

## ENERGIA SOLAR COMO INFRAESTRUTURA SOCIOTÉCNICA: GOVERNANÇA INSTITUCIONAL, SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E POLÍTICA FISCAL NA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

SOLAR ENERGY AS SOCIOTECHNICAL INFRASTRUCTURE: INSTITUTIONAL GOVERNANCE, INFORMATION SYSTEMS, AND FISCAL POLICY IN THE ENERGY TRANSITION

LA ENERGÍA SOLAR COMO INFRAESTRUTURA SOCIOTÉCNICA: GOBERNANZA INSTITUCIONAL, SISTEMAS DE INFORMACIÓN Y POLÍTICA FISCAL EN LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

Ruan Silva Lins de Oliveira<sup>1</sup>  
Claudio Castro da Silva Lins<sup>2</sup>  
Aldo Lins de Oliveira<sup>3</sup>  
Ronald da Silva Lins<sup>4</sup>

**RESUMO:** A energia solar fotovoltaica transcende a dimensão técnica e se consolida como uma infraestrutura sociotécnica estratégica para a eficiência organizacional. Este estudo analisa a implantação de um sistema fotovoltaico em um clube urbano sob uma abordagem multidisciplinar que articula governança, sistemas de informação e gestão do conhecimento. A metodologia integrou análise documental, simulações de viabilidade e quarenta e cinco horas de observação estruturada, confrontando dados técnicos com a dinâmica social da organização. Os resultados indicam que a geração distribuída qualifica a gestão ao promover a dataficação organizacional, convertendo fluxos energéticos em ativos estratégicos para a tomada de decisão. Essa integração aprimora a transparência, reduz assimetrias entre setores e permite o monitoramento granular dos padrões de consumo. Constatou-se que a eficácia dos incentivos fiscais e do marco regulatório (Lei nº 14.300/2022) depende da maturidade dos sistemas de monitoramento digital e de uma governança sólida. Conclui-se que a energia solar opera como uma rede complexa que redefine a relação entre infraestrutura e território, constituindo base essencial para a transição energética e para a consolidação de ambientes urbanos inteligentes e sustentáveis.

**Palavras-chave:** Energia solar fotovoltaica. Infraestrutura sociotécnica. Governança institucional. Sistemas de informação. Política fiscal. Dataficação organizacional.

---

<sup>1</sup>Doutorando em Direito Econômico e Empresarial.

<sup>2</sup>Especialista em Gestão de Negócios na Universidade Candido Mendes.

<sup>3</sup>Especialista em Política e Planejamento Estratégico na Associação dos Diplomados da Escola Superior de Guerra.

<sup>4</sup>Graduando em Marketing Digital na UNESA.

**ABSTRACT:** Solar photovoltaic energy transcends its technical dimension and emerges as a strategic sociotechnical infrastructure for organizational efficiency. This study examines the implementation of a photovoltaic system in an urban sports club through a multidisciplinary approach that integrates governance, information systems, and knowledge management. The methodology combined document analysis, feasibility simulations, and forty-five hours of structured observation, confronting technical data with the organization's social dynamics. The results indicate that distributed generation enhances management by promoting organizational datafication, transforming energy flows into strategic assets for decision-making. This integration improves transparency, reduces informational asymmetries between sectors, and enables granular monitoring of consumption patterns. The findings also show that the effectiveness of fiscal incentives and the regulatory framework (Law 14.300/2022) depends on the maturity of digital monitoring systems and solid governance practices. It is concluded that solar energy operates as a complex network that redefines the relationship between infrastructure and territory, forming an essential foundation for the energy transition and for the development of intelligent and sustainable urban environments.

**Keywords:** Solar photovoltaic energy. Sociotechnical infrastructure. Institutional Governance. Information systems. Fiscal policy. Organizational datafication.

**RESUMEN:** La energía solar fotovoltaica trasciende la dimensión técnica y se consolida como una infraestructura sociotécnica estratégica para la eficiencia organizacional. Este estudio analiza la implementación de un sistema fotovoltaico en un club urbano mediante un enfoque multidisciplinario que articula gobernanza, sistemas de información y gestión del conocimiento. La metodología integró análisis documental, simulaciones de factibilidad y cuarenta y cinco horas de observación estructurada, confrontando datos técnicos con la dinámica social de la organización. Los resultados indican que la generación distribuida mejora la gestión al promover la datificación organizacional, convirtiendo los flujos de energía en activos estratégicos para la toma de decisiones. Esta integración mejora la transparencia, reduce las asimetrías entre sectores y permite un monitoreo detallado de los patrones de consumo. Se constató que la efectividad de los incentivos fiscales y el marco regulatorio (Ley N° 14.300/2022) depende de la madurez de los sistemas de monitoreo digital y de una gobernanza sólida. Se concluye que la energía solar opera como una red compleja que redefine la relación entre infraestructura y territorio, constituyendo una base esencial para la transición energética y para la consolidación de entornos urbanos inteligentes y sostenibles.

**Palabras clave:** Energía solar fotovoltaica. Infraestructura sociotécnica. Gobernanza institucional. Sistemas de información. Política fiscal. Datificación organizacional.

