

CICLOVIA SOLAR COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL: ESTUDO DE IMPLANTAÇÃO DE PAVIMENTOS FOTOVOLTAICOS NA LAGOA DAS BATEIAS EM VITÓRIA DA CONQUISTA-BA

Lorena Santos Souza¹

Fernando Salgado Bernardino²

Philipe do Prado Santos³

RESUMO: O presente estudo investiga o potencial de implantação e a eficiência energética de pavimentos fotovoltaicos na ciclovia da Lagoa das Bateias, em Vitória da Conquista – BA, como alternativa sustentável para o abastecimento da iluminação pública. Com abordagem qualitativa e caráter exploratório, a pesquisa envolveu revisão bibliográfica, análise documental e levantamento de campo, considerando aspectos estruturais, ambientais e energéticos da proposta. Os resultados demonstram que, utilizando módulos monocristalinos de 470 Wp, a geração pode atingir até 7.572,8 kWh por dia, superando amplamente a demanda energética dos 70 postes instalados na área, assegurando autossuficiência mesmo em períodos de baixa irradiação solar. A aplicação dessa tecnologia reforça o compromisso com a eficiência energética e a sustentabilidade urbana, integrando mobilidade ativa, inovação e geração de energia limpa. O estudo evidencia, ainda, a importância de políticas públicas e incentivos à adoção de pavimentos solares em espaços públicos, consolidando um modelo de cidade mais inteligente, resiliente e ambientalmente responsável.

Palavras-chave: Energias renováveis. Infraestrutura sustentável. Tecnologias urbanas. Cidades inteligentes. Iluminação pública sustentável.

3095

ABSTRACT: This study investigates the potential for implementation and energy efficiency of photovoltaic pavements on the Lagoa das Bateias bike path in Vitória da Conquista, Bahia, as a sustainable alternative for supplying public lighting. Using a qualitative and exploratory approach, the research involved a literature review, document analysis, and field survey, considering the structural, environmental, and energy aspects of the proposal. The results demonstrate that, using 470 Wp monocrystalline modules, generation can reach up to 7,572.8 kWh per day, far exceeding the energy demand of the 70 streetlights installed in the area, ensuring self-sufficiency even during periods of low solar radiation. The application of this technology reinforces the commitment to energy efficiency and urban sustainability, integrating active mobility, innovation, and clean energy generation. The study also highlights the importance of public policies and incentives for the adoption of solar pavements in public spaces, consolidating a model for a smarter, more resilient, and environmentally responsible city.

Keywords: Renewable energy. Sustainable infrastructure. Urban technologies. Smart cities. Sustainable public lighting.

¹Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade Independente do Nordeste (FAINOR).

²Orientador, Arquiteto e Urbanista, D.S. Faculdade Independente do Nordeste – FAINOR. Docente do curso de Arquitetura e Urbanismo, Faculdade Independente do Nordeste (FAINOR).

³Coorientador. MBA em Gestão de Obras na Construção Civil pela AVM Faculdade Integrada (2016). Bacharel em Engenharia Civil (2014) e em Administração (2015) pela Faculdade de Tecnologia e Ciências (FTC), Vitória da Conquista, Bacharel em Arquitetura e Urbanismo pela Faculdade Independente do Nordeste (FAINOR, Licenciado em Pedagogia pela Faculdade UniBF (2023), Docente dos cursos de Arquitetura e Urbanismo e Engenharia Civil, Faculdade Independente do Nordeste (FAINOR).

I INTRODUÇÃO

A crescente demanda por soluções energéticas sustentáveis impulsiona o desenvolvimento de tecnologias inovadoras no setor da infraestrutura urbana. Diante disso, a busca por alternativas que reduzam a dependência de fontes fósseis e minimizem os impactos ambientais tem levado à criação de sistemas mais eficientes e integrados. A aplicação de materiais avançados, o uso de fontes renováveis e a digitalização dos processos energéticos são algumas das estratégias adotadas para tornar as cidades mais resilientes e inteligentes. Entre essas inovações, os pavimentos fotovoltaicos para calçadas e ciclovias surgem como uma alternativa promissora para a geração descentralizada de energia elétrica, aproveitando espaços urbanos já existentes (Carvalho, 2023).

A implementação desse tipo de pavimento apresenta benefícios significativos, tanto para o meio ambiente quanto para a mobilidade urbana. Ao integrar geração de energia e infraestrutura de transporte ativo, esses sistemas promovem uma maior eficácia no uso da energia e incentivam o uso de modais sustentáveis, como a bicicleta e a locomoção a pé. Além disso, estudos indicam que a aplicação dos pavimentos fotovoltaicos pode aumentar a segurança e o conforto dos usuários, por meio de sistemas de iluminação autossuficientes e sensores inteligentes (Didoné *et. al.*, 2017).

3096

A tecnologia fotovoltaica é especialmente vantajosa devido à instalação rápida, à durabilidade dos equipamentos e ao retorno financeiro a médio e longo prazo. A adoção dessa tecnologia busca melhorar a viabilidade econômica e aumentar a eficiência na conversão de energia. Empresas que adotam esse modelo visam reduzir custos operacionais, ao mesmo tempo em que contribuem para a sustentabilidade e oferecem uma melhor experiência para os clientes (Wald, 2009).

