

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS

E DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

**Eficiência e Potencial da Geração Fotovoltaica: Estudo de
Caso da UFSCar Frente a Outras IES**

Ana Laura Ferraz Andreghetto

Trabalho de Graduação apresentado ao
Departamento de Engenharia Química da
Universidade Federal de São Carlos

Orientadora: Profa. Dra. Gabriela Cantarelli Lopes

São Carlos – SP

2025

BANCA EXAMINADORA

Trabalho de Graduação apresentado no dia 07 de Julho de 2025 perante a seguinte banca examinadora:

Orientadora: Profa. Dra. Gabriela Cantarelli Lopes

Departamento de Engenharia Química - Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

Convidada: Profa. Dra. Paula Rúbia Ferreira Rosa

Departamento de Engenharia Química - Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

Professor da Disciplina: Prof. Dr. Luís Augusto Martins Ruotolo

Departamento de Engenharia Química - Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

AGRADECIMENTOS

Reconheço que nenhuma história se escreve sozinha. Assim, deixo aqui meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas e instituições que, direta ou indiretamente, contribuíram para esta conquista.

Agradeço primeiramente à minha mãe, Adriana Ferraz e Santos, pelo amor, apoio incondicional e incentivo constante ao longo de toda minha formação enquanto pessoa e enquanto engenheira. Você sempre foi e sempre será minha maior referência.

Em seguida, ao meu pai, Roberto Aparecido Alves Andreghetto, pelo amor, confiança e ambição durante minha vida. Você me torna mais forte e melhor com tudo que me ensina.

Agradeço à minha melhor amiga, Anna Prata Saito, por tornar a vida mais leve e por tudo que você representa. Ao meu amigo, Pedro Castro, por confiar em mim desde o primeiro dia na UFSCar, me acompanhar e me fazer crescer tanto, você me inspira.

Agradeço aos meus amigos, pelo companheirismo e por tudo que vocês significam pra mim: Isabela Begnami, Milena Moura, Gustavo Rodrigues, Mateus Anselmo, Rodrigo Castro, Luiza Netto, Angélica Iglesias, Júlia De Marchi, Juliana Moreno, Gabriel Alcântara e Dayana Moraes. Vocês são a melhor representação de “lar” em São Carlos que eu poderia sonhar.

Agradeço à minha família por todo apoio e incentivo até aqui. Agradeço à todos os professores pelo papel fundamental na minha formação e de tantos outros estudantes. Aos professores e servidores da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), pela excelência no ensino e pelo comprometimento com a formação de seus alunos.

À minha orientadora, Profa. Dra. Gabriela Cantarelli Lopes, por sua orientação generosa, paciência e dedicação. Sua confiança em mim e seu conhecimento técnico foram fundamentais para a realização deste trabalho e para o meu crescimento acadêmico e pessoal. À Profa. Dra. Paula Rúbia Ferreira Rosa e ao Prof. Dr. Luís Augusto Martins Ruotolo pelo suporte, pela oportunidade e pelas ricas contribuições, especialmente ao término da minha graduação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa no qual este trabalho está inserido.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho. A cada palavra de incentivo, gesto de apoio ou colaboração, minha mais profunda gratidão.

RESUMO

O trabalho analisa a implementação de sistemas fotovoltaicos em instituições de ensino superior (IES), com foco na UFSCar campus São Carlos. Uma análise bibliométrica foi conduzida nas bases de dados *Scopus* e *Google Scholar*, utilizando ferramentas como *Publish or Perish*, *VOSviewer* e *Excel*, a fim de identificar as tendências científicas e acadêmicas sobre a adoção de energia solar em ambientes universitários. Os resultados dessa análise também foram utilizados para selecionar campus universitários globalmente para estudo de caso e comparação com a instalação fotovoltaica da UFSCar. A pesquisa examinou detalhadamente instalações fotovoltaicas em universidades do Reino Unido, Turquia, Espanha, EUA, Índia e Itália, já que tais países destacaram-se como os principais em relação a produção acadêmica em número de publicações e citações. Este estudo comparativo considerou aspectos técnicos, econômicos e ambientais das instalações, revelando uma variação significativa em capacidade instalada (50kWp a 4,4 MWp), níveis de autossuficiência energética entre 12% e 50%, e períodos de *payback* variando de 2 a 11 anos, além de diferentes modelos de financiamento e incentivos governamentais, reforçando a importância dessas iniciativas. A análise do campus São Carlos da UFSCar revelou consumo energético anual superior a 8 GWh e aborda os dados de iniciativas já implementadas no campus, como usinas solares fotovoltaicas e modernização de iluminação, que atendem cerca de 12.5% da energia consumida pelo campus em 2022. Além disso, a análise identificou como fatores críticos para o sucesso a necessidade de parcerias estratégicas e investimentos substanciais, a importância de políticas públicas e incentivos governamentais, a integração com outros aspectos de sustentabilidade (como CO₂, água e resíduos), e o fundamental engajamento da comunidade universitária. Como recomendações principais, o estudo sugere a instalação em mais prédios do campus, a elaboração de uma base de dados mais completa sobre os indicadores de sustentabilidade, aumento do monitoramento e divulgação das instalações existentes, busca por parcerias estratégicas para expansão do sistema fotovoltaico e o desenvolvimento de uma abordagem geral da sustentabilidade no campus. Assim, recomenda-se que a UFSCar desenvolva uma estratégia mais abrangente de sustentabilidade, utilizando as experiências internacionais como referência e adaptando-as à sua realidade local, considerando suas particularidades e potencialidades específicas.

Palavras-chave: energia solar fotovoltaica; universidades sustentáveis; análise bibliométrica; transição energética; UFSCar.

ABSTRACT

The study analyzes the implementation of photovoltaic systems in higher education institutions (HEIs), focusing on UFSCar's São Carlos campus. A bibliometric analysis was conducted using the Scopus and Google Scholar databases, employing tools such as Publish or Perish, VOSviewer, and Excel to identify scientific and academic trends regarding the adoption of solar energy in university settings. The results of this analysis were also used to select university campuses globally for case study and comparison with UFSCar's photovoltaic installation. The research thoroughly examined photovoltaic systems at universities in the United Kingdom, Turkey, Spain, the USA, India, and Italy, as these countries stood out in terms of academic output, both in number of publications and citations. This comparative study considered technical, economic, and environmental aspects of the systems, revealing significant variation in installed capacity (from 50 kWp to 4.4 MWp), energy self-sufficiency levels ranging from 12% to 50%, and payback periods between 2 and 11 years, along with different funding models and government incentives, reinforcing the importance of such initiatives. The analysis of UFSCar's São Carlos campus revealed an annual energy consumption exceeding 8 GWh and presents data from existing initiatives on campus, such as photovoltaic power plants and lighting modernization, which accounted for around 12.5% of the campus's energy consumption in 2022. Furthermore, the analysis identified critical success factors including the need for strategic partnerships and substantial investments, the importance of public policies and government incentives, integration with other sustainability aspects (such as CO₂, water, and waste), and the essential engagement of the university community. As main recommendations, the study suggests installing systems on more campus buildings, creating a more complete database on sustainability indicators, increasing monitoring and dissemination of the existing systems, seeking strategic partnerships for expanding the photovoltaic system, and developing a comprehensive sustainability approach on campus. Therefore, it is recommended that UFSCar develop a more comprehensive sustainability strategy, using international experiences as a reference and adapting them to its local reality, considering its specific characteristics and potential.

Keywords: photovoltaic solar energy; sustainable universities; bibliometric analysis; energy transition; UFSCar.

SUMÁRIO

BANCA EXAMINADORA	2
AGRADECIMENTOS	3
RESUMO	4
ABSTRACT	5
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE ABREVIACÕES	10
1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	12
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
3.1. ENERGIA NO MUNDO	13
3.2. CENÁRIO ENERGÉTICO DO BRASIL	16
3.3. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	22
3.4. INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR	25
4. MÉTODOS	26
4.1. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	26
4.2. FERRAMENTAS UTILIZADAS	27
4.3. COMPARAÇÃO GOOGLE SCHOLAR E SCOPUS	28
4.4. PALAVRAS-CHAVES	29
4.5. TRABALHOS SELECIONADOS	30
5. RESULTADOS	30
5.1. TRATAMENTO E ANÁLISE DE DADOS	30
5.2. TRABALHOS SELECIONADOS	39
5.2.1. REINO UNIDO	39
5.2.2. TURQUIA	41
5.2.3. ESPANHA	43
5.2.4. ESTADOS UNIDOS	46
5.2.5. ÍNDIA	47
5.2.6. ITÁLIA	49
5.2.7. BRASIL	51
5.3. UFSCar	54
5.4. COMPARATIVO	60
5.5. POLÍTICAS E INCENTIVOS	64
6. CONCLUSÕES	65
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÃO DE TRABALHO FUTURO	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Consumo de energia per capita por país	14
Figura 2 - Investimentos globais no setor elétrico por categoria (bilhões de dólares)	15
Figura 3 - Consumo de energia elétrica no Brasil ao longo dos anos	17
Figura 4 - Evolução da participação por fonte no Brasil	17
Figura 5 - Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil	18
Figura 6 - Ranking estadual do Brasil de potência instalada em sistemas fotovoltaicos	19
Figura 7 - Irradiação solar no Brasil	20
Figura 8 - Evolução do preço da energia fotovoltaica	21
Figura 9 - Representação do efeito fotovoltaico dentro de uma célula fotovoltaica	23
Figura 10 - Representação dos componentes de um painel fotovoltaico	23
Figura 11 - Resultado sobre utilização e recorrência de palavras-chaves	31
Figura 12 - Resultado sobre países com mais publicações sobre o tema	32
Figura 13 - Evolução temporal de publicações sobre sistemas fotovoltaicos em IES	33
Figura 14 - Evolução temporal de publicações sobre campus universitários referências em energia fotovoltaica	34
Figura 15 - Evolução temporal de número de publicações por país sobre IES com energia fotovoltaica	37
Figura 16 - Evolução temporal de número de publicações por país sobre decretos ou incentivos	39
Figura 17 - Análise do consumo do campus universitário	41
Figura 18 - Consumo de energia da Universidade ICFAI	49
Figura 19 - Economia estimada por IES brasileira analisada (cenário II)	52

Figura 20 - Economia estimada por IES brasileira analisada (cenário I)	53
Figura 21 - Perfil energético da UFSCar em 2018	56
Figura 22 - Consumo de energia elétrica em MWh em 2023 no horário de ponta e fora de ponta	56
Figura 23 - Fotografias de usinas fotovoltaicas instaladas na área norte da UFSCar	57
Figura 24 - Relação entre principais pilares da sustentabilidade	67
Figura 25 - IES consideradas no estudo com publicações sobre ações e iniciativas de sustentabilidade	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Métricas disponíveis via <i>Publish or Perish</i> utilizadas	28
Tabela 2 - Relação entre o número de publicações e de citações por país sobre IES com energia fotovoltaica	36
Tabela 3 - Relação entre número de publicações e de citações por país sobre decretos e incentivos	38
Tabela 4 - Pegada de energia da Universidade Keele em 2015/2016 (ano acadêmico)	40
Tabela 5 - Parâmetros dos painéis fotovoltaicos (Turquia)	42
Tabela 6 - Análise econômica do sistema fotovoltaico (Turquia)	43
Tabela 7 - Parâmetros dos painéis solares fotovoltaicos (Espanha)	44
Tabela 8 - Parâmetros de viabilidade de energia por cenário (Espanha)	45
Tabela 9 - Análise relativa final dos cenários (Espanha)	45
Tabela 10 - Especificações do sistema fotovoltaico instalado em Celentano Hall (EUA)	46
Tabela 11 - Especificações dos painéis de energia fotovoltaica (Índia)	48
Tabela 12 - Comparativo entre sistemas (Itália)	50
Tabela 13 - Comparativo de ROI e payback nos cenários I e II	54
Tabela 14 - Consumo de energia elétrica em kWh de 2017 a 2023	55
Tabela 15 - Energia gerada por simulação para os departamentos do CCET	59
Tabela 16 - Comparação dos principais parâmetros entre instalações em IES	61

LISTA DE ABREVIACÕES

ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
CCET - Centro de Ciências Exatas
CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CONFAZ - Conselho Nacional de Política Fazendária
CPFL - Companhia Paulista de Força e Luz
CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
DEBE - Departamento de Ecologia e Biologia Evolutiva
DEciv - Departamento de Engenharia Civil
DEE - Departamento de Engenharia Elétrica
DEFMH - Departamento de Educação Física e Motricidade Humana
DEP - Departamento de Engenharia de Produção
DEMa - Departamento de Engenharia de Materiais
DEMec - Departamento de Engenharia Mecânica
DL - Departamento de Letras
DM - Departamento de Matemática
DC - Departamento de Computação
DCAm - Departamento de Ciências Ambientais
DEs - Departamento de Estatística
DQ - Departamento de Química
DF - Departamento de Física
EPE - Empresa de Pesquisa Energética
FAI - Fundação de Apoio Institucional ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico
IEA - International Energy Agency
IES - Instituições de Ensino Superior
ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU - Organização das Nações Unidas
PEE - Programa de Eficiência Energética
ProDin - Projeto de Desenvolvimento Institucional
TIR - Taxa Interna de Retorno
UFSCar - Universidade Federal de São Carlos

1. INTRODUÇÃO

“Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável são um apelo global à ação para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e de prosperidade. Estes são os objetivos para os quais as Nações Unidas estão contribuindo a fim de que possamos atingir a Agenda 2030 no Brasil.” (ONU, 2015).

A demanda energética global apresenta uma tendência crescente, impulsionada pelo desenvolvimento econômico das nações e pelo aumento populacional. Dados históricos mostram que o consumo global de energia tem aumentado consistentemente nas últimas cinco décadas. Este cenário demanda soluções energéticas capazes de atender às necessidades básicas sem comprometer recursos futuros (RITCHIE et al., 2021).

O consumo de energia é a principal fonte de emissões de gases do efeito estufa dentre as atividades e demandas humanas, em torno de 73% das emissões globais (CETESB, 2021). Tal demanda inclui questões como transporte, eletricidade, atividades industriais, entre outras. Frente à necessidade urgente de mitigar os impactos ambientais e reduzir a dependência de combustíveis fósseis, torna-se essencial promover alternativas energéticas sustentáveis que contribuam para a transição energética global.

Considerando esse cenário energético global, a energia solar fotovoltaica emerge como uma alternativa promissora (KUMAR et al., 2023), alinhada ao 7º Objetivo de Desenvolvimento Sustentável da ONU, que visa garantir acesso à energia limpa e acessível para todos. Sua aplicação tem se expandido amplamente, tanto em escala residencial quanto institucional, devido ao seu potencial de redução de impactos ambientais, viabilidade técnica e crescente viabilidade econômica.

As instituições de ensino superior exercem um papel transformador tanto no âmbito institucional quanto no desenvolvimento sustentável de suas regiões (WAKKEE, 2019). Além de centros de produção de conhecimento, pesquisa e inovação, as universidades representam espaços estratégicos para a implementação de tecnologias sustentáveis e práticas exemplares, que podem ser replicadas em outros setores da sociedade, devido à sua complexa demanda de energia e funcionamento. Em resposta a essa capacidade de influência, diversas universidades têm implementado iniciativas educacionais, incluindo atividades curriculares e extracurriculares, visando desenvolver em seus estudantes habilidades e consciência ambiental (SADY et al., 2019), e estas instituições têm buscado estabelecer estruturas

educacionais que integrem completamente os princípios de sustentabilidade em seus programas de ensino (BOARIN, 2020).

Assim, fica evidente que as universidades desempenham um papel crucial nesta transição, não apenas como centros de pesquisa e inovação, mas também atuando diretamente na formação de cidadãos com hábitos sustentáveis e consciência coletiva. Diante disso, analisar e compreender as práticas adotadas por instituições de ensino superior em relação à energia solar fotovoltaica torna-se essencial para o avanço da sustentabilidade.

2. OBJETIVOS

Este trabalho contribui para o projeto de pesquisa financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), intitulado "Aproveitamento de Resíduos Sólidos Urbanos Orgânicos para Produção de Biogás e Integração com Energia Fotovoltaica: Impulsionando a Transição Energética Sustentável na UFSCar" e tem como objetivo principal apresentar possíveis tendências e inovações no âmbito acadêmico e científico sobre instalações de energia fotovoltaica em universidades, além de boas práticas e aprendizados identificados globalmente, aderentes à realidade da UFSCar. Além disso, destacam-se como objetivos específicos:

- Realizar uma análise bibliométrica sobre sistemas fotovoltaicos em ambientes universitários, identificando tendências no âmbito acadêmico e científico, práticas adotadas globalmente e possíveis aprendizados ou melhorias;
- Comparar sistemas fotovoltaicos implementados em diferentes universidades ao redor do mundo, analisando aspectos técnicos, econômicos e ambientais;
- Identificar desafios e oportunidades sobre energia fotovoltaica em campus universitários;
- Analisar parcerias e investimentos privados além de políticas e incentivos governamentais relacionados à implementação de energia solar em universidades em diferentes países;
- Propor uma abordagem geral para tornar o campus da Universidade Federal de São Carlos mais sustentável, considerando tendências, estratégias, inovações, aprendizados e oportunidades.
- Consolidar considerações para que a UFSCar possa avançar em direção a um campus mais sustentável.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

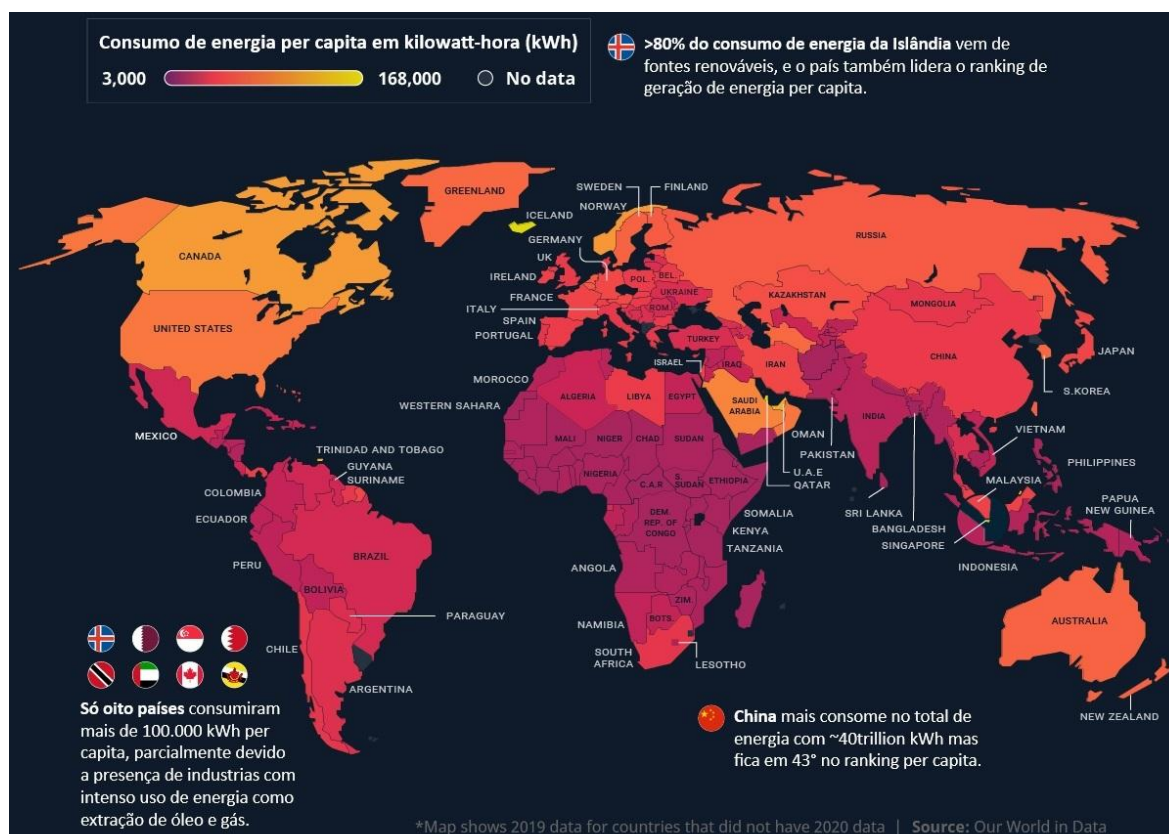
3.1. ENERGIA NO MUNDO

A sustentabilidade representa um dos maiores desafios da sociedade contemporânea, caracterizando-se como a capacidade de atender às necessidades presentes sem comprometer as gerações futuras. No centro desta questão, o consumo energético emerge como um fator crítico que influencia diretamente as três dimensões fundamentais da sustentabilidade: ambiental, social e econômica.