## 1 INTRODUÇÃO

A transição energética consolidou-se como um eixo estruturante das políticas de desenvolvimento urbano, no qual a energia solar emerge como componente central dos fluxos decisórios. Em contextos de elevada pressão sobre a infraestrutura e de custos operacionais crescentes, a tecnologia fotovoltaica deixa de ser apenas um instrumento técnico para se tornar uma infraestrutura sociotécnica (STAR; RUHLER, 1996) capaz de modernizar processos internos e reforçar a integração entre as dimensões ambiental, social e econômica

(RELATÓRIO BRUNDTLAND, 1987). Nesse cenário, redes digitais e sensores possibilitam a captura contínua de dados que documentam processos e estruturam novas relações entre atores e sistemas (CASTELLS, 2019).

A literatura especializada demonstra que essa transição exige transformações institucionais que ultrapassem a mera adoção de equipamentos. Sovacool (2013) e Hall e Klitgaard (2012) destacam que decisões energéticas influenciam diretamente a estratégia organizacional e a coordenação entre setores. Sob a perspectiva da Ciência da Informação, transformar dados em conhecimento aplicado proporciona vantagem operacional e estratégica, consolidando práticas baseadas em evidências em detrimento de percepções subjetivas (CHOO, 2006; NONAKA; TAKEUCHI, 1995). Ostrom (2010) reforça que resultados consistentes emergem da governança policêntrica, na qual diferentes agentes compartilham responsabilidades e operam de forma coordenada para integrar a geração energética à gestão administrativa.

No contexto brasileiro, o Marco Legal da Geração Distribuída (Lei nº 14.300/2022) favorece a expansão da energia solar, mas o aproveitamento desses benefícios depende da capacidade organizacional de interpretar normas e gerir fluxos estruturados de dados. A dataficação urbana e organizacional evidencia que fluxos contínuos de informação permitem antecipar demandas e planejar recursos com maior precisão (KITCHIN, 2014; VAN DIJCK; POELL; DE WAAL, 2018). Assim, sistemas fotovoltaicos atuam como infraestruturas informacionais que registram dados granulares sobre consumo e operação, reduzindo assimetrias entre setores e fortalecendo a transparência institucional (STIGLITZ, 2002; BRAMAN, 2006).

A ausência de uma governança estruturada pode limitar os benefícios da geração distribuída. Smith, Brown e Wilson (2020) e Weill e Ross (2006) demonstram que sistemas distribuídos fortalecem a inteligência institucional, desde que amparados por processos claros de tomada de decisão e políticas de informação robustas. Diante desse cenário, este estudo analisa a viabilidade da adoção de energia solar em um clube urbano em Manaus-AM, ambiente que permite observar como a tecnologia reconfigura a gestão, qualifica o uso do território e transforma dados operacionais em ativos estratégicos.

O objetivo deste estudo é compreender como sistemas fotovoltaicos operam como infraestruturas sociotécnicas de dados, capazes de reorganizar rotinas administrativas, fortalecer a governança institucional e promover a racionalidade informacional diante dos

desafios da transição energética. A pesquisa busca demonstrar que, ao integrar dimensões técnicas, regulatórias e informacionais, a geração distribuída redefine a relação entre infraestrutura e território, oferecendo um modelo replicável para a construção de ambientes urbanos mais eficientes, inclusivos e sustentáveis.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

A literatura sobre transição energética indica que a adoção de fontes renováveis depende da articulação entre fatores econômicos, institucionais e informacionais. Sovacool (2013) argumenta que transições energéticas são processos sociotécnicos complexos que reconfiguram modelos de gestão e formas de governança. Geels (2002) reforça que mudanças no regime energético exigem arranjos institucionais capazes de integrar regulação e coordenação entre múltiplos atores. Nesse contexto, a energia solar destaca-se como uma infraestrutura sociotécnica (STAR; RUHLEDER, 1996), na qual a tecnologia se funde às práticas organizacionais para gerar previsibilidade e eficiência por meio de fluxos estruturados de informação.

A compreensão desse fenômeno envolve analisar não apenas o artefato técnico, mas as condições que permitem sua incorporação nas organizações. Em cidades marcadas por desafios de sustentabilidade, a energia solar emerge como instrumento estratégico para fortalecer a governança organizacional, especialmente quando a dataficação dos processos possibilita uma gestão baseada em evidências (KITCHIN, 2014; VAN DIJCK; POELL; DE WAAL, 2018).

### 2.1 INFORMAÇÃO, SISTEMAS DIGITAIS E INTELIGÊNCIA ORGANIZACIONAL NA GESTÃO ENERGÉTICA

A centralidade da informação tem redefinido o planejamento energético, transformando tecnologias operacionais em elementos estruturantes dos fluxos decisórios. Choo (2006) destaca que a informação, tratada como recurso estratégico, amplia a capacidade institucional de interpretar o ambiente e orientar decisões com maior precisão.

Nesse sentido, a gestão energética integra processos de inteligência organizacional que articulam dados e conhecimento, reduzindo a subjetividade nas respostas aos desafios regulatórios e tarifários (NONAKA; TAKEUCHI, 1995).

A digitalização intensifica essa dinâmica ao documentar processos e estruturar relações entre atores e sistemas (CASTELLS, 2019). Weill e Ross (2006) observam que a governança de

TI amplia a transparência e a confiabilidade das informações, elementos essenciais para decisões estratégicas.

No campo energético, plataformas de monitoramento e sensores operam como infraestruturas de dados que permitem identificar padrões de consumo e mitigar a assimetria informacional entre os setores administrativo e operacional (STIGLITZ, 2002).

