

A APLICAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS INTEGRADOS À ILUMINAÇÃO PÚBLICA

THE APPLICATION OF INTEGRATED PHOTOVOLTAIC PANELS TO STREET LIGHTING

Prof. Ms. Daniel Augusto Chuvauski Neves Vechini¹

Profa. Dr. Lúcia Fernanda de Souza Pirró²

RESUMO

Este artigo traz o resultado de uma pesquisa acerca do uso de painéis fotovoltaicos integrados a iluminação pública. A pesquisa trata das possíveis aplicações de painéis fotovoltaicos em postes de iluminação pública na cidade de São Paulo, em variados espaços públicos como: ruas, avenidas, rodovias, parques e praças. Estudos acerca de painéis fotovoltaicos e de novas tecnologias, o levantamento de dados e estudos de caso corroboraram no desenvolvimento da pesquisa. Além disso, foi feito um levantamento sobre a disponibilidade de produtos no mercado nacional e uma pesquisa mercadológica sobre novas tecnologias fotovoltaicas disponíveis. Os resultados do trabalho demonstraram alternativas para a iluminação pública urbana, incentivando a geração descentralizada de energia, por meio da substituição de postes de iluminação tradicionais por postes autossuficientes utilizando energia solar.

Palavras-chave: Pannel Fotovoltaico; Iluminação Pública; Cidades; Energia Solar.

ABSTRACT

This article comprises the report of a research on the use of photovoltaic panels in public lighting. The research dealt with the applications of photovoltaic panels on public lighting poles in the city of São Paulo, in various public spaces such as: streets, avenues, highways, parks and squares. The study of theoretical research on photovoltaic panels and new technologies, data collection and case studies supported the development of the research. In addition, a survey was carried out on the availability of products in the national market and a market research on new photovoltaic technologies available. The results of the work demonstrated alternatives for urban public lighting, encouraging decentralized energy generation, through the replacement of traditional lighting poles with self-sufficient poles using solar energy.

Keywords: Photovoltaic Panel; Streetlights; Cities; Solar Energy.

¹ Mestre em Arquitetura, Urbanismo e Design (2021) pelo Centro Universitário Belas Artes de São Paulo; Graduado em Arquitetura e Urbanismo (2018) pela mesma instituição.

² Doutora em Arquitetura e Urbanismo (2005) pela Universidade de São Paulo; Mestre em Arquitetura e Urbanismo (2001) pela mesma instituição; Graduada em Arquitetura e Urbanismo (1984) pela mesma instituição.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o fenômeno do aquecimento global tem impactado significativamente o clima. Segundo dados do Ministério do Meio Ambiente (MMA), este fenômeno é principalmente atribuído à emissão de dióxido de carbono e outros gases prejudiciais na atmosfera, os chamados gases do efeito estufa (GEE), resultados da queima de combustíveis fósseis por usinas de energia, indústrias e veículos. Os níveis desses gases na atmosfera vêm aumentando nas últimas décadas, juntamente com a temperatura média do planeta (HINRICHS; KLEINBACH, 2013). A geração de energia elétrica por meios renováveis, como por exemplo, a geração de energia solar e eólica, surgem como uma alternativa que não emitem GEE e podem ajudar a combater esse aquecimento.

No Brasil, a maior parte da energia é gerada por usinas hidrelétricas, mais de 60% de nossa matriz elétrica é composta por usinas desse tipo (INPE, 2017; EPE 2020). Porém essas usinas geralmente ficam distantes dos principais centros urbanos e há perdas significativas da energia gerada durante o transporte. De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2017), essas perdas podem chegar a até 15% de toda a eletricidade gerada. Entretanto, dados mais recentes da Empresa de Pesquisa Energética (2020), indicam que as perdas podem ser ainda maiores. Segundo Nakabayashi (2014, p. 15), “Em um país de dimensões continentais como o Brasil, as perdas e o custo de transporte da energia não são desprezíveis, ocasionando um aumento no custo operação e de expansão do sistema elétrico”.

Cerca de 15% de toda a matriz energética do país é composta por usinas a carvão, petróleo e gás, mas essa porcentagem aumenta durante tempos de secas prolongadas, quando a produção nas hidrelétricas diminui (EPE, 2020).

A energia solar por sua vez, pode ser aplicada de maneira descentralizada nas grandes cidades, reduzindo a necessidade da geração termoelétrica e também a dependência de grandes sistemas para o transporte da energia. A principal vantagem é que os pontos de geração e de consumo de energia já estão no mesmo local, sem precisar que a energia percorra longas distâncias para chegar ao ponto de consumo.

O principal obstáculo é o preço elevado para instalação de sistemas fotovoltaicos, principalmente devido à falta de incentivos e dos altos impostos que impedem um rápido

crescimento do mercado de energia solar fotovoltaica (WWF; UNB, 2016). A falta de políticas públicas mais robustas também se apresenta como um empecilho ao crescimento deste mercado no Brasil.

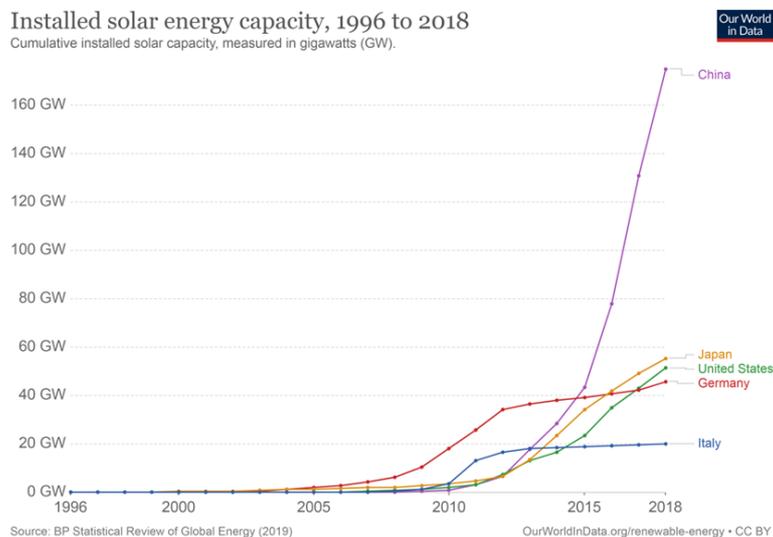
EVOLUÇÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A tecnologia fotovoltaica surgiu durante o século XIX, mas foi apenas a partir de 1954 que as primeiras células foram comercializadas. Este é considerado o início da história da tecnologia fotovoltaica (REINDERS; et al., 2017). Devido a sua natureza, a aplicação de painéis fotovoltaicos como fonte de energia para satélites foi e ainda é muito utilizada, tanto que, nas décadas seguintes ao início da comercialização, nos Estados Unidos (EUA), a *Energy Research and Development Administration* (ERDA) e a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) realizaram vários estudos com diversos objetivos para a utilização variada da energia solar.

