

PEDRO RODRIGUES CANDIANI

**Residência Inteligente Sustentável Baseado em IoT: Benefícios e
Desafios**

São Paulo
2024

PEDRO RODRIGUES CANDIANI

Residência Inteligente Sustentável Baseado em IoT: Benefícios e Desafios

Versão Original

Monografia apresentada ao PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a conclusão do curso de MBA em Tecnologias Digitais e Inovação Sustentável.

Área de Concentração: Sistemas Digitais

Orientador: Prof. Dr. Kechi Hirama

São Paulo
2024

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-publicação

CANDIANI, Pedro Rodrigues

Residência Inteligente Sustentável Baseado em IoT: Benefícios e
Desafios / P. R. CANDIANI, K. HIRAMA -- São Paulo, 2024.
71 p.

Monografia (Especialização em Tecnologias Digitais e Inovação
Sustentável) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais.

1.Sustentabilidade 2.IoT 3.Residência Inteligente Sustentável
4.Benefícios 5.Desafios I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais II.t.
III.HIRAMA, Kechi

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus familiares e amigos que estiveram sempre ao meu lado, me apoiando e dando forças para seguir em frente, especialmente nos momentos difíceis. A presença e o apoio de vocês foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho. Muito obrigado!

AGRADECIMENTOS

À Universidade de São Paulo – USP que me proporcionou a oportunidade de desenvolver este trabalho. Agradeço especialmente pela oportunidade de me aprofundar e compreender melhor as áreas nas quais escolhi me dedicar durante o desenvolvimento deste projeto.

À Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP por me orientar na escolha do meu orientador e do tema a ser desenvolvido. Também expresso minha gratidão pelo apoio fornecido através do material necessário para o desenvolvimento do meu trabalho.

Ao PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia por sua contribuição fundamental ao longo deste projeto. Agradeço pelo suporte contínuo, orientação e recursos disponibilizados, que foram essenciais para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Aos meus pais, que sempre me apoiaram e incentivaram a continuar desenvolvendo meu trabalho, mesmo nos momentos difíceis. Agradeço por me ajudarem e orientarem da melhor forma possível, proporcionando-me bem-estar e direcionamentos.

RESUMO

CANDIANI, P. R. **Residência Inteligente Sustentável Baseado em IoT: Benefícios e Desafios**. 2024. 71 p. Monografia (MBA em Tecnologias Digitais e Inovação Sustentável). Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2024.

A aplicação da Internet das Coisas (IoT) em residências visa a implementação de funções inteligentes, promovendo maior comodidade, eficiência energética e segurança para os moradores. No entanto, o desenvolvimento desses sistemas atualmente requer uma consideração fundamental: a sustentabilidade. Embora haja muitos benefícios, as dificuldades na adoção ainda persistem. O objetivo é mapear os benefícios e os desafios de uma residência inteligente, analisando pesquisas recentes na literatura sobre suas aplicações, características e implementações, com especial atenção à sustentabilidade. O método empregado é exploratório, envolvendo a análise de publicações relevantes em plataformas acadêmicas, como Scopus, Mendeley e Google Scholar, com filtragem por termos específicos relacionados à sustentabilidade. Os resultados destacam benefícios interconectados, como eficiência energética, economia financeira, conforto e segurança, enquanto os desafios incluíram questões de privacidade e segurança, falta de padronização tecnológica e custos elevados de implementação. Conclui-se que, apesar das vantagens percebidas, é crucial abordar os desafios para uma adoção mais ampla e eficaz dessas tecnologias em residências inteligentes sustentáveis, visando a promoção contínua da sustentabilidade no ambiente residencial.

Palavras-chave: Sustentabilidade, IoT, Residência Inteligente Sustentável, Benefícios, Desafios.

ABSTRACT

CANDIANI, P. R. **Residência Inteligente Sustentável Baseado em IoT: Benefícios e Desafios**. 2024. 71 p. Monografia (MBA em Tecnologias Digitais e Inovação Sustentável). Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2024.

The application of the Internet of Things (IoT) in homes aims to implement intelligent functions, promoting greater convenience, energy efficiency and security for residents. However, the development of these systems currently requires a fundamental consideration: sustainability. Although there are many benefits, difficulties in adoption still persist. The objective is to map the benefits and challenges of a smart home, analyzing recent research in the literature on its applications, characteristics and implementations, with special attention to sustainability. The method used is exploratory, involving the analysis of relevant publications on academic platforms, such as Scopus, Mendeley and Google Scholar, with filtering for specific terms related to sustainability. The results highlight interconnected benefits such as energy efficiency, financial savings, comfort and security, while challenges included privacy and security issues, lack of technological standardization and high implementation costs. It is concluded that, despite the perceived advantages, it is crucial to address the challenges for a broader and more effective adoption of these technologies in sustainable smart homes, aiming to continuously promote sustainability in the residential environment.

Keywords: Sustainability, IoT, Sustainable Smart Home, Benefits, Challenges.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

	Pág.
Figura 1 – Arquitetura em três camadas de IoT do padrão IEEE P2413	21
Figura 2 – Definição de IoT da ITU	23
Figura 3 - Modelo de arquitetura do ETSI para a comunicação M2M.....	24
Figura 4 – Hierarquia de prováveis aplicações, instalações e dispositivos para agricultura inteligente	27
Figura 5 – Arquitetura geral de Redes Inteligentes (<i>Smart Grid</i>) para IoT	29
Figura 6 – Potencial do IoT para as cidades inteligentes	30
Figura 7 – Tripé da sustentabilidade	36
Figura 8 – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável	38
Figura 9 – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável em Quatro Categorias	39
Figura 10 – Área de aplicações de redes inteligentes com IoT	44
Figura 11 – <i>Design</i> de uma residência e estratégias sustentáveis	54

LISTA DE TABELAS

Pág.

Tabela 1 – Benefícios de uma residência inteligente sustentável 58

Tabela 2 – Desafios de uma residência inteligente sustentável 62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CPS - *Cyber physical systems*

ETSI - *European Telecommunications Standards Institute*

IEEE - *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

IoT - *Internet of Things*

IoT-SHT - *IoT based Smart Home Technology*

ITU - *International Telecommunication Union*

M2M - *Machine to Machine*

NIST - *National Institute of Standards and Technology*

ONU - *Organização das Nações Unidas*

RFID - *Radio-Frequency IDentification*

SH - *Smart Home*

TIC - *Tecnologias da Informação e Comunicação*

W3C - *World Wide Web Consortium*

WoT - *Web of Things*

SUMÁRIO

	Pág.
1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Motivações.....	13
1.2 Objetivo	14
1.3 Justificativas	14
1.4 Método de Pesquisa	17
1.5 Estrutura do Trabalho	17
2. INTERNET DAS COISAS.....	19
2.1 Definições e Conceitos.....	19
2.2 Arquiteturas	21
2.3 Aplicações	26
2.3.1 Agricultura	26
2.3.2 Energia Elétrica	28
2.3.3 Cidade	29
2.3.4 Residência	31
2.4 Considerações do Capítulo	32
3. SUSTENTABILIDADE.....	34
3.1 Definições e Conceitos.....	34
3.1.1 Sustentabilidade (<i>Sustainability</i>)	34
3.1.2 Sistema Sustentável (<i>Sustainable System</i>).....	35
3.1.3 Desenvolvimento Sustentável (<i>Sustainable Development</i>)	37
3.1.4 Sustentabilidade Digital (<i>Digital Sustainability</i>)	40
3.1.5 Sustentabilidade de Sistema (<i>System Sustainability</i>)	41
3.2 Exemplos de Sistemas Sustentáveis	42
3.2.1 Agricultura Sustentável	42
3.2.2 Energia Sustentável	43
3.2.3 Cidade Sustentável	45
3.2.4 Residência Sustentável	46
3.3 Considerações do Capítulo	47

4. RESIDÊNCIA INTELIGENTE SUSTENTÁVEL.....	49
4.1 Serviços de uma Residência Inteligente Sustentável	49
4.1.1 Controle de Energia	49
4.1.2 Controle de Água	50
4.1.3 Segurança	50
4.1.4 Conforto	51
4.2 Características de uma Residência Inteligente Sustentável	52
4.3 Residência Inteligente Sustentável com IoT	55
4.4 Considerações do Capítulo	56
5. BENEFÍCIOS E DESAFIOS DE UMA RESIDÊNCIA INTELIGENTE SUSTENTÁVEL	58
5.1 Benefícios.....	58
5.2 Desafios	63
5.3 Considerações do Capítulo	66
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
6.1 Conclusões do Trabalho.....	67
6.2 Contribuições do Trabalho	67
6.3 Trabalhos Futuros	68
REFERÊNCIAS	69

1. INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta as motivações, o objetivo, as justificativas, o método de pesquisa e a estrutura do trabalho.

1.1 Motivações

O conceito da Internet das Coisas (IoT - *Internet of Things*) está se tornando não apenas um facilitador na vida daqueles que a adotam, mas também trazendo consigo desafios e oportunidades para automatizar atividades cotidianas.

Uma das áreas de aplicação inclui ambientes residenciais, capacitando-a a exibir funções automatizadas que a tornam, por assim dizer, "inteligente". O conceito de Residência Inteligente (*Smart Home* - SH) é descrito como um ecossistema de IoT, que usam dispositivos com sensores e atuadores, para automatizar e controlar vários aparelhos e dispositivos domésticos. Essa automação abrange uma variedade de funções, como iluminação, segurança, climatização e eletrodomésticos, que podem ser controlados remotamente por meio de dispositivos conectados à internet, como smartphones ou assistentes virtuais. O uso da IoT permite implementar essas funções inteligentes, proporcionando mais comodidade, eficiência energética e segurança aos moradores (ALAA *et al.*, 2017; CHANG e NAM, 2022; SALMAN *et al.*, 2016; STOJKOSKA e TRIVODALIEV, 2017; YOU *et al.*, 2019).

Um dos benefícios de uma SH é a economia financeira, devido a sua capacidade de gerenciar automaticamente os gastos energéticos e hídricos, trazendo conforto, segurança e bem-estar para os residentes (PAETZ, DUTSCHKE e FICHTNER, 2012).

No entanto, a diversidade de dispositivos sensores e atuadores e utensílios domésticos disponíveis e a inexistência de padrões para o mercado de IoT, traz dificuldades para permitir uma plena interoperabilidade desses itens físicos.

Além disso, os custos de integração desses dispositivos ainda são altos o que dificulta ainda mais a interoperabilidade (STOJKOSKA e TRIVODALIEV, 2017). Os desafios são muitos e precisam ser equacionados para trazer todos os benefícios ligados a uma SH.

No entanto, o desenvolvimento de um sistema não pode prescindir de questões sobre sustentabilidade, de acordo com as agendas de entidades internacionais como a ONU (Organização das Nações Unidas). Segundo Ruggerio (2021), um desenvolvimento sustentável deve atender às necessidades atuais sem comprometer as demandas das gerações futuras.

Baseado no que foi exposto, a questão de pesquisa deste trabalho é “*Quais são os benefícios e os desafios de Residências Inteligentes Sustentáveis baseadas em IoT?*”.

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é mapear os benefícios e os desafios de uma SH Sustentável baseada em IoT.

Para isto, procura-se estudar as pesquisas mais recentes na literatura, do ponto de vista de aplicações, características e recursos de implementação de um SH Sustentável e analisar um retrato recente deste cenário

1.3 Justificativas

Alguns trabalhos relacionados ao tema de SH Sustentável são:

- O trabalho de Chang e Nam (2022) sobre o tema “*Exploring the Sustainable Values of Smart Homes to Strengthen Adoption*” aborda o aspecto da lenta adoção de SH e promove uma discussão sobre pesquisas focadas em

benefícios e barreiras para a sua adoção. Estudos mais recentes destacam a questão da sustentabilidade como uma de suas causas. Outras causas estão relacionadas à complexidade da estrutura no entorno de um SH (tecnologias, serviços e requisitos de espaço físico). O objetivo é mapear fatores como estratégias de *design* de SH para promover a sua adoção com o uso de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC).

O IoT pode ser visto como um conceito implementado por um TIC.

No entanto, é importante destacar que este trabalho se concentra principalmente nos benefícios sustentáveis decorrentes da implementação de dispositivos de IoT, diferenciando-se de abordagens mais abrangentes sobre Sustentabilidade. Um dos aspectos do trabalho é explorar como o IoT pode ser empregado para tornar as residências mais sustentáveis, identificando as arquiteturas que melhor atendem a esse propósito e promovem eficiência econômica e ambiental.

- O trabalho de Rock, Tajudeen e Chung (2022) sobre o tema “*Usage and impact of the internet-of-things-based smart home technology: a quality-of-life perspective*” foi realizado exclusivamente na Malásia e aborda os benefícios e os impactos da utilização dos dispositivos IoT em residências. Também apresenta a aplicação dessas tecnologias no cotidiano, focando mais na perspectiva de qualidade de vida tais como, segurança das residências sem a necessidade constante de monitoramento e supervisão humana, melhoria e otimização de processos trazendo mais comodidade e facilidade na vida dos residentes, benefícios à saúde como monitoramento dos sinais vitais e predição de possíveis problemas que podem vir a surgir.

Porém, neste trabalho, apesar de também focar na aplicação de dispositivos IoT em residências, procura-se destacar os benefícios sustentáveis dessa utilização. Abordam-se de forma mais profunda os benefícios relacionados ao meio ambiente, como a diminuição da geração de resíduos e gases, gerenciamento dos gastos de recursos como energia e água, bem como uma melhor qualidade de vida para aqueles que ali residem, buscando atender e entregar melhor conforto e menos estresse ao ambiente. Isso denota que, com a monitoria e processamento inteligente, usufruir dos dispositivos IoT

pode não apenas tornar uma residência mais sustentável, mas também proporcionar um ambiente de melhor estadia.

- O trabalho de Paetz, Dütschke e Fichtner (2012) sobre o tema “*Smart Homes as a Means to Sustainable Energy Consumption: A Study of Consumer Perceptions*” aborda uma pesquisa realizada com um grupo de pessoas da Alemanha onde o objetivo foi verificar a opinião do público a respeito de SH que possuem uma arquitetura de consumo energético sustentável utilizando soluções de TIC. Foram considerados a necessidade de alterações comportamentais e de rotina dos residentes, bem como os impactos nas suas vidas, a falta de experiência com SH e os investimentos significativos para a transformação das residências para atingir as metas de consumo de energia sustentável.

Por outro lado, neste trabalho, os benefícios de uma SH são levantados desde a economia financeira, conforto, segurança e saúde que estejam dentro do objetivo da diminuição dos impactos negativos ao meio ambiental, mas não tem como objetivo central a opinião do público em geral sobre uma arquitetura inteligente focada na economia energética e sim pesquisar formas alternativas de construção de uma arquitetura que traga os melhores benefícios da utilização da IoT em uma SH.

