

**Avaliação do Uso de Energia Solar Fotovoltaica em Canteiros de Obras:
Caminhos para a Autonomia Energética e Redução de Impactos Ambientais
na Construção Civil - Um estudo de caso na cidade de Muriaé-MG**

***Evaluation of the Use of Photovoltaic Solar Energy in Construction Sites: Paths
to Energy Autonomy and Reduction of Environmental Impacts in Civil
Construction - A case study in the city of Muriaé-MG***

Alexandra Pereira, Mestranda em Ambiente Construído, Universidade Federal de Juiz de Fora

E-mail: alexandra.pereira@estudante.ufjf.br

Luisa Carla Abreu, Mestranda em Ambiente Construído, Universidade Federal de Juiz de Fora

E-mail: luisa.abreu@estudante.ufjf.br

Raysa Friaça Andrade de Mello Liquer, Mestranda em Ambiente Construído, Universidade Federal de Juiz de Fora

E-mail: raysa.friaca@gmail.com

André Augusto Ferreira, Professor Adjunto, Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF).

E-mail: andre.ferreira@ufjf.br

Número da sessão temática da submissão – [04]

Resumo

A transição para práticas mais sustentáveis na construção civil tem impulsionado a adoção de estratégias de eficiência energética. Nesse contexto, este artigo analisa a viabilidade técnica, econômica e ambiental da aplicação de sistemas de energia solar fotovoltaica em canteiros de obras de longa duração. A metodologia fundamenta-se em um estudo de caso de uma edificação vertical em Muriaé/MG, integrando o dimensionamento técnico do sistema, análises de *payback* e a aplicação de uma Matriz Multicritério Qualitativa. Os resultados demonstram que, apesar do alto custo inicial, o sistema apresenta retorno financeiro em 2,8 anos, tempo inferior ao de execução da obra. Conclui-se que a energia solar é uma alternativa competitiva frente aos geradores a diesel, oferecendo autonomia energética e alinhamento às práticas de construção sustentável.

Palavras-chave: Construção Sustentável. Energia Solar Fotovoltaica. Canteiros de Obras. Viabilidade.

Abstract

The transition toward more sustainable practices in civil construction has driven the adoption of energy efficiency strategies. In this context, this paper analyzes the technical, economic, and environmental feasibility of applying photovoltaic solar energy systems in long-term construction sites. The methodology is based on a case study of a vertical building in Muriaé/MG, integrating technical system sizing, payback analysis, and the application of a Qualitative Multicriteria Matrix. Results demonstrate that, despite the high initial cost, the system presents a financial return in 2.8 years, a period shorter than the construction timeline. It is concluded that solar energy is a competitive alternative to diesel

generators, offering energy autonomy and alignment with sustainable construction practices.

Keywords: Sustainable Construction. Photovoltaic Solar Energy. Construction Sites. Economic Viability.

1. Introdução

A busca por soluções sustentáveis na construção civil tem se intensificado nas últimas décadas, especialmente diante da necessidade de reduzir os impactos ambientais e o consumo de recursos não renováveis. Nesse contexto, o uso de fontes alternativas de energia, como a solar fotovoltaica, surge como uma estratégia promissora para tornar os processos construtivos mais eficientes e ambientalmente responsáveis. Historicamente, a discussão sobre sustentabilidade na construção restringia-se, em geral, à eficiência energética ou à energia incorporada aos materiais, sem uma abordagem ampla e integrada dos impactos ambientais do setor (Agopyan; John; Goldemberg, 2011). Nas últimas décadas, observa-se uma mudança significativa nesse cenário, e o conceito de desenvolvimento sustentável, definido no Relatório *Brundtland* (1987) pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, passou a ser gradualmente incorporado à cadeia produtiva da construção civil. Essa transformação reflete o reconhecimento da importância de promover ambientes construídos que sejam não apenas funcionais, mas também saudáveis, seguros e ambientalmente responsáveis (Agopyan; John; Goldemberg, 2011).

No contexto global, a transição para modelos de desenvolvimento sustentável tem se consolidado, impulsionada por acordos internacionais e pela crescente conscientização sobre os impactos da atividade humana no meio ambiente. Órgãos como a Organização das Nações Unidas (ONU) têm desempenhado um papel central na articulação de políticas globais, promovendo estratégias que conciliam crescimento econômico, justiça social e preservação ambiental. Nesse cenário, a construção civil, reconhecida como um dos setores de maior consumo de recursos naturais e geração de resíduos, passa a ser vista como peça-chave na busca por soluções que integrem desempenho econômico e responsabilidade ambiental (Vicente, 2022). A introdução de tecnologias limpas e renováveis, como os sistemas fotovoltaicos, alinha-se diretamente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente aos que tratam de energia acessível e limpa (ODS 7) e de cidades e comunidades sustentáveis (ODS 11).