Os investimentos em tecnologias sustentáveis, inclusive a tecnologia fotovoltaica, aumentaram muito no fim do século XX e início do século XXI, principalmente devido a acontecimentos históricos como a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento realizada no Rio de Janeiro em 1992, que culminou na criação da agenda 21, um documento histórico assinado por todos os países presentes para promover o desenvolvimento sustentável; o Protocolo de Quioto, que tinha o objetivo de reduzir emissões de GEE; e as crises econômicas como a de 1973 e a de 2008 que evidenciaram a urgência de produzir energia através de tecnologias que empreguem recursos renováveis. (AL-WAELI; et al., 2019).

A demanda por novos meios de produção de energia, aliada à redução nos custos de produção de células fotovoltaicas, fizeram com que a geração de energia solar começasse a aumentar em meados da década de 2000 (REINDERS; et al., 2017). Conforme é possível observar na figura 1, a Alemanha foi o país que mais se destacou inicialmente, tendo o Japão, os Estados Unidos e outros países europeus também mostrando um rápido crescimento, mas que foram ultrapassados pela China, que expandiu enormemente a sua produção de células fotovoltaicas e novos parques solares (FTHENAKIS; LYNN, 2018).

Figura 1– Potência solar instalada nos maiores países produtores



Fonte: Our World in Data

O Chile e a Índia são dois países que também estão investindo fortemente em energia solar nos últimos anos, porém não aparecem na figura acima. Inclusive, a área que mais recebe insolação no mundo está no Chile. Ela fica localizada no Deserto do Atacama e possui um enorme potencial para geração de energia solar (FTHENAKIS; LYNN, 2018).

No Brasil, o mercado fotovoltaico começou a crescer depois da maioria dos países líderes em produção, porém, de acordo com dados da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), ele se expandiu muito e, em 2019, o Brasil se tornou o 16º país no mundo entre os países com as maiores capacidades de geração de energia fotovoltaica.

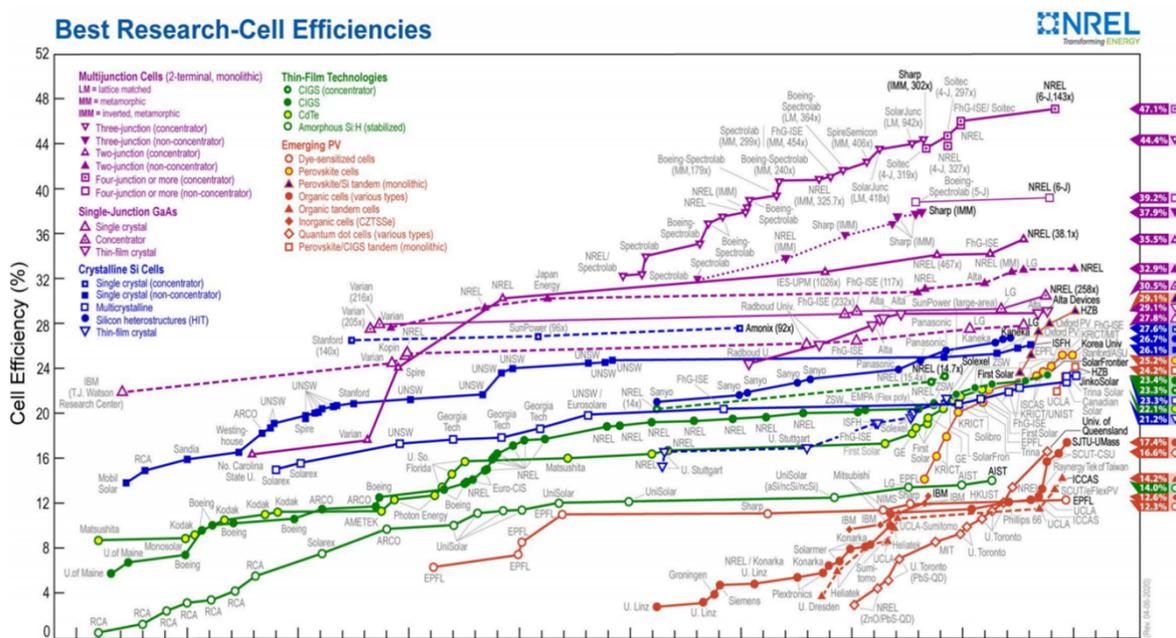
Uma das empresas pioneiras no Brasil na fabricação tanto da célula fotovoltaica como do painel foi a Heliodinâmica. Ela surgiu na década de 1980, e chegou a ser uma das maiores do mundo, mas paralisou todas as suas atividades em 2010 devido a concorrência e a falta de incentivos.

A evolução da tecnologia para produção de células solares também evoluiu nos últimos anos e, apesar das células compostas por silício cristalino ainda dominarem o

mercado, novas tecnologias como células de arseneto de gálio e multijunções apresentam uma eficiência maior. Apesar disso, muitos pesquisadores acreditam que painéis que utilizam silício irão continuar a liderar o mercado, principalmente devido ao fato de que esse material é o mais comum encontrado no planeta (FTHENAKIS; LYNN, 2018; REINDERS; et al., 2017).

Segundo o *National Renewable Energy Laboratory* (NREL), atualmente existem várias pesquisas sobre outras tecnologias para fabricação de células fotovoltaicas e algumas tem demonstrado um grande potencial, como é mostrado na figura 2, e podem estar disponíveis comercialmente em um futuro próximo. É possível comparar a eficiência entre os vários materiais disponíveis para fabricação de painéis solares.