A relação entre informação e inovação também se mostra determinante. Estudos fundamentais indicam que organizações que utilizam fluxos informacionais para orientar decisões energéticas apresentam maior resiliência institucional e legitimidade em suas políticas internas (BRAMAN, 2006; SMITH; BROWN; WILSON, 2020). A literatura sobre infraestruturas digitais amplia esse debate ao evidenciar que a integração entre sistemas e ambiente físico cria espaços urbanos mais eficientes.

Star (1999) argumenta que infraestruturas tornam-se “invisíveis” ao serem incorporadas às rotinas diárias, embora permaneçam centrais para a coordenação e o monitoramento. Assim, a gestão energética deixa de ser apenas uma questão técnica e passa a constituir um fenômeno informacional, no qual a capacidade de processar e interpretar dados granulares se torna diferencial competitivo para instituições urbanas complexas que buscam alinhar sustentabilidade e eficiência operacional.

## 2.2 ESTRATÉGIA, GOVERNANÇA E MODELOS DE GESTÃO NA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

A adoção da energia solar fotovoltaica tem sido tratada como uma decisão estratégica que envolve coordenação institucional e reorganização de práticas gerenciais. Mintzberg, Ahlstrand e Lampel (2010) destacam que estratégias eficazes dependem da capacidade de articular recursos e interpretar cenários, o que torna a geração própria um ativo relevante para ampliar a autonomia e reduzir vulnerabilidades tarifárias. Hall e Klitgaard (2012) reforçam que sistemas distribuídos fortalecem a resiliência energética, aspecto essencial para instituições urbanas que dependem de estabilidade para manter atividades coletivas e administrativas contínuas.

A governança institucional desempenha papel central nesse processo, transformando tecnologias operacionais em elementos estruturantes dos fluxos decisórios. Jones e Warner (2019) observam que projetos renováveis exigem modelos de decisão permanentes sobre monitoramento e integração administrativa. Ostrom (2010) demonstra que resultados consistentes emergem de arranjos coordenados, nos quais setores compartilham

responsabilidades. No contexto de infraestruturas sociotécnicas, essa dinâmica estende-se à Governança de TI (WEILL; ROSS, 2006), uma vez que a disponibilidade de informações energéticas reduz assimetrias entre setores, fortalece a coordenação e possibilita decisões mais fundamentadas e legítimas (STIGLITZ, 2002; BRAMAN, 2006).

A dimensão regulatória e a política fiscal também moldam esses modelos de gestão. O Marco Legal da Geração Distribuída (Lei nº 14.300/2022) e as diretrizes da OECD (2021) evidenciam que a viabilidade econômica da transição energética depende da capacidade organizacional de gerir créditos de compensação e incentivos tributários. Assim, a gestão energética deixa de ser uma atividade isolada da manutenção para se tornar uma competência estratégica do jurídico e do financeiro, exigindo fluxos informacionais integrados que permitam transformar dados brutos em conhecimento aplicado (CHOO, 2006; NONAKA; TAKEUCHI, 1995).

Por fim, a dimensão territorial influencia a percepção de valor institucional. Intervenções infraestruturais reorganizam o uso do espaço urbano, e a conversão de telhados ociosos em ativos energéticos produtivos fortalece práticas de sustentabilidade e a reputação organizacional (PORTER; KRAMER, 2011). Assim, a energia solar deve ser compreendida como uma infraestrutura sociotécnica de dados que articula estratégia, governança e racionalidade informacional, contribuindo para instituições mais resilientes, transparentes e alinhadas aos desafios globais da transição energética.

### **2.3 POLÍTICA FISCAL, REGULAÇÃO E MARCO LEGAL NA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA**

A expansão da energia solar no Brasil é moldada por instrumentos fiscais e regulatórios que definem sua viabilidade econômica. A Lei nº 14.300/2022 consolidou o Marco Legal da Geração Distribuída, estabelecendo regras de transição para o sistema de compensação de créditos. Segundo a OECD (2021), a eficácia de incentivos fiscais ambientais depende de uma governança institucional capaz de gerir a conformidade tributária e acompanhar a atualização normativa contínua. Nesse sentido, fluxos estruturados de dados tornam-se essenciais para legitimar políticas internas de investimento e garantir que a economia fiscal seja efetivamente capturada pela organização (BRAMAN, 2006).

Esse cenário ganha complexidade com a EC nº 132/2023, que reformula o sistema tributário e exige que as organizações revisem suas rotinas de crédito e débito de energia sob uma nova racionalidade informacional. A literatura de economia do setor público, como em

Musgrave e Musgrave (1989), argumenta que a tributação deve ser utilizada para corrigir externalidades e induzir investimentos em setores sustentáveis. No contexto das infraestruturas sociotécnicas, a regulação atua como o componente normativo que permite à tecnologia operar dentro da legalidade e do equilíbrio financeiro.

Stiglitz (2002; 2010) observa que políticas eficazes dependem de instituições capazes de reduzir assimetrias de informação, reforçando a necessidade de sistemas de monitoramento digital que validem a economia fiscal gerada por isenções e compensações tributárias, como PIS/COFINS e ICMS, e fortaleçam a transparência administrativa. Assim, a política fiscal e o marco regulatório não apenas viabilizam economicamente a energia solar, mas também estruturam os modelos de gestão que sustentam sua adoção em ambientes organizacionais complexos.