O setor energético é responsável por aproximadamente dois terços das emissões globais de gases de efeito estufa, principalmente devido à predominância de combustíveis fósseis na matriz energética mundial (NEJAT et al., 2015). Este cenário tem impulsionado uma transição energética global em direção a fontes renováveis, como solar e eólica, visando reduzir o impacto ambiental e combater as mudanças climáticas.

Nas últimas quatro décadas desde 1980, o consumo de energia global dobrou de 77 trilhões kilowatt-hora (kWh) para aproximadamente 155 trilhões kWh. Porém, mesmo com a crescente demanda de energia de economias emergentes, o consumo de energia por pessoa só cresceu em torno de 14% (BHUTADA, 2022). Na Figura 1 têm-se o consumo de energia per capita por país em kilowatt-hora, o que está alinhado com essa informação.

Figura 1 - Consumo de energia per capita por país



Fonte: Adaptado de BHUTADA, 2022.

A Islândia lidera a lista ilustrada acima na Figura 1 e também é o principal gerador de eletricidade per capita. Isso devido à abundância de recursos geotérmicos do país, as usinas geotérmicas e hidrelétricas respondem por mais de 99% da geração de eletricidade da Islândia. Muitos dos 10 principais países são grandes produtores de energia ou economias fortemente industrializadas, como por exemplo, Arábia Saudita, Canadá, Kuwait, Noruega e Catar estão entre os 15 maiores países produtores de petróleo do mundo. Da mesma forma, Trinidad e Tobago é o maior produtor de petróleo e gás do Caribe e um dos maiores exportadores globais de amônia.

A presença de indústrias com uso intensivo de energia, como a extração de petróleo e gás, é provavelmente um fator importante que influencia o uso total e per capita de energia nesses países.

No contexto social, o acesso à energia constitui um indicador fundamental de desenvolvimento humano. Aproximadamente 770 milhões de pessoas ainda vivem sem acesso à eletricidade, principalmente em regiões rurais de países em desenvolvimento (IEA, 2023). A democratização do acesso à energia limpa e acessível representa um dos Objetivos

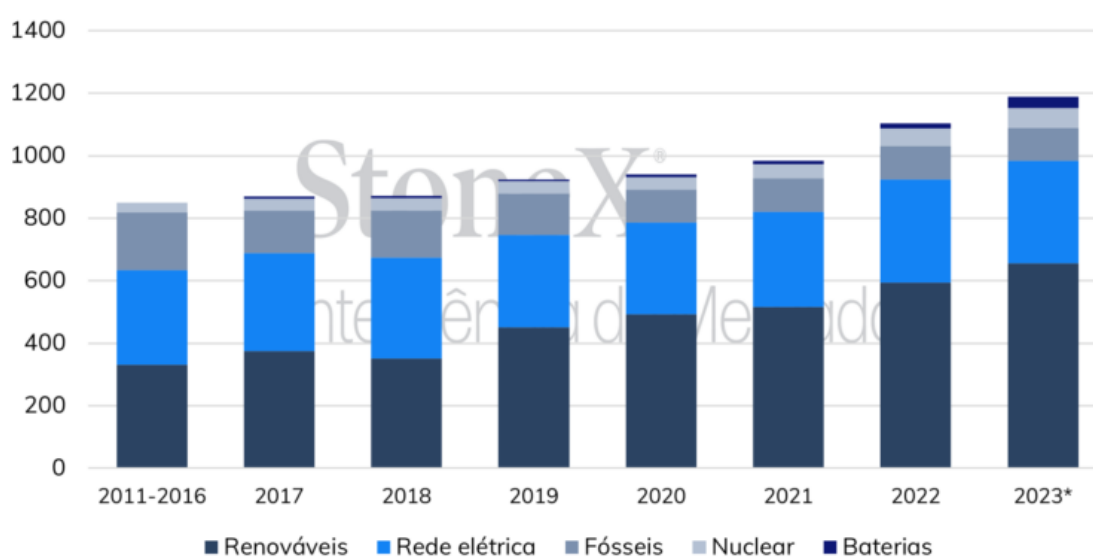
de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, destacando sua importância para a redução da pobreza e melhoria da qualidade de vida.

Esse panorama contemporâneo evidencia uma preocupação crescente com o esgotamento dos recursos não renováveis, paralelamente aos impactos das mudanças climáticas resultantes da interferência humana nos ecossistemas naturais. Como resposta a estes desafios globais, a Organização das Nações Unidas estabeleceu uma agenda com 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, visando resultados concretos até 2030.

A energia solar emerge neste cenário como uma alternativa promissora, apresentando potencial significativo para contribuir com o alcance destas metas globais de desenvolvimento sustentável, ao combinar capacidade de geração em larga escala com baixo impacto ambiental.

Economicamente, o consumo energético está intrinsecamente ligado ao crescimento econômico e ao desenvolvimento industrial. Contudo, o desafio atual reside em dissociar este crescimento do aumento proporcional no consumo de energia, através da eficiência energética e de tecnologias mais sustentáveis. Estima-se que investimentos em eficiência energética poderiam reduzir em até 40% as emissões necessárias para atingir as metas do Acordo de Paris. Na Figura 2, destaca-se o aumento do investimento global em geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis.

Figura 2 - Investimentos globais no setor elétrico por categoria (bilhões de dólares)



Fonte: IEA, 2023.

A transformação digital e a Quarta Revolução Industrial trazem novas oportunidades e desafios para a sustentabilidade energética. Por um lado, tecnologias como a inteligência artificial podem otimizar o consumo energético; por outro, o crescente uso de *data centers* e dispositivos eletrônicos aumenta a demanda por energia (IEA, 2024).

O consumo consciente e a educação ambiental desempenham papel crucial neste contexto. Mudanças comportamentais e escolhas individuais mais sustentáveis podem reduzir significativamente o consumo energético residencial, que representa cerca de 20% do consumo global de energia.

As instituições de ensino superior têm se destacado como laboratórios vivos para práticas sustentáveis, implementando sistemas de energia renovável, medidas de eficiência energética e programas de conscientização. Estas iniciativas não apenas reduzem o impacto ambiental das instituições, mas também formam cidadãos mais conscientes das questões sustentáveis.

O futuro da sustentabilidade depende da integração efetiva entre políticas públicas, inovações tecnológicas e mudanças comportamentais.

Portanto, o consumo energético representa um eixo central na busca pela sustentabilidade global. Sua otimização e transição para fontes mais limpas são fundamentais para alcançar as metas climáticas globais e garantir um desenvolvimento verdadeiramente sustentável para as futuras gerações.

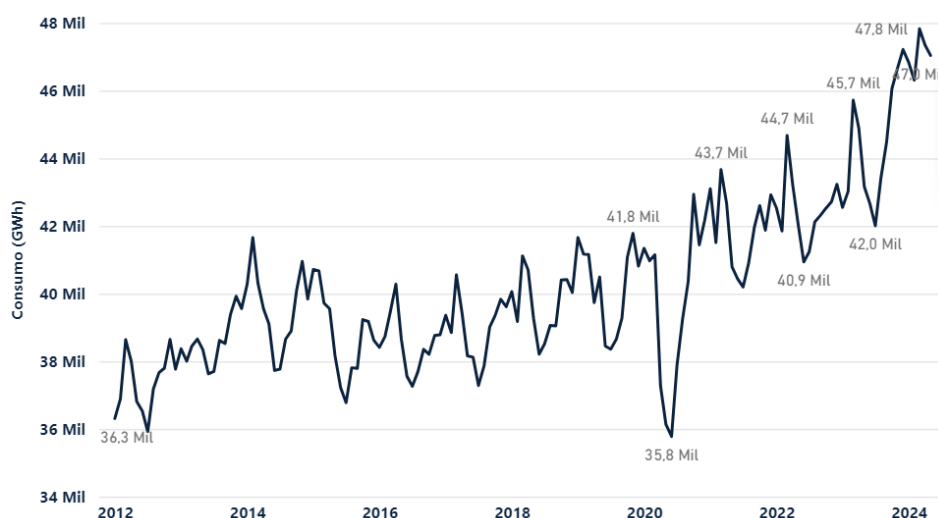
3.2. CENÁRIO ENERGÉTICO DO BRASIL

A dimensão continental do Brasil e sua expressiva população resultam em uma significativa demanda energética.

O consumo energético no país apresenta variações significativas tanto geográficas quanto temporais. A região Sudeste concentra aproximadamente metade da demanda nacional, com São Paulo respondendo por 30% do consumo total.

Conforme Figura 3, as análises recentes demonstram um crescimento significativo no consumo energético brasileiro, que evoluiu de 36,3 mil GWh em 2012 para 47,8 mil GWh em 2024, representando um aumento de 32%.

Figura 3 - Consumo de energia elétrica no Brasil ao longo dos anos

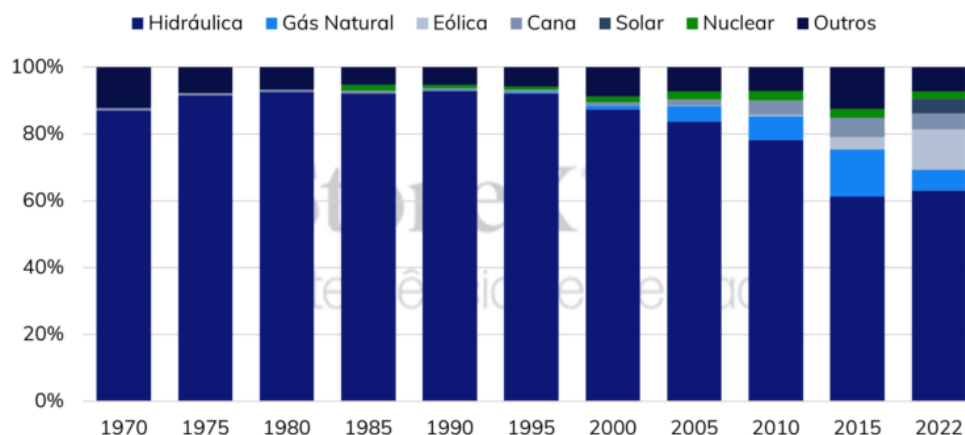


Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2024.

Em resposta a estes desafios, o governo brasileiro tem implementado políticas para diversificar a matriz energética, com destaque para o incentivo à energia fotovoltaica conforme ilustrado nas Figura 4 e 5, em que nota-se o crescimento da participação de fontes de energia renováveis e da potência instalada em sistemas fotovoltaicos no Brasil respectivamente.

Um marco regulatório importante foi estabelecido pela Resolução Normativa nº 482/2012 da ANEEL, posteriormente atualizada pela Resolução nº 1.059/2023, que estabeleceu diretrizes para microgeração (até 75 kW) e minigeração (75 kW a 5 MW) distribuída e sistemas de compensação energética (LUNA et al. 2019).

Figura 4 - Evolução da participação por fonte no Brasil



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2024.

Figura 5 - Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil



Fonte: ABSOLAR, 2025.

O potencial brasileiro para energia solar é considerável. Estudos da EPE indicam que apenas o setor residencial poderia gerar 230% de seu consumo através de sistemas fotovoltaicos. Em 2018, o país atingiu 250 MW de potência instalada em sistemas distribuídos, com projeções de alcançar 13% da demanda residencial até 2050 através desta modalidade (LUNA et al. 2019).

Minas Gerais lidera o ranking de instalações fotovoltaicas distribuídas, seguido por São Paulo e Rio Grande do Sul. Fatores como tarifas elevadas, condições climáticas favoráveis e políticas estaduais de incentivo contribuem para estas diferenças regionais, conforme Figura 6.

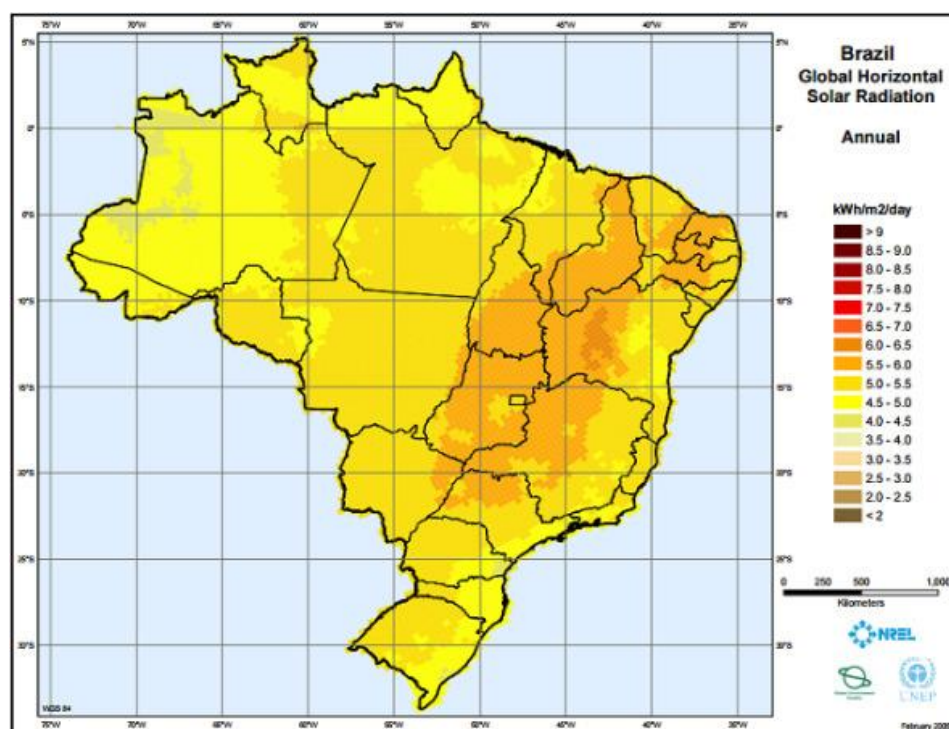
Figura 6 - Ranking estadual do Brasil de potência instalada em sistemas fotovoltaicos



Fonte: ABSOLAR, 2025.

No contexto brasileiro, a energia fotovoltaica tem experimentado crescimento expressivo, impulsionado por políticas de incentivo como o sistema de compensação de energia e linhas de financiamento específicas. O país possui alto potencial solar, como pode ser visto na Figura 7, com níveis de irradiação solar superiores aos de muitos países europeus onde a tecnologia já é amplamente difundida.

Figura 7 - Irradiação solar no Brasil



Fonte: National Renewable Energy Laboratory, 2016.

O governo tem implementado diversas medidas de estímulo, incluindo isenções fiscais, descontos em tarifas de transmissão e distribuição e programas de financiamento específicos. Entretanto, ainda existem desafios regulatórios a serem superados para potencializar o crescimento deste mercado, como a necessidade de maiores incentivos financeiros e a possibilidade de comercialização do excedente de energia gerada. Para isso, é necessário ter um preço competitivo com o mercado. A Figura 8 representa a tendência de preço médio da energia fotovoltaica nos últimos anos, destacando o preço competitivo dessa fonte de energia nos últimos anos, o que contribui para a viabilidade econômica das instalações e torna mais atrativo investir nessa tecnologia.

Figura 8 - Evolução do preço da energia fotovoltaica



Fonte: ABSOLAR, 2025.

Os incentivos à energia solar no Brasil têm se expandido através de diversas iniciativas estaduais e municipais. Um marco significativo ocorreu em abril de 2015, quando o Conselho Nacional de Política Fazendária estabeleceu o convênio ICMS/16, permitindo que os estados implementassem isenções fiscais sobre a energia elétrica gerada por sistemas fotovoltaicos (CONFAZ, 2015).

Atualmente, essa política de benefícios fiscais se estende por todo o território nacional, incluindo todos os estados e o Distrito Federal. Complementarmente, diversos municípios implementaram programas de desconto no IPTU para instalações solares, com regulamentações específicas em cada localidade (ABSOLAR, 2025).

O estado do Piauí implementou um programa pioneiro voltado para servidores estaduais, oferecendo financiamento com desconto em folha para aquisição de sistemas fotovoltaicos. Modelo similar foi adotado no Rio de Janeiro, onde a Lei 9.594/2022 estabeleceu condições especiais de financiamento para funcionários públicos, com margem consignável de até 40% (ABSOLAR, 2025).

O Espírito Santo, através do Programa Gerar, focou na diversificação da matriz energética e no desenvolvimento econômico, oferecendo incentivos para empresas do setor de energias renováveis (ABSOLAR, 2025).

Já São Paulo estabeleceu uma parceria estratégica com a Absolar, visando o desenvolvimento do setor solar e tecnologias correlatas, incluindo sistemas de

armazenamento e hidrogênio verde, além de ampliar os incentivos fiscais para o setor (ABSOLAR, 2025).

No contexto das instituições públicas, as universidades integram um setor que representa 3,9% do consumo energético paulista, superando setores como iluminação pública (1,94%) e administração pública direta (2,12%). Estes dados evidenciam a relevância do consumo energético das instituições de ensino superior no cenário estadual.

3.3. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

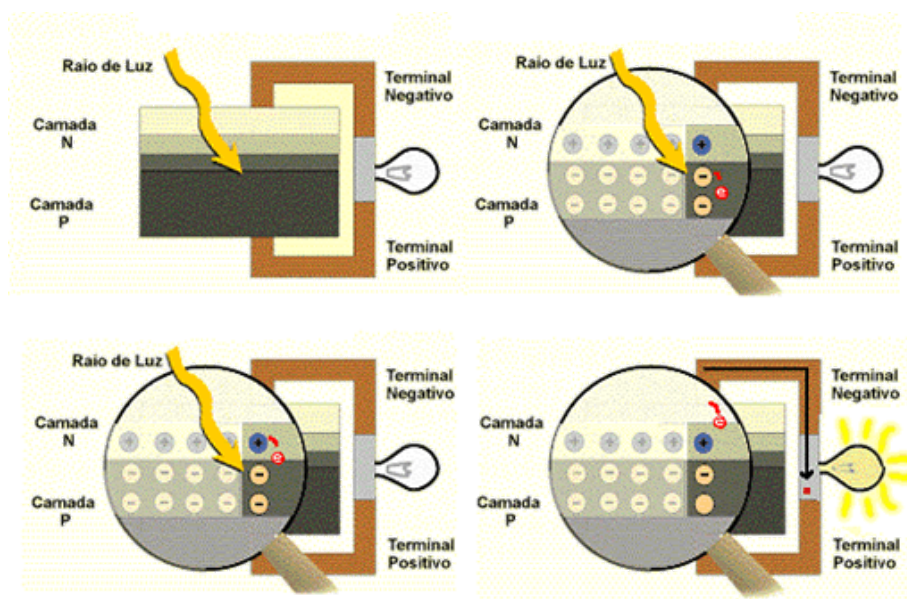
A energia fotovoltaica é um método de geração de energia elétrica que utiliza células solares para converter diretamente a radiação solar em eletricidade através do efeito fotovoltaico.

Conforme ilustrado na Figura 9, este fenômeno físico ocorre quando a luz solar incide sobre materiais semicondutores, geralmente o silício, que é tratado com impurezas específicas para formar duas camadas distintas: uma do tipo N, rica em elétrons livres, e outra do tipo P, caracterizada pela presença de lacunas (ausência de elétrons). A interface entre essas duas camadas forma a chamada junção PN, responsável pela criação de um campo elétrico interno (Portal Solar, 2020).

Quando a luz solar incide sobre a superfície da célula, os fótons presentes na radiação solar interagem com os átomos do material semicondutor. Se a energia do fóton for suficiente, ela é capaz de romper a ligação dos elétrons no átomo de silício, liberando-os e, ao mesmo tempo, gerando uma lacuna. Assim, forma-se um par elétron-lacuna. Esse par é separado pelo campo elétrico da junção: os elétrons são direcionados para a camada tipo N, enquanto as lacunas migram para a camada tipo P.

Ao se conectar um circuito externo à célula, os elétrons liberados fluem através desse circuito da camada N para a P, criando uma corrente elétrica contínua. Esse fluxo de elétrons é o que caracteriza a geração de eletricidade. Dessa forma, a célula fotovoltaica transforma diretamente a energia luminosa em energia elétrica, sem a necessidade de partes móveis ou combustão, resultando em um processo limpo, silencioso e com baixo impacto ambiental.