Figura 2– Desenvolvimento das tecnologias de células fotovoltaicas



Fonte: NREL

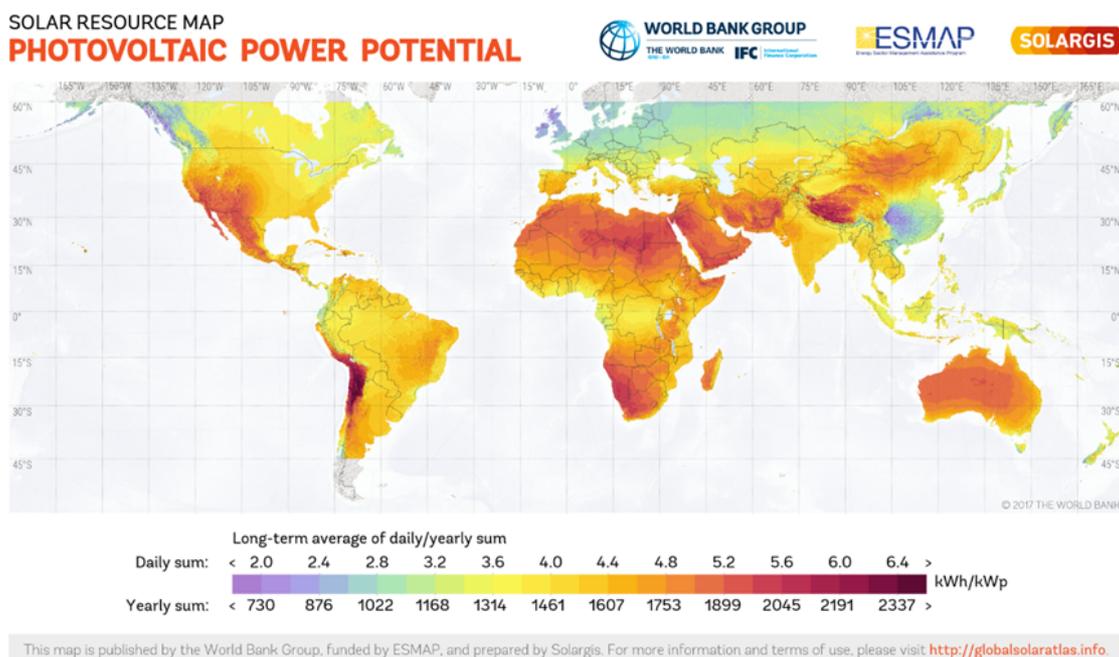
Atualmente, a capacidade global instalada para geração de energia fotovoltaica continua evoluindo e deve continuar sua curva ascendente nos próximos anos. A preocupação com as mudanças climáticas e o Acordo de Paris, assinado por 195 países em 2015 e que tem como objetivo promover o desenvolvimento sustentável, são os principais catalisadores do crescimento da utilização da energia fotovoltaica.

Nos últimos anos, a China tem se destacado como líder mundial em investimentos e produção de eletricidade por meio de painéis fotovoltaicos, e com uma vantagem considerável para os outros países (IEA-PVPS, 2020). Das 5 maiores usinas fotovoltaicas, 3 estão presentes na China.

Embora muitos países ainda necessitem de incentivos para adotar plenamente a tecnologia fotovoltaica, a longo prazo, ela tem o potencial de se tornar economicamente autossustentável e acessível, especialmente para consumidores em áreas urbanas, onde ela pode-se integrar como uma fonte de energia distribuída de diversos modos e em vários locais (REINDERS; et al., 2017).

A figura abaixo demonstra o potencial global para geração de energia fotovoltaica. Nota-se que o Brasil possui um ótimo potencial para produção desse tipo de energia em grande parte do seu território. É possível analisar que nossa capacidade é maior do que países líderes em geração de energia solar. “No local menos ensolarado do Brasil, é possível gerar mais eletricidade solar do que no local mais ensolarado da Alemanha” (INPE, 2017, p. 57). Isso ocorre devido a menor latitude em que está o país e, por isso, há mais horas de sol pleno por ano no Brasil do que na maioria dos países europeus, comprovando que, mesmo em dias nublados, é possível alcançar uma alta produção de energia.

Figura 3 - Potencial de Geração Solar Fotovoltaica



Fonte: Global Solar Atlas

De acordo com dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2017), há um grande potencial de geração de energia solar, principalmente em toda área entre o Pantanal Mato-Grossense até o Nordeste, que é o local com os maiores índices de insolação no país. A área com o menor potencial está entre os estados do Paraná e de Santa Catarina. O potencial de geração também varia durante o ano. Nos meses de verão, ocorre a geração máxima nos estados do Sul e do Sudeste, coincidindo com os valores máximos de demanda de energia nessas regiões, que são as que mais consomem energia no país, tornando a energia fotovoltaica uma opção altamente competitiva nessas áreas.

Segundo a ABSOLAR, o Brasil possuía em 2020 cerca de 5.114 MW de energia solar instalada, sendo que 2.427 MW desse total fazem parte da micro e minigeração distribuída. Dentre esses números não constam sistemas independentes, ou seja, não fazem parte desse total sistemas localizados em regiões isoladas e sistemas independentes que sirvam para algum propósito específico.

A utilização de energia solar para geração descentralizada nos centros urbanos demonstra ser uma boa opção. Além da perda de energia durante o transporte, a operação e manutenção do Sistema Interligado Nacional (SIN) é custosa e, devido ao tamanho do país, a expansão do sistema é vagarosa e complexa. De acordo com o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), o SIN possui hoje aproximadamente 145 mil km de extensão. Além disso, falhas generalizadas podem deixar um estado inteiro ou até parte do país sem energia, como aconteceu em 2009 devido a falhas de transmissão na Usina Hidrelétrica de Itaipu. Mais recentemente, em 2020, devido a um incêndio numa subestação no estado do Amapá, que deixou o estado inteiro sem luz.

De acordo com dados da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo, a cidade de São Paulo consumiu mais de 500 mil MWh durante o ano de 2019 para iluminação pública. Dados do PROCEL (2021) demonstram que, em todo país, cerca de 4,3% do consumo total de energia elétrica é gasto para iluminação de áreas públicas. Nisso, surge a oportunidade para integrar os painéis fotovoltaicos aos postes de luz, reduzindo a quantidade de energia provinda da rede de distribuição que é gasta com iluminação pública, gerando essa energia de forma sustentável e eficiente.

Porém, convém pontuar que o sombreamento excessivo causado por edificações pode reduzir a capacidade de geração dos painéis fotovoltaicos e, em grandes metrópoles

como São Paulo por exemplo, a grande quantidade de altos edifícios nas áreas centrais pode reduzir a quantidade de insolação direta em muitos postes de luz. A viabilidade desse sistema é limitada pela altura das edificações circundantes.