#### 2.4 DIMENSÃO TERRITORIAL E DESENVOLVIMENTO SOCIOAMBIENTAL EM INFRAESTRUTURAS URBANAS

A integração de sistemas fotovoltaicos ao ambiente urbano ressignifica o território ao datafizar seus processos produtivos. Relatórios da IRENA (2016; 2022) indicam que a geração distribuída amplia a resiliência das cidades ao descentralizar a matriz energética e reduzir a dependência de grandes infraestruturas centralizadas. Sob a perspectiva de Star (1999), a energia fotovoltaica passa a compor a “ecologia da infraestrutura”, na qual telhados ociosos são convertidos em áreas produtivas, otimizando o uso do solo sem demandar novas áreas de impacto ambiental. Essa transformação permite que a infraestrutura, antes “invisível”, passe a gerar dados estratégicos para o planejamento urbano (KITCHIN, 2014).

Em instituições de uso coletivo, como clubes, escolas e centros comunitários, essa infraestrutura assume um caráter socioambiental ao reduzir pressões sobre a rede pública e liberar recursos orçamentários para investimentos sociais (SMITH; BROWN; WILSON, 2020). A relação entre energia e território, portanto, não é apenas física, mas também política e informacional: a ocupação do espaço com tecnologia limpa fortalece a cultura de sustentabilidade institucional e estimula o desenvolvimento econômico local.

Ao qualificar o ambiente construído por meio do monitoramento em tempo quase real, a energia solar atua como vetor de inovação territorial, alinhando as demandas operacionais das organizações às metas globais de transição energética. Assim, sistemas fotovoltaicos consolidam-se como infraestruturas sociotécnicas que articulam eficiência, governança e desenvolvimento socioambiental no contexto urbano contemporâneo.

### 3 METODOLOGIA

A pesquisa adota uma abordagem quali-quantitativa de natureza descritivo-exploratória, utilizando o método de estudo de caso único realizado entre 2022 e 2023 em Manaus-AM. A estrutura metodológica foi desenvolvida para integrar a análise técnica da geração fotovoltaica às dimensões de gestão estratégica, fluxos informacionais e conformidade regulatória. A unidade de análise consiste em um clube de uso coletivo, no qual o sistema fotovoltaico é compreendido como uma infraestrutura sociotécnica. Essa perspectiva exige uma investigação capaz de conectar o artefato tecnológico aos processos organizacionais, aos fluxos de informação e ao contexto normativo.

#### 3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS E PESQUISA DOCUMENTAL

A etapa inicial consistiu no exame do arcabouço normativo brasileiro vigente, com foco na transição estabelecida pela Lei nº 14.300/2022 (Marco Legal da Geração Distribuída) e nas diretrizes da Resolução Normativa nº 482/2012 da ANEEL. A coleta de dados secundários foi organizada em três categorias principais.

##### 3.1.1 Dados de Consumo e Tarifação

Foram coletadas as faturas de energia elétrica referentes à série histórica de 2021-2022. Esse levantamento permitiu mapear a sazonalidade de consumo, analisar a demanda contratada e identificar o perfil de carga da instituição. Os dados serviram de base para as simulações de viabilidade, considerando variações de bandeiras tarifárias e encargos setoriais.

##### 3.1.2 Dados Organizacionais e Estrutura de Governança

Para compreender a dinâmica decisória, foram examinados organogramas, fluxos de processos e registros operacionais. Essa análise permitiu identificar a hierarquia de decisão e a estrutura de custos fixos e variáveis, sendo fundamental para avaliar como a infraestrutura solar impactaria a divisão de responsabilidades entre os setores administrativo, financeiro e de manutenção.

##### 3.1.3 Dados de Infraestrutura e Monitoramento

Realizou-se o levantamento de plantas baixas, manuais de equipamentos e registros de manutenção da infraestrutura elétrica existente. O foco foi avaliar a capacidade de integração

informacional da instituição, verificando se os sistemas vigentes permitiriam a adoção de ferramentas de monitoramento digital e suporte à decisão baseada em dados.

### **3.2 PROCEDIMENTOS DO ESTUDO DE CASO**

A investigação concentrou-se na implementação do sistema fotovoltaico como infraestrutura sociotécnica de dados, analisando como a tecnologia se integra aos processos operacionais e normativos. O estudo foi estruturado em três eixos analíticos.

#### **3.2.1 Eixo Tecnológico e Informacional**

Incluiu o diagnóstico das superfícies e da rede elétrica, bem como a análise da capacidade do sistema de gerar dados por meio de inversores inteligentes e dashboards voltados ao suporte da racionalidade informacional.

#### **3.2.2 Eixo de Governança e Estratégia**

Mapeou a interação entre a governança do clube e a nova tecnologia, observando ajustes em rotinas administrativas, processos de aprovação de investimentos e redistribuição de responsabilidades.

#### **3.2.3 Eixo Fiscal e Regulatório**

Analizou o impacto da carga tributária vigente em 2022 e das regras de compensação da Lei nº 14.300/2022 sobre a viabilidade econômica da infraestrutura.

### **3.3 Coleta e Tratamento de Dados**

A coleta seguiu uma abordagem de triangulação metodológica. Foram analisadas faturas e registros internos de 2021-2022, complementados por observação estruturada de rotinas institucionais, registrada em diário de campo durante quarenta e cinco horas ao longo de quatro semanas. Esse procedimento permitiu mapear fluxos de usuários, picos de demanda real e confrontar dados técnicos com a dinâmica social da instituição. Também se avaliou a maturidade da cultura digital e a capacidade organizacional de mitigar assimetrias de informação.

