
ANÁLISE DO CUSTO-BENEFÍCIO DA IMPLEMENTAÇÃO DE SMART HOMES COM FOCO NA SUSTENTABILIDADE

COST-BENEFIT ANALYSIS OF IMPLEMENTING SMART HOMES WITH A FOCUS ON SUSTAINABILITY

Miguel José Nasario¹Flavio Alexandre Prussak Gabardo²Caroline Martins Lopes Lourenço³Jones Luis Schaefer⁴

Resumo – O aumento do CO₂ e o crescimento populacional intensificam a crise energética, ainda dependente de combustíveis fósseis. Nesse cenário, a Smart Energy emerge como solução abrangente para otimizar a geração, transmissão, distribuição, armazenamento, consumo e comercialização de energia, focando em eficiência, flexibilidade e sustentabilidade. Este artigo explora os benefícios da Smart Energy em residências, responsáveis por mais de 40% do consumo energético, destacando sua relevância na redução de emissões de CO₂. A transformação de residências em Smart Homes, através de sistemas de automação, gera impactos positivos ambientais e econômicos. A metodologia empregada baseou-se em uma revisão sistemática da literatura para analisar tecnologias emergentes. Globalmente, o consumidor residencial se torna mais flexível, produzindo e consumindo sua energia, impulsionando comunidades de energia microgrid. Com avanços tecnológicos e regulatórios, a Smart Energy tem o potencial de transformar o setor energético, promovendo um futuro mais sustentável e resiliente.

Palavras-chave: Smart Energy. Prosumer Peer to peer. Sustainability.

Abstract - Increasing CO₂ and population growth intensify the energy crisis, still reliant on fossil fuels. In this scenario, Smart Energy emerges as a comprehensive solution to optimize energy generation, transmission, distribution, storage, consumption, and commercialization, focusing on efficiency, flexibility, and sustainability. This article explores the benefits of Smart Energy in residences, which account for over 40% of energy consumption, highlighting its relevance in reducing CO₂ emissions. Transforming residences into Smart Homes through automation systems generates positive environmental and economic impacts. The methodology employed was a systematic literature review to analyze emerging technologies. Globally, residential consumers are becoming more flexible, producing and consuming their own energy, driving microgrid energy communities. With technological and regulatory advancements,

¹ Mestrando em Engenharia de Produção e Sistemas, Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR); Contato: miquele_nas@hotmail.com.

² Graduando em Engenharia de Produção, Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR); Contato: flavioagabardo@gmail.com.

³ Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR); Contato: carolopes.cml@gmail.com.

⁴ Professor Adjunto da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas - PPGEPS. Contato: jones.schaefer@pucpr.br

Smart Energy has the potential to transform the energy sector, promoting a more sustainable and resilient future.

Keywords: Smart Energy. Prosumer Peer to peer. Sustainability.

I. INTRODUÇÃO

A necessidade de reduzir os impactos ambientais da geração de energia, especialmente as emissões de gases de efeito estufa, exige a transição para *Renewable Energy Sources* (RES) que são fontes de energia renováveis onde recursos naturais usados para gerar energia de forma sustentável, integrados a sistemas inteligentes para otimizar produção, armazenamento e distribuição (Bhamidi; Sivasubramani, 2021). Isso tem impulsionado soluções inovadoras para gestão inteligente de energia, sobretudo no setor residencial. As tecnologias de *Smart Energy* buscam otimizar o consumo e integrar fontes renováveis, como solar e eólica, garantindo um gerenciamento eficiente (Han *et al.*, 2023). O conceito de "prosumer" (consumidor-produtor), que além de consumidor ele fabrica sua própria energia baseado em fontes renováveis tem ganhado destaque em redes inteligentes, aumentando a flexibilidade e reduzindo custos (Aggarwal *et al.*, 2021). Sistemas de gerenciamento em residências inteligentes permitem o equilíbrio entre demanda e oferta em tempo real, além de viabilizar a *microgrid* que é um sistema localizado e autônomo de geração, distribuição, consumo, e armazenamento de energia, reforçando a estabilidade das redes elétricas (Andrade *et al.*, 2021). A adoção dessas tecnologias representa uma solução promissora para eficiência energética e sustentabilidade.