Na cidade de São Paulo, existem poucos locais que possuem painéis fotovoltaicos integrados a postes de iluminação, como por exemplo, no Parque do Carmo e na pista ao redor da Raia Olímpica da Universidade de São Paulo (USP). Há uma grande oportunidade para adotar esse tipo de iluminação em várias áreas da cidade, porém não há nenhum projeto desse tipo previsto ou em andamento, o que demonstra o desconhecimento ou até mesmo a indiferença por parte dos tomadores de decisão quanto a essa tecnologia e seu potencial.

Os custos de painéis fotovoltaicos ainda são elevados, porém ele está constantemente caindo. No futuro, prevê-se que as tarifas de energia elétrica sigam aumentando gradualmente, ao passo que os custos da energia solar fotovoltaica continuarão a diminuir (WWF; UNB, 2016).

Além da falta de produção nacional de células fotovoltaicas, os impostos altos e o financiamento restrito erguem-se como grandes barreiras ao crescimento do mercado. A falta de ferramentas para promover o desenvolvimento sustentável e incentivos à energia renovável são os principais obstáculos (WWF; UNB, 2016).

Entretanto o país não é totalmente desprovido de normas. A resolução normativa da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) nº 482/2012 é uma das principais ferramentas no país de incentivo ao uso da energia descentralizada renovável. Ela permite que qualquer consumidor pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração e fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade em troca de créditos que podem ser utilizados para diminuir a fatura dos meses seguintes. Contudo, esse sistema não permite que o consumidor seja pago em dinheiro pelo excedente “vendido”, impedindo que o consumidor possa se tornar um produtor de energia e lucrar com isso. Se não houvesse essa limitação, o incentivo para os consumidores adotarem a energia solar poderia ser muito maior, pois as pessoas ficariam mais interessadas. Além disso, a conta de luz nunca é zerada devido aos vários impostos cobrados pelo governo.

A geração distribuída de energia elétrica não atrai as grandes empresas de geração e distribuição de energia, pois isso poderia resultar na redução de seu faturamento. Uma

abordagem eficaz para superar esse obstáculo seria a implementação de políticas governamentais rigorosas para promover a micro e minigeração sustentável de energia... A ANEEL possui alguns programas de incentivo para pesquisas de inovação na área de geração elétrica, entre eles estão o Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica (P&D), o Programa de Eficiência Energética (PEE), o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e também o Plano Inova Energia. Porém nenhum deles é orientado somente para a geração distribuída de energia solar fotovoltaica, além das resoluções normativas. A falta de um programa nacional representa mais um obstáculo para o crescimento da energia fotovoltaica no país. Em um relatório feito pela WWF (2015), foram listadas diversas recomendações para políticas públicas que servem para incentivar o mercado fotovoltaico. Entre elas estão deduções no imposto de renda para pessoas físicas ou jurídicas e abatimentos de impostos municipais, como o Imposto Sobre Serviços (ISS) e Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU). Outros meios para o governo incentivar o mercado fotovoltaico incluem: promover isenções fiscais e tributárias para o setor; criar incentivos financeiros como linhas de financiamento a taxas de juros reduzidas; realizar leilões específicos para energia fotovoltaica; estender os mecanismos e as condições de financiamento disponibilizados pelo BNDES para o setor e apoiar, com recursos do Estado, o treinamento e a capacitação de profissionais (WWF, 2015).

EVOLUÇÃO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Até o início do século XIX, a iluminação pública nas cidades era restrita apenas a tochas e lâmpadas de óleo. Apenas em 1807, com o surgimento da primeira lâmpada a gás, mais áreas urbanas passaram a ser iluminadas à noite, principalmente na Europa. As primeiras lâmpadas elétricas surgiram no final do século XIX e a sua comercialização tornou possível a expansão em larga escala da iluminação pública. A iluminação passou a ser mais eficiente e confiável (LIMA; GOUVEIA, 2019). No Brasil, a iluminação pública nas cidades acompanhou o desenvolvimento da rede de distribuição elétrica. As primeiras luminárias eram adornadas e tinham também uma função decorativa na cidade. Segundo Mascaró (2006), era onde a arte e a tecnologia se combinavam para enfrentar a

escuridão e embelezar as cidades. Várias luminárias desse tipo começaram a ser instaladas no centro da cidade de São Paulo, em 1927.

Em meados do século XX, esse tipo de luminária já havia sido em sua maioria substituída por luminárias mais simples cuja única função era a iluminação. A ampla difusão do movimento moderno no mundo ditou que esse design mais adornado fosse substituído pelo racionalismo e que as luminárias passassem a ser apenas um simples acessório da via, praticamente limitado apenas a sua função (MASCARÓ, 2006).

Nos dias atuais, a presença de luminárias simples e mal projetadas nas cidades brasileiras é predominante, dando preferência a iluminação das vias em detrimento das calçadas, as quais, na maioria das vezes, permanecem insuficientemente iluminadas. Embora os pedestres devam ter prioridade nas vias, observa-se o oposto. Além da iluminação inadequada, os postes e outras estruturas viárias frequentemente se tornam obstáculos nas calçadas, contribuindo para condições geralmente vergonhosas para os pedestres. (GEHL, 2014).

O aumento de poluição luminosa foi outra consequência da má iluminação. De acordo com Almeida (2008, p. 3): “A poluição luminosa (PL) é o efeito produzido pela luz exterior mal direcionada, que é dirigida para cima, ou para os lados, em vez de iluminar somente as áreas pretendidas.” Além do desperdício de energia, a poluição luminosa ainda pode trazer consequências a nossa saúde e ao meio ambiente: “As pesquisas estão concluindo que a iluminação externa também tem efeitos nocivos sobre a flora e a fauna e pode provocar distúrbios nos ritmos circadianos que têm sido associados à insônia e a outras desordens do sono.” (FARR, 2013, p. 171).

Os estudos de Barghini (2010) concluíram que a iluminação artificial pode afetar o meio ambiente de maneira severa, principalmente insetos. A iluminação pode levar a uma mudança de hábitos de insetos, levar espécies a extinção e até mesmo estar relacionada ao aumento de casos de doenças, como malária. Ele também demonstra em seu estudo os impactos da iluminação artificial no relógio biológico de plantas e de animais, e os danos que essas alterações podem trazer a esses seres vivos, inclusive seres humanos.