Apesar disso, desafios técnicos ainda precisam ser superados para viabilizar a adoção em larga escala desses pavimentos. A durabilidade dos módulos fotovoltaicos sob cargas mecânicas constantes, como o fluxo de pedestres e ciclistas, e a resistência a condições climáticas adversas são aspectos que demandam aprimoramento. Pesquisas indicam que o uso de materiais compostos e técnicas inovadoras podem garantir maior eficiência e vida útil para essa tecnologia (Bastian, 2023).

Essa necessidade de aprimoramento ganha relevância diante do crescimento populacional e do aumento do consumo energético, que evidenciam a limitação dos combustíveis fósseis e seus impactos ambientais. Nesse cenário, a energia solar fotovoltaica se

apresenta como alternativa estratégica, e a aplicação em pavimentos de ciclovias configura uma solução promissora ao integrar mobilidade urbana, inovação tecnológica e geração de energia limpa, contribuindo para maior eficiência energética nas cidades (Braga, 2008).

Nesse sentido, a Lagoa das Bateias, se apresenta como um local com uso potencial desta tecnologia. É um dos principais espaços públicos de Vitória da Conquista, que atualmente passa por um processo de revitalização e vem atraindo diariamente usuários em busca de lazer e prática esportiva. No entanto, sua infraestrutura ainda pode ser aprimorada para alinhar-se às diretrizes contemporâneas de sustentabilidade e inovação tecnológica, por meio da geração de energia limpa e da modernização do espaço urbano, promovendo mobilidade autossustentável e mais eficiente.

Assim, a implantação de pavimentos fotovoltaicos na Lagoa das Bateias pode transformar o local em um modelo de infraestrutura sustentável na Bahia, capaz de atrair investimentos, impulsionar projetos acadêmicos e turísticos, além de contribuir significativamente para a conscientização da população acerca da importância das energias renováveis e da sustentabilidade no contexto urbano.

O presente trabalho tem como finalidade analisar as potencialidades e desafios da implementação de pavimentos fotovoltaicos na Lagoa das Bateias, em Vitória da Conquista – BA, investigando sua aplicabilidade estrutural e energética. A pesquisa busca compreender de que forma essa tecnologia pode ser integrada ao planejamento urbano, contribuindo para a modernização da infraestrutura pública trazendo um modelo urbano mais sustentável. Nesse sentido, o estudo pretende analisar o potencial da energia solar, as principais tecnologias disponíveis, seus desafios e oportunidades no cenário global e nacional, além de investigar os impactos da eficiência energética na otimização do abastecimento urbano.

Além disso, o trabalho avalia as possibilidades de integração funcional dos pavimentos fotovoltaicos com a infraestrutura de mobilidade urbana e os sistemas de iluminação pública, bem como a durabilidade estrutural dos materiais frente às condições climáticas e ao tráfego de pedestres e ciclistas. Por fim, busca-se propor recomendações para a aplicação dessa tecnologia no planejamento urbano da Lagoa das Bateias, considerando sua capacidade de fomentar a mobilidade ativa, gerar energia renovável e fortalecer as práticas sustentáveis no espaço público de Vitória da Conquista.

2 METODOLOGIA

Esta pesquisa adota uma abordagem qualitativa, com caráter exploratório, tendo como objetivo analisar o estudo de implantação de pavimentos fotovoltaicos como alternativa sustentável para a ciclovia da Lagoa das Bateias, localizada em Vitória da Conquista – BA. Dessa forma, essa abordagem se adequa ao objetivo do estudo, que busca examinar e detalhar as condições necessárias para estudo desta implantação de pavimentos fotovoltaicos.

Como ponto de partida, foi realizado um levantamento bibliográfico para reunir os fundamentos teóricos e estudos anteriores sobre energias renováveis, tecnologias aplicadas ao espaço urbano, pavimentação sustentável e ciclovia solar. A pesquisa bibliográfica baseou-se na análise de materiais já publicados, como livros, artigos científicos e fontes digitais, sendo fundamental para a construção do referencial teórico deste estudo. Esse método é frequentemente utilizado para permitir a fundamentação teórica da pesquisa, fornecendo uma base sólida para a argumentação e desenvolvimento da proposta (Lakatos; Marconi, 2003).

Na sequência, foi realizada uma análise documental focada nas legislações urbanísticas e ambientais que regulamentam o município de Vitória da Conquista. Foram considerados documentos como o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU), o Código de Obras, bem como normas técnicas relacionadas, como a NBR 9050/2020, para acessibilidade. A análise desses documentos visa assegurar que a proposta esteja alinhada com as exigências normativas e ambientais locais.

