

UNESP-UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FAAC-FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO
PPGMiT-DOUTORADO EM MÍDIA E TECNOLOGIA

Faberson Augusto Ferrasi

TECNOLOGIAS PARA A CAPTAÇÃO AUTÔNOMA DE DADOS NO
MONITORAMENTO DE VARIAÇÕES AMBIENTAIS:

Uma abordagem na perspectiva da Internet das Coisas (IoT) Aplicada ao Transporte de
Amostras Biológicas

BAURU/SP

2023

Faberson Augusto Ferrasi

TECNOLOGIAS PARA A CAPTAÇÃO AUTÔNOMA DE DADOS NO
MONITORAMENTO DE VARIAÇÕES AMBIENTAIS:

Uma abordagem na perspectiva da Internet das Coisas (IoT) Aplicada ao Transporte de
Amostras Biológicas

Tese de Doutorado (Relatório Técnico – Prova de Conceito) apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Mídia e Tecnologia (PPGMiT), da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, para obtenção do título de Doutor em Mídia e Tecnologia sob a orientação do Prof. Associado Eduardo Martins Morgado.

BAURU/SP

2023

F378t

Ferrasi, Faberson Augusto

Tecnologias para a captação autônoma de dados no monitoramento de variações ambientais : Uma abordagem na perspectiva da Internet das Coisas (IoT) Aplicada ao Transporte de Amostras Biológicas / Faberson Augusto Ferrasi. -- Bauru, 2023
100 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design, Bauru
Orientador: Eduardo Martins Morgado

1. Internet das Coisas. 2. Mídia e Tecnologia. 3. Amostras Biológicas. 4. Dispositivos Móveis. 5. Sensores. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design, Bauru. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE FABERSON AUGUSTO FERRASI, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MÍDIA E TECNOLOGIA, DA FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES, COMUNICAÇÃO E DESIGN.

Aos 28 dias do mês de julho do ano de 2023, às 14:30 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de TESE DE DOUTORADO de FABERSON AUGUSTO FERRASI, intitulada **TECNOLOGIAS PARA A CAPTAÇÃO AUTÔNOMA DE DADOS NO MONITORAMENTO DE VARIAÇÕES AMBIENTAIS: Uma abordagem na perspectiva da Internet das Coisas (IoT) Aplicada ao Transporte de Amostras Biológicas**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Professor Associado EDUARDO MARTINS MORGADO (Participação Virtual) do(a) Departamento de Computação da Faculdade de Ciências / Universidade Estadual Paulista, Professor Associado JOÃO PEDRO ALBINO (Participação Virtual) do(a) Departamento de Computação / Unesp/ Câmpus de Bauru, Professora Associada MARIA CRISTINA GOBBI (Participação Virtual) do(a) Departamento de Comunicação Social da Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design / Universidade Estadual Paulista, Professor Doutor ANDERSON FRANCISCO TALON (Participação Virtual) do(a) Banco de Dados / Redes de Computadores / Faculdade de Tecnologia de Bauru, Professora Doutora ADRIANA SIERRA ASSENCIO ALMEIDA BARBOSA (Participação Virtual) do(a) FATEC / Faculdade de Tecnologia de Bauru. Após a exposição pelo doutorando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.



Professor Associado EDUARDO MARTINS MORGADO

Faberson Augusto Ferrasi

**TECNOLOGIAS PARA A CAPTAÇÃO AUTÔNOMA DE DADOS NO
MONITORAMENTO DE VARIAÇÕES AMBIENTAIS:**

Uma abordagem na perspectiva da Internet das Coisas (IoT) Aplicada ao Transporte de
Amostras Biológicas

Tese de Doutorado (Relatório Técnico – Prova de Conceito) apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Mídia e Tecnologia (PPGMiT), da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, para obtenção do título de Doutor em Mídia e Tecnologia sob a orientação do Prof. Associado Eduardo Martins Morgado.

Área de Concentração: Ambientes Midiáticos e Tecnológicos
Linha de Pesquisa: Tecnologias Midiáticas

BANCA EXAMINADORA:

Presidente/Orientador: Prof. Associado Eduardo Martins Morgado
Instituição: Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação – UNESP Bauru/SP

Professor 1: Prof.^a Associada Maria Cristina Gobbi
Instituição: Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação – UNESP Bauru/SP

Professor 2: Prof.^o Dr. João Pedro Albino
Instituição: Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação – UNESP Bauru/SP

Professor 3: Prof.^o Dr. Anderson Francisco Talon
Instituição: Faculdade de Tecnologia (FATEC) - BAURU/SP

Professor 4: Prof.^a Dra. Adriana Sierra Assencio Almeida Barbosa
Instituição: Faculdade de Tecnologia (FATEC) - BAURU/SP

Resultado: APROVADO.

Bauru, 28 de julho de 2023

*Dedico este trabalho, ao meu filho Enzo, ao meu avô
Antônio Sarti (in memorian), ao meu Tio Antônio (in
memorian), a minha mãe Glória, ao meu Tio Enio Sarti e
ao meu irmão Emerson.*

“Demore o tempo que for para decidir o que você quer da vida, e depois que decidir não recue ante nenhum pretexto, porque o mundo tentará te dissuadir.”

Friedrich Nietzsche

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Ass. Eduardo Martins Morgado, por me apresentar uma oportunidade de pesquisa, por acreditar na minha capacidade, pela confiança, por todos os apontamentos e ensinamentos muito especiais e acolhedores, além de me colocar à disposição os recursos do LTIA (Laboratório de Tecnologia da Informação Aplicada).

Agradeço a Prof.^a Dra. Vânia Cristina Pires Nogueira Valente, pelo acolhimento e oportunidades estendidas a mim, além de suas contribuições para a tese.

Agradeço muito ao Prof.^o Dr. João Pedro Albino, pelo aceite na participação na banca e por suas contribuições e direcionamentos tão importantes para esta pesquisa.

Agradeço ao Prof.^o Dr. Anderson Francisco Talon, pelo aceite na participação da banca pela sua gentileza em expor suas considerações e apontamentos tão elucidativos.

Agradeço a Prof.^a Dra. Adriana Sierra Assencio Almeida Barbosa, por suas contribuições e aceite na participação da banca.

Agradeço também aos docentes: Dr. Claudines Torres, Dr. Wilson Yonesawa e Dra. Roberta Spolon, pela gentileza do aceite para a composição da banca.

Um agradecimento especial a Profa. Associada. Maria Cristina Gobbi, pelo acolhimento, direcionamento, correções, e apontamentos elucidativos em todos os momentos, seus ensinamentos foram de suma importância para a composição deste trabalho.

Ao meu irmão Emerson Ferrasi, pela parceria e extrema contribuição por meio de seus apontamentos e pesquisa em colaboração a esta tese.

A profa Dra. Adriana Camargo Ferrasi, pela parceria nas publicações de artigos e livros durante o período desta pesquisa.

A todos os docentes do programa, pelas contribuições que nos trouxeram conhecimentos riquíssimos e muito aprendizado em suas disciplinas.

A todos os funcionários da pós-graduação, que sempre nos atendem prontamente.

E por fim a Deus e minha família, todos que compreenderam o momento de estudo e dedicação em inúmeras situações, muitos finais de semana dedicados, obrigado por tudo e a todos que de alguma forma me ajudaram a vencer os desafios que enfrentei.

FERRASI, F.A. **TECNOLOGIAS PARA A CAPTAÇÃO AUTÔNOMA DE DADOS NO MONITORAMENTO DE VARIAÇÕES AMBIENTAIS:** Uma abordagem na perspectiva da Internet das Coisas (IoT) Aplicada ao Transporte de Amostras Biológicas, 2023. 100f. Tese de Doutorado apresentado ao curso de Pós-graduação em Doutorado em Mídia e Tecnologia – FAAC - UNESP, sob a orientação do prof. Associado Eduardo Martins Morgado, Bauru, 2023.

RESUMO

A Internet atravessa uma de suas maiores revoluções tecnológicas onde evolui de uma rede física que interconecta computadores remotos para uma rede de objetos (coisas) e dispositivos inteligentes, tal advento é denominado como Internet das Coisas (do inglês: *Internet of Things*), ou simplesmente IoT. Desde o seu surgimento a Internet transformou a maneira das pessoas se comunicarem e compartilhar dados. A internet das Coisas fundamenta que não mais apenas as pessoas utilizem a Internet e sim uma infinidade de dispositivos e objetos inteligentes interconectados em rede colem e compartilhem dados entre si e com as pessoas, em tempo real. Com a expansão da interconexão das tecnologias móveis com a Internet surge uma infinidade de aplicações com base nos conceitos da IoT, onde são necessários esforços em pesquisa e desenvolvimento pois ainda existem muitas lacunas e desafios a serem superados, como padrões, segurança, eficiência energética dentre outros. A fim de oferecer uma contribuição para o avanço das possibilidades de aplicações da IoT, este presente estudo objetiva a exploração dos recursos tecnológicos para a captação autônoma de dados das variações ambientais como temperatura, umidade e luminosidade durante o transporte de amostras biológicas. Além de explorar as possibilidades de também aplicá-las a partir de uma prova de conceitos por meio da construção de um protótipo de um dispositivo físico IoT. Através de uma pesquisa em colaboração desenvolvida no LTIA da Unesp de Bauru, foi possível estabelecer os parâmetros e requisitos necessários para a construção do protótipo, resultando em um dispositivo IoT viável aplicado a um modelo de gerenciamento de controle de variações ambientais no transporte de amostras biológicas. Com isso, o presente estudo explora, verifica e testa a aplicabilidade dos fundamentos apoiados nas tecnologias da Internet das Coisas num cenário real onde a necessidade de recursos tecnológicos seja identificada como forma da resolução de problemas.

Palavras-chave: Internet das Coisas; Mídia e Tecnologia; Amostras Biológicas; Dispositivos Móveis; Sensores;

FERRASI, F.A. **TECNOLOGIAS PARA A CAPTAÇÃO AUTÔNOMA DE DADOS NO MONITORAMENTO DE VARIAÇÕES AMBIENTAIS:** Uma abordagem na perspectiva da Internet das Coisas (IoT) Aplicada ao Transporte de Amostras Biológicas, 2023. 100f. Tese de Doutorado apresentado ao curso de Pós-graduação em Doutorado em Mídia e Tecnologia – FAAC - UNESP, sob a orientação do prof. Associado Eduardo Martins Morgado, Bauru, 2023.

ABSTRACT

The Internet is going through one of its biggest technological revolutions where it evolves from a physical network that interconnects remote computers to a network of objects (things) and smart devices, such an advent is called the Internet of Things (Internet of Things), or simply IoT . Since its creation, the Internet has transformed the way people communicate and share data. The fundamental Internet of Things is that it is no longer just people using the Internet, but a community of intelligent devices and objects interconnected in a network that collect and share data with each other and with people, in real time. With the expansion of the interconnection of mobile technologies with the Internet, applications based on IoT concepts have emerged, where efforts in research and development are sought, since there are still many gaps and challenges to be overcome, such as standards, security, energy and many others. In order to offer a contribution to the advancement of possibilities for IoT applications, this study aims to explore technological resources for the autonomous generation of data on the variation of environmental indicators such as temperature, humidity and luminosity during transport of biological samples. In addition to exploring the possibilities, we also apply them from a proof of concepts through the construction of a prototype of a physical IoT device. Through a collaborative research developed at the LTIA of Unesp in Bauru, it was possible to establish the parameters and requirements necessary for the construction of the prototype, generated in a viable IoT device applied to a management model for controlling environmental variations in the transport of biological species. With this, the present study explores, verifies and tests the applicability of the fundamentals supported by Internet of Things technologies in a real scenario where the need for technological resources is identified as a way of solving problems.

Keywords: Internet of Things; Media and Technology; Biological Samples; Mobile devices; Sensors;

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Imagem da Basílica de São Pedro Vaticano/Itália.....	14
FIGURA 2: Previsão Mercado Global de Dispositivos IoT Conectados.....	16
FIGURA 3: Ecossistema IoT.....	17
FIGURA 4: As top 10 áreas das aplicações da IoT	22
FIGURA 5: Apresentação projeto Qualcomm IoT.....	25
FIGURA 6: Arquitetura dos Dispositivos IoT.....	26
FIGURA 7: Placa Arduino Serial.....	33
FIGURA 8: Arduino Uno R3.....	33
FIGURA 9: Alimentação da placa Arduino UNO	34
FIGURA 10: Conectores de alimentação Arduino	34
FIGURA 11: Entradas/Saídas Digitais e Analógicas.....	35
FIGURA 12: IDE Arduino	36
FIGURA 13: Raspberry Pi 4 modelo B.....	39
FIGURA 14: Modelo ESP-WROOM-32.....	40
FIGURA 15: Arduino Uno x Sensor DHT22	44
FIGURA 16: Cenário Físico Proposto	57
FIGURA 17: Projeto Esquemático do Dispositivo	61
FIGURA 18: Placa Borne para ESP32 (38 pinos).....	63
FIGURA 19: Placa de Desenvolvimento ESP 32 NodeMCU(38 pinos)	64
FIGURA 20: Pinagem ESP 32	64
FIGURA 21: Sensor LDR (Light Dependent Resistor)	65
FIGURA 22: DHT22 modelo AM302	65
FIGURA 23: Mini Data Logger RTC.....	66
FIGURA 24: Cartão Micro SDHC (8GB)	66
FIGURA 25: Diodo Emissor de Luz (LED).....	67
FIGURA 26: Chave Liga/Desliga	67
FIGURA 27: Bateria 9v	68
FIGURA 28: Caixa Patola	68
FIGURA 29: Medidor Temperatura TempTale 4 USB.....	74
FIGURA 30: Data Logger Portátil de Temperatura Fresh TAG 1D	74
FIGURA 31: Data logger de temperatura e umidade Maxilog-RH Marathon	75
FIGURA 32: Imagens Iniciais do Protótipo(aberto).....	81
FIGURA 33: Dispositivo Montado	82
FIGURA 34: Disposição externa do dispositivo	82
FIGURA 35: Captura dos dados no formato JSON.....	83
FIGURA 36: Caixa de Transporte de Amostras Biológicas.....	83
FIGURA 37: Gráfico com as medições realizadas na caixa de transportes.....	84

LISTA DE SIGLAS

LTIA	Laboratório de Tecnologia da Informação Aplicada
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
IoT	Internet of Things
MIT	Massachusetts Institute of Technology
PoC	Proof of Concept
PDA	Personal Digital Assistants
RFID	Radio Frequency Identification
M2M	Machine to Machine
IP	Internet Protocol
CPU	Central Processing Unit
USB	Universal Serial Bus
UNESP	Universidade Estadual Paulista
ROM	Read Only Memory
IDE	Integrated Development Environment
PC	Personal Computer
RAM	Random Access Memory
SO	Sistema Operacional
GB	Gigabyte
HDMI	High-Definition Multimedia Interface
IP	Internet Protocol
SDK	Software Development Kit
TI	Tecnologia da informação
LED	Light-Emitting Diode
JSON	Javascript Object Notation
XML	Extensible Markup Language
LDR	Light Dependent Resistor
RTC	Real Time Clock
SD	Secure Digital Card

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Custo* aproximado do dispositivo IoT.....	87
--	----

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: Valores dos dispositivos expressos em Reais (R\$)	77
GRÁFICO 2: Projeção de Custo Acumulado x Viagem Realizada p/ Dispositivo ...	78
GRÁFICO 3: Medições da Umidade Relativa do Ar	78
GRÁFICO 4: Medições de Temperatura (°C).....	79
GRÁFICO 5: Medições da Luminosidade (lux)	79

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 Justificativa	11
1.2 Objetivos	12
1.2.1 Objetivos Gerais	12
1.2.2 Objetivos Específicos	12
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 A Internet e sua Evolução	14
2.2 Definindo a Internet das Coisas (IoT)	19
2.3 Elementos da arquitetura básica da Internet das Coisas	25
2.4 Mídias Locativas	28
2.4.1 Beacons	29
2.4.2 Bluetooth	29
2.5 As “Coisas” da Internet das Coisas (parafraseando Ashton)	30
2.6 Plataforma Arduino	32
2.6.1 Código Fonte	37
2.6.2 Analisando o Código Fonte	37
2.7 Raspberry Pi	38
2.8 ESP32	39
2.9 Sensores e atuadores	41
2.9.1 Características dos sensores:	42
2.9.2 Sensores Analógicos	42
2.9.3 Sensores Digitais	43
2.9.4 Tipos de Atuadores	45
2.10 Prova de Conceito (PoC)	46
2.10.1 Protótipo x Prova de Conceitos	46
2.11 Modelo para o Gerenciamento e Rastreabilidade de Amostras Biológicas ..	48
2.11.1 Definições do modelo	49
2.11.2 Amostras biológicas	49
2.11.3 Parâmetros do Modelo de Referência	50
2.12 Considerações finais	53
3. METODOLOGIA	55
3.1 Local de execução e colaboração da pesquisa	55
3.2 Fases de execução e desenvolvimento	55
3.3 Modelo de Referência e Especificação Técnica	55
3.4 Cenário Proposto	56
3.5 Fase inicial	56
3.6 Revisão bibliográfica	57
3.6.1 Levantamento do Investimento	57
3.6.2 Especificação técnica	58
3.6.3 Execução do Projeto	58
3.6.4 Validação do Dispositivo	59
3.6.5 O dispositivo IoT	59
3.7 Tecnologias e recursos utilizados	60
3.7.1 Linguagem de Programação	60
3.7.2 JSON Java Script Object Notation	61
3.7.3 Componentes e materiais utilizados	62
3.7.4 Especificações dos componentes	62
3.1 Funcionamento do Dispositivo	68

3.2	Explicação Sobre o Fluxo de Funcionamento do Código-Fonte.....	70
3.2.1	Rotina do Código-Fonte.....	70
3.1	Diferenciais e dispositivos correlatos.....	71
3.1.1	Dispositivos correlatos.....	72
3.1.2	Comparativo entre os dispositivos	74
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	80
4.1.1	Imagens do protótipo	80
4.1.2	Principais Desafios na Construção do Protótipo	83
4.1.3	Melhorias e aplicações futuras	84
4.1.4	Aplicações em potencial	85
4.1.5	Desvantagens verificadas.....	86
4.1.6	Custos para a construção do dispositivo IoT	86
4.2	Impactos da Pesquisa	87
4.2.1	Impacto Científico	87
4.2.2	Impacto Tecnológico.....	87
4.2.3	Impacto Econômico	88
4.2.4	Impacto Mercadológico.....	88
4.2.5	Impacto Ambiental	88
5.	CONCLUSÕES	90
5.1	Trabalhos futuros	91
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93

1. INTRODUÇÃO

Os avanços da Internet ocorridos nas últimas décadas transformaram a maneira com que as pessoas consomem e compartilham as informações em uma escala com proporções nunca presenciadas pela humanidade.

Inevitavelmente o cotidiano dessas pessoas é impactado diretamente diante de um cenário onde existe um número muito expressivo de usuários que acessam a rede mundial de computadores, somente no Brasil são mais de 142 milhões de usuários (CGI.br, 2023).

Por ser um volume bastante expressivo são vastas as possibilidades de acesso e criação de serviços de diversos tipos vinculados a Internet, trazendo à tona um novo paradigma de acesso e consumo de informações em tempo real e cotidianamente. A partir disso não só o cotidiano das pessoas, mas também nas organizações, no Brasil por exemplo, o comércio eletrônico lidera o ranking mundial de crescimento (Mundo do Marketing, 2023).

A Internet desponta como uma plataforma global de comunicação oferecendo suporte para o surgimento e o avanço de diversas tecnologias, como por exemplo as tecnologias móveis com o protagonismo dos smartphones e dispositivos móveis em geral. No Brasil, mais de 92 milhões de usuários acessam a Internet apenas pelo smartphone (CGI.br, 2023).

As tecnologias móveis tomam a frente como protagonistas dos avanços sofridos na Internet e impactam diretamente a rotina das pessoas e organizações no que tange a realização de tarefas e na geração de facilitadores e indicadores operacionais (YANG; SHEN; WANG, 2018).

O acesso onipresente a Internet incorpora-se amplamente nas plataformas de serviços, gestão de informações de diversos âmbitos, e principalmente torna-se um recurso presente nas tarefas mais rotineiras das pessoas.

No Brasil, praticamente 70% dos serviços governamentais são oferecidos por meios digitais através da Internet, na plataforma do “gov.br”, facilitando e ampliando o acesso da sociedade a estes serviços (GOV.BR, 2021).