Atualmente, a maioria das luminárias nas ruas das grandes cidades não possui um poste próprio, estando elas fixadas em postes utilizados principalmente para a transmissão de energia, bem como também o transporte de cabos de telefonia e internet. As normas

brasileiras permitem no máximo seis cabos por poste, porém a falta de fiscalização levou a situações críticas nas grandes cidades brasileiras, onde não é raro encontrar postes com dezenas de cabos pendurados, alguns ilícitos e alguns abandonados, e o impacto disso na paisagem urbana é avassalador.

Uma forma de melhorar a paisagem seria enterrar os cabos, porém é raro encontrarmos essa solução no Brasil. A cidade de São Paulo possuía em 2020 cerca de 752 mil postes e 26,3 mil quilômetros de fios elétricos, e apenas 2,5 mil quilômetros de fios subterrâneos de acordo com dados da prefeitura. A falta de aterramento adequado é outro problema que resulta muitas vezes em equipamentos elétricos danificados.

As primeiras lâmpadas utilizadas para a iluminação eram incandescentes, porém, com o desenvolvimento da tecnologia, as lâmpadas de descarga de gás passaram a ser mais utilizadas por serem mais eficientes. Até recentemente, as mais utilizadas para a iluminação pública eram as lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão, lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão e lâmpadas de multivapor metálico (LIMA; GOUVEIA, 2019; DE MELO, 2014). A lâmpada de vapor de sódio se sobressaiu as outras devido a sua alta eficiência e durabilidade, se tornando uma das melhores opções para a iluminação pública (LIMA; GOUVEIA, 2019). A radiação Ultravioleta emitida por essas lâmpadas é menor do que as outras lâmpadas de descarga, causando menor impacto na flora e na fauna (BARGHINI, 2010).

A difusão das lâmpadas de LED no mercado global revolucionou a iluminação como um todo. Ela é uma tecnologia diferente das outras lâmpadas pois seu funcionamento é baseado nos princípios da eletroluminescência. Esse fenômeno foi observado em 1907 por Henry Joseph Round. As primeiras lâmpadas de LED surgiram no mercado apenas na década de 1960 e seu uso era limitado. Contudo, durante o restante do século XX e início do século XXI, a identificação de novos materiais viáveis para a produção de lâmpadas de LED, combinada com avanços na tecnologia, possibilitou a fabricação de lâmpadas com uma variedade de cores e um grande aumento no fluxo luminoso. Em 1998, surgiu o primeiro LED de potência comercial. (ANGEL, 2014; DE MELO, 2014).

A tecnologia de LED, além de ser mais econômica no consumo de eletricidade, também diminui a poluição luminosa e o impacto no meio ambiente e, por esses motivos, ela se torna uma excelente opção para ser utilizada para a iluminação pública. “(...) o

espectro de radiância dos LEDs é muito mais flexível que o das lâmpadas incandescentes e de descarga; será, portanto, possível, existindo a vontade, montar sistemas de iluminação menos agressivos para o meio ambiente e para o homem.” (BARGHINI, 2010, p. 53).

A previsão segundo a *Internacional Energy Agency* (IEA) é de que, até 2030, as lâmpadas de LED representem 87% do total de lâmpadas vendidas no mundo inteiro. Em muitas cidades do Brasil já houve a substituição de antigas luminárias em vias públicas para novas luminárias que utilizem a tecnologia LED, e a previsão é de que essa substituição continue a aumentar.

4. A INTEGRAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Os postes solares, como comumente são chamados os postes de iluminação pública integrados com painéis fotovoltaicos, representam uma estratégia fundamental para promover a geração descentralizada e ecologicamente sustentável de energia solar em ambientes urbanos públicos (DE MELO, 2014). São particularmente indicados para áreas com edifícios de menor gabarito ao redor, onde há menos sombreamento, oferecendo uma solução eficaz tanto para áreas urbanas quanto rurais.

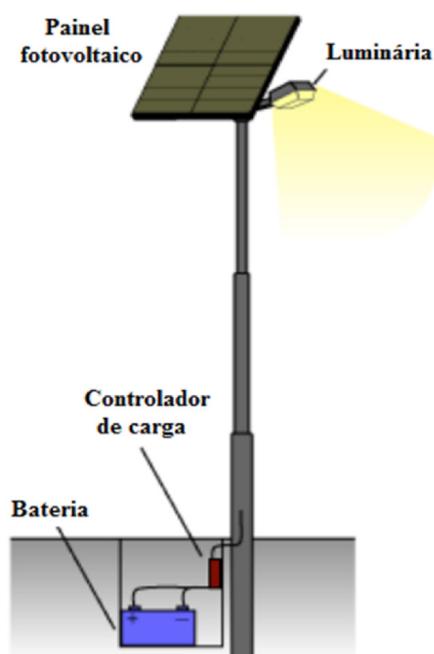
Os painéis de Silício são os mais indicados para esse sistema, devido a sua eficiência e seu custo. Porém o uso de outras tecnologias como Cádmio (CdTe), Cobre-Índio-Gálio-Selênio (CIS e CIGS) e Silício Amorfo permitem maior flexibilidade na aplicação, aumentando as possibilidades de design dos postes e luminárias.

Existem formas distintas de integrar os painéis fotovoltaicos a postes de iluminação. A maioria é projetada para serem geradores de energia elétrica *off grid* (isolados da rede), cuja energia é armazenada em baterias para futura utilização. Outro meio seria projetar o sistema para funcionar *on grid* (conectados na rede), mas sendo necessário utilizar equipamentos como inversores (conversores) e transformadores. Em sua pesquisa, De Melo (2014) afirma que postes solares *off grid* possuem uma clara desvantagem em relação a sistemas *on grid* por causa da sua dependência de baterias, que possuem uma vida útil muito menor do que os painéis fotovoltaicos e as lâmpadas de

LED, reduzindo a vida útil do sistema. O descarte de muitas baterias que contêm metais pesados também não é fácil.

Porém, devido a especificidade da geração fotovoltaica, a corrente gerada pelo painel é contínua (CC) e a corrente utilizada na rede de distribuição é alternada (CA). Por isso, é obrigatória a utilização de inversores em sistemas conectados a rede para converter a tensão, o que encarece o produto. A figura 4 a seguir mostra os componentes essenciais de um poste solar *Off Grid*, com a bateria localizada no subterrâneo junto à base do poste.