3098

Em seguida, foi conduzido um estudo de campo, com visitas técnicas e registros fotográficos, para observar as condições físicas e funcionais do local. Esta etapa permitiu identificar aspectos como a rotina de uso do espaço, a infraestrutura disponível, eventuais limitações e as oportunidades para a implementação da tecnologia fotovoltaica. O estudo de campo é fundamental para enriquecer a pesquisa, proporcionando um contato direto com a realidade, o que possibilita uma compreensão mais profunda do contexto investigado (Gil, 2002).

Com as informações obtidas, foi realizada uma análise das condições técnicas e necessárias para a adaptação do sistema fotovoltaico na ciclovia. Essa análise envolveu a verificação de fatores como a incidência solar, as características do terreno, a resistência dos materiais e os custos envolvidos. Foram comparadas experiências similares em outros locais, o que ajudaram a estabelecer os parâmetros mais adequados para a proposta. A análise comparativa desempenha um papel fundamental na fundamentação da tomada de decisões, pois

possibilita a avaliação de estudos e experiências anteriores, contribuindo para o desenvolvimento de soluções mais eficazes e adaptáveis. Além disso, essa abordagem permite examinar a aplicação de diferentes estratégias em variados contextos, possibilitando ajustes que atendam às especificidades locais (Lakatos; Marconi, 2003).

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo irá abordar o potencial da energia solar no Brasil e no mundo, destacando tecnologias, desafios e oportunidades; a integração dos pavimentos fotovoltaicos com a mobilidade urbana e a iluminação pública; a contribuição da eficiência energética para a sustentabilidade das cidades e os impactos do clima e do tráfego na durabilidade e no desempenho desses pavimentos.

3.1 O POTENCIAL DA ENERGIA SOLAR: TECNOLOGIAS E DESAFIOS E OPORTUNIDADES NO CONTEXTO GLOBAL E BRASILEIRO

Nas últimas décadas, o crescimento da população urbana e a demanda por fontes energéticas menos poluentes impulsionaram o avanço de tecnologias sustentáveis. A energia solar fotovoltaica tem se destacado nesse cenário como uma das principais alternativas à geração elétrica convencional, por ser limpa, silenciosa, modular e praticamente inesgotável. Essa fonte energética contribui para a redução dos gases de efeito estufa e está em consonância com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela ONU. No Brasil, o potencial solar é expressivo devido à alta taxa de irradiação solar, com médias que variam entre 4,5 e 6,5 kWh/m², mesmo nas regiões com menor incidência (Santos; Oliveira. 2020). Isso posiciona o país entre os mais promissores para a expansão da energia solar. Políticas públicas e incentivos econômicos, como o sistema de compensação de energia da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), também têm impulsionado o crescimento da geração distribuída.

3099

Além da vantagem ambiental, o aproveitamento da energia solar contribui para a independência energética de edifícios, espaços públicos e infraestruturas urbanas. No campo do urbanismo, isso permite a integração de sistemas solares em calçadas, praças, parques, estacionamentos e ciclovias, promovendo cidades mais inteligentes e resilientes (Manual de Engenharia Fotovoltaica, 2014).

Com a evolução dos sistemas fotovoltaicos, o aproveitamento da energia solar tornou-se cada vez mais eficiente, os módulos fotovoltaicos passaram por significativas melhorias em suas composições, com o surgimento de novas tecnologias como células monocristalinas de alta

pureza, módulos bifaciais e filmes finos que permitem maior absorção da luz, mesmo em situações de sombreamento parcial (Alves; Ferreira. 2016).

Essas inovações também favoreceram a redução dos custos de produção e instalação dos sistemas. Atualmente, o custo do watt-pico⁴ instalado tem diminuído ano após ano, tornando a energia solar mais acessível à população e aos governos municipais. Além disso, os sistemas modernos são duráveis, com vida útil média entre 25 e 30 anos, e requerem baixa manutenção. A digitalização dos sistemas por meio de sensores, inversores inteligentes e monitoramento remoto garante ainda mais confiabilidade. Essa integração com tecnologias da informação é fundamental para a implantação de infraestruturas urbanas que demandem controle em tempo real, como ciclovias solares e calçadas energizadas (Pinho; Galdino, 2014).

Os pavimentos fotovoltaicos representam uma inovação recente e promissora no campo da arquitetura e urbanismo sustentável. Esses sistemas consistem na aplicação de módulos solares em superfícies de circulação como ciclovias, calçadas, praças ou estacionamentos com a finalidade de transformar esses espaços em geradores de energia. Essa abordagem é vantajosa pois utiliza áreas já consolidadas, otimizando o uso do solo urbano e reduzindo o impacto ambiental associado à construção de novas estruturas (Guimarães, 2021). Esses pavimentos são desenvolvidos com materiais resistentes, capazes de suportar cargas mecânicas e variações térmicas, além de possuir superfícies antiderrapantes para segurança dos usuários. Contudo, os principais desafios enfrentados por essa tecnologia ainda estão ligados à durabilidade dos materiais frente ao uso constante, ao acúmulo de sujeira que pode reduzir a captação de luz, e ao alto custo inicial de implantação (Alves; Ferreira. 2016).