Tal advento traz à tona uma das maiores e mais desafiadoras revoluções tecnológicas da Internet onde não mais apenas pessoas, mas também teremos uma gama gigantesca de objetos e dispositivos inteligentes interconectados, coletando, transmitindo e processando dados a todo o instante, através da sua interconexão.

Este conceito é conhecido como a Internet das Coisas (do inglês: *Internet of Things - IoT*). Esta denominação foi cunhada por Kevin Ashton do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) em uma de suas apresentações em 2009 e acabou sendo adotado mundialmente (Ashton, 2009).

A Internet das Coisas parte do princípio de que “coisas” colem, armazenem e compartilhem uma grande quantidade de dados onde tal processo transcorre de forma autônoma, sem a interação humana. Uma vez processados e analisados esses dados, eles podem gerar uma quantidade gigantesca de informações e serviços, através da Internet (ORACLE, 2020).

Diante deste contexto, este trabalho, por meio de uma pesquisa em colaboração realizada no LTIA da Unesp de Bauru, explora os avanços da Internet e através da construção de um dispositivo físico, este caracterizado como Prova de Conceitos, aplica os fundamentos da Internet das Coisas tendo como base um modelo proposto para o gerenciamento autônomo de dados sobre as variações ambientais durante o transporte de amostras biológicas.

Dessa forma nos itens 1.1 e 1.2 são detalhadas as justificativas bem como os objetivos propostos, subdivididos em gerais e específicos.

1.1 Justificativa

Em 2021 já havia mundialmente cerca de 12 bilhões de aparelhos conectados via IoT, em 2022 houve um crescimento de 8% referente ao ano anterior, estima-se que em 2025 sejam mais de 27 bilhões desses dispositivos (IoT Analytics, 2023).

Com base nesses dados, é evidente que são promissoras as possibilidades de aplicação da tecnologia IoT, do mesmo modo que é clara a necessidade de elaboração de pesquisas e desenvolvimento em torno dos mais diversos problemas que ainda enfrentamos na aplicação de seus fundamentos.

Justamente pelo fato de existir uma grande variedade de tipos de dispositivos e formas diversas de interconectá-los por meio de uma grande diversidade de recursos, torna-se um desafio para o usuário desta tecnologia elencar quais, quantas formas possíveis e disponíveis dentre diversas plataformas, componentes e arranjos diferentes, e ainda, de que maneira as aplicar, contribuindo assim de forma substancial para a evolução em torno do “ecossistema” tecnológico aplicado ao cenário da Internet das Coisas (IoT).

Com isso, visando a exploração de tal cenário, este projeto por meio de uma pesquisa em colaboração, desenvolvida no Laboratório de Tecnologia da Informação Aplicada-LTIA, entre os pesquisadores: Faberson Augusto Ferrasi (autor desta tese) e Emerson Carlos Sarti Ferrasi, ambos orientados pelo Prof. Ass. Eduardo Martins Morgado, apoiado nos fundamentos da IoT, sistematiza, especifica e retrata o desenvolvimento de uma prova de conceitos de um dispositivo de IoT.

Este dispositivo foi desenvolvido, em decorrência dos parâmetros especificados por um trabalho que propõe um “**Modelo de Gerenciamento de Rastreabilidade de Amostras Biológicas**” (FERRASI, 2023), sendo este o tema da tese do pesquisador colaborador supracitado.

A fim de elucidar o processo de colaboração entre as pesquisas, o desenvolvimento da prova de conceitos e suas respectivas fases, serão descritos, objetivos gerais e específicos, contextualização metodológica, materiais e métodos e etapas do seu desenvolvimento.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Gerais

Demonstrar a viabilidade da construção de um dispositivo físico utilizando IoT para, de forma autônoma, monitorar a variação de indicadores ambientais de luminosidade, umidade e temperatura, durante o transporte de amostras biológicas.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Explorar e conceituar sobre a atual fase de evolução da Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT);
- Estudar o funcionamento de plataformas de open hardware interconectado a sensores captadores de indicadores ambientais;
- Mapear e descrever quais as tecnologias poderão ser utilizadas para a aplicação do modelo proposto no projeto denominado “Gerenciamento de Rastreabilidade de Amostras Biológicas”, FERRASI (2023);
- Desenvolver um dispositivo microcontrolado que realize o sensoriamento ambiental de forma autônoma que demonstre a viabilidade da proposta (Prova de Conceito);

Visando atender os objetivos propostos a tese foi subdividida em 5 capítulos.

A partir do segundo capítulo “Fundamentação Teórica”, o texto traz o embasamento teórico sobre os fundamentos da Internet, teorização sobre a Internet das Coisas e toda a sua estrutura. Também são apresentadas as especificações sobre as principais plataformas de open hardware e uma explanação técnica sobre sensores, tipos e diversidade de aplicações.

“Metodologia”, o terceiro capítulo, mostra a proposta metodológica, local de execução da pesquisa e suas fases de execução, e os métodos utilizados para a efetivação do projeto, percorrendo sobre o dispositivo IoT desenvolvido como Prova de Conceito, as tecnologias e recursos utilizados e um detalhamento sobre os materiais utilizados com a especificação individualizada de cada componente.

O quarto capítulo, “Resultados e Discussões” apresenta a avaliação dos resultados dos testes realizados com o dispositivo com os pesquisadores envolvidos, discutindo ainda se atenderam aos critérios de sucesso definidos do modelo de gerenciamento proposto no trabalho “Gerenciamento de Rastreabilidade de Amostras Biológicas” (FERRASI, 2023) e seus diferenciais frente aos dispositivos similares.

O quarto capítulo ainda aponta os principais desafios bem como algumas peculiaridades do dispositivo expressando as deficiências verificadas. O capítulo finaliza com as aplicações em potencial e os custos levantados para o desenvolvimento do dispositivo e uma avaliação se eles atendem aos critérios de sucesso definidos.

Por fim, o quinto capítulo, “Conclusões” traz uma breve explanação das tecnologias empregadas, as principais impressões e considerações sobre a pesquisa. Fazendo um resgate sobre a relevância da pesquisa e possibilidades da sua continuidade.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A Internet e sua Evolução

Nas últimas duas décadas a maneira de consumir informação mudou radicalmente, o paralelismo dos meios de comunicação de radiodifusão e mídias impressas com as redes de comunicações de dados na Internet impulsiona uma mudança acentuada no cotidiano das pessoas, e inúmeros setores já se beneficiam desta tecnologia.

Na Figura 1, temos duas imagens icônicas na Basílica de São Pedro no Vaticano capturadas com 8 anos de diferença, uma em 2005 onde acontece o funeral do Papa João Paulo II e outra em 2013 na escolha do Papa Francisco, onde expressa o impacto das tecnologias móveis no cotidiano das pessoas (NBCNEWS, 2013).

Figura 1: Imagem da Basílica de São Pedro Vaticano/Itália



Fonte: NBCNews, 2013

Serviços governamentais sociais bem como o acesso à informação de vários tipos trazem à sociedade um novo panorama de acesso e consumo de informação. Segundo a pesquisa TIC Domicílios do Comitê Gestor da Internet no Brasil (CGI.br), o número de usuários de internet no Brasil em 2022 chegou a 149 milhões, com 142 milhões de usuários que fazem o acesso diário ou pelo menos quase todos os dias.

Além disso, 92% da população acima de 10 anos de idade, com 80% dos domicílios com acesso à rede (CGI.br, 2022).

O avanço natural das tecnologias de telecomunicações traz à tona outras possibilidades de uso dessas redes de comunicações em escala mundial. A internet evoluiu de uma rede de comunicação inicialmente com pretensões limitadas para um cenário global como o principal meio de difusão e compartilhamento de dados.

A Internet no Brasil é o principal meio de informação com 43% de abrangência em equivalência a TV aberta, com 40%, dentro disso, 22% utilizam as redes sociais e 21% sites e portais de conteúdo (Poder360, 2021).

O cotidiano das pessoas foi impactado diretamente pelos avanços das tecnologias móveis em paralelo as inovações da Internet, modificaram radicalmente à nossa maneira de viver, mais de 90% dos domicílios possuem acesso ao celular (CETIC.br, 2023).

Com as facilidades de comunicação e de apoio a realização de tarefas do cotidiano, com o uso dos *smartphones*, podemos afirmar que seria muito difícil as pessoas imaginarem-se sem eles, pois são tantos os recursos em torno destes dispositivos que praticamente tornaram-se uma extensão do nosso ser.

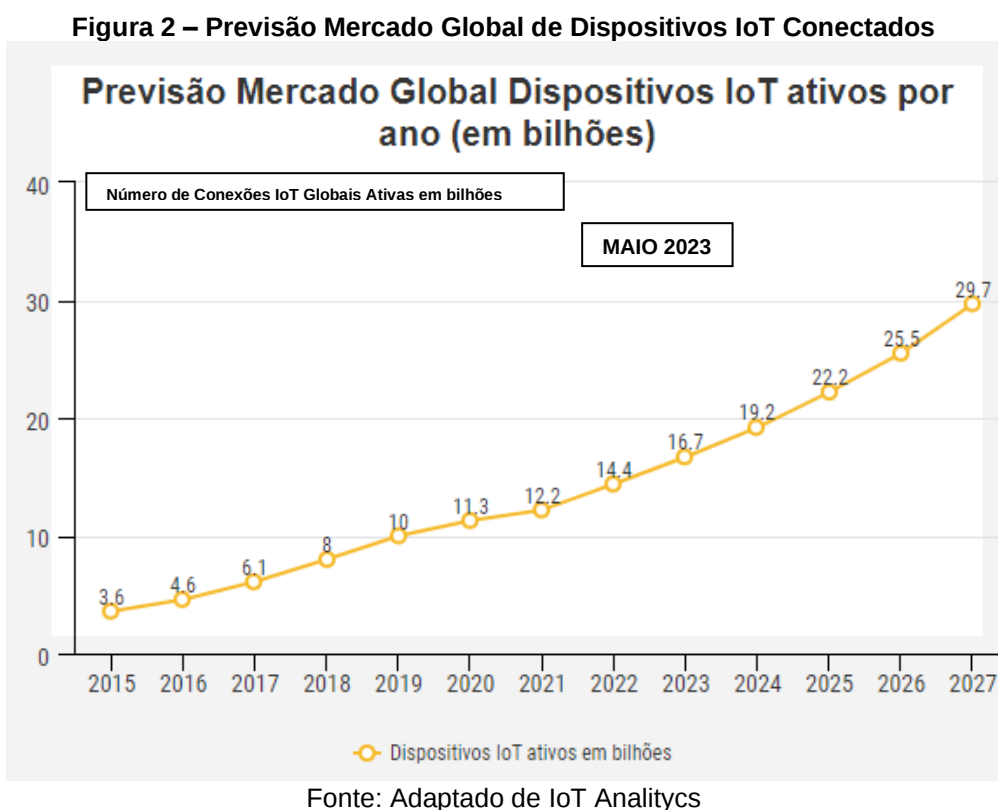
No Brasil, já temos a realidade de possuímos mais dispositivos celulares do que habitantes, são mais de 242 milhões desses dispositivos, e se adicionar-se a esse total dispositivos como notebooks e tablets chegamos ao montante de 352 milhões de dispositivos portáteis, equivalente a 1,6 dispositivo por pessoa (CNN Brasil, 2022).

O acesso contínuo e instantâneo à Internet deixa de ser entretenimento e passa para o âmbito da necessidade, pois praticamente todas as plataformas de serviços de comunicação e gestão de informações estão interligadas através da infraestrutura de redes de comunicação mundial (YANG; SHEN; WANG, 2018).

De acordo com a IoT Analytics:

O crescimento explosivo de smartphones e tablets elevará o número de dispositivos conectados à Internet em até 29 bilhões até 2027, à medida que a população humana chegará estimadamente a 8,3 bilhões, tornando o número de dispositivos conectados por pessoa em 3,49 dispositivo/pessoa (IoT Analytics, 2023).

Na Figura 2 podemos acompanhar a progressão da quantidade de dispositivos IoT conectados.



A partir do momento que uma tecnologia é exposta ao uso tudo em torno dela avança também. Foi assim com a Internet e está sendo assim com a tecnologia móvel, tendo início com os PDA's, logo em seguida os *smartphones*, e com outras possibilidades de dispositivos como os *wearables* (dispositivos vestíveis), com sensores em relógios, pulseiras e até roupas.

Na medicina por exemplo, os médicos já podem conhecer o seu paciente a partir da utilização de dispositivos como *smartwatch*, auxiliando em tratamentos de saúde onde requerem um monitoramento mais próximo e contínuo (STARTSE, 2023).

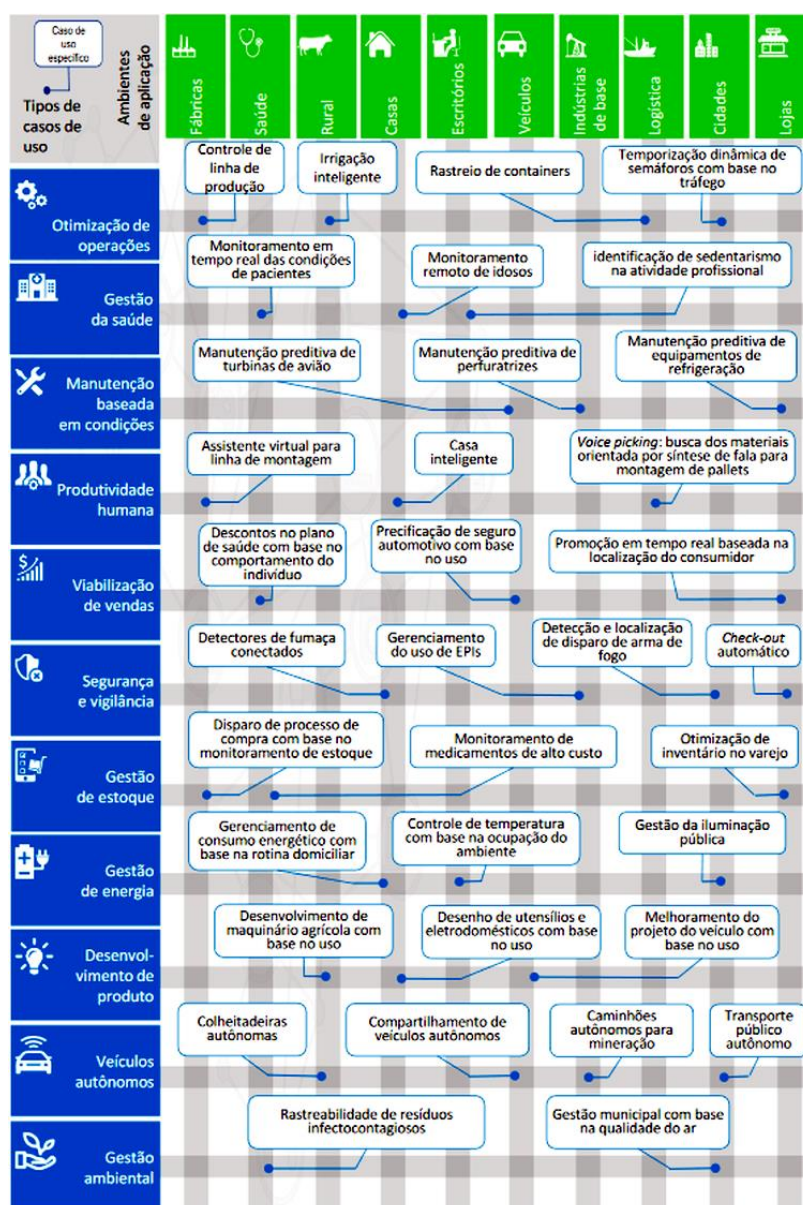
A Internet das Coisas traz muitas possibilidades e impulsiona as tecnologias móveis. As perspectivas de evolução são promissoras, a Internet tornou-se parte

fundamental da sociedade e trazê-la a vida cotidiana de maneira instantânea e intensa poderá ser realmente revolucionário.

A Internet das Coisas (IoT), desde o seu surgimento em meados de 2009, vem ganhando grande destaque no cenário das telecomunicações e desde então é considerada a revolução tecnológica que representa o futuro da computação e comunicação (Atzori et al, 2010).

Na Figura 3 é exposto um levantamento publicado pela Agência Brasil EBC onde podemos visualizar onde a Internet das coisas afetará o nosso cotidiano de uma maneira muito bem explorada e segmentada por áreas do conhecimento e de mercado (EBC, 2019).

Figura 3: Ecossistema IoT



Fonte: EBC, 2019

O embrião da Internet surge no final da década de 1960, com a criação da ARPANet. Uma rede vinculada ao Departamento de Defesa Norte Americano que objetivava interligar universidades e centros de pesquisas, com a missão de atingir uma superioridade tecnológica para fins militares frente à antiga União Soviética. Esta rede inicial mostrou-se efetiva, expandiu-se e com o avanço tecnológico foi recebendo novas configurações e finalidades de uso (Castells, 2009).

Após a difusão dessas redes por pesquisadores e usuários técnicos, em decorrência do aprimoramento das técnicas e da sua necessidade de uso surgem as redes em escala mundial interligando países e continentes.

A Internet é reconhecida como uma rede mundial de computadores. De fato, do ponto de vista técnico, é exatamente isso que ocorre. Ela não passa de um aglomerado de equipamentos interconectados fisicamente, com a função primária de transportar informações de um ponto ao outro. Já a *Wide World Web* (ou simplesmente *Web*), pode ser definida como um conjunto de aplicações que atuam em uma camada sobre a Internet. Esse conjunto de aplicações passou por várias fases de evolução diferentes (NIC.BR, 2011).

1ª Fase - Redes de Computadores: Desde o seu surgimento, para a realização de pesquisas nas universidades e centros especializados a Internet tinha como principal finalidade interconectar computadores, após a especificação da *World Wide Web* surgem os serviços comerciais e a popularização da Internet (Evans, 2011).

2ª Fase – Redes de Pessoas e Comunidades: Com o surgimento e a popularização dos PC's (*Personal Computer*), a *Web* passou a atender as necessidades voltadas a aplicações para interação entre as pessoas, como sites, buscadores de conteúdo, e-mails, ensino a distância, portais de notícias, comércio eletrônico, músicas on-line, vídeos on-line, computadores de mão, *smartphones*, e as redes sociais (Evans, 2011).

3ª Fase – Redes de Objetos e Dispositivos Inteligentes: Esta é a fase atual em transição, temos uma rede interligando vários objetos e sensores inteligentes, que ao “sentir” o ambiente ao seu redor coleta dados e os compartilha entre si e com as pessoas de uma maneira que facilite o dia a dia de alguma forma, modificando à nossa maneira de viver (Evans, 2011).

Partindo desse pressuposto da atual fase de evolução da Internet surge uma nova perspectiva para a utilização da infraestrutura de telecomunicações de dados

estabelecidos e já utilizados, os avanços ocorridos neste cenário buscam a extração e geração de dados de forma autônoma, através de “coisas” inteligentes, sem a necessidade da interação humana.

Além disso o compartilhamento desses dados através da Internet sendo assim, as possibilidades de aplicações são muito vastas e remetem a diversas questões.

2.2 Definindo a Internet das Coisas (IoT)

A Internet que conhecemos hoje atravessa uma de suas maiores e mais desafiantes revoluções tecnológicas, onde teremos cada vez mais objetos e dispositivos inteligentes interconectados, trocando dados a todo o instante através da sua interconexão (NIC.BR, 2011).

Este conceito é conhecido como a Internet das Coisas (do inglês: *Internet of Things - IoT*). O termo popularmente conhecido que denomina a atual fase de evolução da Internet, surge de fato em setembro de 1999.

Onde na ocasião sob uma tentativa despretensiosa em chamar atenção dos ouvintes de sua palestra Kevin Ashton do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) intitula sua apresentação como: *Internet of Things*. Nesta palestra Ashton abordaria uma nova ideia sobre o sistema RFID (*Radio Frequency Identification*) utilizado para a rastreabilidade de itens e produtos organizados numa cadeia de suprimentos.

Apenas em 2009, uma década após isso, Ashton escreve um artigo abordando de fato o tema sobre IoT em “*That 'Internet of Things' Thing*” (Ashton, 2009).

A fim de elucidar o tema verifiquemos algumas definições de autores conhecidos, o Quadro 1, extraído e adaptado de Mancini (2018), expõe alguns conceitos tratados na literatura:

Quadro 1 - Definições sobre Internet das Coisas (IoT) a partir de diversas fontes da literatura.