Figura 4 – Componentes essenciais de um poste solar autônomo



Fonte: NUNOO, 2010 apud DE MELO, 2014

O controlador de carga serve para aperfeiçoar o processo de carga e descarga da bateria, aumentando a sua vida útil. Além dele, outro importante dispositivo para esse tipo de sistema e que não está representado na figura 4 é o DPS, que protege o sistema de sobretensões e evita danos. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou em 2013 duas normas com recomendações para a conexão entre os sistemas fotovoltaicos e a rede de distribuição de energia, são elas a ABNT NBR 16149:2013 e a

ABNT NBR 16150:2013. Porém não há nenhuma recomendação específica para a integração de painéis fotovoltaicos em postes de luz ou em qualquer outro produto.

Entre os postes mais comuns existentes nos espaços públicos nas cidades, estão postes de iluminação com painéis fotovoltaicos convencionais, postes com painéis fotovoltaicos flexíveis e luminárias com um painel fotovoltaico integrado, conforme ilustrado respectivamente, nas imagens 5, 6 e 7 a seguir.

Figura 5 – Postes solares com painéis fotovoltaicos no Parque do Carmo em São Paulo



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 6 – Poste solar com painel fotovoltaico flexível



Fonte: EnGoPlanet

Figura 7 - Luminária solar com painel fotovoltaico integrado



Fonte: Fotovolt

O painel do poste da figura 6 utiliza a tecnologia de filme fino, permitindo maiores possibilidades de design em relação aos da figura 5, e sem comprometer a eficiência. A luminária da figura 7, apesar de seu design atraente, possui uma desvantagem que é a orientação do painel estar necessariamente na mesma orientação da luminária, o que pode comprometer sua eficiência, ao contrário das outras opções em que o painel pode ser ajustado para maximizar a insolação que recebe.

Também existe a possibilidade de adotar um sistema híbrido para geração, acoplando um pequeno gerador eólico junto ao painel, expandindo sua produção de energia. Além de serem mais confiáveis, sistemas híbridos possuem um bom custo-benefício em relação aos sistemas com apenas um tipo de geração (REINDERS; et al., 2017). Outra maneira de adotar um sistema híbrido junto aos painéis solares é o uso de células de combustível e de baterias para o fornecimento de energia, como demonstrado por Becherif et al. (2010) em sua pesquisa.

O maior, mais ambicioso e, infelizmente, fracassado projeto no Brasil para iluminação pública utilizando postes solares está localizado na Rodovia Raphael de Almeida Magalhães, conhecida popularmente como Arco Metropolitano, na área metropolitana do Rio de Janeiro. A Rodovia possui um total de 4.310 postes solares ao longo de 72 km (LIMA; GOUVEIA, 2019). Porém, a obra está sendo investigada pela Polícia Federal devido à suspeitas de superfaturamento e, devido a falta de segurança e

mau policiamento, baterias, lâmpadas e painéis solares de centenas de postes foram roubados e depredados.

A incompetência do governo do Rio de Janeiro e do consórcio responsável pela rodovia, que realizaram um mal planejamento e projeto, causaram mais um escândalo de corrupção no país. Por outro lado, o fracasso do projeto serviu para demonstrar que sistemas descentralizados, além de possuírem uma manutenção mais laboriosa, também estão suscetíveis a criminalidade.

Figura 8 - Arco Metropolitano do Rio de Janeiro



Fonte: Extra

O sombreamento é um dos inimigos da geração solar fotovoltaica, pois ao reduzir a incidência de luz solar direta no painel, se reduz também a sua eficiência. Uma solução seria instalar os painéis acima da altura das edificações ou dos objetos que estejam causando o sombreamento.

Um projeto realizado no centro da cidade de Kâbul, capital do Afeganistão, pelo governo afegão em parceria com o corpo de engenheiros do exército americano (USACE), levou a instalação de centenas de postes solares para iluminação das ruas da cidade, mas com uma peculiaridade: a altura dos painéis fotovoltaicos. Eles foram instalados muito acima das luminárias para evitar o sombreamento causados pelas árvores existentes.

No entanto, nem sempre é possível evitar o sombreamento, como ocorre no parque nacional Košutnjak em Belgrado, na Sérvia, que conta com 59 painéis solares conectados entre si em forma de anel, de modo que os pilares com maior geração de energia

compensem a menor eficiência de outros painéis. É um sistema interligado de postes, porém isolado da rede. Desse modo, o gerenciamento do sistema de iluminação é mais fácil (PAVLOVIC, 2020).

Mesmo assim, nem sempre é possível utilizar esse sistema, principalmente em áreas urbanas altamente adensadas e com um gabarito das edificações muito elevado. “A disponibilidade de radiação solar no ambiente urbano é determinada em grande parte pela morfologia urbana” (GIROTTI, 2019, p. 45). É recomendado realizar um estudo morfológico de cada área urbana separadamente para poder analisar o impacto do sombreamento na eficiência do painel, antes de se realizar o projeto e instalação.

As características dos painéis fotovoltaicos em sistemas *off-grid* permitem que eles ajudem a levar energia elétrica para locais remotos e comunidades carentes e isoladas. A variedade de aplicações é extraordinária. (FTHENAKIS; LYNN, 2018, p. 211). A adoção dessa tecnologia para a iluminação proporciona a vantagem de fornecer iluminação pública em regiões desprovidas de rede elétrica ou carentes de infraestrutura, e de forma sustentável (REINDERS; et al., 2017).

Antes de determinar qual tipo e potência do painel a ser utilizado, deve-se primeiro analisar o local em que o poste de iluminação será instalado, para então definir o tipo e a potência da luminária a ser empregada no lugar, só então pode-se determinar com precisão quanta energia deve ser gerada pelo painel fotovoltaico para atender a energia demandada pela luminária. Essa quantidade depende de vários fatores, como por exemplo: o tamanho do painel, seus materiais, sua eficiência e a quantidade de luz solar incidindo sobre o painel (que é variável dependendo da localização, estações e clima local) (THE GERMAN ENERGY SOCIETY, 2008; FTHENAKIS; LYNN, 2018). A eficiência de um painel está diretamente ligada a sua qualidade e a seus materiais, ela é representada por Watts/hora por m², e indica a porcentagem de energia do sol transformada em energia elétrica pelo painel. No Brasil existem várias empresas que comercializam postes e luminárias solares de diferentes tipos e tamanhos, sendo a maioria de modelo *off grid*. Entre elas pode-se citar: NeoSolar, EcoSoli, Solaris, Aldo, Fotovolt, LightSolar e etc. A imagem a seguir ilustra os postes com painéis fotovoltaicos instalados pela empresa Alper na raia Olímpica da USP, em São Paulo. Segundo o PROCEL, foram instalados 216 postes solares por uma extensão de 2 km.