3100

A adoção de tecnologias solares no espaço urbano vai além da geração energética. Trata-se de uma estratégia que contribui diretamente para a construção de cidades mais sustentáveis, resilientes e adaptadas às necessidades contemporâneas. A integração da energia solar em mobiliários urbanos, pavimentos, abrigos de ônibus e ciclovias cria um ecossistema urbano energeticamente autossuficiente. Ao incorporar fontes de energia limpa às infraestruturas públicas, os municípios reduzem seus custos com iluminação pública, melhoram a segurança noturna com sistemas autônomos e estimulam a mobilidade ativa. Ciclovias solares, por exemplo, podem abastecer luminárias LED, semáforos, câmeras de monitoramento e até pontos de recarga para bicicletas elétricas (Santos; Oliveira. 2020).

⁴ Watt-pico (Wp) é uma unidade de medida de potência energética utilizada para caracterizar painéis solares fotovoltaicos.

3.2 CONTRIBUIÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA O ABASTECIMENTO URBANO E SUSTENTABILIDADE

A eficiência energética se apresenta como um dos pilares da sustentabilidade urbana, especialmente em contextos de expansão populacional e crescente demanda por energia. E tem como conceito dinâmico maximizar o efeito útil da energia consumida, reduzindo perdas e desperdícios, além de estar ligada à sustentabilidade na construção e operação de sistemas urbanos. Em edificações e infraestruturas urbanas, esse princípio se traduz na adoção de tecnologias que otimizam o consumo energético e promovem maior harmonia com o meio ambiente (Bombonato; Nogueira, 2014).

Nesse cenário, a aplicação de sistemas de geração distribuída, como os pavimentos fotovoltaicos, emerge como alternativa eficaz para diversificar a matriz energética urbana. O uso de energia solar fotovoltaica em edifícios públicos reduz significativamente o consumo energético da rede convencional, ao mesmo tempo em que promove a mitigação das emissões de gases de efeito estufa. A integração desses sistemas ao planejamento urbano, sobretudo em espaços públicos como ciclovias, parques e calçadas, potencializa os benefícios ambientais e sociais dessa tecnologia (Lima, 2019).

A eficiência energética está relacionada ao planejamento urbano, uma vez que elementos como a morfologia urbana, a orientação solar e a arborização influenciam o desempenho energético das edificações e equipamentos públicos. Assim, o conceito de cidade inteligente e sustentável passa necessariamente pela otimização do uso energético em todos os seus sistemas, desde iluminação pública até o abastecimento de equipamentos urbanos (Pedroso, 2017).

A estagnação da geração elétrica no Brasil torna indispensável o uso racional da energia disponível. Tecnologias de alto desempenho, como as luminárias LED alimentadas por painéis solares, são apontadas como soluções viáveis para reduzir os custos operacionais e ampliar a cobertura do serviço com menor impacto ambiental (Teixeira, 2012). O potencial da energia solar em estruturas de grande demanda energética, como aeroportos, demonstrando que a geração fotovoltaica pode atender parte significativa do consumo desses espaços, transformando-os em edifícios energeticamente neutros, e pode ser adaptada para espaços urbanos abertos, como ciclovias solares, que integram mobilidade sustentável, geração de energia limpa e eficiência operacional (Soares; Santos, 2019).

3.3 OPORTUNIDADES DE INTEGRAÇÃO DOS PAVIMENTOS FOTOVOLTAICOS COM A MOBILIDADE URBANA E ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A urbanização e os desafios ambientais que dela decorrem impõe às cidades a necessidade de buscar soluções sustentáveis para sua infraestrutura. Nesse contexto, os pavimentos fotovoltaicos surgem como uma alternativa inovadora que combina mobilidade urbana, geração de energia limpa e modernização dos espaços públicos. Estes pavimentos são capazes de converter energia solar em eletricidade por meio de células fotovoltaicas integradas ao piso, representam um avanço na forma como a infraestrutura urbana é concebida, deixando de ser apenas suporte físico para também exercer papel ativo na geração de energia. A aplicação de sistemas fotovoltaicos integrados em áreas urbanas é influenciada diretamente pela morfologia das cidades, o que torna imprescindível o estudo do contexto físico e espacial para garantir a viabilidade e a eficiência desses sistemas. A autora destaca que fatores como sombreamento, altura das edificações, densidade urbana e orientação solar são determinantes para a eficiência da captação da radiação solar e, por consequência, da geração energética. Essa análise reforça a importância de uma abordagem integrada entre urbanismo e engenharia, especialmente quando se pretende aliar infraestrutura urbana à produção de energia renovável (Bastian, 2023).

Os pavimentos solares podem ser aplicados com sucesso em ecovias e ciclovias, desde que acompanhados por sistemas eficientes de armazenamento e conversão de energia. A iluminação pública pode ser plenamente abastecida por esses sistemas, mesmo em locais remotos ou desconectados da rede elétrica tradicional, desde que dimensionados corretamente. No entanto, o custo inicial elevado é um dos principais entraves à adoção em larga escala, embora os benefícios ambientais e sociais sejam significativos (Gonçalves, 2018).