### **3.4 Análise de Viabilidade Técnica e Escolha Tecnológica**

A análise técnica considerou a incidência solar local e a integridade estrutural das coberturas. Utilizaram-se softwares de simulação para dimensionar o sistema fotovoltaico, tratando-o como um ativo que integra dados ambientais e monitoramento digital. Compararam-se módulos de silício cristalino e de filme fino, analisando a escolha tecnológica como decisão estratégica da governança (eficiência por área versus resiliência ao sombreamento).

### **3.5 Análise de Viabilidade Econômica e Financeira**

Foram avaliados os custos de capital (CAPEX) e operação (OPEX) do sistema, com o objetivo de verificar como a infraestrutura sociotécnica contribui para a estabilidade orçamentária. Demonstrou-se que o retorno sobre o investimento (ROI) depende da capacidade administrativa de interpretar o marco regulatório, identificando fragilidades na governança de dados como riscos à performance financeira da tecnologia.

### **3.6 VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS**

A validação dos resultados foi assegurada por meio da triangulação metodológica, confrontando os dados das simulações técnicas com a análise documental e as evidências obtidas nas entrevistas informais. Esse procedimento permitiu verificar a consistência interna das estimativas de geração e a coerência entre as projeções financeiras e a realidade tarifária de Manaus-AM.

Adicionalmente, realizou-se uma análise comparativa com o desempenho de sistemas fotovoltaicos instalados em instituições de perfil semelhante, confirmando que o potencial de geração estimado se encontra dentro dos padrões observados em aplicações reais. A validação também contemplou a aderência dos resultados econômicos ao cenário regulatório da Lei nº 14.300/2022, garantindo que as projeções de compensação de créditos e o enquadramento tarifário fossem tecnicamente robustos e compatíveis com as práticas consolidadas do setor energético no período analisado.

### **3.7 LIMITAÇÕES DO ESTUDO**

O estudo apresenta limitações inerentes à natureza dos dados, uma vez que parte das informações operacionais foi fornecida pela instituição analisada, o que pode introduzir viés de

autorrelato. Por se tratar de um estudo de caso único, a pesquisa oferece validade analítica para modelos de gestão similares, mas não permite generalização estatística para o conjunto das organizações urbanas.

Outra limitação refere-se à impossibilidade de monitoramento longitudinal após a instalação, o que permitiria capturar variações comportamentais e sazonais de longo prazo no uso da infraestrutura sociotécnica. Tais limitações, contudo, não invalidam os achados, mas indicam a necessidade de futuras investigações que utilizem amostras ampliadas e análises longitudinais para acompanhar a evolução da transição energética em diferentes contextos regulatórios e territoriais.

### 3.8 ORIGEM DO ARTIGO

O artigo deriva da dissertação de mestrado intitulada “Estudo do Desempenho da Implantação de um Sistema de Energia Solar Fotovoltaico em um Clube”, apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Energias Renováveis pela Universidad Europea del Atlántico, Espanha. O presente texto aprofunda as dimensões institucionais e informacionais, reorganizando os achados sob a ótica das infraestruturas sociotécnicas. Integra, ainda, novas discussões sobre governança, política fiscal e gestão estratégica da informação, alinhando os resultados empíricos coletados em Manaus-AM aos debates contemporâneos sobre transição energética e modernização de organizações privadas.

11

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados demonstram que, nas condições específicas da instituição analisada em Manaus-AM, a energia solar transcende a viabilidade técnica, consolidando-se como uma infraestrutura sociotécnica com ganhos econômicos e impactos institucionais significativos. O desempenho favorável é indissociável da convergência entre infraestrutura física, organização administrativa, maturidade informacional e ambiente regulatório vigente em 2022-2023.

Essa interação corrobora a tese de Jones e Warner (2019), segundo a qual projetos de energia renovável dependem da integração sistêmica entre tecnologia, governança e planejamento, alinhando-se à perspectiva de Ostrom (2010) sobre a coordenação entre múltiplos agentes para a eficiência de sistemas complexos.

#### 4.1 TRANSFORMAÇÕES TECNOLÓGICAS, ENERGÉTICAS E DIGITAIS

A avaliação técnica identificou viabilidade estrutural em três áreas estratégicas: o telhado dos vestiários, a cobertura administrativa e o depósito de materiais esportivos. Com orientação favorável e baixa interferência de sombreamento, projetou-se um sistema de 150 kWp capaz de suprir aproximadamente 70% da demanda anual da instituição. O sistema prioriza cargas críticas e contínuas, como o bombeamento de piscinas, a iluminação de áreas comuns e a climatização, elementos essenciais diante do rigor climático da região amazônica.

A implementação dessa infraestrutura impulsiona um processo de transformação digital. O funcionamento do sistema exige monitoramento contínuo de indicadores de desempenho, o que estimula a adoção de dashboards, sensores e registros eletrônicos.

Conforme argumenta a literatura de Sistemas de Informação (CHOO, 2006), esse processo eleva a maturidade institucional em práticas de Internet das Coisas e cultura de dados, convertendo o fluxo energético em inteligência organizacional para suporte à decisão.