- O trabalho de Stojkoska e Trivodaliev (2017) sobre o tema “*A review of Internet of Things for smart home: Challenges and solutions*” apresenta uma revisão da IoT para SH do ponto de vista de desafios e soluções para o uso de algumas tecnologias disponíveis para IoT, tais como Computação de Borda (*Edge/Fog Computing*), *Big Data*, Rede (*Networking*), Interoperabilidade (*Interoperability*), Segurança e Privacidade (*Security and Privacy*).

Neste trabalho, discutem-se a sustentabilidade de uma SH e os benefícios, além dos desafios advindos de sua adoção.

1.4 Método de Pesquisa

O método de pesquisa do trabalho é exploratório (WAZLAWICK, 2009) com estudo e análise de publicações relevantes sobre o tema.

Para a coleta de fontes para os estudos, foram seguidos os passos:

1. Inicialmente, foi realizada uma pesquisa abrangente de publicações usando os termos “internet of things”, “iot”, “smart home”, “smart grid”, “smart city”, “smart agriculture” em plataformas como o Scopus, Mendeley e Google Scholar.
2. Foi realizado o segundo nível de filtro usando os termos “sustainable”, “sustainability”, “benefit” e “challenge” das publicações mais relevantes encontradas na etapa anterior.
3. Foram selecionados 90 artigos relevantes.
4. Foi realizada uma leitura detalhada dos artigos selecionados.
5. Foi definido o tema e o escopo do trabalho.
6. Foi definido o objetivo do trabalho.
7. Foi definida a estrutura do trabalho.
8. Foi elaborado o capítulo de Introdução.
9. Foram elaborados os capítulos de Revisão de Literatura.
10. Foi elaborado o capítulo Principal.
11. Foi elaborado o capítulo de Considerações Finais.
12. Foi elaborado o capítulo de Referências.

1.5 Estrutura do Trabalho

O Capítulo 1 INTRODUÇÃO apresenta as motivações, o objetivo, as justificativas, método de pesquisa e a estrutura do trabalho.

O Capítulo 2 INTERNET DAS COISAS apresenta uma revisão da literatura sobre o IoT, incluindo sua definição, conceitos, arquiteturas e aplicações.

O Capítulo 3 SUSTENTABILIDADE são examinadas as definições, conceitos e exemplos de sistemas sustentáveis.

O Capítulo 4 RESIDÊNCIA INTELIGENTE SUSTENTÁVEL apresenta uma análise detalhada dos serviços, características e implementações de IoT para residências inteligentes sustentáveis.

O Capítulo 5 BENEFÍCIOS E DESAFIOS DE UMA RESIDÊNCIA INTELIGENTE SUSTENTÁVEL, são discutidos os benefícios e os desafios inerentes à adoção de uma abordagem sustentável em residências inteligentes.

O Capítulo 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS, encapsula as conclusões do trabalho, suas contribuições e sugestões para futuras pesquisas e desenvolvimentos.

REFERÊNCIAS relaciona as fontes usadas para a elaboração deste trabalho.

2. INTERNET DAS COISAS

Este capítulo descreve uma introdução à Internet das Coisas destacando as suas definições e conceitos, arquitetura e aplicações mais discutidas na literatura.

2.1 Definições e Conceitos

Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) é um conceito onde todas as chamadas “coisas” podem ser conectadas a uma rede. As informações são coletadas dessa rede, convertidas, armazenadas, protegidas, processadas, transmitidas e recuperadas. A tecnologia presente neste processamento é o TIC (Tecnologia da Informação e Comunicação) (ROUT *et al.*, 2020).

Segundo Atzori, Lera e Marabito (2010), o conceito de IoT está relacionado à presença pervasiva de muitas coisas ou objetos, como por exemplo, RFID (*Radio-Frequency IDentification*), sensores, atuadores, celulares, etc. O conceito também pode ser compreendido por meio de duas visões diferentes. A visão voltada à “Internet” tem como foco principalmente a infraestrutura de rede e de protocolos de comunicação, considerando o IoT como uma extensão da Internet, enfatizando a capacidade de conectividade. Por outro lado, a perspectiva direcionada ao conceito “Coisas” tem como foco os objetos físicos, destacando o processo de coleta de informações, processamento e integração desses objetos.

Um exemplo dessa abordagem mais física está descrito no relatório especial sobre IoT do IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) dos EUA e publicada em março de 2014 como “Uma rede de itens, cada um incorporado com sensores, que estão conectados à internet” (MINERVA, BIRU; ROTONDI, 2015, p. 10, tradução nossa).

Outra perspectiva é apresentada pela organização NIST (*National Institute of Standards and Technology*) dos EUA em *Global City Teams Challenge - SmartAmerica Round Two* de 2014, onde descreve IoT como,

“*Cyber Physical Systems (CPS)* – às vezes referido como a Internet de Coisas (IoT) – envolve a conexão de dispositivos inteligentes e sistemas em setores diversos como transporte, energia, fabricação e saúde em fundamentalmente novas formas. Cidades/Comunidades Inteligentes estão cada vez mais adotando tecnologias CPS/IoT para melhorar a eficiência e sustentabilidade de suas operações e melhorar a qualidade de vida.” (MINERVA, BIRU; ROTONDI, 2015, p. 20, tradução nossa).

Já a descrição realizada por Chris Greer, executivo sênior de CPS do NIST, em 2014, enfatizou o papel das tecnologias e objetos inteligentes na melhoria de várias áreas (MINERVA, BIRU; ROTONDI, 2015). Segundo ele,

“Sistemas ciber físicos, também chamados de Internet das Coisas, são o próximo grande avanço para nosso uso da web. Eles permitem sistemas complexos de realimentação e controle que podem ajudar um robô a coordenar com um cachorro ou humano em uma operação de busca e resgate ou ajudar provedores de cuidados de saúde avaliar a recuperação dos pacientes depois de saírem do hospital” (MINERVA, BIRU; ROTONDI, 2015, p. 20, tradução nossa).

A comunidade W3C (*World Wide Web Consortium*) inclui o IoT dentro do domínio da Web das Coisas (WoT - *Web of Things*) que surgiu como uma evolução das tecnologias de Web. A W3C define WoT como:

"A Web das Coisas" trata essencialmente sobre o papel das tecnologias da Web para facilitar o desenvolvimento de aplicações e serviços para a Internet das Coisas, ou seja, objetos físicos e suas representações virtuais. Isso abrange sensores e atuadores, bem como objetos físicos marcados com códigos de barras ou NFC. Algumas tecnologias da Web relevantes incluem o HTTP para acessar serviços RESTful e

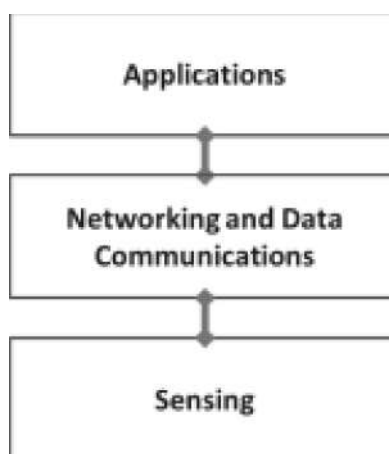
para nomear objetos como base para dados vinculados e descrições detalhadas, além de APIs de JavaScript para objetos virtuais que funcionam como representantes de objetos do mundo real." (MINERVA, BIRU; ROTONDI, 2015, p. 20, tradução nossa).

2.2 Arquiteturas

Nesta seção, são apresentados alguns padrões de arquitetura de IoT promovidos por algumas entidades mundialmente reconhecidas.

O padrão IEEE P2413 da IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) dos EUA considera que a arquitetura do IoT possui três camadas, Aplicações, Rede e Comunicação de Dados e Sensoriamento, conforme pode ser vista na Figura 1 (MINERVA, BIRU; ROTONDI, 2015).

Figura 1 - Arquitetura em três camadas de IoT do padrão IEEE P2413.



Fonte: (MINERVA, BIRU; ROTONDI, 2015).

A camada de Aplicações fornece serviços para os usuários e protocolos para troca de mensagens com este nível. A camada de Rede e Comunicações de Dados

conecta as coisas entre as camadas e a camada de Sensoriamento permite adquirir os dados brutos do ambiente (ABBASI, YAGHMAEE e RAHNAMA, 2019).

A arquitetura proposta pela ITU (*International Telecommunication Union*) da ONU para a IoT é fundamentada em uma infraestrutura global para a sociedade da informação. O Grupo de Estudo 13 da ITU descreve o IoT como uma rede ubíqua que conecta física e virtualmente objetos com base em tecnologias de informação e comunicação interoperáveis existentes e em evolução (MINERVA, BIRU; ROTONDI, 2015).

A abordagem da ITU enfatiza o papel das tecnologias habilitadoras, como *Radio-Frequency Identification* (RFID) para identificação de objetos, sensores para coleta de dados, tecnologias inteligentes para processamento e nanotecnologia para miniaturização de dispositivos (MINERVA, BIRU; ROTONDI, 2015). Essas tecnologias são consideradas essenciais para criar um ambiente em que objetos, dispositivos e sistemas possam se comunicar de forma autônoma e eficiente.

Dentro dessa arquitetura, a ITU destaca a importância de padrões técnicos para garantir a interoperabilidade e a integração perfeita de redes e tecnologias. A definição da IoT pela ITU como uma “infraestrutura global para a sociedade da informação” reflete a visão de um mundo em que a conectividade está disponível em qualquer lugar, a qualquer momento, por qualquer coisa e para qualquer pessoa (MINERVA, BIRU; ROTONDI, 2015, p. 17).

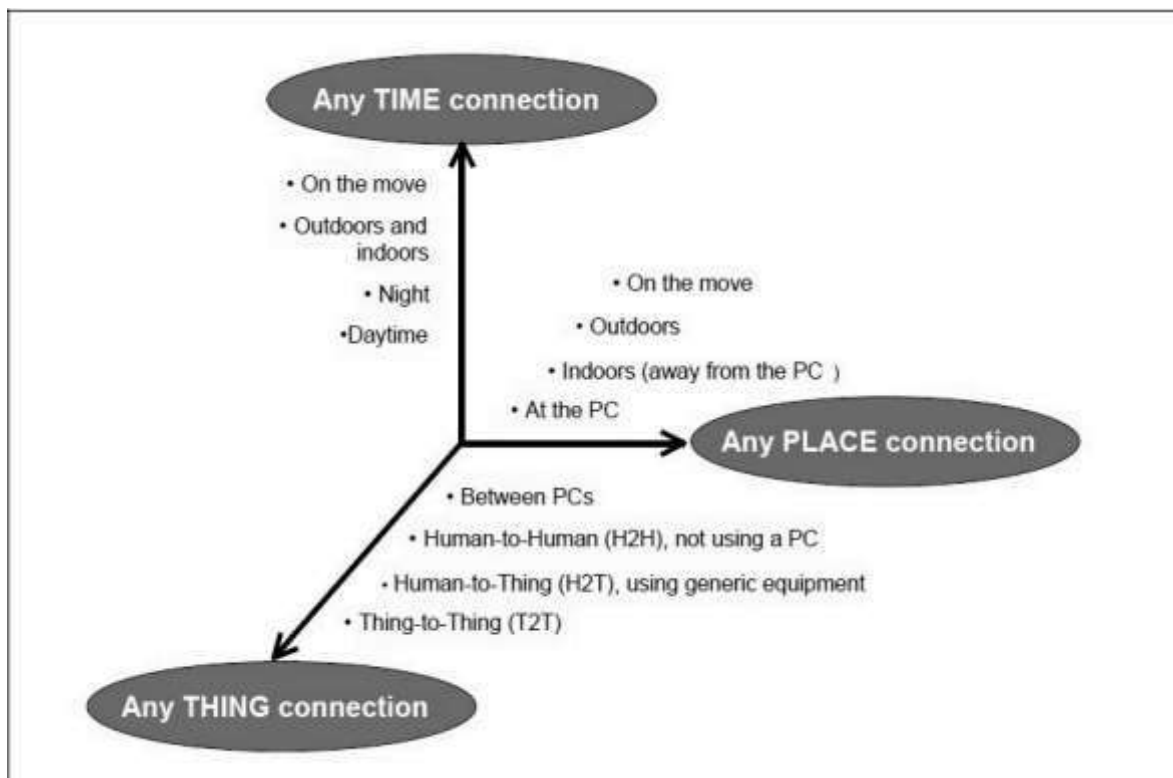
Assim, a Figura 2 apresenta um diagrama ilustrativo das diferentes formas de conexão dentro do contexto do IoT.

A primeira conexão *Any TIME Connection* indica que a conectividade está disponível em qualquer momento. Os termos "*Daytime*", "*Night*", "*outdoors and indoors*" e "*On The move*" abrangem uma ampla gama de situações em que a conexão pode ser acessada.

A segunda conexão *Any Place connection* destaca que a conectividade está disponível em qualquer lugar. De modo análogo, os termos "*on the move*",

"outdoors", "indoors (away from the PC)" e "at the PC" sugerem que a conexão pode ser acessada em diferentes ambientes físicos, incluindo aqueles distantes de um computador pessoal.

Figura 2 - Definição de IoT da ITU.



Fonte: (MINERVA, BIRU; ROTONDI, 2015).