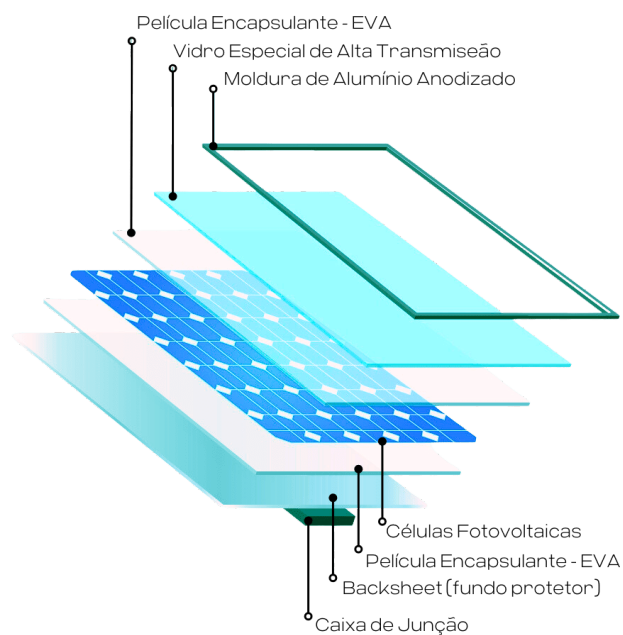
Figura 9 - Representação do efeito fotovoltaico dentro de uma célula fotovoltaica



Fonte: CRESESB, 2024.

Essas células são parte de painéis fotovoltaicos, conforme ilustrado na Figura 10. Os sistemas são compostos principalmente por painéis solares (módulos fotovoltaicos), inversores, que convertem a corrente contínua gerada pelos painéis em corrente alternada utilizável, e sistemas de montagem.

Figura 10 - Representação dos componentes de um painel fotovoltaico



Fonte: Sunergia, 2024.

Existem dois tipos principais de instalações fotovoltaicas: sistemas conectados à rede (*on-grid*) e sistemas isolados (*off-grid*). Os sistemas *on-grid* são os mais comuns em áreas urbanas e em locais com acesso à rede elétrica. Nesse modelo, a energia gerada pelos painéis solares é utilizada prioritariamente no local e o excedente é injetado na rede pública por meio de um sistema de compensação de energia. Esses sistemas dispensam o uso de baterias, o que reduz custos e simplifica a manutenção, mas dependem da rede elétrica para funcionar, ou seja, em caso de queda da rede, a geração também é interrompida por segurança.

Já os sistemas *off-grid* são independentes da rede elétrica e operam de forma autônoma. São indicados para locais remotos, como áreas rurais isoladas ou comunidades sem acesso à rede de distribuição. Nesse tipo de instalação, a energia excedente é armazenada em baterias para uso em períodos de baixa geração solar, como à noite ou em dias nublados. Embora ofereçam autonomia total, esses sistemas exigem maior investimento inicial, principalmente devido ao custo das baterias e à necessidade de dimensionamento mais preciso para garantir o suprimento energético.

O dimensionamento dos módulos solares é determinado pela configuração e quantidade de células fotovoltaicas em sua composição. Os modelos disponíveis no mercado são projetados com configurações que variam entre 30 e 60 células, sendo esta variação diretamente relacionada à capacidade de geração energética desejada. A capacidade de produção de energia está intrinsecamente ligada às dimensões do módulo, uma vez que superfícies maiores permitem maior captação da radiação solar, resultando em níveis mais elevados de corrente elétrica gerada (VILLALVA, 2012).

A eficiência dos painéis solares varia tipicamente entre 15% e 23%, dependendo da tecnologia empregada. As células mais comuns são as de silício monocristalino, que oferecem maior eficiência, e as de silício policristalino, que apresentam menor custo. Nos últimos anos, tecnologias emergentes como células de filme fino e células multijunção têm apresentado avanços significativos (KIM et al., 2015).

A vida útil média dos sistemas fotovoltaicos é de 25 a 30 anos, com degradação anual típica de 0,5% a 1% na capacidade de geração. O custo de implementação tem diminuído consistentemente nas últimas décadas, com reduções de até 90% desde 2010, tornando a tecnologia cada vez mais competitiva em relação às fontes convencionais de energia (KIM et al., 2015).

A geração fotovoltaica é influenciada por diversos fatores ambientais, incluindo irradiação solar, temperatura, sombreamento e condições atmosféricas. O posicionamento ideal dos painéis deve considerar a latitude local, sendo que no hemisfério sul devem estar

voltados para o norte geográfico, com inclinação próxima à latitude do local para maximizar a captação solar.

Em termos de sustentabilidade, a energia solar fotovoltaica apresenta baixo impacto ambiental durante sua operação, não emitindo gases de efeito estufa (CAMEL et al. 2024). Entretanto, há considerações importantes sobre o ciclo de vida completo, incluindo a fabricação dos painéis e seu descarte ao final da vida útil. A reciclagem dos componentes tem se tornado uma preocupação crescente na indústria (PADOAN et al., 2019).

A manutenção dos sistemas fotovoltaicos é relativamente simples, consistindo principalmente na limpeza periódica dos painéis e inspeções preventivas dos componentes elétricos. O monitoramento contínuo do desempenho permite identificar rapidamente quedas de eficiência e necessidades de manutenção (BOSMAN et al., 2020).

O dimensionamento de um sistema fotovoltaico considera diversos parâmetros, como consumo energético, área disponível, recursos financeiros e características locais de irradiação solar. A análise de viabilidade econômica geralmente considera o tempo de retorno do investimento (*payback*), que varia dependendo das condições locais e tarifas de energia.

O período entre 2010 e 2018 foi marcado por avanços significativos na tecnologia fotovoltaica, caracterizados pelo desenvolvimento de painéis mais eficientes e economicamente acessíveis (MAKA et al., 2022). Os dados disponíveis demonstram uma redução expressiva de 77% nos custos associados à geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos, evidenciando a evolução desta tecnologia em termos de viabilidade econômica e eficiência energética (GAHRENS et al., 2021).

As aplicações da energia fotovoltaica são diversas, desde pequenas instalações residenciais até grandes usinas solares, incluindo aplicações em edifícios comerciais, industriais e instituições públicas (PARIDA et al., 2011).

3.4. INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR

O cenário global do ensino superior, que conta com mais de 13 mil universidades e apresenta crescimento expressivo especialmente nas nações em desenvolvimento, demanda atenção quanto aos seus impactos ambientais (LUKMAN et al., 2009). Essas instituições, embora representem uma parcela considerável do consumo de recursos naturais em escala mundial, vêm demonstrando uma compreensão cada vez maior de sua responsabilidade ambiental. Através de suas atividades fundamentais de ensino e pesquisa, as universidades

têm se posicionado como agentes estratégicos na busca pelos objetivos do desenvolvimento sustentável (TAN et al., 2014; VELAZQUEZ et al., 2006).

As Instituições de Ensino Superior (IES) ocupam uma posição estratégica na sociedade devido à sua natureza multifacetada. Os campi universitários (ÁVILA et al., 2017) funcionam como microcidades devido à sua complexa dinâmica de ocupação e diversidade de atividades. Esta característica se reflete em desafios ambientais similares aos encontrados em áreas urbanas, incluindo a necessidade de gerenciar emissões de gases de efeito estufa, consumo de recursos naturais, mobilidade e geração de resíduos.

O conceito de universidade sustentável (ALSHUWAIKHAT et al., 2008; VELAZQUEZ et al., 2006), fundamenta-se na tríade da sustentabilidade: aspectos ambientais, econômicos e sociais. Neste contexto, as instituições assumem o compromisso de minimizar impactos negativos enquanto promovem bem-estar e disseminam valores sustentáveis.

A promoção da sustentabilidade nas Instituições de Ensino Superior (IES) ocorre principalmente através de duas vertentes: as operações cotidianas do campus e as iniciativas institucionais estratégicas (LAMBRECHTS et al., 2018). O conceito de "campus verde" (LEAL FILHO et al., 2017) fundamenta-se no aprimoramento da gestão de recursos e energia, buscando gerar tanto benefícios ecológicos quanto econômicos.

Assim, considerando sua diversificada infraestrutura de edificações e padrões complexos de consumo energético, as IES constituem laboratórios naturais para o estudo e compreensão do comportamento energético em ambientes com múltiplas finalidades. A variedade de usos e ocupações dentro de um mesmo campus oferece condições ideais para análise e desenvolvimento de estratégias de eficiência energética que podem ser posteriormente aplicadas em contextos urbanos similares.

Com isso, torna-se evidente que as universidades são peças-chave na promoção do consumo sustentável através de seus efeitos positivos sobre estudantes e outras partes interessadas (PACHECO-BLANCO et al., 2016).

4. MÉTODOS

4.1. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

A análise bibliométrica é um método amplamente difundido no meio acadêmico para estudos exploratórios e análise de grandes volumes de dados científicos. Através deste método é possível identificar nuances e tendências evolutivas, considerar as contribuições de

diversas áreas do conhecimento e expor áreas emergentes em relação ao tema analisado (DONTHU et al., 2021).

No contexto deste trabalho (sistemas fotovoltaicos em ambientes universitários), a escolha pela análise bibliométrica justifica-se por diversos fatores. Primeiramente, a rápida evolução tecnológica e o crescente interesse global em energia solar têm resultado em um volume significativo de publicações científicas, tornando essencial uma abordagem sistemática e quantitativa para análise da literatura. Além disso, a natureza interdisciplinar do tema, que engloba aspectos de engenharia, sustentabilidade e gestão de energia, demanda uma metodologia capaz de integrar e analisar contribuições de diferentes áreas do conhecimento.

Esta abordagem metodológica fornece um panorama abrangente de sistemas fotovoltaicos implementados em universidades globalmente e estabelece uma base sólida para a análise comparativa com o sistema implementado na UFSCar, permitindo identificar oportunidades de otimização e práticas mais eficientes e eficazes adotadas em outras instituições de ensino superior.

4.2. FERRAMENTAS UTILIZADAS

Para operacionalizar esta análise, foram utilizadas ferramentas especializadas como *Publish or Perish* para download de dados e *VOSviewer* e *Excel* para tratamento de dados, apresentação de resultados e criação de gráficos que possibilitam a visualização e análise de alguns critérios e tendências das publicações sobre o tema.

O *software Harzing's Publish or Perish* (Windows GUI Edition) 8.17.4863.9118 (Harzing, A.W. (2007) *Publish or Perish*, disponível em <https://harzing.com/resources/publish-or-perish>) permite a extração estruturada de metadados bibliográficos do *Google Scholar* e outras plataformas via API, o que possibilita uma análise bibliométrica de alguns critérios com grande volume de dados.

O *Microsoft® Excel® for Microsoft 365 MSO (Version 2503 Build 16.0.18623.20266) 64-bit* foi utilizado para o processamento e análise dos dados coletados, a fim de padronizar e consolidar os registros exportados das diferentes bases de dados (*Google Scholar* e *Scopus*). Além disso, também foi empregado para cálculos estatísticos, geração de gráficos e visualizações preliminares, bem como para análise temporal das publicações.

A ferramenta *VOSviewer version 1.6.20* é um *software* específico para construir e visualizar redes em análises bibliométricas. Este *software* possibilitou a criação de mapas de visualização baseados em dados extraídos principalmente da base *Scopus*, permitindo a

identificação de ocorrências relevantes, como co-ocorrência de palavras-chave, revelando os principais temas e suas interrelações; e países de origem dos documentos analisados. As imagens geradas pelo *VOSviewer* facilitaram a identificação visual de tendências emergentes e áreas de concentração da pesquisa no campo estudado, evidenciando as diferentes abordagens e focos de pesquisa na área.

Foi utilizada neste trabalho para viabilizar o *download* do elevado volume de dados retornados via *Google Scholar* em arquivo CSV. A ferramenta apresenta restrições em relação ao volume de dados retornados com a pesquisa, em que o máximo de resultados para pesquisas no *Google Scholar* são 1000 artigos/publicações.

As métricas disponíveis para análise em pesquisas feitas via *Publish or Perish* utilizadas neste trabalho são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Métricas disponíveis via *Publish or Perish* utilizadas

Termo	Uso
<i>Cites</i> (Citações)	Número de citações
<i>Title</i> (Título)	Título
<i>Year</i> (Ano)	Ano de publicação
<i>GSRank</i>	Resultado do ranking

Fonte: Adaptado de ADAMS, 2021.

Os artigos são ranqueados pela métrica *GSRank* mencionada, uma abreviação para *Google Scholar Rank*. Essa métrica utiliza o índice h-5 para classificar publicações científicas, baseado nas citações recebidas nos últimos cinco anos (Scholar-Google, 2024).

4.3. COMPARAÇÃO GOOGLE SCHOLAR E SCOPUS

Neste estudo, foram utilizadas duas plataformas de busca acadêmica: *Google Scholar* e *Scopus*, cada qual com características distintivas que influenciam diretamente a natureza e qualidade dos resultados obtidos.

O *Google Scholar* caracteriza-se como uma ferramenta de busca acadêmica de amplo alcance e atualização rápida, indexando uma vasta gama de documentos científicos. Contudo, esta mesma amplitude apresenta desafios significativos, como a ausência de um processo

sistemático de curadoria, possível inclusão de documentos de qualidade acadêmica não verificada e limitações nas ferramentas de análise bibliométrica.

Por outro lado, o *Scopus*, desenvolvido pela *Elsevier*, representa uma base de dados mais acurada, com critérios rigorosos de indexação e processos sistemáticos de avaliação das publicações incluídas. Esta plataforma permite análises bibliográficas mais refinadas através de uma cobertura mais restrita, devido um maior controle de qualidade mas com processo de atualização mais lento por consequência quando comparado com *Google Scholar*.

Em resumo, a utilização complementar de ambas as bases possibilitou uma cobertura mais abrangente e equilibrada da literatura sobre sistemas fotovoltaicos em ambientes universitários. Assim, utilizou-se o *Google Scholar*, devido sua amplitude, para a análise bibliométrica, em que o volume de artigos e publicações precisa ser grande a fim de identificar tendências estatísticas, e utilizou-se o *Scopus*, por causa de sua maior precisão, para seleção de artigos coerentes para análise comparativa com o sistema instalado no campus da UFSCar.

4.4. PALAVRAS-CHAVES

A estratégia metodológica iniciou-se com uma análise sistemática de diferentes combinações de palavras-chave, visando refinar a precisão dos resultados em relação ao tema central do estudo.

Após análise criteriosa das diferentes combinações e seus respectivos resultados, definiu-se como termos de busca para análise bibliométrica: *photovoltaic AND system OR installation AND university AND campus AND “case study”*, que retornou aproximadamente 136.000 resultados (em 06/05/2025, às 11h). Esta combinação foi selecionada por apresentar o melhor equilíbrio entre especificidade temática e abrangência adequada de resultados. Vale comentar sobre os operadores booleanos: *AND* é utilizado para busca simultânea dos termos, *OR* para busca alternada e as aspas (“”) são utilizadas para busca exata dos termos.

Além disso, também definiu-se termos mais específicos para seleção de artigos, visando identificar estudos que permitissem uma comparação com o sistema de energia fotovoltaica instalado na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

Os termos de busca utilizados foram: *evaluation OR benchmark AND photovoltaic AND campus*. Esta combinação específica de termos resultou em aproximadamente 17.800 artigos (verificado em 06/05/2025 às 11h), representando um conjunto mais focado e direcionado para análises comparativas entre diferentes instituições.

Esta abordagem na estratégia de busca permitiu uma cobertura mais abrangente e complementar, onde a primeira pesquisa capturou aspectos técnicos e estudos de caso específicos e a segunda pesquisa focou em instituições de ensino referências no tema para análises comparativas e métricas de avaliação.

Por fim, com o desenvolvimento das análises, também foi realizada uma busca sobre decretos, leis ou incentivos públicos e privados, a fim de identificar a possível influência de políticas para o desenvolvimento e para a implementação da energia fotovoltaica. A busca feita no *Scopus* foi: *photovoltaic AND decree OR incentive*, o que resultou em 2.350 artigos (verificado em 17/06/2025 às 10h).

4.5. TRABALHOS SELECIONADOS

Os principais fatores para seleção de artigos sobre instalações de energia fotovoltaica em campi universitários globalmente foram:

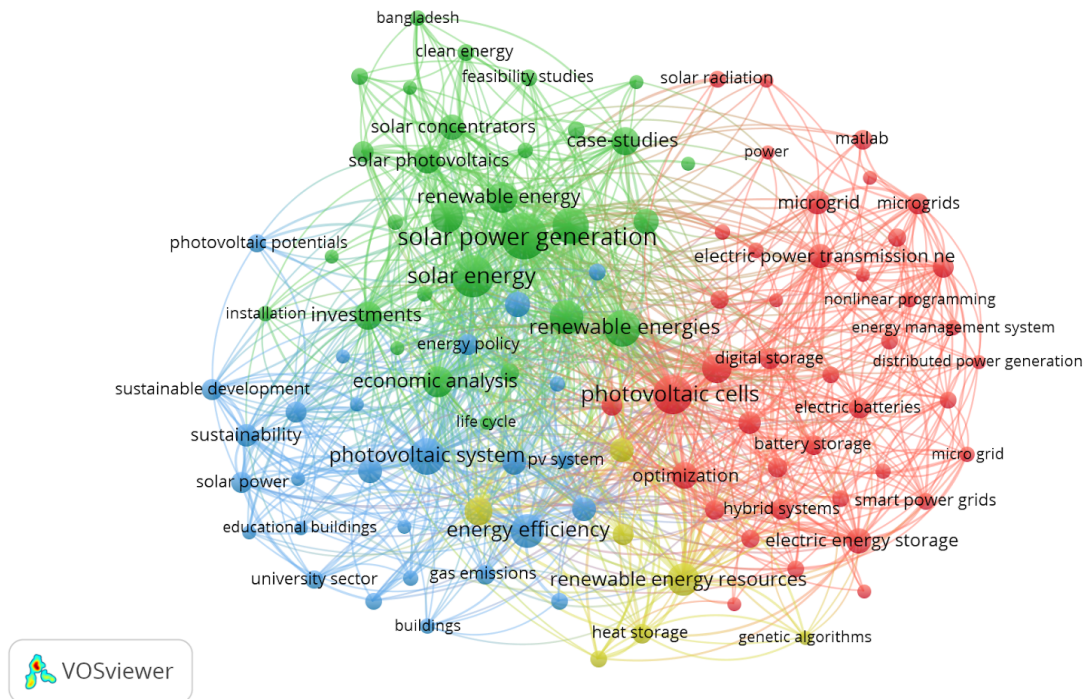
- Acesso aberto ao artigo, obtido através da UFSCar;
- Ano de publicação, para garantir informações atualizadas;
- Número de citações, dando preferência para artigos mais relevantes;
- País de publicação, baseado nos principais países (com mais publicações, mais citações e maior razão entre os dois fatores);
- Informações e dados disponíveis.

5. RESULTADOS

5.1. TRATAMENTO E ANÁLISE DE DADOS

Com os dados da pesquisa *photovoltaic AND system AND university OR campus and “case study”* feita no *Scopus* (174 documentos, pesquisa feita 06/05/2025 às 12h) os dados foram tratados via *software VOSviewer 1.6.20*, obtendo a Figura 11 como resultado de palavras-chaves mais utilizadas, em que nota-se as principais palavras-chaves e os usos relacionando-as, permitindo a identificação dos termos mais comuns em publicações sobre o tema.

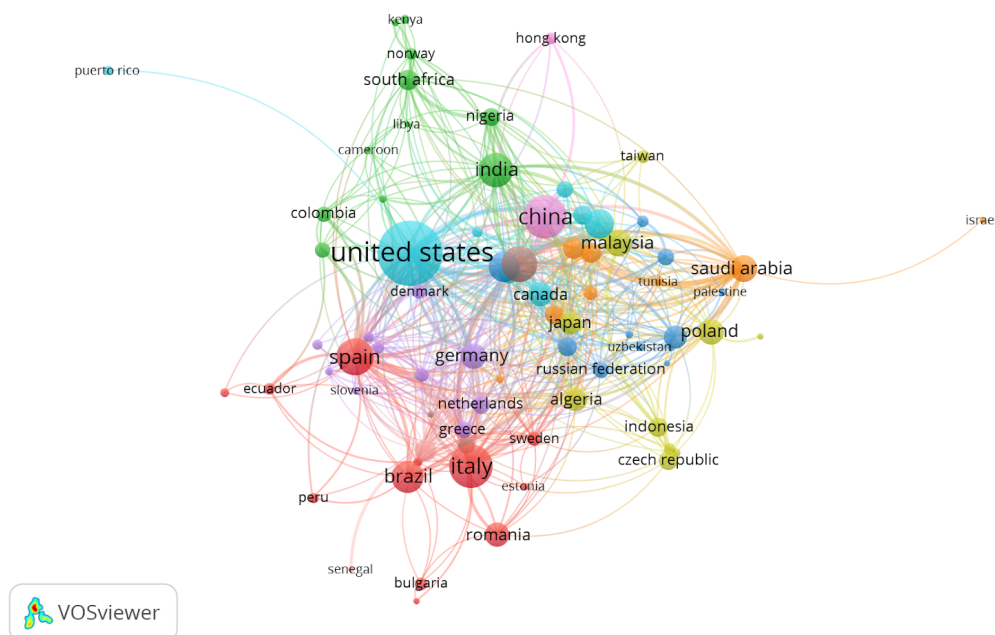
Figura 11 - Resultado sobre utilização e recorrência de palavras-chaves



Fonte: Autora.

