



# II CIGELUBRA

Congresso Internacional de Gestão e Engenharia Luso-Brasileiro

**03 a 05 de dezembro de 2025**

## As Engenharias na Transformação Digital das PMEs

### **Smart Grids em Smart Cities: Uma Revisão Sistemática da Literatura sobre Tecnologias, Benefícios e Desafios**

**Isadora Marcela de Campos**

Departamento de Engenharia de Produção - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**Beatriz de Almeida Alcantara**

Departamento de Engenharia de Produção - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**Fabio Neves Puglieri**

Departamento de Engenharia de Produção - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**Giancarlo Alfonso Lovón Canchumani**

Departamento de Engenharia de Produção - Universidade Federal do Paraná

**Regina Negri Pagani**

DAENP / PPGE, Uni Universidade Tecnológica Federal do Paraná – GOVCOPP, Universidade de Aveiro, Portugal.

**Resumo:** O artigo apresenta uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) sobre o papel das *Smart Grids* em *Smart Cities*, destacando suas tecnologias, benefícios e desafios no contexto do desenvolvimento urbano sustentável. Embora o tema venha ganhando espaço no debate acadêmico, ainda carece de sistematizações que reúnam evidências atualizadas sobre como essas redes inteligentes têm sido aplicadas e analisadas. Nesse sentido, o problema central abordado é a falta de clareza sobre os avanços efetivos, os entraves e as perspectivas da integração das *Smart Grids* em ambientes urbanos inteligentes. A pesquisa foi conduzida por meio da metodologia *Methodi Ordinatio*, que possibilitou a classificação das publicações mais relevantes com base em critérios como número de citações, fator de impacto e ano de publicação. Foram analisadas 86 publicações no período de 2020 a 2025, das quais as dez mais significativas foram selecionadas para análise qualitativa. Os resultados apontam para um crescimento expressivo das pesquisas nos anos de 2023 e 2024, concentradas sobretudo na Europa e na Ásia. Identificaram-se benefícios como otimização do consumo energético, redução das emissões de gases de efeito estufa, aumento da confiabilidade dos sistemas elétricos e integração de fontes renováveis, apoiados por tecnologias digitais emergentes, como Internet das Coisas, Inteligência Artificial, Gêmeos Digitais e *Blockchain*. Persistem, contudo, desafios relacionados à cibersegurança, interoperabilidade, custos elevados de implementação e complexidade no tratamento de dados. Conclui-se que a consolidação das *Smart Grids* em *Smart Cities* demanda uma abordagem colaborativa, unindo inovação tecnológica, sustentabilidade ambiental e inclusão social.

**Palavras-chave:** *Smart Grids*, *Smart Cities*, Internet das Coisas, Sustentabilidade Urbana, Revisão Sistemática da Literatura.

### **Smart Grids in Smart Cities: A Systematic Review of the Literature on Technologies, Benefits, and Challenges**

**Abstract:** The article presents a Systematic Literature Review (SLR) on the role of *Smart Grids* in *Smart Cities*, highlighting their technologies, benefits, and challenges in the context of sustainable urban development. Although the topic has been gaining ground in academic debate, there is still a lack of systematisation that brings together up-to-date evidence on how these *Smart Grids* have

been applied and analysed. In this sense, the central problem addressed is the lack of clarity about the effective advances, obstacles, and prospects for the integration of *Smart Grids* in smart urban environments. The research was conducted using the Methodi Ordinatio methodology, which enabled the classification of the most relevant publications based on criteria such as number of citations, impact factor, and year of publication. Eighty-six publications were analysed for the period from 2020 to 2025, of which the ten most significant were selected for qualitative analysis. The results point to significant growth in research in 2023 and 2024, concentrated mainly in Europe and Asia. Benefits such as optimization of energy consumption, reduction of greenhouse gas emissions, increased reliability of electrical systems, and integration of renewable sources were identified, supported by emerging digital technologies such as the Internet of Things, Artificial Intelligence, Digital Twins, and Blockchain. However, challenges remain in relation to cybersecurity, interoperability, high implementation costs, and data processing complexity. It is concluded that the consolidation of *Smart Grids* in *Smart Cities* requires a collaborative approach, combining technological innovation, environmental sustainability, and social inclusion.

**Keywords:** *Smart Grids*, *Smart Cities*, Internet of Things, Urban Sustainability, Systematic Literature Review.

## 1. Introdução

Uma Cidade Inteligente é um ambiente urbano que utiliza sensores da Internet das Coisas (IoT) para coletar dados e transformá-los em informações que apoiam a gestão eficiente de ativos, serviços e recursos (ANUBHA; NARANG; RAJ, 2025). Esses dados envolvem pessoas, equipamentos, edifícios e outros elementos urbanos, sendo processados para permitir o monitoramento de sistemas de transporte, energia, água, resíduos, segurança, educação e saúde (INTERESTING ENGINEERING, 2018). O conceito, entretanto, permanece multifacetado e sujeito a diferentes interpretações (HERNANDEZ-CALLEJO, 2019; HOLLANDS, 2008; HUNT; ROGERS; CAVADA, 2014), abrangendo desde a aplicação de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) até estratégias integradas de sustentabilidade e qualidade de vida (PERIS-ORTIZ *et al.*, 2016; KOMNINOS, 2013; CHAN, 2017).