AUTORES	DEFINIÇÃO
ASHTON (2014)	<i>Um ponto de encontro entre as redes de comunicações humanas (Internet) e o mundo real das coisas, onde não mais apenas 'usaremos um computador', mas onde o 'computador se use' independentemente, de modo a tornar a vida mais eficiente. Os objetos – as 'coisas' – estarão conectados entre si e em rede, de modo inteligente, e passarão a "sentir" o mundo ao redor e a interagir. (ASHTON, 2014, p.6)</i>
LE MOS, (2013, p.239)	<i>É um conjunto de redes, sensores, atuadores, objetos ligados por sistemas informatizados que ampliam a comunicação entre pessoas e objetos e entre objetos de forma autônoma, automática e sensível ao contexto.</i>
ALZORI et al (2011, p. 2787)	<i>A ideia básica desse conceito é a presença generalizada à nossa volta de uma variedade de coisas ou objetos – como tags de identificação por radiofrequência (RFID), sensores, atuadores, telefones celulares, etc. – que, por meio de esquemas de endereçamento exclusivos, são capazes para interagir uns com os outros e cooperar com outros objetos para alcançar objetivos comuns.</i>
ETSI (ONEM2M) (2022)	<i>Comunicação máquina-máquina é a comunicação entre duas ou mais entidades que não precisam necessariamente de uma intervenção humana direta. Os serviços M2M pretendem automatizar o processo de decisão e comunicação.</i>
FRIEDWALD; RAABE (2011)	<i>Ubiquidade, computação pervasiva, ambiente inteligente e internet das coisas são conceitos praticamente idênticos. Ubiquidade é a contínua otimização e a promoção de processos sociais e econômicos por inúmeros microprocessadores e sensores integrados ao ambiente.</i>
EVANS (2011)	<i>A IoT é o momento exato em que foram conectados à Internet mais "coisas ou objetos" do que pessoas.</i>
GARTNER (2017)	<i>A "Internet das coisas" (IoT) é definida como a rede de objetos físicos que contém tecnologia embutida para se comunicar e sentir ou interagir com o ambiente externo ou com estados internos.</i>
MANCINI (2018)	<i>A Internet das Coisas proporciona aos objetos do dia a dia, com capacidade computacional e de comunicação, se conectarem à internet. Essa conexão viabilizará controlar remotamente os objetos, e acessá-los como provedores de serviços, e se tornarão objetos inteligentes ou smart objects. Os objetos inteligentes possuem capacidade de comunicação e processamento aliados a sensores.</i>

Fonte: Adaptado pelo autor (Mancini, 2018)

A nova fase de evolução da Internet tem a sua essência apoiada na Computação Ubíqua. Este termo foi criado por Mark Weiser, um cientista da computação que atuava como CTO (*Chief Technology Officer*) na *Xerox's Palo Alto*

Research Center (Parc) e descritos no artigo ***The Computer for 21st Century***, publicado em 1991 (WEISER, 1991).

No texto defendia uma visão de futuro em que os computadores seriam invisíveis e incorporados aos objetos do cotidiano, substituindo os PC's habituais, com base nisso afirma que:

Teremos a era da tecnologia calma, pois as tecnologias mais profundas são aquelas que desaparecem, elas tecem-se no tecido da vida cotidiana até serem indistinguíveis dele, onde elementos especializados de hardware e software ligados por fio e ondas de rádio, serão tão onipresentes que nem notaremos a sua existência (WEISER, 1991, p.1).

A proposta da Internet das Coisas consiste na ideia em que “coisas” colem, armazenem e compartilhem uma grande quantidade de dados, onde uma vez processados e analisados podem gerar uma gigantesca quantidade de informações e geração de serviços de forma autônoma através da Internet.

A ausência de um padrão global para a comunicação dos dispositivos IoT, bem como a segurança ainda preocupam, especialistas apontam que o que existe ainda é incipiente para que isso seja criado e aplicado (Mobiletime, 2022).

A definição da arquitetura para as aplicações voltadas ao cenário da Internet das Coisas não é uma tarefa muito simples. Isto ocorre devido à ausência de um padrão universalizado de protocolos de comunicação, bem como a diversidade de dispositivos físicos utilizados neste contexto.

Como define o Quadro 1, a IoT se refere a uma nova fase da Internet, constituindo-se um cenário onde objetos (coisas) e pessoas interconectem-se por meio da Internet remotamente compartilhando dados e informações.

Os dispositivos móveis estão a frente disso, e por meio deles através da sua interconexão com a Internet, as pessoas incorporam no seu cotidiano o ato de consumir informações precisas de todos os tipos, em qualquer lugar e a todo instante, e assim automatizando resolução de problemas e otimizando as atividades da vida cotidiana (CETIC.br, 2023).

Visando a expansão e desenvolvimento da Internet das Coisas no Brasil criou-se o Plano Nacional de Internet das Coisas, por meio do Decreto nº 9.854 (2019). Tal decreto estabelece, em seu artigo 2º, algumas definições importantes.

I - **Internet das Coisas** - IoT - a infraestrutura que integra a prestação de serviços de valor adicionado com capacidades de conexão física ou virtual de coisas com dispositivos baseados em tecnologias da informação e comunicação existentes e nas suas evoluções, com interoperabilidade;

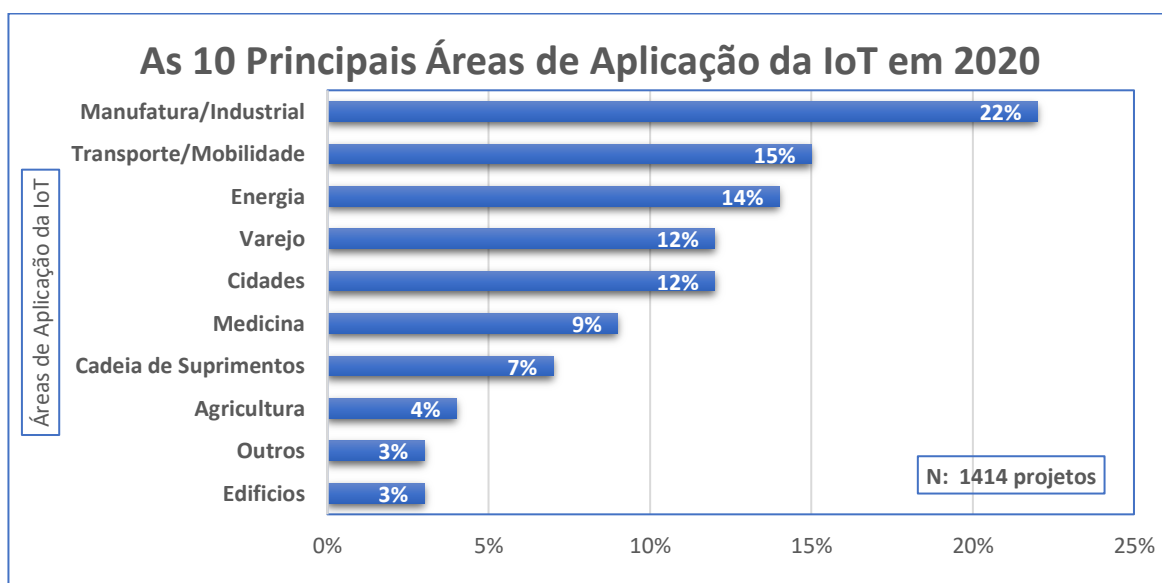
II - **Coisas** - objetos no mundo físico ou no mundo digital, capazes de serem identificados e integrados pelas redes de comunicação;

III - **Dispositivos** - equipamentos ou subconjuntos de equipamentos com capacidade mandatória de comunicação e capacidade opcional de sensoriamento, de atuação, de coleta, de armazenamento e de processamento de dados; (BRASIL, 2019, *web*, grifo nosso).

Com base nisso, é necessária a avaliação dessas tecnologias e onde melhor empregá-las objetivando a melhoria no cotidiano das pessoas, o Plano Nacional de Internet das Coisas propõe objetivos de suma importância. Podemos observar alguns desses objetivos, no artigo 3º, onde é mencionada a implantação de soluções de IoT a fim de melhorar consideravelmente a qualidade da vida das pessoas e por meio de parcerias público-privadas (BRASIL, 2019, *web*, grifo nosso).

As possibilidades de aplicação da IoT são amplas e com o passar dos anos se intensificam e expandem-se, na Figura 4 de *IoT Analytics* (2020) expõe as 10 áreas onde mais são aplicados os conceitos da IoT.

Figura 4: As top 10 áreas das aplicações da IoT



Fonte: Adaptado de *IoT Analytics* (2020)

Como expõe a Figura 4, a área Industrial desponta como a que contém mais aplicações da Internet das Coisas, neste contexto surge uma subárea onde aprofundam-se as especificidades e engajamento da Indústria 4.0 com a *IIoT* (*Industrial Internet of Things*).

Existem muitas possibilidades e inúmeras outras áreas que possuem grande potencial para receber investimentos e angariar os recursos onde o emprego da *IoT* pode e será muito promissor otimizando os recursos, automatizando os processos e melhorando consideravelmente o dia a dia das pessoas em seus meios.

Para elucidar o tema relacionamos algumas áreas e alguns exemplos de como melhor aplicar os conceitos das *IoT*:

- **Saúde:** monitorização de pacientes, onde pode ser constantemente vigiado as variações de indicadores vitais e a pronta notificação aos agentes de saúde como médicos e enfermeiros.
- **Logística e Transporte:** rastreamento de veículos e acompanhamento de entregas, monitoramento em tempo real de estoque e análise de fluxo de entrada e saída de produtos.
- **Agrícola:** Estações climáticas a fim de monitorar o clima, sensoramento do solo para a avaliação de variações importantes desde a umidade até indicadores químicos, podendo assim o agrônomo verificar os processos de plantio, como irrigação e evolução de pragas.
- **Meio Ambiente:** sensoramento de ambientes para a otimização e monitoramento visando a eficiência energética como iluminação de grandes áreas contribuindo para o melhor emprego dos recursos ambientais.

Ainda analisando a Figura 4, podemos verificar que muitas áreas importantes são carentes de recursos e investimentos para a pesquisa e o desenvolvimento de aplicações de *IoT*, como a área da saúde onde são tão vastas as possibilidades, bem como a agricultura, e até cidades inteligentes (*IoT Analytics*, 2020).

Mesmo com grande potencial ainda é preciso muito engajamento em pesquisas e desenvolvimento de soluções, fatos esses que estimularam o desenvolvimento deste projeto.

Com base nos dados expressos, existe um grande potencial de aplicações dos fundamentos da Internet das Coisas em diversas áreas, entretanto não devem ser

desprezados os inúmeros desafios que ainda precisam ser mais bem explorados e superados, como por exemplo a ausência de padrões universais de segurança, protocolos de comunicação, infraestrutura de redes, uma vasta gama de tipos diferentes de dispositivos físicos interconectados a Internet.

Segundo especialistas para que a Internet das coisas possa avançar de maneira consistente e segura é preciso estabelecer padrões globais de segurança e comunicação pois existe um crescimento da criação de novos dispositivos, mas não acompanha o mesmo alinhamento na geração de infraestrutura e segurança. (SECURITYREPORT, 2022).

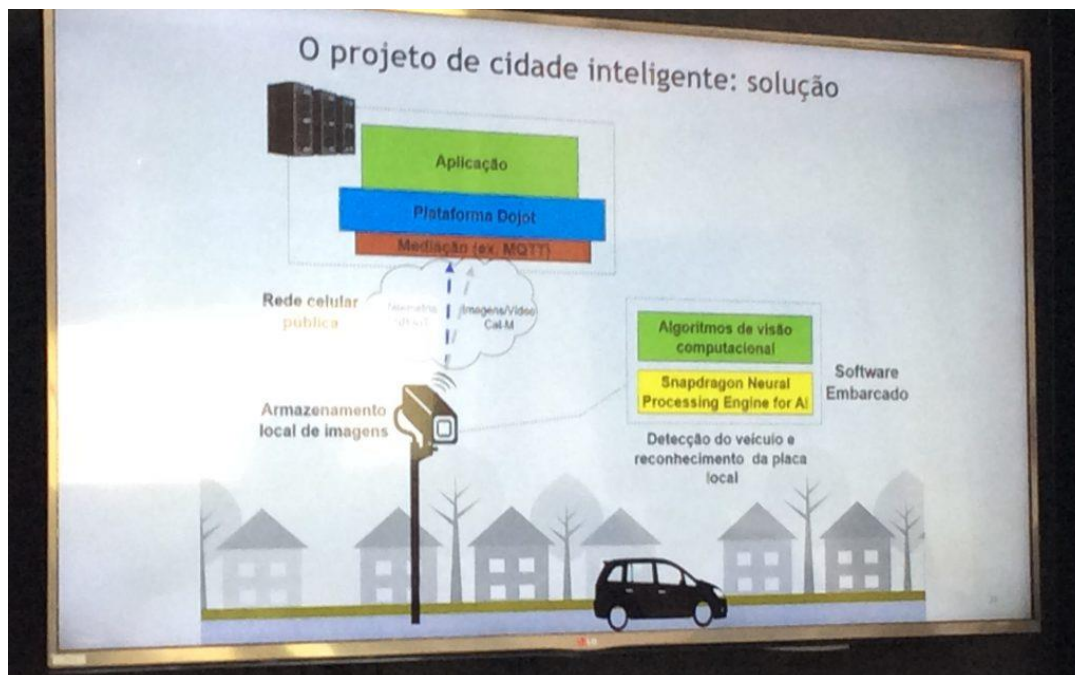
Não obstante, se alinhados aos avanços tecnológicos dos dispositivos móveis disponíveis atualmente, surge então uma nova revolução tecnológica na maneira das pessoas consumirem e compartilhar dados por meio de aplicações móveis, onde essas aplicações acessam um repositório de dados remotamente originados e gerados por objetos (“coisas”) e sensores interconectados a Internet.

Um dos maiores temas do século 21 foi justamente a mobilidade, mas não apenas o ato de poder fazê-la de maneira mais facilidade pelos meios de transporte, e sim pela capacidade de fazer quase tudo o que precisamos enquanto estamos em movimento com o uso das tecnologias móveis (BBC News, 2021).

Tais questões têm sido objeto de estudo de diversos eixos das tecnologias emergentes. Existe um alto investimento pelas grandes empresas de tecnologia, como Microsoft, Google, Intel, Qualcomm, dentre tantas outras. E o resultado disso é que inúmeras áreas podem se beneficiar das possibilidades da IoT.

A exemplo disso, a empresa Qualcomm possui um centro de referência de Internet das Coisas localizado na cidade de Sorocaba sob o intuito do desenvolvimento dessa tecnologia, na Figura 5 visualizamos o esquema do projeto proposto na ocasião (Mobiltime, 2018).

Figura 5 – Apresentação projeto Qualcomm IoT



Fonte: Mobiltime, 2018

2.3 Elementos da arquitetura básica da Internet das Coisas

Os fundamentos da Internet das coisas sustentam que a sua constituição tem como base a junção de diversas tecnologias cujo principal objetivo é a interconexão dos objetos presentes nos ambientes físicos com a Internet.

Tal conceito traz o pressuposto que os ambientes sejam monitorados constantemente por meio de sensores físicos trazendo o pressuposto em transformar esses ambientes em nuvens de dados disponíveis através da Internet.

Segue-se o mesmo princípio do que ocorre nas redes de computadores e especificamente na Internet, onde cada nó ou objeto conectado é identificado por um endereço IP¹(*Internet Protocol*).

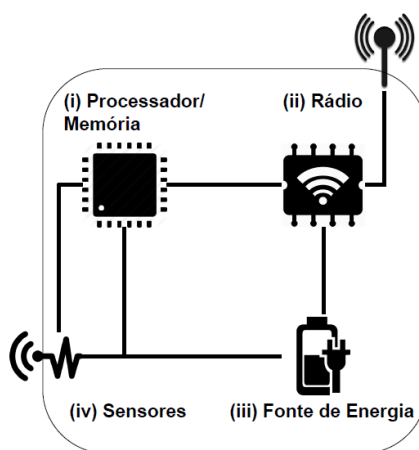
Dentre os elementos que constituem a arquitetura básica do IoT, podem ser elencados: i) processamento/memória, ii) comunicação, iii) energia e iv) sensores/atuadores. (Santos et al. 2016).

¹IP-*Internet Protocol* (Protocolo de Internet) número de identificação exclusivo atribuído a um dispositivo em uma rede. TECHTUDO, 2013.

Na Figura 6 podemos verificar a representação da arquitetura básica de um dispositivo aplicado a IoT e a interligação entre seus componentes, os quais serão descritos a seguir:

i. Processador/memória: Trata-se de um conjunto formado por uma memória interna para armazenamento de dados e os programas a serem executados. Um microcontrolador e um conversor analógico-digital responsáveis por receber os sinais dos sensores. As CPUs geralmente são as mesmas utilizadas em sistemas embarcados, com um baixo poder de processamento e são acompanhadas por uma memória externa auxiliar *flash*² onde os dados a serem obtidos pelos sensores são armazenados e quando necessário devidamente obtidos e processados (Santos et al. 2016).

Figura 6: Arquitetura dos Dispositivos IoT



Fonte: Santos et al. (2016)

ii. Comunicação (Radio): Para que ocorra a comunicação na Internet das Coisas entre os dispositivos é necessário ao menos um canal de comunicação com ou sem fio. Comumente são utilizados os meios sem fio de rádio de baixo custo e potência, em consequência disso também de curto alcance. Dentre as tecnologias mais comuns: Ethernet, WiFi, ZigBee, Bluetooth, 3G/4G. É de extrema importância a correta mensuração da comunicação devido ao alto consumo de energia de algumas tecnologias inviabilizando a sua operacionalização. (Santos et al. 2016).

²Memória Flash: Chip de memória de computador que mantém informações armazenadas sem a necessidade de uma fonte de energia. TECHMUNDO, 2012.

iii. Fontes de Energia: São responsáveis pelo fornecimento de energia ao objeto/dispositivo inteligente. Geralmente esta fonte de energia é oferecida uma bateria externa recarregável ou não, mas existem outras fontes como os adaptadores AC/DC interligados a rede elétrica. Também pode ser utilizada a energia gerada pela luz solar ou ainda obtida por meio da conversão de energia mecânica em energia elétrica (Santos et al. 2016).

iv. Unidades de Sensores/Atuadores: Os sensores realizam o monitoramento dos ambientes físicos via sensoramento contínuo ou alternado conforme a implementação. Estes elementos capturam os valores dos indicadores ambientais (grandezas físicas) como por exemplo, a temperatura, umidade, luminosidade, dentre muitos outros. Atualmente existem centenas de tipos de sensores. Já os atuadores são responsáveis por executar ações, como movimentos por servo motores, emissões sonoras, rotações, entre outros, podendo ser elétricos, manuais ou mecânicos (Santos et al. 2016).

Sob as perspectivas de aplicações das tecnologias empregadas no contexto da Internet das Coisas surgem as plataformas de hardware aberto onde são elaborados protótipos de diversos formatos e modelos de dispositivos microprocessados e microcontrolados alinhado a sensores, atuadores e captadores.

Essas plataformas ganharam incentivo a partir do surgimento do projeto Arduino criado por volta de 2002 por um grupo de pesquisadores na cidade de Ivrea na Itália visando a facilitação da montagem de circuitos eletrônicos com software embarcado (Embarcados, 2019).

A partir disso com o passar dos anos a prototipação desses dispositivos alinhados a um movimento mundial conhecido como “Do it yourself”, ou “Faça você mesmo”, ganha força e projetos sob essa perspectiva passa a fazer parte dos laboratórios de pesquisas escolares e acadêmicos.

Atualmente esse processo de prototipagem de coisas interativas a partir de dispositivos eletrônicos microcontrolados recebe o nome de “Movimento Maker” onde qualquer pessoa com pouco ou nenhum conhecimento em tecnologia pode experimentar e engajar-se na criação de projetos eletrônicos interativos (Embarcados, 2019).

A iniciativa Arduino evolui e deu suporte a outras plataformas sob a mesma proposta e fez com que novas possibilidades ainda mais inovadoras surgissem e

subsidiassem os avanços dos conceitos e possibilidades de aplicações em torno da IoT (SOUZA, 2018).

Sendo uma de suas principais propostas a captação autônoma de dados com o uso de dispositivos microcontrolados alinhado a sensores de diversos tipos e o compartilhamento desses dados com outros dispositivos e plataformas ambos interconectados a Internet.

2.4 Mídias Locativas

Na IoT, as mídias locativas são elementos essenciais presentes na sua arquitetura que dão suporte a implementação das soluções baseadas na captura de dados baseadas em locais (*location-based*). Uma das formas de uso mais comuns dessas mídias são as balizas (*beacons*) que atuam como marcadores de locais ou objetos específicos encontrados em ambientes físicos.

