ZOMER et al., 2012).

Como definição, temos que a inclinação ideal com relação ao plano horizontal para a incidência da irradiação solar máxima em regime anual, pode ser dada pela latitude do local do projeto. Tal que, a orientação ideal das fachadas seria a de superfícies voltadas para a linha do Equador, sendo ele o norte geográfico para instalações no hemisfério sul (RÜTHER, 2004).

METODOLOGIA

O Escritório Verde da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) foi uma edificação pioneira no Brasil, implantada no campus centro da UTFPR dentro dos princípios da construção sustentável em parceria com mais de cinquenta empresas. Também foi o primeiro projeto no estado do Paraná a instalar um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFVCR) de energia elétrica e integrado à arquitetura para geração de eletricidade, além de ter também um Sistema Fotovoltaico Isolado (SFVI) para fins educativos. O SFVCR foi ativado em 15 de dezembro de 2011, em um acordo com a Companhia Paranaense de Energia (COPEL), portanto antes da Resolução Normativa Nº 482, de Abril de 2012, da ANEEL, a qual autorizou que consumidores de energia elétrica gerassem sua própria energia elétrica e estabeleceu as regras para que esta energia pudesse ser injetada na rede pública (CASAGRANDE JR, 2014).

Neste trabalho será apresentada a análise do desempenho do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFVCR) durante o período de seis anos, para que a eletricidade excedente gerada pelo Escritório Verde (EV) possa garantir a autonomia de um automóvel elétrico popular. Será analisada assim, a redução na emissão de gases do efeito estufa que atuam no processo de aquecimento global, uma vez que o emprego e utilização dessa energia pode garantir tanto a geração

distribuída de eletricidade conjunta a rede elétrica das concessionárias (Ex: COPEL, CPFL) como atribuí novas possibilidades para o uso em sistemas de mobilidade antes dependentes de recursos não renováveis.

SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA (SFVCR)

Um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (SFVCR) é composto basicamente por um painel fotovoltaico, inversor e proteções elétricas. O SFVCR do Escritório Verde possui uma potência instalada de 2,1kWp (10 módulos KYOCERA de tecnologia de silício policristalino, modelo KD210GX-LP ligados em série) e um inversor monofásico em 220 Volts de 2 KW de potência nominal (PVPOWERED modelo PVP2000), o qual entrou em operação em 14 de dezembro de 2011. Possui inclinação de 15º em relação ao plano horizontal da latitude do local, ângulo de desvio azimutal de 22º para oeste e ocupa uma área de 15 m² na cobertura da edificação. Na Figura 4 é possível observar o sistema descrito e o inversor (URBANETZ JR et al., 2016).

Os dados de geração elétrica do sistema fotovoltaico são obtidos acessando a memória de massa do inversor, através de página na internet disponibilizada pelo fabricante aos clientes, com acesso restrito definido através de usuário e senha individual. Os dados de geração coletados foram inseridos como pode ser observado no Gráfico 5, onde estão expostos os dados de geração desde 1º de janeiro de 2012 até 31 de dezembro de 2018.

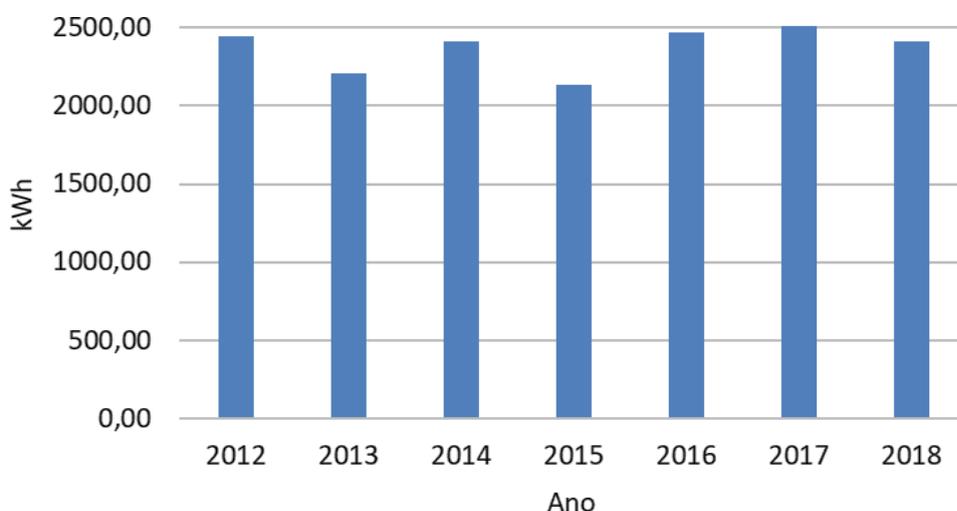
Figura 4. Sistema fotovoltaico aplicado ao Escritório Verde.