3102

A integração de pavimentos fotovoltaicos com sistemas de iluminação pública é uma estratégia eficaz para promover a economia energética, reduzir emissões de carbono e aumentar a segurança urbana. A iluminação pública é uma das maiores demandas de energia nas cidades e, muitas vezes, ainda depende de tecnologias obsoletas e ineficientes. Ao substituir lâmpadas de vapor por luminárias LED alimentadas por energia solar, é possível obter reduções expressivas nos custos de operação e manutenção, além de ampliar a autonomia energética dos sistemas urbanos (Castro Júnior, 2018).

A utilização de painéis solares em postes de iluminação ou em estruturas de suporte como calçadas e ciclovias não apenas garante o abastecimento energético local, mas também facilita a implementação de sistemas inteligentes, como sensores de presença e monitoramento remoto. Esses avanços se alinham à tendência global de cidades inteligentes, em que a infraestrutura urbana desempenha múltiplas funções e contribui ativamente para a sustentabilidade e a eficiência operacional. De acordo com essa abordagem tecnológica, destaca a importância da tecnologia LED, que oferece maior durabilidade e menor consumo energético. O uso de sistemas fotovoltaicos off-grid é particularmente

adequado para áreas urbanas com pouca cobertura de rede elétrica, como parques, praças e vias alternativas, essa sinergia entre mobilidade ativa e geração energética transforma os espaços públicos em plataformas multifuncionais e sustentáveis (Lima, 2022).

Além dos ganhos energéticos, a aplicação dos pavimentos solares em ciclovias contribui significativamente para a promoção da mobilidade urbana sustentável, as ciclovias fotovoltaicas são uma resposta inovadora à necessidade de ampliar a infraestrutura cicloviária de forma autossuficiente e ambientalmente consciente. A energia gerada por essas ciclovias pode alimentar postes de iluminação, carregadores de bicicletas elétricas e sensores de segurança. Além disso, pesquisas apontam que a implementação dessas tecnologias pode impulsionar o turismo sustentável, promover a educação ambiental e estimular o uso da bicicleta como meio de transporte regular. Tais benefícios ampliam o impacto positivo da proposta, consolidando os pavimentos fotovoltaicos como solução eficaz para problemas urbanos contemporâneos (Cotta; Salvi, 2019).

O potencial de integração desses pavimentos com tecnologias de cidades inteligentes é outro aspecto relevante. Sistemas de monitoramento de tráfego, sinalização inteligente e conectividade urbana podem ser alimentados diretamente pela energia gerada localmente, promovendo a descentralização energética e aumentando a autonomia dos equipamentos urbanos. O avanço da iluminação conectada com controle de intensidade luminosa e monitoramento em tempo real, é uma tendência nas cidades brasileiras, sendo perfeitamente compatível com fontes renováveis como a solar (PPP de Iluminação Pública de Ribeirão Preto, 2022).

3103

A adoção de tecnologias fotovoltaicas em áreas públicas pode transformar um espaço urbano em laboratório de inovação, ampliando o engajamento comunitário e atraindo investimentos acadêmicos e institucionais. A inserção dos pavimentos solares neste contexto deve considerar a legislação urbanística vigente, a estrutura de iluminação atual e as diretrizes do Plano Diretor (Bastian, 2023). Além disso, a escolha dos materiais deve priorizar resistência, segurança e desempenho energético adequado para suportar o tráfego de pedestres e ciclistas (Lima, 2022). Dessa forma, a integração entre pavimentos fotovoltaicos, mobilidade ativa e iluminação pública se apresenta como uma estratégia resistente para a construção de cidades mais sustentáveis (Gonçalves, 2018).

3.4 IMPACTOS CLIMÁTICOS E TRÁFEGOS URBANOS NA DURABILIDADE E DESEMPENHOS DOS PAVIMENTOS FOTOVOLTAICOS

A durabilidade e o desempenho dos pavimentos fotovoltaicos vêm sendo cada vez mais debatidos diante dos desafios impostos pelas variações climáticas e pela intensidade do tráfego urbano. No contexto das rodovias inteligentes, os pavimentos geradores de energia são promissores em termos de sustentabilidade, mas sua exposição contínua à radiação solar, chuvas, variações térmicas e ações mecânicas geradas pelo tráfego pesado tende a comprometer sua vida útil. Esses fatores exigem que os

materiais utilizados nesses sistemas apresentam alta resistência física e estabilidade química, além de possibilitarem manutenções periódicas eficientes para manter sua funcionalidade ao longo do tempo (Marchi et. al., 2018).

A energia solar captada por módulos integrados ao pavimento depende não apenas da tecnologia empregada, mas também das condições ambientais. A eficiência de geração dos sistemas fotovoltaicos pode ser prejudicada por fatores como acúmulo de poeira, sombreamento por edificações e alterações no ângulo de incidência da luz solar, especialmente em centros urbanos densos. Isso significa que o desempenho energético ideal é difícil de alcançar em ambientes onde os ciclos climáticos e as interferências físicas são instáveis, o que torna essencial a adoção de medidas que garantam o desempenho mínimo exigido para justificar o investimento inicial desses sistemas (Melo, 2014).