Para elucidar o conceito Santaella (2008, p.32) refere-se as mídias locativas como: “um campo em que a localização de pessoas e objetos pode ser usada pelas máquinas para derivar informação contextual com a qual dão assistência aos usuários”.

Outra forma bem comum de aplicação desses sensores se dá pela emissão de dados sobre variáveis ambientais de diversos tipos, como, por exemplo, temperatura, umidade, pressão, luminosidade e outros.

Uma das maneiras mais conhecidas de interconectar-se com esses sensores é por meio da tecnologia *Bluetooth 4.0 LE*, com baixo consumo de energia e de fácil compatibilidade com dispositivos móveis. Segundo Lemos (2013), o conceito de Mídias Locativas pode ser descrito da seguinte forma:

São tecnologias de comunicação e informação bem como os serviços correlatos baseados na localização dos dispositivos. A utilização dos serviços oferecidos por essas mídias, já são bem corriqueiros como navegação automotiva com GPS, anotação eletrônica com QR Codes ou etiquetas RFID, comunicação via *bluetooth*, objetos autônomos tomando decisões ligados a outros pela Internet (Lemos 2013, p. 201).

Além dos *beacons*, existem outros inúmeros tipos de mídias locativas, como, por exemplo, RFID, GPS e QRCode. Todos são bem aplicáveis e primordiais para viabilizar a implementação dos projetos fundamentados nos conceitos da Internet das Coisas.

2.4.1 Beacons

Beacons é o nome para a tecnologia de *indoor proximity system* ou “sistema de proximidade em ambientes fechados”, que permite localizar objetos (ou as pessoas que carregam esses objetos) com muito mais precisão, dentro de ambientes fechados (TEIXEIRA, 2014).

Os *Beacons* são aparelhos que utilizam a tecnologia denominada *Bluetooth Low Energy* ou BLE, que permite que aplicativos *mobile* recebam sinais do mundo físico e reaja com estes. Esta tecnologia foi criada para transmitir pequenas quantidades de dados por meio de ondas de rádio em distâncias definidas. As informações são reconhecidas por smartphones e podem ser usadas para acionar mensagens em formato *push* ou ações de um aplicativo. Um *Beacon* padrão tem capacidade de transmissão de até 100 metros, ideal para rastreamento de localização interior (ALMEIDA, 2014).

2.4.2 Bluetooth

De acordo com Velloso (2014), *Bluetooth* é a tecnologia que permite uma comunicação simples, rápida, segura, barata e sem fio entre computadores, smartphones, tablets, fones de ouvido, etc. Esta denominação advém do apelido dado ao rei da Dinamarca no século X, Harald Batland, que tinha dentes azulados e unificou os reinos nórdicos da Dinamarca e da Noruega. Neste sentido, o termo “*Bluetooth*” foi adotado como uma terminologia da informática como sinônimo de unificação.

Para Castelo (2014), *Bluetooth* é uma rede sem fio constituída por dispositivos de baixo consumo de energia e com alcance de 50 a 100 metros, operando na faixa de 2.4GHZ (*gigahertz*). Para serem utilizados, os dispositivos *Bluetooth* precisam de pareamento, um processo de autenticação entre os dispositivos. Isto permite que eles se reconheçam e, assim, que ocorra a comunicação.

Com um dispositivo se comunicando via *Bluetooth*, o usuário pode tanto receber quanto transmitir dados (modo *full-duplex*). A transmissão é alternada entre *slots* para transmitir e *slots* para receber, gerando um esquema denominado *FH/TDD* (*Frequency Hopping/Time Division Duplex*) (ALECRIM, 2008).

A velocidade de transmissão de dados no *Bluetooth* é relativamente baixa. Até a versão 1.2, a taxa alcançava, no máximo, 1 Mbps (megabit por segundo). Na versão

2.0, este valor passou a alcançar até 3 Mbps. Embora estas taxas sejam curtas, são suficientes para uma conexão satisfatória entre a maioria dos dispositivos. Todavia, a busca por velocidades maiores é constante e, como prova, a versão 3.0 é capaz de atingir taxas de até 24 Mbps (ALECRIM, 2008).

A primeira versão (1.2) foi lançada em 1999 e, atualmente, o *Bluetooth* encontra-se na versão 4.0, a qual atinge a mesma velocidade da versão 3.0, 24Mbps. Focado na economia de energia, a nova versão exige muito menos eletricidade quando o dispositivo está ocioso, recurso especialmente interessante, por exemplo, para telefones celulares que consomem muita energia quando o protocolo permanece ativado, mas não em uso (ALECRIM, 2008).

2.5 As “Coisas” da Internet das Coisas (parafraseando Ashton)

Em síntese, a Internet das Coisas (IoT) trata-se da junção de diversas tecnologias com o objetivo de interconectar objetos (coisas) dos ambientes físicos integrando-os aos meios digitais sob o intuito de extrair dados e compartilhá-los com outras pessoas e objetos remotamente através da Internet. (FINEP, 2014, p.6).

Tal processo ocorre por meio de sensores acoplados a dispositivos microcontrolados que coletam e processam dados e os compartilham com pessoas e outros dispositivos através da Internet.

Para essa aplicação atualmente estão disponíveis uma vasta gama de modelos de microcontroladores e uma infinidade de tipos de sensores ativos e passivos que podem extrair indicadores ambientais ou executar ações de diversos tipos. (EMBARCADOS, 2018).

Tais dispositivos trazem consigo as funcionalidades necessárias para a obtenção de uma grande quantidade de dados de forma autônoma sem a necessidade de interação humana.

Com base nisso, se apoiando nos fundamentos da IoT esse conjunto de dados obtidos visam auxiliar a tomada de decisões autônoma, no planejamento e previsão de demandas com base nos hábitos de consumo, comportamentos, utilização de serviços ou até mesmo dados referente a anatomia e marcadores biológicos dos indivíduos interconectados a Internet. (EBC, 2019).

Esses dados podem ser captados de diversas formas, por sensores disponíveis nos ambientes físicos ou até mesmo acoplados ao corpo ou ainda por aplicações como os navegadores de Internet e aplicativos específicos.

Comumente, esses dados são armazenados em *Data Warehouse*, um depósito central de dados utilizados para armazenagem de dados projetados para análises de dados, onde o principal intuito é a leitura, filtragem e processamento de grandes quantidades de dados buscando estabelecer relações e tendências entre eles. Atualmente essas análises são expostas aos conceitos de Aprendizado de Máquina e Inteligência Artificial (META, 2023).

Sempre ao mencionar a IoT remete-se a um cenário onde estão presentes às tecnologias de captação e compartilhamento de dados através de um meio de comunicação, mas é preciso considerar que tais dispositivos podem atuar no acionamento e desativação de outros dispositivos acoplados a eles, em uma cadeia de automação sem precedentes (Santos et al. 2016).

Atualmente, estão disponíveis no mercado várias plataformas, complexos dispositivos de hardware e sensores capazes de, em conjunto, realizar as tarefas de captação, coleta, transmissão e atuação.

Pela sua facilidade de uso, popularidade e suporte, os microcontroladores mais utilizados são o Arduíno, o Raspberry Pi e o ESP32, descritos nos tópicos 2.6 e 2.7.

2.6 Plataforma Arduíno

Arduíno é uma plataforma de hardware aberto amplamente reconhecida e utilizada, basicamente trata-se de uma placa de circuitos desenvolvida sob o intuito da prototipação de dispositivos eletrônicos. Tem como base o conceito de livre programação (*Open Source Hardware*), onde estão presentes componentes de fácil adaptação, reutilizáveis e principalmente sob um custo acessível (CULKIN, 2018).

Sua estrutura base, é composta por uma placa única de circuitos com comunicação externa I/O (Input/output) digitais e analógicas interconectados a um microcontrolador programável de 8 bits Atmel AVR, um ambiente de desenvolvimento e um *bootloader* (gerenciador de inicialização) já gravado no microcontrolador (ARDUINO, 2019).

A abordagem de prototipação mais comum e conhecida pela maioria dos utilizadores é a que envolve a *Protoboard* a fim de elaborar um ambiente de experimentação e testes. A protoboard consiste numa placa plástica de ensaios onde não é necessária a soldagem dos componentes para a sua devida utilização (CULKIN, 2018).

A interconexão é feita quando os componentes espetados nas furações e unidos por um barramento metálico que faz a corrente elétrica trafegar entre os polos fazendo a ponte entre o microcontrolador em suas portas digitais e analógicas e os sensores e componentes diversos.

Assim torna-se possível a montagem de dispositivos sem a necessidade de soldagem dos componentes utilizados, isso facilita muito o processo de prototipação permitindo um melhor aproveitamento dos recursos utilizados e a reutilização em outros projetos reduzindo muito o desperdício de recursos (CULKIN, 2018).

O projeto original do Arduino foi criado em 2005 por um grupo de 5 (cinco) pesquisadores: *Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino e David Mellis* (EMBARCADOS, 2023).

O objetivo era elaborar um dispositivo com um bom custo-benefício, funcional e fácil de programar, sendo dessa forma acessível a estudantes e projetistas amadores (RITO, 2017), o Arduino Serial é mostrado na Figura 7:

Figura 7 – Placa Arduino Serial



Fonte: Embarcados, 2023

O Arduino Serial foi a primeira versão lançada em 2005, utilizava a interface RS232 e necessitava de alimentação externa através de plug Jack para o seu funcionamento. Atualmente temos uma versão bem mais atualizada do Arduino sendo a versão mais reconhecida para iniciar na plataforma o modelo Uno R3, bem similar ao “primogênito” Serial (EMBARCADOS, 2023).

Na Figura 8 pode-se visualizar a disposição dos componentes na placa de modelo: Arduino Uno R3.

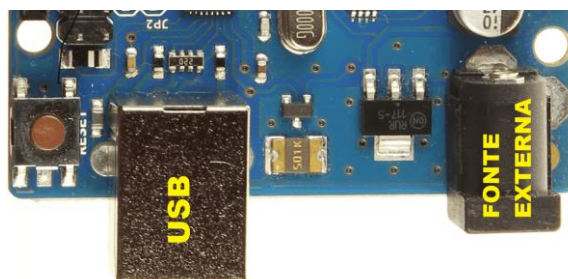
Figura 8 – Arduino Uno R3



Fonte: Arduino, 2023

Ressaltando as características das versões mais atuais, mais especificamente da placa Arduino Uno R3, na Figura 9 ilustra-se a alimentação de energia da placa, na Figura 10, os conectores de alimentação e na Figura 11 as entradas e saídas para comunicação externa analógicas e digitais (ARDUINO, 2019).

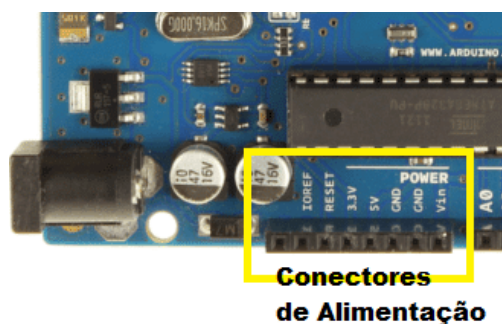
Figura 9 - Alimentação da placa Arduino UNO



Fonte: Embarcados, 2023

A fonte de alimentação externa é feita por conector jack com um pino central onde a tensão deverá variar entre os limites de 6v a 20v, recomenda-se uma tensão entre 7v a 12v.

Figura 10 – Conectores de alimentação Arduino



Fonte: Embarcados, 2023

Conforme observa-se na Figura 10 o Arduino Uno R1 contém os conectores de alimentação para defini-los relacionamos os temas de identificação sobre cada um deles.

IOREF – Fornece uma referência de tensão para que as shields possam identificar a tensão em que o microcontrolador trabalha.

RESET – Este pino oferece uma comunicação para que um dispositivo externo possa provocar um RESET.

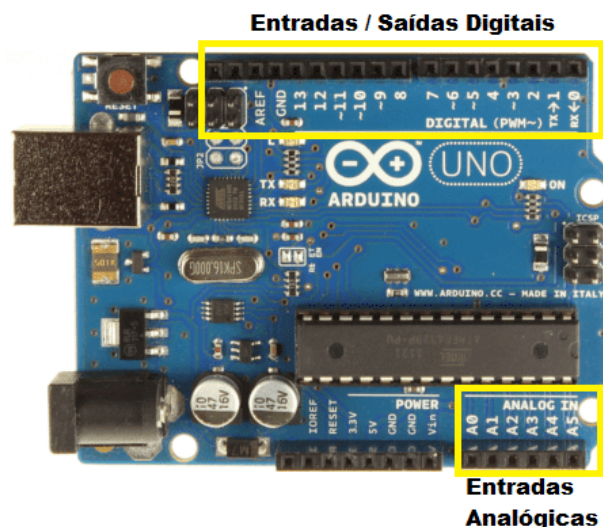
3,3 V. – Fornece a tensão de 3,3v de operação a alimentação de outros dispositivos como sensores e shields.

5 V – Fornece a tensão de 5v de operação a alimentação de outros dispositivos como sensores e shields.

GND – Pino terra.

VIN – pino para a alimentação da placa por meio externo como shileds, baterias ou algum outro meio alternativo de energia.

Figura 11 – Entradas/Saídas Digitais e Analógicas



Fonte: Embarcados, 2023

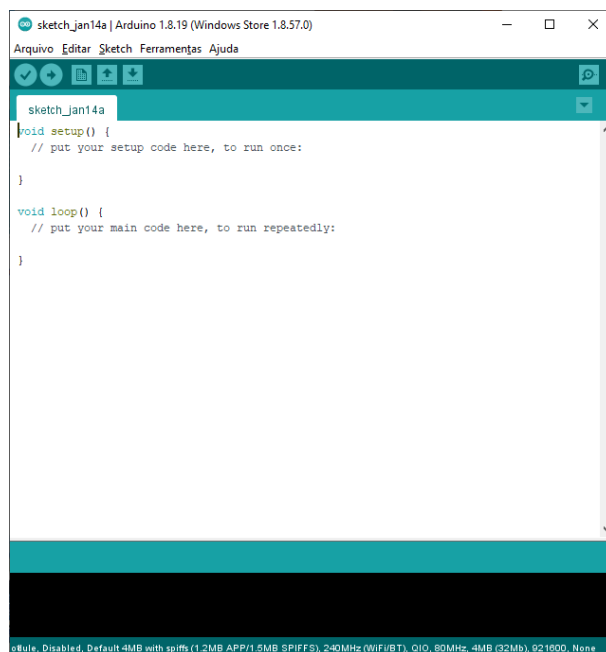
As Entradas e Saídas também reconhecidas como I/O (*Input/Output*) são utilizadas para a interconexão com dispositivos externos como sensores, controladores e atuadores, são 14 pinos de I/O digitais e 6 analógicos que podem ser destinados para diversos usos (ARDUINO, 2019).

Além da interface de Hardware existe também a interface de Software para que seja possível embarcar o programa que será responsável por operacionalizar o microcontrolador a gerir e controlar os dispositivos interconectados a placa (CULKIN, 2018).

Para que seja possível e a gravação do software na ROM do microcontrolador é necessária uma comunicação serial via USB com um PC que contenha um sistema operacional e uma IDE (*Integrated Development Environment*) para a plataforma Arduino.

Além da IDE existe uma linguagem a qual foi instituída para que seja possível a escrita do programa, neste caso é a Linguagem C++. Na figura 12 é possível verificar um exemplo de uma captura de tela da IDE Arduino (CULKIN, 2018).

Figura 12: IDE Arduino



Fonte: Acervo pessoal, 2023

A IDE é um software que proporciona ao desenvolvedor um ambiente integrado de desenvolvimento onde pode escrever, validar e compilar o código fonte para a geração do programa que será embarcado no microcontrolador. Pela própria IDE é possível acionar o compilador e verificação do código fonte. (Arduino.cc, 2023).

Além disso a IDE proporciona o acionamento da submissão do programa para a placa, existem outras diversas funcionalidades dispostos em menus de opções e botões de acesso rápido, dentre elas definir o local onde será salvo o arquivo ou até mesmo recuperá-lo. No ato da compilação ou verificação da sintaxe do código fonte o andamento da operação pode ser visualizado no console disposto na parte inferior da tela (Arduino.cc, 2023).

Basicamente a IDE é subdividida em três partes, onde no topo tem-se a barra de menus e botões, ao centro a área de código ou *Sketch Window* e na parte inferior a área de status e mensagens (Arduino.cc, 2023).

Para ilustrar a codificação de um exemplo para plataforma Arduino em C++ segue um dos modelos de código mais simples, o *Hello World* do Arduino, o blink, onde o objetivo principal é fazer piscar um led difuso, nesta ocasião utiliza-se um led já presente na própria placa para realização de testes e alguns status de controle.

2.6.1 Código Fonte

```

/*
Blink
Turns on an LED on for one second, then off for one second, repeatedly.
This example code is in the public domain.
*/

// Pin 13 has an LED connected on most Arduino boards.
// give it a name:
int led = 13;

// the setup routine runs once when you press reset:
void setup() {
  // initialize the digital pin as an output.
  pinMode(led, OUTPUT);
}

// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() {
  digitalWrite(led, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(1000); // wait for a second
  digitalWrite(led, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(1000); // wait for a second
}

```

2.6.2 Analisando o Código Fonte

Assim que o código fonte for escrito na janela de codificação é necessário o acionamento da verificação do código com o botão “verificar” ou simplesmente o “enviar” que executará ambas as funcionalidades de verificar, compilar e submeter para embarcar no microcontrolador.

A estrutura do código fonte do *sketch* é formada por duas partes principais o “*setup*” e o “*loop*”. Onde o “*setup*” é executado apenas uma vez, este bloco é frequentemente utilizado para configurações e inicializações, em seguida passa a execução para o “*loop*” bloco o qual é escrito o algoritmo propriamente dito.

E nele permanece enquanto a execução perdurar, isso é, até que o microcontrolador seja reiniciado ou seja interrompido o fornecimento de energia.

Seguimos com os trechos do código fonte de forma a detalhá-los:

Na linha 1 é declarada a variável `led` do tipo “`int`” e inicializada com o valor inteiro 13. A partir da linha 2 temos o bloco `setup` configurando o pino que será acionado o led difuso para o pino 13 com a operação de “`output`”.

Na linha 5 o bloco “`loop`” inicia por meio da função “`digitalWrite`” o programa aciona o pino 13 e escreve o valor “1” ou “`true`” por meio da constante “`HIGH`”. Em seguida a função “`delay`” provoca uma espera de 1 segundo, sucessivamente na linha 8 novamente com a função “`digitalWrite`” escreve-se o valor “0” ou “`false`” no pino 13 por meio da constante “`LOW`”. Por fim na linha 9 a função “`delay`” provoca mais uma espera de 1 segundo e assim segue-se o bloco “`loop`” em execução infinitas vezes.

Estas são as principais características e especificidades da plataforma Arduino, delimitando-se a exploração ao modelo Arduino Uno R3, mas a plataforma conta hoje com outras diversas versões, onde variam a capacidade de processamento, quantidade de pinos, tamanho e finalidade. Existe até um seguimento conhecido como Arduino PRO, visando aplicações voltadas a atividades mais robustas como a industrial por exemplo.

2.7 Raspberry Pi

Diferentemente da plataforma Arduino, o Raspberry Pi não se limita a uma placa de prototipação acoplada a um microcontrolador com portas I/O, este segue uma abordagem diferente conhecido como computador de uma única placa do inglês: *single board computer*. (RASPBERRY PI TRADING LTD, 2021).

Tal abordagem traz uma roupagem de um microcomputador potente de placa única, ou seja, em uma só placa de circuito, possuindo, nativamente, conexão Ethernet, porta USB, armazenamento em cartão micro SD e saída HDMI.

Possui uma CPU (do inglês, *Central Process Unit*) com tecnologia Broadcom BCM2711, Quad core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC 1.8GHz, memória RAM com a capacidade entre 1 e 8 GB e, possui também uma saída de vídeo, com um processador gráfico permitindo a reprodução de imagens em *Full HD* (RASPBERRY PI TRADING LTD, 2021).

O Raspberry Pi é apresentado em diversas versões, tem o tamanho físico de pequenas proporções (aproximadamente 10 cm) mas com a capacidade de processamento e recursos equiparados a um computador pessoal comumente encontrados no mercado.