Fonte: KRASNHAK, 2018.

Para o ano de 2012 foi registrada a geração de eletricidade em 2.444 kWh. Em 2013 obteve-se 2.206 kWh, sendo que em 2014 a geração foi de 2.415 kWh. Em 2015 o sistema gerou 2.132 kWh e no ano de 2016 foram gerados 2.471 kWh. Em 2017 obteve-se a maior geração anual, com 2.514 kWh e em 2018 houve geração de 2.413 kWh. Para o período estudado, a geração de energia elétrica acumulada é de 16.595 kWh.

Gráfico 5. Geração de energia elétrica por meio de painéis fotovoltaicos do Escritório Verde entre os anos de 2012 e 2018, expressos em kWh.ano.



Fonte: Acervo dos autores.

A demanda por energia elétrica no Brasil no ano de 2017 foi de 526,2 TWh, dos quais 10,5% foram gerados a partir de gás natural, 3,6% a partir do carvão e 3% a partir de derivados de petróleo (EPE, 2018) e demais por fontes hidroelétricas.

Os principais gases do efeito estufa (GEE) são: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), perfluorcarbonos (PFCs), hidrofluorcarbonos (HFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF₆). O dióxido de carbono (CO₂) é o mais significativo, representando 87% das emissões. Para isso, a unidade de medida CO₂ refere-se à equivalência de potencial de aquecimento global do gás envolvido em relação ao dióxido de carbono. Para as três fontes de energia solar citadas anteriormente, também há um fator de emissão de gases de efeito estufa que compõe a origem da fonte geração de eletricidade, em componentes e resíduos sólidos materiais dos sistemas.

Determinada a sua parcela na geração de energia elétrica, calcula-se que um índice de emissão de gases do efeito estufa seja de aproximadamente 529,92 kgCO₂ para cada megawatt de energia elétrica gerada no Brasil (SEEG, 2018).

VEÍCULOS ELÉTRICOS E ENERGIA SOLAR

Os custos de instalação de sistema solar fotovoltaico no Brasil ainda afastam muitos potenciais clientes e investidores. O tempo de retorno do investimento costuma ser de até oito anos, porém varia de acordo com os fatores climáticos de cada região onde é instalado cada sistema fotovoltaico (CARDOSO, 2018). Uma forma de reduzir o tempo de retorno do investimento em sistemas fotovoltaicos e também reduzir a emissão dos gases do aquecimento global, é o uso combinado de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFVCR) com Veículos Elétricos (VE).

Quando um motor elétrico é ligado, ele absorve cerca de 90% de energia elétrica e a transforma em torque, processo de conversão de energia em trabalho, resultante em potência mecânica (SILVA et al., 2016). Os Veículos

Elétricos atualmente são uma alternativa em relação aos motores a combustão interna (MCI).

Devido às altas do custo do petróleo e a busca por soluções ambientalmente corretas, as grandes montadoras trabalham no desenvolvimento de Veículos Elétricos que sejam economicamente competitivos e proporcionem o mesmo conforto dos automóveis à combustão convencionais, implementando medidas em escala industrial para o desenvolvimento tecnológico e utilização de componentes cada vez menos relacionados aos combustíveis fósseis, não renováveis, compondo também ciclos de vida sustentáveis de produtos industriais.