O crescimento urbano acelerado e a pressão sobre recursos naturais colocaram em evidência desafios como a escassez de energia e água, a gestão de resíduos, o envelhecimento das infraestruturas e a saúde pública (EJAZ *et al.*, 2017). As cidades são responsáveis por aproximadamente 75% do consumo mundial de energia e por cerca de 80% das emissões de gases de efeito estufa (CURIALE, 2014) o que reforça a urgência de soluções sustentáveis (NAM; PARDO, 2011). Nesse contexto, as redes inteligentes, do inglês, *Smart Grids*, surgem como elemento essencial para a transição energética, pois integram fontes renováveis e não renováveis, reduzem impactos ambientais e proporcionam energia mais acessível e confiável (CURIALE, 2014).

Apesar dos avanços, ainda persiste uma lacuna, que é a falta de estudos que sistematizem de forma abrangente as tecnologias, benefícios e desafios das *Smart Grids* no contexto das *Smart Cities*. Assim, este artigo busca responder à seguinte problematização: como as *Smart Grids* têm sido configuradas e analisadas na literatura recente sobre *Smart Cities*, considerando seus avanços e limitações? Diante disso, o objetivo deste artigo é apresentar uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) sobre o papel das *Smart Grids* em *Smart Cities*, destacando tecnologias, benefícios e desafios. Para tanto, adota-se a metodologia Methodi Ordinatio (PAGANI *et al.*, 2015), que possibilita classificar publicações relevantes com base em critérios como fator de impacto, número de citações e ano de publicação.

Além desta introdução, o artigo está estruturado da seguinte forma: a segunda seção apresenta as principais tecnologias de *Smart Grids*; a terceira descreve os procedimentos

metodológicos adotados; a quarta seção discute os resultados e desafios identificados; e a quinta seção reúne as considerações finais.

## 2. Tecnologias de rede inteligente

O conceito de *Smart Grid* refere-se à aplicação de inovações digitais, sistemas de sensores e TIC, voltadas a tornar o consumo e a gestão de energia mais precisos, eficientes e interativos (AHMAD *et al.*, 2023). Diferentemente das redes elétricas convencionais, as *Smart Grids* ampliam o papel dos consumidores, que passam a participar ativamente do sistema, e integram tecnologias menos visíveis, mas essenciais, relacionadas aos processos de transmissão e distribuição de energia (JIANG; YU; CAO, 2015). Sua infraestrutura combina *hardware* e *software* avançados (STEPHENS; WILSON; PETERSON, 2015), capazes de sustentar comunicação em tempo real, automação e maior confiabilidade do fornecimento. Uma definição amplamente aceita descreve as *Smart Grids* como a integração de tecnologias de comunicação e controle que conectam, de forma inteligente, recursos de geração, transmissão e distribuição de energia em um sistema único e adaptável (MARQUES; OLIVEIRA, 2024).

A consolidação de uma rede inteligente moderna exige o desenvolvimento, o teste e a integração de diferentes inovações, organizadas em um conjunto de tecnologias interligadas (ALHASNAWI *et al.*, 2025). Entre as principais, destacam-se: (i) Usos inteligentes: sensores monitoram padrões de consumo e definem o momento mais adequado para a utilização da energia, reduzindo custos de geração. Um exemplo é o ajuste da temperatura média em caldeiras de usinas termelétricas, viabilizado por sensores de calor. (ii) Medidores de energia inteligentes: realizam a coleta automática de dados de consumo e fornecem informações em tempo real. Além de permitir que os consumidores acompanhem seu uso de energia, oferecem aos distribuidores vantagens na gestão de manutenção e no envio eficiente de equipes técnicas.

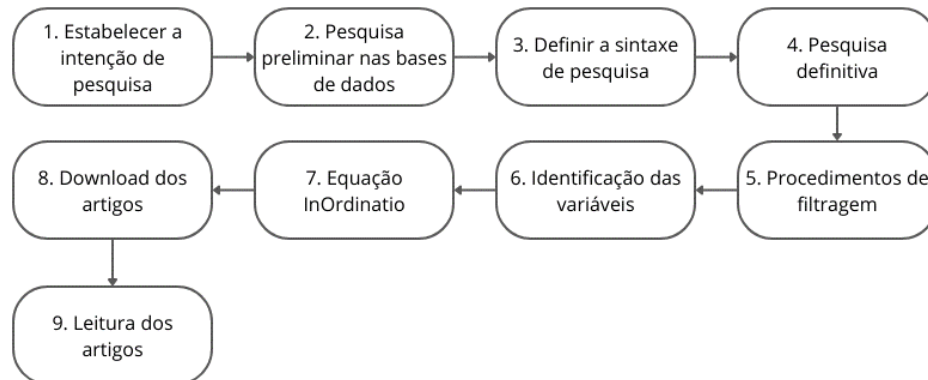
(iii) Subestações de rede inteligente: responsáveis por coletar e armazenar dados críticos, como energia em rotação, status de sistemas e condições de transformadores. Também possibilitam a distribuição bidirecional de energia, aumentando a flexibilidade e a eficiência da rede. (vi) Cabos de ultra desempenho: projetados para transmissão em longas distâncias com maior eficiência, oferecem suporte a sistemas de monitoramento que identificam falhas e preveem problemas relacionados ao desgaste ou a condições climáticas. (v) Comunicação integrada: a conectividade em tempo real sustenta o funcionamento das redes inteligentes, viabilizando respostas rápidas às demandas do sistema. Essa integração pode ser garantida por diferentes tecnologias, incluindo redes sem fio, redes móveis e Controladores Lógicos Programáveis (CLP). Essas tecnologias demonstram que as *Smart Grids* não são apenas uma evolução técnica das redes elétricas, mas sim uma infraestrutura estratégica para a modernização energética em ambientes urbanos, apoiando a sustentabilidade, a eficiência e a resiliência das cidades inteligentes (ALHASNAWI *et al.*, 2025).