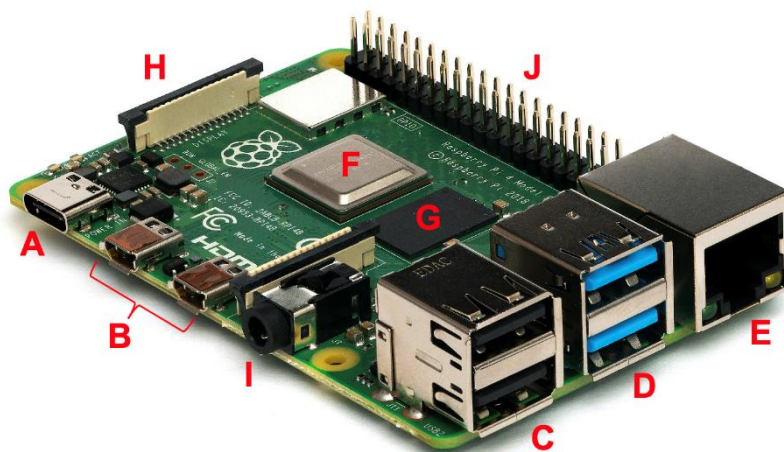
O hardware é customizável e totalmente adequado para a utilização em processos de controles de diversos níveis de complexidade e operacionalidade, podendo variar de uma mera obtenção e geração de grupos simples de dados a monitoramento de robôs e equipamentos presentes em ambientes industriais.

Seu funcionamento tem como base a instância de um sistema operacional (SO) armazenado em mídia cartão SD, após o seu carregamento ou *boot* como é conhecido este processo, o SO passa a gerenciar o hardware e exercer as funções de um microcomputador, equipara-se ao funcionamento de um computador convencional

executando as mais diversas tarefas como acesso à Internet, execução de processadores de texto, planilha de cálculo dentre tantas outras funcionalidades.

O site oficial da Fundação Raspberry Pi (<https://www.raspberrypi.org/>) disponibiliza vários sistemas operacionais. A Figura 13 apresenta um modelo de Raspberry Pi.

Figura 13. Raspberry Pi 4 modelo B.



A. USB C para alimentação; B. Entradas HDMI; C. USB 2.0; D. USB 3.0; E. Entrada Ethernet; F. Processador; G. Memória RAM; H. Entrada micro SD; I. Saída de áudio; J. Pinos de conexão de entrada/saída de dados dos sensores.

Fonte: Raspberrypi, 2023

2.8 ESP32

Projetado pela Espressif Systems em 2016, o microcontrolador ESP32 é uma evolução das versões iniciais do ESP8266, é baseado arquitetura Xtensa LX6, é um dos controladores mais robustos do mercado, por possuir um processador de alta velocidade de processamento, acessibilidade e conectividade, fortalecida pela conexão sem fios (*wifi*) e múltiplos sensores embutidos, acaba sendo muito utilizado em diversos tipos de protótipos da Internet das Coisas (KOLBAN, 2018).

O processador presente no dispositivo pode ser apresentado como *single* ou *dual-core* (dois núcleos físicos de processamento) de 32 bits, com a frequências de *clock* de até 240 MHz, além do maior poder de processamento a capacidade de armazenamento pode ser o dobro do encontrado nas versões mais conhecidas do Arduíno (IBRAHIM, 2017).

Além do processador de alta velocidade inclui recursos como, 34 pinos de entrada/saída, 18 canais ADC (conversor analógico-digital), 2 DACs (conversor digital-

analógico), 3 UARTs (transmissão assíncrona de dados), 2 I2C (comunicação serial síncrona), 2 SPI (interface serial periférica), 16 canais PWM (modulação por largura de pulso) e muito mais (KOLBAN, 2018).

Um fator importante é que o ESP32 possui uma grande quantidade de memória, incluindo 520 KB de SRAM e 4 MB de memória flash. Isso permite que ele execute aplicativos complexos e armazene grandes quantidades de dados. (KOLBAN, 2018).

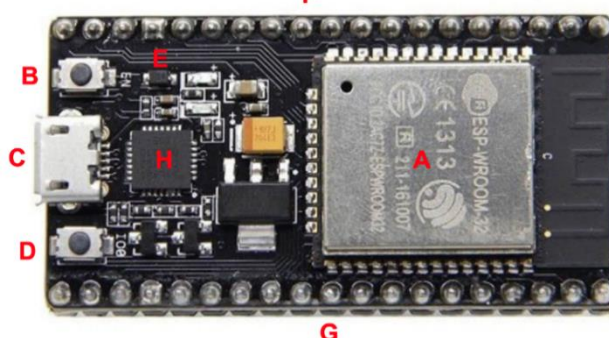
O dispositivo é amplamente utilizado em projetos de IoT, pode ser aplicado de diversas formas e em diversos cenários como no monitoramento remoto, sistemas de automação residencial, dispositivos *wearables*, robótica dentre outros. Atualmente é amplamente estudado e adotado por uma grande comunidade de desenvolvedores e possui uma ampla variedade de bibliotecas e ferramentas disponíveis para facilitar o desenvolvimento de projetos. (CURVELLO, 2018).

O dispositivo, apresenta excelente conectividade, com acesso a redes de transmissão sem fio, através de ondas de rádio, representadas pelo protocolo *bluetooth* e o *wifi*. (CURVELLO, 2018).

A programação pode ser realizada em diversos softwares compatíveis, inclusive a linguagem C/C++, que pode ser desenvolvida no programa *Software Development kit* (SDK) e, por apresentar uma robusta conectividade sem fio pode ser programado remotamente.

Na Figura 14 é possível visualizar o modelo ESP-WROOM-32, este modelo destaca-se por possuir o módulo WiFi integrado, tamanho reduzido e alto poder de processamento. (ESPRESSIF, 2020).

Figura 14. Modelo ESP-WROOM-32



Fonte: Acervo Pessoal, 2023

A. Processador; B. Botão de reset (EM); C. Porta Micro USB; D. Botão boot (permite a gravação de dados); E. LED de alimentação; F. Pinos de entrada/saída digital; G. Pinos de entrada/saída analógica; H. Gerenciador da comunicação USB.

2.9 Sensores e atuadores

Os sensores são dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente como por exemplo térmica, luminosa ou cinética, podendo ser mensuradas e transformadas em alguma grandeza física, temperatura, pressão, velocidade etc. (THOMAZINI, 2005).

Tais grandezas são convertidas e transformadas em dados em formato digital onde são armazenados e manipulados por aplicações de softwares.

Com o advento da popularização e avanço das tecnologias móveis os sensores são amplamente adotados como recursos para as mais variadas aplicações e projetos no âmbito da Internet das Coisas (AQUINO, 2015).

São também itens indispensáveis nos dispositivos móveis, onde oferecem grande suporte ao uso desses dispositivos onde estão presentes os mais variados tipos como altímetro, osciloscópio, termômetro, proximidade dentre tantos outros.

Juntamente com os dispositivos móveis estão as placas microcontroladoras, como o Arduíno e ESP32, que são de baixo custo, permitindo a criação dos mais variados projetos, onde os sensores podem utilizar meios de captura mecânicos, elétricos, ópticos, entre outros (CURVELLO, 2018).

Nesta abordagem os sensores são usados para quantificar ou qualificar aspectos de um sinal, mensurando seus valores físicos, formados geralmente por componentes eletrônicos baseados em células sensíveis com capacidade de detecção de temperatura, pressão, presença de gás, luminosidade, variação de cor, e afins (AQUINO, 2015).

Após o processo de detecção, o sensor gera uma saída de informações em formato digital, que pode ser recebido por um circuito acoplado, que por sua vez faz uso dessa informação digitalizada.

2.9.1 Características dos sensores:

Para a devida explanação os itens a seguir caracterizam e detalham as diversas formas de funcionamento dos sensores.

- a) **Resolução:** Trata-se da menor medida que um sensor é capaz de representar em sua captura, a propriedade que indica a menor alteração que o sensor pode capturar, relaciona-se com a precisão que a medição é feita (FRANÇA, 2006).
- b) **Sensibilidade:** Representa a menor mudança de intensidade em uma unidade de medida que o sensor pode detectar ou seja, a menor variação de valores que mede, onde possa causar uma alteração significativa do valor de saída. A maneira em que se acomete a sensibilidade depende tanto do que é mensurado quanto do tipo de sinal que é convertido na saída. O processo da sensibilidade pode variar dependendo da faixa de valores, ou seja, um sensor pode ser mais sensível numa faixa e menos sensível em outra. O sinal de entrada físico e o sinal de saída elétrico define como procederá a sensibilidade de um sensor (SALES, 2016).
- c) **Precisão:** Deriva da obtenção da diferença entre o valor medido e o valor real. Ou seja, expressa a maior taxa de erro esperado entre o sinal de saída e real e o que se acredita ser o ideal. A precisão indica o valor da exatidão, em porcentagem, em relação ao valor exato, isto é, informa variação que o instrumento pode registrar (SALES, 2016).

Os sensores podem ser definidos como um dispositivo que contém um circuito eletrônico análogos a transdutores, sendo subdivididos em dois grupos os que capturam sinais analógicos e os digitais (BROCK, 2001).

2.9.2 Sensores Analógicos

Dispositivos capazes de detectar continuamente uma grandeza física, lidam com sinais que possuem valores entre dois limites. São utilizados para mensurar dados como temperatura, velocidade, pressão, deslocamento, tensão e as demais medidas analógicas (BROCK, 2001).

2.9.3 Sensores Digitais

Estes dispositivos atuam com a conversão de valores capturados sobre grandezas físicas e transformando-os no estado binário representados pelos bits 0 e 1, análogos ao falso e verdadeiro, ou ainda, desligado e ligado (BROCK, 2001).

Existem diversos tipos de sensores, dentre os mais utilizados e conhecidos destacam-se:

- **Infravermelho:** detecta o calor dos corpos (energia infravermelha).
- **Ultrassônico:** com o mesmo princípio do sonar, mede o intervalo de tempo entre um impulso sonoro emitido e o retorno do eco recebido, calculando a distância de um alvo em movimento.
- **Micro-ondas:** identifica o movimento de um objeto ao enviar ondas de rádio e medir o retorno deste sinal.
- **Indutivos:** detecta a presença de objetos metálicos através de um campo eletromagnético.
- **Sensores capacitivos:** permite a detecção de deslocamento de objetos metálicos e não metálicos; são altamente precisos.
- **Sensores fotoelétricos:** utiliza o processo de emissão e recepção de luz para a detecção de presença ou a ausência de um alvo, muito usado para detecção de longa distância.
- **Sensores de gases:** detecta a presença e a concentração de gases em determinado ambiente, como o dióxido de carbono, metano, monóxido de carbono, óxido de nitrogênio, oxigênio e ozônio.
- **Sensores de nível:** desenvolvido a base de um resistor variável, de modo que a resistência muda de acordo com o nível de água, é usado para determinar o volume de líquidos.

Os fundamentos da tecnologia da IoT sustentam que, objetos ou coisas colem dados dos ambientes físicos e os compartilhem com outros objetos e pessoas, nesta ocasião, com a aplicação dos sensores que por sua vez colem os dados e os microcontroladores gerenciam estes sensores por meio da interconexão física gerenciando o acionamento e captura dos dados lidos por esses sensores (ORACLE, 2020).

Os projetos de IoT são um cenário perfeito para o emprego de sensores de diversos tipos. Para que um sensor possa ser utilizado em um dispositivo IoT, como já supracitado, é necessária a sua interconexão com um dispositivo microcontrolado através de portas de comunicação e os pinos presentes no sensor (ORACLE, 2020).

A utilização do Arduino, por exemplo, é uma das abordagens mais corriqueiras em projetos experimentais de IoT, onde pode-se criar diversos ensaios de protótipos com os mais variados tipos de sensor. A figura 15 mostra um esquema onde os pinos do sensor estão conectados à porta digital e de alimentação de energia de um Arduino que irá receber os valores de temperatura e umidade relativa do ar:

Figura 15. Arduino Uno x Sensor DHT22

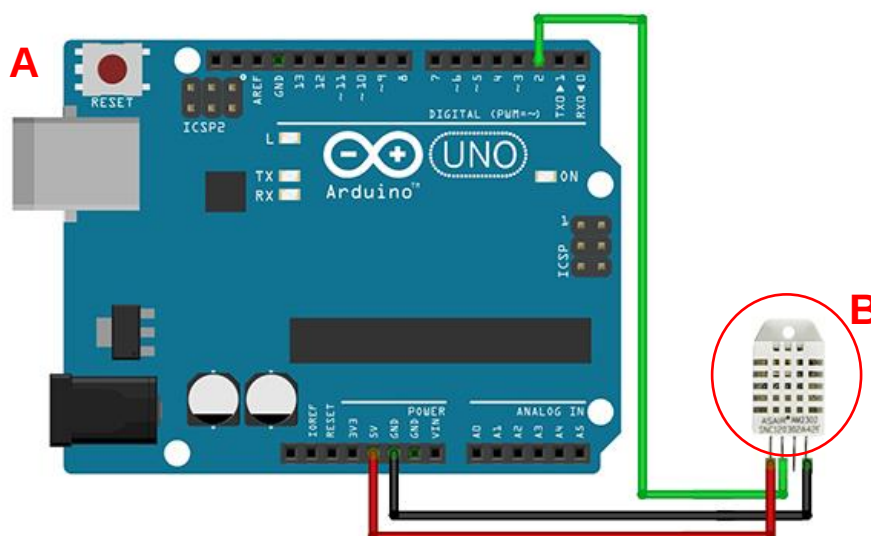


Figura 15. Sensor de temperatura e umidade (DHT22) conectado ao controlador Arduino. **A.** Arduino; **B.** Sensor DHT22 de temperatura e umidade do ar.

Fonte: Electropeak, 2023 (adaptado)

Por fim, os dispositivos atuadores convertem os sinais de corrente ou voltagem em sinais fisicamente úteis como movimento, luz, som, força ou rotação, entre outros. Existem diversos tipos de atuadores como por exemplo, motores de passo, buzzers, servomotores, diodo de LED.

2.9.4 Tipos de Atuadores

Dentre os mais diversos tipos de atuadores existem os que são mais empregados nos projetos de IoT, nos itens a seguir segue uma breve definição sobre eles.

2.9.4.1 Elétricos

Realizam a conversão da energia elétrica em energia mecânica, podem ser aplicados de diversas formas, como por exemplo, para movimentar um determinado controle ou ainda funcionando como uma chave interruptora em operações realizadas à distância ligando e desligando um equipamento elétrico, garantindo inúmeras aplicações. Geralmente trabalha em conjunto a um equipamento de controle e posicionadores (BRITO, 2017).

2.9.4.2 Hidráulicos

Transformam a energia decorrente da força hidráulica em energia mecânica, gerando movimentos lineares. Com isso é possível realizar o deslocamento de objetos grandes e pesados. O seu funcionamento transcorre pelo uso de fluidos hidráulicos, ou óleos especificamente fabricados para tais aplicações (BRITO, 2017).

2.9.4.3 Pneumáticos

Funciona com o emprego de gás à pressão, convertendo a energia pneumática e realizando o movimento de objetos, por possuir pouca precisão é aplicado geralmente em projetos de pequeno porte, entretanto, tem um custo menor (BRITO, 2017).

2.10 Prova de Conceito (PoC)

Uma prova de conceito ou simplesmente PoC, tem como propósito demonstrar a viabilidade de uma ideia e sua aplicação a partir de projeto ou produto. Sendo esta uma abordagem comumente utilizada nas organizações a fim de verificar a sua viabilidade antes de prosseguir com uma possível produção escalada. (Frick, 2023).

Geralmente pessoas que ocupam cargos que se responsabilizam por tomadas de decisões importantes, costumam testar ideias e utilizar um modelo de prova de conceitos para comprovar e sustentar a decisão de seguir em frente.

Conforme destaca Frick, os modelos de prova de conceitos são amplamente utilizados:

“Os modelos de prova de conceito são usados em todos os setores, desde a produção de filmes até o desenvolvimento de medicamentos e o transporte, e os termos e condições variam de setor para setor.” (Frick, 2023).

A cargo disso existem diferentes indicadores obtidos através da adoção da aplicação da prova de conceitos onde para cada situação cabe a uma seleção do que seria importante ou não, por exemplo, o mercado de startups verifica a viabilidade financeira, mas não obtém a demanda de mercado e quais melhores meios de produção (Frick, 2023).

Outra aplicação bem comum da PoC é no desenvolvimento de aplicativos e software, onde o setor de teste e viabilidade por meio de um protótipo realiza a testagem da ideia da prova de conceitos, podendo assim de forma antecipada identificar possíveis lacunas e problemas antes de exporem o “produto final” ao uso evitando atrasos na entrega e possíveis perdas financeiras. (Frick, 2023).

2.10.1 Protótipo x Prova de Conceito

Uma questão importante a ser ressaltada é caracterização da prova de conceitos frente a ideia de protótipo, comumente confundidos por sua similaridade, no quadro 2 são comparados os dois conceitos:

Quadro 2 – Comparativo Prova de Conceito vs Protótipo

Prova de Conceito - PoC	Protótipo
Demonstração teórica de um produto, processo ou conceito.	Projeto superficial de um produto/processo/conceito.
Determinar se uma ideia pode ser transformada numa realidade. Testar se a ideia é viável e explorar o potencial da ideia para ser desenvolvida ou construída.	Destina-se a transformar uma ideia POC em uma versão do “produto final” que pode ser ensaiado e avaliado quanto à usabilidade, funcionalidade e design.
Verifique se a ideia funcionará como previsto. Identificar potenciais aspectos técnicos e logísticos questões que possam interferir no sucesso.	Não se espera que tenha todas as características e funções de um produto pronto para o mercado, nem se espera que contenha toda a usabilidade ou estética de um “produto final”.
Abordar a forma como o produto ou serviço proposto apoiará metas, objetivos organizacionais ou outros requisitos de negócio como objetivo secundário.	Dá às partes interessadas, gerentes de projeto, executivos e potenciais investidores um projeto do “produto final”.
Não se destina a explorar a procura do mercado a ideia, nem se destina a determinar o melhor processo de produção.	Permite que os fabricantes determinem a melhor forma de desenvolver o produto quando ele se move em pleno produção de um “produto final” pronto para o mercado.

Fonte: Extraído e traduzido de Frick, 2023.

Com isso, cada um dos conceitos tem a sua finalidade e propósito destinado à sua necessidade específica em obter os melhores e mais adequados indicadores, geralmente utilizados nas tomadas de decisões e métricas de produção nas organizações e projetos dos quais necessitam de aporte financeiro.

A aplicação da prova de conceito traz os subsídios necessários como o suporte para a estrutura e contextualização teórica do projeto desta tese, onde a proposta caracterizada como um modelo conceitual utilizou de suas diretrizes para a criação e implementação de um protótipo visando expor a viabilização de uma ideia apoiada no cenário proposto conforme descreve o item 2.11.

2.11 Modelo para o Gerenciamento e Rastreabilidade de Amostras Biológicas

O modelo denominado: “Gerenciamento de Rastreabilidade de Amostras Biológicas”, trata-se de um modelo extraído de uma pesquisa intitulada: “INTERNET DAS COISAS APLICADA AO GERENCIAMENTO DE RASTREABILIDADE DE AMOSTRAS BIOLÓGICAS”, de autoria de Emerson C. S. Ferrasi, a qual foi desenvolvida no LTIA da Unesp de Bauru, em colaboração a esta presente pesquisa (FERRASI, 2023).

Na qual, aplica-se os conceitos fundamentados pela Internet das Coisas sob a finalidade de estabelecer os parâmetros e indicadores necessários para o adequado gerenciamento das variações nos indicadores ambientais durante o transporte de amostras biológicas.

A observação de tais parâmetros a partir do monitorando realizado de forma autônoma, dos indicadores de variações ambientais de temperatura, umidade e luminosidade durante o percurso desse transporte, objetiva a conservação da integridade dos materiais transportados (FERRASI, 2023).

Parâmetros esses adotados como base para a construção de um dispositivo físico, que foi instituído como prova de conceitos sendo este obtido a partir dos resultados desta presente tese.

Onde, este dispositivo denominado PoC, foi construído, a partir da identificação e verificação de componentes tecnológicos necessários para atender aos parâmetros identificados como pré-requisitos do modelo e obtido a partir dos resultados do desenvolvimento deste trabalho, sendo este detalhado e explorado no capítulo 3, “Metodologia” do mesmo.

A fim de esclarecer o propósito da construção do dispositivo no item 2.11.1 discorre-se sobre as definições instituídas pelo modelo de referência supracitado.

2.11.1 Definições do modelo

A aplicação dos fundamentos da IoT, bem como o desenvolvimento de pesquisas e desenvolvimento são de suma importância para a evolução desta tecnologia.