A produção mais limpa, a ecoeficiência e as normas da série ISO 14000, que tratam da gestão ambiental nas organizações, emergem como ferramentas cruciais para a mitigação de impactos ambientais na construção civil, incentivando uma abordagem preventiva e proativa. Em paralelo a essas diretrizes, o investimento em fontes renováveis de energia, como a solar fotovoltaica, tem se destacado como uma solução de alto potencial para tornar as edificações e os processos construtivos mais sustentáveis. No Brasil, o avanço da geração distribuída, formalizado pelo Marco Legal da Geração Distribuída (Lei no 14.300/2022), reforça a viabilidade técnica e regulatória para a implementação de sistemas solares, abrindo um leque de oportunidades para o setor (Vicente, 2022).

Parte-se da hipótese de que a utilização da energia solar fotovoltaica em canteiros de obras, embora ainda pouco difundida, pode se revelar técnica e economicamente viável em determinados contextos, especialmente em empreendimentos de longa duração e alta demanda energética. Embora o potencial da energia solar em canteiros de obras seja

promissor, sua adoção enfrenta desafios técnicos e econômicos. A natureza temporária desses projetos, o alto custo inicial e a complexidade logística são fatores que, muitas vezes, limitam a implementação da tecnologia. Diante desse panorama, este artigo tem como objetivo principal analisar a viabilidade da aplicação de sistemas de energia solar fotovoltaica em canteiros de obras, considerando seus aspectos técnicos, econômicos e ambientais. Para isso, foi utilizada uma abordagem exploratória e descritiva, complementada por um estudo de caso que avalia a aplicação de um sistema em uma obra real, a fim de preencher lacunas de pesquisa e oferecer um instrumento robusto para a tomada de decisão no setor.

2. Referencial Teórico

A sustentabilidade tem se consolidado como um princípio fundamental para o desenvolvimento das cidades e para a transformação dos processos produtivos em diferentes setores da economia. Na construção civil, em especial, o tema ganha relevância diante do elevado consumo de recursos naturais e da geração expressiva de resíduos ao longo do ciclo de vida das edificações. Nesse contexto, surgem ferramentas e estratégias aplicáveis à construção civil, como a Produção Mais Limpa (P+L), a ecoeficiência e os sistemas de gestão ambiental baseados na norma ISO 14000. Tais instrumentos propõem uma abordagem preventiva, voltada à redução de resíduos e poluentes na origem dos processos produtivos. A P+L consiste em ações contínuas aplicadas a processos, produtos e serviços, com foco na minimização dos impactos ambientais e riscos à saúde, ao mesmo tempo que proporciona ganhos econômicos às organizações. Já a ecoeficiência busca aliar produtividade e desempenho ambiental, aumentando a eficiência no uso de recursos e reduzindo custos operacionais (Vicente, 2022).

A série de normas ISO 14000, desenvolvida pela *International Organization for Standardization* (ISO), estabelece diretrizes para a criação e manutenção de sistemas de gestão ambiental em organizações. Dentre essas normas, destaca-se a ISO 14001, que define requisitos para o planejamento, implementação e monitoramento de práticas ambientais, com foco no cumprimento da legislação e na melhoria do desempenho ambiental. De caráter voluntário, essas normas abrangem instrumentos como auditorias ambientais, avaliação do ciclo de vida e rotulagem ecológica, incentivando uma gestão ambiental proativa. No setor da construção civil, reconhecido por seu elevado impacto ambiental, a adoção das diretrizes da ISO 14000 tem contribuído para a racionalização do uso de insumos, a redução da geração de resíduos e a diminuição da pegada de carbono das edificações. Nesse contexto, a integração entre a Produção Mais Limpa (P+L), a ecoeficiência e as normas da série ISO 14000 configura uma estratégia relevante para tornar o setor mais eficiente, competitivo e ambientalmente responsável (Vicente, 2022).