## 3. Metodologia

Este estudo desenvolveu uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) utilizando a metodologia *Methodi Ordinatio* (PAGANI *et al.*, 2017). O objetivo foi identificar e analisar as produções científicas mais relevantes sobre *Smart Grids* em *Smart Cities*, considerando como critérios de seleção o número de citações, o fator de impacto dos periódicos e o ano de publicação. A aplicação da equação *InOrdinatio* permitiu classificar os artigos e selecionar os dez mais relevantes para análise qualitativa. Esse recorte metodológico assegura representatividade e foco, permitindo uma discussão aprofundada sem dispersão

frente ao volume inicial de 86 publicações. Dessa forma, a análise centra-se nos trabalhos que melhor expressam as tendências, avanços e desafios das *Smart Grids* em *Smart Cities* no período considerado. A pesquisa foi conduzida em nove etapas (Figura 1), conforme orienta a *Methodi Ordinatio*, apresentadas a seguir.

**Figura 1 – Etapas da metodologia *Methodi Ordinatio***



**Fonte: Adaptado (PAGANI, 2024)**

**Etapa 1 - Definição do problema de pesquisa e do objetivo de estudo:** O problema de pesquisa estabelecido foi: Como estão configuradas as *Smart Grids* em estudos publicados sobre *Smart Cities* no período de 2020 a 2025? A resposta a essa questão foi construída a partir da análise das tecnologias, benefícios e desafios identificados nas publicações selecionadas.

**Etapa 2 - Pesquisa exploratória inicial:** Realizou-se uma busca preliminar com os seguintes termos: “*Smart Grid*”, “*Smart City*”, “*Smart Grid technology*”, “*urban energy management*”, “*city*”, “*energy efficiency*”, “*renewable integration*” e “*urban*”. Essa etapa teve como finalidade avaliar a aderência das palavras-chave nas bases de dados e a pertinência dos resultados em relação ao objetivo da pesquisa.

**Etapa 3 – Definição da estratégia de busca:** As palavras-chave foram combinadas por meio de operadores booleanos para a construção das strings de busca. As bases de dados selecionadas foram *ScienceDirect* e *Web of Science*. A combinação final adotada foi: “*Smart Grid*” AND “*Smart City*” AND “*Smart Grid technology*” AND “*energy efficiency*”.

**Etapa 4 - Pesquisa final nas bases de dados:** As buscas foram realizadas no período de 2020 a 2025, em inglês, resultando em 365 publicações: 251 provenientes da *ScienceDirect* e 114 da *Web of Science*. Os resultados foram exportados por meio do JabRef no formato *.bib* para organização e análise posterior.

**Etapa 5 - Filtragem dos resultados:** Foram aplicados os seguintes filtros: Exclusão de trabalhos duplicados (4 publicações); Exclusão de artigos fora do período de análise (2020 - 2025); Exclusão de artigos com acesso restrito ou incompletos; Exclusão de trabalhos sem alinhamento ao tema *Smart Grids* em *Smart Cities*. Após essa etapa, 86 publicações foram selecionadas.

**Etapa 6 - Extração de informações:** Para cada artigo selecionado foram coletados os seguintes dados: Ano de publicação; Periódico de publicação (*journal*); e Número de citações (*Google Scholar*).

**Etapa 7 - Aplicação da equação InOrdinatio, conforme Equação (1) proposta em Pagani (2024).**

$$\text{InOrdinatio 2.0} = \left\{ \left[ \Delta * \text{Fator de impacto} \right] - \left[ \lambda * \left( \frac{\text{Ano da pesquisa} - \text{Ano da Publicação}}{\text{Meia-Vida}} \right) \right] + \Omega * \left[ \frac{\text{Citações}}{(\text{Ano da pesquisa} + 1) - \text{Ano da publicação}} \right] \right\} \quad (1)$$

Onde:

- *Meia-vida*: mediana do *Cited Half-Life* dos periódicos com JCR 2020;
- *Ano de Publicação*: ano que o artigo foi publicado. Ex.: 1998;
- *Ano da Pesquisa*: ano em que a pesquisa está sendo realizada. Ex.: 2025;
- *Fator de impacto*: fator de impacto (*last year CiteScore*, ou estimativa deste a partir do JCR em caso de *CiteScore* inexistente);
- *Ano*: ano em que o artigo foi publicado;
- *Citações*: total de citações localizadas no google scholar;
- $\Delta$ : é o valor entre 0 e 10 que o pesquisador atribui à importância do fator de impacto da publicação;
- $\lambda$ : é o valor entre 0 e 10 que o pesquisador atribui à importância da atualidade da publicação;
- $\Omega$ : é o valor entre 0 e 10 que o pesquisador atribui à importância da média anual de citações da publicação.