Além do clima, o tráfego urbano exerce influência diretamente sobre a integridade dos pavimentos fotovoltaicos. Em estudo sobre geração de energia nos pavimentos rodoviários, o tráfego intenso, especialmente de veículos pesados, pode acelerar o desgaste das superfícies geradoras de energia e pode causar fissuras e deslocamentos nas camadas estruturais. Esses danos comprometem tanto a estrutura física quanto a eficiência na conversão da energia, exigindo que esses pavimentos sejam projetados com tecnologias que absorvem impactos e vibrações sem comprometer o funcionamento das células fotovoltaicas (Cravo, 2014).

A escolha dos materiais utilizados na composição dos módulos fotovoltaicos aplicados aos pavimentos exige que os vidros sejam resistentes à abrasão, ao impacto e à variação térmica, além de serem antiderrapantes e autolimpantes, que reduzem o acúmulo de sujeira e aumentam a segurança dos usuários. No entanto, a manutenção constante ainda se mostra um desafio, especialmente em regiões com elevado índice pluviométrico ou com presença de partículas em suspensão no ar (Cravo, 2014).

A adoção em larga escala de pavimentos fotovoltaicos demanda políticas públicas eficazes e incentivos fiscais. A resolução normativa da ANEEL que regulamenta a microgeração e minigeração de energia foi um passo importante para a democratização das energias renováveis no Brasil. No entanto, ainda é necessário fomentar a pesquisa científica e a produção nacional de componentes para tornar o sistema mais acessível economicamente. Além disso, é essencial considerar o descarte e a reciclagem dos painéis ao final de sua vida útil, evitando impactos ambientais negativos que contrariem o propósito sustentável desses sistemas (Melo, 2014).

Torna-se evidente que a durabilidade e o desempenho dos pavimentos fotovoltaicos são profundamente condicionados pela interação entre fatores climáticos e o tráfego urbano. A adaptação desses sistemas às realidades das cidades brasileiras exige não apenas inovações tecnológicas constantes, mas também planejamento urbano sensível às condições ambientais e operacionais locais. A viabilidade desses sistemas depende de soluções integradas que envolvam materiais resistentes, engenharia de

precisão e políticas públicas voltadas à manutenção preventiva e à ampliação da infraestrutura energética urbana de forma sustentável (Marchi et. al., 2018; Melo, 2014; Cravo, 2014)

3.5 PAVIMENTO FOTOVOLTAICO DE VIDRO TEMPERADO/LAMINADO ENCAPSULADA PARA APLICAÇÕES EM INFRAESTRUTURA URBANA

A crescente demanda por fontes renováveis tem intensificado as pesquisas em módulos fotovoltaicos, buscando maior durabilidade e eficiência. Esses módulos são compostos por células solares encapsuladas, cujo revestimento garante proteção contra radiação ultravioleta, umidade, impactos e variações térmicas, além de otimizar a transmitância de luz e a conversão de energia. A cobertura frontal é geralmente de vidro com baixo teor de ferro, que assegura transparência e resistência, enquanto a posterior pode ser de vidro, filmes poliméricos ou chapas metálicas, escolhidos de acordo com a tecnologia e a aplicação, com expectativa de vida útil de até 30 anos (Júnior, 2008).

O silício é o semicondutor predominante na fabricação de células solares, devido à sua abundância e às propriedades químicas e eletrônicas favoráveis. Células de silício monocristalino podem alcançar eficiências superiores a 20%, enquanto as multicristalinas variam entre 15% e 18%, oferecendo equilíbrio entre custo e desempenho. Responsável por mais de 90% do mercado fotovoltaico, o silício continua sendo alvo de estudos voltados ao aumento da eficiência e à redução dos custos, consolidando seu papel estratégico no avanço das energias renováveis (Júnior, 2008).

3105

Essas alternativas apresentam vantagens relacionadas ao menor consumo de matéria-prima, flexibilidade de aplicação e possibilidade de redução de custos produtivos. Contudo, ainda enfrentam limitações significativas no que se refere à durabilidade e à estabilidade em longo prazo. A aplicação da análise do ciclo de vida demonstra que, apesar do potencial de inovação, os módulos de silício cristalino continuam sendo os mais confiáveis e predominam no mercado global, representando cerca de 95% da produção mundial (Góes, 2021).

No contexto de uma ciclovia solar, destinada ao abastecimento de postes de iluminação pública, deve-se considerar a eficiência energética, o que favorece o uso de módulos de silício monocristalino, capazes de gerar mais energia em menor espaço. Contudo, em locais com extensas áreas de instalação e alta radiação solar, os módulos policristalinos surgem como alternativa viável, equilibrando custo e rendimento. Já os módulos de silício amorfo não são recomendados para este tipo de projeto, devido à baixa eficiência que demandaria maior área instalada (Costa, 2020).