Entre as diversas alternativas voltadas à mitigação dos impactos ambientais e à transição para modelos construtivos mais sustentáveis, as fontes energéticas renováveis vêm se destacando como soluções promissoras para o setor da construção civil. A possibilidade de geração limpa e descentralizada de eletricidade contribui para a redução da dependência de fontes fósseis e dos custos operacionais das obras, além de fortalecer o compromisso das empresas com a sustentabilidade. No Brasil, o avanço da geração distribuída é expressivo, ultrapassando 46 GW de potência instalada e representando aproximadamente 19,5 % da matriz elétrica nacional (ABSOLAR, 2025). Esses indicadores evidenciam o crescente papel da

energia solar fotovoltaica como alternativa viável e estratégica para o setor. A seguir, são apresentados os principais aspectos relacionados à regulação, ao potencial de expansão e aos impactos ambientais da energia solar fotovoltaica no contexto brasileiro.

O investimento em fontes renováveis de energia tem aumentado de forma expressiva nos últimos anos, impulsionado pela necessidade de atender às metas globais de transição energética. De acordo com a *International Energy Agency* (IEA, 2023), as fontes renováveis deverão ser responsáveis por cerca de 80% da nova capacidade elétrica mundial até 2030, com a energia solar fotovoltaica liderando esse crescimento. No setor da construção civil, a incorporação da energia solar apresenta grande potencial de contribuição para a sustentabilidade das obras e a valorização das edificações.

De acordo com Bortoloto *et al.* (2017) a geração de energia solar fotovoltaica pode ser implementada em dois sistemas principais: *on-grid* e *off-grid*. Os sistemas *on-grid* são conectados à rede elétrica, permitindo que a energia gerada seja consumida prioritariamente no local e que o excedente seja injetado na rede para geração de créditos de energia, utilizados posteriormente para compensação de consumo. Já os sistemas *off-grid* operam de forma autônoma, sem conexão à rede elétrica, armazenando a energia gerada em baterias para posterior utilização. Embora proporcionem independência energética, os sistemas isolados apresentam custos mais elevados e menor eficiência devido à dependência de armazenamento.

No Brasil, o marco regulatório da energia solar avançou significativamente com a promulgação da Lei nº 14.300/2022, que institui o Marco Legal da Geração Distribuída. Essa legislação define as regras para consumidores que produzem sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis, permitindo a conexão à rede e a compensação de créditos de energia excedente (Brasil, 2022). A lei classifica como microgeração distribuída os sistemas com potência instalada de até 75 kW e como minigeração distribuída aqueles entre 75 kW e 5 MW, diferenciação fundamental para o enquadramento regulatório e tarifário. Complementarmente, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) consolida, por meio da Resolução Normativa nº 1000/2021, regras para a prestação de serviços de distribuição, incluindo diretrizes para a conexão de micro e minigeradores (ANEEL, 2021). Além disso, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) oferece suporte técnico por meio de normas como a NBR 16690, que define requisitos para sistemas conectados à rede (ABNT, 2020), e a NBR 16612, voltada para sistemas autônomos (ABNT, 2017)."

A consolidação do Marco Legal e técnico da energia solar no Brasil ocorre em paralelo ao avanço expressivo da geração distribuída, especialmente a partir de fontes fotovoltaicas. Mello, Rodrigues e Duque (2022) destacam que a energia solar representava, até 2020, aproximadamente 97% da potência instalada por meio da geração distribuída no país. Tal predominância evidencia a maturidade da tecnologia e o crescente interesse do mercado nacional por soluções sustentáveis e descentralizadas. Isso reforça o potencial de aplicação da energia solar em novos contextos, como o fornecimento de energia para canteiros de obras e estruturas temporárias da construção civil.

Do ponto de vista ambiental, os sistemas fotovoltaicos apresentam vantagens expressivas. Rahbar *et al.* (2023) indicam que cada metro quadrado de painel fotovoltaico (PV) pode evitar

até 211 kg de CO₂ por ano, enquanto sistemas híbridos fotovoltaico-térmicos (PV/T), que combinam a geração simultânea de energia elétrica e térmica, podem alcançar reduções de até 488 kg/m²/ano. Embora a matriz elétrica brasileira seja predominantemente renovável, esses resultados são particularmente relevantes em canteiros de obras que utilizam geradores a diesel, nos quais a substituição por energia solar pode reduzir significativamente as emissões atmosféricas. Além disso, os sistemas fotovoltaicos apresentam baixo consumo de água e operação sem combustão, o que reduz a poluição hídrica, os riscos de vazamentos químicos e a poluição sonora associada a equipamentos convencionais (Tawalbeh et al., 2021; Bošnjaković et al., 2023).