A partir dessa classificação, foram selecionadas as dez publicações mais relevantes.

**Etapa 8 - Organização dos artigos classificados:** Os artigos finais foram salvos em formato .PDF e catalogados, contendo: base de dados de origem, *string* de busca utilizada e referência completa.

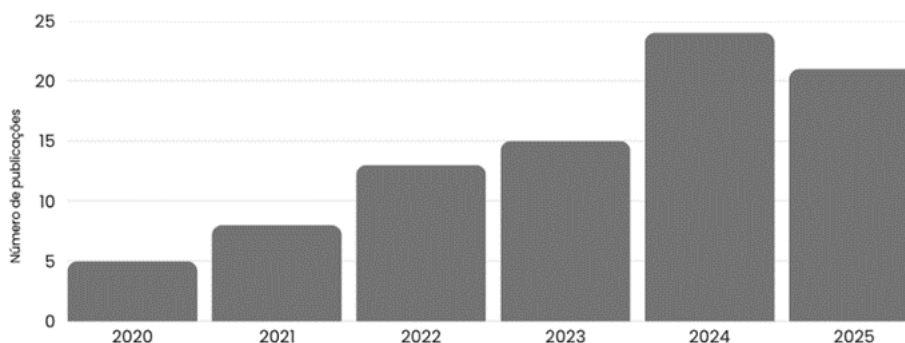
**Etapa 9 - Análise qualitativa:** Por fim, realizou-se a análise qualitativa das publicações selecionadas, contemplando três dimensões principais: Tecnologias utilizadas em *Smart Grids*; Benefícios reportados (eficiência energética, integração de fontes renováveis, redução de perdas); e Desafios e barreiras para implementação em *Smart Cities*.

Na etapa 9, procedeu-se à leitura e análise sistemática das publicações selecionadas. Foram considerados diferentes aspectos, tais como: número de citações por artigo, distribuição temporal, perfil dos periódicos e frequência de palavras-chave. Além disso, para responder à questão de pesquisa, foram examinados os principais elementos relacionados às tecnologias, benefícios e desafios das *Smart Grids* em *Smart Cities*.

#### 4. Resultados e Discussões

A análise bibliométrica das 86 publicações inicialmente selecionadas evidenciou uma evolução crescente das pesquisas sobre *Smart Grids* em *Smart Cities*, com destaque para os anos de 2023 e 2024, quando houve maior concentração de estudos (Figura 2).

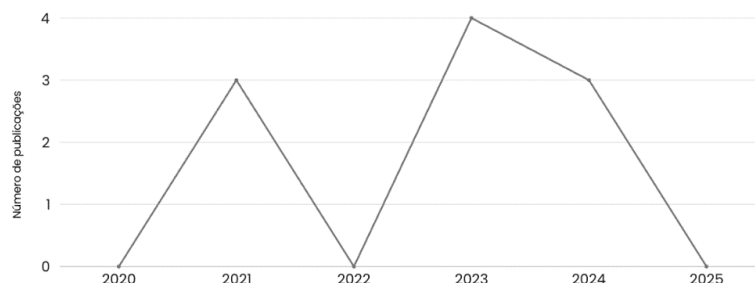
**Figura 2 – Distribuição temporal de todas as publicações**



**Fonte: Dados da pesquisa (2025)**

Esse resultado confirma que o tema tem despertado interesse recente e se consolidado como um campo emergente na literatura internacional. Quando consideradas apenas as dez publicações de maior relevância, observa-se que a maior parte se concentra em 2023, seguido de 2021 e 2024, enquanto em 2020, 2022 e 2025 praticamente não houve registros (Figura 3).

**Figura 3 – Distribuição temporal das principais publicações**



**Fonte: Dados da pesquisa (2025)**

Essa distribuição temporal evidencia um amadurecimento recente do tema e reforça a importância da análise das publicações mais atuais. Do ponto de vista geográfico, verificou-se a predominância de artigos publicados na Europa e na Ásia, regiões que vêm investindo fortemente em infraestrutura energética inteligente, o que pode indicar uma liderança científica e tecnológica nessas áreas. Outro ponto relevante foi a predominância do inglês como idioma de publicação, o que reforça seu papel como língua hegemônica na divulgação de conhecimento científico sobre o tema.