Assim, para fim de estudos, foi feita uma pesquisa no mercado e o veículo Nissan Leaf será utilizado como objeto de análise e comparação. Com base em dados e parâmetros técnicos, o automóvel elétrico possui autonomia de 175 km e um desenvolvimento de 7,3 km para cada kWh consumido pelo motor elétrico (SILVA et al., 2018). Sendo que para cada quilômetro percorrido. Nesse sentido, os valores traduzidos em autonomia correspondem à quantidade de quilômetros que o veículo pode percorrer sem a necessidade de realizar recargas da bateria (SILVA et al., 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir do Gráfico 5, pode-se calcular que o Escritório Verde gera em média 200 kWh/mês em todos os anos quantificados. Foram levantados os dados no Escritório Verde junto ao sistema fotovoltaico e constatou-se que a média mensal de consumo é de 122 kWh, ou seja, correspondente a 61% da energia elétrica disponível. Assim, 39% da energia é excedente, equivalente a 78 kWh.mês. (KRASHAK, 2018). Admitindo o Nissan Leaf como automóvel elétrico popular para base deste estudo entre os veículos elétricos comercializados no Brasil, é o que apresenta maior gasto de energia por quilômetro percorrido, sabendo o seu consumo de 0,137 kWh por quilômetro percorrido, calcula-se que é possível percorrer na cidade, 569,34 km com 39% de energia excedente gerada pelo Escritório Verde, em um mês.

Segundo a revista Quatro Rodas, no ano de 2018 o automóvel mais vendido no Brasil foi o Chevrolet Ônix, com mais de 210 mil unidades. Tomando como base o consumo e eficiência energética para veículos automotores leves, do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), é determinado que o automóvel movido a combustão emite 100 gramas de dióxido de carbono por quilômetro percorrido (gCO₂/km), admitindo-se 0,1 Kg/Km.

Tomando como base a distância que se pode percorrer com o automóvel elétrico apenas com o excedente de energia elétrica do Escritório Verde, 569,34 Km, é possível determinar que o automóvel elétrico deixaria de emitir 56,93 kgCO₂, ou sejam, 683,28 kgCO₂ poderiam ser estocados em um ano. A distância total percorrida por meio da geração de eletricidade excedente do Escritório Verde foi de cerca de 6.832,80 Km em doze meses.

Para avaliar-se a geração excedente de eletricidade anual, obtida a partir do sistemas fotovoltaicos do Escritório Verde, são apresentados na Tabela 4 os valores de consumo de quilowatts-hora a cada quilômetro percorrido e em amarelo estão destacados os automóveis elétricos populares comercializados no

Brasil. Dado este levantamento por modelo de automóvel elétrico, os resultados da geração excedente de eletricidade foram convertidos em emissões evitadas de dióxido de carbono (CO₂) ao ano.

Tabela 4. Cálculo do dióxido de carbono (CO₂) evitado dada a energia excedente gerada pelo EV, por modelos de automóveis elétricos, consumo em kWh, autonomia e distância total percorrida em um ano, com destaque para os modelos comercializados no Brasil.

MODELO DO AUTOMÓVEL ELÉTRICO	Consumo de kWh por Km percorrido (kWh/Km)	Km/ kWh	Bateria (kWh)	Autonomia (Km)	Km/kWh X Excedente X 12 meses (Km)	Kg de CO ₂ evitados ao ano (kgCO ₂ .ano)
Volteix X4	0,191	5,23	14,50	60	4.895,28	489,52
Mia Electric	0,101	9,90	8,00	80	9.266,40	926,64
Mega City	0,090	11,11	9,00	100	10.398,96	1.039,89
Little 4	0,110	9,09	11,00	100	8.508,24	850,82
FAM F-City	0,144	6,94	14,40	100	6.495,84	649,84
Renault Twizy 45	0,051	19,60	6,10	120	18.345,60	1.834,56
Lumeneo Neoma	0,101	9,90	14,20	140	9.266,40	926,64
Smart Fortwo E.D.	0,121	8,26	17,60	145	7.731,36	773,13
Citröen C-Zero	0,107	9,34	16,00	150	8.742,24	874,22
Ford Focus EV	0,143	6,99	23,00	160	6.542,64	654,26
Renault Kangoo Z.E.	0,129	7,75	20,00	170	7.254,00	725,40
Nissan Leaf	0,137	7,30	24,00	175	6.832,40	683,28
Renault Fluence Z.E.	0,119	8,40	22,00	185	7.862,40	786,24
Renault Zoé	0,105	9,52	22,00	210	8.910,72	891,07
Balloré Bluecar	0,120	8,33	30,00	250	7.796,88	779,68
Tesla Roadster	0,151	6,62	53,00	350	6.196,32	619,63
Tesla S	0,199	5,02	85,00	426	4.698,72	469,87

Fonte: Adaptado pelos autores (MEUNIER, 2012).