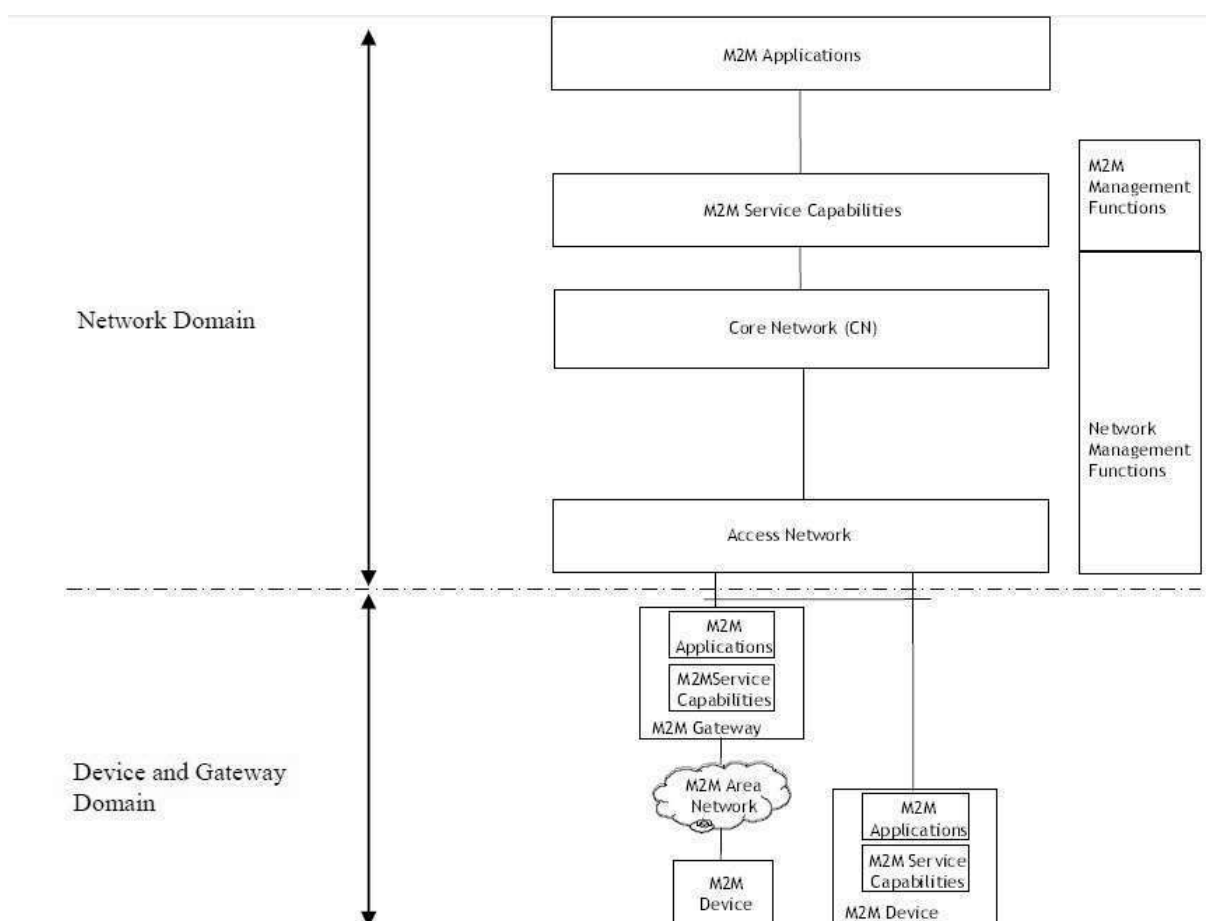
A terceira conexão *Anything Connection* enfatiza que a conectividade é possível entre diferentes objetos. Da mesma forma, os termos "*between PCs*", "*Human-to-Human (H2H)*", "*not using a PC*", "*Human-to-Thing (H2T)*", "*using generic equipment*" e "*thing-to-thing (T2T)*" indicam uma variedade de cenários nos quais a conexão pode ocorrer, desde interações entre seres humanos e dispositivos até interações entre dispositivos sem intervenção humana.

A organização ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) não fornece uma definição exata para o termo IoT em si, contudo, aborda um conceito semelhante, chamado *Machine to Machine (M2M)*, que compartilha características próximas ao IoT (MINERVA, BIRU; ROTONDI, 2015). Conforme a ETSI:

"*Machine to Machine (M2M)* é a comunicação entre duas ou mais entidades, às quais não necessariamente requerem intervenção humana direta. Os serviços do M2M procuram automatizar processos de decisão e comunicação." (MINERVA, BIRU; ROTONDI, 2015, p. 12, tradução nossa).

A Figura 3 ilustra um modelo de arquitetura lógica, cujas entidades agrupadas em domínios de Rede e de Dispositivos e *Gateway* caracterizam o conceito de comunicação M2M.

Figura 3 - Modelo de arquitetura do ETSI para a comunicação M2M.



Fonte: (MINERVA, BIRU; ROTONDI, 2015)

O NIST (*National Institute of Standards and Technology*), parte do Departamento de Comércio dos Estados Unidos, é uma instituição renomada dedicada à pesquisa e desenvolvimento no campo das ciências físicas (MINERVA, BIRU; ROTONDI, 2015). Desde dispositivos em nanoescala até projetos de grande escala, como arranha-céus resistentes a terremotos e redes de comunicação globais, o NIST desempenha um papel fundamental no avanço tecnológico.

No contexto do IoT, o NIST adota uma abordagem abrangente, integrando-o ao conceito mais amplo de "sistemas ciberfísicos" (MINERVA, BIRU; ROTONDI, 2015). Essa perspectiva permite uma compreensão holística das interconexões entre dispositivos inteligentes e sistemas em setores diversos, como transporte, energia, manufatura e saúde.

Dessa forma, o NIST desempenha um papel crucial na definição e no avanço dos padrões relacionados ao IoT, promovendo sua integração harmoniosa em diversos setores e impulsionando a inovação tecnológica em escala global.

A comunidade W3C (*World Wide Web Consortium*), com sede nos EUA, inclui a IoT dentro do mesmo domínio que a Web das Coisas (WoT - *Web of Things*), surgiu como uma evolução da IoT (MINERVA, BIRU; ROTONDI, 2015).

O WoT tem como foco a conexão de dispositivos na camada de rede, como afirmado pela W3C.

"A Web das Coisas" trata essencialmente sobre o papel das tecnologias da Web para facilitar o desenvolvimento de aplicações e serviços para a Internet das Coisas, ou seja, objetos físicos e suas representações virtuais. Isso abrange sensores e atuadores, bem como objetos físicos marcados com códigos de barras ou NFC. Algumas tecnologias da Web relevantes incluem o HTTP para acessar serviços RESTful e para nomear objetos como base para dados vinculados e descrições detalhadas, além de APIs de JavaScript para objetos virtuais que

funcionam como representantes (proxies) de objetos do mundo real." (MINERVA, BIRU; ROTONDI, 2015, p. 21, tradução nossa).

2.3 Aplicações

Nesta seção, abordam-se as aplicações cruciais do IoT em alguns setores, como agricultura, energia elétrica, cidades e residências. Cada setor é descrito e como o IoT desempenha em cada um deles.

2.3.1 Agricultura

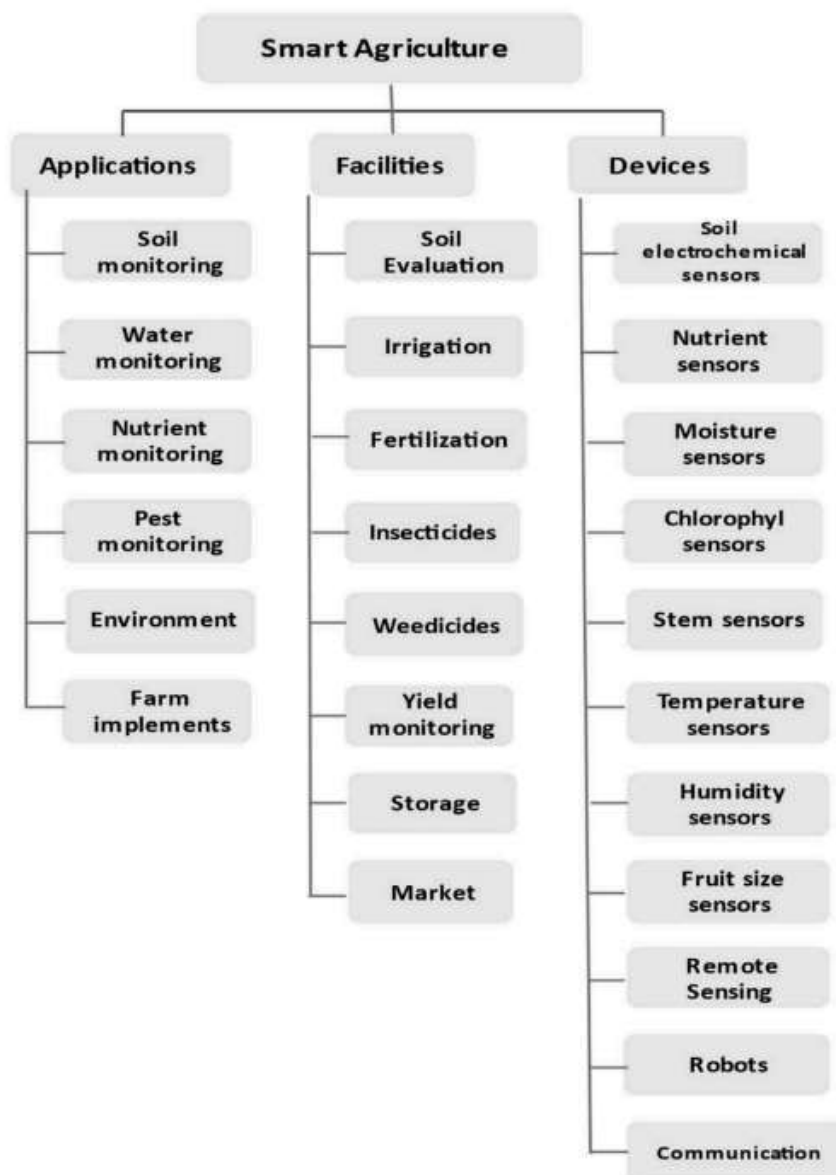
O IoT possui aplicações diversas e uma delas é na Agricultura Inteligente (*Smart Agriculture*), como abordado por Dhanaraju *et al.* (2022). O IoT pode desempenhar um papel muito importante em várias atividades, como a monitoração constante das plantações e da criação de animais. Isso é realizado por meio de sensores que coletam dados e os enviam remotamente para os produtores, eliminando a necessidade dos produtores em se deslocarem fisicamente para o campo a fim de realizar análises, economizando tempo e recursos preciosos.

Um exemplo de aplicação de IoT nesta área é o monitoramento do consumo de água, baseado nas necessidades do solo e da planta. Isso permite determinar quando a produção necessita de irrigação, a quantidade de fluxo, as necessidades de água das plantações, o tempo de fornecimento e a economia de água evitando o desperdício de recursos hídricos. Além disso, ajuda na identificação de possíveis pragas ou doenças que possam afetar as plantações (DHANARAJU *et al.*, 2022).

A incorporação de sensores sem fio e o IoT na Agricultura Inteligente permite que muitos dos problemas enfrentados pela agricultura convencional, como a adequação da terra, monitoramento de secas, irrigação, controle de pragas e maximização da produção sejam resolvidos" (DHANARAJU *et al.*, 2022).

A Figura 4 ilustra a hierarquia das principais aplicações, instalações e dispositivos para as aplicações inteligentes na agricultura. As categorias representadas são (DHANARAJU *et al.*, 2022):

Figura 4 - Hierarquia de prováveis aplicações, instalações e dispositivos para agricultura inteligente.



Fonte: (DHANARAJU *et al.*, 2022).

- Aplicações: Mapeamento de solo, monitoramento de plantas, irrigação, gerenciamento de nutrientes específicos do local, manejo de pragas e doenças de culturas e monitoramento e previsão da produção.
- Instalações: Monitoração da produção, avaliação do solo, proteção a pragas, irrigação e fertilização, armazenamento e mercado.
- Dispositivos: Sensores de solo (nutrientes, misturas, umidade, temperatura), medidor de tamanho dos frutos, robôs e comunicação.

O diagrama ilustra a interconectividade dessas áreas, mostrando a integração de tecnologias para melhorar a eficiência e produtividade na agricultura.

2.3.2 Energia Elétrica

O IoT desempenha um papel crucial na implementação, gestão e processamento de dados gerados por Redes Inteligentes (*Smart Grids*), conforme discutido por Reka e Dragicevic (2018). Isso se deve à geração massiva e constante de dados que caracteriza esses sistemas.

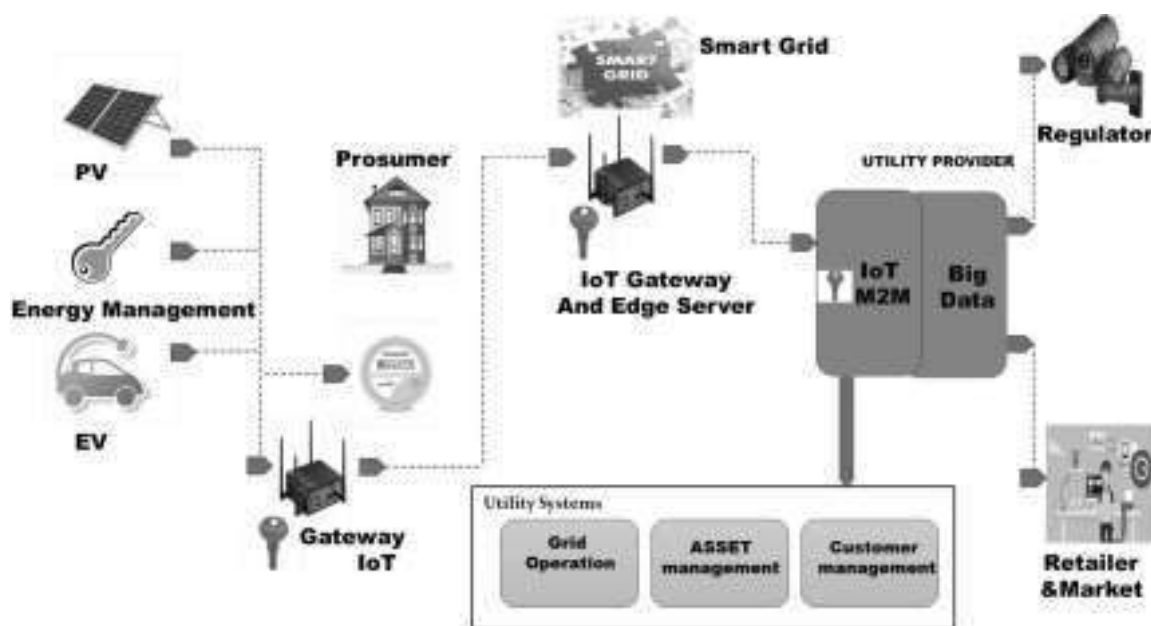
A Figura 5 representa a arquitetura para redes elétricas inteligentes baseadas em IoT para uma plataforma segura e escalável para medição inteligente e várias características (REKA; DRAGICEVIC, 2018).

“O controle de áreas de monitoramento de subestações de baixa voltagem, esquemas de resposta inteligente às demandas com despachos eficientes, monitoramento de condições, gerenciamento de ativos e falhas torna o *gateway* de IoT um componente fundamental para fornecer medições à Internet, facilitando a comunicação entre os sensores inteligentes e a nuvem.” (REKA; DRAGICEVIC, 2018, p. 97, tradução nossa).

O IoT é necessário para obter os benefícios requeridos de uma Rede Inteligente, principalmente sobre a eficiência energética e a redução de custos. Isso implica que

as empresas de serviços públicos, usuários e fabricantes encontrem novas ideias para gerenciar os aparelhos de forma eficiente por meio de medidores e *gateways* inteligentes (REKA; DRAGICEVIC, 2018).