Para avaliar a visibilidade dos artigos classificados, também foi realizada a análise do número de citações, que permitiu identificar aqueles com maior impacto no campo de estudo, assim com o intuito de avaliar a visibilidade e a influência científica das publicações, analisou-se o número de citações de cada artigo a partir de métricas disponibilizadas pelo *Google Scholar* e foi então elaborado o portfólio de artigos para as análises qualitativas (Quadro 1).

**Quadro 1 – Portfólio de artigos selecionados**

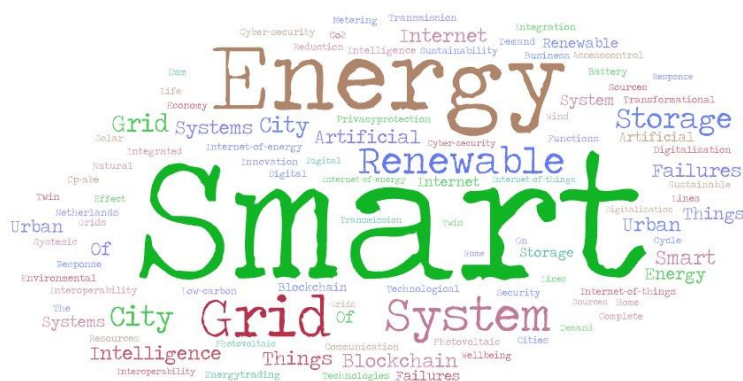
| ID | Autores e ano                                                                                                                        | Journal                                         | Fator de Impacto | Citações | InOrdinatio |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------|----------|-------------|
| 1  | Balasubramanian, C. and Lal Raja Singh, R., (2024)                                                                                   | Applied Energy                                  | 21,2             | 28       | 350,7       |
| 2  | Guan, Z., Lu, X., Yang, W., Wu, L., Wang, N. and Zhang, Z., (2021)                                                                   | Journal of Parallel and Distributed Computing   | 10,3             | 132      | 361,7       |
| 3  | Hoang, A.T., Pham, V.V. and Nguyen, X.P., (2021)                                                                                     | Journal of Cleaner Production                   | 20,4             | 601      | 1400,7      |
| 4  | Norouzi, F., Hoppe, T., Kamp, L., Manktelow, C. and Bauer, P., (2023)                                                                | Renewable and Sustainable Energy Reviews        | 31,2             | 34       | 422,7       |
| 5  | Xia, L., Semirumi, D. and Rezaei, R., (2023)                                                                                         | Sustainable Cities and Society                  | 22               | 117      | 607,4       |
| 6  | Hui, C.X., Dan, G., Alamri, S. and Toghraie, D., (2023)                                                                              | SUSTAINABLE CITIES AND SOCIETY                  | 22               | 231      | 987,4       |
| 7  | Khalid, M., (2024)                                                                                                                   | Energy Strategy Reviews                         | 12,8             | 421      | 2231,7      |
| 8  | Saidani Neffati, O., Sengan, S., Thangavelu, K.D., Dilip Kumar, S., Setiawan, R., Elangovan, M., Mani, D. and Velayutham, P., (2021) | Sustainable Energy Technologies and Assessments | 12,7             | 137      | 395,7       |
| 9  | Kataray, T., Nitesh, B., Yarram, B., Sinha, S., Cuce, E., Shaik, S.,                                                                 | Sustainable Energy Technologies and Assessments | 12,7             | 235      | 907,7       |

|    |                                                                                               |                                     |     |    |       |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----|----|-------|
|    | Vigneshwaran, P. and Roy, A., (2023)                                                          |                                     |     |    |       |
| 10 | Mahmood, M., Chowdhury, P., Yeassin, R., Hasan, M., Ahmad, T. and Chowdhury, N.-U.-R., (2024) | Energy Conversion and Management: X | 8,8 | 55 | 361,7 |

Fonte: Autores, (2025)

No que se refere ao conteúdo das pesquisas, a análise qualitativa das dez publicações mais relevantes revelou que as *Smart Grids* são compreendidas como elemento central para a modernização energética em cidades inteligentes, desempenhando papel estratégico na integração de tecnologias digitais emergentes. Entre os recursos mais citados, destacam-se a Internet das Coisas, a Inteligência Artificial, os Gêmeos Digitais e o *Blockchain*, que permitem monitoramento em tempo real, previsão de demandas, simulação de cenários e transações energéticas descentralizadas. Esse conjunto de tecnologias demonstra que a literatura atual enxerga as redes inteligentes não apenas como uma atualização técnica das redes elétricas, mas como uma infraestrutura que sustenta a própria transição energética das cidades. A visualização da frequência de palavras-chave nas publicações analisadas (Figura 4) reforça essa tendência, ao evidenciar termos associados à energia, sistemas digitais e integração tecnológica como os mais recorrentes.