Curitiba possui uma frota estimada de automóveis equivalente a 964.187 automóveis e um total de 1.416.388 veículos (IPARDES, 2019). Dado este valor, é resultante que a emissão de dióxido de carbono (CO₂) por quilômetro percorrido para o total de automóveis movidos à combustão é de cerca de 96.418,70 quilos (96 toneladas) de dióxido de carbono.

Contabilizado o percurso médio diário de 60 quilômetros para cada automóvel elétrico, estima-se que cerca de 5,785 milhões de toneladas de dióxido de carbono sejam emitidos diariamente do total de automóveis movidos à combustão na cidade. Adotando-se os dados de geração de eletricidade excedente do Escritório Verde e consumo médio do automóvel elétrico, pode-se constatar por meio desta simulação que o emprego de sistemas fotovoltaicos em ambientes urbanos é uma das alternativas para a redução de emissões de CO₂ e para a geração de energia.

O município de Curitiba teve consumo de energia elétrica no ano de 2017 equivalente a 4.503.777 MWh, Megawatts-hora (4,50 TWh) distribuídos entre 812.521 unidades consumidoras (IPARDES, 2019). O consumo total de eletricidade no setor residencial durante o ano de 2017 foi correspondente a 1,47 TWh para a cidade de Curitiba com relação as unidades residenciais consumidoras, enquanto que o consumo de eletricidade do estado do Paraná no setor residencial foi de 7,34 TWh para um total de 3.801.251 de unidades consumidoras (IPARDES, 2019).

De tal modo, se calcularmos que o consumo médio de uma unidade consumidora residencial é equivalente a 175 kWh/mês na cidade de Curitiba e de

160 KWh/mês no estado do Paraná, pode-se relacionar que seriam necessários conjuntos maiores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica para suprir a demanda energética dos veículos e automóveis elétricos nos atuais sistemas de geração de energia elétrica distribuída.

Uma vez que os dados da simulação dos parâmetros de redução das emissões de dióxido de carbono (CO₂) por quilometro percorrido definidos na Tabela 4 são correspondentes a geração excedente de 39% para o sistema fotovoltaico do Escritório Verde, 78 kWh.mês, na Tabela 5 é apresentada a comparação do dióxido carbono evitado para os automóveis elétricos populares comercializados no Brasil.

Sendo mantido o percurso de 60 Km ao dia, teremos evitado 6,00 kgCO₂.dia, para um mês de 30 dias serão 180 kgCO₂.mês e um valor anual de 2.160,00 kgCO₂.ano. Analisando a Tabela 5, pode-se notar que o Nissan Leaf é o que apresenta a menor distância percorrida com a energia excedente, aproximadamente 60% a menos que o Renault Twizy 45, sendo assim, a discussão foi feita para o pior cenário. Se fosse utilizado o modelo mais econômico, seria possível aumentar a distância percorrida por mês ou, se mantida a distância, o consumo de energia seria menor (SILVA et al., 2016).

Tabela 5. Comparativo da emissão de dióxido de carbono evitado pelos automóveis elétricos comercializados no Brasil.

MODELO DO AUTOMÓVEL ELÉTRICO	Quilômetros percorridos a cada kWh	Quilômetros percorridos por mês com o excedente de energia do Escritório Verde	Quilos de CO ₂ evitados por kWh consumido
Renault Twizy 45	19,60	1.528,8 km	1,96 kgCO ₂ /kWh
Renault Zoé	9,52	742,56 km	0,952 kgCO ₂ /kWh
Renault Fluence Z.E.	8,40	655,2 km	0,840 kgCO ₂ /kWh
Renault Kangoo Z.E.	7,75	604,5 km	0,775 kgCO ₂ /kWh
Nissan Leaf	7,30	569,4 km	0,730 kgCO ₂ /kWh

Fonte: Elaborado pelos autores.