Figura 5 - Arquitetura geral de Redes Inteligentes (*Smart Grid*) para IoT.



Fonte: (REKA; DRAGICEVI, 2018).

2.3.3 Cidade

O IoT desempenha uma função crucial no desenvolvimento e planejamento das Cidades Inteligentes (*Smart Cities*), conforme apontado por Syed *et al.* (2021), onde o IoT é considerado um dos pilares fundamentais dessas cidades devido à sua capacidade de coletar uma diversidade de dados distribuídos por toda a cidade

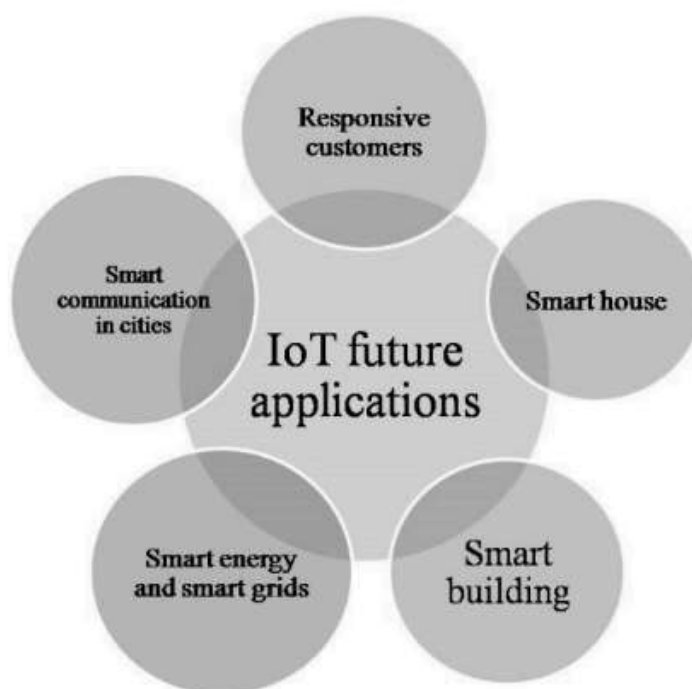
A coleta desses dados só é possível devido à capacidade do IoT de proporcionar uma rede interconectada de dispositivos posicionados em toda a cidade, que se comunicam entre si, possuindo também a habilidade de transmitir esses dados

para centros de armazenamento em nuvem. Esses centros servem como armazéns valiosos de dados coletados em tempo real (SYED *et al.*, 2021).

Os dados armazenados podem ser processados e analisados para a realização das tomadas de decisão e políticas públicas para melhorar a qualidade de vida dos cidadãos. O IoT permite que essas atividades sejam executadas com eficiência e eficácia, devido aos atuadores posicionados estrategicamente por toda a cidade que podem realizar ações dependendo das necessidades identificadas (SYED *et al.*, 2021).

O IoT utiliza a Internet para conectar várias "coisas" heterogêneas. Assim, os sensores distribuídos em várias localidades podem coletar e analisar dados, por exemplo, sobre o uso de energia na cidade. A distribuição estratégica de sensores possibilita o aprimoramento do uso de recursos (TALARI, 2017). A Figura 6 ilustra o potencial de aplicações do IoT para Cidades Inteligentes.

Figura 6 - Potencial do IoT para as cidades inteligentes.



Fonte: (TALARI, 2017).

Na implementação de Cidades e Comunidades Inteligentes (*Smart Cities and Communities*), o IoT desempenha também um papel vital para a concretização de cidades inteligentes. Isso se traduz em uma variedade de serviços interativos integrados ao ambiente, criando oportunidades para contextualização e consciência geográfica (TALARI, 2017).

Em Residências e Edifícios Inteligentes (*Smart Homes and Buildings*), o IoT assume um papel essencial no contexto de residências e edifícios inteligentes. Possibilita a automação de tarefas cotidianas por meio de uma variedade de dispositivos heterogêneos, transformando objetos em dados acessíveis pela Internet. Essa transformação viabiliza a implementação de serviços via interfaces Web, com destaque para o amplo uso de redes de sensores em aplicações voltadas para a otimização do ambiente residencial (TALARI, 2017).

No âmbito da participação ativa dos consumidores (*Responsive Customers*), controladores transacionais e dispositivos inteligentes emergem como ferramentas essenciais para a organização de residências inteligentes. A introdução de *gateways* domésticos promove a cooperação entre controladores domésticos e agregadores responsáveis pela coleta de informações de diversas residências (TALARI, 2017).

Dentro do setor de Energia Inteligente e Redes Inteligentes (*Smart Energy and Smart Grids*), o IoT se destaca por permitir o gerenciamento inteligente e controle eficiente da distribuição e consumo de energia em condições heterogêneas. As capacidades avançadas de sensoriamento e interconexão dos dispositivos IoT aumentam consideravelmente a probabilidade de desenvolvimento otimizado por parte dos provedores de energia. Essa abordagem revela-se especialmente benéfica em situações de emergência, permitindo a localização rápida de falhas, o isolamento eficaz e a pronta restauração de serviços. A implementação de métodos de auto-recuperação surge como uma estratégia para aprimorar a confiabilidade, a qualidade de energia e impulsionar o crescimento de lucros, ao integrar ativamente a participação de consumidores e geradores distribuídos (TALARI, 2017).

2.3.4 Residência

Nos últimos anos, o avanço dos protocolos sem fio, o crescimento dos serviços em nuvem, o aprimoramento de tecnologias de baixo consumo de energia e alto desempenho, juntamente com o desenvolvimento da inteligência artificial e outras soluções de convergência baseadas no IoT, têm impulsionado uma nova era das residências inteligentes. Essas residências utilizam tecnologias como sensores, interfaces e monitores interligados em rede para promover a automação e o controle remoto do ambiente doméstico, representando uma marca central no ecossistema emergente do IoT (YOU, 2019).

As residências inteligentes têm a capacidade de gerenciar o consumo de energia dos dispositivos e outros itens relacionados ao ambiente doméstico, o que contribui para a criação de um ambiente mais saudável e melhora a qualidade de vida dos moradores (YOU, 2019).

O paradigma do IoT propõe a interconexão de dispositivos físicos por meio de redes que possibilitam o compartilhamento de dados e o controle em tempo real. Essa abordagem tem sido diretamente aplicada na automação residencial, que busca integrar Automação, Ciência da Computação e novas tecnologias de comunicação para aprimorar o conforto, a segurança e o bem-estar dentro das residências (FROIZ-MÍGUEZ *et al.*, 2018).

Para alcançar os benefícios da automação residencial, é necessário que quatro elementos interajam: nós sensores, nós atuadores, a Nuvem e *gateways* de IoT interconectados. Esses elementos colaboram para melhorar a eficiência energética, a segurança e o conforto por meio de sistemas de áudio, vídeo e controle (FROIZ-MÍGUEZ, 2018).

2.4 Considerações do Capítulo

Este capítulo explora o conceito de IoT em suas diversas facetas, desde suas definições e conceitos fundamentais até sua arquitetura e aplicações em setores

cruciais da sociedade. O IoT representa uma convergência poderosa entre o mundo físico e digital, onde dispositivos conectados são capazes de coletar, transmitir e analisar dados em tempo real, proporcionando percepções valiosas para melhorar processos e tomar decisões.

Uma das principais contribuições do IoT é sua capacidade de tornar os ambientes mais inteligentes e eficientes. Através da interconexão de dispositivos, sensores e atuadores, o IoT possibilita a automação de uma variedade de tarefas e processos, reduzindo a necessidade de intervenção humana e aumentando a eficiência operacional em vários setores. Isso se reflete em benefícios tangíveis, como economia de tempo, recursos e energia.

Além disso, o IoT está impulsionando a inovação em áreas como Agricultura, onde está sendo aplicada para otimizar a produção agrícola e garantir o uso sustentável dos recursos naturais. Da mesma forma, em Cidades Inteligentes, o IoT está desempenhando um papel fundamental na melhoria da infraestrutura urbana, na gestão de recursos e na prestação de serviços públicos mais eficientes e acessíveis.

Neste capítulo, abordam-se as definições e conceitos de IoT e suas aplicações para proporcionar uma compreensão mais clara do objetivo do trabalho. No próximo capítulo, discute-se o conceito de sustentabilidade. A preservação do meio ambiente e o uso responsável dos recursos são questões atuais que devem ser consideradas em todo desenvolvimento da sociedade. Após o próximo capítulo, apresenta-se a integração dos dois temas IoT e Sustentabilidade, buscando identificar o que é uma Residência Inteligente Sustentável Baseada em IoT, e finalmente, discutem-se os benefícios e desafios associados à sua adoção.

3. SUSTENTABILIDADE

Este capítulo descreve as definições e conceitos que envolvem o termo “sustentabilidade”, define a sustentabilidade de sistemas e detalha o que se entende como residência sustentável.

3.1 Definições e Conceitos

Nesta seção, abordam-se conceitos fundamentais relacionados à sustentabilidade, fornecendo definições diretas de termos-chave. Exploram-se os significados práticos dos termos “Sustentabilidade”, “Sistema Sustentável” e “Desenvolvimento Sustentável”. Além disso, destacam-se a crescente relevância da “Sustentabilidade Digital” e a importância do conceito de “Sustentabilidade de Sistema”.

3.1.1 Sustentabilidade (*Sustainability*)

A etimologia da palavra “sustentabilidade”, que deriva do adjetivo sustentável, que por sua vez, tem origem no verbo sustentar, remete ao *latim* “sustentare”, que significa sustentar, cuidar, proteger, amparar e garantir o necessário para a sobrevivência, e conservar na mesma posição (CARVALHO e DIAS, 2023).

No contexto das discussões sobre Sustentabilidade, o desafio central reside nas mudanças culturais necessárias para operar e manter a vida na Terra. Isso implica compreender a interdependência entre a sociedade, suas atividades econômicas, e a biosfera. A biosfera engloba todos os ecossistemas terrestres, como animais, plantas, microrganismos, solo, água e vento. Ela regula o funcionamento e a manutenção do planeta, sendo crucial para a continuidade da vida em cada região da Terra (CARVALHO e DIAS, 2023).

Segundo Lindsay (2020, p. 562, tradução nossa), “quanto menos desperdício um indivíduo, uma comunidade ou um país realiza, mais sustentável ele se torna” traz

uma perspectiva prática ao conceito de Sustentabilidade. Ao evidenciar a importância da redução do desperdício como um indicador de práticas sustentáveis, enfatiza-se a responsabilidade individual e coletiva na promoção de um estilo de vida mais alinhado com sua definição de sustentabilidade.

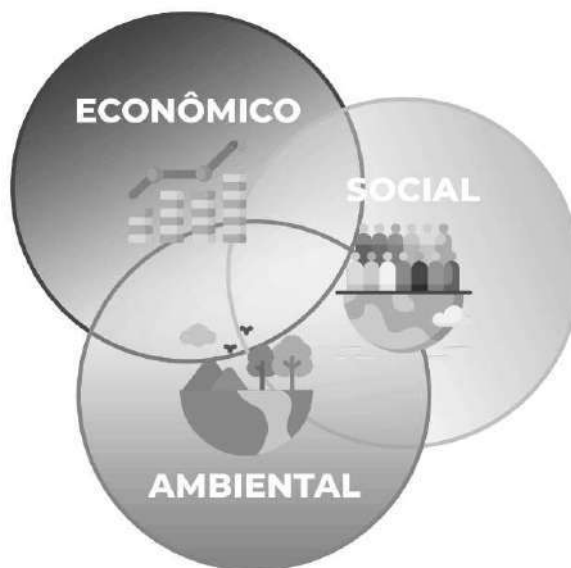
Já, para Savaget *et al.* (2019), a análise dos sistemas sociotécnicos revela a presença de processos altamente institucionalizados, reforçando-se mutuamente nos regimes sociotécnicos. Esta constatação levanta desafios significativos para a implementação bem-sucedida de inovações sustentáveis em face de alternativas insustentáveis já estabelecidas, o que, por sua vez, dificulta mudanças estruturais radicais. Essas análises muitas vezes se baseiam em métodos que incorporam análises históricas e estudos de caso para compreender a dinâmica desses sistemas.

As respostas conceituais aos desafios da Sustentabilidade, conforme discutido por Savaget *et al.* (2019), geram tensões consideráveis. Essas tensões variam desde abordagens conflituosas até aquelas que buscam a conciliação. As abordagens de confronto frequentemente priorizam a "sustentação" em detrimento do "desenvolvimento", destacando compromissos cruciais entre a economia e o ambiente.

3.1.2 Sistema Sustentável (*Sustainable System*)

Para compreender como se pode equilibrar as necessidades atuais da população mundial sem comprometer as gerações futuras em satisfazer as suas necessidades, foi criado o Tripé da Sustentabilidade por John Elkington em 1994. A Figura 7 apresenta a estrutura do Tripé da Sustentabilidade que uma organização deve ter para ser considerada sustentável (CARVALHO e DIAS, 2023).

Figura 7 - Tripé da sustentabilidade.



Fonte: (CARVALHO e DIAS, 2023).

O pilar Ambiental está relacionado

“ao meio ambiente e à preservação do capital natural de um empreendimento ou sociedade. Em princípio, praticamente toda atividade econômica tem impacto ambiental negativo. Assim, a empresa, a sociedade e o próprio indivíduo devem pensar nas formas de mitigar esses impactos e compensar o que for possível” (CARVALHO e DIAS (2023).

Já o pilar Social está relacionado ao bem-estar social.

“Trata-se do capital humano de um empreendimento, comunidade ou sociedade. É importante salientar que uma empresa ou qualquer organização, seja do setor público ou privado, atua num ecossistema social que envolve funcionários ou colaboradores, fornecedores, clientes, comunidades ao redor e a sociedade em geral” (CARVALHO e DIAS (2023).

O pilar Econômico está relacionado

“à geração de renda com promoção da melhoria da qualidade de vida. A palavra economia, no dicionário, é definida como “organização de uma casa, financeira e materialmente”. Com o passar dos anos, séculos, a palavra economia foi direcionada apenas à vertente dos negócios ou no sentido da poupança, economizar. Este pilar traz o retorno do significado de cuidar da casa, afincado pelos gregos na Antiguidade” (CARVALHO e DIAS (2023).

3.1.3 Desenvolvimento Sustentável (*Sustainable Development*)

Segundo Ruggerio (2021, p. 3, tradução nossa), o conceito de Desenvolvimento Sustentável é um "desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias demandas". Essa definição foca na importância de um progresso que não apenas aborda as demandas imediatas, mas também preserva os recursos e condições necessários para que as gerações futuras possam satisfazer suas próprias exigências. Buscando equilíbrio, o avanço da sociedade deve estar alinhado com a responsabilidade ambiental, garantindo a continuidade da qualidade de vida para as gerações futuras.