Figura 4 – Nuvem de frequência das palavras-chave



Fonte: Dados da pesquisa (2025)

Os benefícios relatados com maior recorrência incluem a otimização do consumo energético, a redução de emissões de gases de efeito estufa, a maior confiabilidade dos sistemas elétricos e a integração de fontes renováveis, o que evidencia a contribuição das *Smart Grids* para a sustentabilidade urbana. Entretanto, a literatura também ressalta obstáculos persistentes, como a cibersegurança, a falta de interoperabilidade entre sistemas, os altos custos de implementação e a complexidade do gerenciamento de grandes volumes de dados. Esses desafios, que aparecem de forma recorrente nos estudos, indicam que, embora as soluções tecnológicas estejam avançando, ainda há barreiras institucionais, regulatórias e socioeconômicas que precisam ser enfrentadas para que as redes inteligentes alcancem sua plena maturidade em ambientes urbanos.

Os resultados apontam que o campo científico já avançou significativamente na discussão das dimensões técnicas e ambientais das *Smart Grids*, mas ainda apresenta lacunas importantes em relação às políticas públicas, à regulação e à inclusão social. Essa constatação reforça a problematização proposta neste artigo: a literatura atual reconhece o potencial das *Smart Grids* para transformar as cidades em espaços mais eficientes e sustentáveis, mas o caminho para sua consolidação depende de uma abordagem colaborativa que una inovação tecnológica, governança pública e participação social.

As *Smart Grids* constituem a infraestrutura central para a gestão inteligente da energia em cidades, desempenhando papel essencial na transformação digital rumo à sustentabilidade e à melhoria da qualidade de vida urbana. Essas redes modernizam os sistemas elétricos convencionais ao integrar tecnologias de comunicação, sensores e automação, promovendo maior eficiência, confiabilidade e segurança. Além disso, viabilizam a integração de fontes renováveis e ampliam a participação ativa dos consumidores, que passam a ter acesso a informações em tempo real sobre seu consumo e opções energéticas. A Tabela 1 sintetiza as principais tecnologias identificadas na literatura, destacando suas funcionalidades no contexto das *Smart Cities*.

**Tabela 1 – Tecnologias aplicadas às *Smart Grids* em *Smart Cities***

| <b>Tecnologia / Recurso</b>            | <b>Principais funcionalidades</b>                                           | <b>Referências</b>        |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| <b>Internet das Coisas (IoT)</b>       | Monitoramento em tempo real por meio da coleta e integração de dados        | [1; 2; 4; 5; 6; 7; 8; 10] |
| <b>Inteligência Artificial (IA)</b>    | Otimização do consumo, previsão de demandas, gestão da complexidade da rede | [1; 5; 7; 9; 10]          |
| <b>Gêmeos Digitais (Digital Twins)</b> | Simulação de cenários e otimização do uso de energia                        | [7; 10]                   |
| <b>Blockchain</b>                      | Comércio de energia descentralizado, transações peer-to-peer (P2P) seguras  | [2; 7; 10]                |
| <b>Integração de FERs, ESS e DR</b>    | Estabilidade da rede, redução da dependência de combustíveis fósseis        | [1; 3; 7; 8; 10]          |
| <b>Gestão hídrica inteligente</b>      | Sensores para detecção de vazamentos e otimização do uso da água            | [6]                       |

**Fonte: Autores, (2025)**

Além das tecnologias, a literatura evidencia benefícios ambientais e econômicos, e também ressalta desafios estruturais, conforme sistematizado na Tabela 2.

**Tabela 2 – Benefícios e desafios das *Smart Grids* em *Smart Cities***

| <b>Aspecto</b>    | <b>Descrição</b>                                                                                                                                                                                                     | <b>Referências</b>        |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| <b>Benefícios</b> | Redução de emissões de gases de efeito estufa; otimização de custos de eletricidade; maior confiabilidade e estabilidade da rede elétrica; ampliação da participação dos consumidores                                | [1; 3; 7; 8; 9; 10]       |
| <b>Desafios</b>   | Vulnerabilidades de cibersegurança e privacidade; falta de interoperabilidade e padronização; altos custos de implementação; complexidade no tratamento de grandes volumes de dados; pressão sobre recursos naturais | [2; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10] |

**Fonte: Autores, (2025)**

De modo geral, observa-se que as *Smart Grids* são mais do que uma evolução técnica das redes elétricas: elas representam uma infraestrutura estratégica para a modernização energética e para a construção de cidades mais sustentáveis, resilientes e inclusivas.

## 5. Considerações finais

Este artigo apresentou uma Revisão Sistemática da Literatura sobre o papel das *Smart Grids* em *Smart Cities*, destacando as principais tecnologias, benefícios e desafios relacionados à sua implementação no contexto do desenvolvimento urbano sustentável. O objetivo central foi compreender de que forma as redes inteligentes têm sido analisadas na literatura recente e quais contribuições oferecem para a consolidação de cidades mais eficientes, resilientes e habitáveis. Para alcançar esse propósito, aplicou-se a metodologia *Methodi Ordinatio*, que possibilitou classificar e selecionar as publicações mais relevantes entre os artigos inicialmente filtrados, considerando critérios como fator de impacto, número de citações e ano de publicação.