Dado que a quantidade estimada de automóveis para a cidade de Curitiba é correspondente a 964.187 veículos, onde o Nissan Leaf evita emitir 6,00 kgCO₂ ao dia, estima-se que 173,553 milhões de toneladas de dióxido de carbono poderiam ser evitadas em um mês e 2,082 bilhões de toneladas estocadas em um ano.

Tendo em perspectiva as projeções para os sistemas fotovoltaicos conectados à rede em Curitiba e no Paraná, o estado possui 810 SFVCR (TONIN, F.S., 2017) instalados e em operação de acordo com dados disponibilizados pela ANEEL. O setor residencial em Curitiba representa cerca de 80% dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede, onde existe um total de 170 SFVCR instalados e em operação, totalizando em 754,34 KW instalados, os quais correspondem a um área total de 5.123,00 m² de painéis fotovoltaicos (SCOLARI et al., 2018).

Para tanto, correlacionados os dados da frota de veículos automotores da cidade e o consumo de kWh por quilômetro do Nissan Leaf, a demanda energética para suprir a carga de eletricidade a ser absorvida por uma frota de veículos exclusivamente elétricos para a cidade de Curitiba seria equivalente a 7.925.617,14 Megawatts, ou 7,92 TWh, valor esse que excede o total consumido

no setor residencial para o Paraná em um ano e corresponde a 26,96% da energia total consumida no estado.

Para o caso do automóvel elétrico mais econômico, o Renault Twizy 45, a demanda energética seria de 2,95 TWh, o que representa aproximadamente duas vezes o consumo no setor residencial para o ano de 2017 na cidade de Curitiba, como pode ser visto na Tabela 6.

Tabela 6. Comparativo da demanda energética para uma frota exclusiva de automóveis elétricos para a cidade de Curitiba.

MODELO DO AUTOMÓVEL ELÉTRICO	kWh consumidos por quilômetro percorrido	Demanda Energética (TWh)	Taxa de porcentagem em relação ao consumo atual do setor residencial em Curitiba
Renault Twizy 45	0,051	2,95	201%
Renault Zoé	0,105	6,07	413%
Renault Fluence Z.E.	0,119	6,88	468%
Renault Kangoo Z.E.	0,129	7,46	507%
Nissan Leaf	0,137	7,92	539%

Fonte: Elaborado pelos autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em um cenário onde ainda temos uma grande quantidade de emissão de gases do efeito estufa que proporcionam o aquecimento global, particularmente o dióxido de carbono e de crescimento das cidades de países em desenvolvimento como o Brasil, incluindo o aumento de veículos movidos a combustão por fontes dependentes de combustíveis fósseis, se faz necessária e urgente uma revisão de nossos sistemas construtivos e integração fotovoltaica, uso de energia elétrica e mobilidade, voltados a um modelo urbano sustentável.

A expansão da disponibilidade de eletricidade por fontes renováveis nas cidades brasileiras e a integração de sistemas fotovoltaicos aos edifícios é uma das formas de utilização da tecnologia que pode estabelecer a mudança de paradigma nos próximos anos por consequência da geração distribuída de eletricidade, promovendo ambientes urbanos cada vez menos dependentes de fontes de combustíveis não renováveis.

A redução da emissão de dióxido de carbono pela utilização de veículos elétricos tem como resultado a redução dos gases do efeito estufa, geradores do aquecimento global, sendo que a geração distribuída de eletricidade poderia suprir a demanda de recarga das baterias e autonomia de veículos elétricos diariamente. Em um cenário otimista, isto permitiria uma redução progressiva da emissão de dióxido de carbono e demais gases nocivos à atmosfera terrestre, produzidos também pelos veículos movidos à combustão.

Entre as capitais brasileiras, a cidade de Curitiba e o estado do Paraná possui médias de irradiação solar relevantes considerando estar em local de latitudes relativas altas e próximas à linha do Equador, com médias iguais e superiores a países com maior capacidade de potência solar instalada no restante do mundo, evidenciando esta fonte de energia renovável como medida não convencional

para uma transição a sistemas de geração distribuída mais tecnologicamente desenvolvidos, aplicados a sustentabilidade e integrados ao meio urbano.