O conceito de *Smart Energy* em residências integra tecnologias avançadas para monitorar, controlar e otimizar o uso de energia, aumentando a eficiência e sustentabilidade. O armazenamento de energia, desempenha um papel crucial na integração de RES (Kanchev *et al.*, 2011), particularmente aquelas com geração intermitente, como a energia solar fotovoltaica. *Smart Home* consolida-se como elementos fundamentais das redes elétricas modernas, em diversos países, devido aos benefícios ambientais e socioeconômicos comprovados (Zafar; Bayhan; Sanfilippo, 2020). Adicionalmente, modelos *peer-to-peer* (P2P), refere-se a um modelo descentralizado de troca direta de energia entre consumidores e produtores (*prosumers*), sem a necessidade de intermediários tradicionais, como concessionárias de energia, assim temos as *microgrids* comunitárias permitem transações de excedentes de energia renovável (Alfaverh; Denai; Sun, 2023), descentralizando o sistema e incentivando a participação ativa dos prosumidores, (Bin Mohamad Saifuddin *et al.*, 2019) contribuindo assim para o uso eficiente de recursos energéticos.

A crescente demanda por fontes de energia sustentáveis, associada ao aumento do consumo energético nas residências devido ao crescente aumento da população, por consequência se fazem necessárias soluções que possibilitem maior eficiência energética (Anil; Arun, 2024). Neste contexto, este estudo justifica-se pela avaliação do custo-benefício da implantação de tecnologias *Smart Energy* em residências, abordando a sustentabilidade não apenas na redução da dependência de fontes de energia não renováveis, mas também na conscientização dos consumidores para um uso mais adequado dos recursos disponíveis.

Assim, o objetivo deste artigo é destacar a importância e benefícios da *Smart Energy* em um ambiente residencial, como uma solução para os desafios energéticos e ambientais causados pelas mudanças climáticas.

Espera-se que o artigo possa contribuir para os seguintes aspectos:

- Análise do custo-benefício de tecnologias *Smart Energy* em residências.
- Impacto ambiental da adoção de tecnologias de energia sustentável.
- Insights que auxiliem no gerenciamento da implementação de tecnologias *Smart Energy* a nível residencial.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta uma base teórica. A seção 3 detalha os procedimentos metodológicos. A seção 4 apresenta os resultados com foco no impacto ambiental e econômico e quais seriam os desafios e oportunidades. A seção 5 apresenta uma conclusão e limitações da pesquisa.

II. BASE TEÓRICA

As tecnologias *Smart Energy* – como *Energy Cloud*, *Internet of Energy* (IoE), *Transactive Energy* e *Energy Hub* – integram soluções de (*Internet of things*) IOT (Siluk *et al.*, 2024) ganham espaço em residências, oferecendo economia energética, redução de custos e sustentabilidade, no entanto, sua viabilidade econômica exige avaliação criteriosa devido aos custos iniciais elevados de implementação.

A adoção de *Smart Energy* exige interoperabilidade (Schaefer *et al.*, 2020) adaptável à tecnologia e complexidade do sistema (Bhamidi; Sivasubramani, 2021), além de custos de hardware/software associados (Ceccon *et al.*, 2021).

As tecnologias *Smart Energy* oferecem vantagens econômicas significativas, destacando-se pela capacidade de otimização energética proporcionada pelos *Home Energy Management Systems* (HEMS), que é um sistema inteligente que monitora, controla e otimiza o consumo de energia assim reduzem custos ao gerenciar o consumo nos horários de pico (Bhamidi; Sivasubramani, 2021b), além da eficiência operacional, conferem maior autonomia aos consumidores (Saif *et al.*, 2023). Ao mesmo tempo que promovem a sustentabilidade do sistema energético mediante a integração de fontes renováveis e redução da dependência de combustíveis fósseis (Ceccon *et al.*, 2021a). Esses benefícios resultam não apenas em economia direta para os usuários finais, mas também em maior resiliência e diversificação da matriz energética.

A limitada alocação de recursos governamentais para essas iniciativas pode refletir a baixa prioridade política atribuída ao tema, cenário este potencialmente influenciado pela atuação de grandes corporações do setor energético, devido aos possíveis impactos em suas receitas e na arrecadação tributária (De Carvalho; Siluk; Schaefer, 2022). A ampliação na adoção de energias renováveis poderia ser estimulada mediante políticas públicas que oferecessem subsídios parciais para custos de instalação. Contudo, os elevados gastos operacionais relacionados aos sistemas de controle e automação tecnológica permanecem como barreiras significativas à adoção em larga escala (Cappers *et al.*, 2013).