A análise qualitativa dos artigos evidenciou que as *Smart Grids* contribuem de forma significativa para a otimização do consumo energético, a redução de emissões de gases de

efeito estufa, a integração de fontes renováveis e a confiabilidade dos sistemas elétricos, sendo apoiadas por tecnologias emergentes como Internet das Coisas, Inteligência Artificial, Gêmeos Digitais e *Blockchain*. Os resultados encontrados reforçam que as *Smart Grids* não são apenas uma evolução técnica das redes elétricas tradicionais, mas uma infraestrutura estratégica para a transição energética e a sustentabilidade urbana. Como contribuição, este estudo oferece uma sistematização atualizada da literatura internacional, permitindo compreender tendências e lacunas, além de subsidiar gestores, pesquisadores e formuladores de políticas públicas interessados na integração de tecnologias energéticas em cidades inteligentes.

Apesar dessas contribuições, a pesquisa apresenta limitações inerentes à própria estratégia metodológica, especialmente pela restrição às bases *ScienceDirect* e *Web of Science* e ao recorte temporal entre 2020 e 2025, o que pode ter excluído estudos relevantes em outras bases ou períodos. Além disso, o foco na seleção das dez publicações mais relevantes privilegia profundidade, mas não necessariamente contempla toda a diversidade de perspectivas existentes no campo. Diante disso, sugere-se que trabalhos futuros ampliem a busca para outras bases de dados, explorem métodos bibliométricos complementares e incluam estudos de caso empíricos que verifiquem, na prática, a aplicação das tecnologias e soluções apontadas pela literatura. Investigações comparativas entre diferentes contextos geográficos também se mostram relevantes, uma vez que a adoção de *Smart Grids* em *Smart Cities* está fortemente condicionada a aspectos institucionais, regulatórios e socioeconômicos locais.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio recebido do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), e também da Unidade de Investigação em Governança, Competitividade e Políticas Públicas (GOVCOPP), Universidade de Aveiro, Portugal, financiada por fundos nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

## Referências

AHMAD, M. O., TRIPATHI, G., SIDDIQUI, F., ALAM, M. A., AHAD, M. A., AKHTAR, M. M., & CASALINO, G. BAAuth-ZKP—A blockchain-based multi-factor authentication mechanism for securing smart cities. **Sensors**, v. 23, n. 5, p. 2757, 2023.

ALHASNAWI, B. N., HASHIM, H. K., ZANKER, M., & BUREŠ, V. The rising, applications, challenges, and future prospects of energy in smart grids and smart cities systems. **Energy Conversion and Management: X**, v. 27, p. 101162, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.101162>

ANUBHA, A.; NARANG, D.; RAJ, A. AIoT-Enabled Smart Homes Solution to Security, Comfort, and Energy Efficiency. In: **Merging Artificial Intelligence With the Internet of Things**. IGI Global Scientific Publishing, p. 239-268. 2025.

BALASUBRAMANIAN, C.; LAL RAJA SINGH, R. IoT based energy management in smart grid under price based demand response based on hybrid FHO-RERNN approach. **Applied Energy**, v. 361, p. 122851, 2024. DOI: [10.1016/j.apenergy.2024.122851](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.122851).

CHAN, K. What Is A ‘Smart City’. **Expatriate Lifestyle**, n. 4, p. 23-25, 2017.

CURIALE, M. From smart grids to smart city. In: **Proceedings of the 2014 Saudi Arabia Smart Grid Conference (SASG)**, Jeddah, Saudi Arabia, 14–17 Dec. 2014.