Em 2015,

“visando definir uma agenda que mapeasse os objetivos para solucionar problemas globais, a Organização das Nações Unidas (ONU) criou o chamado Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que contém uma agenda de 17 objetivos de sustentabilidade para ser alcançada até 2030 (Figura 8). Essa agenda foi criada a partir de 193 Estados-Membros da ONU, e, a partir dela, foram desenvolvidas 169 metas a serem alcançadas nesse período” (CARVALHO e DIAS, 2023).

Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) representam uma ampla gama de metas a serem alcançadas local e globalmente até 2030 (CARVALHO e DIAS, 2023).

Figura 8 - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.

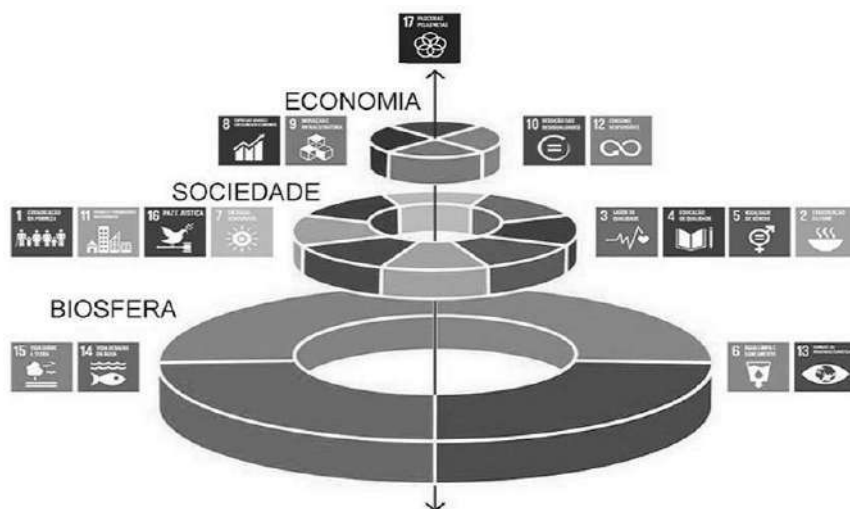


Fonte: (CARVALHO e DIAS, 2023).

Esses objetivos podem ser agrupados em quatro categorias: biosfera, sociedade, economia e parcerias (CARVALHO e DIAS, 2023). Essa categorização ajuda a compreender melhor os diferentes aspectos abordados pelos ODS, facilitando a visualização de como eles se relacionam e contribuem para o desenvolvimento sustentável, conforme podem ser vistos na Figura 9.

Biosfera: É crucial reconhecer o papel fundamental do Planeta Terra, diante dos desafios globais. Neste local verdadeiramente singular para a humanidade, encontram-se os recursos naturais essenciais para satisfazer as necessidades humanas, como a geração de oxigênio, a oferta de água e solo com seus nutrientes. Esses recursos são extraídos da biosfera, o ambiente que também é chamado de lar. Portanto, a preservação da biosfera desempenha um papel vital no contexto dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). (CARVALHO e DIAS, 2023).

Figura 9 - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável em Quatro Categorias.



Fonte: (CARVALHO e DIAS, 2023).

Sociedade: Além dos desafios ambientais que a biosfera enfrenta, a sociedade é confrontada com uma série de obstáculos para assegurar uma vida digna e saudável para todos os seus membros. Apesar dos avanços tecnológicos, no Brasil e em diversas partes do mundo, existem indivíduos que ainda lidam com problemas como a escassez de alimentos, desemprego, enfermidades e a falta de acesso à educação. (CARVALHO e DIAS, 2023).

Economia: Assim como a sociedade está intrinsecamente ligada à biosfera, a economia desempenha um papel essencial na organização da sociedade (CARVALHO e DIAS, 2023).

Parcerias: É crucial a colaboração entre empresas, governos e organizações da sociedade civil para impulsionar o desenvolvimento sustentável. Essas parcerias são essenciais para maximizar o impacto positivo na biosfera, na sociedade e na economia, facilitando a alocação eficaz de recursos e promovendo a implementação de políticas e programas sustentáveis em escala global.

3.1.4 Sustentabilidade Digital (*Digital Sustainability*)

Wut *et al.* (2021, p. 4) fizeram um estudo sobre Sustentabilidade Digital de diferentes autores, conforme discutido em diferentes contextos:

- No contexto da preservação e manutenção de conteúdo digital, o conceito de Sustentabilidade Digital é definido como:

"abrangendo uma ampla gama de questões e preocupações que contribuem para a longevidade da informação digital. A Sustentabilidade Digital fornece o contexto para a preservação digital, considerando o ciclo de vida integral, questões técnicas e sociotécnicas associadas com a criação e gerenciamento do item digital." (WUT *et al.*, 2021, p. 4, tradução nossa).

- Outra definição de Sustentabilidade Digital, encontra-se no contexto de atividades organizacionais, referindo-se a

"atividades organizacionais que procuram avançar nos objetivos de desenvolvimento sustentável através da implantação criativa de tecnologias que criam, usam, transmitem ou obtêm dados eletrônicos." (WUT *et al.*, 2021, p. 4, tradução nossa).

- Na perspectiva de preservação da cultura e história sobre os conteúdos gerados pela comunidade fundada pela *Heritage Lottery Fund* (HLF) do Reino Unido, definiu-se também Sustentabilidade Digital como:

"abrangendo a ampla gama de questões e preocupações que contribuem para a longevidade da informação digital [. . .] e fornecendo o contexto para a preservação digital ao considerar o ciclo de vida geral, questões técnicas e sócio-técnicas associadas à

criação e gestão de um item digital.” (WUT *et al.*, 2021, p. 4, tradução nossa).

- Outra perspectiva é referente a artefatos digitais e seu ecossistema, onde

“a sustentabilidade de artefatos digitais e seu ecossistema é alcançada através da produção, desenvolvimento, manutenção e garantia de acesso aos artefatos digitais de maneira que assegure sua criação e facilite seu uso.” (WUT *et al.*, 2021, p. 4, tradução nossa).

- Em relação à longevidade técnica da informação digital, referindo-se como, *“como criar, usar e regular recursos digitais para maximizar seu valor para nossa sociedade hoje e no futuro”* (WUT *et al.*, 2021, p. 4, tradução nossa).

Portanto, as várias perspectivas apresentadas por Wut *et al.* (2021) sobre Sustentabilidade Digital destacam sua natureza abrangente. Esse conceito vai além da preservação de conteúdo digital, abrangendo a longevidade cultural, atividades organizacionais, ecossistema de artefatos digitais e a maximização do valor dos recursos digitais. Ao considerar o ciclo de vida, questões técnicas e sociotécnicas, a Sustentabilidade Digital emerge como um paradigma essencial para a preservação e desenvolvimento sustentável na sociedade contemporânea e futura.

3.1.5 Sustentabilidade de Sistema (*System Sustainability*)

A Sustentabilidade de Sistema é definida como um

"equilíbrio dinâmico no processo de interação entre uma população e a capacidade de suporte do seu ambiente, tal que a população se desenvolve para expressar todo o seu potencial sem produzir efeitos adversos irreversíveis na capacidade de suporte do ambiente do qual depende." (RUGGERIO, 2021, p. 5, tradução nossa).

Segundo Ruggerio (2021), a Sustentabilidade de Sistema é constituída por três domínios:

- O domínio Material “refere-se à base que regula o fluxo dos materiais e energia que são fundamentais para a existência”. (RUGGERIO, 2021, p. 5, tradução nossa).
- O domínio Econômico “fornece um guia orientador para a definição, criação e gestão de riqueza”. (RUGGERIO, 2021, p. 5, tradução nossa).
- O domínio da Vida “fornece a base para o comportamento apropriado na biosfera em relação a todas as outras espécies” (RUGGERIO, 2021, p. 5, tradução nossa).

Assim, na Sustentabilidade de Sistema, uma população busca desenvolver-se para alcançar todo o seu potencial, sem causar efeitos irreversíveis na capacidade de fornecimento do ambiente, destacando a importância de manter uma harmonia entre o crescimento da população e a capacidade do ambiente em fornecer os recursos necessários para o sustento da população sem comprometer a capacidade futura do ambiente de continuar oferecendo recursos.

3.2 Exemplos de Sistemas Sustentáveis

Nesta seção, exemplos práticos de sistemas sustentáveis são abordados, concentrando-se em Agricultura, Energia, Cidades e Residências Sustentáveis. Cada área é brevemente explorada, destacando-se práticas específicas que ilustram a implementação eficaz de princípios sustentáveis.

3.2.1 Agricultura Sustentável

Segundo Dhanaraju *et al.* (2022, p. 1, tradução nossa), a agricultura sustentável é definida como *"uma medida da capacidade de resistência e sustentabilidade dos grãos alimentares produzidos de maneira ecologicamente amigável."* Ele destaca que a agricultura sustentável visa incentivar abordagens agrícolas que sustentem os

agricultores e os recursos naturais.

Dhanaraju *et al.* (2022) também ressalta características fundamentais da agricultura sustentável, incluindo sua viabilidade econômica e o foco na manutenção da qualidade do solo. Ele destaca também a importância de reduzir a degradação do solo e economizar recursos hídricos.

As realizações básicas de uma fazenda inteligente são a implementação da rotatividade de culturas, o controle de deficiências de nutrientes nas colheitas, a gestão integrada de pragas e doenças, bem como a reciclagem e captação de água. Essas práticas visam criar um ambiente global mais seguro para a agricultura sustentável (DHANARAJU *et al.*, 2022).

Além disso, Dhanaraju *et al.* (2022) destacam o papel da agricultura sustentável na preservação dos recursos naturais, na interrupção da perda de biodiversidade e na redução das emissões de gases de efeito estufa. O autor argumenta que a agricultura sustentável é um método de preservação da natureza sem comprometer as necessidades básicas de gerações futuras, ao mesmo tempo que aprimora a eficiência da produção.

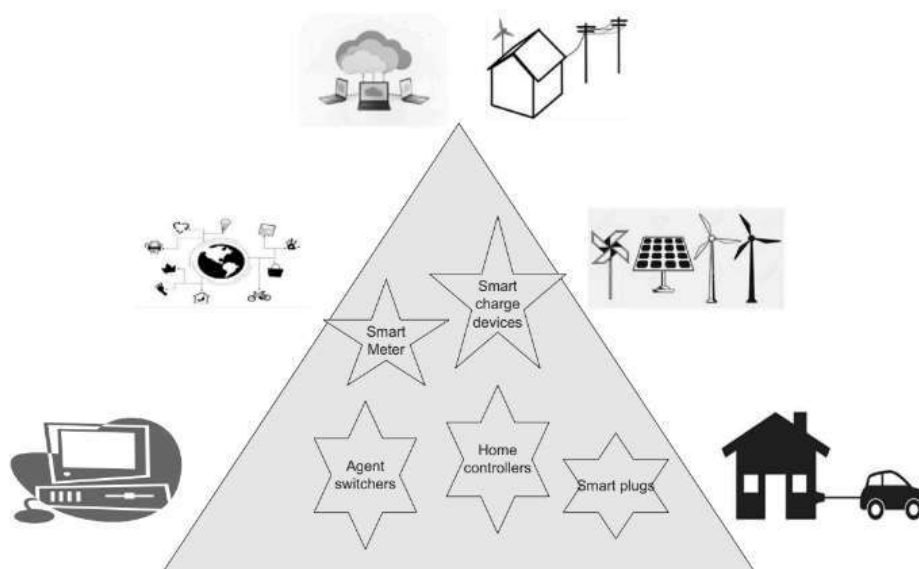
3.2.2 Energia Sustentável

O IoT vem desempenhando um papel crescente nas redes inteligentes, gerando impactos em diversos setores, como residencial, industrial e comercial (REKA e DRAGICEVIC, 2018). O IoT industrial, em particular, tem experimentado um notável crescimento, encontrando aplicações abrangentes em várias áreas de produção.

A Figura 10 apresenta as áreas de aplicação da rede elétrica inteligente com IoT. Cada dispositivo destacado: “*smart meter*”, “*smart charge devices*”, “*agent switchers*”, “*home controllers*” e “*smart plugs*” representa uma aplicação específica do IoT.

Na esfera da medição inteligente digital bidirecional, o IoT desempenha um papel crucial. Cada usuário é equipado com medidores inteligentes que facilitam a comunicação entre os provedores de serviços públicos. Os dados e relatórios diários de programação de carga são transmitidos aos fornecedores do mercado de serviços públicos, proporcionando uma compreensão mais clara dos preços de carga para os usuários (REKA e DRAGICEVIC, 2018). Em muitos países, a adoção de esquemas de preços em tempo real permite que os consumidores tomem decisões sobre o uso de carga.

Figura 10 - Área de aplicações de redes inteligentes com IoT.



Fonte: (REKA e DRAGICEVIC, 2018).

Outro cenário importante é o uso de dispositivos de carga inteligentes, que incorporam um sistema de carregamento inteligente com conjuntos de baterias em tempo real durante os períodos de pico de demanda. Este sistema interage eficientemente com a rede durante os horários de pico, proporcionando uma análise prática dos dados em tempo real (REKA, 2018). A transferência contínua e meticulosa de dados contribui para tornar a rede mais inteligente, eficiente e menos demorada. Em situações específicas, a energia de *backup* fornecida pode ser desconectada da rede, atendendo às necessidades do consumidor em momentos selecionados e intervalos de tempo determinados.

As tomadas inteligentes representam outra aplicação em redes inteligentes habilitadas pela IoT. Esses dispositivos conectam a linha de energia às cargas residenciais, desempenhando um papel significativo na gestão eficiente da demanda e no controle do consumo de energia (REKA e DRAGICEVIC, 2018).

Ao incorporar essas tecnologias em redes inteligentes, a implementação prática baseada em IoT emerge como um fator dinâmico na busca por estratégias adequadas de gestão da demanda, com base na gradação de preços para concessionárias e consumidores (REKA e DRAGICEVIC, 2018). Essas inovações não apenas promovem a eficiência energética, mas também capacitam os consumidores a tomar decisões sobre o uso de energia.