Assim, os módulos fotovoltaicos apresentam diferentes características que os tornam adequados para determinadas aplicações. Os módulos de silício monocristalino destacam-se pela maior eficiência e aproveitamento energético em áreas reduzidas, enquanto os policristalinos oferecem equilíbrio entre custo e desempenho em locais com maior disponibilidade de espaço. Já módulos de silício amorfo, embora representem inovação tecnológica, ainda possuem limitações que restringem sua utilização em

projetos urbanos de maior demanda. Nesse contexto, a escolha do tipo de módulo deve considerar fatores como área disponível, radiação solar e necessidades energéticas, garantindo maior eficiência e durabilidade em propostas como a implantação de ciclovias solares (Costa, 2020).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente capítulo apresenta os resultados obtidos a partir do estudo de implantação de pavimentos fotovoltaicos na ciclovia localizada no entorno da Lagoa das Bateias, em Vitória da Conquista – BA. Ela se constitui como um parque urbano da zona oeste da cidade conforme mostra Figura 1. Durante muitos anos, o local abrigou um museu que atraía visitantes e era considerado um ponto turístico relevante. Contudo, o espaço passou por um período de degradação, perdendo parte de sua atratividade e recentemente, a área foi revitalizada, recebendo melhorias significativas em sua infraestrutura, incluindo requalificação das quadras esportivas, revitalização das pistas de caminhada, ciclovia, instalação de novos equipamentos urbanos e paisagismo. A mesma impulsionou o retorno da população ao local, que hoje é utilizado para atividades de lazer, esportes e eventos comunitários, ações promovidas por academias e eventos organizados pela Prefeitura.

Figura 1: Parque Municipal Lagoa das Bateias

3106



Fonte: Google Earth.

A área analisada será todo o perímetro de calçada e ciclovia da Lagoa das Bateias que corresponde aproximadamente a 2.800m lineares., com calçada com 2 metros de largura e ciclovia com 3 metros de largura. Ao longo do seu perímetro estão distribuídos cerca de 70 postes de iluminação pública, espaçados em média 40 metros entre si, sendo observados alguns trechos com uma distância inferior a 40 metros conforme levantamento realizado in loco. Esses dados serviram como base para o dimensionamento preliminar do sistema fotovoltaico proposto, considerando a demanda energética necessária para o abastecimento dos postes e o potencial de geração de energia dos pavimentos solares.

A partir dessa caracterização, torna-se possível discutir o potencial de aplicação da tecnologia no espaço urbano, destacando aspectos relacionados à eficiência energética, sustentabilidade ambiental e inovação em infraestrutura de mobilidade. Considerando que um poste de iluminação pública com lâmpada de LED consome em média entre 60 kWh e 150 kWh, e que o período de funcionamento é de aproximadamente 12 horas noturnas, o consumo energético estimado por poste varia de 0,72 watts a 1,8 watts. Assim, para os 70 postes distribuídos ao longo da Lagoa das Bateias, a demanda energética diária total pode alcançar entre 50,4 watts e 126 watts por poste, dependendo da potência utilizada. A estimativa configura a referência mínima de produção que o sistema fotovoltaico implementado nos pavimentos deve alcançar para garantir a autossuficiência da iluminação pública da ciclovia.

3107

Ao considerar a aplicação de módulos fotovoltaicos monocristalinos de 470 Wp, com área unitária aproximada de 2,15 m², estima-se a possibilidade de instalação de cerca de 3.906 módulos ao longo da ciclovia, cuja área total é de 8.400 m². Ressalta-se que essa estimativa possui caráter conceitual e preliminar, não contemplando possíveis restrições físicas ou normativas, como faixas de circulação, recuos obrigatórios e demais condicionantes urbanísticos. Adotando-se uma média de insolação de 5,5 horas-pico diárias e um fator de desempenho de 0,75, cada módulo teria uma produção média de aproximadamente 1,94 kWh por dia. Assim, a geração total estimada para a ocupação integral da área alcançaria cerca de 7.572,8 kWh/dia, evidenciando o potencial de aproveitamento solar da ciclovia e sua viabilidade para alcançar a autossuficiência energética na iluminação pública.

A demanda energética diária da iluminação pública da ciclovia 70 postes varia entre 126,0 kWh/dia para lâmpadas de 150 W e 151,2 kWh/dia para lâmpadas de 180 W. Assim, a comparação direta entre geração e consumo indica que em condição teórica de ocupação integral, a geração solar será superior à demanda e a produção poderá alcançar aproximadamente 50 a 60

vezes a energia necessária para a iluminação noturna. Mesmo com a utilização de 10% da área para módulos, correspondente a cerca de 390 placas, a geração estimada será de 756 kWh/dia, suficiente para suprir a demanda total. No cenário de 5% de ocupação, equivalente a 195 placas, a produção atingiria 378 kWh/dia, ainda suficiente para atender 300% da demanda energética.

Em dias nublados, admitindo uma redução de produção para cerca de 30% do valor em pleno sol, o sistema ainda apresentará uma geração de 2.271,8 kWh/dia na ocupação total de 8.400m² o que corresponde a cerca de 1.800% da demanda mínima diária da iluminação. Mesmo nesse cenário de baixa irradiação, a produção energética permaneceria superior às necessidades de consumo, garantindo a autossuficiência e um excedente energético considerável.