Apesar de seus reconhecidos benefícios, a energia solar também traz desafios que precisam ser considerados. A fabricação dos painéis, em especial os de silício cristalino, é intensiva em energia e depende da extração de metais e substâncias tóxicas, como chumbo, cádmio e prata (Tawalbeh et al., 2020). Grandes usinas solares instaladas no solo podem gerar impactos no uso da terra, fragmentação de *habitats* e perda de biodiversidade local (Muteri et al., 2020; Pereira; Coria, 2022). Soma-se a isso a ausência de infraestrutura consolidada para reciclagem, o que pode agravar os riscos de contaminação ao final da vida útil dos módulos (20 a 30 anos). Também devem ser consideradas limitações técnicas e econômicas, como a intermitência da geração solar, a necessidade de sistemas de armazenamento, o alto custo inicial de implantação e os desafios logísticos de transporte e instalação em alguns contextos da construção civil.

Diante do exposto, fica evidente que o Brasil possui um arcabouço técnico e regulatório robusto para a energia solar fotovoltaica, abarcando tanto os sistemas conectados à rede (*on-grid*) quanto os autônomos (*off-grid*). A normalização definida pela ABNT, alinhada às diretrizes da ANEEL, oferece a segurança e a padronização necessárias para a expansão e a correta implementação de projetos fotovoltaicos no território nacional.

3. Procedimentos Metodológicos

A presente pesquisa classifica-se como exploratória e descritiva, baseada em um estudo de caso, conforme proposto por Gil (2002). A escolha por este método deve-se à necessidade de investigar o fenômeno em seu contexto real, permitindo uma avaliação detalhada da viabilidade de implementação de sistemas fotovoltaicos em uma edificação vertical localizada no município de Muriaé/MG. No que tange à estratégia de investigação, adotou-se o delineamento sugerido por Lozada e Nunes (2019), integrando análises qualitativas e quantitativas para oferecer uma visão holística e validar, por meio da interpretação de dados numéricos e contextuais, os impactos técnicos, econômicos e ambientais da proposta.

O desenvolvimento do estudo iniciou-se pela revisão bibliográfica para fundamentação teórica sobre a energia solar, a legislação vigente e as práticas de construção sustentável. Esse referencial teórico subsidiou, de forma direta, a definição dos critérios adotados na Matriz Multicritério Qualitativa, garantindo que sua construção estivesse alinhada às abordagens consolidadas na literatura e não baseada em escolhas arbitrárias.

Desta forma, a Matriz foi estruturada como um instrumento de apoio à tomada de decisão, abrangendo dimensões principais de viabilidade, como a técnica, a econômica, a ambiental e

a operacional. Os critérios selecionados foram embasados na literatura pertinente, tais como Pinho e Pena (2008) e Bortoloto *et al.* (2017) para o critério técnico; IEA (2023) para o critério econômico; Rahbar *et al.* (2023) e Tawalbeh *et al.* (2021) para o critério ambiental; e ANEEL (2021) e Mello, Rodrigues e Duque (2022) para o critério operacional, atribuindo qualificadores qualitativos que auxiliam na interpretação da viabilidade do sistema em contextos específicos.

Posteriormente, foi feito um levantamento de dados referentes à obra analisada. Essa etapa compreendeu a análise documental dos projetos arquitetônicos e complementares, bem como a obtenção de dados primários junto à equipe de engenharia responsável pelo empreendimento, que disponibilizou o histórico médio de consumo energético do canteiro e outras especificações técnicas. Tais informações foram essenciais para a caracterização física do local e para a identificação da área útil disponível para a instalação dos módulos.

Por fim, procedeu-se ao dimensionamento do sistema fotovoltaico e à estimativa de seus custos de implantação. A análise de viabilidade econômico-financeira baseou-se no cálculo do tempo de retorno do investimento (*payback*), comparando o investimento inicial com a economia gerada na fatura mensal de energia elétrica, em conformidade com as diretrizes da ANEEL (2021) e o cenário do mercado solar (IEA, 2023). Simultaneamente, aplicou-se a Matriz Multicritério Qualitativa para avaliar fatores operacionais e estratégicos da obra (como logística, segurança e sombreamento). A adoção dessa abordagem mista, integrando dados quantitativos e qualitativos, permite uma avaliação ampla do projeto no contexto da geração distribuída no Brasil.

4. Resultados e Discussão

A partir da metodologia delineada, esta seção apresenta e analisa de forma integrada os resultados obtidos, com o objetivo de avaliar a viabilidade da implementação de sistemas fotovoltaicos em canteiros de obras. A abordagem adotada permite a interpretação conjunta dos dados técnicos, econômico-financeiros e ambientais, conferindo maior robustez à análise. O estudo é estruturado em duas subseções: (4.1) Matriz Multicritério Qualitativa; e (4.2) a avaliação integrada dos dados econômico-financeiros.