3.2.3 Cidade Sustentável

De acordo com Bibri *et al.* (2023), uma cidade sustentável é definida como

“uma cidade que satisfaz as necessidades dos seus atuais habitantes sem comprometer a capacidade de outras pessoas ou gerações futuras satisfazerem as suas necessidades e, portanto, não excede as limitações ambientais locais ou planetárias, e onde isto é apoiado pelas TIC.” (Bibri *et al.*, 2023 p. 5, tradução nossa)

Bibri *et al.* (2023) também define cidades inteligentes sustentáveis como

"uma cidade inovativa que utiliza TIC e outros meios para aprimorar a qualidade de vida, eficiência nas operações urbanas e serviços, e competitividade, garantindo simultaneamente que atenda às necessidades das gerações presentes e futuras em relação aos aspectos econômicos, sociais e ambientais" (Bibri *et al.*, 2023 p. 5, tradução nossa).

3.2.4 Residência Sustentável

Ao se explorarem as questões de Sustentabilidade relacionadas à habitação, a imagem inicial que se forma é a de uma casa construída com materiais recicláveis, eficiente em consumo de energia e livre de desperdícios. Contudo, compreender a verdadeira essência de uma residência sustentável requer uma análise profunda do contexto ao seu redor (CARVALHO e DIAS, 2023).

No Brasil, em comparação a outras nações latino-americanas, europeias e norte-americanas, a desinformação sobre questões urbanísticas é notavelmente expressiva. A falta de compreensão sobre como essas questões se apresentam e as soluções disponíveis é uma barreira significativa. Além disso, o fenômeno do crescimento desordenado tem impactos na qualidade das moradias brasileiras. (CARVALHO e DIAS, 2023). O entendimento de uma residência sustentável, portanto, demanda uma visão mais ampla que inclua as complexidades das questões urbanísticas.

“A residência sustentável é resultado do esforço de educação e de políticas públicas na preservação e recuperação do meio ambiente com foco no bem-estar dos moradores e das gerações futuras” (CARVALHO e DIAS, 2023).

Já do ponto de vista urbano, segundo Hagbert e Bradley (2017), o discurso tecno-econômico no ambiente construído se manifesta predominantemente por meio de edifícios ecoeficientes ou eco-distritos. A ecoeficiência, conforme o autor destaca, abrange dois aspectos cruciais:

- O primeiro aspecto está relacionado a medidas para aprimorar a eficiência material e energética dos edifícios, com foco especial em "tecnologias de construção sustentáveis". Essas tecnologias englobam soluções de energias renováveis, a implementação de tecnologias "*inteligentes*" e melhorias no desempenho de construção dos edifícios.
- O segundo está intrinsecamente ligado a estratégias de "densificação urbana". Isso implica que as novas construções são preferencialmente

localizadas em antigos terrenos industriais abandonados ou em áreas urbanas já consolidadas, conectadas à infraestrutura existente. Essa abordagem é fundamentada na ideia de que um ambiente urbano misto compacto contribuirá para a redução do uso de veículos particulares.

Ambos os aspectos, como ressalta Hagbert e Bradley (2017), são frequentemente integrados em torno de uma infraestrutura unificada, proporcionando eficiência em escala. Exemplos incluem sistemas como aquecimento urbano e gestão de resíduos, que, quando integrados, visam criar ambientes urbanos mais sustentáveis e eficientes.

3.3 Considerações do Capítulo

O conceito de Residência Sustentável vai além das características físicas dos imóveis. Ele abrange a relação das casas com o ambiente urbano, especialmente em meio às complexidades das questões urbanísticas do país.

Em um cenário onde o crescimento desordenado das cidades é necessário repensar a conexão entre habitação e ambiente urbano torna-se crucial. A falta de informações sobre questões urbanísticas é uma barreira significativa, destacando a necessidade de uma compreensão mais profunda.

Buscar residências sustentáveis exige uma abordagem que considere as questões urbanísticas e territoriais. Reconhecer e lidar com os impactos do crescimento caótico é fundamental para desenvolver soluções habitacionais verdadeiramente sustentáveis.

Além de aspectos físicos e tecnológicos, a visão de residência sustentável engloba a conscientização sobre o impacto das escolhas individuais e coletivas. A urgência de repensar a relação entre habitação e ambiente urbano é evidente, com o objetivo de promover soluções mais equitativas e ambientalmente conscientes.

Em resumo, a busca por residências sustentáveis requer uma visão ampla, integrando as características físicas dos imóveis à realidade urbana e às complexidades das questões urbanísticas. Conscientização, educação e mudanças nas práticas individuais e coletivas são essenciais para alcançar a verdadeira sustentabilidade das habitações.

Neste capítulo, exploram-se as definições e conceitos de IoT e suas aplicações, proporcionando uma compreensão prévia essencial para a integração posterior dos temas e a compreensão do objetivo do trabalho. No próximo capítulo, são discutidos os serviços disponíveis, as características e os aspectos da residência inteligente sustentável.

4. RESIDÊNCIA INTELIGENTE SUSTENTÁVEL

Este capítulo discute os serviços providos em uma Residência Inteligente (*Smart Home* - SH), as suas características e uma residência sustentável com IoT.

4.1 Serviços de uma Residência Inteligente Sustentável

Os serviços de uma Residência Inteligente discutidos a seguir são o controle de energia, o controle de água, a segurança e o conforto.

4.1.1 Controle de Energia

De acordo com You *et al.* (2019), o conceito de um sistema de gerenciamento de energia para residências inteligentes abrange a aplicação de controle de supervisão e recuperação de dados, envolvendo aspectos como a produção, entrega e distribuição da rede elétrica. Essa abordagem busca otimizar a eficiência do consumo energético, proporcionando uma gestão mais eficaz dos recursos disponíveis.

O gerenciamento de energia tem recebido ampla aceitação ao orientar a direção futura de crescimento das redes elétricas. A implementação de sistemas inteligentes de gerenciamento de energia visa não apenas melhorar a eficiência operacional, mas também promover práticas sustentáveis, alinhando-se às crescentes demandas por soluções energéticas mais inteligentes e eficientes (YOU *et al.*, 2019).

O gerenciamento de energia envolve o monitoramento e organização em tempo real de diversos eletrodomésticos. Essa supervisão ocorre por meio de sistemas inteligentes controlados por uma interface homem-máquina em residências inteligentes, visando atender às preferências do usuário. O objetivo central é minimizar os custos de eletricidade e, simultaneamente, maximizar a produtividade

do uso de energia, contribuindo para um consumo mais consciente e sustentável (YOU *et al.*, 2019).

4.1.2 Controle de Água

O gerenciamento inteligente da água em residências sustentáveis é fundamental para a conservação de recursos e a promoção de práticas ambientalmente conscientes.

Tan (2013) ressalta que sistemas podem ser projetados para coletar a água da chuva dos telhados, direcionando-a para usos diversos, como irrigação de plantas e vegetação.

A integração das fontes de água de uma residência poderia ser realizada por um painel de controle para acionar uma válvula para conectar uma caixa d'água com o sistema de coleta de água de chuva em dias sem chuva (TAN, 2013).

Outra providência seria a instalação de válvulas de baixo fluxo nos encanamentos para diminuir o consumo de água (TAN, 2013).

4.1.3 Segurança

Conforme Hui, Sherratt e Sánchez (2017), a Segurança e a Privacidade relacionam-se com a proteção contra ataques maliciosos e na prevenção de qualquer uso não autorizado de informações privadas, representando um desafio contínuo no espaço cibernético. Roubo de materiais confidenciais de servidores empresariais, acesso indevido a fotos pessoais em nuvens privadas e a violação de conteúdo de vídeo de câmeras domésticas são exemplos típicos de práticas prejudiciais realizadas por invasores (*hackers*) da *Internet*, comprometendo a segurança e a privacidade dos usuários.

Hui, Sherratt e Sánchez (2017) alertam que compartilhar hábitos de compras pessoais, revelar o paradeiro de pessoas e expor dados pessoais a terceiros não autorizados são comportamentos comuns que agravam ainda mais a questão da privacidade.

Seguindo essa linha, Rock, Tajudeen e Chung (2022) destacam que a melhoria da segurança residencial é uma prioridade crescente, envolvendo o aprimoramento do monitoramento de vigilância, a detecção de acesso não autorizado e a implementação de alertas eficazes durante uma intrusão.

Rock, Tajudeen e Chung (2022) fizeram um estudo com usuários de tecnologias de residência inteligente, com pelo menos 2 anos de uso na Malásia e detectaram que, do ponto de vista de segurança, a conectividade em tempo-real dessas tecnologias fortaleceu o nível de segurança nas residências, desde detecção de intrusos e emissão de avisos e alarmes. Este estudo mostrou que, juntamente com outros serviços de uma residência inteligente, essa tecnologia promoveu a sustentabilidade melhorando o conforto dos usuários.

4.1.4 Conforto

Segundo Ellsworth-Krebs, Reid e Hunter (2019), o conceito de Conforto Doméstico é apresentado como uma expressão comum que descreve uma união acolhedora, representando o prazer de vestir pijamas após um dia de trabalho ou a sensação de liberdade em sua própria casa. Embora seja amplamente utilizado no cotidiano, os autores argumentam que o significado preciso do Conforto Doméstico permanece ilusório e pouco explorado na literatura acadêmica.

Os mesmos autores destacam que a investigação sobre o conforto no contexto doméstico tem uma longa história, remontando a séculos, e continua a ser um tema de interesse contínuo (ELLSWORTH-KREBS, REID e HUNTER, 2019). A complexidade do conceito é acentuada pela diversidade de formas pelas quais o conforto é percebido e experimentado ao longo do tempo e em diferentes espaços residenciais.

Em consonância com essas reflexões, Ellsworth-Krebs, Reid e Hunter (2019) ressaltam que cientistas sociais dedicados ao estudo do consumo sustentável têm desafiado a padronização do conforto nos edifícios. A chamada "equação de conforto", que estabelece 21°C como a temperatura ideal para o conforto térmico, é questionada por desconsiderar as formas culturais de lidar com as condições climáticas locais, como a sesta ou a troca de roupa. A pesquisa sobre conforto térmico adaptativo, que reconhece uma variedade significativa de temperaturas confortáveis em diferentes climas, é ignorada pela padronização proposta.

Além disso, a reconceitualização do conforto na perspectiva de relaxamento, conforme proposto por Ellsworth-Krebs, Reid e Hunter (2019), possui implicações cruciais para os estudos sobre consumo sustentável. Ao enquadrar a satisfação dos ocupantes como conforto térmico, intervenções para reduzir a demanda de energia geralmente se concentram em soluções mecânicas e técnicas, como reforço na estrutura do edifício e investimento em sistemas de aquecimento eficientes e de baixo índice de carbono.

No entanto, os autores questionam a normalização da "zona de conforto" e sugerem que definir o conforto doméstico em termos de relaxamento, resultante do companheirismo e de um sentido de controle no lar, poderia direcionar a atenção para mudanças nas dimensões das casas e dos agregados familiares, fatores determinantes significativos da procura de energia per capita (ELLSWORTH-KREBS, REID e HUNTER, 2019).

4.2 Características de uma Residência Inteligente Sustentável

Al-Haroun (2021) discute o processo de planejamento de uma residência sustentável no Kuwait e o conceito de *design* para a mesma, destacando o uso de elementos vernaculares tradicionais como estratégias sustentáveis. Explora também a arquitetura vernacular, historicamente rotulada como "primitiva" ou "popular" ao longo do século XX. O termo "arquitetura vernacular" refere-se a uma ampla gama

de construções, formas, tradições, usos e contextos, adquirindo uma aplicação abrangente e duradoura.

Essas estratégias recaem na redução de custos de energia, por meio da implementação de sistemas solares passivos, painéis solares e alternativas de ar condicionado, conforme podem ser vistas na Figura 11 (AL-HAROUN, 2021).

O projeto arquitetônico, como pode ser observado na Figura 11, adota uma abordagem abrangente para maximizar a sustentabilidade. A orientação estratégica do edifício visa otimizar a iluminação natural e reduzir o ganho solar, enquanto sistemas solares passivos, como "*louvers*" e uma "*mashrabiya*," são integrados para controlar o calor. A eficiência energética é aprimorada com a instalação de "*solar panels*," sistemas alternativos de ar condicionado e elevadores, reduzindo a dependência da rede elétrica estadual. A gestão hídrica é promovida por meio de paisagismo eficiente, usando "*local plants*," enquanto espaços externos agradáveis buscam criar microclimas confortáveis e reduzir a necessidade de resfriamento artificial. O "*green roof*," adiciona isolamento e reflete o ganho solar, contribuindo para o conforto interno e a redução da pegada de carbono (AL-HAROUN, 2021). Em suma, o projeto integra inovações em iluminação, energia, água e paisagismo, destacando uma abordagem holística para a sustentabilidade.

Em sua análise, Al-Haroun (2021) introduz uma escala de três estilos dentro do contexto da arquitetura vernacular. Esses estilos são categorizados com base nas características do edifício e do vernáculo em si, abrangendo o alto estilo primitivo e o estilo popular. A perspectiva destaca a arquitetura vernacular como uma atividade prática, orientada pela adequação ambiental em vez de conhecimento. É percebida como uma forma de agir dentro das condições de existência para satisfazer necessidades específicas de um grupo determinado.

Recentemente, a arquitetura vernacular foi reconhecida como um recurso de grande potencial para compreender e implementar os princípios de design e construção sustentáveis (SALMAN *et al.*, 2016).

Figura 11 - *Design* de uma residência e estratégias sustentáveis.



Fonte: Adaptado de Al-Haroun, (2021)

A arquitetura vernacular, pode ser vista a partir de três pilares essenciais. Primeiramente, destaca-se pelo uso de materiais simples, renováveis e naturalmente isolantes. Em segundo lugar, exploraram-se os recursos ambientais como sol, vento, topografia, solo, flora e fauna como parte integrante do processo de construção. Por fim, empregam-se estratégias passivas, tais como localização, paredes grossas e diferenças de pressão, visando criar espaços internos saudáveis e confortáveis com danos mínimos ao meio ambiente (SALMAN *et al.*, 2016).

A arquitetura vernacular, por outro lado, sustenta-se sobre estratégias de design e ocupação passivas e ativas. Os sistemas ativos referem-se às bombas de aquecimento, ar condicionados, luz artificial e outros para desempenhar tarefas para atender todas as necessidades dos usuários e otimizar o consumo de recursos. O design passivo refere-se ao uso de energia solar, luz diurna, materiais com propriedades naturais, ventilação natural (SALMAN *et al.*, 2016).

O aquecimento e o resfriamento passivos são considerados os sistemas energéticos mais importantes do ponto de vista da sustentabilidade. No aquecimento passivo, a energia térmica flui naturalmente, sem assistência mecânica, por radiação,

condução ou convecção natural, estando diretamente relacionada à energia solar. Por sua vez, o resfriamento passivo utiliza dissipadores de calor e influências climáticas para criar conforto térmico em regiões quentes, sendo próprios contra ganho solar e transferência de calor. Essas estratégias fazem uso de recursos naturais de energia renovável, tornando as casas vernaculares mais sustentáveis em termos de consumo de energia (SALMAN *et al.*, 2016).