Identificar cenários possíveis onde os conceitos são melhores empregados são um desafio a ser desbravado, esta pesquisa buscou o alinhamento da tecnologia IoT com as necessidades elencadas e verificadas no transporte de amostras biológicas.

Tal cenário visa o monitoramento autônomo durante o transporte de amostras biológicas, a fim de extrair dados sobre variações ambientais de suma importância para o devido acondicionamento e manutenção da integridade destas amostras conforme descreve FERRASI (2023).

O modelo conceitual denominado: “Gerenciamento De Rastreabilidade De Amostras Biológicas” estabelece os parâmetros necessários para o correto gerenciamento deste tipo de transporte, sendo os parâmetros de temperatura, umidade e luminosidade indicadores estes que se não monitorados constantemente podem afetar a integridade e qualidade das amostras transportadas.

A fim de caracterizar e contextualizar a que se referem esses materiais biológicos e a importância deste monitoramento os itens 2.11.2 e 2.11.3 apresentam uma descrição sobre tais elementos e condições.

2.11.2 Amostras Biológicas

Amostra pode ser definida como uma quantidade limitada de uma certa substância ou algum material que será utilizado na representação ou estudo de suas propriedades. As amostras podem se caracterizar como objetos contáveis ou não. Nery; et al. (2009).

A definição de amostras biológicas, conforme rege a Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA, tem-se a seguinte instrução:

Espécimes ou amostras para diagnóstico: quaisquer materiais biológicos de origem humana ou animal, incluindo – mas não se limitando a – dejetos, secreções, sangue e seus componentes, tecidos ou fluidos expedidos para fins de diagnóstico. Este material, a depender do juízo profissional, pode ser classificado como substância infecciosa da categoria A, substância biológica da categoria B, espécime humano de risco mínimo ou material biológico isento (ANVISA, 2015).

Diante do seu potencial infeccioso a amostra biológica, pode ser classificada em três níveis sendo as categorias A, B e C conforme estabelece a RDC 20 DE 10 DE ABRIL DE 2014 (MS, 2014):

(A) - Material biológico infeccioso cuja exposição ao mesmo pode causar incapacidade permanente ou enfermidade mortal, pondo em risco a vida humana ou de outros animais (MS, 2014).

(B) - Material biológico infeccioso que não se inclui na categoria A, inserindo-se neste grupo amostras de pacientes que se suspeita ou se saiba conter agentes infecciosos causadores de doenças em humanos (MS, 2014).

(C) - Categoria Espécime Humano de Risco Mínimo - inclui materiais biológicos provenientes de indivíduos sadios que foram submetidos a juízo profissional baseado em história clínica, sintomas e características individuais, bem como nas condições endêmicas locais que asseguram a probabilidade mínima do material biológico conter microrganismos patogênicos, mesmo que estes materiais não tenham sido submetidos previamente a testes para marcadores de doenças transmissíveis pelo sangue, seguindo as diretrizes da Organização Mundial de Saúde (OMS) (MS, 2014).

Ainda sobre a amostra biológica pode ser definida conforme a sua origem de extração por exemplo, amostras de pacientes, conforme Manual de Transporte de Material Biológico Humano:

Aquelas coletadas diretamente de seres humanos, incluindo (mas não se restringindo a) excreção, secreção, sangue e seus componentes, tecidos e amostras de fluidos, e partes do corpo a serem transportadas para fins de pesquisa, diagnóstico, investigação, tratamento e prevenção de doenças (ANVISA, 2015).

Existem diversas métricas que devem ser respeitadas e seguidas durante o processo de extração acondicionamento e transporte dessas amostras, tais dados e informações são mais bem elucidadas no modelo de referência utilizado como base teórica para esta tese, o item 2.11.3 traz algumas dessas referências extraídas deste modelo (FERRASI, 2023).

2.11.3 Parâmetros do Modelo de Referência

Conforme Ferrasi (2023), existem diversas normativas estabelecidas pela ANVISA para se realizar o transporte de amostras biológicas de maneira segura e que vise a preservação da integridade dos materiais transportados.

Esse transporte visa a transferência desses materiais biológicos entre diversos tipos de locais, como laboratórios, hospitais, clínicas, centro de pesquisas dentre outros, esses locais podem variar de instituições públicas ou privadas, a fim da

realização de diversos tipos de exames, procedimentos laboratoriais ou médicos, tais parâmetros podem ser amplamente verificados no manual modelo de referência.

Conforme aponta o item “b” da instrução 6.2.5 do Manual de Transporte Biológico Humano da ANVISA:

A embalagem primária e a embalagem secundária devem manter a sua integridade tanto para a temperatura do refrigerante utilizado como para a temperatura e a pressão resultantes caso se perca a refrigeração. (ANVISA,2015).

Ou ainda, referente ao tipo de monitoramento sugerido durante no transporte das amostras biológicas regidos pelo mesmo manual de procedimentos da ANVISA:

Todas as atividades críticas do transporte devem ser registradas, por meio físico ou eletrônico. A padronização dos procedimentos do processo de transporte tem por finalidade prevenir, detectar, identificar e corrigir erros ou variações. (ANVISA,2015).

Outra diretriz sobre o acondicionamento das amostras durante o transporte entre os pontos de origem e destino, de acordo com a RDC Nº 504, DE 27 DE MAIO DE 2021:

Art. 11. A etapa de acondicionamento do material biológico deve ser validada, devendo-se considerar o tipo de material biológico e a finalidade do transporte, com aprovação de supervisor técnico responsável pelo acondicionamento do material biológico a ser transportado. (MS, 2021).

§ 1º Caso seja necessário controle de temperatura, este parâmetro deve ser considerado no processo de validação de transporte, de forma a garantir conservação das características biológicas pelo tempo de transporte previsto, com estimativa de margem de atrasos. (MS, 2021).

Com isso, a partir da observação do Manual de Transporte Biológico Humano da ANVISA e levantamento de dados de outras fontes de referência o modelo estabelece quais os indicadores devem ser observados durante o transporte, sendo estabelecido os indicadores de temperatura, luminosidade e umidade.

Por exemplo, caso ocorra a variação de temperatura de forma abrupta e fora dos padrões estabelecidos pelos protocolos de segurança estabelecidos pela ANVISA, dependendo do material transportado ao ser exposto a isso, poderá até ocasionar a sua anulação e descarte dele (ANVISA, 2015).

Sobre a faixa de temperatura adequada a ser mantida durante o transporte das amostras tais parâmetros são inerentes ao tipo e características específicas de cada amostra. A critério de exemplo conforme o Manual de Transportes de Material Biológico Humano da Anvisa no caso de transporte de fluídos corporais:

Nem todas as propriedades biológicas de uma amostra se deterioram com a mesma rapidez. Alguns analitos requerem determinadas temperaturas para sua conservação. Em geral, existem três intervalos de temperaturas básicos, a depender do material:

- Temperatura ambiente: 18°C a 25°C.
- Temperatura de refrigeração: 2°C a 8°C.
- Temperatura de congelamento: inferior a -18°C. (ANVISA, 2015).

Ainda sobre as possíveis faixas de temperaturas ideais ou quais as variações ambientais sejam aceitáveis durante o transporte das amostras biológicas, não é possível estabelecer uma única diretriz, pois conforme as indicações da própria ANVISA em seu manual de transporte de material biológico humano no item 16.1 Validação do Processo de Transporte, tais determinações devem ser analisadas caso a caso:

Quando for necessário o controle de temperatura durante o transporte do material biológico, o laboratório deve avaliar as opções de controle e determinar qual é a mais adequada para o seu processo. (ANVISA, 2015)

Conforme o exemplo, os parâmetros para o monitoramento de variações ambientais durante o transporte de amostras biológica cabe a análise caso a caso dependendo da especificidade das amostras transportadas.

As amostras destinadas aos exames de fatores lábeis devem ser transportadas o mais rápido possível, na faixa de temperatura adequada para assegurar a qualidade das análises. Tal fato acarreta diversos prejuízos financeiros e inestimados, dependendo do conteúdo transportado, como órgãos, bolsas de sangue para transfusão, transplantes dentre outros.

Além da temperatura, existem compostos e reagentes que ao serem transportados não devem ser expostos a variações de umidade e luminosidade, pois também poderiam perder a sua eficácia e viabilidade de uso (FERRASI, 2023).

Podemos ainda citar como um exemplo amplamente veiculado em todas as mídias durante a pandemia do Corona Vírus, no transporte de vacinas e o seu devido acondicionamento a fim de preservar a sua eficácia, conforme estabelece a RDC Anvisa Nº 197 — 26 de dezembro de 2017 em seu artigo 12 itens 1º e 2º:

Art. 12 O serviço de vacinação deve adotar procedimentos para preservar a qualidade e a integridade das vacinas quando houver necessidade de transportá-las.

§ 1º As vacinas deverão ser transportadas em caixas térmicas que mantenham as condições de conservação indicadas pelo fabricante.

§ 2º A temperatura ao longo de todo o transporte deve ser monitorada com o registro das temperaturas mínima e máxima. (BRASIL-MS, 2017);

Não obstante, tais parâmetros não se aplicam somente as amostras biológicas, pois outros materiais podem requerer as mesmas condições de monitoramento, pois também podem ser sensíveis a variações ambientais de temperatura, umidade e luminosidade, como por exemplo, certos medicamentos, alimentos, obras de arte, dentre tantos outros possíveis, logicamente dentro dos critérios estabelecidos onde devem ser avaliados caso a caso.

2.12 Considerações Finais

O emprego da IoT trouxe um cenário rico e diversificado de aplicações ao interconectar objetos (*coisas*) com diferentes funcionalidades a uma rede possibilitando uma infinidade de aplicações. Contudo, este novo cenário está repleto de desafios a serem superados, existem muitas lacunas no que se remete a segurança e privacidade, além de uma gama muito extensa de objetos e dispositivos com restrições de processamento e capacidade de memória.

A ausência de um padrão nos protocolos e meios de comunicação ainda trazem grande dificuldade aos desenvolvedores, bem como a ausência de autonomia e gerenciamento de energia desses dispositivos.

Assim, será necessário um empenho muito grande através de pesquisa e desenvolvimento, como a criação de novos protocolos e algoritmos que possibilitem interconectar os diferentes dispositivos e, para isso, diferentes áreas da tecnologia têm se esforçando para propor soluções para que a IoT se integre ao nosso cotidiano de forma fluída e transparente.

Nesta perspectiva surge a necessidade de uma vasta exploração sobre como aplicar essa vasta gama de dispositivos e plataformas de uma maneira satisfatória e quais são mais promissoras e realmente viáveis na implementação de projetos que se enquadram de fato nas aplicações fundamentadas nos conceitos propostos pela Internet das Coisas.

Sob este pressuposto esta pesquisa tem como objeto a exploração dos recursos tecnológicos empregados na atualidade, visando a captação autônoma de dados aplicados ao monitoramento de indicadores ambientais, neste caso escolhidos as variáveis referentes a temperatura, umidade e luminosidade.

Assim, a fim de atender o panorama metodológico o próximo capítulo “Metodologia” explora os materiais e métodos empregados a partir de um panorama

geral sobre as fases de execução e recursos utilizados na construção do artefato o qual visa demonstrar a viabilidade dos conceitos apresentados.

Tal artefato ou como foi denominado, “Dispositivo IoT” neste caso caracterizado como um protótipo em decorrência de uma prova de conceito (PoC) que traz como proposta a construção de um dispositivo microcontrolado que visa o monitoramento autônomo de variações ambientais durante o transporte de amostras biológicas.

Conforme descreve o item 2.11 desta tese, o modelo proposto indica que sejam constantemente monitoradas as variações ambientais de luminosidade, temperatura e umidade, e ainda estabelece que estas sejam registradas em mídia digital para que possam ser posteriormente acessadas e analisadas a fim de se obter os parâmetros necessários sobre o real acondicionamento e exposição ambiental das amostras durante o referido transporte.

Como rege o Manual de Transportes de Materiais Biológicos Humanos da ANVISA e enfatiza Ferrasi (2023), tal processo de monitoramento é de extrema importância para a validação da integridade das amostras que venham a ser transportadas, sejam elas para quaisquer fins em todos os casos a depender do tipo da amostra, deverá ser monitorado e registrado por meio físico ou digital as condições ambientais as quais foram submetidas.

Com isso, a partir de um estudo previamente realizado a prova de conceito traz a formatação de um protótipo que ao ser implementado por meio da sua construção possibilita tal registro por meio digital, de forma autônoma e visando uma solução simples e de baixo custo frente aos dispositivos análogos já existentes comercialmente identificados e descritos no item 3.1.1 desta tese.

3. METODOLOGIA

3.1 Local de execução e colaboração da pesquisa

A execução do projeto foi desenvolvida no Laboratório de Tecnologia da Informação Aplicada (LTIA) do campus da UNESP de Bauru-SP.

A pesquisa desenvolveu-se de forma colaborativa entre os pesquisadores Faberson Augusto Ferrasi e Emerson Carlos Sarti Ferrasi, sob a orientação do prof. Ass. Eduardo Martins Morgado, onde estabelece-se um modelo de referência (relatado no capítulo 2 de “Fundamentação Teórica”, item 2.11 desta tese), para a construção de um dispositivo para o “Gerenciamento e Rastreabilidade de Amostras Biológicas”.

Além do modelo de referência, a colaboração entre as pesquisas resulta a construção de um dispositivo IoT que implementa as diretrizes instituídas por este mesmo modelo, dispositivo este obtido através dos resultados desta presente pesquisa e instituído como prova de conceitos.

3.2 Fases de execução e desenvolvimento

O desenvolvimento da presente pesquisa e estudo seguiu uma série de etapas que serão descritas e detalhadas nesta sessão, como fase inicial de levantamento de requisitos, referencial teórico por revisão bibliográfica, experimentação, prototipação, construção do dispositivo readequações dentre outros.

3.3 Modelo de Referência e Especificação Técnica

O modelo de referência para utilizado para a especificação e montagem do dispositivo foi obtido por meio de uma pesquisa em colaboração a esta pesquisa já supracitados no capítulo 2 “Fundamentação Teórica” no item 2.11 desta presente tese.

O modelo traz os apontamentos e parâmetros necessários para a devida construção de um dispositivo IoT que viabilize o “Gerenciamento e Rastreabilidade no Transporte de Amostras Biológicas” através do monitoramento autônomo realizado por meio eletrônico dos indicadores ambientais de luminosidade, umidade e

temperatura, armazenando os dados coletados em arquivo digital em mídia de armazenamento.

3.4 Cenário Proposto

O cenário a seguir visa ilustrar as etapas as quais serão expostas o dispositivo IoT caracterizando o processo de gerenciamento e a rastreabilidade de amostras biológicas durante o seu transporte. Na Figura 16 podemos visualizar tal cenário proposto.

Figura 16: Cenário Físico Proposto



Fonte: Acervo Pessoal, 2023

3.5 Fase inicial

Inicialmente foi elaborada uma análise sobre as especificidades do projeto de pesquisa sob um levantamento detalhado da proposta a partir do modelo de referência pode-se realizar um levantamento sobre os respectivos pré-requisitos e variáveis para a construção do protótipo.

Com a obtenção das variáveis e especificações sobre o dispositivo, uma pesquisa sobre as plataformas de open hardware disponíveis foi necessária, bem

como, quais dispositivos utilizar dentro do que se encontra atualmente, quais são mais viáveis observando os parâmetros de custo e benefício.

Após escolhidos os componentes eletrônicos e os materiais para a construção do dispositivo a fase de especificação técnica sobre como melhor utilizá-los foi iniciada.

3.6 Revisão bibliográfica

Nesta etapa o pesquisador revisitou os conceitos abordados em sua tese de mestrado defendida em 2017 com uma abordagem correlata a este trabalho.

Nesta ocasião defendia a aplicação da IoT com o uso das mídias locativas, por ser análogo ao tema central deste trabalho, realizou-se uma revisão bibliográfica sobre os fundamentos da Internet das Coisas trazendo uma abordagem mais sistematizada e aprofundada sobre os seus conceitos.

Revisão bibliográfica sobre as tecnologias de dispositivos de Internet das Coisas, componentes, dispositivos e plataformas de open hardware, que possibilite a captação de temperatura, umidade e luminosidade, de forma autônoma e que realize o armazenamento dos dados sobre os indicadores ambientais por meio digital em mídia de armazenamento de fácil manuseio e acesso.

3.6.1 Levantamento do Investimento

Nesta fase, após a escolha dos componentes e materiais a serem utilizados, foi feito um levantamento sobre os investimentos necessários para a aquisição dos insumos para o desenvolvimento do projeto de baixo custo (tais elementos serão detalhados em outra sessão abaixo).

Foi feito um orçamento em mais de três fornecedores diferentes, inclusive fornecedores de outros países, buscou-se verificar a possibilidade inclusive do investimento para um ou mais dispositivos. Após a verificação dos valores foi escolhido o devido local para a aquisição dos componentes e materiais a serem utilizados.

3.6.2 Especificação Técnica

Nesta etapa, após analisadas as variáveis e identificados os componentes e materiais necessários para a realização do experimento, passa-se a realizar o levantamento sobre as especificações técnicas dos dispositivos e componentes a serem utilizados na construção do protótipo, componentes estes os quais atendam aos pré-requisitos conforme o modelo instituído.

Após a devida análise sobre as especificações técnicas sobre os componentes eletrônicos elencados a fim de estabelecer um projeto esquemático antes da devida montagem dos componentes foi elaborado um modelo visual do experimento.

Para a realização deste modelo visual foi utilizado a ferramenta *Tinkercad* disponível em: "<https://www.tinkercad.com/things>", ferramenta que é amplamente utilizada por projetistas de dispositivos equivalentes.

Após criado o projeto esquemático visual passa-se a devida construção do protótipo do dispositivo físico, com isso, realiza-se a experimentação e testes dos componentes escolhidos que auxiliem na captação autônoma de indicadores ambientais de luminosidade, temperatura e umidade, visando obter melhor custo-benefício e performance.

3.6.3 Execução do Projeto

A partir das especificações técnicas estabelecidas e do projeto visual, inicia-se a montagem do dispositivo. Nesta fase os componentes eletrônicos são testados e interligados conforme estabelecido no modelo esquemático.

Nesta fase existe uma frequente readequação de alguns componentes e muitas vezes até a sua efetiva troca, pois quando realizamos os testes interligando a outros componentes muitos deles não funcionam conforme o previsto.

Com isso, realiza-se uma série de testes e verificações até obter-se uma junção adequada alinhada ao funcionamento esperado diante dos parâmetros e especificações técnicas estabelecidas.

3.6.4 Validação do Dispositivo

Após a montagem do dispositivo e a devida testagem dos componentes de forma individualizada, realiza-se a validação do funcionamento do dispositivo expondo-o a um cenário real com as mesmas condições estabelecidas pelo modelo de referência, nesta etapa geralmente são encontrados problemas de funcionamento ou de mensuração dos componentes sendo necessárias readequações e alterações no projeto original.

3.6.5 O dispositivo IoT

O dispositivo desenvolvido consiste numa caixa plástica com as dimensões de 7cm x 3cm x 4 cm que acondiciona em seu interior alguns componentes eletrônicos como um microcontrolador, sensores captadores de luminosidade, temperatura e umidade, bem como um módulo para armazenamento de dados e contagem de tempo. Tais componentes são interligados por fios de cobre e energizados por uma bateria externa de 9v(recarregável).

A principal funcionalidade do dispositivo é a captação de dados sobre as variações nos indicadores ambientais de forma autônoma, isto é, sem a interação direta do ser humano, os indicadores elencados neste projeto foram: luminosidade, temperatura e umidade.

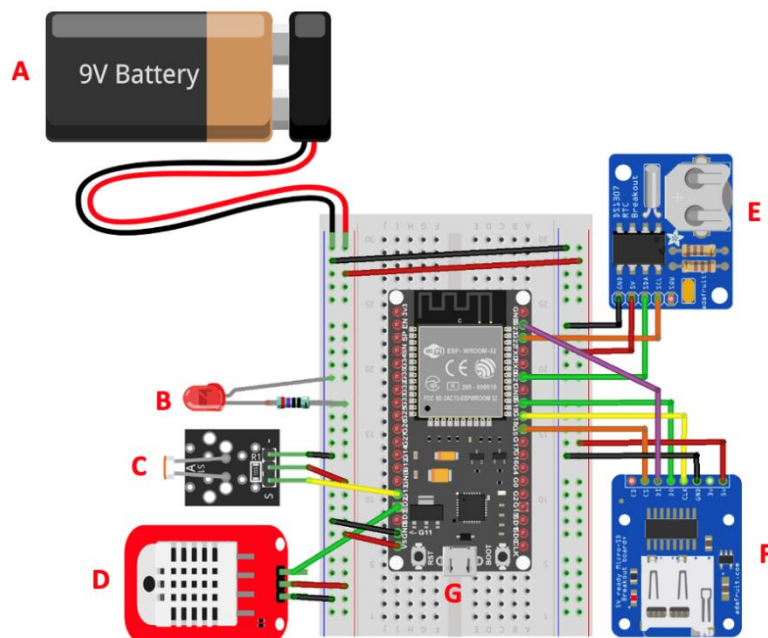
O dispositivo funciona obtendo as leituras sequencialmente dentro de um espaço de tempo determinado armazenando-as em arquivo digital em uma mídia local de fácil manipulação (MicroSD).