4.1 Matriz Multicritério Qualitativa

Para analisar a aplicabilidade prática dos fatores identificados na matriz, desenvolveu-se um estudo de caso concreto em um canteiro de obras localizado em Muriaé/MG, cujo perfil de consumo e características construtivas permitiram verificar a viabilidade técnica e econômica do sistema fotovoltaico. Trata-se de uma edificação mista, com uso combinado residencial e comercial, tipologia vertical de 23 pavimentos e área total construída de 16.900 m². As obras tiveram início em março de 2024 e previsão de conclusão para março de 2029. Atualmente, o canteiro conta com cerca de 60 trabalhadores e um consumo energético mensal médio de 2.000 kWh, fornecido pela concessionária ENERGISA

A empresa responsável pela construção mantém, em outra localidade, um sistema de geração fotovoltaica centralizado, com capacidade produtiva entre 10.000 e 12.000 kWh por mês. A energia gerada por este sistema é redistribuída entre as diversas obras e unidades

administrativas da corporação, incluindo o canteiro analisado, por meio de rateio. Apesar de adotar práticas pontuais de racionalização, como técnicas de construção a seco e segregação de resíduos sólidos para coleta seletiva, a construtora não possui políticas ambientais institucionalizadas ou diretrizes formais voltadas à sustentabilidade na construção civil. Também, no presente momento, não demonstra interesse em obter certificações ambientais reconhecidas. Para testar a possibilidade de implementação de um sistema solar fotovoltaico nessa obra, será proposta uma Matriz Multicritério Qualitativa.

A Matriz Multicritério Qualitativa, descrita na Tabela 1, foi estruturada com base nos critérios recorrentes identificados no referencial teórico sobre viabilidade técnica, econômica, ambiental e operacional de sistemas fotovoltaicos, podendo ser utilizada como ferramenta de apoio à tomada de decisão quando aplicada ao canteiro de obras em Muriaé. A análise dos critérios no contexto da obra indica que o projeto é viável. O alto consumo energético mensal (2.000 kWh) do canteiro configura um cenário favorável, justificando a aplicação da tecnologia.

Tabela 1: Aplicação da Matriz Multicritério Qualitativa na Obra de Muriaé.

Fator Avaliado	Qualificado	Justificativa para obra de Muriaé
Custo inicial	Alto	Impacto Econômico elevado no investimento do empreendimento
Disponibilidade de Capital próprio	Alto	Disponibilidade de capital próprio da empresa, pois não depende de financiamento externo
Disponibilidade de incentivos fiscais/ financeiros	Médio	Disponibilidade de alguns incentivos legais, linhas de créditos específicas e programas regionais, mas não necessários para a empresa
Complexidade logística	Baixo	Localização central na cidade de Muriaé e disponibilidade de recurso para transporte dos módulos e equipamentos
Duração do canteiro	Médio	A previsão de 5 anos de duração, anula completamente esse entrave, tornando a amortização viável a longo prazo
Risco de furto ou vandalismo	Médio	Risco gerenciável com plano de segurança adequado, representando um custo adicional, mas com importância média na decisão
Sombreamento	Muito baixo	Ausência de edificações vizinhas que provoquem sombreamento dos módulos fotovoltaico
Qualificação técnica para instalação	Alto	Necessidade de contratação de empresas terceirizadas ou treinamento de pessoas da empresa
Consumo energético do canteiro	Alto	Cenário favorável com alto potencial economia, pois o consumo é 2.000kWh/mês justificando a geração distribuída
Disponibilidade de rede elétrica	Médio	A obra possui conexão com a rede elétrica, mas apresenta necessidade de análise de risco de fluxo reverso junto à concessionária de energia.
Atratividade de comercialização	Muito alto	Tendência de mercado positiva para a comercialização da edificação, considerando-se a importância do marketing
Exigência Normativa	Alto	Barreira técnica obrigatória que exige custos adicionais, em especial referente ao fluxo reverso em redes elétricas.
Periodicidade de Manutenção	Muito Alto	Necessidades de manutenção restrita a limpeza frequentes dos módulos fotovoltaicos, devido a poeira em obras.
Custo de Manutenção	Médio	Necessita de mão de obra com treinamento básico, como por exemplo, em NR35 (trabalho em altura) e NR6 (equipamento de proteção) para realização de limpeza dos módulos
Potencial de geração autônoma durante a obra	Alto	Instalação dos módulos fotovoltaicos restrita a finalização da cobertura, devido a área urbana que a obra se encontra.