Do ponto de vista de ocupação, os moradores desempenham um papel importante na estratégia de arquitetura vernacular. Na ocupação ativa, as pessoas podem trocar de cômodos usados durante o dia para evitar o sol e procurar locais mais adequados, colocar plantas na sombra, umedecer superfícies externas para esfriar o ar, reusar água para irrigação e limpeza, entre outras práticas. Por outro lado, na ocupação passiva, os moradores não necessitam realizar tarefas corriqueiras tais como, ligar/desligar a luz e ar condicionado, abrir a torneira, reduzir o fluxo de água e fechar a torneira, etc. Neste caso, o ambiente sente as suas próprias necessidades e executa as escolhas requeridas (SALMAN *et al.*, 2016).

Embora os sistemas passivos possam não oferecer o mesmo nível de controle e conforto ótimo que os sistemas ativos, especialmente para moradores acostumados aos padrões de vida em nações mais ricas e desenvolvidas, a diferença na confiabilidade e na energia incorporada e operacional é uma grande vantagem. Uma combinação racional de sistemas de *design* passivo e ativo é, portanto, uma estratégia favorável para fornecer casas mais sustentáveis, tornadas mais inteligentes com o uso criterioso de TIC (SALMAN *et al.*, 2016).

4.3 Residência Inteligente Sustentável com IoT

O IoT é um componente de uma residência inteligente para permitir a comunicação efetiva com vários dispositivos digitais. Em uma visão de futuro conectado, todos os dispositivos em uma residência inteligente poderão se comunicar uns com os outros perfeitamente. A tecnologia de uma Residência Inteligente baseada em IoT (*IoT based Smart Home Technology* - IoT-SHT) mudou a vida das pessoas fornecendo conectividade a todos sem considerar tempo e lugar (ALAA *et al.*, 2017).

As aplicações típicas de IoT-SHT são (Adaptado de ALAA *et al.*, 2017):

- Segurança e Privacidade
- Gerenciamento de Rede
- Monitoração de Saúde
- Gerenciamento de Consumo de Energia e de Cargas
- Gerenciamento de Consumo de Água
- Comunicação e Colaboração entre Pessoas e Dispositivos

O emprego da IoT-SHT, por exemplo no gerenciamento de energia baseada em Inteligência Artificial e em sistemas de controle movidos a energia solar, não apenas promovem a sustentabilidade por meio da conservação de energia, mas também contribuem para a obtenção de avaliações positivas dos moradores ao adotar um estilo de vida sustentável (ROCK, TAJUDEEN e CHUNG, 2022).

A IoT-SHT, por meio de filtros inteligentes, pode oferecer ar e água mais limpos, ao passo que a detecção de intrusos em tempo real aprimora a segurança residencial. Além disso, o monitoramento em tempo real usando dispositivos vestíveis eleva a qualidade da saúde e do bem-estar dos moradores. (ROCK, TAJUDEEN e CHUNG, 2022).

Esse avanço alinha-se com o conceito de Cidade Inteligente (*Smart City*), que busca criar um ambiente habitável e sustentável para seus habitantes. Destaca-se, assim, a importância da integração de tecnologias inteligentes por meio de IoT para promover um estilo de vida mais seguro, saudável e ecologicamente sustentável e consciente.

4.4 Considerações do Capítulo

Neste capítulo, são discutidos os serviços típicos de uma residência inteligente sustentável, as suas características e a integração com IoT para implementar uma residência inteligente sustentável.

Pode-se notar que, além dos aspectos técnicos e estruturais para a implementação de serviços de controles e de segurança de uma residência inteligente sustentável, existem questões multivariadas que envolvem o serviço de conforto dos moradores. Essas questões envolvem a cultura de um povo, o seu grau de desenvolvimento, a sua localização geográfica e as condições ambientais.

No capítulo atual, são abordados a Residência Inteligente Sustentável, explorando definições, conceitos e características, além da integração dos temas anteriormente apresentados sobre IoT e Sustentabilidade. O objetivo foi esclarecer o cenário que conduzirá ao propósito do trabalho. No próximo capítulo, com base nos estudos anteriores, serão analisados os benefícios e desafios da implementação dessa residência, consolidando a pesquisa realizada.

5. BENEFÍCIOS E DESAFIOS DE UMA RESIDÊNCIA INTELIGENTE SUSTENTÁVEL

Este capítulo destaca os benefícios e desafios das residências inteligentes sustentáveis, com ênfase no IoT. Os benefícios e os desafios são coletados da literatura pesquisada e, em seguida, uma análise é apresentada em cada uma das seções.

5.1 Benefícios

A Tabela 1 destaca um resumo dos principais benefícios encontrados na literatura.

Tabela 1 - Benefícios de uma residência inteligente sustentável.

Item	Categoria	Benefício	Fonte
1	Automação	A integração da IoT com a automação residencial possibilita o monitoramento e controle de casas de qualquer lugar do mundo.	Moubarak (2016 p. 10)
2	Conforto	Um ambiente doméstico mais saudável e seguro, oferecendo ar e água mais limpos, segurança avançada e monitoramento em tempo real da saúde e bem-estar.	Rock, Tajudeen e Chung (2022)
3	Conforto	A economia de tempo ajuda as pessoas a manterem esforços para atingir seus próprios objetivos, obter prazer e mais conforto no ambiente em que vivem.	Rock, Tajudeen e Chung (2022)
4	Conforto	A eficácia na adoção e remoção de barreiras na concepção de tecnologias bem integradas em ambientes residenciais, proporcionando benefícios diretos aos usuários finais.	Chang e Nam (2022)
5	Conforto	“A economia de tempo é um dos	Rock, Tajudeen e

		benefícios mais importantes da IoT-SHT, que ajudou as pessoas a manterem esforços para alcançar seus próprios objetivos, permitindo-lhes assim seguir seus próprios interesses (música e entretenimento de vídeo), obter prazer (conveniência) e obter mais conforto no ambiente em que vivem”.	Chung (2022, p. 14, tradução nossa)
6	Economia	Aumento da receita de aluguel e o valor da propriedade.	Tan (2013)
7	Economia	As construções verdes geralmente consomem menos energia, o que se traduz em economia nas contas de água e eletricidade.	Tan (2013)
8	Economia	As casas inteligentes devolvem aos proprietários os lucros gerados pela poupança e produção de energia.	Kim <i>et al.</i> (2021)
9	Energia	“Testes realizados em cenários reais mostram melhorias no consumo de energia e conforto em edifícios inteligentes eficientes”.	You (2019, p. 2, tradução nossa)
10	Energia	Economia de energia por meio da automação inteligente, com a monitorização remota da saúde dos idosos e com o controle de dispositivos para pessoas com deficiência por meio de interfaces gestuais ou Interface Cérebro-Computador.	Hui, Sherratt e Sánchez (2017)
11	Energia	A automação de gerenciamento de energia baseada em IA e sistemas de controle de energia solar, não apenas mostram a competência pessoal em ajudar o ambiente através da economia de energia, mas também resulta em avaliações positivas por promover um estilo de vida sustentável.	Rock, Tajudeen e Chung (2022)
12	Energia	Soluções técnicas, como dispositivos inteligentes, auxiliam na automação de consumo de energia com tarifas variáveis são bem-vindas, desde que não afetem as rotinas diárias e sejam	Paetz, Dütschke e Fichtner (2012 p. 20)

		confiáveis em operação e segurança de dados.	
13	Energia	O uso de IoT-SHT para automação de gerenciamento de energia baseada em IA e sistemas de controle movidos a energia solar reflete a competência das pessoas em ajudar o ambiente pela economia de energia.	Rock, Tajudeen e Chung (2022, p. 14)
14	Energia	Uma residência inteligente equipada com painéis solares e sistemas de eficiência energética pode diminuir um terço do consumo de energia em comparação com uma residência típica.	Sepasgozar <i>et al.</i> (2020, p. 3)
15	Tecnologia	Dispositivos sensores, como <i>smartphones</i> e dispositivos vestíveis, podem combinar dados sociais e sensores para criar soluções eficazes para rastreamento em tempo real e recomendações personalizadas.	Sepasgozar <i>et al.</i> (2020,)
16	Vários	Conforto, conveniência, segurança, proteção, alegria, economia de tempo, economia de energia e até mesmo bem-estar psicológico.	Rock, Tajudeen e Chung (2022)
17	Vários	A IoT-SHT melhora o ambiente doméstico, por meio de O uso de filtros inteligentes proporcionam ar e água mais limpos, detecção de intrusões em tempo real, enquanto dispositivos vestíveis monitoram saúde, qualidade de saúde e bem-estar e forma física, elevando o conforto no lar.	Rock, Tajudeen e Chung (2022)

Fonte: Autor.

As categorias da Tabela 1 têm as seguintes descrições:

- Energia (eficiência energética) e Economia (finanças): As informações nestas categorias destacam os benefícios financeiros diretos da implementação de uma residência inteligente sustentável, incluindo economia de energia,

redução nas contas de água e eletricidade, e potencial aumento da receita de aluguel e valor da propriedade.

- Conforto (bem-estar) e Automação: Esses benefícios destas categorias são essenciais para melhorar a qualidade de vida dos moradores, proporcionando um ambiente mais saudável, seguro e conveniente. A automação residencial pode ajudar a economizar tempo e esforço, permitindo que os moradores dediquem mais tempo a atividades de seu interesse.
- Tecnologia: Os dispositivos inteligentes e sensores interconectados oferecem soluções eficazes para rastreamento em tempo real e recomendações personalizadas, melhorando ainda mais a experiência dos moradores.
- Vários: Nesta categoria, estão incluídos vários benefícios destacados pelos autores incluídos nas categorias anteriores.

A implementação de tecnologias inteligentes em residências sustentáveis proporciona uma ampla gama de benefícios que abrangem eficiência energética, economia financeira, conforto, autonomia, segurança e bem-estar psicológico. Ao analisar os diversos benefícios apresentados nas fontes citadas na tabela, pode-se perceber uma interconexão entre eles, destacando a sinergia entre eficiência, economia, conforto e sustentabilidade.

A eficiência energética é um dos pilares fundamentais de uma residência inteligente sustentável. A automação inteligente, alimentada por sistemas de controle baseados em IA e energia solar, não apenas otimiza o consumo de energia, mas também contribui para a redução das emissões de carbono, promovendo um estilo de vida mais sustentável (YOU, 2019; ROCK, TAJUDEEN e CHUNG, 2022). Essa eficiência energética não apenas beneficia o meio ambiente, mas também se traduz em economia financeira significativa para os proprietários, por meio da redução das contas de água e eletricidade (TAN, 2013).

A economia financeira é um aspecto crucial para muitos proprietários ao considerarem a adoção de tecnologias residenciais inteligentes. A economia de

energia e a diminuição dos custos operacionais são citadas como benefícios financeiros diretos, juntamente com o aumento do valor da propriedade e a potencial geração de receita adicional (TAN, 2013).

No que diz respeito ao conforto, uma residência inteligente sustentável proporciona um ambiente mais saudável e seguro, com ar e água de qualidade, além de monitoramento em tempo real da saúde e bem-estar dos ocupantes (ROCK, TAJUDEEN e CHUNG, 2022). A eficácia na adoção de tecnologias integradas, como dispositivos vestíveis e filtros inteligentes, contribui para elevar o conforto e a qualidade de vida dos moradores (ROCK, TAJUDEEN e CHUNG, 2022; CHANG e NAM, 2022).

Outro aspecto destacado reflete-se na conveniência proporcionada pela automação residencial, que permite aos usuários controlar diversos aspectos de suas casas de forma remota e personalizada (ROCK, TAJUDEEN e CHUNG, 2022; MOUBARAK, 2016). Esse aspecto não só aumenta o conforto dos residentes, mas também contribui para a economia de tempo, permitindo que as pessoas dediquem mais tempo a atividades de seu interesse e alcance de objetivos pessoais (ROCK, TAJUDEEN e CHUNG, 2022).

Além disso, a segurança é aprimorada com a implementação de tecnologias inteligentes, como detecção de intrusão em tempo real e sistemas de monitoramento IoT, proporcionando maior tranquilidade aos moradores (ROCK, TAJUDEEN e CHUNG).

Do ponto de vista de tecnologia, vários dispositivos podem ser interconectados para fornecer dados em tempo real e gerar soluções mais eficazes.

Em resumo, uma residência inteligente sustentável oferece uma série de benefícios interligados que vão desde a eficiência energética e economia financeira até o conforto, autonomia e segurança. Esses benefícios não apenas melhoram a qualidade de vida dos moradores, mas também contribuem para a preservação do meio ambiente e para a construção de comunidades mais sustentáveis e resilientes.

5.2 Desafios

A Tabela 2 destaca um resumo dos principais desafios de uma residência inteligente sustentável.

Tabela 2 - Desafios de uma residência inteligente sustentável.

Item	Categoria	Desafios	Fonte
1	Economia	“O alto custo, a difícil instalação e as operações não amigáveis ainda são os principais obstáculos para transformar o entusiasmo em realidade”.	Hui, Sherratt e Sánchez (2017, p 359, tradução nossa)
2	Economia	O desafio dos custos é um dos principais obstáculos na adoção de casas inteligentes. Além do custo inicial de aquisição da tecnologia, também há o ônus do ciclo de vida da tecnologia, incluindo instalação, manutenção, substituição e demolição. As preocupações financeiras também se estendem aos custos associados às mudanças espaciais após a implementação da tecnologia, como períodos prolongados de construção, questões de propriedade e remodelações residenciais.	Chang e Nam (2022)
3	Privacidade	“O mercado em expansão de casas inteligentes oferece aos usuários um estilo de vida mais agradável e natural, mas também apresenta novos desafios para a proteção da privacidade. Além disso, devido às características inerentes de dispositivos sem fio e aparelhos inteligentes, como limitações de recursos e a adoção da tecnologia sem fio de maneira generalizada, espera-se que estejam expostos a diferentes ataques”.	You (2019, p. 2, tradução nossa)

4	Segurança e privacidade	“Segurança e privacidade são questões relacionadas ao nível de proteção contra ataques maliciosos e qualquer uso não autorizado de informações privadas, representando um desafio significativo no espaço cibernético”.	Hui, Sherratt e Sánchez (2017, p. 364, tradução nossa)
5	Segurança e Privacidade	Os resultados de análises de preservação da privacidade e da segurança devem ser considerados como dados de residências inteligentes. Em particular, no caso de dados de saúde podem ser sensíveis para seus moradores.	Sepasgozar <i>et al.</i> (2020)
6	Tecnologia	Inexistência de uma interface padrão comum para os mesmos módulos que operam livremente	Hui, Sherratt e Sánchez (2017, p 362)
7	Vários	“Os sistemas de automação residencial enfrentam desafios de padronização, segurança e privacidade, computação pervasiva e Internet para pessoas.	Hui, Sherratt e Sánchez (2017)

Fonte: Autor.