Com a pesquisa *photovoltaic AND campus* feita no *Scopus* (em 14/05/2025 às 14h com retorno de 1.105 documentos), o tratamento de dados via *VOSviewer*, onde obteve-se os resultados de países com maior número de artigos publicados sobre o tema conforme Figura 12, identificando as co-ocorrências e os principais países em relação ao volume de publicações sobre campus universitários fotovoltaicos.

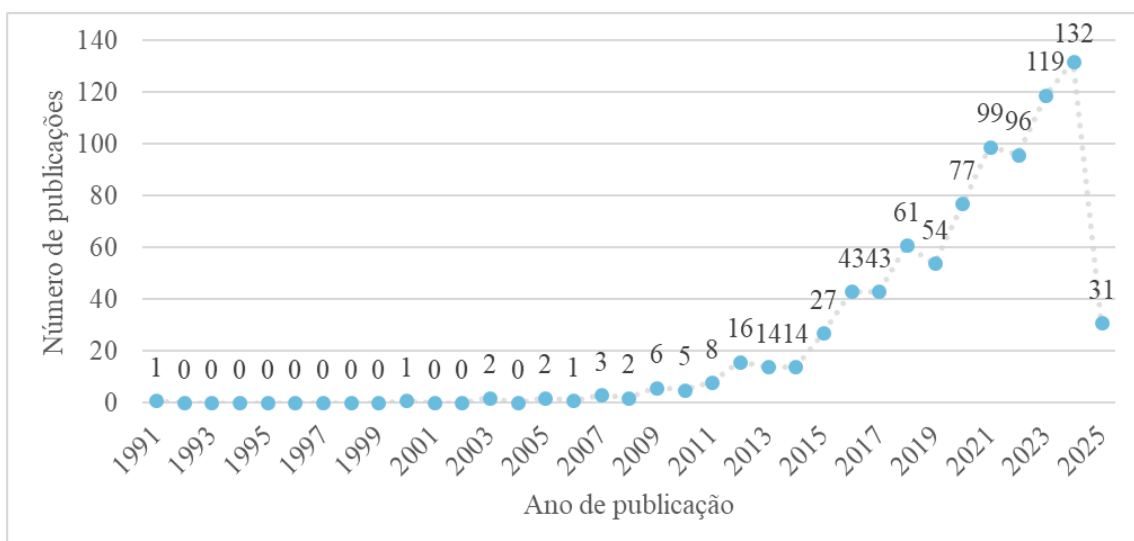
Figura 12 - Resultado sobre países com mais publicações sobre o tema



Fonte: Autora.

Com os dados da pesquisa *photovoltaic AND system AND university AND campus AND “case study”* via *Publish or Perish* na base de dados do *Google Scholar*, sem filtro de ano de publicação uma vez que queríamos ver a frequência de publicações com os termos ao longo do tempo. A pesquisa foi feita em 06/05/2025 às 15h e o resultado foram 1.000 publicações, o número máximo de retornos possível via *Publish or Perish*. Assim, obteve-se o Figura 13, em que é possível visualizar o aumento de número de publicações ao decorrer do tempo devido a crescente relevância e interesse no tema de sistemas fotovoltaicos.

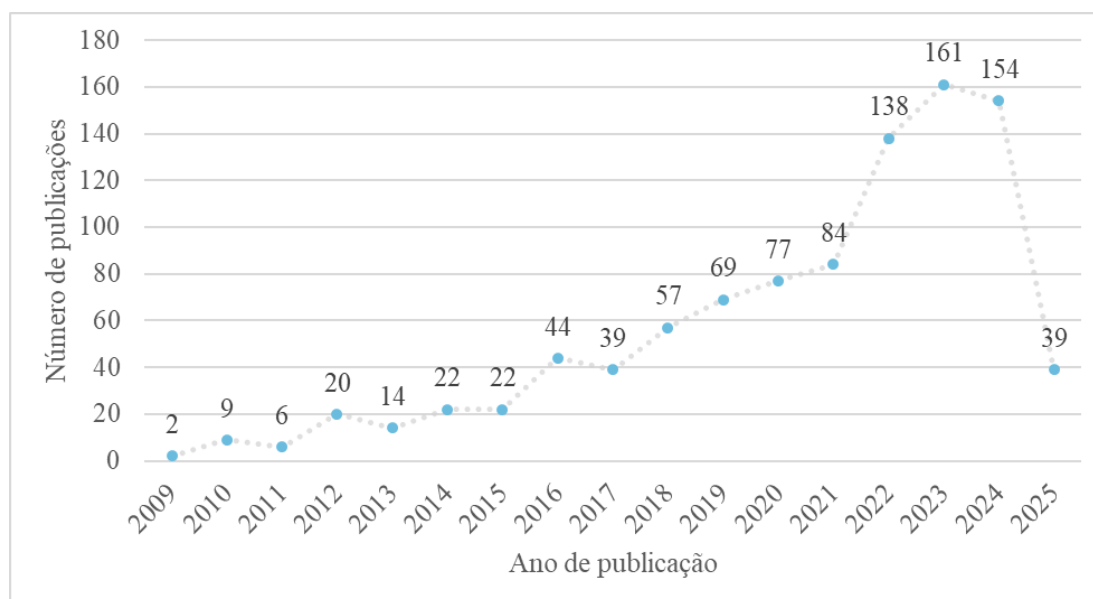
Figura 13 - Evolução temporal de publicações sobre sistemas fotovoltaicos em IES



Fonte: Autora.

Com os dados da pesquisa *evaluation AND benchmark AND “photovoltaic campus”* via *Publish or Perish* na base de dados do *Google Scholar*, sem filtro de ano de publicação uma vez que queríamos ver a frequência de publicações com os termos ao longo do tempo, a fim de identificar temporalmente quando surgem campi universitários referência na geração de energia fotovoltaica. A pesquisa foi feita em 06/05/2025 às 11h e o resultado foram 1.000 publicações, o número máximo de retornos possível via *Publish or Perish*. Assim, obteve-se o Figura 14, onde nota-se uma crescente em relação ao número de publicações e estudos sobre campi universitários considerados referência no tópico de instalações fotovoltaicas, similar ao comportamento identificado na Figura 13.

Figura 14 - Evolução temporal de publicações sobre campus universitários referências em energia fotovoltaica



Fonte: Autora.

Ao comparar as Figuras 13 e 14, identifica-se que há uma lacuna temporal de 18 anos (1991 - 2009) entre a publicação de artigos sobre estudos de aplicações de sistemas de energia fotovoltaica e publicações sobre campus universitários como referência no assunto. Isso pode ser um indicativo da demora de implementação real dos conceitos estudados e publicados em campus, devido custos de implantação/manutenção, falta de preocupação com fontes renováveis de energia há anos atrás e a necessidade de coleta de dados de utilização do sistema de energia fotovoltaica no campus, com devidos ajustes e aprimoramentos, para definir um campus como referência no assunto.

Outro fator relevante é o possível impacto da pandemia de COVID-19 no volume de estudos e publicações no período de 2020 a meados de 2022, principalmente devido à redução de atividades presenciais nas instituições ao redor do mundo e consequente impacto direto na demanda de energia e na acessibilidade dos dados. Por exemplo, GUI et al. (2021), trouxe um levantamento de dados sobre o uso de energia em 122 prédios por 5 campi na Universidade Griffith em Queensland, Austrália. Comparou-se os dados entre um ano acadêmico durante a pandemia COVID-19 (17 fev. 2020 a 21 fev. 2021) e um ano acadêmico regular (18 fev. 2019 a 16 fev. 2020) utilizando-se regressões lineares múltiplas. Os

resultados obtidos indicaram que atividades de aprendizado e administrativas estavam sendo realizadas fora do campus e apenas atividades de pesquisa ainda eram realizadas no campus. Com isso, no ano acadêmico de pandemia aproximadamente 9,646,933 kWh ou 24.88 kWh/m² foi economizado, o que representa 16% do uso total de energia em um ano acadêmico regular.

Outra análise de dados com os termos *photovoltaic AND campus* feita no *Scopus* (feita em 14/05/2025 às 14h com retorno de 1.105 documentos) realizada foi em relação aos países mais relevantes, considerando número de publicações, número de citações e da razão entre os dois. Assim, obteve-se a Tabela 2 com os países de publicações ranqueados através da divisão entre o número de citações e o número de publicações, permitindo a identificação dos estudos com maior impacto e relevância no meio científico.

Tabela 2 - Relação entre o número de publicações e de citações por país sobre IES com energia fotovoltaica

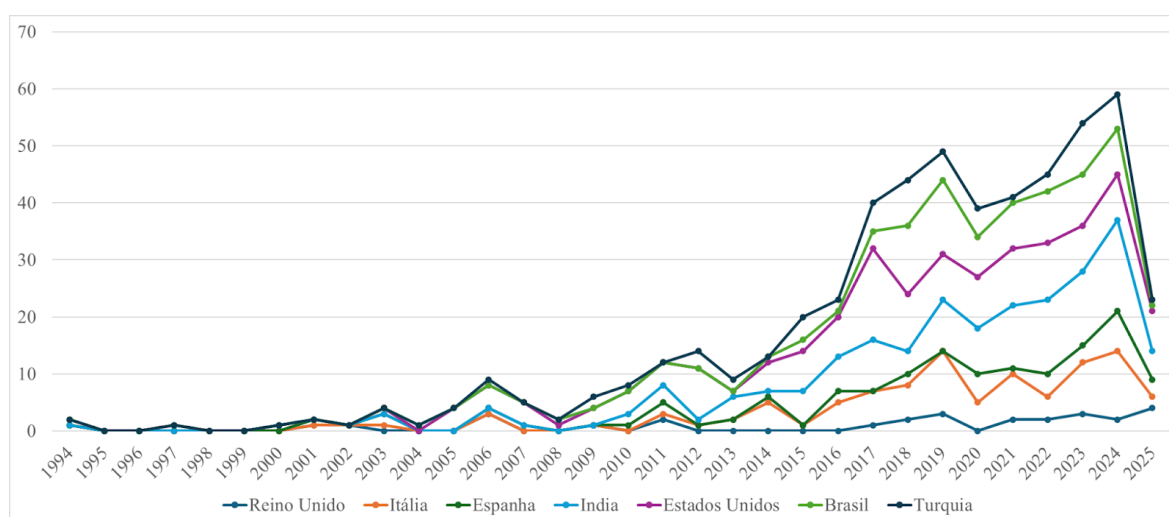
País	Publicações	Citações	Citações/publicações
Reino Unido	28	792	28
Turquia	58	1579	27
Espanha	39	860	22
Itália	85	1688	20
China	62	1127	18
Arábia Saudita	34	606	18
Estados Unidos	157	2375	15
Índia	118	1723	15
Malásia	42	515	12
Indonésia	25	214	9
Brasil	76	418	6

Fonte: Autora.

Com isso, é válido destacar que os três países com mais artigos publicados e mais citações são em ordem decrescente: Estados Unidos (157 publicações com 2375 citações), Índia (118 publicações com 1723 citações) e Itália (85 publicações com 1688 citações). No ranking de países com mais publicações, o Brasil está em 4º lugar com 76 publicações, mas no ranking de países com mais citações, o Brasil está em 10º lugar com 418 citações.

Calculou-se a razão entre artigos publicados e citações a fim de utilizar uma base de dados com tratamento mais estratégico e relevante, além de estimar a qualidade dos estudos publicados sobre o tema. Assim, obteve-se a ordem apresentada na Tabela 2. Isso porque os itens muito citados tiveram maior visibilidade, que muitas vezes pode ser atribuída à qualidade do trabalho. Com esses dados, criou-se a Figura 15 a fim de visualizar a evolução temporal do número de publicações por ano e por país, em que todos os países considerados apresentam comportamento crescente conforme identificado também na Figura 13.

Figura 15 - Evolução temporal de número de publicações por país sobre IES com energia fotovoltaica



Fonte: Autora.

Além disso, a partir da análise de dados com os termos *photovoltaic AND decree OR incentive* feita no *Scopus* (feita em 17/06/2025 às 10h com retorno de 2.350 documentos), determinou-se os países mais relevantes considerando número de publicações, número de citações e da razão entre os dois. Assim, obteve-se a Tabela 3.

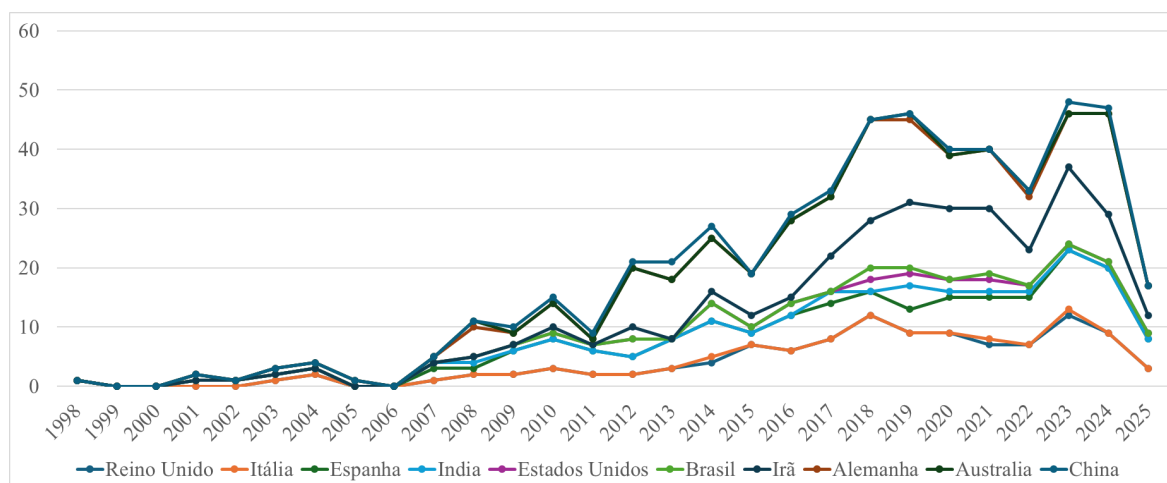
Tabela 3 - Relação entre número de publicações e de citações por país sobre decretos e incentivos

País	Publicações	Citações	Citações/publicações
Reino Unido	102	4710	46
Irã	71	3172	45
Espanha	88	3055	35
Alemanha	113	3711	33
Austrália	118	3251	28
Brasil	92	2489	27
Estados Unidos	434	11202	26
Itália	266	6583	25
China	337	7813	23
Índia	108	2426	22

Fonte: Autora.

Com esses resultados, obteve-se a Figura 16, onde são apresentados os dados com quebra por país sobre as publicações que abordam decretos ou incentivos governamentais em relação a energia fotovoltaica, a fim de comparar com a adesão e presença de instalações em ambientes universitários e o possível impacto desses incentivos.

Figura 16 - Evolução temporal de número de publicações por país sobre decretos ou incentivos



Fonte: Autora.

Nota-se que a maioria dos países mais relevantes em relação à publicações sobre universidades com instalações de energia fotovoltaica (Tabela 2) aparece também como mais relevantes em relação à publicações sobre decretos e incentivos para implementação de energia fotovoltaica (Tabela 3).

Esse cruzamento de dados, junto com uma análise sobre e a conexão com o tema central deste trabalho e as informações e dados disponíveis, resultou na seleção dos países para comparação com a instalação de energia fotovoltaica da UFSCar. São eles: Reino Unido, Turquia, Espanha, Estados Unidos, Índia, Itália e Brasil.

5.2. TRABALHOS SELECIONADOS

5.2.1. REINO UNIDO

A publicação selecionada para análise comparativa foi sobre o campus da Universidade Keele, em Newcastle, Inglaterra (YIFAN et al., 2019).

O estudo analisou os impactos ambientais da Universidade de Keele no Reino Unido durante o ano acadêmico 2015/16 (01/08/2015 a 31/07/2016), usando uma abordagem integrada de pegadas ambientais, com 9641 estudantes e 1687 funcionários no total. Embora não seja uma publicação tão atual, o artigo contém muitos detalhes e uma análise holística do

cenário de sustentabilidade do campus, o que impactou na escolha do mesmo para comparações.

A instituição instalou um Parque de Geração de Energia de Baixo Carbono, com 12.500 painéis solares e duas turbinas eólicas. Os painéis solares são gerenciados e financiados pela ENGIE, uma empresa líder em energia e serviços focada na produção e fornecimento de energia de baixo carbono, que fechou um acordo de 25 anos com Keele para financiar, projetar, construir e operar um parque de energia multi-tecnológico que gerará pelo menos 50% das necessidades de eletricidade do campus da Universidade a partir de fontes renováveis. Esses painéis solares fotovoltaicos (FV) foram instalados ao nível do solo, com capacidade instalada de 4,4 MWp.

Este parque faz parte de um projeto com investimento de £8,1 milhões e está conectado a um '*smart energy network demonstrator*' (SEND), visando reduzir as emissões de carbono da universidade e criar um "laboratório vivo" para pesquisa em energia inteligente (BBC, 2022).

A pegada energética total foi de 42.202 MWh, sendo 42.817 MWh de consumo direto no campus e -615 MWh de recuperação energética do tratamento de resíduos. A pegada de carbono total foi de 14.393 toneladas de CO₂ com 85,77% vindo do consumo de gás natural e eletricidade. A pegada hídrica total foi de 532.415 m³, com 57,3% associada ao consumo de energia e 40,2% à aquisição de alimentos.

Tabela 4 - Pegada de energia da Universidade Keele em 2015/2016 (ano acadêmico)

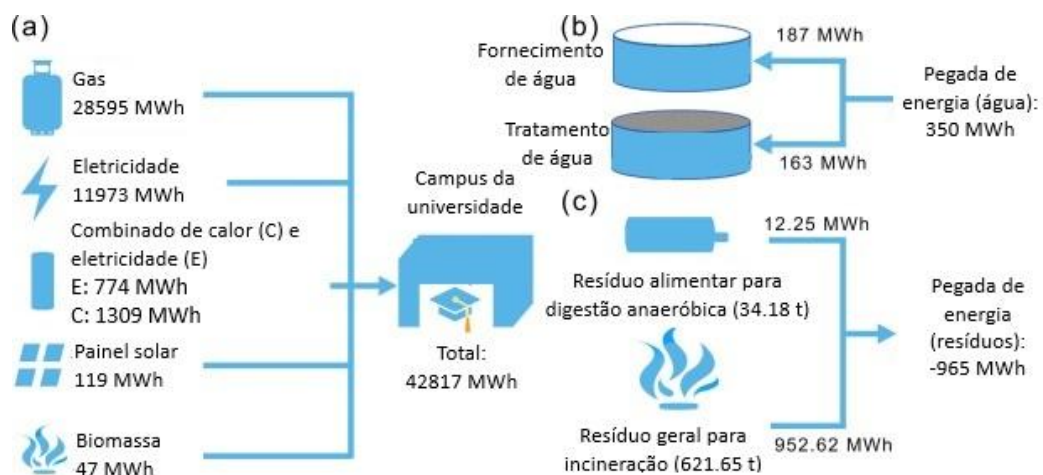
	Setor	Pegada de energia (MWh)
Pegada de energia direta	Operação do campus	42,817
Pegada de energia indireta	Água	350
	Tratamento de água	-965
Pegada de energia total	-	42,202

Fonte: Adaptado de YIFAN et al., 2019.

O estudo identificou importantes correlações entre energia, água, resíduos, alimentos e emissões de carbono gerados no campus. O consumo direto de energia no campus foi o

principal setor para otimização integrada, contribuindo significativamente para as pegadas hídrica e de carbono. Na Figura 17, têm-se a análise de consumo de energia por setor.

Figura 17 - Análise do consumo do campus universitário



Fonte: Adaptado de YIFAN et al., 2019.