A pegada de carbono, que quantifica as emissões de gases de efeito estufa (GEE) associadas a atividades humanas, é um indicador crítico para avaliar o impacto ambiental no setor energético, especialmente no contexto da transição para fontes renováveis e redes inteligentes (Kutlu Gundogdu, 2022a). A integração de fontes renováveis de energia - eólica, solar, hídrica e biomassa - desempenha papel fundamental na redução da pegada de carbono (Khan *et al.*, 2021). Contudo, é igualmente crucial abordar o descarte adequado dos componentes tecnológicos associados, como baterias e painéis solares, exigindo sistemas eficientes de gestão de resíduos para mitigar impactos ambientais (Lopez *et al.*, 2023), paralelamente estas tecnologias devem otimizar o consumo energético residencial, minimizando desperdícios

Os sistemas de *Smart Home* surgem como solução integrada, combinando infraestrutura tecnológica, plataformas de comunicação e gerenciamento de dados. Essa abordagem promove o bem-estar dos moradores através do conforto térmico, redução de

custos energéticos e interconexão com dispositivos inteligentes (Zipperer *et al.*, 2013). A crescente adoção de energias renováveis em residências e *microgrid* evidencia o interesse global por soluções sustentáveis face aos desafios climáticos.

Os modelos de gestão energética residencial buscam otimizar o consumo através de quatro eixos principais: monitoramento de padrões de uso, geração local (prossumidores), custos energéticos e conforto do usuário, conforme detalhado a seguir.

1. O monitoramento energético, realizado via medidores inteligentes e sensores em eletrodomésticos, possibilita a caracterização dos padrões de consumo dos usuários, base fundamental para estratégias de otimização (Kanchev *et al.*, 2011).

2. A previsão de demanda, derivada dos padrões de consumo monitorados, possibilita o dimensionamento preciso de sistemas de geração própria, (Ceccon *et al.*, 2021), reduzindo custos e otimizando recursos.

3. Através de interfaces intuitivas, os usuários podem monitorar em tempo real seu consumo e custos energéticos, recebendo recomendações personalizadas para otimização (Yaghmaee Moghaddam; Leon-Garcia, 2018), essa abordagem não apenas identifica oportunidades de eficiência, mas também detecta anomalias em equipamentos que possam representar desperdício energético.

III. METODOLOGIA

Esta pesquisa foi desenvolvida por meio de uma revisão sistemática da literatura (RSL). O objetivo de uma RSL, seria o de responder as perguntas da pesquisa bem como aumentar o conhecimento de pesquisadores sobre o tema.

Na etapa de identificação do Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA), é essencial definir as cadeias de pesquisa de forma criteriosa. Assim, considerando que o objetivo deste artigo é apresentar os elementos e requisitos fundamentais da Smart Energy com foco na sustentabilidade, explorar o conhecimento e debater os principais desafios e oportunidades associados ao tema, com isso foi realizada uma seleção de palavras-chave, com o objetivo de se obter uma variedade de artigos relacionados ao tema. Portanto, as palavras chaves pesquisadas nas bases de dados foram: “Project” AND “Management” AND “Smart Energy” OR “Energy cloud” OR “Internet of energy” OR “Transactive energy” OR “Energy hub” OR “Smart grid” OR “Microgrid” AND “Smart home” OR “home” OR “house” AND “Sustainability”. Desta forma este conjunto de palavras foram testadas em diferentes bases de dados, estas bases escolhidas foram as seguintes Institute of Electrical and Eletronic Enginners (IEEE), Scopus e Web of Science (WOS). Temos as áreas relacionadas a pesquisa sendo Engineering; Computer Science; Energy; Business Management and Accounting; Economics, Econometrics and Finance; Green Sustainable. O filtro de período foi definido para todos os anos. A Tabela 1 resume os filtros aplicados às bases de dados.