- EJAZ, W.; NAEEM, M.; SHAHID, A.; ANPALAGAN, A.; JO, M. Efficient energy management for the Internet of Things in Smart Cities. **IEEE Communications Magazine**, v. 55, p. 84–91, 2017.
- GUAN, Z.; LU, X.; YANG, W.; WU, L.; WANG, N.; ZHANG, Z. Achieving efficient and privacy-preserving energy trading based on blockchain and ABE in smart grid. **Journal of Parallel and Distributed Computing**, v. 147, p. 34–45, 2021. DOI: 10.1016/j.jpdc.2020.08.012.
- GUNGOR, V. C., SAHIN, D., KOCAK, T., ERGUT, S., BUCCELLA, C., CECATI, C., & HANCKE, G. P. Smart grid, and smart homes: key players and pilot projects. **IEEE Industrial Electronics Magazine**, v. 6, p. 18–34, 2012.
- HARRISON, C., ECKMAN, B., HAMILTON, R., HARTSWICK, P., KALAGNANAM, J., PARASZCZAK, J., & WILLIAMS, P. Foundations for smarter cities. **IBM Journal of Research and Development**, v. 54, p. 1–16, 2010.
- HERNANDEZ-CALLEJO, L. A comprehensive review of operation and control, maintenance and lifespan management, grid planning and design, and metering in smart grids. **Energies**, v. 12, n. 1630, p. 1–50, 2019.
- HOANG, A. T.; PHAM, V. V.; NGUYEN, X. P. Integrating renewable sources into energy system for smart city as a sagacious strategy towards clean and sustainable process. **Journal of Cleaner Production**, v. 305, p. 127161, 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.127161.
- HOLLANDS, R. G. Will the real smart city, please stand up? **City**, v. 12, n. 3, p. 303–320, 2008.
- HUI, C. X.; DAN, G.; ALAMRI, S.; TOGHRAIE, D. Greening smart cities: An investigation of the integration of urban natural resources and smart city technologies for promoting environmental sustainability. **Sustainable Cities and Society**, v. 99, p. 104985, 2023. DOI: 10.1016/j.scs.2023.104985.
- HUNT, D.; ROGERS, C.; CAVADA, M. Smart Cities: Contradicting Definitions and Unclear Measures. **MDPI Sciforum – The platform for open scholarly exchange**, 2014. p. 1–12. DOI: 10.3390/wsf-4-f004.
- INTERESTING ENGINEERING. Connected vehicles in smart cities: the future of transportation. **Interesting Engineering**, 16 nov. 2018.
- JIANG, Tao; YU, Liang; CAO, Yang. Energy management of internet data centers in smart grid. **Springer Berlin Heidelberg**, 2015.
- KATARAY, T.; NITESH, B.; YARRAM, B.; SINHA, S.; CUCE, E.; SHAIK, S.; VIGNESHWARAN, P.; ROY, A. Integration of smart grid with renewable energy sources: Opportunities and challenges – A comprehensive review. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 58, p. 103363, 2023. DOI: 10.1016/j.seta.2023.103363.
- KHALID, M. Smart grids and renewable energy systems: Perspectives and grid integration challenges. **Energy Strategy Reviews**, v. 51, p. 101299, 2024. DOI: 10.1016/j.esr.2024.101299.
- KOMNINOS, N. What makes cities intelligent? In: **DEAKIN, Mark (Ed.). Smart Cities: Governing, Modelling, and Analysing the Transition**. Taylor and Francis, 2013. p. 77. ISBN 978-1135124144.
- MAHMOOD, M.; CHOWDHURY, P.; YEASSIN, R.; HASAN, M.; AHMAD, T.; CHOWDHURY, N. R. Impacts of digitalization on smart grids, renewable energy, and demand response: An updated review of current applications. **Energy Conversion and Management: X**, v. 24, p. 100790, 2024. DOI: 10.1016/j.ecmx.2024.100790.

MARQUES, P. C.; OLIVEIRA, P. A. Artificial intelligence technologies applied to smart grids and management. **Preprints.org**. 2024.

MASERA, M.; BOMPARD, E. F.; PROFUMO, F.; HADJSAID, N. Smart (electricity) grids for smart cities: assessing roles and societal impacts. **Proceedings of the IEEE**, v. 106, n. 4, p. 613–625, 2018.

NAM, T.; PARDO, T. A. Smart city as urban innovation: Focusing on management, policy, and context. In: **Proceedings of the 5th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance**, Tallinn, Estonia, 26–29 Sep. p. 185–194. 2011.

NEFFATI, O. S.; SENGAN, S.; THANGAVELU, K. D.; KUMAR, S. D.; SETIAWAN, R.; ELANGO VAN, M.; MANI, D.; VELAYUTHAM, P. Migrating from traditional grid to smart grid in smart cities promoted in developing country. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 45, p. 101125, 2021. DOI: 10.1016/j.seta.2021.101125.

NOROUZI, F.; HOPPE, T.; KAMP, L. M.; MANKTELOW, C.; BAUER, P. Diagnosis of the implementation of smart grid innovation in The Netherlands and corrective actions. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 175, p. 113185, 2023. DOI: 10.1016/j.rser.2023.113185.

PAGANI, R. N. Revisão Sistemática de Literatura: Methodi Ordinatio na Era da IA Generativa. ISBN 9786560800250. **Ponta Grossa: Editora Texto e Contexto**, 248 p. 2024.

PAGANI, R. N., KOVALESKI, J. L., DE RESENDE, L. M. M. Avanços na composição da Methodi Ordinatio para revisão sistemática de literatura. **Ciência da Informação**, v. 46, n. 2, 2017.

PAGANI, R. N., KOVALESKI, J. L., RESENDE, L. M. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, v. 105, p. 2109-2135, 2015.

PARHAM, K.; FARMANBAR, M.; RONG, C.; ARILD, O. Assessing the importance of energy management in smart homes. In: **Proceedings of the 4th International Conference on Viable Energy Trends (InVenT-2019)**, Istanbul, Turkey, 26–28 Apr. 2019.

PERIS-ORTIZ, M.; BENNETT, D. R.; PÉREZ-BUSTAMANTE YÁBAR, D. Sustainable smart cities: creating spaces for technological, social, and business development. **Cham: Springer**, ISBN 9783319408958. 2016.

STEPHENS, J.; WILSON, E. J.; PETERSON, T. R. Smart Grid® Evolution. Cambridge: **Cambridge University Press**, 2015.

XIA, L.; SEMIRUMI, D. T.; REZAEI, R. A thorough examination of smart city applications: Exploring challenges and solutions throughout the life cycle with emphasis on safeguarding citizen privacy. **Sustainable Cities and Society**, v. 98, p. 104771, 2023. DOI: 10.1016/j.scs.2023.104771.

ZANELLA, A.; BUI, N.; CASTELLANI, A.; VANGELISTA, L.; ZORZI, M. Internet of Things for smart cities. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 1, p. 22–32, 2014.