Com base na análise de dados, o estudo recomenda a implementação de sistemas de controle para maximizar a eficiência energética; priorizar o desenvolvimento de energia eólica e solar fotovoltaica; aumentar opções vegetarianas no cardápio e coletar todo o resíduo alimentar para digestão anaeróbia.

A metodologia proposta de análise integrada de pegadas ambientais permite uma compreensão mais abrangente dos impactos das operações universitárias, podendo ser aplicada a outras universidades e comunidades que buscam práticas mais sustentáveis.

5.2.2. TURQUIA

A publicação selecionada para análise comparativa foi sobre o campus da Universidade de Ciências e Tecnologia Islâmica de Gaziantep, em Gaziantep, Turquia (DINCER et al., 2023).

O estudo analisou o potencial de um sistema fotovoltaico conectado ao telhado da Universidade de Ciência e Tecnologia Islâmica de Gaziantep, na Turquia. O sistema foi projetado para o prédio da Faculdade de Engenharia e Ciências Naturais, considerado o telhado mais complexo e desafiador do campus.

Utilizando o software *PVsys*, o sistema foi dimensionado com 220 painéis fotovoltaicos de 550 Wp cada, totalizando 121 kWp de potência instalada em uma área de

563 m² do telhado. Os painéis foram instalados com inclinação de 7° e azimuth de 16,1°, utilizando um inversor de 100 kW. As informações estão disponíveis na Tabela 5.

Tabela 5 - Parâmetros dos painéis fotovoltaicos (Turquia)

Parâmetro	Valores
Número de painéis	220
Área dos painéis	563m ²
Número de inversores	1
Potência nominal instalada	121 kWp
Potência máxima instalada	116 kWDC

Fonte: Adaptado de DINCER et al., 2023.

A simulação previu uma geração anual de 197,7 MWh, com taxa de desempenho de 81,5%.

A análise econômica estimou um payback de 2,19 anos, considerando um custo de instalação de \$0,75/Wp. O estudo também projetou que o sistema evitaria a emissão de 989,35 toneladas de CO₂ por ano. Expandindo a análise para todo o campus, estimou-se um potencial total de 933,1 kWp de capacidade instalada, com geração anual de 1.524,9 MWh.

Tabela 6 - Análise econômica do sistema fotovoltaico (Turquia)

Parâmetro	Valores
Energia fotovoltaica nominal	933,1 kWp
Geração de energia estimada	1.524,9 MWh/ano
Custo de instalação	US\$699.825
Custo de manutenção	US\$7.000/ano
Custo unitário de energia	US\$0,214
Economia	US\$326.328/ano

Fonte: Adaptado de DINCER et al., 2023.

O estudo destaca a importância de considerar sombreamentos e obstáculos no telhado, que limitaram significativamente o aproveitamento da área total. Apenas 21% da área total do telhado (550 m² de 2.500 m²) pôde ser utilizada para os painéis, devido a estruturas existentes como unidades de ventilação, tubulações e condicionadores de ar.

Os autores concluem que o sistema proposto é tecnicamente viável e economicamente atrativo, com um curto período de retorno do investimento e significativos benefícios ambientais.

5.2.3. ESPANHA

A publicação selecionada para análise comparativa foi sobre o campus da Universidade Politécnica de Valencia, em Valencia, Espanha (HURTADO-PEREZ et al., 2024).

O estudo realizado na Universidade Politécnica de Valencia (UPV) apresenta uma metodologia abrangente para avaliar o potencial fotovoltaico no campus universitário. A análise revelou que 48% (o que resulta em 88.913 m²) da área total dos telhados são adequados para instalações solares fotovoltaicas. O sistema proposto tem capacidade instalável de 5.439 kW, com painéis inclinados a 35° e azimute de +18°, gerando uma produção anual estimada de 9.171 MWh.

A metodologia considerou três cenários de implementação baseados no tamanho das instalações: grandes instalações (≥ 100 kW), médias (50-100 kW) e pequenas (< 50 kW). Na Tabela 7, encontra-se as especificações dos painéis considerados.

Tabela 7 - Parâmetros dos painéis solares fotovoltaicos (Espanha)

Parâmetros	Valores
Inclinação (°)	35
Azimuth (°)	18
Modelo do painel fotovoltaico	JKM540M-7TL4-V Monocristalino
Dimensões (mm)	2230x1134x35
Voltagem máxima (V)	41.01
Corrente elétrica máxima (A)	13.17
Voltagem circuito-aberto (V)	49.53
Corrente curto-circuito (A)	13.85
Eficiência da instalação (%)	21.35%

Fonte: Adaptado de HURTADO-PEREZ et al., 2024.

O estudo identificou uma distribuição da capacidade instalável onde 52% corresponde a grandes instalações, 20,6% a médias e 27,4% a pequenas instalações. Alguns aspectos técnicos relevantes deste estudo incluem: avaliação detalhada de áreas sombreadas e obstáculos, consideração de diferentes configurações de instalação dos painéis e análise de viabilidade técnica através de parâmetros como autoconsumo e autossuficiência.

O cenário mais favorável, que inclui todas as categorias de instalação (BMS - Big, Medium and Small), apresentou taxa de autoconsumo de 94,78%, autossuficiência de 23% e excedente de energia de apenas 1,27% em relação à demanda total. A taxa de autoconsumo se refere ao quanto da energia produzida será utilizada pelo próprio campus e a taxa de autossuficiência diz respeito ao quanto dessa energia consumida atende a demanda energética do campus.

Tabela 8 - Parâmetros de viabilidade de energia por cenário (Espanha)

Cenário	Autoconsumo (%)	Autossuficiência (%)	Excedente (%)
B	99.92	12.59	0.01
BM	99.01	17.43	0.17
BMS	94.78	23.00	1.27

Fonte: Adaptado de HURTADO-PEREZ et al., 2024.

Tabela 9 - Análise relativa final dos cenários (Espanha)

	Cenário B	Cenário BM	Cenário BMS
Capacidade instalada (kW)	2824	3946	5439
Economias relativas (%)	11,09	15,38	20,53
Payback relativo (%)	76,63	71,43	64,94
Redução de CO ₂ relativa (%)	12,57	17,57	24,22
Avaliação (%)	27,54	30,64	34,49

Fonte: Adaptado de HURTADO-PEREZ et al., 2024.

O sistema proporcionou uma redução significativa nas emissões de CO₂ e demonstrou viabilidade econômica com payback dentro dos parâmetros aceitáveis para este tipo de instalação.

5.2.4. ESTADOS UNIDOS

A publicação selecionada para análise comparativa foi sobre o campus da Universidade de New Haven, em Connecticut, Estados Unidos da América (LEE et al., 2016).

O estudo analisou a viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos na Universidade de New Haven (UNH), em Connecticut, EUA. A análise foi baseada em dados de uma instalação existente no Celentano Hall, um edifício do campus com sistema instalado com capacidade de geração de energia de 67,27 kW, composto por 228 módulos fotovoltaicos. Na Tabela 10 têm-se as especificações dos painéis instalados:

Tabela 10 - Especificações do sistema fotovoltaico instalado em Celentano Hall

Parâmetro	Valores
Altura do teto	55 pés (16.764 metros)
Inclinação	12°
Azimuth (Prédio Oeste/Leste)	152°/134°
Faixa de temperatura	6 - 91° F (-14.4° - 32.7° C)
Degradação anual estimada	0.50%
Modelo dos painéis	Hanwha HSL 72P6-PB-4-300Q
Área dos painéis	1.93 m ²
Eficiência	15.50%
Capacidade do sistema	67.26 kW
Vida útil do painel	25 anos

Fonte: Adaptado de LEE et al., 2016.

Em termos técnicos, a universidade tem um consumo de energia anual de 11.186.487 kWh. O sistema apresentou uma produção anual estimada de 82.800 kWh, com painéis instalados a 12° de inclinação, ocupando área total de 440 m². Ao comparar este número com a área total do telhado de 2.186 m², fica claro que o tamanho do sistema implementado é

significativamente menor que a área do telhado do edifício. O sistema opera com eficiência de 15,5%, possui vida útil projetada de 25 anos e taxa de degradação anual de 0,5%.

O investimento inicial foi de \$288.500, equivalente a \$4,29/W instalado. A análise econômica demonstrou um período de *payback* de 11 anos. A economia anual com energia foi calculada em \$14.082 para o primeiro ano, projetando um fluxo de caixa acumulado de \$360.290 ao longo dos 25 anos de operação.

Um aspecto importante do estudo foi a consideração do programa governamental norte-americano de incentivos ZREC (*Zero Emission Renewable Energy Credits*). Em Julho de 2011, o estado de Connecticut promulgou essa legislação alterando os padrões estaduais de energia renovável e criou novas classes de créditos para sistemas fotovoltaicos com capacidade nominal entre 100 kW e 1 MW. O valor recebido depende da quantidade de eletricidade gerada, portanto, o valor diminui a cada ano devido ao fator de degradação (0,50%) dos painéis fotovoltaicos. O Celentano Hall recebeu \$0,148/kWh pela geração de eletricidade do sistema fotovoltaico, demonstrando a importância de políticas públicas de incentivo para a viabilidade econômica destes sistemas.

O estudo analisa e sugere uma expansão da implementação de sistemas fotovoltaicos para outros 26 edifícios do campus, projetando instalações que totalizaram mais de 3.500 painéis solares. O período de retorno variou entre 8-12 anos, dependendo das características de cada edifício. A economia anual estimada para todo o campus seria de \$250.000, representando aproximadamente 8% dos custos anuais com eletricidade da universidade (\$3 milhões).

5.2.5. ÍNDIA

A publicação selecionada para análise comparativa foi sobre o campus da Universidade ICFAI, em Jaipur, Índia (MUKHERJI et al., 2019).

O estudo analisa uma instalação fotovoltaica de 50 kWp na ICFAI University em Jaipur, Índia, apresentando aspectos técnicos, econômicos e ambientais relevantes. A planta fotovoltaica (Tabela 11) é projetada com o método de instalação de telhado plano lastrado, no qual 209 módulos fotovoltaicos de silício multicristalino (série Moserbaer MBSL eLite 60) são configurados com um ângulo de inclinação fixo de 15° na orientação norte-sul voltados para o sul.

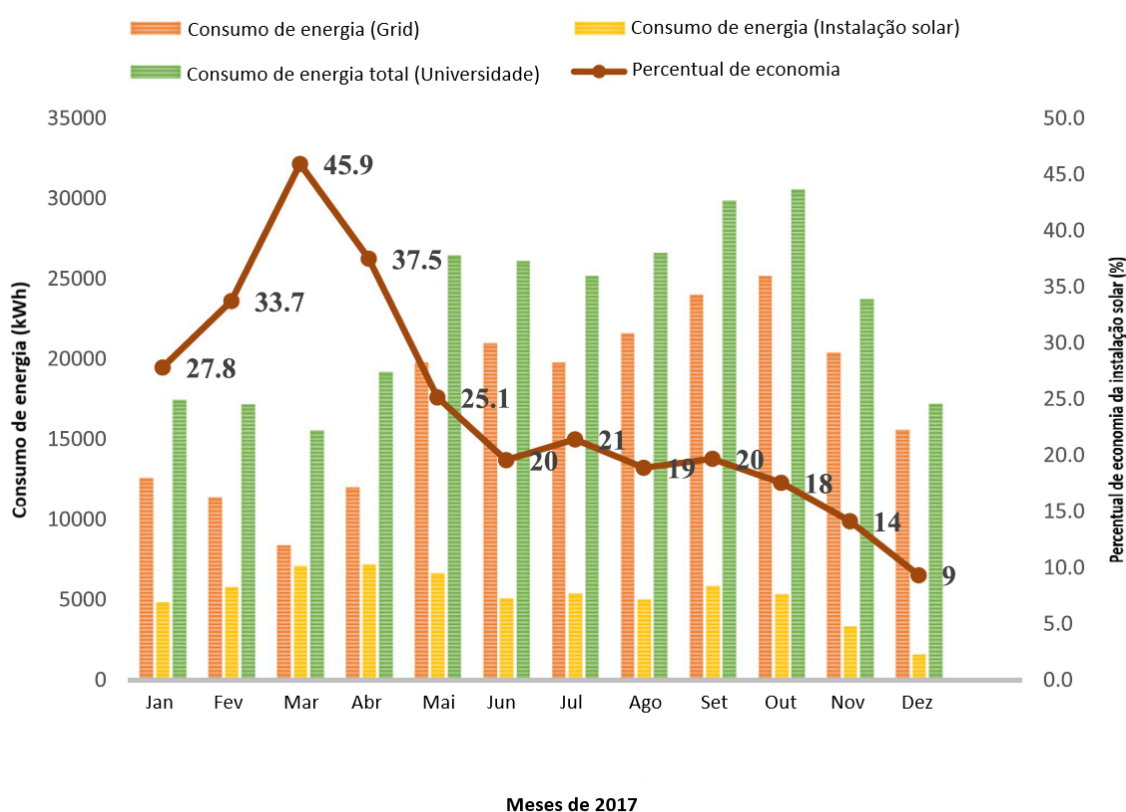
Tabela 11 - Especificações dos painéis de energia fotovoltaica (Índia)

Parâmetro	Valores
Potência máxima (W)	240
Voltagem na potência máxima (V)	30,15
Corrente na potência máxima (A)	7,98
Voltagem em circuito-aberto (V)	37,47
Corrente em curto-circuito (A)	8,52
Número e disposição de células	156mm X 156 mm (6") células de silicone multicristalino, configuração 6 X 10
Dimensões (mm)	1633 x 987 x 37
Peso (kg)	18,4
Modelo	Moserbaer MBSL eLite 60

Fonte: Adaptado de MUKHERJI, R. et al., 2019.

Em termos técnicos, o sistema produziu 64.149 kWh em 2017. A produtividade final foi de 106,9 kWh/kWp/mês, enquanto a produtividade de referência atingiu 149,7 kWh/kWp/mês. Esta produção representa 24% do consumo total da universidade. Conforme dados disponíveis na Figura 18.

Figura 18 - Consumo de energia da Universidade ICFAI



Fonte: Adaptado de MUKHERJI, R. et al., 2019.

Economicamente, com um subsídio de 30% do valor vindo do governo, o investimento inicial foi de US\$ 59.320,89. O payback foi calculado em 4,68 anos, considerando um custo de manutenção mensal de US\$ 44,77, com aumento anual de 3%.

Os benefícios ambientais são significativos, com reduções anuais de 102 toneladas de CO₂, 128 kg de SO₂, 268 kg de NO_x e 7.033 kg de cinzas. O impacto é equivalente ao plantio de 4.607 árvores e representa uma economia de 829 barris de petróleo.

Além disso, o estudo identificou que o desempenho do sistema é fortemente influenciado por fatores meteorológicos locais, principalmente temperatura ambiente, irradiação solar, velocidade do vento e umidade. O sistema demonstrou viabilidade técnica e econômica mesmo com variações nas condições de subsídio governamental, oferecendo significativos benefícios ambientais.

5.2.6. ITÁLIA

A publicação selecionada para análise comparativa foi sobre o campus da Universidade de L'Aquila, em L'Aquila, Itália (D'ADAMO et al., 2021).

O estudo realizado na Universidade de L'Aquila (Itália) analisou a viabilidade econômica de duas configurações de sistemas fotovoltaicos: uma de 115 kW e outra de 210 kW. Dentre os aspectos técnicos relevantes, destaca-se que os painéis utilizados são monocristalinos com eficiência de 18%, numa inclinação de 35° orientação sul. Além disso, o tempo de vida útil considerado foi 20 anos, fator importante para considerações econômicas, e o custo nivelado da energia (LCOE): 0,07€/kWh.

A análise demonstrou que ambas as configurações são economicamente viáveis, com destaque para os resultados disponíveis na Tabela 12.

O estudo identificou o autoconsumo como fator crítico para a viabilidade econômica. Em ambos os cenários, 100% da energia gerada seria consumida pelo campus, uma vez que a quantidade de energia produzida é significativamente menor do que a quantidade consumida. A análise considerou custos de investimento de 1.400-1.500€/kW e preço da energia de 0,18€/kWh.

Além disso, considerando a média de consumo de energia do campus entre os anos mencionados no estudo (2017 e 2018), temos 786.064 kWh. Com isso, calculou-se o percentual de autossuficiência do campus considerando 100% do consumo da energia gerada pelo próprio campus.

Tabela 12 - Comparativo entre sistemas (Itália)

	Sistema 115 kW	Sistema 210 kW
Redução de emissões	101,5 tCO ₂ eq/ano	184,9 tCO ₂ eq/ano
Lucro	1.370€ por kW instalado	1.500€ por kW instalado
Payback	6 anos	5 anos
Taxa interna de retorno (TIR)	28%	34%
Produção anual	164.182 kWh	299.811 kWh
Auto-suficiência	21%	38%

Fonte: Adaptado de D'ADAMO et al., 2021.

Em 2019, o governo italiano aprovou um decreto importante para o avanço da implementação de energias renováveis denominado FER1 (QualEnergia, 2019), fornecendo

incentivos de aproximadamente €1 bilhão por ano. O decreto visa aumentar a rentabilidade das plantas fotovoltaicas quando nem toda a energia produzida é autoconsumida.

Embora o FER1 forneça um bônus para a parcela de energia auto consumida, este não é aplicável aos tamanhos de planta avaliados neste trabalho, que excedem os limites do FER1. Dessa forma, esse estudo não foi influenciado pelo esquema de incentivo italiano, pois o incentivo é atribuído à energia injetada na rede elétrica e neste caso assumiu-se que toda a energia seria auto consumida.

Mesmo sem enquadrar no incentivo, a rentabilidade foi confirmada em todos os cenários considerados. Notavelmente, a rentabilidade mudou mais significativamente em função da parcela de autoconsumo. Em outras palavras, nesse estudo demonstrou-se que instalações fotovoltaicas em universidades podem ser economicamente viáveis mesmo sem subsídios governamentais, desde que haja alto índice de autoconsumo.

5.2.7. BRASIL

A publicação selecionada para análise comparativa foi sobre a demanda e consumo energético em 9 campi universitários com duas opções de implementação (SILVA et al., 2024).

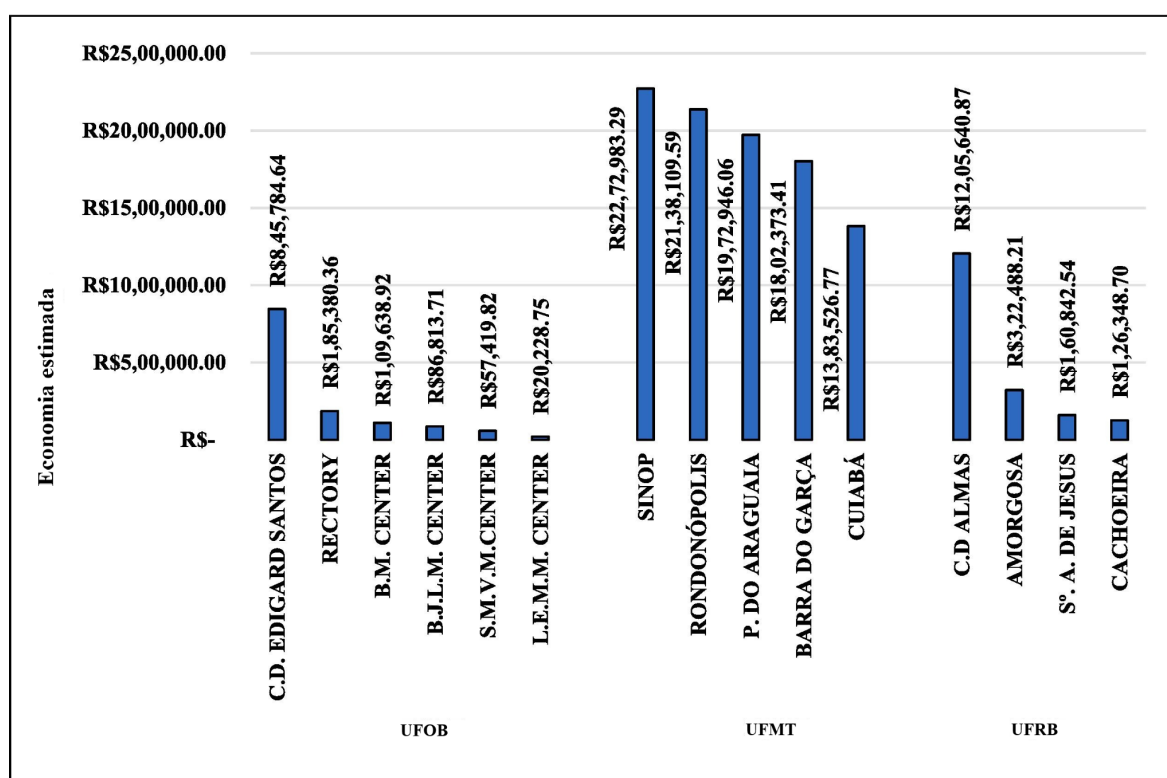
O estudo apresenta um modelo de negócios para analisar a viabilidade econômica da implementação de sistemas fotovoltaicos em Instituições Federais de Ensino Superior brasileiras. A publicação examinou dois cenários: a implementação de sistemas fotovoltaicos em cada localização individual dos campi e a implementação de usinas fotovoltaicas centralizadas para consumo remoto. Estes cenários buscam facilitar a tomada de decisão para tornar os cálculos e análises mais simples. O cenário I avalia a viabilidade de geração com instalações nas Universidades Federais e o cenário II avalia a viabilidade do consumo energético através de instalações remotas e centralizadas. As universidades consideradas são UFSM (Universidade Federal de Santa Maria), UFPA (Universidade Federal do Pará), UFMT (Universidade Federal do Mato Grosso), UFPB (Universidade Federal da Paraíba), UFCSPA (Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre), UFRB (Universidade Federal do Recôncavo da Bahia), UFOB (Universidade Federal do Oeste da Bahia) e UFBA (Universidade Federal da Bahia).