O armazenamento dos dados seguiu um formato específico conhecido como *JSON (Javascript Object Notation)* onde conterà a data e hora da leitura, um valor numérico inteiro indicativo de luminosidade, o valor da temperatura em graus celsius e o percentual de umidade relativa do ar.

Para o acionamento do início das leituras o dispositivo conta apenas com uma chave liga/desliga e para indicar o correto funcionamento um led que acenderá no instante específico das leituras e assim sucessivamente durante a utilização do dispositivo.

Na figura 17, é possível visualizar o projeto esquemático do dispositivo IoT, onde são dispostos os componentes e a sua interconexão através de um projeto esquemático.

Figura 17 – Projeto Esquemático do Dispositivo



Descrição: A) Bateria; B) LED; C) LDR (*Light Dependent Resistor*); D) DHT22 (Sensor de temperatura e umidade); E) Data Logger (registro de data e hora); F) SD-CARD (cartão de armazenamento dos dados); G) ESP32 NodeMCU (microcontrolador)

Fonte: Acervo Pessoal, 2023

3.7 Tecnologias e recursos utilizados

Para o desenvolvimento do protótipo foram especificados uma série de componentes, materiais e tecnologias, nesta sessão serão detalhados esses elementos, como foram organizados e implementados para o pleno funcionamento do protótipo.

3.7.1 Linguagem de Programação

Um computador pode ser definido como um dispositivo com a capacidade da realização de cálculos e tomadas de decisões lógicas infinitamente mais rápido do que um ser humano é capaz de realizar. (DEITEL, 2016).

Os computadores realizam o processamento de dados por meio de instruções computacionais escritas por pessoas chamadas de programadores de computadores.

Para a operacionalização dessas instruções requer uma transformação de um código fonte escrito em linguagem de alto nível (próximo da compreensão humana) para uma linguagem de máquina por meio de um processo de compilação, esse processo é realizado por programas que transcrevem o código de alto nível para este baixo nível conhecido como linguagem de máquina.

Esta linguagem conhecida como de alto nível é estabelecida dentro de um conjunto de regras e sintaxes de uma linguagem de programação, uma das primeiras a serem criadas foi a linguagem C.

A Linguagem C foi desenvolvida por Dennis Ritchie nos laboratórios da Bell Telephone em 1972, originando-se com o propósito no desenvolvimento de uma nova versão do sistema operacional Unix, foi derivada das linguagens BCPL e Algol. A linguagem C foi difundida amplamente por ser gratuita e com muita robustez, é adotada no desenvolvimento da maioria dos sistemas operacionais atuais conhecidos que gerenciam desde computadores pessoais, servidores até dispositivos móveis e correlatos. É portátil entre as plataformas e possui várias IDEs compatíveis ou ambientes de desenvolvimento como são devidamente conhecidas. (DEITEL, 2016).

3.7.2 JSON - Java Script Object Notation

JSON é um acrônimo de *Java Script Object Notation*, trata-se de um formato utilizado no intercâmbio de dados entre plataformas de software, um formato texto análogo ao XML. Tem uma versatilidade muito grande e foi adotado por muitos sistemas e existe uma incorporação de codificação e decodificação pela maioria das linguagens de programação utilizadas na atualidade facilitando assim a sua ampla utilização.

O JSON é uma estrutura de texto no formato de objeto Javascript e pode ser composto de subobjetos. Sua estrutura possibilita uma diversificada representação de dados, pois ele suporta quatro tipos de dados primitivos e estrutura de subobjetos, como *strings*, *number*, *integer*, *boolean*, *object* e *array*. (T. Bray, 2013).

3.7.3 Componentes e materiais utilizados

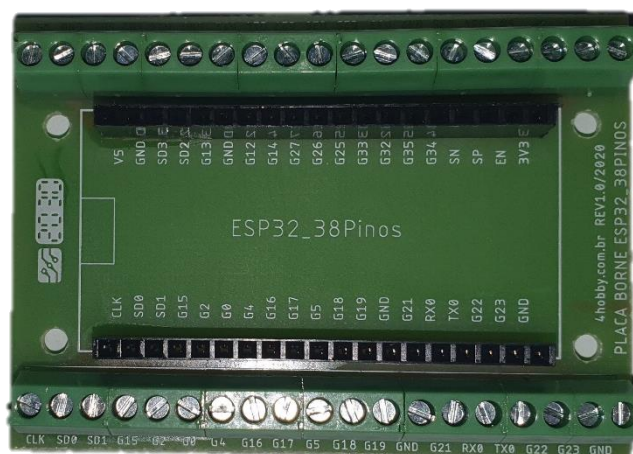
Por se tratar de um experimento dentre os inúmeros componentes eletrônicos existentes foram escolhidos os mais acessíveis e que oferecem melhor documentação e custo-benefício, tomando como base nos pressupostos descritos no modelo.

3.7.4 Especificações dos componentes

Nesta sessão serão apresentados os componentes e suas respectivas especificações técnicas.

Na Figura 18 é possível verificar a Placa de circuito com dimensões de 7cm x 5cm, possui jumpers para encaixe dos pinos de acordo com projeto esquemático da placa de desenvolvimento denominada ESP32 NodeMCU com 38 pinos. Esta montagem funciona como um berço e facilita a junção dos sensores por meio de parafusos para a fixação de fios de cobre e pinos sem a necessidade de soldagem. Este tipo de dispositivo é utilizado em projetos com prototipação onde a posição dos componentes podem variar periodicamente proporcionando maior durabilidade.

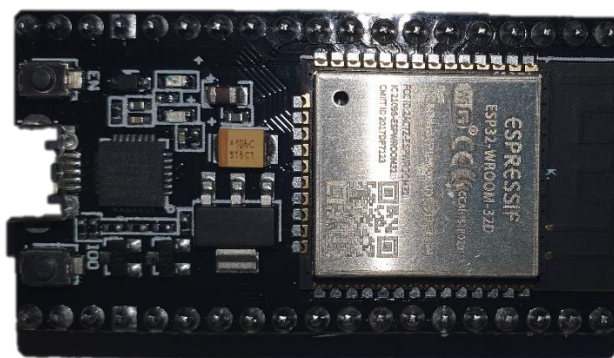
Figura 18 - Placa Borne para ESP32 (38 pinos)



Fonte: Acervo Pessoal, 2023

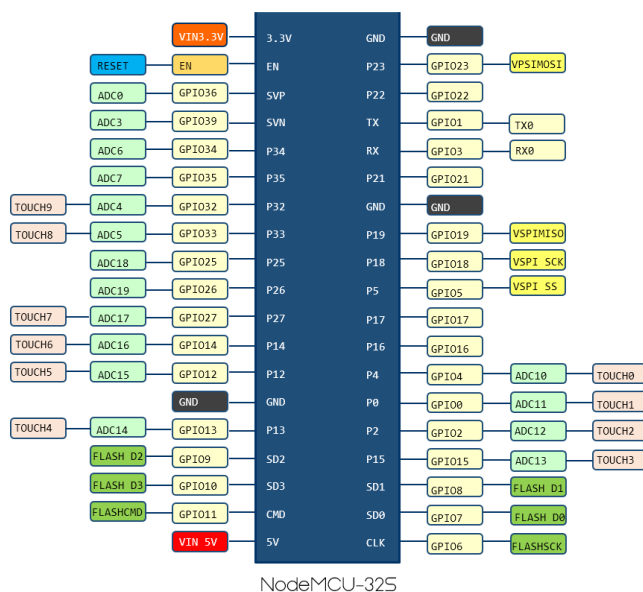
Na Figura 19 é apresentado o NodeMCU-32S e na Figura 20 o projeto esquemático e pinagem do ESP-32. Tais elementos trata-se de uma plataforma de prototipagem baseada no ESP32 e que é comumente utilizada no desenvolvimento de projetos IoT. Possui um conversor USB serial integrado e porta micro USB para energização e transmissão de dados. O NodeMCU tem dimensões em torno de 5cm por 2,5cm com o microcontrolador ESP32 CPU: Xtensa® *Dual-Core* 32-bit *dual-core*, 240Mhz de *Clock*, memória flash de 4mb e memória *RAM* de 520kbytes, conectividade via rádio frequência *Wifi* (802.11b/g/n) e *Bluetooth* 4.2.

Figura 19 - Placa de Desenvolvimento ESP 32 NodeMCU(38 pinos)



Fonte: Acervo Pessoal, 2023

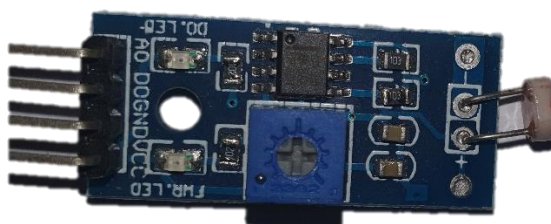
Figura 20 - Pinagem ESP 32



Fonte: Acervo Pessoal, 2023

Na Figura 21 é exposto o Sensor captador LDR (do inglês: *Light Dependent Resistor*), é um componente cuja resistência varia de acordo com a intensidade da luz, quanto mais a luz incidir menor a resistência. Sua tensão máxima de operação é de 150VDC e potência máxima de 100mW, sua tensão de operação varia entre -30°C a 70°C, espectro de 540nm, com a resistência no escuro de 1MΩ (Lux 0) e na luz entre 10 a 20 KΩ (Lux 10) este componente tem o diâmetro de 5mm, o módulo completo tem a dimensão de 3cm x 1,3cm.

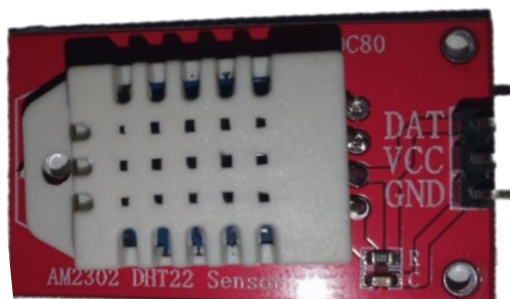
Figura 21 - Sensor LDR (*Light Dependent Resistor*)



Fonte: Acervo Pessoal, 2023

Na Figura 22 é apresentado o Sensor DHT22 modelo AM302 é um sensor que captura a umidade relativa do ar bem como a temperatura. Opera sob a tensão entre 3 a 5VDC (5,5VDC máximo), faixa de medição de umidade relativa do ar (UR) entre 0 a 100%, faixa de medição de temperatura entre -40°C a +80°C, precisão de umidade de medição de aproximadamente 2,0% UR e temperatura aproximadamente 0,5°C. Este sensor opera a 2,5mA de corrente e tem o tempo de resposta de 2 segundos, sua dimensão é de 25mm de comprimento por 15,7mm de largura, o módulo completo tem a dimensão de 3,8 cm x 2,3 cm.

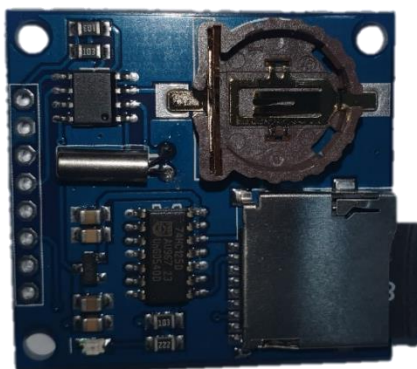
Figura 22 - DHT22 modelo AM302



Fonte: Acervo Pessoal, 2023

A Figura 23 expõe o Mini *Data Logger* RTC(do inglês: *Real Time Clock*), este dispositivo além de controlar a contagem do tempo por meio de ciclos de *clock* também possui um slot para a acoplagem de cartão micro SD(do inglês: *Secure Digital Card*) onde é possível armazenar os dados capturados pelos sensores e gerenciados pelo microcontrolador, possui o nível de transmissão de 3,3VDC e dimensão de 36 mm de comprimento por 32 mm de largura e 5mm de espessura.

Figura 23 - Mini *Data Logger* RTC



Fonte: Acervo Pessoal, 2023

Na Figura 24 é possível visualizar o Cartão MicroSD é uma mídia de armazenamento de dados em memória flash, existem inúmeras variações em formatos e capacidades diferentes. O formato HC High Capacity (SDHC TM) é um cartão de memória SD TM baseado na especificação SDA 2.0. Capacidades SDHC variam de **4GB até 32GB** Formato padrão: **FAT32**.

Figura 24 - Cartão Micro SDHC (8GB)



Fonte: Acervo Pessoal, 2023

Na Figura 25 é exposto o diodo emissor de luz (sigla LED, em inglês: **light-emitting diode**), é utilizado para a emissão de luz em diversas situações, são acoplados a locais e instrumentos onde se torna mais conveniente a sua utilização no lugar de uma lâmpada.

Especialmente quando utilizado em dispositivos de microeletrônica são aplicados como um sinalizados luminoso, são encontrados em diversos tamanhos e intensidade de luminosidade. São muito conhecidos por serem econômicos no gasto energético.

Em geral, os LEDs operam com nível de tensão de 1,6 a 3,3 V, sendo compatíveis com os circuitos de estado sólido. Sendo polarizado, a maioria dos fabricantes adota um "código" de identificação para a determinação externa dos terminais A (ânodo) e K (cátodo) dos LEDs.

Figura 25 - Diodo Emissor de Luz (LED)



Fonte: Acervo Pessoal, 2023

Na Figura 26 é apresentado a Chave liga desliga com dois polos sendo positivo e negativo controlado o fluxo de eletricidade por um contato metálico opera sob uma corrente máxima de: 6A/120V, 3A/250V e possui 02 polos, tem as dimensões (CxLxA): 21x14,8x13mm (sem os pinos).

Figura 26 - Chave Liga/Desliga



Fonte: Acervo Pessoal, 2023

A Figura 27 expõe a Bateria de 9v(recarregável) utilizada para energização de dispositivos eletrônicos que necessitam de eletricidade para o seu devido funcionamento possui a dimensão aproximada de 47 mm x 26 mm x 17 mm com 9 volts e 250 mAH.

Figura 27 - Bateria 9v



Fonte: Acervo Pessoal, 2023

Na Figura 28 é exposta a Caixa Patola utilizada como case de montagem onde são acondicionados os dispositivos e componentes eletrônicos para a elaboração de projetos de diversos tipos. Este invólucro é fabricado em plástico ABS injetado, suas dimensões são 24 cm de altura, 60 cm de largura e 75 mm de profundidade.

Figura 28 – Caixa Patola



Fonte: Acervo Pessoal, 2023

3.8 Funcionamento do Dispositivo

Para o gerenciamento e processamento dos componentes foi escolhido a placa de desenvolvimento NodeMCU com o tamanho bem reduzido em torno de 5cm por 2,5cm com o microcontrolador ESP32 CPU: Xtensa® *Dual-Core* 32-bit *dual-core*, 240Mhz de *Clock*, memória flash de 4mb e memória *RAM* de 520kbytes, conectividade via rádio frequência *Wifi* (802.11b/g/n) e *Bluetooth* 4.2, são algumas principais características deste componente.

Os sensores captadores foram subdivididos em temperatura e umidade em um único elemento, neste caso escolhido o DHT22 modelo AM302 sob a tensão de operação entre 3 a 5VDC(5,5VDC máximo), faixa de medição de umidade relativa do ar(UR) entre 0 a 100%, faixa de medição de temperatura entre -40°C a +80°C, precisão de umidade de medição de aproximadamente 2,0% UR e temperatura aproximadamente 0,5°C. Este sensor opera a 2,5mA de corrente e tem o tempo de resposta de 2 segundos, sua dimensão é de 25mm de comprimento por 15,7mm de largura.

Para aferição da luminosidade foi utilizado o sensor captador LDR (do inglês: *Light Dependent Resistor*), é um componente cuja resistência varia de acordo com a intensidade da luz, quanto mais a luz incidir menor a resistência. Sua tensão máxima de operação é de 150VDC e potência máxima de 100mW, sua tensão de operação varia entre -30°C a 70° C, espectro de 540nm, com a resistência no escuro de 1MΩ(Lux 0) e na luz entre 10 a 20 KΩ(Lux 10) este componente tem o diâmetro de 5mm.

O armazenamento dos dados é feito por meio do módulo Mini *Data Logger*RTC(do inglês: *Real Time Clock*), este dispositivo além de controlar a contagem do tempo por meio de ciclos de *clock* também possui um slot para a acoplagem de cartão micro SD(do inglês: *Secure Digital Card*) onde é possível armazenar os dados capturados pelos sensores e gerenciados pelo microcontrolador, possui o nível de transmissão de 3,3VDC e dimensão de 36 mm de comprimento por 32 mm de largura e 5mm de espessura.

Na interligação elétrica entre os dispositivos foram utilizados fios de cobre de 0,7mm de espessura e para a fixação dos fios um borne de placa para o modelo ESP32 *NodeMCU* com parafusos de metal para melhor fixação e segurança.

Um led difuso de 8mm de diâmetro na cor vermelha foi utilizado para a indicação de uma luz de advertência para a ocorrência do funcionamento de todo o dispositivo de forma intermitente. A energização do dispositivo é possível por meio de uma bateria externa de 9 volts(*recarregável*) e 250mAH, para o acionamento e liberação da corrente elétrica (ligar e desligar) foi utilizado um interruptor do tipo gangorra de 10A/120V e 6A/250V.

O acondicionamento dos componentes foi feito em uma caixa plástica para montagem de projetos eletrônicos denominada como “patola” com as devidas furações necessárias para exposição de alguns componentes cujo melhor funcionamento se dá por meio de uma exposição externa.

As dimensões deste invólucro são de 38 mm de altura por 85 mm de largura e 124 mm de comprimento, o microcontrolador é uma tecnologia de hardware que é necessário à sua operacionalização via software embarcado.

O ato de embarcar um software é uma ação em que se transfere um arquivo compilado para a memória flash do ESP32, microcontrolador utilizado neste experimento, este processo ocorre com a interligação de um cabo via comunicação serial com um computador convencional modelo PC (*Personal Computer*). O modelo utilizado é compatível com o código fonte escrito em linguagem de programação C++ com algumas pequenas adaptações.

A escrita do código fonte é feita com o auxílio de um programa de computador conhecido como IDE (do inglês: *Integrated Development Environment*), onde são incorporados todos os recursos necessários para a compilação e transmissão do código binário (ou código de máquina) para o dispositivo embarcado.

Esta IDE é fornecida e desenvolvida por um grupo de desenvolvedores de software livre denominado Arduino, este grupo mantém diversas iniciativas de criação e publicação de recursos para a prototipação de software e hardware livre, isto é, de forma gratuita sem licenciamento de uso e divulgação.

O software desenvolvido para operacionalizar o dispositivo embarcado e os componentes a ele acoplados é relativamente simples, mas requer conhecimentos específicos sobre linguagens de programação e hardware.

Sua operação consiste num processo de captura das leituras oferecidas pelos sensores captadores tratando e transformando-as em dados armazenados e organizados num padrão que facilite a sua futura recuperação e análise.

Entre outras funcionalidades o software também é responsável pelo acionamento específico de cada sensor e a condução da melhor forma de uso da energia utilizada procurando ao máximo a sua execução com economia e otimização do gasto energético, processo este elucidado no capítulo 3 “Metodologia” no item 3.8.

Como o protótipo é um dispositivo físico relativamente pequeno e de fácil manuseio o seu uso torna-se muito simples, apenas pelo acionamento de um interruptor de liga e desliga e o encaixe de um Micro SD para armazenamento.

Após o uso a leitura e recuperação dos dados torna-se uma tarefa simples, podendo assim, ser aplicado em diversas possibilidades de monitoramento em ambientes com baixa ou altas temperaturas respeitando logicamente os limites impostos pelos materiais os quais foram desenvolvidos a caixa e os componentes acondicionados em seu interior.