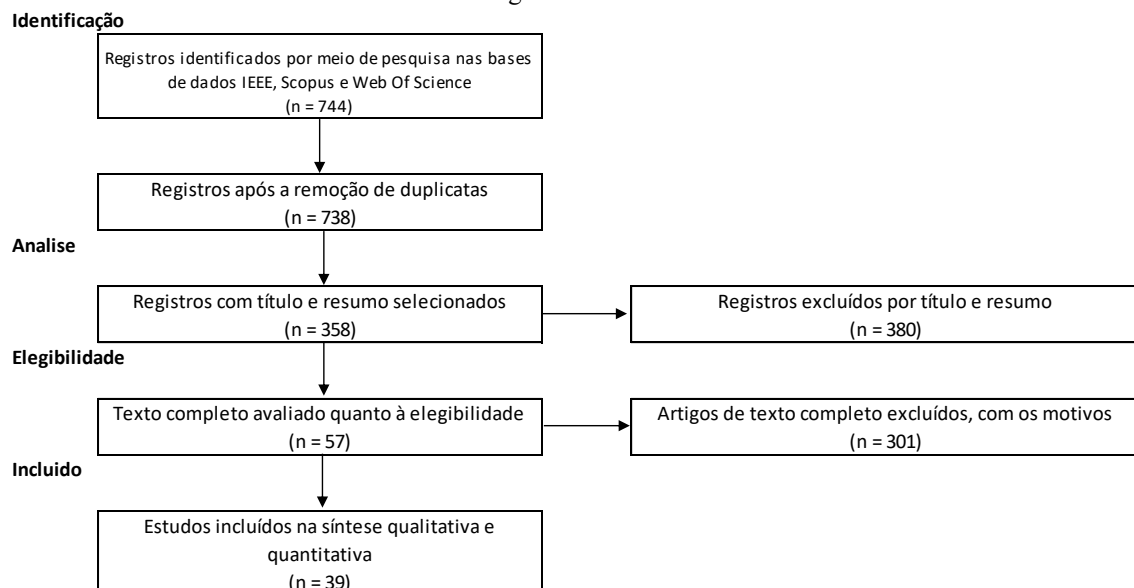
Tabela 1. Filtros de busca

Filtro	IEEE	Scopus	WOS
Document Type	Journals	Article	Article
Search in	All Metadata	Article tittle, Abstract, Keywords	Topic

Subject areas	Smart Meters; Energy Management System; Energy Consumption; Smart Home; Energy Management; Smart Energy	Engineering; Computer Science; Energy; Business Management and Accounting; Economics, Econometrics and Finance	Engineering Electrical Electronic; Green Sustainable Science Technology; Environmental Sciences; Computer Science Information Systems; Telecommunications; Engineering Environmental; Economics; Engineering Multidisciplinary; Engineering Industrial;
Years	All	All	All
Search terms	"Project" AND "Management" AND "Smart Energy" OR "Energy cloud" OR "Internet of energy" OR "Transactive energy" OR "Energy hub" OR "Smart grid" OR "Microgrid" AND "Smart home" OR "home" OR "house" AND "Sustainability".	"Project" AND "Management" AND "Smart Energy" OR "Energy cloud" OR "Internet of energy" OR "Transactive energy" OR "Energy hub" OR "Smart grid" OR "Microgrid" AND "Smart home" OR "home" OR "house" AND "Sustainability".	"Project" AND "Management" AND "Smart Energy" OR "Energy cloud" OR "Internet of energy" OR "Transactive energy" OR "Energy hub" OR "Smart grid" OR "Microgrid" AND "Smart home" OR "home" OR "house" AND "Sustainability".

Este artigo, de caráter exploratório e descritivo, baseia-se em uma abordagem qualitativa, fundamentada em uma revisão sistemática da literatura conduzida com o auxílio do método PRISMA, conforme Figura 1.

Figura 1: Prisma



Os artigos incluídos na RSL, foram catalogados em uma planilha no Microsoft Excel. Na leitura de título e Abstract foram colocados sobre os 5 principais tópicos macros da pesquisa (Projeto, Management ou Business, Energias, Residências e Sustentabilidade), os temas Energias e Residências ainda foram divididos em subfamílias, assim durante a leitura do título e abstract dos 738 documentos caso eles demonstrem

relação em pelo menos relação 3 famílias macros das 5 ele seria selecionado para próxima fase, assim após finalizar a leitura tivemos a exclusão de 380 documentos.