A análise financeira revelou um Retorno sobre Investimento (ROI) médio de 23,08% para instalações individuais nos campi e 22,81% para usinas centralizadas, com período médio de retorno (*payback*) de 5 anos. Ambos os cenários apresentaram Valor Presente Líquido (VPL) positivo, demonstrando a viabilidade financeira dos projetos.

Nas Figuras 19 e 20 são apresentadas a economia estimada por universidade analisada, considerando as características de cada universidade. Na Figura 19 têm-se as economias estimadas em relação a instalação em cada campi (cenário I), vale destacar que apenas 3 universidades são consideradas devido a disponibilidade de dados. Na Figura 20 mostra-se as estimativas econômicas considerando as instalações centralizadas das usinas fotovoltaicas foram instaladas de forma centralizada (cenário II).

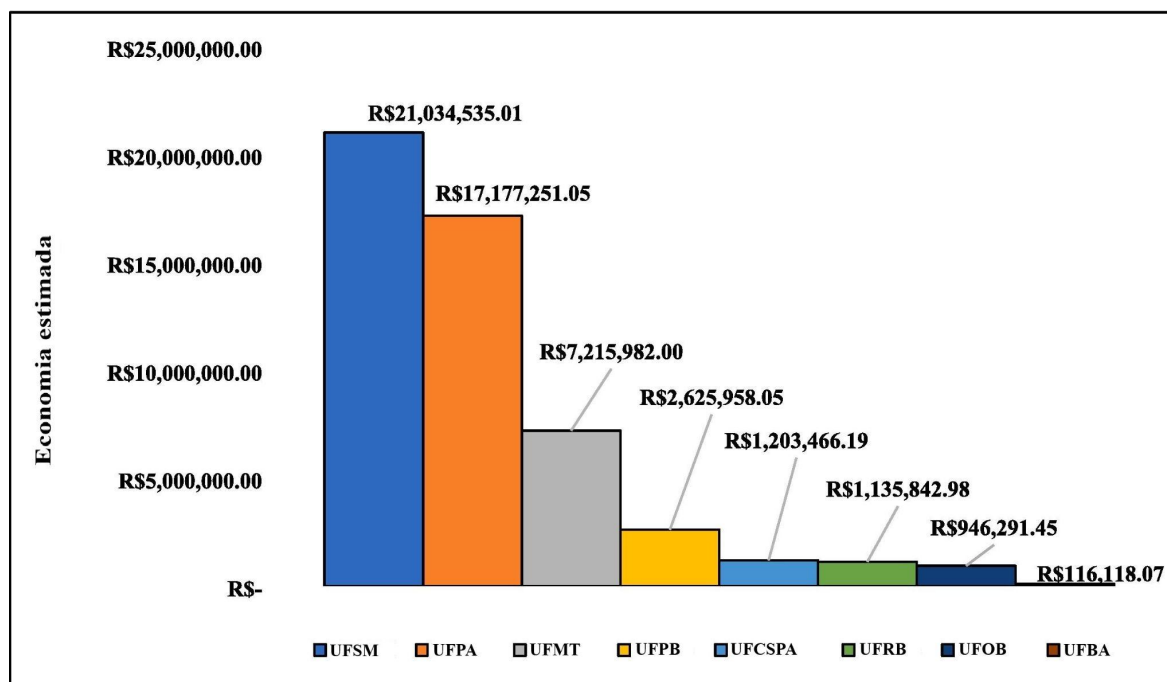
Os sistemas fotovoltaicos instalados em cada campus universitário (cenário I) provaram ser menos rentáveis em termos financeiros, em relação à instalação de usinas remotas e centralizadas para atender cada universidade e seus respectivos campi (Cenário II).

Figura 19 - Economia estimada por IES brasileira analisada (cenário II)



Fonte: Adaptado de SILVA et al., 2024.

Figura 20 - Economia estimada por IES brasileira analisada (cenário I)



Fonte: Adaptado de SILVA et al., 2024.

Em termos técnicos, os sistemas variaram de 50 kWp a 5 MWp, considerando fatores como irradiação solar, padrões de consumo de energia e perdas de eficiência do sistema. O estudo identificou que as variações nas tarifas de energia e os custos operacionais e de manutenção têm impacto significativo na viabilidade dos projetos.

As variáveis econômicas mostraram que as tarifas de energia tiveram impacto positivo de aproximadamente 36,93%, enquanto as despesas operacionais apresentaram impacto negativo de cerca de 29,12%. Os custos de investimento variaram significativamente com base no tamanho do sistema e localização.

Na comparação entre cenários, as instalações individuais nos campi (Cenário I) provaram ser mais viáveis que as usinas centralizadas (Cenário II), conforme analisado na Tabela 13. O imposto ICMS impactou significativamente a viabilidade dos cenários de geração remota, e o autoconsumo de 100% apresentou melhores resultados econômicos que a injeção na rede.

Tabela 13 - Comparativo de ROI e payback nos cenários I e II

Universidade	Cenário I		Cenário II	
	ROI (%)	Payback (anos)	ROI (%)	Payback (anos)
UFOB	31,41	2,9	17,54	4,4
UFMT	22,74	3,39	14,63	5,1
UFRB	14,28	5	8,54	7,45

Fonte: Adaptado de SILVA et al., 2024.

O estudo conclui que os sistemas fotovoltaicos são financeiramente viáveis para as universidades brasileiras, sendo a instalação individual nos campi a abordagem preferencial. A pesquisa fornece uma metodologia estruturada para que as universidades avaliem e implementem projetos de energia solar, considerando fatores técnicos, econômicos e regulatórios. Recomenda-se a instalação de sistemas em campi individuais em vez de usinas centralizadas, considerando as implicações tributárias no planejamento e monitorando o desempenho do sistema para manter a eficiência, além de contabilizar a degradação dos equipamentos no planejamento de longo prazo.

5.3. UFSCar

A publicação com as informações necessárias para serem consideradas e comparadas sobre as instalações e oportunidades de energia fotovoltaica do campus da Universidade Federal de São Carlos, em São Carlos, Brasil (ROCHA, 2024).

O campus da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) em São Carlos, SP, conta com uma área construída superior a 205 mil m² e atende mais de 12 mil estudantes em 68 cursos presenciais, o que acarreta diretamente em uma demanda energética significativa

conforme a Tabela 14. Em resposta a esse cenário, a partir de 2017, a instituição implementou medidas visando otimizar seu consumo energético.

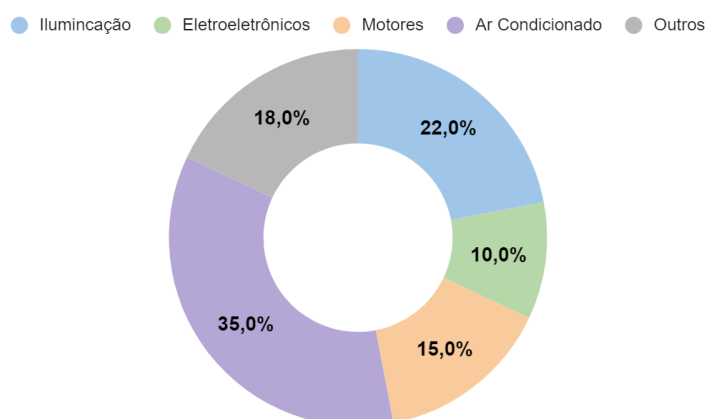
Tabela 14 - Consumo de energia elétrica em kWh de 2017 a 2023

	2017	2018	2019	2022	2023
Jan	880.750	809.987	819.227	625.629	694.050
Fev	1.036.690	1.036.690	1.112.618	614.185	701.860
Mar	1.029.480	1.029.480	972.826	718.382	831.680
Abr	1.105.590	1.105.590	968.629	640.877	665.340
Mai	1.068.710	1.068.710	992.270	621.844	700.080
Jun	1.010.590	1.010.590	842.076	651.150	669.920
Jul	1.055.180	1.055.180	845.885	676.677	707.090
Ago	890.370	890.370	789.057	696.857	739.450
Set	1.066.950	1.066.950	919.111	675.026	750.040
Out	1.056.700	1.056.700	1.064.602	692.183	861.070
Nov	1.127.580	1.127.580	1.134.217	675.361	835.640
Dez	1.171.712	1.171.712	896.580	630.166	789.060
Total Ano	12.500.302	12.429.539	11.357.098	7.918.337	8.945.280

Fonte: Prefeitura Universitária, 2024.

A análise dos dados energéticos ilustra uma queda significativa de 30% no consumo de energia elétrica entre 2019 e 2022, majoritariamente explicado pela mudança na iluminação do campus para lâmpadas de LED (FAI, 2019). Além disso, os dados da Tabela 13 também revelam um crescimento significativo no consumo total entre 2022 e 2023. Observou-se uma elevação de aproximadamente 13%, passando de 7,91 GWh para 8,94 GWh. Com isso, é necessário aprofundamento para entender o perfil de consumo energético do campus. Os dados considerados estão na Figura 21.

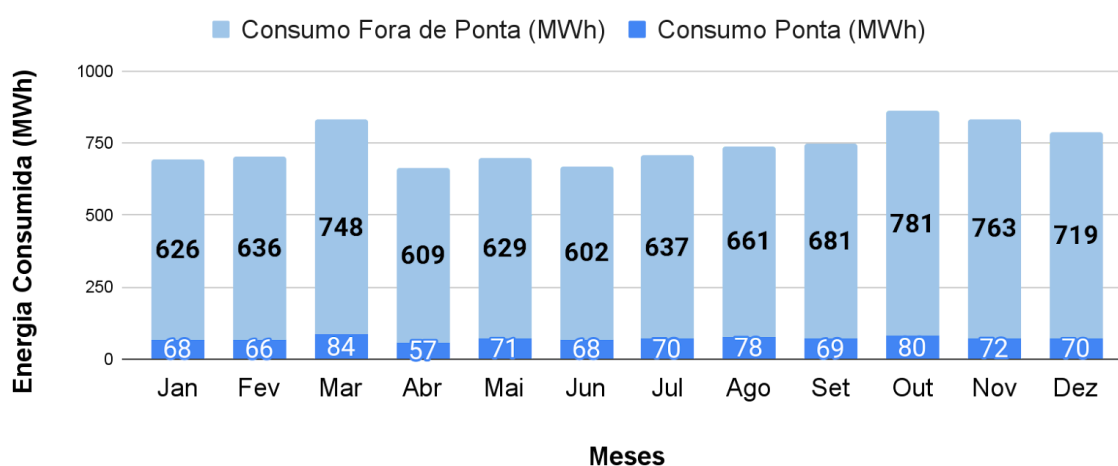
Figura 21 - Perfil energético da UFSCar em 2018



Fonte: ROCHA, 2024.

Vale ressaltar a distinção entre os períodos de consumo: o horário de ponta, compreendido entre 18h e 20h59, e o horário fora de ponta, que se estende das 21h às 17h59 do dia seguinte. As variações de consumo energético ao longo de 2023 podem ser visualizadas na Figura 22. Vale ressaltar que os dados de consumo energético são anteriores às trocas na iluminação do campus, de forma que as principais demandas podem ter sido impactadas com as implantações e modernizações mais recentes.

Figura 22 - Consumo de energia elétrica em MWh em 2023 no horário de ponta e fora de ponta



Fonte: Prefeitura Universitária, 2024.

A universidade participou do Programa de Eficiência Energética (PEE) da CPFL, obtendo recursos para investir em tecnologias de geração sustentável através de iniciativas coordenadas pelo então vice-reitor, Prof. Dr. Walter Libardi. Os projetos desenvolvidos, denominados ProDin, focaram na economia de energia e redução de custos operacionais, principalmente através da modernização da iluminação com tecnologia LED e implementação de sistemas fotovoltaicos.

Entre os diversos projetos desenvolvidos para os campi da UFSCar, destacam-se dois realizados no campus São Carlos:

- ProDin 11.512: o primeiro contou com um investimento de R\$1,3 milhões para a substituição de 11.400 lâmpadas por LED e instalação de três usinas solares de 33,3 kWp na Unidade Saúde Escola (USE). No período de maio/2020 a maio/2021, o sistema gerou 117.814 kWh (sendo que a expectativa inicial era 147.683 kWh, uma redução de 20% entre o realizado e o esperado), alcançando uma redução de 119,35 kW no horário de ponta, gerando um total de 486 MWh/ano de energia.
- ProDin 11.985: o segundo projeto recebeu um investimento de R\$1,4 milhões para substituir 15.000 lâmpadas por LED e instalar uma usina solar de 72,76 kWp na área norte. Entre setembro/2020 e setembro/2021, o sistema gerou 105.084 kWh (onde a estimativa inicial era de 110.139 kWh, uma variação de 4% entre o realizado e o esperado), resultando em uma redução de 232,35 kW no horário de ponta, gerando um total de 681,78 MWh/ano de energia.

Na Figura 23, têm-se fotos das instalações fotovoltaicas mencionadas no ProDin 11.985.

Figura 23 - Fotografias de usinas fotovoltaicas instaladas na área norte da UFSCar



Fonte: ROCHA, 2024.

Em 2022, com o retorno das atividades presenciais pós-pandemia, os sistemas fotovoltaicos geraram aproximadamente 1 GWh, representando 12,5% do consumo total do campus (8 GWh). O gasto energético naquele ano totalizou cerca de R\$5,9 milhões.

Estas iniciativas de energia fotovoltaica não apenas trazem benefícios econômicos e ambientais diretos, mas também promovem a conscientização da comunidade universitária sobre o uso racional de energia e a importância de práticas sustentáveis.

Além de analisar os painéis fotovoltaicos já existentes na UFSCar mencionados acima, o estudo de Rocha (2024) avaliou o potencial de implementação de mais sistemas fotovoltaicos no campus de São Carlos da UFSCar, com foco inicial nos telhados dos departamentos do Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia (CCET). A análise considerou dados de consumo energético, características geográficas e irradiação solar da região.

A UFSCar (campus São Carlos) está localizada a 21,97° de latitude sul e 47,88° de longitude oeste, recebe uma irradiação solar média de 5,127 kWh/m²/dia. O estudo recomenda a instalação de painéis voltados para o norte geográfico com inclinação de 26° para maximizar a captação solar.

Uma simulação detalhada foi realizada para o Departamento de Engenharia Química (DEQ), utilizando o software PVsyst. Com uma área de telhado de 506 m², estimou-se uma geração potencial de 142.031 kWh/ano, representando 1,59% do consumo total da universidade em 2023. O sistema proposto teria 255 módulos de 370 Wp cada, com um índice de performance de 80,54%.

Expandindo a análise para todos os departamentos do CCET, o estudo projetou que a implementação de sistemas fotovoltaicos poderia gerar até 26,54% do consumo total de energia da UFSCar em 2023 (ROCHA, 2024), conforme detalhado na Tabela 15.

Tabela 15 - Energia gerada por simulação para os departamentos do CCET

Departamentos CCET	Estimativa de energia gerada anualmente kWh/ano	Representatividade consumo UFSCar (2023)
DEQ	142.031	1,59%
DEP	189.374	2,12%
DEE e DEMec	94.687	1,06%
DF	368.565	4,12%
DM	368.565	4,12%
DECiv	151.321	1,69%
DEMa	189.374	2,12%
DEs	94.687	1,06%
DQ	388.038	4,34%
DC	388.038	4,34%

Fonte: ROCHA, 2024.

A análise econômica, considerando um investimento inicial de R\$982.000 para o sistema do DEQ, estimou um tempo de retorno (payback) de aproximadamente 9 anos. O fluxo de caixa projetado ao longo de 25 anos (vida útil estimada do sistema) resultou em um Valor Presente Líquido (VPL) positivo, indicando a viabilidade financeira do projeto.

O estudo também destacou os desafios de implementação, principalmente relacionados à adaptação estrutural dos telhados existentes. Alternativas como instalações em solo ou em estacionamentos foram mencionadas como opções viáveis.

Por fim, apesar do alto investimento inicial, a implementação de sistemas fotovoltaicos apresenta um potencial significativo para redução de custos energéticos a médio prazo, além de contribuir para a transição da universidade para fontes de energia mais sustentáveis. O estudo recomenda análises futuras para explorar outras áreas do campus além dos telhados, bem como a integração com outras tecnologias sustentáveis, como plantas de biogás.

5.4. COMPARATIVO

A experiência e os aprendizados adquiridos com estas implementações globalmente podem servir como referência para outras instituições educacionais, considerando as particularidades de cada localidade e estrutura física. Ao expandir a aplicação desta tecnologia para diferentes contextos universitários, torna-se possível desenvolver um banco de dados robusto sobre práticas bem-sucedidas e obstáculos enfrentados.

A realização de análises comparativas entre diferentes implementações em IES possibilita identificar padrões de sucesso e desenvolver soluções mais eficientes para a incorporação de tecnologias solares no ambiente acadêmico, fortalecendo assim o movimento global em direção à sustentabilidade no ensino superior.

Na Tabela 16, têm-se os principais parâmetros analisados de cada estudo de caso dos campus universitários considerados neste trabalho.

Tabela 16 - Comparação dos principais parâmetros entre instalações em IES

	Keetle University	Gaziantep Islamic Science and Technology University	Polytechnic University of Valencia	New Haven University	ICFAI University	University of L'Aquila	UFSCar (atual)	UFSCar (proposta por ROCHA, 2024).
Localização	Newcastle, Reino Unido	Gaziantep, Turquia	Valencia, Espanha	Connecticut, EUA	Jaipur, Índia	Áquila, Itália	São Carlos, Brasil	
Tamanho da comunidade universitária	11.328	3.253 (alunos)	32.000	6.000 (alunos)	27.811 (alunos)	15.960 (alunos)	12.537 (alunos)	
Irradiação solar média anual	1.100 kWh/m2	1.904 kWh/m2	1.735 kWh/m2	1.825 kWh/m2	2.007 kWh/m2	1.799 kWh/m2	1.871 kWh/m2	
Paineis fotovoltaicos	12.500	220	-	228	209	-	4 usinas	255
Capacidade fotovoltaica	4.4 MWp	121 kWp	-	67 kWp	50 kWp	-	87,5 kWp	-
Consumo de energia (ano)	42,817 GWh	-	38 MWh	11,186 MWh	267 MWh	786,1 MWh	7,427 GWh	
Produção de energia fotovoltaica (ano)	-	197,7 MWh	9,17 GWh	1,31 GWh	64,1 MWh	299,8 MWh	1,1 GWh	+2,4GWh (Total: 3,5 GWh)
Autoconsumo de energia	-	81.51%	94.78%	100%	-	100%	100%	100%
Autossuficiência de energia	50%	-	23%	12%	24%	38%	12%	33%
Investimento do projeto	£8,1M	US\$699k	-	US\$288k	US\$59k	€315k	R\$2.7M	R\$982k
<i>Payback</i> (anos)	-	2.19 anos	3.08 anos	11 anos	4.68 anos	5 anos	-	9 anos
Redução de emissão de CO₂	14.393 t	989.35 t	-	-	102 t	184.9 t	-	-

Fonte: Autora.