Também foi observado um ganho de resiliência operacional. A geração própria reduz os efeitos de oscilações de tensão da rede externa, diminuindo falhas em equipamentos sensíveis e prolongando sua vida útil.

A conversão de superfícies ociosas em ativos energéticos moderniza a infraestrutura física e fortalece a integração entre inovação tecnológica e gestão digital, característica central das infraestruturas sociotécnicas.

A implementação do sistema promove ainda a dataficação organizacional, convertendo comportamentos rotineiros em indicadores estratégicos. As observações de campo revelaram padrões de uso, como a concentração de frequentadores na academia entre 18h e 20h e o aquecimento da piscina nas manhãs de sábado. Esses dados granulares permitem antecipar demandas de carga e reduzem a assimetria entre os setores de manutenção e a diretoria financeira.

Dessa forma, o sistema fotovoltaico se consolida como uma infraestrutura sociotécnica de dados capaz de orientar a alocação de recursos e o planejamento de longo prazo com base em evidências comportamentais reais.

#### 4.2 REPERCUSSÕES ECONÔMICAS, FINANCEIRAS E FISCAIS

A análise econômico-financeira estimou uma economia anual de aproximadamente R\$ 180 mil, valor suficiente para reduzir despesas operacionais relevantes e ampliar a capacidade de

investimento da instituição. Essa redução fortalece o planejamento estratégico, melhora a previsibilidade orçamentária e diminui a dependência de receitas variáveis. O retorno do investimento, calculado entre cinco e sete anos, baseia-se em dados reais de consumo e tarifas. Nos meses de maior insolação, a economia mensal supera R\$ 20 mil, o que reduz a exposição às oscilações tarifárias e estabiliza os custos de energia.

No âmbito fiscal, o enquadramento na Lei nº 14.300/2022 assegura a isenção de ICMS sobre a energia compensada, conforme convênios estaduais vigentes. Esse benefício acelera o tempo de retorno e eleva a atratividade financeira do projeto. Contudo, os resultados indicam que a eficácia desses instrumentos fiscais depende diretamente da governança institucional. Conforme alerta a OECD (2021), incentivos fiscais voltados à transição energética só produzem efeitos plenos quando amparados por uma gestão administrativa robusta.

No caso estudado, a viabilidade econômica mostrou-se condicionada à maturidade dos sistemas de informação. Inconsistências identificadas em registros preliminares de créditos de energia demonstram que falhas na governança de dados podem comprometer a economia prevista. Dessa forma, o desempenho financeiro da infraestrutura fotovoltaica depende da capacidade da instituição em integrar três dimensões fundamentais:

1. Conhecimento Regulatório: interpretação correta das regras de transição, especialmente no que se refere à TUSD Fio B.
2. Eficiência Administrativa: Atualização cadastral e acompanhamento rigoroso das faturas de energia.
3. Sistemas Digitais Confiáveis: Uso de ferramentas de monitoramento para auditoria dos créditos junto à concessionária.

#### 4.3 IMPACTOS INSTITUCIONAIS, SOCIAIS E TERRITORIAIS

A implementação do sistema fotovoltaico como infraestrutura sociotécnica reorganiza as rotinas internas e consolida práticas de gestão baseadas em evidências informacionais. O monitoramento granular da geração e do consumo permite o remanejamento estratégico de cargas para períodos de maior produção solar. As análises indicaram que sistemas de bombeamento e irrigação podem ser sincronizados com os picos de geração, reduzindo a dependência da rede em horários de tarifação elevada e otimizando a eficiência operacional da instituição.

No plano institucional, a energia solar atua como catalisadora da cultura digital. A necessidade de interação com plataformas de monitoramento e dashboards analíticos

desenvolve competências informacionais essenciais na equipe administrativa. Esse processo aprimora a governança de dados e estimula a gestão do conhecimento, conforme proposto por Nonaka e Takeuchi (1995), uma vez que indicadores de desempenho energético deixam de ser registros técnicos isolados e passam a constituir ativos estratégicos integrados ao fluxo de tomada de decisão.

Sob a perspectiva territorial, o sistema contribui para a sustentabilidade urbana de Manaus ao mitigar a pressão sobre a rede elétrica local. Em áreas com alta concentração de equipamentos coletivos e centros esportivos, a geração distribuída de médio porte reduz a carga sobre transformadores e infraestruturas de distribuição. De acordo com a IRENA (2022), essa descentralização energética melhora a estabilidade do sistema e posterga a necessidade de investimentos públicos em expansão de rede, reforçando o papel das instituições privadas no planejamento urbano sustentável.

Por fim, a materialidade dos painéis fotovoltaicos gera externalidades sociais e educativas. A visibilidade da infraestrutura desperta o interesse dos usuários e cria oportunidades para ações de conscientização ambiental e letramento energético. Assim, o impacto territorial ultrapassa a redução de emissões e se manifesta na ressignificação do espaço construído e no fortalecimento da responsabilidade socioambiental da instituição perante a comunidade.

#### **4.4 GOVERNANÇA CORPORATIVA E INTELIGÊNCIA FISCAL NA GESTÃO ENERGÉTICA**

Os resultados demonstram que a energia solar fotovoltaica, quando incorporada como instrumento de governança, amplia a capacidade de planejamento estratégico plurianual da instituição. A economia projetada não apenas reduz custos operacionais, mas também altera o modelo de negócio, tornando-o menos dependente de receitas variáveis e mais orientado por dados reais de desempenho.