A adoção de pavimentos fotovoltaicos no Parque Municipal Lagoa das Bateias representa uma iniciativa inovadora ambiental, social e educacional, destacando-se como um exemplo prático de aplicação de tecnologias sustentáveis em espaços públicos. Essa proposta mostra a produção de energia limpa, reforçando o compromisso com a preservação ambiental e com a educação voltada à sustentabilidade. Além de promover a conscientização da população sobre o uso responsável dos recursos naturais, o estudo estimula a participação da comunidade. O excedente da geração fotovoltaica estimada para a demanda de iluminação pública da ciclovia, poderá ser reaproveitado na melhoria da qualidade luminosa existente no local, a ampliação da rede de postes, ou ainda o fornecimento de energia para equipamentos urbanos complementares, como pontos de recarga pública.

3108

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente Trabalho de Conclusão de Curso teve como objetivo analisar a viabilidade de implantação de pavimentos fotovoltaicos na ciclovia do Parque Municipal Lagoa das Bateias, em Vitória da Conquista – BA, como alternativa sustentável para o abastecimento energético da iluminação pública local. A pesquisa partiu da necessidade de promover soluções urbanas inovadoras que aliem eficiência energética, sustentabilidade ambiental e valorização dos espaços públicos. Por meio de levantamento de dados, dimensionamento preliminar e estimativas de geração e consumo, foi possível verificar o potencial de aproveitamento solar do local e a capacidade dos pavimentos fotovoltaicos de suprirem a demanda existente.

A metodologia aplicada, de caráter exploratório e quantitativo, mostrou-se eficaz para estimar o desempenho teórico do sistema fotovoltaico e possibilitar a comparação direta entre geração e consumo de energia. Os resultados demonstraram que, considerando o uso de módulos

monocristalinos de 470 Wp e a área total da ciclovia, a produção energética poderia alcançar até 7.572,8 kWh por dia, superando em várias vezes a demanda dos 70 postes de iluminação pública instalados ao redor da Lagoa. Mesmo em cenários de menor ocupação da área ou em dias de baixa irradiação solar, a geração se manteria suficiente para garantir a autossuficiência do sistema, confirmando a viabilidade técnica e ambiental da proposta.

Dessa forma, o estudo evidencia que a adoção de pavimentos fotovoltaicos em espaços urbanos representa uma oportunidade concreta para promover a transição energética e fortalecer práticas sustentáveis na infraestrutura pública. A contribuição deste trabalho está em demonstrar, de forma aplicada, o potencial dessa tecnologia para integração entre mobilidade ativa, eficiência energética e sustentabilidade urbana. Como recomendações para estudos futuros, sugere-se a análise econômica detalhada do custo-benefício da implantação, a investigação dos aspectos construtivos e de manutenção dos pavimentos solares, bem como a avaliação de sua integração à rede elétrica municipal. Assim, este estudo reforça a importância de soluções inovadoras e ambientalmente responsáveis para a construção de cidades mais inteligentes e sustentáveis.

REFERÊNCIAS

3109

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma Brasileira ABNT NBR 14724: Informação e documentação - Trabalhos acadêmicos - Apresentação, 2005.
- BASTOS, L. R. *et al.* Manual para a elaboração de projetos e relatórios de pesquisas, teses, dissertações e monografias. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- BRITO, Bruna Montarroyos . OBTENÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS - ANÁLISE DE TIPOS, MODELOS, EFICIÊNCIA E ESTUDOS DE CASO. Brasilia: CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UniCEUB, 2019.
- FERREIRA, Haroldo da Silva. Redação de trabalhos acadêmicos nas áreas das ciências biológicas e da saúde. Rio de Janeiro: Editora Rubio, 2011.
- GIL, Antônio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- MEDEIROS, João Bosco. Redação científica: a prática de fichamentos, resumos, resenhas. 12. ed. São Paulo: Atlas, 2018.
- ROSÁRIO, Mariana Cristina Oliveira Do . Desempenho dos vidros float, laminado e aramado no estudo da temperatura e umidade relativa do ar em células-teste com escala reduzida. Curitiba: Brazilian Journal of Development, 2021.

SCHUCH, Luciano Schuch; RECH, Cassiano; MICHELS, Leandro; COSTA, Guilherme H.; SANTOS, Anderson S. Dos Santos. SISTEMA AUTÔNOMO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA DE ALTA EFICIÊNCIA BASEADO EM ENERGIA SOLAR E LEDS. Campinas: Universidade Federal De Santa Maria, 2011.

TEIXEIRA, Ruan Otavio; BARRETO, Jhersyka Barros; RAMALHO, Angela Maria Cavalcanti. AVALIAÇÃO DE PONTENCIAIS PARA INSTALAÇÃO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS PARA A PRODUÇÃO DE ENERGIA SOLAR NO CAMPUS I DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE PB. Campo Grande: CONADIS, 2018.