Na próxima fase iniciou-se com 358 documentos, foi realizada a leitura da introdução, discussão de resultados e conclusão, sendo dividida nos filtros de aderência (médio aderente, muito aderente e não aderente), assim o artigo só seguiria para leitura completa se tivesse relação muito aderente com no mínimo uma das famílias macro, nesta fase tivemos a exclusão de 301 documentos. Para a fase de leitura completa, iniciou-se com 57 documentos, em que após a leitura, 39 foram a base para a construção do artigo.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A matriz SWOT oferece uma estrutura analítica para a *Smart Energy* residencial, categorizando fatores internos (forças/fraquezas) e externos (oportunidades/ameaças). Cada elemento será examinado com contextualização teórica, exemplos práticos e recomendações aplicáveis, proporcionando um diagnóstico completo para implementação tecnológica, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Matriz SWOT

Forças (<i>Strengths</i>)	Fraquezas (<i>Weaknesses</i>)
Uso eficiente da Energia	Custo inicial elevado para implantação
Integração de sistemas de energias renováveis	Falta de regulamentação adequada e políticas públicas
Gerenciamento em tempo real da demanda	Segurança de dados
Redução de custos	Falta de Interoperabilidade dos componentes
Mercado livre de energia	Produção dependente de condições climáticas
Oportunidades (<i>Opportunities</i>)	Ameaças (<i>Threats</i>)
Crescente demanda global	Resistência a mudança por parte dos consumidores
Avanços tecnológicos	Falta de padronização como reflexo da falta de regulamentações
Incentivo financeiro para adoção da tecnologia	Falta de sistemas eficientes de armazenamento

Forças

As tecnologias de *Smart Energy* representam uma solução estratégica para o setor residencial, integrando eficiência energética e sustentabilidade de forma sinérgica. Sistemas de gestão energética otimizam o consumo residencial em horários de pico, reduzindo custos (Ceccon *et al.*, 2021), e a sobrecarga do sistema, durante pontos de alta demanda. Já os mercados P2P formam *microgrid* locais que minimizam perdas por transmissão (Benchekroun *et al.*, 2023), e descentralizam a distribuição (Bin Mohamad Saifuddin *et al.*, 2019), beneficiando consumidores através de maior escolha e competição. Esses fatores evidenciam a capacidade transformadora da *Smart Energy* em converter residências em unidades ativas e sustentáveis.

Fraquezas

Apesar dos avanços, desafios como custos elevados e falta de regulamentação ainda limitam a adoção em larga escala, especialmente no âmbito residencial. A ausência de políticas públicas e regulamentações específicas para criar um ambiente dinâmico e

integrado (Schaefer; Siluk; Carvalho, 2021), podem elevar os custos iniciais de implantação, instabilidade do mercado devido à desconexão na cadeia de suprimentos (Siluk *et al.*, 2024). A interoperabilidade, entre dispositivos de monitoramento (Bin Mohamad Saifuddin *et al.*, 2019), pois a falta de comunicação, obriga o cliente a comprar todo conjunto de um único fabricante.

A crescente descentralização do sistema energético, marcada pela atuação de prossumidores e adoção de medidores inteligentes, intensifica os desafios de segurança cibernética (Aggarwal *et al.*, 2021). A geração de energia a partir de fontes renováveis intermitentes (solar fotovoltaica e eólica) apresenta dependência crítica das condições meteorológicas, tendo grande impacto na demanda (Bencheckroun *et al.*, 2023), assim a necessidade de uma previsão do tempo mais assertiva, para o gerenciamento eficaz dos sistemas de produção de energia.

Oportunidades

O contexto energético atual, apresenta condições favoráveis para a aceleração da adoção de *Smart Energy* no segmento residencial. Embora a adoção de *Smart Energy* enfrente desafios como altos custos iniciais e percepção limitada do retorno sobre investimento (ROI) (Zipperer *et al.*, 2013), a transição para fontes limpas é crucial para reduzir dependência de não-renováveis (López *et al.*, 2023), assegurar a sustentabilidade energética (Honarmand *et al.*, 2021), alcançar metas climáticas globais, justificando os investimentos necessários.

Os recentes avanços tecnológicos no âmbito residencial destacam o *Home Energy Management System* (HEMS) como solução inovadora para gestão inteligente, otimização do consumo e promoção da eficiência (Han *et al.*, 2023). Essas oportunidades devem ser aproveitadas para desenvolver projetos-piloto que integrem tecnologia, economia e uso consciente dos recursos.