A principal fonte de informação dos dados apresentados são os artigos anteriormente mencionados. Os hifens “-” indicam que a informação não foi encontrada nas pesquisas. Explicando mais profundamente os dados apresentados no Quadro 3 acima:

- Localização: cidade e país onde o campus universitário está localizado;
- Tamanho da comunidade universitária: número de pessoas pertencentes à comunidade universitária do campus (estudantes, corpo docente, equipes de administração, etc). Nos casos em que essa informação não foi encontrada, utilizou-se o número de estudantes, uma vez que é a maior representação percentual da composição da comunidade universitária;
- Irradiação solar média anual: quantidade de energia solar que chega à superfície da Terra em determinada localização, medida em kWh/m²/ano.
- Paineis fotovoltaicos: número de painéis fotovoltaicos considerados na instalação analisada;
 - UFSCar: nos documentos disponíveis (ProDin 11.512 e ProDin 11.985) sobre as instalações atuais no campus da UFSCar não há a informação de quantos painéis solares de energia fotovoltaica estão instalados, apenas é referenciado como “usina”
- Capacidade fotovoltaica: kWp (quilowatt-pico) refere-se à potência máxima que um sistema fotovoltaico pode gerar em condições ideais de teste, em seu ponto de máximo desempenho;
 - Valores disponíveis nos respectivos artigos de cada IES. No caso da UFSCar, a informação foi obtida através de ProDin 11.512 e ProDin 11.985
- Consumo de energia (ano): demanda energética da operação do campus em um ano;
 - Universidade de Valencia: dado obtido a partir do gráfico (Figura 8) do artigo HURTADO-PEREZ, et al., 2024
 - Universidade ICFAI: dado calculado a partir do percentual de autossuficiência energética informado no artigo MUKHERJI, et al., 2019
 - Universidade de L’Aquila: média simples obtida entre o consumo dos dois anos informados no artigo D’ADAMO, et al., 2021
 - UFSCar: a informação foi obtida na publicação FAI, 2018
- Produção de energia fotovoltaica (ano): geração de energia elétrica pela instalação fotovoltaica considerada no período de um ano;

- Autoconsumo de energia: percentual de consumo da energia fotovoltaica utilizada pelo próprio campus gerador dessa energia elétrica. É um fator importante considerando que grande parte dos incentivos e políticas públicas de investimento são válidas apenas quando há energia injetada disponível para a população geral. Além disso, vale ressaltar que 100% é um valor ilustrativo, uma vez que há perdas no processo produtivo, então não há como consumir a energia produzida em sua totalidade;
 - UFSCar: a informação foi obtida na publicação FAI, 2018
- Autossuficiência de energia: considerando a demanda energética, a produção de energia pela instalação e o percentual de autoconsumo, calculou-se o percentual de atendimento dessa demanda energética através da energia gerada pelos painéis fotovoltaicos;
 - Universidade Keele: vale destacar que o percentual de 50% divulgado pela IES leva em consideração todo o Campo de Geração de Energia com Baixo Carbono instalado no campus, que conta com 2 turbinas eólicas além dos 12.500 painéis fotovoltaicos.
- Investimento do projeto: montante de dinheiro necessário para a instalação do projeto considerado;
- Payback (anos): período de tempo necessário para que o fluxo de caixa gerado por um investimento pague o valor inicial investido, é usado para identificar a viabilidade financeira do projeto;
- Redução de emissão de CO₂: medida em toneladas sobre quanto dióxido de carbono deixa de ser emitido com a utilização da instalação fotovoltaica. É uma informação importante sobre a sustentabilidade do campus, mesmo que não seja o objetivo final da instalação, uma vez que CO₂ é um dos principais gases do efeito estufa.

Para garantir o sucesso e a efetividade dos sistemas fotovoltaicos implementados, globalmente, é fundamental estabelecer processos sistemáticos de acompanhamento e análise de desempenho. Esta prática não apenas valida as projeções iniciais, mas também permite avaliar a viabilidade e os impactos do projeto ao longo do tempo.

Com as análises e estudos de cada artigo mencionado na comparação, têm-se recomendações importantes para um cenário energético mais sustentável na UFSCar, destacando a manutenção simples dos painéis com a limpeza periódica, o acompanhamento mais próximo dos dados sobre a geração de energia fotovoltaica a fim de identificar possíveis falhas e melhorias nas instalações e, por fim, assim conforme sugerido em vários dos artigos

utilizados com campus de referência, sugere-se a expansão e implantação de mais painéis fotovoltaicos.

Vale mencionar também que não têm-se acesso às informações sobre os modelos de painéis fotovoltaicos instalados na UFSCar e este é um fator importante para o potencial de geração de energia. Citando como exemplos, as IES analisadas da Espanha e da Itália contam com instalações de painéis fotovoltaicos monocristalinos, com 21% e 18% de eficiência respectivamente, enquanto as IES analisadas dos EUA e da Índia utilizam painéis policristalinos, com eficiência de 15% e 14% respectivamente. Assim, identifica-se que o tipo de painel fotovoltaico instalado apresenta divergências quanto à eficiência do mesmo, o que impacta diretamente na capacidade de produção de energia solar. Além dos modelos citados, pode-se sugerir tecnologias ainda mais avançadas como painel de multijunção, com eficiência superior à 30%, que poderia ser considerado para futuras instalações na UFSCar.

5.5. POLÍTICAS E INCENTIVOS

Ao comparar as Tabelas 2 e 3 é possível identificar a repetição dos principais países em relação à publicações científicas sobre energia fotovoltaica em IES e quanto à decretos, leis e incentivos para implementação e geração de energias sustentáveis, o que permite relacionar os dois, ilustrando a importância desses programas e apoio financeiro.

Assim como mencionado anteriormente, ao buscar-se novas tecnologias e iniciativas, o investimento disponível para o projeto se torna um fator crucial para o sucesso do mesmo. Identificou-se nas IES analisadas:

- Universidade Keele (Reino Unido) com investimento privado da empresa ENGIE;
- Universidade ICFAI (Índia) com 30% do valor total do projeto de instalação dos painéis de energia fotovoltaica como incentivo público, a fim de tornar a instalação economicamente viável e reduzir o tempo de retorno financeiro para universidade;
- Universidade New Haven (Estados Unidos) com participação do programa governamental norte-americano de incentivos ZREC (*Zero Emission Renewable Energy Credits*)

Porém, deve-se considerar o caso analisado da Universidade de L'Aquila (Itália), em que o campus não foi contemplado no decreto governamental italiano FER1, para receber incentivos em relação à energia gerada pela universidade. Isso porque nesse caso, este decreto está diretamente vinculado à energia injetada na rede elétrica e, no caso da IES, não há excedente de energia injetada na rede elétrica, uma vez que toda a energia gerada seria

consumida pelo próprio campus, por ser um valor menor do que a demanda energética do campus. (D'ADAMO et al. 2021).

Considerando este contexto, CUCCHIELLA et al. (2023) propõe uma metodologia multidisciplinar para analisar diferentes cenários de incentivos, de acordo com a instalação e condições variáveis do sistema fotovoltaico selecionado, a fim de garantir os incentivos do decreto FER1. Assim, é possível identificar as soluções mais eficientes econômica e tecnicamente com o menor impacto do ponto de vista ambiental. O decreto desempenha um papel fundamental na rentabilidade da planta fotovoltaica, portanto, os incentivos ajudam a implementar o processo de transição energética em curso.

Assim, destaca-se a importância de investimentos públicos e/ou privados, além de incentivos governamentais, que estejam alinhados com a realidade das universidades. Uma vez que, além dos ganhos econômicos e ecológicos, têm-se ganhos sociais consideráveis com a formação mais sustentável dos cidadãos que tiverem algum tipo de contato com a universidade.

6. CONCLUSÕES

Agir para reduzir o consumo e aumentar a eficiência dos edifícios universitários não é apenas uma missão para a equipe técnica, é uma oportunidade única de trabalhar em um laboratório vivo onde as ações podem ser planejadas, implementadas, monitoradas e avaliadas por professores e alunos (SHAHIDEHPOUR et al, 2012) conforme ilustraram.

Desta forma, identifica-se como oportunidade a expansão das instalações de energia fotovoltaica conforme descrito no estudo de ROCHA (2024), a fim de atender 33% da demanda energética do campus, considerando painéis em todos os prédios do CCET. Posteriormente, pode-se analisar a viabilidade econômica e do espaço disponível para outros edifícios do campus, com objetivo de aumentar o percentual de autossuficiência.

Além disso, sugere-se também a consolidação de parcerias estratégicas como a mencionada entre Universidade Keele e ENGIE. Assim é possível verificar resultados reais em uma escala universitária, que se assemelha a pequenas comunidades, garantindo aprendizados e ajustes mais rápidos. Além de impactar diretamente na formação de milhares de estudantes que, como cidadãos, podem motivar inúmeras outras iniciativas e inovações em busca de uma sociedade mais sustentável e fomentar a adoção de comportamentos mais sustentáveis no futuro.

Observa-se que as publicações científicas que abordam práticas e iniciativas sobre energia sustentável apresentam descrições metodológicas pouco detalhadas quanto à

implementação das ações. Esta limitação resulta em uma escassez de informações concretas sobre as ferramentas e procedimentos utilizados nas aplicações práticas, impactando diretamente no acesso à informação e possível implementação em outras instituições. Adicionalmente, apesar do volume de iniciativas documentadas, há uma ausência notável de dados quantitativos sobre resultados e impactos alcançados após as instalações fotovoltaicas serem feitas, o que dificulta a avaliação objetiva da relevância e eficácia destas instalações (AMARAL et al., 2021).

Considerando isso, dentre os principais itens abordados nos artigos selecionados para estudos de caso deste trabalho destacam-se algumas ações e próximos passos possíveis a serem implementados ou desenvolvidos no campus da UFSCar como por exemplo a manutenção e limpeza periódica para não impactar a eficiência do painel, acompanhamento dos dados de geração de energia a fim de identificar possíveis falhas, atualização dos modelos de painéis instalados com o objetivo de aumentar a eficiência e consequentemente a energia gerada através de tecnologias mais modernas e eficientes, dentre outras.

Por fim, de forma resumida, como próximos passos para tornar o campus São Carlos - UFSCar mais sustentável sugere-se:

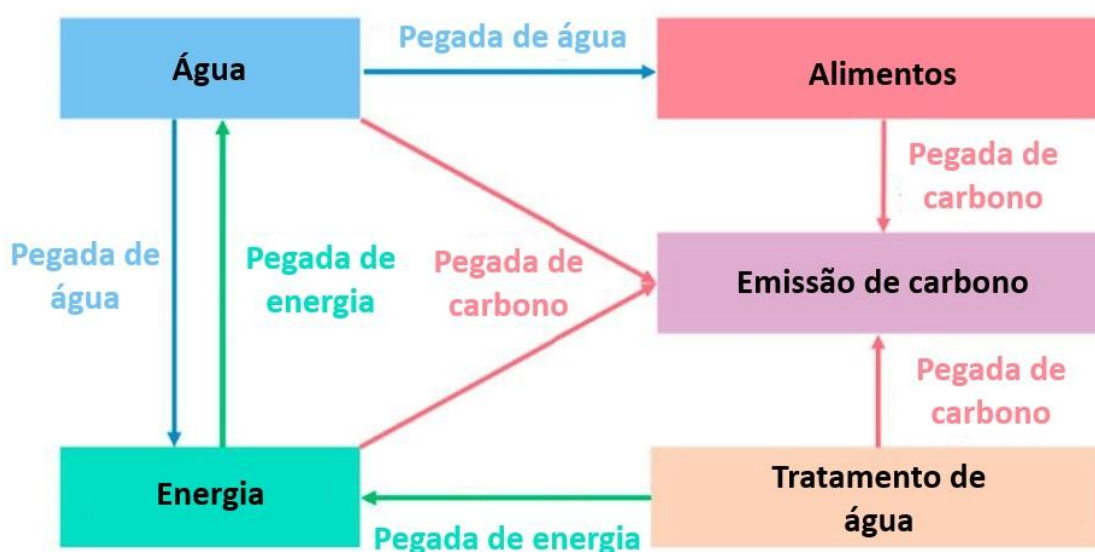
- Acompanhamento e monitoramento mais próximo e com maior divulgação das instalações fotovoltaicas atuais, a fim de gerar maior envolvimento da comunidade universitária e permitindo uma rápida identificação de possíveis falhas ou melhorias;
- Identificação de possíveis parceiros estratégicos para ampliação das instalações fotovoltaicas e outras ações, com objetivo de viabilizar inovações e novas tecnologias no campus e torná-lo mais autossuficiente e sustentável.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÃO DE TRABALHO FUTURO

Com este trabalho, é possível compreender dois grandes pilares para tornar o campus da UFSCar efetivamente mais sustentável: acesso e divulgação de dados e relação entre os principais setores relacionados à sustentabilidade da comunidade, e incentivos e investimentos a fim de implementar e gerenciar corretamente os recursos disponíveis, garantindo a máxima eficiência em todo o funcionamento. Para isso propõe-se uma abordagem mais ampla com um modelo de campus verde, baseado em RIBEIRO et al. (2016). É necessário envolver toda a comunidade universitária trazendo mais visibilidade para essas ações, garantindo uma formação mais completa dos estudantes e o desenvolvimento de um olhar sustentável, ao cobrar corretamente os agentes responsáveis.

Paralelamente ao artigo publicado sobre Universidade Keele (YIFAN et al, 2019) mencionado anteriormente, sugere-se uma análise holística da UFSCar similar à ilustrada na Figura 24 em que destaca-se as interligações entre os principais pilares de sustentabilidade, a fim de inicialmente obter-se dados atualizados e precisos sobre os principais pilares de um ambiente sustentável e, com tais informações, definir estratégias coerentes com a realidade e com o potencial do campus universitário em questão.

Figura 24 - Relação entre principais pilares da sustentabilidade



Fonte: Adaptado de YIFAN et al., 2019.

Porém é válido mencionar o artigo da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) (BATTLE et al., 2020), em que os resultados do estudo mostraram um potencial anual de economia no consumo de energia elétrica do campus aproximadamente em 9,6%, o que representa um valor de R\$ 93.647,20 e 20.3 toneladas de emissão de CO₂ reduzidas sem investimentos econômicos necessários, apenas com a implementação metodologia proposta baseada em definição e acompanhamento de indicadores de eficiência de energia. Além disso, as sugestões deste estudo podem ser replicadas em qualquer outra instituição de ensino superior, por ser adaptável e flexível, uma vez que cada IES pode definir o período de análise do indicador, levantando dados práticos para referência e avaliações relevantes da eficiência energética das edificações do campus.

Além disso, como realizado neste presente trabalho, foi selecionado um outro estudo anterior para complementar essa análises integrativa e comparações (AMARAL et al., 2020). Esse artigo realizou uma revisão abrangente da literatura sobre ações e iniciativas de

sustentabilidade implementadas em campus universitários. A análise identificou oito áreas-chave:

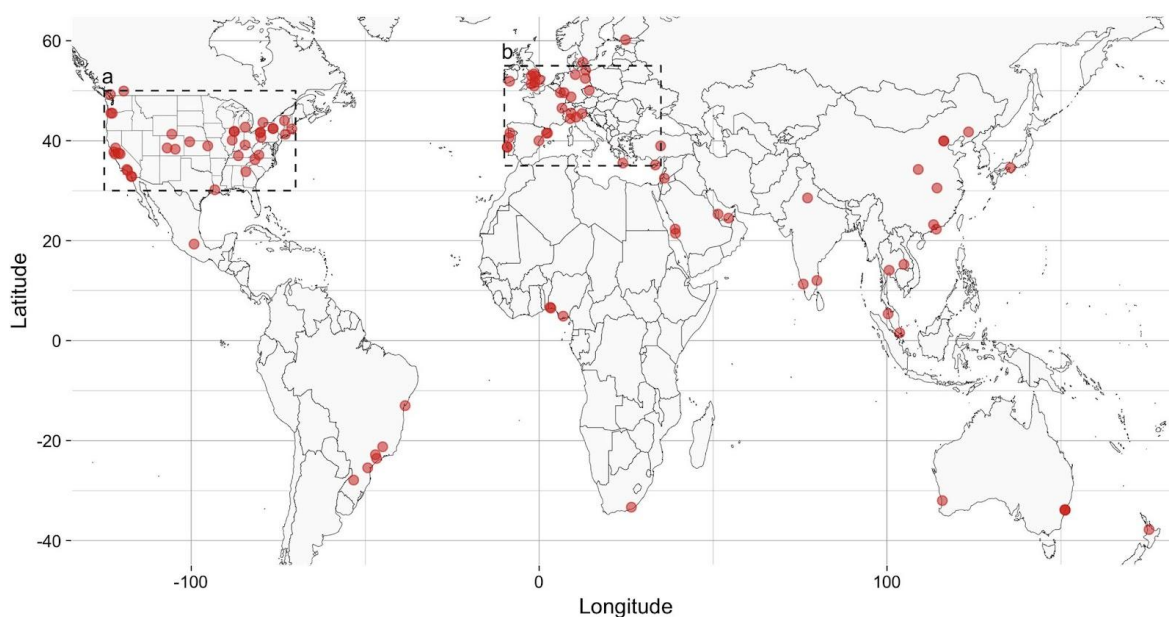
- Energia: compreende principalmente a implantação de sistemas de geração de energia a partir de fontes renováveis e respectiva distribuição e armazenamento;
- Edificações: atua no desempenho energético dos edifícios;
- Resíduos: relacionado à redução da produção de resíduos sólidos, por meio de ações de redução, reciclagem e/ou reutilização. São considerados diversos tipos de resíduos, como resíduos alimentares, materiais consumíveis ou resíduos perigosos;
- Água: iniciativas relacionadas com a gestão e tratamento da água, o segundo recurso mais consumido nos campus depois de energia;
- Transporte: promove sistemas de transporte sustentável atendendo aos campus e sua comunidade, especialmente pela redução de veículos movidos a combustíveis fósseis ou pela proposição de meios alternativos de deslocamento;
- Áreas verdes: espaços públicos e abertos dos campus, como a gestão de paisagens sustentáveis e ecossistemas saudáveis;
- Ar e clima: à redução de gases do efeito estufa e outras emissões poluentes e melhoria da qualidade do ar, tanto interno quanto externo. Além disso, iniciativas para combater as mudanças climáticas em uma perspectiva mais ampla de pegada ambiental;
- Alimentação: compromisso com sistemas alimentares sustentáveis, que visam mitigar impactos ambientais e sociais da produção industrial de alimentos, privilegiando ingredientes orgânicos e/ou produtores locais, reduzindo também a poluição associada ao transporte.

Os resultados mostram que as iniciativas relacionadas à energia e edificações são predominantes, representando a maior parte das ações implementadas. Em energia, destaca-se a instalação de sistemas de geração renováveis, principalmente a energia solar fotovoltaica (representando 38% dos casos estudados) com casos de cobertura de demanda energética (autossuficiência) variando de 3,76% a 80%. Essa tendência está alinhada ao esperado e identificado neste presente estudo.

Em edificações, as principais ações envolvem certificações ambientais e melhorias na eficiência energética, com reduções de consumo entre 7,5% e 70%. Nota-se um interesse crescente em combinação de recursos (18% dos casos estudados) para uma realidade mais sustentável, além de métodos para otimizar o gerenciamento desses recursos.

Identificou-se 106 instituições de ensino superior em 31 países, com maior concentração na América do Norte e Europa, conforme ilustrado na Figura 23 abaixo. A análise sugere que países de maior renda tendem a implementar mais iniciativas que requerem investimentos significativos, como sistemas de energia renovável e edificações eficientes.

Figura 25 - IES consideradas no estudo com publicações sobre ações e iniciativas de sustentabilidade



Fonte: AMARAL et al., 2020.

No entanto, há crescentes evidências na literatura que indicam um número considerável de falhas na implementação de iniciativas de sustentabilidade (Mohammadalizadehkorde e Weaver, 2018), sendo as principais razões dadas pelas próprias IES identificadas na literatura.

Entre os principais desafios identificados estão a falta de financiamento, recursos humanos e tecnológicos limitados, falta de apoio administrativo e resistência da comunidade acadêmica. O sucesso das iniciativas está frequentemente associado ao apoio da gestão, disponibilidade de recursos e engajamento da comunidade.

Conforme AMARAL et al. (2020) é necessário entender o raciocínio lógico por trás da implementação e da viabilidade de energia fotovoltaica em cada cenário. Isso é essencial para identificação das razões de possíveis falhas, para entender as divergências entre o

estimado e o realizado quanto às principais métricas e principalmente para analisar criticamente as iniciativas implementadas, considerando a realidade de cada instituição.