Este artigo apresentou a disponibilidade de energia solar como uma alternativa ao desenvolvimento sustentável em escala local, regional e nacional por meio de ações a serem introduzidas individualmente e institucionalmente, em que ficou constatada a redução da emissão de CO₂ por meio de utilização da eletricidade excedente de sistemas fotovoltaicos e injeção na rede de energia elétrica, para emprego em veículos e automóveis elétricos.

É conclusivo que este artigo determinou novos dados para a simulação de sistemas fotovoltaicos na cidade de Curitiba e no estado do Paraná, apontando que um novo desafio para o planejamento energético desses sistemas é a demanda de eletricidade requerida pela frota de automóveis elétricos adotando-se o percurso médio diário de sessenta quilômetros, enfatizando a necessidade de integração fotovoltaica aos projetos de arquitetura e engenharia e uma revisão dos atuais sistemas de geração e distribuição de eletricidade.

Photovoltaic Solar Energy and Electric Cars: a combined model to reduce carbon emissions in the city of Curitiba

ABSTRACT

Photovoltaic systems connected to the grid promote in urban centers the distributed generation of electric energy from a renewable and unlimited source, the Sun. Encouraging the use of solar energy in the world and in Brazil meets an ecological demand for reduction of the greenhouse effect gases (GHG) that contribute with the global warming and climate changes. The state of Paraná has a great photovoltaic potential of generation when comparing the data of incidence of solar irradiation (kWh / m².year) to other Brazilian states, European countries, Asia, EUA and Oceania. Inserted on the campus of the Federal Technological University of Paraná (UTFPR) in Curitiba, the Green Office (Escritório Verde) is a building designed within the principles of sustainable construction, installing 2.100 Watts in the grid-connected model. This work analyses data and parameters of the operation of this photovoltaic system during the years 2012 to 2018, where it was evaluated the energy efficiency, performance and environmental benefits associated to the use of an electric car and a projection of CO₂ emission reduction if this model was installed in a large scale in the city of Curitiba.

KEYWORDS: Photovoltaic Solar Energy. Distributed Generation. Sustainability. Electric Cars.

REFERÊNCIAS

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília: ANEEL, 2005. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2005_AtlasEnergiaElettricaBrasil2ed/06b7ec52-e2de-48e7-f8be-a39c785fc8b> Acesso em: 23 mar. 2019.

ANEEL (2019a). Agência Nacional de Energia Elétrica. **Banco de Informações de Geração**. Brasília: ANEEL, 2019. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>> Acesso em: 26 fev. 2019.

ANEEL (2019b). AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Registros de Micro e Minigeradores distribuídos efetivados na ANEEL**. Brasília: ANEEL, 2019. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Fonte.asp>. Acesso em: 26 fev. 2019.

BEHLING, SOPHIA; BEHLING, STEFAN; FOSTER, NORMAN. **Sol Power: The Evolution of Solar Architecture**. 1996.

CARDOSO, K. **Investir em energia solar traz bons resultados financeiros: A longo prazo, a economia que vem do sol gera bom retorno financeiro**. Revista Exame, 2018.

CASAGRANDE JR., E. F. Energia Solar no Brasil: se não for agora, quando será? Eficiência Energética. **Cadernos Adenauer**. Fundação Konrad Adenauer. 3, Ano XV. p. 73-93. 2014.

DEUTSCHE BANK. **F.I.T.T. for investors - Crossing the Chasm**. 2015. Disponível em: <https://www.db.com/cr/en/docs/solar_report_full_length.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2019.

DGS. **Planning and installing photovoltaic systems: a guide for installers, architects, and engineers**: Earthscan, 2008.

ELETROBRÁS. **Plano Nacional de Energia Elétrica 1993 – 2015 - Plano 2015**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 1992.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Matriz Energética e Elétrica**. 2018. Disponível em <<http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em 08 mar. 2019.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: EPE, 2007. Disponível em <<http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-PNE-2030>>. Acesso em 08 mar. 2019.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Matriz Energética Nacional 2030**. Brasília: EPE, 2007. Disponível em:
<<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1432020/Matriz%2Benerg%C3%A9tica%2BBrasileira%2B2030%2B-%2B%28PDF%29/708f3bd7-f3ed-4206-a855-44f6d4db29f6?version=1.1>>. Acesso em 08 mar. 2019.