Ameaças

Riscos como resistência à mudança e instabilidade política podem retardar a adoção, mas estratégias direcionadas podem minimizar seus impactos. Uma das principais barreiras, está no não conhecimento dos benefícios, com isso consumidores podem resistir na mudanças de seus hábitos de consumo de energia se não entenderem que isso gerar não somente uma economia financeira, mas também no uso consciente do recurso (Honarmand *et al.*, 2021), falta de confiança em novas tecnologias barreiras políticas, que tem relação com a falta de incentivos governamentais, as barreiras de tecnologia, favorecida pela falta de uma legislação, mas também pela falta de conhecimento técnico especializado em projetos (Kutlu Gundogdu, 2022b), a falta de conhecimento vai além da questão financeira, mas sim sobre o uso consciente do recurso, preservando o uso do sistema para geração atual e futuras gerações. Ameaças exigem abordagens multidisciplinares, com projetos que combinem tecnologia, políticas claras e participação comunitária.

V. CONCLUSÃO

A RSL realizada demonstra uma inter-relação entre os temas abordados, gerenciamento da energia em residências, *microgrids*, energia sustentável, otimização custos de operação e o conceito de sustentabilidade.

A antiga arquitetura de controle não é ideal para as necessidades futuras. A rede elétrica convencional precisa ser redesenhada para se tornar um sistema inteligente, altamente eficiente e sustentável. Nos últimos anos, a rede elétrica convencional está se transformado em um sistema inteligente, altamente eficiente e totalmente integrado, a

chamada rede inteligente. Os consumidores de eletricidade convencionais tornaram-se prosumidores que podem produzir e consumir eletricidade com o desenvolvimento de Recursos Energéticos Distribuídos (DERs), tais como painéis fotovoltaicos (PV), sistemas de armazenamento de energia (ESS) e veículos elétricos (EV).

A integração de *Smart Energy*, sustentabilidade e tecnologia da comunicação, se mostra necessário para um aumento da eficiência e na confiabilidade das redes elétricas modernas. Com foco em residências que consomem, mais de um terço da energia produzida, a implementação de *Smart Energy* envolve uma complexa análise de custo benefício, casas inteligentes integradas com sistemas fotovoltaicos de armazenamento de energia, podem obter economia de custos significativas.

O HEMS desempenha um papel importante no sistema, os dados e padrões de consumo que foram gerados ao longo do tempo, tem sua aplicação no gerenciamento do consumo, que por consequência leva a um consumo otimizado de energia, em virtude da análise dos dados. Além disso e não menos importante temos o papel dos prosumidores que além de consumir da rede eles produzem sua própria energia, através de sistemas sustentáveis. Com isso o mercado de energia fica aberto e o consumidor final pode realizar o comércio de energia P2P assim reduzindo a dependência de mercados tradicionais. Esta rede de energia comunitária, já atende as necessidades ambientais, pois sua fabricação se dá através de tecnologias sustentáveis, essas comunidades de energia e estudos demonstram que seu custo será reduzido se comparado ao modelo atual.

A integração de tecnologias avançadas em sistemas de energia apresenta oportunidades para maior eficiência e sustentabilidade. Pesquisas futuras devem se concentrar em melhorar as medidas de segurança, desenvolver aplicações práticas para o comércio de energia P2P e explorar soluções abrangentes para sustentabilidade energética em todo o ciclo de vida dos produtos. Esses esforços contribuirão para sistemas de energia mais resilientes e eficientes, apoiando as metas globais de sustentabilidade.

VI. REFERÊNCIAS

AGGARWAL, S. et al. Survey on energy trading in the smart grid: Taxonomy, research challenges and solutions. **IEEE Access**, v. 9, p. 116231–116253, 2021.

ALFAVERH, F.; DENAI, M.; SUN, Y. A Dynamic Peer-to-Peer Electricity Market Model for a Community Microgrid with Price-Based Demand Response. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 14, n. 5, p. 3976–3991, 2023.

ANDRADE, S. H. M. S. et al. A Smart Home Architecture for Smart Energy Consumption in a Residence with Multiple Users. **IEEE Access**, v. 9, p. 16807–16824, 2021.

ANIL, V.; ARUN, S. L. Enhancing Transactive Energy Trading Framework for Residential End Users. **IEEE Access**, v. 12, p. 39399–39416, 2024.

BENCHEKROUN, A. et al. Grid-Aware Energy Management System for Distribution Grids Based on a Co-Simulation Approach. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 38, n. 5, p. 3571–3581, 2023.

BHAMIDI, L.; SIVASUBRAMANI, S. Optimal Sizing of Smart Home Renewable Energy Resources and Battery under Prosumer-Based Energy Management. **IEEE Systems Journal**, v. 15, n. 1, p. 105–113, 2021.