Fonte: Elaborada pelas autoras (2025).

A Tabela 1 sintetiza os principais fatores que influenciam a adoção de sistemas fotovoltaicos em canteiros de obras. Os qualificadores podem ser MUITO BAIXO, BAIXO, MÉDIO, ALTO e MUITO ALTO, sendo atribuídos de forma qualitativa e contextual, a partir das características específicas da obra analisada. Essa classificação deve ser adotada de acordo com a capacidade financeira e técnica da empresa, a disponibilidade de linhas de financiamento no mercado e o perfil dos clientes. A instalação fotovoltaica possui capacidade limitada de produção de energia, uma vez que a área disponível restringe-se à cobertura da edificação. Com efeito, a energia produzida poderá ser destinada às áreas comuns após a entrega do edifício, a fim de reduzir os custos do condomínio com eletricidade.

A análise da Tabela 1 demonstra que, no caso da obra de Muriaé, os fatores classificados com impacto 'Alto' ou 'Muito Alto' dividem-se em duas categorias. Por um lado, encontram-

se os desafios inerentes a qualquer projeto fotovoltaico na construção civil, como o Custo inicial, as Exigências normativas, a Qualificação técnica para instalação e a Periodicidade de manutenção. Por outro lado, o canteiro apresenta facilitadores determinantes, também de alto impacto, que viabilizam a implementação e superam essas barreiras. Destacam-se a alta Disponibilidade de capital próprio (que elimina a dependência de financiamentos), o elevado Consumo energético do canteiro (que acelera o payback para antes do término da obra) e a expressiva Atratividade de comercialização. Infere-se que o perfil específico deste empreendimento transforma entraves tradicionais em um cenário altamente favorável para a geração distribuída.

4.2 Análise de viabilidade econômica-financeira

O dimensionamento do sistema fotovoltaico foi conduzido em quatro etapas principais: levantamento e análise dos dados de entrada, seleção dos componentes principais, configuração do arranjo fotovoltaico e definição dos dispositivos de proteção. O estudo considerou um canteiro de obras localizado em Muriaé/MG, com consumo médio mensal de aproximadamente 2.000 kWh, equivalente a 66,67 kWh/dia. A produtividade média anual para sistemas fotovoltaicos na região, obtida na plataforma Global Solar Atlas (2025), é de 1.499 kWh/kWp/ano, o que corresponde a cerca de 4,107 kWh/kWp/dia.

Já para a seleção e dimensionamento dos componentes principais, foi realizada com base nesses parâmetros, calculou-se a potência mínima necessária para atender à demanda, incluindo perdas estimadas de 20% ($PR = 0,8$), resultando em uma potência instalada mínima de 20,3 kWp. Optou-se pelo módulo fotovoltaico Sunova SS-450-72-M (450 Wp, eficiência de 20,4%), por apresentar bom equilíbrio entre desempenho, confiabilidade e custo. Para atender à potência requerida, seriam necessários 46 módulos; entretanto, visando otimizar a configuração elétrica, o total foi ajustado para 48 módulos, totalizando 21,6 kWp. O inversor selecionado foi um modelo trifásico *on-grid* de 30 kW, compatível com a rede elétrica local (380V), garantindo alta eficiência, simplicidade de operação e viabilidade econômica, sem necessidade de armazenamento por baterias.

O arranjo final foi definido em três cadeias de 16 módulos, respeitando limites de tensão/corrente do inversor e permitindo futuras expansões. As proteções foram dimensionadas conforme as Normas Técnicas Brasileiras (NBR 5410, 2004; NBR 5419-4, 2015; NBR 60898, 2010; NBR 60947-2, 2017 e NBR 16690, 2019). No lado de corrente contínua (CC), foram incluídos disjuntores por cadeias de módulos, disjuntor geral, seccionadora, DPS tipo 2 e *string box*. No lado de corrente alternada (CA), foram definidos disjuntor termomagnético, DR tetrapolar e DPS tipo 2. Assim, o sistema projetado apresenta potência total de 21,6 kWp, configurado para atender integralmente à demanda energética do canteiro. Na Tabela 2 é apresentado o detalhamento dos custos estimados para a implantação completa do sistema.

Tabela 2: Estimativa de custo estimado de implementação do sistema solar fotovoltaico.