As categorias da Tabela 2 têm as seguintes descrições:

- **Economia (custos):** É importante considerar nesta categoria os custos iniciais, assim como os custos ao longo do ciclo de vida da tecnologia, incluindo instalação, manutenção, substituição e demolição. Isso ajudará a avaliar o retorno do investimento e a viabilidade financeira do projeto.
- **Privacidade e Segurança:** Nesta categoria, deve-se ter cuidado para garantir a proteção da privacidade dos moradores e a segurança dos dados coletados pelos dispositivos inteligentes. Estratégias para mitigar riscos de ataques cibernéticos e uso não autorizado de informações privadas devem ser implementadas.
- **Tecnologia:** Nesta categoria, a falta de uma interface padrão comum e a interoperabilidade entre os dispositivos podem representar desafios na integração e operação dos sistemas de uma residência inteligente.

- Vários: Nesta categoria, estão incluídos vários desafios destacados pelos autores incluídos nas categorias anteriores.

A crescente popularidade das residências inteligentes promete um estilo de vida mais conveniente e sustentável. No entanto, essa transição não está isenta de desafios significativos que abrangem diversas áreas, desde privacidade e segurança até custo e tecnologia. Uma análise integrada desses desafios é essencial para compreender plenamente os obstáculos enfrentados na construção e manutenção de residências inteligentes sustentáveis.

Um dos principais desafios é a privacidade, conforme destacado por You (2019), que aponta a exposição a ataques devido às características inerentes dos dispositivos inteligentes. Essa preocupação se entrelaça com a questão da segurança, conforme discutido por Hui, Sherratt e Sánchez (2017) e Sepasgozar et al. (2020), que ressaltam a necessidade de proteção contra ataques maliciosos e uso não autorizado de informações privadas.

A economia é outro desafio significativo mencionado por Hui, Sherratt e Sánchez (2017), que aponta para o alto custo inicial, dificuldades de instalação e operações não amigáveis como obstáculos para a adoção generalizada. Conforme discutido por Chang e Nam (2022), o alto custo é um obstáculo na adoção de residências inteligentes. Essa preocupação financeira abrange não apenas o custo inicial, mas também os custos associados à manutenção e mudanças espaciais após a implementação da tecnologia.

Além disso, a tecnologia apresenta desafios, como a falta de uma interface padrão comum, como observado por Hui, Sherratt e Sánchez (2017), o que dificulta a interoperabilidade entre os diversos dispositivos.

Finalmente, a implementação de residências inteligentes sustentáveis ainda carece de padronização, segurança e privacidade, computação pervasiva e Internet para pessoas (HUI, SHERRATT e SÁNCHEZ, 2017).

Em suma, a implementação de uma residência inteligente sustentável enfrenta uma série de desafios interligados que vão desde questões de privacidade e segurança a tecnologia e custos. Uma abordagem integrada é essencial para enfrentar esses desafios e promover um desenvolvimento eficaz e sustentável no campo das residências inteligentes sustentáveis.

5.3 Considerações do Capítulo

A análise dos benefícios e desafios de uma residência inteligente sustentável baseada em IoT revela um cenário complexo e multifacetado. Por um lado, os benefícios são significativos e interconectados, abrangendo eficiência energética, economia financeira, conforto, autonomia e segurança, todos contribuindo para uma melhor qualidade de vida dos moradores e para a promoção de um estilo de vida mais sustentável. Os desafios são também significativos, onde os custos são destacados.

Porém, é importante reconhecer que os benefícios de uma residência inteligente sustentável são inegáveis, mas também é crucial abordar e superar os desafios associados a esse contexto. Uma abordagem integrada, que considere aspectos técnicos, financeiros, sociais e ambientais, é essencial para promover o desenvolvimento eficaz e sustentável das residências inteligentes no futuro.

Por enquanto, uma implementação real de uma Residência Inteligente Sustentável com IoT necessita de muitas soluções baseadas nos desafios apontados para se ter custos mais baixos e, por conseguinte, obter os benefícios esperados.

O próximo capítulo destaca as considerações finais, incluindo as conclusões que podem ser realizadas com este trabalho, as contribuições do trabalho e alguns pontos de possíveis extensões do trabalho.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo descreve as conclusões e as contribuições do trabalho. Também, alguns pontos de possíveis extensões deste trabalho são discutidos.

6.1 Conclusões do Trabalho

Este estudo alcançou seu objetivo de mapear os benefícios e desafios de uma Residência Inteligente (SH - *Smart Home*) sustentável baseada em IoT. Ao revisar e sintetizar várias de fontes acadêmicas, foram identificados os benefícios interconectados em uma residência inteligente, incluindo eficiência energética, economia financeira, conforto e segurança. Além disso, são discutidos os desafios significativos associados à sua implementação, como questões de privacidade e segurança, falta de padronização tecnológica e custos elevados.

6.2 Contribuições do Trabalho

Este estudo oferece ao campo das residências inteligentes sustentáveis, uma estratégia de identificação e compreensão dos benefícios e desafios associados a esses ambientes residenciais inovadores.

Por meio de uma pesquisa e análise de publicações relevantes sobre o tema, utilizando plataformas como Scopus, Mendeley e Google Scholar, foram selecionados estudos pertinentes para análise. A partir desses estudos, os dados foram formatados e, em seguida, foram conduzidas as análises dos benefícios e desafios das residências inteligentes sustentáveis, resultando em material para pesquisadores, profissionais e tomadores de decisão interessados no desenvolvimento e adoção de tecnologias residenciais inteligentes sustentáveis.

6.3 Trabalhos Futuros

Um trabalho futuro a ser desenvolvido seria uma extensão do Capítulo 5 devido a certa restrição de tempo para o desenvolvimento deste trabalho. Uma análise mais abrangente sobre os benefícios e desafios das residências inteligentes sustentáveis não foi possível. No entanto, uma investigação mais detalhada poderia ter sido realizada com um prazo de pesquisa mais longo, permitindo a coleta e análise de uma gama mais ampla de fontes e estudos de caso.

Uma extensão valiosa deste capítulo seria uma análise mais aprofundada dos benefícios e desafios específicos relacionados à implementação de tecnologias inteligentes em residências sustentáveis. Isso poderia envolver uma investigação mais detalhada de casos de uso específicos e exemplos práticos de como essas tecnologias podem melhorar ainda mais a eficiência energética, promover a sustentabilidade ambiental e aumentar o conforto dos moradores. Além disso, seria benéfico explorar desafios emergentes ou menos discutidos, como a interoperabilidade entre dispositivos, questões de segurança cibernética e questões éticas relacionadas à coleta e uso de dados pessoais em residências inteligentes sustentáveis.

Outro possível trabalho futuro promissor seria aprofundar o estudo sobre "residências inteligentes e sustentáveis" na literatura específica sobre o tema. Esta interseção entre tecnologia inteligente e práticas sustentáveis ainda é pouco explorada nesse contexto. Uma abordagem nesse campo poderia incluir o desenvolvimento de sistemas inteligentes de monitoramento e controle para otimizar o uso de recursos naturais, a integração de materiais ecológicos e energias renováveis na construção de residências, bem como o estudo de práticas de estilo de vida sustentáveis promovidas por meio de tecnologias residenciais inteligentes. Esse trabalho futuro pode oferecer importantes contribuições para a compreensão e avanço de soluções residenciais mais eficientes e sustentáveis.

REFERÊNCIAS

ABBASI, M.; YAGHMAEE, M. H. RAHNAMA, F. Internet of Things in agriculture: A survey. *In: 3rd. International Conference on Internet of Things and Applications (IoT). Proceedings [...]*. April. 2019. p. DOI: [10.1109/IICITA.2019.8808839](https://doi.org/10.1109/IICITA.2019.8808839).

ALAA, M. *et al.* A review of smart home applications based on Internet of Things. **Journal of Network and Computer Applications**. v. 97. November. 2017. p. 48-65. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnca.2017.08.017>.

AL-HAROON, Y. A. M. Designing a Sustainable House in Kuwait. **Civil Engineering and Architecture**. v. 9, n. 4. 2021. p. 1012-1025. DOI: <https://doi.org/10.13189/cea.2021.090405>.

ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: A survey. **Computer Networks**. v. 54, i. 15. October. 2010. p. 2787-2805. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>.

BIBRI, S. E. *et al.* Environmentally sustainable smart cities and their converging AI, IoT, and big data technologies and solutions: an integrated approach to an extensive literature review. **Energy Informatics**. v. 6, n. 9. April. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42162-023-00259-2>.

CARVALHO, T. C. M. B.; DIAS, S. L. F. G. (org.) **Sustentabilidade: conexões entre o indivíduo, a cidade e o planeta**. Dezembro. 2023. Kotobee. ISBN: 978-65-89190-28-8.

CHANG, S.; NAM, K. Exploring the Sustainable Values of Smart Homes to Strengthen Adoption. **Buildings**. v. 12, i. 11. November. 2022. p. 1-25. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings12111919>.

DHANARAJU, M. *et al.* Smart Farming: Internet of Things (IoT)-Based Sustainable Agriculture. **Special Issue Digital Innovations in Agriculture**. v. 12, i. 10. October. 2022. p. 1-26. DOI: <https://www.mdpi.com/2077-0472/12/10/1745>.

ELLSWORTH-KREBS, K.; REID, L.; HUNTER, C. J. Integrated framework of home comfort: relaxation, companionship and control. **Building, Research & Information**. v. 47, i. 2. 2019. p. 202-218. DOI: <https://doi.org/10.1080/09613218.2017.1410375>.

FROIZ-MÍGUEZ, I. *et al.* Design, Implementation and Practical Evaluation of an IoT Home Automation System for Fog Computing Applications Based on MQTT and ZigBee-WiFi Sensor Nodes. **Sensors**. v. 18, i. 8. August. 2018. p. 1-42. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18082660>.

HAGBERT, P.; BRADLEY, K. Transitions on the home front: A story of sustainable living beyond eco-efficiency. **Energy Research & Social Science**. v. 31. May. 2017. p. 240-248. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.erss.2017.05.002>.

HUI, T. K. L.; SHERRATT, R. S.; SÁNCHEZ, D. D. Major requirements for building Smart Homes in Smart Cities based on Internet of Things Technologies. **Future Generation Computer Systems**. Elsevier. v. 76. July. 2017. p. 358-269. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2016.10.026>.

LINDSEY, T. C. Sustainable principles: common values for achieving sustainability. **Journal of Cleaner Production**. v. 19, i. 5. March. 2011. p. 561-565. DOI: [10.1016/j.jclepro.2010.10.014](http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.10.014).

MINERVA, R.; BIRU, A.; ROTONDI, D. Towards a definition of Internet of Things (IoT) rev. 1. **IEEE Internet of Things**. May. 2015. 86 p. Disponível em http://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE_IoT_Towards_Definition_Internet_of_Things_Issue1_14MAY15.pdf. Acesso em 30 de outubro de 2023.

MOUBARAK, M. H. **Internet of Things for Home Automation**. 2016. Bachelor Thesis. German University in Cairo. Cairo, Egypt. May. 2016. 25 p. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15237.35046>.

PAETZ, A. G.; DUTSCHKE, E.; FICHTNER, W. Smart Homes as a Means to Sustainable Energy Consumption: A Study of Consumer Perceptions. **Journal of Consumer Policy**. v. 35. October. 2012. p. 23-41. DOI: [10.1007/s10603-011-9177-2](https://doi.org/10.1007/s10603-011-9177-2).

REKA, S. S.; DRAGICEVIC, T. Future effectual role of energy delivery: A comprehensive review of Internet of Things and smart grid. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 91. August. 2018. p. 90-108. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.089>.

ROCK, L. Y.; TAJUDEEN, F. P.; CHUNG, Y. W. Usage and Impact of the Internet-of-Things-based Smart Home Technology: A Quality-of-Life Perspective. **Universal Access in the Information Society**. Springer. November. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10209-022-00937-0>.

ROUT, S. S. *et al.* Smart Water Solutions for Monitoring of Water Usage Based on Weather Condition. **International Journal of Emerging Trends in Engineering Research**. v. 8, n. 9. September. 2020. p. 5335-5343. DOI: <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/71892020>.

RUGGERIO, C. A. Sustainability and sustainable development: A review of principles and definitions. **Science of the Total Environment**. v. 786. September. 2021. p. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147481>.

SALMAN, M. *et al.* Sustainable and Smart: Rethinking What a Smart Home Is. *In*: 4th International Conference on ICT for Sustainability (ICT4S 2016). **Proceedings [...]**. August. 2016. p. 184-193. DOI: <http://dx.doi.org/10.2991/ict4s-16.2016.22>.

SAVAGET, P. *et al.* The theoretical foundations of sociotechnical systems change for sustainability: A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**. v. 206. September. 2019. p. 878-892. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.208>.

SEPASGOZAR, S. et al. A Systematic Content Review of Artificial Intelligence and the Internet of Things Applications in Smart Home. *Applied Sciences*. v. 10, i. 9. April. 2020. p. 1-45. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10093074>.

STOJKOSKA, B. L. R.; TRIVODALIEV, K. V. A review of Internet of Things for smart home: Challenges and solutions. *Journal of Cleaner Production*. v. 140, p. 3. January. 2017. p. 1454-1464. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.006>.

SYED, A. S. et al. IoT in Smart Cities: A Survey of Technologies, Practices and Challenges. **Smart Cities**. v. 4. March. 2021. p. 429-475. DOI: <https://doi.org/10.3390/smartcities4020024>.

ELLSWORTH

TALARI, S. et al. A Review of Smart Cities Based on the Internet of Things Concept. **Energies**. v.10, i. 4, March, 2017. p. 1-23. DOI: <https://doi.org/10.3390/en10040421>.

TAN, TH. Satisfaction and Motivation of Homeowners Towards Green Homes. v. 116. **Social Indicators Research**. v. March. 2013. p. 869-885. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11205-013-0310-2>.

WAZLAWICK, R. S. **Metodologia de Pesquisa para Ciência da Computação**. Elsevier Editora, Rio de Janeiro. 2009. 259 p. ISBN: 978-85-352-3410-7.

WUT, T. M. et al. Digital Sustainability in the Organization: Scale Development and Validation. **Sustainability**. v. 13, i. 6. March. 2021. p. 1-14. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13063530>.

YOU, I. et al. Special Issue "Internet of Things for Smart Homes". **Sensors**. v. 19, i. 19. September. 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/s19194173>.