Figura 9 - Postes de iluminação com painéis fotovoltaicos - Raia Olímpica da USP



Fonte: Marcos Santos/USP Imagens

As maiores produtoras mundiais de painéis solares como: Jinko Solar, Trina Solar, Canadian Solar, JA Solar e Hanwha Q-Cells estão presentes no Brasil, diretamente ou através de revendedores. A Canadian Solar possui até mesmo uma fábrica localizada na cidade de Sorocaba, sendo ela a maior fábrica de painéis do país. Todavia, das empresas citadas, somente a Trina Solar comercializa luminárias com painéis fotovoltaicos integrados, e somente na China. O foco das maiores empresas é justamente fabricar e vender painéis fotovoltaicos e não seus subprodutos, como é o caso dos postes de iluminação com painéis fotovoltaicos integrados.

A combinação de lâmpadas de LED e de painéis fotovoltaicos é o que transforma os postes solares em um produto confiável, sustentável e de baixo consumo de energia, e também são os dois itens que mais impactam seu preço. Contudo, o preço de ambos os produtos vem caindo nas últimas décadas e como a vida útil de um painel solar, que é o item mais caro, gira em torno de 25 anos, torna viável a implantação dessa tecnologia, cujo retorno do investimento é visível a longo prazo. Segundo a ABSOLAR, entre 2010 e 2020, a média global de investimento necessário por kW solar instalado caiu 74%, o que tem levado a geração renovável a um patamar de paridade frente aos meios de geração que utilizam combustíveis fósseis.

O outro componente do produto que encarece seu custo é a bateria, que possui uma vida útil menor do que os outros dois itens. Baterias de chumbo ácido e as de níquel-cádmio são as mais comuns no mercado, porém baterias de íon-lítio se apresentam como uma opção ideal para ser utilizada em sistemas fotovoltaicos *off grid*, com o único

obstáculo sendo o seu alto custo. Do ponto de vista econômico, as baterias de chumbo ácido continuam a serem as melhores alternativas (FTHENAKIS; LYNN, 2018; REINDERS; et al., 2017).

Tendo isso em vista, os postes solares se apresentam como uma tecnologia mais custosa do que postes de iluminação comuns, entretanto, por não dependerem da rede elétrica para seu abastecimento, não há gastos com energia e, logo, é possível observar o retorno financeiro do investimento em alguns anos.

Como forma de dimensionar corretamente os sistemas fotovoltaicos existe uma série de softwares desenvolvidos para facilitar os cálculos (PAVLOVIC, 2020). O *SunData* é uma dessas ferramentas, ela foi criada pelo Centro de Referências para a Energia Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB) e funciona utilizando dados de estações climáticas baseado na latitude e na longitude da localização do sistema fotovoltaico que será instalado. Com isso é possível determinar o melhor ângulo para instalação dos painéis, de modo a maximizar sua eficiência.

Além desse software, também existem vários outros programas capazes de realizar simulações para facilitar o dimensionamento e a instalação de sistemas fotovoltaicos, entre eles podemos citar: *RETScreen*, *PV F-Chart*, *SolarDesignTool*, *INSEL*, *TRNSYS*, *NREL's Solar Advisor Model*, *ESP-r 11.5* e etc. (PAVLOVIC, 2020). O Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) é outro desses softwares e muito utilizado na Europa. Ele foi desenvolvido pela união europeia e possui uma própria base de dados avançada e confiável.

A utilização de ferramentas paramétricas para análise da irradiação solar em diversas áreas diferentes de uma cidade é um método moderno e eficiente. Utilizando softwares de modelagem tridimensional aliados a programas capazes de realizar simulações de eficiência para geração de energia, é possível determinar quais as regiões urbanas possuem o maior e o menor potencial de geração de energia solar fotovoltaica, baseado na morfologia (GIROTTI, 2019). Para a instalação de postes solares para iluminação viária de uma cidade, a modelagem paramétrica e a simulação de geração de energia facilitam consideravelmente a análise de quais as vias mais propícias para receber esse sistema, e quais as regiões que enfrentariam dificuldades para gerar energia suficiente.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação de tecnologias voltadas à produção de energia renovável, como a energia solar fotovoltaica, desempenha um papel crucial na reversão do fenômeno do aquecimento global que o mundo enfrenta atualmente. Além disso, contribuem significativamente para diminuir a emissão de GEE, os quais têm grande responsabilidade pelas mudanças climáticas em nosso planeta e o aumento da temperatura média global. O Brasil possui um grande potencial para o desenvolvimento da geração de energia por meio fotovoltaico, porém devido a más políticas públicas, falta de incentivos e de financiamentos e altos tributos, o crescimento do mercado fotovoltaico é menor do que de outros países, mesmo possuindo tanto potencial para geração.

O sistema de distribuição de energia brasileiro é gigantesco e percorre milhares de quilômetros conectando todo o país, e as perdas de energia devido as grandes distâncias entre as usinas de geração de energia e os principais polos consumidores também é enorme. A geração elétrica descentralizada é uma alternativa que pode contribuir para a redução dessa perda de energia, e a utilização de painéis fotovoltaicos é ideal devido ao seu tamanho e ao seu modo de funcionamento, que dispensa o uso de água e não emite gases e nem ruídos.

A iluminação pública das vias urbanas é um dos grandes consumidores de energia nas grandes cidades, e a sua utilização é imprescindível para garantir a segurança nas vias a noite. Portanto, a aplicação de painéis fotovoltaicos em postes de iluminação pública se apresenta como uma alternativa viável e sustentável, principalmente se a tecnologia fotovoltaica for utilizada em conjunto com lâmpadas de LED, mais econômicas e eficientes.

Já existem no país algumas empresas brasileiras que fabricam ou revendem esse tipo de produto, porém a disponibilidade é limitada. Há espaço para o crescimento desse mercado e também nos tipos de produtos que podem ser comercializados, pois a tecnologia permite que exista uma grande quantidade de diferentes designs que podem ser adotados pelos postes solares.