EUROPEAN COMMISSION. **ENERGY UNION PACKAGE - A Framework Strategy for a Resilient Energy Union with a Forward-Looking Climate Change Policy**. Brussels, 2015. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:1bd46c90-bdd4-11e4-bbe1-01aa75ed71a1.0020.01/DOC_1&format=PDF>. Acesso em: 14 fev. 2019.

IEA (2014). **Technology Roadmap**. Solar Photovoltaic Energy. OECD/IEA, 2014. Disponível em:
<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapSolarPhotovoltaicEnergy_2014edition.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2019.

IEA (2018). **Renewable Analysis and Forecasts to 2023 – Executive Summary**. OECD/IEA, França, 2018.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Tabela de consumo/eficiência energética de veículos automotores leves**. 2018.

IPARDES. **Caderno Estatístico – Município de Curitiba**. Curitiba: IPARDES, 2019. Disponível em:
<<http://www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=80000&btOk=ok>>. Acesso em: 28 jan. 2019.

IPARDES. **Caderno Estatístico – Estado do Paraná**. Curitiba: IPARDES, 2019. Disponível em:
<<http://www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=19>>. Acesso em: 26 jan. 2019.

KRASNIAK, L. B.; MELLO, E. A. M.; URBANETZ JR, J.; CASAGRANDE JUNIOR, E. F. Edificação de energia positiva: Análise de geração e consumo de energia elétrica no Escritório Verde da UTFPR em Curitiba. **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar**, Gramado, 2018.

LOVELOCK, J. **The Revenge of Gaia: why the Earth is Fighting Back, and how we can still save humanity**, 2006.

MEUNIER N. **La vérité sur la consommation des voitures électriques**: Magazine Challenges, 2012. Disponível em <http://automobile.challenges.fr/dossiers/20120807.LQA3178/la-verite-sur-la-consommationdes-voitures-electriques.html>>. Acesso em: 23 mai. 2019.

MME – Ministerio de Minas e Energia. **Energia Solar no Brasil e no Mundo**. 2017. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/17+-+Energia+Solar+-+Brasil+e+Mundo+-+ano+ref.+2015+%28PDF%29/4b03ff2d-1452-4476-907d-d9301226d26c;jsessionid=41E8065CA95D1FABA7C8B26BB66878C9.srv154>>. Acesso em: 07 mar. 2019.

NORTON, B.; EAMES, P. C.; MALLICK, T. K.; HUANG, M. J.; MCCORMACK, S. J.; MONDOL, J. D.; YOHANIS, Y. G. Enhancing the performance of building integrated photovoltaics. **Solar Energy**. Issue 8, v.85, p.1629-1664, 2010.

PINHO, J.T.; GALDINO, M.A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Grupo de Trabalho de Energia Solar, 2016.

PEREIRA, E.B; MARTINS, F.R., ABREU, S.L., RÜTHER, R. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2006.

PEREZ, R.; PEREZ, M. **A fundamental look at Energy reserves for the Planet**. 2009. Disponível em: <http://www.asrc.albany.edu/people/faculty/perez/Kit/pdf/a-fundamental-look-at%20the-planetary-energy-reserves.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2019.

REN21. **RENEWABLES GLOBAL STATUS REPORT**. Paris, 2018. Disponível em: <http://www.asrc.albany.edu/people/faculty/perez/Kit/pdf/a-fundamental-look-at%20the-planetary-energy-reserves.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**: Editora UFSC/LABSOLAR. Florianópolis, 2004.

SILVA, J. E.; TONIN, F. S.; URBANETZ JR, J. Veículos elétricos e a geração distribuída partir de sistemas fotovoltaicos. **III Conferência Internacional de Energias Inteligentes**, Curitiba, 2016.

SILVA, J. E.; URBANETZ JR, J. Conversão de um veículo convencional para VE. **IX Conferência Internacional de Energias Inteligentes**, Curitiba, 2018.