A análise evidenciou que a inteligência fiscal é um pilar crítico. Os benefícios da geração distribuída previstos na Lei nº 14.300/2022 não são automáticos e dependem de uma interpretação normativa rigorosa e de práticas administrativas consistentes. Inconsistências identificadas em registros preliminares de créditos reforçam a necessidade de auditorias periódicas e da integração sistêmica entre os setores jurídico, financeiro e de manutenção. Conforme aponta a OECD (2021), incentivos fiscais voltados à transição energética só atingem sua eficácia plena quando amparados por uma governança interna eficiente.

Nesse cenário, a energia solar atua como um mecanismo de racionalidade fiscal. A tecnologia, isoladamente, não garante eficiência. Esta emerge da coordenação entre o ativo técnico, o planejamento tributário e sistemas de informação confiáveis. A infraestrutura fotovoltaica, portanto, consolida-se como um componente estratégico da governança corporativa, capaz de integrar decisões energéticas, administrativas e fiscais em um modelo de gestão orientado por evidências.

#### 4.5 GESTÃO DO CONHECIMENTO, CULTURA DIGITAL E APRENDIZAGEM ORGANIZACIONAL

A transição para a geração própria de energia desencadeia um processo de aprendizagem organizacional que ultrapassa a dimensão física da infraestrutura. O monitoramento contínuo da produção funciona como um catalisador da cultura digital, incorporando dashboards e fluxos de dados em tempo real às rotinas da alta gestão. Esse cenário transforma dados operacionais brutos em insumos estratégicos, fortalecendo a gestão do conhecimento, conforme proposto por Nonaka e Takeuchi (1995), ao permitir que a instituição antecipe demandas e otimize processos de forma proativa.

Sob a perspectiva de Ostrom (2010), a gestão desse recurso energético configura um processo policêntrico e socialmente distribuído, que envolve a cooperação entre gestores, técnicos e usuários. A presença da infraestrutura no cotidiano do clube gera um efeito vitrine, estimulando o letramento energético e a conscientização ambiental entre os frequentadores.

Dessa forma, a infraestrutura sociotécnica fotovoltaica reconfigura não apenas a matriz elétrica da organização, mas também as relações institucionais e informacionais que sustentam sua operação. O resultado é a consolidação de um modelo de gestão urbana inteligente, resiliente e integrado tecnologicamente, no qual a aprendizagem organizacional emerge como elemento central para a sustentabilidade e a eficiência de longo prazo.

#### 4.6 SÍNTESE CRÍTICA DOS ACHADOS

A análise integrada dos dados revela que a implementação do sistema fotovoltaico na instituição em Manaus-AM apresentou uma viabilidade multidimensional, sustentada pela interdependência entre os pilares técnico, econômico, institucional e territorial. A viabilidade técnica consolidou-se pela disponibilidade de superfícies subutilizadas com alta irradiância e ausência de sombreamento crítico, o que permitiu a plena integração de dispositivos de monitoramento digital, como inversores inteligentes e sensores de precisão. Paralelamente, a

viabilidade econômica foi confirmada pela capacidade de geração própria para o atendimento de cargas críticas e pela redução de picos de demanda. Esse desempenho, aliado ao aproveitamento estratégico de incentivos fiscais, resultou em uma economia anual projetada de aproximadamente R\$ 180 mil.

Do ponto de vista da governança, a viabilidade institucional mostrou-se condicionada à existência de rotinas administrativas para a gestão de créditos e à integração sistêmica entre os setores financeiro, jurídico e de manutenção. A eficácia dessa infraestrutura sociotécnica depende do uso de sistemas de informação confiáveis para auditoria energética e acompanhamento das flutuações regulatórias. Complementarmente, a viabilidade territorial manifestou-se na requalificação de telhados existentes, transformando espaços ociosos em ativos produtivos e reduzindo a pressão sobre a infraestrutura da rede elétrica urbana. Esse resultado posiciona a instituição como agente ativo na sustentabilidade das cidades.

A articulação desses fatores indica que a transição energética não constitui um evento puramente tecnológico, mas uma reconfiguração profunda da estratégia organizacional. A cooperação observada entre gestores, técnicos e fornecedores confirma que a robustez dessa infraestrutura depende de arranjos institucionais sólidos e de um ambiente regulatório estável. Em síntese, os achados demonstram que o sistema fotovoltaico qualifica o processo decisório, otimiza o fluxo de caixa e fortalece a resiliência institucional, desde que sustentado por processos administrativos consistentes, sistemas de informação integrados e uma cultura organizacional orientada por dados.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos demonstram que a energia solar fotovoltaica deve ser compreendida como uma infraestrutura sociotécnica estratégica, capaz de integrar de forma sistêmica as dimensões administrativa, tecnológica e regulatória no contexto da transição energética. No estudo de caso analisado em Manaus, Amazonas, a adoção do sistema reduziu custos operacionais, ampliou a autonomia energética e fortaleceu a governança institucional. Esses efeitos contribuem diretamente para o cumprimento do artigo 225 da Constituição Federal de 1988, evidenciando o papel das instituições privadas na preservação do equilíbrio ambiental. A efetividade desses benefícios mostrou-se dependente da convergência entre a disponibilidade física de superfícies, o regime tarifário local, a capacidade administrativa de gestão e a estabilidade do marco regulatório nacional, o que impede generalizações automáticas para outros contextos.