O uso de ferramentas para a simulação solar e parametrização para auxiliar na análise morfológica de determinadas áreas urbanas, maximizando o potencial de geração solar, se torna indispensável para determinar quais as melhores regiões para instalação

dos postes solares, e em quais a altura das edificações ao redor ou outros obstáculos limitem a sua eficiência.

As más políticas públicas, a falta de programas de incentivo, o atraso em normas e legislações e os altos impostos atrapalham tanto o desenvolvimento do mercado fotovoltaico no país como também a geração elétrica distribuída. A oposição do governo e de grandes empresas de geração de energia impedem o progresso e dificultam a concorrência e o desenvolvimento sustentável.

6. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Geração Distribuída**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>. Acesso em: 29 jul. 2019.

_____. **Programa de Eficiência Energética**. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/programa-eficiencia-energetica>. Acesso em: 23 jun. 2020.

_____. **Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica**. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/programa-de-p-d>. Acesso em: 23 jun. 2020.

AL-WAELI, Ali et al. **Photovoltaic/Thermal (PV/T) Systems: principles, design, and applications**. 1. ed. Cham: Springer Nature. 2019.

ALMEIDA, Guilherme de. Poluição luminosa: o desperdício inútil de recursos energéticos. **Revista APAA**, Lisboa, v.1, n. 34, p. 01-07. Maio/Ago. 2008. Disponível em: <http://apaa.co.pt/Rev34/Rev34.pdf>. Acesso em 07 dez. 2019.

ANGEL, Diana Maritza Segura. **Estudo comparativo entre sistemas de iluminação LED e lâmpadas fluorescentes compactas para uso em sistemas de geração fotovoltaica**. 2014. 153f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) - Universidade Federal do ABC, Santo André, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **Crescimento da Energia Solar como Forma de Descarbonizar a Matriz Elétrica do Brasil**. Disponível em: <http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/crescimento-da-energia-solar-como-forma-de-descarbonizar-a-matriz-eletrica-do-brasil.html>. Acesso em: 21 maio 2020.

_____. **Infográfico**. Disponível em: <http://www.absolar.org.br/infografico-absolar.html>. Acesso 08 maio 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16149**: Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. **ABNT NBR 16150**: Sistemas fotovoltaicos (FV) — Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição — Procedimento de ensaio de conformidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

BARGHINI, Alessandro. **Antes que os vaga-lumes desapareçam ou influência da iluminação artificial sobre o ambiente**. 1 ed. São Paulo: Annablume; Fapesp, 2010.

BECHERIF, Mohamed et al. Hybridization of fuel cell, solar panel and batteries on the DC link for street lighting application. **IECON 2010 - 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society**. Glendale, p. 2795-2802, 2010.

DE MELO, Maicol Flores. **Sistema de geração distribuída de energia fotovoltaica integrado a um sistema de iluminação pública à base de leds**. 2014. 145f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário estatístico de energia elétrica 2020**. Rio de Janeiro: 2020.

FARR, Douglas. **Urbanismo sustentável**. 1 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

FTHENAKIS, Vasilis; LYNN, Paul. **Electricity from sunlight: photovoltaic-systems integration and sustainability**. 2. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2018.

GEHL, Jan. **Cidade para pessoas**. 2. ed. São Paulo: Perspectiva, 2014.

GIROTTI, Carolina. **Modelagem dos parâmetros da forma urbana para maximização de geração de energia solar fotovoltaica no ambiente urbano em adensamento e verticalização**: estudo de caso do Belenzinho, em São Paulo. 2019. 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

HINRICHS, Roger; KLEINBACH, Merlin. **Energy: Its Use and the Environment**. 5. ed. Boston: Brooks/Cole. 2013.

INSTITUT OF ENERGY CONSERVATION. **History**. Disponível em: <https://iec.udel.edu/about/history/>. Acesso em: 25 jul. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2 ed. São José dos Campos: 2017.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global Energy Review 2020**. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020>. Acesso em: 11 maio 2020.

_____. **Photovoltaic Power Systems Programme: snapshot of global photovoltaic markets**. [S.l.]: 2020.

_____. **Lighting**. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/lighting>. Acesso em: 06 abril 2021.

LIMA, Leandro Campos; GOUVEIA, Lucas de Souza. **Iluminação pública: história, tecnologias e aplicações**. 2019. 96f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

MASCARÓ, Lucia et al. **A iluminação do espaço urbano**. 1. ed. Porto Alegre: Masquatro, 2006.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Agenda 21 Global**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global>. Acesso em: 25 jul. 2019.

_____. **Efeito Estufa e Aquecimento Global**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/informma/item/195-efeito-estufa-e-aquecimento-global>. Acesso em: 23 jul. 2019.

_____. **Protocolo de Quioto**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quioto.html>. Acessado em: 25 jul. 2019.

NAKABAYASHI, Renny Kunizo. **Microgeração fotovoltaica no brasil: condições atuais e perspectivas futuras**. 2014. 96f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

PAVLOVIC, Tomislav et al. **The Sun and Photovoltaic Technologies**. 1. ed. Cham: Springer Nature. 2020.

PORTAL SOLAR. **Dados do Mercado de Energia Solar no Brasil**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/mercado-de-energia-solar-no-brasil.html>. Acesso em: 11 maio 2020.

_____. **Lista de empresas de energia solar fotovoltaica.** Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/fornecedores/empresas-de-energia-solar/>. Acesso em: 18 maio 2020.

_____. **Painel Solar: Preços e Custos de Instalação.** Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/quanto-custa-a-energia-solar-fotovoltaica.html>. Acesso em: 29 jul. 2019.

PROCEL INFO. **USP aposta em iluminação com energia solar em raia olímpica.** Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?ViewID=%7BF5EAADD6-CCB0-4E29-A0C4-482D3D66BB65%7D¶ms=itemID=%7B098EEF36-20DE-4B79-B89C-C9AF82B5A984%7D;&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898%7D>. Acesso em: 27 set. 2020.

REINDERS, Angèle et al. **Photovoltaic Solar Energy: from fundamentals to applications.** 1. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2017.

THE GERMAN ENERGY SOCIETY. **Planning and Installing Photovoltaic Systems: a guide for installers, architects and engineers.** 2. ed. Londres: Earthscan. 2008.

WORLD WIDE FUND FOR NATURE - BRASIL. **Desafios e Oportunidades para a energia solar fotovoltaica no Brasil: recomendações para políticas públicas.** Brasília: 2015.

_____. **Potencial da Energia Solar Fotovoltaica de Brasília.** Brasília: 2016.