SEEG. Sistema de Estimativa de Emissão de Gases de Efeito Estufa. **Emissões dos setores de energia, processos industriais e uso de produtos**. 2018. Disponível em: <<http://www.seeg.eco.br>>. Acesso em 18 fev. 2019.

SURI, M., HULD, T.A., DUNLOP, E.D. 'PV-GIS: A web-based solar radiation database for the calculation of PV potential in Europe'. **International Journal of Sustainable Energy**, 2005.

TIEPOLO, G. M., URBANETZ JR, J. Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná – Comparação do potencial do Paraná com outros estados e Europa. **Conferência Internacional de Energias Inteligentes – Smart Energy CIEI&EXPO**, 2018.

TIEPOLO, G. M., PEREIRA, E. B., URBANETZ JR, J., PEREIRA, S. V., GONÇALVES, A. R., LIMA, F. J. L., COSTA, R. S., ALVES, A. R. Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná – Resultados. **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar**, 2018.

TIEPOLO, G. M., URBANETZ JR, J., PEREIRA Ê. B., PEREIRA S. V., ALVES A. R. Energia Solar no Estado do Paraná – Potencial, Barreiras e Políticas Públicas. **X Congresso Brasileiro de Planejamento Energético**, 2016.

TRIEB, F.; SCHILLINGS, C.; O'SULLIVAN, M.; PREGGER, T.; HOYER-KLICK, C. **Global Potential of Concentrating Solar Power**. German Aerospace Center, Institute of Technical Thermodynamics, 2009.

TRIEB, F.; O'SULLIVAN, M.; PREGGER, T.; SCHILLINGS, C.; KREWITT, W. **Characterisation of Solar Electricity Import Corridors from MENA to Europe: Potential, Infrastructure and Cost**. German Aerospace Center. Institute of Technical Thermodynamics, 2009.

TONIN, F. S. **Caracterização de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica na cidade de Curitiba**. 132 p. Tese de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Energia – PPGSE, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, 2017.

URBANETZ, I. V.; NETTO, A. M.; SCOLARI, B. S.; LEITE, V.; URBANETZ JR, J. Panorama atual e cenário 2025 da energia solar fotovoltaica no Brasil. **IX Conferência Internacional de Energias Inteligentes**, Curitiba, 2018.

URBANETZ JUNIOR, J.; TIEPOLO, G. M.; CASAGRANDE JUNIOR, E. F.; TONIN, F. S.; MARIANO, J. A. Geração Distribuída Fotovoltaica: O Caso dos Sistemas Fotovoltaicos da UTFPR em Curitiba. **X Congresso Brasileiro de Planejamento Energético**, Gramado, 2016.

URBANETZ JUNIOR, J.; ZOMER, C.; RUTHER, R. On the compromises between form and function in grid-connected Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) at low-latitudes. In: ISES Solar World Congress, 2011. **Anais...** Kassel - Germany: Proceedings of the International Solar Energy Society's Solar WORLD CONGRESS. p. 776-786, 2011.

URBANETZ JR, J. **Energia Solar Fotovoltaica**. Apostila disponibilizada pelo autor durante a disciplina do IV Curso de Especialização em Construções Sustentáveis. UTFPR. 2014.

ZOMER, C.D.; NASCIMENTO, L.; URBANETZ, J; OKUDA, B.S.; FLORES, F; RUTHER, R. Geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas: compromissos entre forma e função. **IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferência Latino-Americana da ISES**, 2012.

SCOLARI, B., TONOLO, E. A., PAN, R. C. Y., URBANETZ JR, J. Mapping and characterization of the grid-connected photovoltaic systems in the city of Curitiba. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Vol. 61, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1678-4324-smart-2018000340>>. Acesso em: 18 fev. 2019.

Recebido: 10 mar. 2019.

Aprovado: 26 jun. 2019.

DOI: 10.3895/rts.v15n37.9811

Como citar: CASAGRANDE JUNIOR, E. F.; *et al.* Energia solar fotovoltaica e automóveis elétricos: a combinação de um modelo para redução de emissões de carbono na cidade de Curitiba. **R. Technol. Soc.**, Curitiba, v. 15, n. 37, p. 653-678, jul./set. 2019. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/9811>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Eloy Fassi Casagrande Junior

-

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