A análise integrada evidenciou que a energia solar atua como vetor de modernização ao reorganizar rotinas administrativas e qualificar o uso do território urbano. No clube estudado, essa dinâmica se materializou na conversão de telhados ociosos em ativos energéticos produtivos, na redução de picos de demanda e na mitigação de oscilações elétricas por meio de rotinas de monitoramento contínuo. A comparação técnica entre tecnologias reforçou que as escolhas de engenharia refletem prioridades da governança relacionadas à previsibilidade e à durabilidade, demonstrando que a viabilidade técnica é indissociável da capacidade organizacional de transformar infraestruturas existentes em recursos estratégicos baseados em evidências.

Do ponto de vista econômico e tributário, o retorno do investimento calculado entre cinco e sete anos confirmou a relevância da política fiscal e dos incentivos introduzidos pela Lei nº 14.300/2022. Conforme indicado pela OECD (2021), verificou-se que incentivos fiscais dependem de uma governança interna consistente para gerar os resultados esperados. Falhas na gestão da informação e no registro de créditos podem comprometer a economia prevista, reforçando que a performance da tecnologia é condicionada por sistemas digitais de controle e bancos de dados estruturados, nos quais a tecnologia da informação e a gestão do conhecimento assumem papel central na validação financeira do projeto.

No plano socioambiental, a geração distribuída demonstrou ser um vetor de inovação social ao estimular o engajamento comunitário e consolidar uma cultura de sustentabilidade institucional. A coordenação entre múltiplos agentes, incluindo gestores, técnicos, fornecedores e usuários, revela que o funcionamento de sistemas complexos exige arranjos institucionais sólidos. Apesar dos desafios relacionados ao custo inicial e à complexidade normativa, os achados oferecem uma base empírica para compreender como organizações urbanas podem atuar como agentes ativos da transição energética, redefinindo as relações entre infraestrutura e território por meio do uso estratégico da informação.

Por fim, os resultados indicam que a energia solar desempenha papel fundamental na consolidação de cidades inteligentes ao articular infraestrutura tecnológica, sistemas digitais de monitoramento e práticas de gestão baseadas em dados. A transição energética transcende o processo puramente técnico e constitui uma transformação organizacional e territorial profunda. Conclui-se que a integração entre tecnologia, direito tributário e gestão da informação qualifica os processos decisórios e permite que instituições não estatais assumam protagonismo na construção de ecossistemas urbanos mais eficientes, inclusivos e sustentáveis.

## REFERÊNCIAS

- BIJKER, W. E.; HUGHES, T. P.; PINCH, T. (org.). *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology*. Cambridge: MIT Press, 2012.
- BRAMAN, S. *Change of State: Information, Policy, and Power*. Cambridge: MIT Press, 2006.
- BRASIL. [Constituição (1988)]. *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.
- BRASIL. Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. *Institui o Marco Legal da Geração Própria de Energia*. Brasília, DF: Presidência da República, 2022.
- CASTELLS, M. *A Sociedade em Rede*. 20. ed. São Paulo: Paz e Terra, 2019.
- CHOO, C. W. *The Knowing Organization: How Organizations Use Information to Construct Meaning, Create Knowledge, and Make Decisions*. 2. ed. Oxford: Oxford University Press, 2006.
- GEELS, F. W. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Research Policy*, v. 31, n. 8-9, p. 1257-1274, 2002.
- HALL, P.; KLITGAARD, R. *Energy Transitions: Lessons from History*. London: Routledge, 2012.
- JONES, A.; WARNER, M. Institutional governance and energy transitions. *Energy Policy*, v. 126, p. 256-266, 2019.
- KITCHIN, R. *The Data Revolution: Big Data, Open Data, Data Infrastructures and Their Consequences*. London: SAGE, 2014.
- NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. *The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*. New York: Oxford University Press, 1995.
- OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. *Environmental Fiscal Reform and Renewable Energy*. Paris: OECD Publishing, 2021.
- OSTROM, E. Polycentric systems for coping with collective action and global environmental change. *Global Environmental Change*, v. 20, p. 550-557, 2010.
- RELATÓRIO BRUNDTLAND. *Our Common Future*. Oxford: Oxford University Press, 1987.
- SMITH, T.; BROWN, J.; WILSON, K. Distributed energy and organizational strategy. *Renewable Energy Journal*, v. 145, p. 1014-1027, 2020.
- SOVACOOOL, B. K. *Energy & Ethics: Justice and the Global Energy Challenge*. London: Palgrave Macmillan, 2013.

STAR, S. L.; RUHLEDER, K. Steps toward an ecology of infrastructure: design and access for large information spaces. *Information Systems Research*, v. 7, n. 1, p. 111-134, 1996.

STAR, S. L. The ethnography of infrastructure. *American Behavioral Scientist*, v. 43, n. 3, p. 377-391, 1999.

STIGLITZ, J. E. Information and the change in the paradigm in economics. Nobel Prize Lecture, 2002.

VAN DIJCK, J.; POELL, T.; DE WAAL, M. *The Platform Society: Public Values in a Connective World*. Oxford: Oxford University Press, 2018.

WEILL, P.; ROSS, J. W. *Governança de TI: Tecnologia da Informação*. São Paulo: M. Books, 2006.