Categoria	Item	Descrição	Valor total
Geração	Painel Solar Fotovoltaico - 48 unidades	Sunova SS-450-72-M	R\$ 26.400,00
	Inversor Fotovoltaico	Growatt MID 30KTL3-XH	R\$ 12.500,00
Proteção CC	Disjuntor CC (DTM) - 3 unidades	Proteção individual por string contra sobrecorrente	R\$ 150,00
	DPS CC - 2 unidades	Proteção contra surtos de tensão em corrente contínua.	R\$ 100,00
	String Box CC	Caixa para abrigar disjuntores e DPS CC das strings.	R\$ 550,00
	Seccionadora CC (opcional, mas recomendado)	Chave de corte para isolamento do sistema fotovoltaico	R\$ 300,00
Proteção CA	Disjuntor CA (Geral)	Proteção principal da saída CA do inversor.	R\$ 50,00
	DPS CA (Dispositivo contra Surtos CA)	Proteção contra surtos de tensão em corrente alternada.	R\$ 50,00
	Quadro de Proteção CA	Caixa para abrigar o disjuntor e DPS CA.	R\$ 550,00
Estrutura e Conexão	Estrutura de Fixação dos Painéis	Estruturas, cabos, conectores e aterramento.	R\$ 4.000,00
Outros (custos indiretos)	Mão de Obra e Instalação	Custo com equipe de instaladores.	R\$ 17.280,00
	Engenharia e Projeto	Elaboração de projeto elétrico e memorial descritivo.	R\$ 4.500,00
	Transporte e Logística	Deslocamento dos materiais até o canteiro.	R\$ 1.500,00
Total do Investimento			R\$ 67.430,00

Fonte: Os autores, com base em cotações de referência do mercado (2026).

A etapa final do estudo integrou os dados do dimensionamento do sistema fotovoltaico com as análises econômico-financeiras e ambientais. Com o sistema de 21,6 kWp projetado para atender à demanda da obra de Muriaé, e o valor de aproximadamente R\$67.430,00 de implementação do sistema. Considerando-se que a remuneração média no canteiro de obras se estabelece em R\$2.000,00 mensais de conta de energia, seriam necessários 34 meses (2,8 anos) para que houvesse o retorno do investimento. Este valor se mostra atrativo frente à longa duração do canteiro, prevista em cinco anos.

Apesar do elevado potencial, a viabilidade de instalação foi reavaliada com base em informações operacionais da obra. A estruturação do edifício leva entre 12 a 18 meses, ou seja, para ficar pronta a cobertura da edificação. Essa abordagem permite que o sistema comece a gerar energia para a etapa de acabamento da obra. Como o *payback* é de apenas 2,8 anos, a empresa ainda conseguiria obter lucro considerável ao longo dos cinco anos do projeto, transformando o investimento em um ativo que valoriza o empreendimento e gera economia contínua para a construtora até a entrega final.

Do ponto de vista ambiental, o sistema tem um potencial de reduzir as emissões de carbono, contribuindo significativamente para a sustentabilidade da construção. Atualmente, a instalação de painéis na fase final de obras é geralmente deixada a cargo do condomínio.

Contudo, a empresa poderia valorizar a sua construção, e os apartamentos/lojas, ao adotar essa prática, beneficiando-se da economia gerada até a entrega, o que se configura como um novo modelo de negócio sustentável no setor.

5. Conclusão

Este estudo teve como objetivo analisar a viabilidade da implementação de sistemas de energia solar fotovoltaica em canteiros de obras, considerando aspectos técnicos, econômicos e ambientais. Para isso, adotou-se uma abordagem metodológica exploratória e descritiva baseada em estudo de caso, integrando o dimensionamento técnico do sistema, a aplicação de uma Matriz Multicritério Qualitativa e a análise de viabilidade econômico-financeira. Essa combinação metodológica permitiu avaliar de forma integrada fatores operacionais, estratégicos e financeiros relacionados à adoção da tecnologia no contexto da construção civil.

Os resultados indicam que a implementação do sistema fotovoltaico no canteiro analisado apresenta viabilidade técnica e econômica. O sistema dimensionado, com potência de 21,6 kWp, mostrou-se capaz de atender à demanda energética média do empreendimento, enquanto a análise financeira apontou um tempo de retorno do investimento de aproximadamente 2,8 anos, inferior à duração prevista da obra. A aplicação da Matriz Multicritério Qualitativa complementou essa análise ao evidenciar que o perfil específico deste empreendimento transforma entraves tradicionais, como o alto custo inicial e a complexidade técnica, em um cenário altamente favorável para a geração distribuída. Demonstra-se, assim, que a integração entre análise financeira e avaliação qualitativa constitui um instrumento consistente para apoiar decisões estratégicas no setor, validando a viabilidade do projeto em múltiplas dimensões.