Os autores concluem que, apesar da variedade de iniciativas, há uma necessidade de estabelecer estruturas integradas para disseminar e monitorar o impacto das ações. Também destacam a importância de considerar aspectos sociais e econômicos além dos ambientais e de otimizar investimentos para demonstrar o valor das ações estratégicas de sustentabilidade.

Assim, a sugestão de um possível futuro trabalho acadêmico é a consolidação de informações atuais e precisas das pegadas ambientais da UFSCar em relação à energia, água, CO₂, resíduos e alimentos, a fim de identificar oportunidades no campus.

Isso porque uma gestão focada em uma única área de impacto ambiental pode levar a uma tomada de decisão menos eficaz, porque as complexas interdependências entre esses diferentes aspectos podem não ser consideradas corretamente. Esta falta de pesquisa e dados entre energia, água, resíduos, alimentos e emissões de carbono e a tomada de decisão ambiental integrada nos campi universitários, bem como o significativo impacto mundial deste setor, tornam importante estabelecer um sistema e metodologia de avaliação abrangente para avaliar a sustentabilidade das operações das IES e desenvolver uma metodologia que possa ser utilizada em escala comunitária.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Unicef, *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*. Disponível em: <<https://www.unicef.org/brazil/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel>>. Acesso em 29 jun. 2025.

Nações Unidas, *Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil*. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em 29 jun. 2025.

RITCHIE, H., ROSADO, P. e ROSER, M., *Energy Production and Consumption - Explore data on how energy production and use varies across the world*, 2021. Disponível em: <https://ourworldindata-org.translate.google.energy-production-consumption?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt&_x_tr_pto=tc>. Acesso em 29 jun. 2025.

CETESB, *Quais os impactos da energia nas mudanças climáticas?*, 2021. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/blog/2021/09/02/quais-os-impactos-da-energia-nas-mudancas-climaticas/>>. Acesso em 29 jun. 2025.

KUMAR, C., SINGH, S., GUPTA, M., NIMDEO, Y., RAUSHAN, R., DEORANKAR, A., KUMAR, T., ROUT, P., CHANOTIYA, C., PAKHALE, V., NANNAWARE, A., *Solar energy: A promising renewable source for meeting energy demand in Indian agriculture applications*. Sustainable Energy Technologies and Assessments, v. 55, fev. 2023. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102905>>

WAKKEE, I., SIJDE, P., VAUPELL, C., GHUMAN, K., *The university's role in sustainable development: Activating entrepreneurial scholars as agents of change*. Technological

Forecasting and Social Change, v. 141, p. 195-205, abr. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.10.013>>

SADY, M., ZAK, A., RZEPKA, K., *The Role of Universities in Sustainability-Oriented Competencies Development: Insights from an Empirical Study on Polish Universities*. Adm. Sci., v. 9, p. 62, ago. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/admsci9030062>>

BOARIN, P., MARTINEZ-MOLINA, A., JUAN-FERRUSES, I., *Understanding students' perception of sustainability in architecture education: A comparison among universities in three different continents*. Journal of Cleaner Production, v. 248, mar. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119237>>

NEJAT, P., JOMEHZADEH, F., TAHERI, M., GOHARI, M., MAJID, M., *A global review of energy consumption, CO2 emissions and policy in the residential sector (with an overview of the top ten CO2 emitting countries)*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 43, p. 843-862, mar. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.066>>

BHUTADA, G., *Mapped: Energy Consumption Per Capita Around the World*, 2022. Disponível em: < <https://elements.visualcapitalist.com/energy-consumption-per-capita/>>. Acesso em 29 jun. 2025.

IEA, *SDG7: Data and Projections - Access to electricity*, 2015. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections/access-to-electricity>>. Acesso em 29 jun. 2025.

Energy Institute e Stone X, *Tendências da matriz elétrica global*, set. 2023. Disponível em: < <https://mercadosagricolas.com.br/inteligencia/matriz-eletrica-global/>>. Acesso em 29 jun. 2025.

IEA, *What the data centre and AI boom could mean for the energy sector*, out. 2024. Disponível em: < <https://www.iea.org/commentaries/what-the-data-centre-and-ai-boom-could-mean-for-the-energy-sector>>. Acesso em 29 jun. 2025.

Portal Solar, *Painel solar: o que é, como funciona e tipos painel solar e céu azul em um campo aberto*, 2020. Disponível em: < <https://www.portalsolar.com.br/painel-solar>>. Acesso em 29 jun. 2025.

KIM, K., SHENOY, P., KREIN, P., *Converter Rating Analysis for Photovoltaic Differential Power Processing Systems*. IEEE, v. 30, p. 1987 – 1997, mai. 2014. Disponível em: < <https://ieeexplore.ieee.org/document/6819463>>

KAMEL, E., PITTAU, F., VERME, L., SCATIGNA, P., IANNACCONE, G., *A Parametric Integrated Design Approach for Life Cycle Zero-Carbon Buildings*. Sustainability, 2024, v. 16. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su16052001>>

PADOAN, F., ALTIMARI, P., PAGNANELLI, F., *Recycling of end of life photovoltaic panels: A chemical prospective on process development*. Solar Energy, v. 177, p. 746-761, jan. 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.12.003>>

BOSMAN, P., LEON-SALAS, W., HUTZEL, W., SOTO, E., *PV System Predictive Maintenance: Challenges, Current Approaches, and Opportunities*. Energies, v.13, p. 1398, mar. 2020. Disponível em: < <https://doi.org/10.3390/en13061398>>

MAKA, A., ALABID, J., *Solar energy technology and its roles in sustainable development*. Clean Energy, v. 6, p. 476-483, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/ce/zkac023>>

GAHRENS, S., SALGADO, A., STEINFATT, K., *Trading Into a Bright Energy Future*. World Trade Organization, 2021. Disponível em: < https://www.wto.org/english/res_e/publications_e/energyfuture2021_e.htm>

PARIDA, B., INIYAN, S., GOIC, R., *A review of solar photovoltaic technologies*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v.15, p. 1625-1636, abr. 2011. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.032>>

Empresa de Pesquisa Energética, *Consumo de Energia Elétrica*, 2024. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/consumo-de-energia-el%C3%A9trica>>. Acesso em 29 jun. 2025.

Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR). *Infográfico do Mercado Solar*, 2025. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acesso em: 12 jun. 2025.

LUNA, M., CUNHA, F., MOUSINHO, M., TORRES, E., *Solar Photovoltaic Distributed Generation in Brazil: The Case of Resolution 482/2012*. Energy Procedia, v. 159, p. 484-490, fev. 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.12.036>>

National Renewable Energy Laboratory, *National Solar Radiation Database*, 2016. Disponível em: < <https://nsrdb.nrel.gov/>>. Acesso em 3 jun. 2025.

Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ), *Convênio ICMS 16*, abr. 2015. Disponível em: < <https://appl.sefaz.mt.gov.br/sistema/legislacao/legislacaotribut.nsf/07fa81bed2760c6b84256710004d3940/678427f63501840c84257e34004b91e8?OpenDocument>>. Acesso em 8 jun. 2025.

NeoSolar, *Incentivos à energia solar: como o Brasil tem feito isso*, jul. 2023. Disponível em: < <https://www.neosolar.com.br/blog/incentivo-energia-solar-brasil>>. Acesso em 29 jun. 2025.

LUKMAN, R., TIWARY, A., AZAPAGIC, A., *Towards greening a university campus: The case of the University of Maribor, Slovenia*. Resources, Conservation and Recycling, v. 53, p. 639-644, set. 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.04.014>>

TAN, H., CHEN, S., SHI, Q., WANG, L., *Development of green campus in China*. Journal of Cleaner Production, v. 64, p. 646-653, fev. 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.019>>

VELAZQUEZ, L., MUNGUÍA, N., PLATT, A., TADDEI, J., *Sustainable university: what can be the matter?*. Journal of Cleaner Production, v. 14, p. 810-819, 2006. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.12.008>>

ÁVILA, L., FILHO, W., BRANDLI, L., MACGREGOR, C., MOLTHAN-HILL, P., OZUYAR, P., MOREIRA, R., *Barriers to innovation and sustainability at universities around the world*. Journal of Cleaner Production, v. 164, p. 1268-1278, out. 2017. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.025>>

ALSHUWAIKHAT, H., ABUBAKAR, I., *An integrated approach to achieving campus sustainability: assessment of the current campus environmental management practices*. Journal of Cleaner Production, v. 16, p. 1777-1785, nov. 2008. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.12.002>>

LAMBRECHTS, W., LIEDEKERKE, L., PETEGEM, P., *Higher education for sustainable development in Flanders: balancing between normative and transformative approaches*. Environmental Education Research, v. 24, p. 1284 – 13002, set. 2018. Disponível em: < <https://doi.org/10.1080/13504622.2017.1378622>>

LEAL FILHO, W., WU, Y., BRANDLI, L., AVILA, L., AZEITEIRO, U., CAEIRO, S., MADRUGA, L., *Identifying and overcoming obstacles to the implementation of sustainable development at universities*. Journal of Integrative Environmental Sciences, v. 14, p. 93 – 1081, jan. 2017. Disponível em: < <https://doi.org/10.1080/1943815X.2017.1362007>>

PACHECO-BLANCO, B., BASTANTE-CECA, M., *Green public procurement as an initiative for sustainable consumption. An exploratory study of Spanish public universities*, Journal of Cleaner Production, v. 133, p. 648–656, out. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.056>>.

DONTHU, N., KUMAR, S., MUKHERJEE, D., PANDEY, N., LIM, W., *How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines*. Journal of Business Research, v. 133, p. 285 – 296, set. 2021. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070> >.

ADAMS, D., *Exporting your data*, Harzing, 2021. Disponível em: <<https://harzing.com/resources/publish-or-perish/manual/using/query-results/exporting>>.

Acesso em 14 mai. 2025.

Scholar-Google, *Métricas do Google Acadêmico*, 2024. Disponível em: <https://scholar-google-com.translate.goog/intl/en/scholar/metrics.html?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt&_x_tr_pto=tc>. Acesso em 06 mai. 2025.

GUI, X., GOU, Z., ZHANG, F., YU, R., *The impact of COVID-19 on higher education building energy use and implications for future education building energy studies*. Energy and Buildings, v. 251, nov. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111346>>

YIFAN, G., WANG, H., XU, J., WANG, Y., WANG, X., ROBINSON, Z., LI, F., WU, J., TAN, J., ZHI, X., *Quantification of interlinked environmental footprints on a sustainable university campus: A nexus analysis perspective*. Elsevier, v. 246, p. 65-76, jul. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.04.015>>.

BBC, *Keele students to benefit from £8m renewable energy park*, 2022. Disponível em: <<https://www.bbc.com/news/uk-england-stoke-staffordshire-61249426>>. Acesso em 15 jun. 2025.

DINCER, F., OZER, E., *Assessing the Potential of a Rooftop Grid-Connected Photovoltaic System for Gaziantep Islamic Science and Technology University/ Turkey*. Elsevier, v. 9, p. 149 - 165, 2023. Disponível em: <<https://www.ejmanager.com/mnstemps/204/204-1670146602.pdf?t=1750785574>>.

HURTADO-PEREZ, E., BASTIDA-MOLINA, P., APARISI-CERDÁ, I., ALFONSO-SOLAR, D., FERNÁNDEZ, A., *Multicriteria solar photovoltaic potential evaluation for high educational buildings*. Case study of Polytechnic University of Valencia, Spain. Elsevier, v. 227, jun. 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120560>>.

LEE, J., CHANG, B., AKTAS, C., GORTHALA, R., *Economic feasibility of campus-wide photovoltaic systems in New England*. Elsevier, v. 99, p. 452-464, dez. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.07.009>>.

MUKHERJI, R., MATHUR, V., BHATI, A., MUKHERJI, M., *Assessment of 50 kWp rooftop solar photovoltaic plant at The ICFAI University, Jaipur: A case study*. Elsevier, ago. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/ep.13353>>.

D'ADAMO, I., MONTE, F., FERELLA, F., GASTALDI, M., *The case study of a photovoltaic plant located at the university of L'Aquila: An economic analysis*. Elsevier, v. 278, jan. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123561>>.

QualEnergia, *A short guide to Italy's Fer 1 decree with new incentives for PV, wind power, hydro and other renewables*, 2019. Disponível em: <<https://www.qualenergia.it/articoli/a-short-guide-to-italys-fer-1-decree-with-new-incentives-for-pv-wind-power-hydro-and-other-renewables/>>. Acesso em 16 jun. 2025.

ROCHA, L. *Estudo do potencial de implementação de usinas fotovoltaicas no campus de São Carlos da UFSCar*. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia

Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2024. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/handle/20.500.14289/20694>>

Fundação de Apoio Institucional ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico da UFSCar (FAI), *Diagnóstico Energético – São Carlos*, 2018. Disponível em: <<https://www.soc.ufscar.br/coad/2020/arquivos/prodinusinasfotovoltaiicas.pdf>>. Acesso em 29 jun. 2025.

BATLLE, E., PALACIO, J., LORA, E., REYES, A., MORENO, M., MOREJÓN, M., *A methodology to estimate baseline energy use and quantify savings in electrical energy consumption in higher education institution buildings: Case study, Federal University of Itajubá (UNIFEI)*. Journal of Cleaner Production, v. 244, jan. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118551>>

AMARAL, A., RODRIGUES, E., GASPAR, A., GOMES, A., *A review of empirical data of sustainability initiatives in university campus operations*. Journal of Cleaner Production, v. 250, mar. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119558>>

NORTH, L., RYAN, C., *Green universities: The example of Western Kentucky university*. The Palgrave Handbook of Sustainability: Case Studies and Practical Solutions, p. 567 – 581, mai. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-71389-2_30>

AMARAL, A., RODRIGUES, E., GASPAR, A., GOMES, A., *Lessons from unsuccessful energy and buildings sustainability actions in university campus operations*. Journal of Cleaner Production, v. 297, mai. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126665>>

CUCCHIELLA, F., ROTILIO, M., CAPANNOLO, L., BERARDINIS, P., *Technical, economic and environmental assessment towards the sustainable goals of photovoltaic systems*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 188, dez. 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113879>>

RIBEIRO, J., BARBOSA, S., CASAGRANDE, J., SEHNEM, S., BERCHIN, I., SILVA, C., SILVEIRA, A., ZIMMER, G., FARACO, R., GUERRA, J., *Promotion of Sustainable Development at Universities: The Adoption of Green Campus Strategies at the University of Southern Santa Catarina, Brazil*. World Sustainability Series, p. 471 – 486, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-47868-5_29>

SHAHIDEHPOUR, M., CLAIR, J., *A Functional Microgrid for Enhancing Reliability, Sustainability, and Energy Efficiency*. The Electricity Journal, v. 25, p. 21-28, out. 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.tej.2012.09.015>>

LIMA, M., MENDES, L., MOTHÉ, G., LINHARES, F., CASTRO, M., SILVA, M., STHEL, M., *Renewable energy in reducing greenhouse gas emissions: Reaching the goals of the Paris agreement in Brazil*. Environmental Development, v. 33, mar. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100504>>

YOO, S., KWAK, S., *Electricity consumption and economic growth in seven South American countries*. Energy Policy, v. 38, p. 181-188, jan. 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.003>>

REN, J., DONG, L., *Evaluation of electricity supply sustainability and security: Multi-criteria decision analysis approach*. Journal of Cleaner Production, v. 172, p. 438-453, jan. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.167>>

Sunergia, *Quais os Principais Tipos de Módulos Fotovoltaicos?*. Disponível em: <<https://sunergia.com.br/blog/quais-os-principais-tipos-de-modulos-fotovoltaicos/>>. Acesso em: 22 jun. 2024.

CRESESB, *Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito*. Disponível em: <https://cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=321>. Acesso em: 28 mai. 2025.

ALANNE, K., SAARI, A., *Distributed energy generation and sustainable development*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 10, p.539-558, dez. 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2004.11.004>>

KOIRALA, B., KOLIOU, E., FRIEGE, J., HAKVOORT, R., HERDER, P., *Energetic communities for community energy: A review of key issues and trends shaping integrated community energy systems*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 56, p. 722-744, abr. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.080>>

EVANS, A., STREZOV, V., EVANS, T., *Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 13, p. 1082-1088, jun. 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.03.008>>

VILLALVA, Marcelo Gomes. *Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações*. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2012.

ÇENGEL, Yunus A.; GHajar, Armon. *Transferência de Calor e Massa: Uma Abordagem Prática*. 4. ed. São Paulo: AMGH Editora, 2012.

PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; GONÇALVES, André Rodrigues; COSTA, Rodrigo Santos; LOPES DE LIMA, Francisco J.; RÜTHER, Ricardo; ABREU, Samuel Luna de; TIEPOLO, Gerson Máximo; PEREIRA, Silvia Vitorino; SOUZA, Jefferson Gonçalves. *Atlas Brasileiro de Energia Solar*. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017.

ANEEL. *Relatório Anual de Informações - Ralie*. Disponível em: <<https://portalrelatorios.aneel.gov.br/Ralie>>. Acesso em: 13 jun. 2025.

Instituto Solar. *Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos*. Disponível em: <<https://institutosolar.com/dimensionamento-de-sistemas-fotovoltaicos/>>. Acesso em: 15 jun. 2025.

Canal Cecierj. *Recurso 17593*. Disponível em: <<https://canal.cecierj.edu.br/recurso/17593>>. Acesso em: 22 jun. 2025.

Ministério de Minas e Energia (MME). *Sobre o Programa Luz para Todos*. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/destaques/Programa%20Luz%20para%20Todos/sobre-o-programa>>. Acesso em: 11 jun. 2025.

CRESESB. *Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito*. Disponível em: <https://cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=321>. Acesso em: 29 mai. 2025.

Sunergia. *Quais os Principais Tipos de Módulos Fotovoltaicos?* Disponível em: <<https://sunergia.com.br/blog/quais-os-principais-tipos-de-modulos-fotovoltaicos/>>. Acesso em: 17 mai. 2025.

International Renewable Energy Agency (IRENA). *About*. Disponível em: <<https://www.irena.org/About>>. Acesso em: 20 jun. 2025.

National Solar Radiation Database (NSRDB). *What is the NSRDB*. Disponível em: <<https://nsrdb.nrel.gov/about/what-is-the-nsrdb>>. Acesso em: 30 mai. 2025.

Global Solar Atlas. *About*. Disponível em: <<https://globalsolaratlas.info/support/about>>. Acesso em: 14 jun. 2025.

SolarAnywhere. *Data Fields - Definitions*. Disponível em: <<https://www.solaranywhere.com/support/data-fields/definitions/>>. Acesso em: 07 jun. 2025.

Portal Solar. *Energia Solar Fotovoltaica: Impactos Ambientais*. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-fotovoltaica-impactos-ambientais>>. Acesso em: 08 mai. 2025.

Portal Solar. *Placa Solar*. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/placa-solar>>. Acesso em: 23 jun. 2025.

Secretaria Geral de Planejamento e Desenvolvimento Institucionais (SPDI). *UFSCar em Números*. Disponível em: <<https://www.spdi.ufscar.br/informacao-institucional/indicadores-1/ufscar-em-numeros>>. Acesso em: 26 mai. 2025.

KREITH, F. e BOHN, M. S. *Princípios de Transferência de Calor*, Ed. Thomson, 2003

INCROPERA F. P. e DEWITT D. P. (2014). *Fundamentos da Transferência de Calor e de Massa*, LTC Editora: 7ª edição, Rio de Janeiro.

NASCIMENTO, Francisco Paulo do. *Metodologia da Pesquisa Científica: teoria e prática - como elaborar TCC*. Brasília: Thesaurus, 2016.

SILVA, P., BONATTO, B., VALERIO, V., MIRANDA, R., COSTA, V., *Model and feasibility Analysis: Photovoltaic generation systems installed at Brazilian public universities for energy sustainability*. Sustainable Energy Technologies and Assessments, v. 63, mar. 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.seta.2024.103652>>

FAI UFSCar, *Parceria entre a UFSCar e a CPFL gera economia de mais de R\$ 300 mil ao ano*. Disponível em: <<https://sistemas.fai.ufscar.br/home/noticia/1305/parceria-entre-a-ufscar-e-a-cpfl-gera-economia>>. Acesso em 24 jul. 2025.

Globo G1, *UFSCar inaugura mais 2 usinas fotovoltaicas e soma 7; economia com energia elétrica chega a 30%*. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/sao-carlos-regiao/noticia/2020/11/11/ufscar-inaugura-mais-2-usinas>>

[-fotovoltaicas-e-soma-7-economia-com-energia-eletrica-chega-a-30percent.ghtml>](#). Acesso em 24 jul. 2025.