BIN MOHAMAD SAIFUDDIN, M. R. et al. A nano-biased energy management using reinforced learning multi-agent on layered coalition model: Consumer sovereignty. **IEEE Access**, v. 7, p. 52542–52564, 2019.

CAPPERS, P. et al. An assessment of market and policy barriers for demand response providing ancillary services in U.S. electricity markets. **Energy Policy**, v. 62, p. 1031–1039, nov. 2013.

CECCON, W. F. et al. Intelligent Electric Power Management System for Economic Maximization in a Residential Prosumer Unit. **IEEE Access**, v. 9, p. 48713–48731, 2021.

DE CARVALHO, P. S.; SILUK, J. C. M.; SCHAEFER, J. L. Analysis of Factors that Interfere with the Regulatory Energy Process with Emphasis on the Energy Cloud. **International Journal of Energy Economics and Policy**, v. 12, n. 2, p. 325–335, 20 mar. 2022.

HAN, B. et al. Home Energy Management Systems: A Review of the Concept, Architecture, and Scheduling Strategies. **IEEE Access**, v. 11, p. 19999–20025, 2023.

HONARMAND, M. E. et al. An Overview of Demand Response: From its Origins to the Smart Energy Community. **IEEE Access**, v. 9, p. 96851–96876, 2021.

KANCHEV, H. et al. Energy management and operational planning of a microgrid with a PV-based active generator for smart grid applications. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, v. 58, n. 10, p. 4583–4592, 2011.

KHAN, R. et al. Energy Sustainability-Survey on Technology and Control of Microgrid, Smart Grid and Virtual Power Plant. **IEEE Access**, v. 9, p. 104663–104694, 2021.

KUTLU GÜNDOĞDU, F. Analyzing critical barriers of smart energy city in Turkey based on two-dimensional uncertainty by hesitant z-fuzzy linguistic terms. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 113, p. 104935, ago. 2022a.

KUTLU GÜNDOĞDU, F. Analyzing critical barriers of smart energy city in Turkey based on two-dimensional uncertainty by hesitant z-fuzzy linguistic terms. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 113, p. 104935, ago. 2022b.

LOPEZ, O. L. A. et al. Energy-Sustainable IoT Connectivity: Vision, Technological Enablers, Challenges, and Future Directions. **IEEE Open Journal of the Communications Society**, v. 4, p. 2609–2666, 2023.

LÓPEZ, O. L. A. et al. Energy-Sustainable IoT Connectivity: Vision, Technological Enablers, Challenges, and Future Directions. **IEEE Open Journal of the Communications Society**, v. 4, p. 2609–2666, 2023.

SAIF, A. et al. Impact of Distributed Energy Resources in Smart Homes and Community-Based Electricity Market. **IEEE Transactions on Industry Applications**, v. 59, n. 1, p. 59–69, jan. 2023.

SCHAEFER, J. L. et al. Management Challenges and Opportunities for Energy Cloud Development and Diffusion. **Energies**, v. 13, n. 16, p. 4048, 5 ago. 2020.

SCHAEFER, J. L.; SILUK, J. C. M.; CARVALHO, P. S. DE. An MCDM-based approach to evaluate the performance objectives for strategic management and development of Energy Cloud. **Journal of Cleaner Production**, v. 320, p. 128853, out. 2021.

SILUK, J. C. M. et al. Collaborative drivers' networks for the development of Smart Energy environments. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 65, p. 103749, maio 2024.

YAGHMAEE MOGHADDAM, M. H.; LEON-GARCIA, A. A Fog-Based Internet of Energy Architecture for Transactive Energy Management Systems. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 5, n. 2, p. 1055–1069, 2018.

ZAFAR, U.; BAYHAN, S.; SANFILIPPO, A. Home Energy Management System Concepts, Configurations, and Technologies for the Smart Grid. **IEEE Access**, v. 8, p. 119271–119286, 2020.

ZIPPERER, A. et al. Electric energy management in the smart home: Perspectives on enabling technologies and consumer behavior. **Proceedings of the IEEE**, v. 101, n. 11, p. 2397–2408, nov. 2013.

VII. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas e Industrial - PPGEPS da Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR, CNPq, CAPES, Fundação Araucária pelo apoio a esta pesquisa. Este trabalho contou com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) [nº de bolsa 40003019010P1]

VIII. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores Miquel José Nasario, Flavio Alexandre Prussak Gabardo, Caroline Martins Lopes e Jones Luis Schaefer são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.