Em síntese, os resultados confirmam que a energia solar fotovoltaica pode representar uma alternativa tecnicamente viável e economicamente atrativa para canteiros de obras de longa duração, além de contribuir para a redução de impactos ambientais associados ao consumo de energia. A metodologia proposta demonstra potencial para aplicação em outros empreendimentos, podendo apoiar estratégias de inovação e sustentabilidade na construção civil.

Referências

ABSOLAR. Energia solar representa 19,5 % da matriz elétrica brasileira. São Paulo: Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica, 2025. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticias-externas/energia-solar-representa-195-da-matriz-eletrica-brasileira/>. Acesso em: 07 nov. 2025.

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M.; GOLDEMBERG, J. (coord.). O desafio da sustentabilidade na construção civil. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2011. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 20 jun 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021. Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica. Brasília, DF: ANEEL, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16274: Sistemas fotovoltaicos – Requisitos mínimos para projetos de sistemas autônomos. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16690: Instalação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14001: Sistemas de gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2015.

BOŠNJKOVIĆ, M. et al. The role of distributed solar PV in reducing local air pollution. *Energy Policy*, v. 176, 2023.

BORTOLOTO, V. C. *et al.* Sistemas fotovoltaicos: conceitos e aplicações. Curitiba: Appris, 2017.

BRASIL. Lei no 14.300, de 6 de janeiro de 2022. Institui o Marco Legal da Geração Distribuída. Brasília: Diário Oficial da União, 2022. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2021-2022/2022/Lei/L14300.htm. Acesso em: 15 ago. 2025.

BRUNDTLAND, G. H. *Our Common Future*. Oxford: Oxford University Press, 1987.

GIL, Antônio Carlos. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 7. ed. Barueri [SP]: Atlas, 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). *World Energy Outlook 2023*. Paris: IEA, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>. Acesso em: 17 ago. 2025.

LOZADA, Gisele; NUNES, Karina S. *Metodologia científica*. Porto Alegre: SAGAH, 2019. E-book. ISBN 9788595029576. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595029576/>. Acesso em: 6 jul. 2025.

MELLO, R. F. A.; RODRIGUES, F. C. R.; DUQUE, L. P. Análise de Patentes Relacionadas à Geração Distribuída de Energia Elétrica no Brasil. *Revista FSA, Teresina*, v. 19, n. 9, art. 12, p. 245–271, set. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.12819/2022.19.9.12>. Acesso em: 20 jun. 2025.

MUTERI, V. et al. Environmental impacts of large-scale solar photovoltaic plants: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 122, p. 109–772, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109772>.

PINHO, J. T.; PENA, R. F. *Fundamentos da energia solar fotovoltaica*. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

RAHBAR, M. A. et al. Integrated value model for sustainability assessment of residential solar energy systems towards minimizing urban air pollution in Tehran. *Renewable Energy*, v. 207, p. 914–928, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.03.143>. Acesso em: 20 jun. 2025.

ROMERO PEREIRA, M. C.; SÁNCHEZ CORIA, A. Impactos Ambientales de Sistemas de Energía Solar Fotovoltaica: Una Revisión de Análisis de Ciclo de Vida y Otros Estudios. *Science of the Total Environment*, v. 759, p. 143528, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143528>. Acesso em: 20 jun. 2025.

TAWALBEH, M. et al. Environmental impacts of solar energy systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 117, 2020.

TAWALBEH, M. et al. Environmental impacts of solar photovoltaic systems: a critical review of recent progress and future outlook. *Science of the Total Environment*, v. 759, p. 143528, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143528>. Acesso em: 20 jun. 2025.

UNITED NATIONS. Agenda 21. Rio de Janeiro: UNCED, 1992.

UNITED NATIONS. World Summit on Sustainable Development (Rio+10). Johannesburg: UN, 2002.

VICENTE, G. Políticas globais de sustentabilidade e os compromissos internacionais do Brasil. *Revista de Políticas Ambientais*, v. 15, n. 2, 2022.

VICENTE, Túlio Vagner dos Santos. *Estrutura da Sustentabilidade Empresarial*. 1. ed.

Rio de Janeiro: Interciência, 2022. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 29 jun. 2025.