3.9 Explicação Sobre o Fluxo de Funcionamento do Código-Fonte

Um código-fonte (do inglês: *source code*), também chamado de fonte ou apenas código, refere-se a um conjunto de palavras e símbolos escritos por uma pessoa, de forma ordenada e lógica regendo um conjunto de instruções baseados nas diretrizes de uma certa linguagem de programação (INFO.ORG, 2004).

O código fonte escrito para o dispositivo IoT visa estabelecer uma rotina de instruções encadeadas a fim de conduzir a operacionalização dele. A seguir serão esplanadas as rotinas de execuções planejadas a partir de um fluxo e controle de funcionamento.

3.10 Rotina do Código-Fonte

A rotina estabelecida para a execução do programa embarcado(gravado) no dispositivo baseia-se na premissa da invocação de rotinas de fluxo de controle que são invocadas paralelamente visando o acionamento dos componentes de hardware para o ordenado funcionamento do dispositivo construído.

Primeiramente existe um bloco de rotina que é chamado de “setup” que estabelece as configurações iniciais do dispositivo e inicializados os valores de variáveis necessárias para a correta inicialização do programa.

Em seguida, neste mesmo bloco “setup”, após estabelecidas as configurações iniciais é invocada uma segunda rotina (trecho de código) chamada “*esp_sleep_enable_timer_wakeup*”, esta rotina estabelece as configurações e habilita um modo de funcionamento chamado de “hibernação”.

Tal modo de funcionamento quando acionado submete o dispositivo a um estado de hibernação durante alguns segundos, neste caso configurado em 60(sessenta) segundos.

Quando o dispositivo é submetido a este estado, ocorre a interrupção de consumo de energia de todos os componentes eletrônicos interconectados a placa controladora, após isso, somente o mínimo de carga passa a ser consumida até que a contagem se encerre e o dispositivo passa a funcionar novamente.

Tal abordagem se tornou necessária para evitar um maior gasto energético da fonte de energia externa otimizando o consumo da bateria.

Em seguida, ainda no mesmo bloco “setup”, após a configuração do estado de hibernação, é invocada uma outra rotina denominada como “*getData*”, esta rotina realiza a leitura dos dados obtidos através dos sensores, e realiza a persistência dos mesmos em mídia de armazenamento microSD no formato JSON (*Java Script Object Notation*).

Ao final da execução dessa rotina “*getData*” o dispositivo é submetido ao modo de hibernação configurado anteriormente por meio da invocação de uma nova rotina denominada como “*esp_deep_sleep_start*”.

Sendo assim, neste instante o dispositivo ficará praticamente inoperante por 60(sessenta) segundos, e em seguida voltará a funcionar normalmente, repetindo os passos anteriores até que ele seja desligado ou interrompido o seu fluxo de energia.

3.11 Diferenciais e dispositivos correlatos

Atualmente existem dispositivos correlatos e distribuídos em escala comercial para o monitoramento ambiental, na sua grande maioria só é monitorado a temperatura do ambiente reduzindo as possibilidades de cruzamentos de dados.

Além disso são dispositivos fechados e desenvolvidos para uma única finalidade sem a possibilidade de aperfeiçoamento, interconexão com outros dispositivos e a Internet.

Ao contrário disso, o protótipo desenvolvido tem uma estrutura flexível com mais indicadores sendo capturados, neste caso temperatura, umidade e luminosidade, ainda possibilitando a interconexão com outros dispositivos, armazenamento com mídia local e removível de fácil leitura por qualquer computador ainda sendo possível a modificação do comportamento no funcionamento podendo incorporar outras características e até outros componentes.

Os dados coletados também são organizados e armazenados em um formato de arquivo JSON bastante utilizado por muitas plataformas de software e facilmente interpretada por diversas linguagens de programação.

Toda essa estrutura é apoiada em hardware e software aberto sem a necessidade de licenciamento.

3.11.1 Dispositivos correlatos

A seguir serão apresentados alguns dispositivos correlatos ao protótipo, estes sendo também portáteis, mas fabricados em escala industrial e oferecidos comercialmente no mercado.

Na Figura 29 é apresentado um dispositivo data logger denominado como *TempTale 4*, caracterizado como “*single use*” ou uso único, comercializado em escala industrial, seu funcionamento é limitado apenas a captura da temperatura, as medições são realizadas e armazenadas num formato de arquivo texto ou PDF com ilustrações gráficas.

Tal dispositivo é vendido no valor vigente de aproximadamente R\$600 (seiscentos reais) em sites de comércio eletrônico e tem a possibilidade de uso por um período delimitado, com a capacidade de até 16000 (dezesesseis mil) dados de leitura de temperatura entre a faixa de -30°C a 70°C, estes armazenados em memória não volátil, o dispositivo é fabricado pela empresa Sensitech.

Figura 29 - Medidor Temperatura TempTale 4 USB



Fonte: Acervo pessoal, 2023

Na Figura 30, podemos visualizar um dispositivo importado, portátil data logger denominado Fresh Tag 1D, este dispositivo tem a capacidade de aferição de até 65000 (sessenta e cinco mil) leituras de temperatura faixa de $-30 \sim 70^{\circ}\text{C}$, tem a característica de ser “*single use*” de apenas um só uso, os dados são armazenados em memória não volátil e os dados exportado em PDF via porta USB, o dispositivo é obtido pela empresa Freshliance, o valor o qual é comercializado é de R\$ 150 (cento e cinquenta reais), trata-se de um dispositivo lacrado para uma única finalidade de uso e pode ser utilizado apenas uma vez.

Figura 30: Data Logger Portátil de Temperatura Fresh TAG 1D



Fonte: Acervo Pessoal, 2023

Na figura 31 visualizamos o dispositivo data logger MAXILOG RH da empresa MARATHON, trata-se de um dispositivo importado e de uso único ou “*single use*”. Tem a capacidade de aferição de até 8000 (oito mil) leituras de umidade relativa do ar na faixa de 0% a 100% e temperatura na faixa de -20°C até +70°C onde são armazenados em memória não volátil.

O dispositivo é comercializado no valor de R\$ 544,00 (quinhentos e quarenta e quatro reais) os dados gerados pelo dispositivo são exportados em formato CSV.

A apresentação do dispositivo é para apenas uma única funcionalidade, é lacrado e o mesmo não pode ser modificado ou ampliada a sua capacidade de armazenamento de memória por exemplo.

Figura 31 - Data logger de temperatura e umidade Maxilog-RH Marathon



Fonte: Acervo Pessoal, 2023

3.11.2 Comparativo entre os dispositivos

Logicamente que a intenção aqui não é desacreditar ou criticar qualquer tipo de característica oferecida em qualquer dispositivo disponível no mercado, mas sim enfatizar os resultados alcançados no desenvolvimento do protótipo de um dispositivo IoT e seu diferencial, aplicado aos fundamentos da Internet das Coisas.

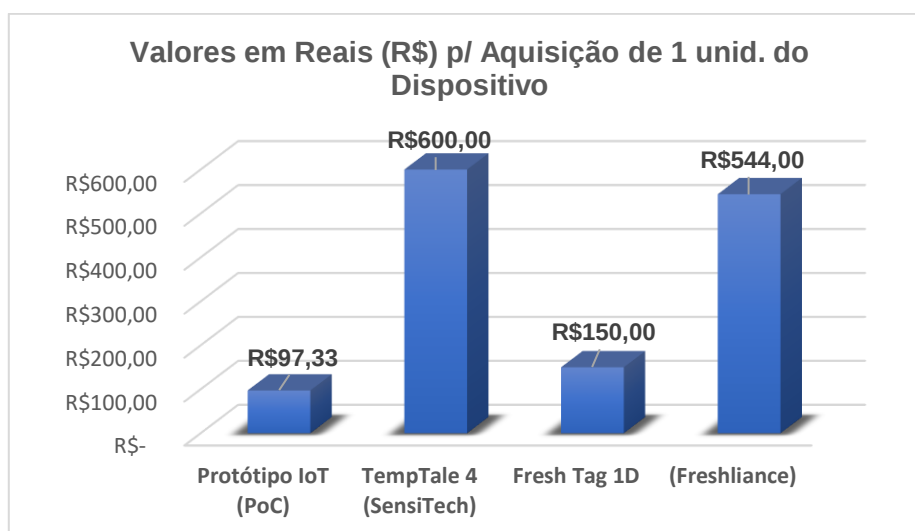
No quadro 3 é possível visualizar um comparativo entre as funcionalidades presentes nos dispositivos bem como as suas características.

Quadro 3 – Comparativo das funcionalidades entre os dispositivos data loggers x Protótipo IoT

Dispositivos	Temperatura (°C) Aferição	Umidade (%) Aferição	Luminosidade (Lux) Aferição	Qtde de Leituras	Possibilidade de Expansão (upgrade)	Conexão Internet
 Protótipo IoT (PoC)	-40°C ~ 80°C	0% ~ 100%	SIM	800.000	Software e Hardware	SIM
 TempTale 4 (SensiTech)	-30°C ~ 70°C	-	-	16.000	-	-
 Fresh Tag 1D (Freshliance)	-30°C ~ 70°C	-	-	65.000	-	-
 MAXILOG RH(Marathon)	-20°C ~ 70°C	0% ~ 100%	-	8.000	-	-

Fonte: Acervo Pessoal, 2023

No gráfico 1 é apresentado um referencial em relação ao custo dos dispositivos, onde são expressos os valores em reais(R\$) com os valores convertidos a partir da cotação do dólar em 26 de junho de 2023, para aquisição de uma unidade.

Gráfico 1 – Valores dos dispositivos expressos em Reais (R\$)

Fonte: Acervo Pessoal, 2023

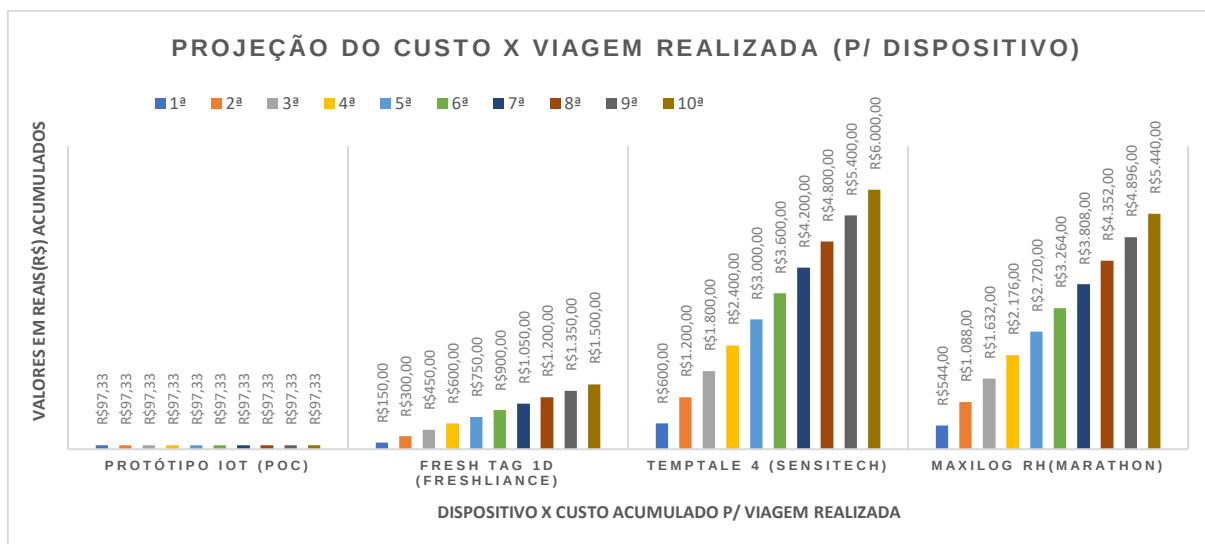
Os dispositivos conhecidos como “*data loggers*” são geralmente utilizados no transporte de itens os quais requerem o monitoramento de indicadores ambientais, neste caso mais incidentemente o indicador de temperatura.

No Gráfico 2 é exposta uma projeção do custo estimado de cada dispositivo para a realização de 10 (dez) viagens de transporte onde inicia-se a aferição na origem e encerra-se no destino, ressaltando que os dispositivos caracterizados como “*single use*” seriam de uso único e após isso descartados.

Nesta projeção é possível verificar que o custo progride na utilização dos dispositivos “*single use*” e o custo da utilização do protótipo IoT se mantém linearmente.

Obviamente o custo elevado dos dispositivos comparados são em decorrência a uma série de questões sabidas estas inerentes a industrialização, licenciamentos, importação, dentre tantas outras questões, mas o intuito aqui neste cenário é demonstrar a viabilidade do protótipo frente a outras opções já existente e disponíveis comercialmente.

Gráfico 2 – Projeção de Custo Acumulado x Viagem Realizada p/ Dispositivo

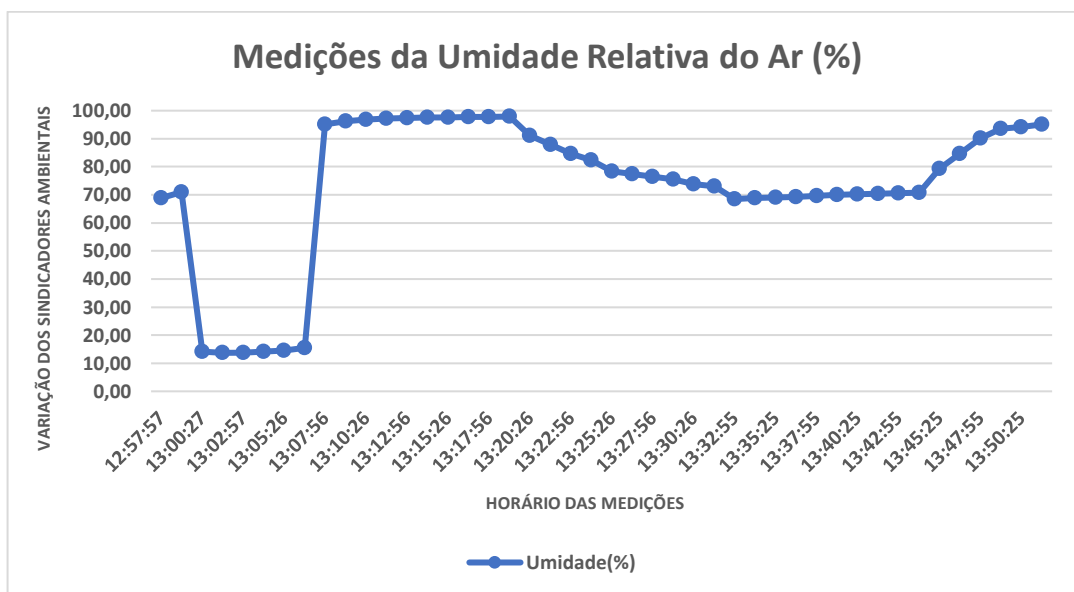


Fonte: Acervo Pessoal, 2023

Nos gráficos 3, 4 e 5 são expressas um conjunto de medições realizadas com o dispositivo a fim de demonstrar o efetivo funcionamento e comportamento do mesmo diante a sua exposição a cenários diversos onde variam os indicadores ambientais.

No gráfico 3 é possível visualizar as variações na umidade relativa do ar capturas pelo dispositivo IoT ao ser exposto ao cenário onde existe a variabilidade deste indicador específico.

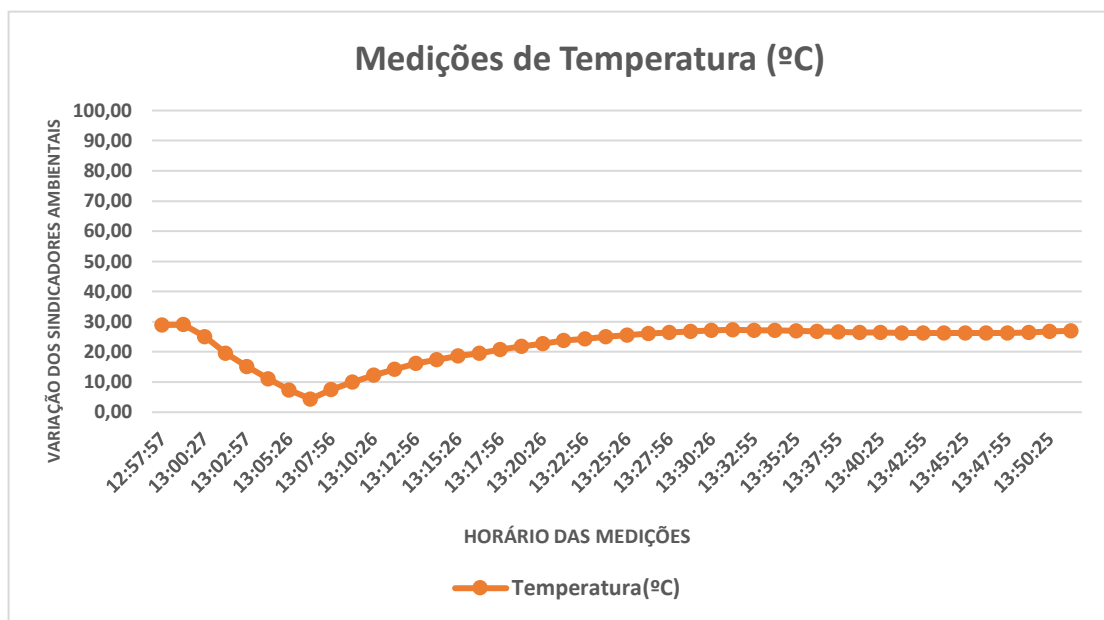
Gráfico 3 – Medições da Umidade Relativa do Ar



Fonte: Acervo Pessoal, 2023

No gráfico 4 da mesma forma, são expressas as variações de temperatura em graus celsius (°C) ocorridas no ambiente e capturadas pelo dispositivo IoT no cenário a qual ele foi exposto.

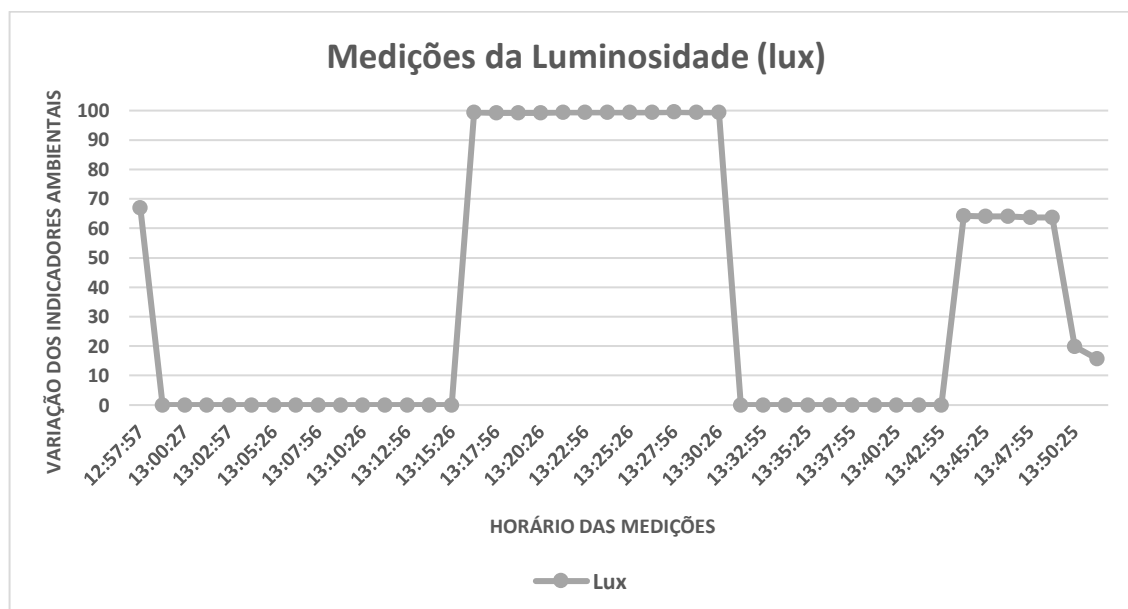
Gráfico 4 – Medições de Temperatura (°C)



Fonte: Acervo Pessoal, 2023

No gráfico 5 são apresentadas as medições da variação de luminosidade em lux ocorridas no ambiente de testes, as quais o dispositivo IoT foi exposto.

Gráfico 5 – Medições da Luminosidade (lux)



Fonte: Acervo Pessoal, 2023

A partir da metodologia e recursos apresentados, no capítulo seguinte “Resultados e Discussões” são apresentados os resultados obtidos e as discussões sobre um panorama geral com as impressões sobre o funcionamento do dispositivo IoT, principais desafios enfrentados, melhorias, aplicações futuras dentre outros.

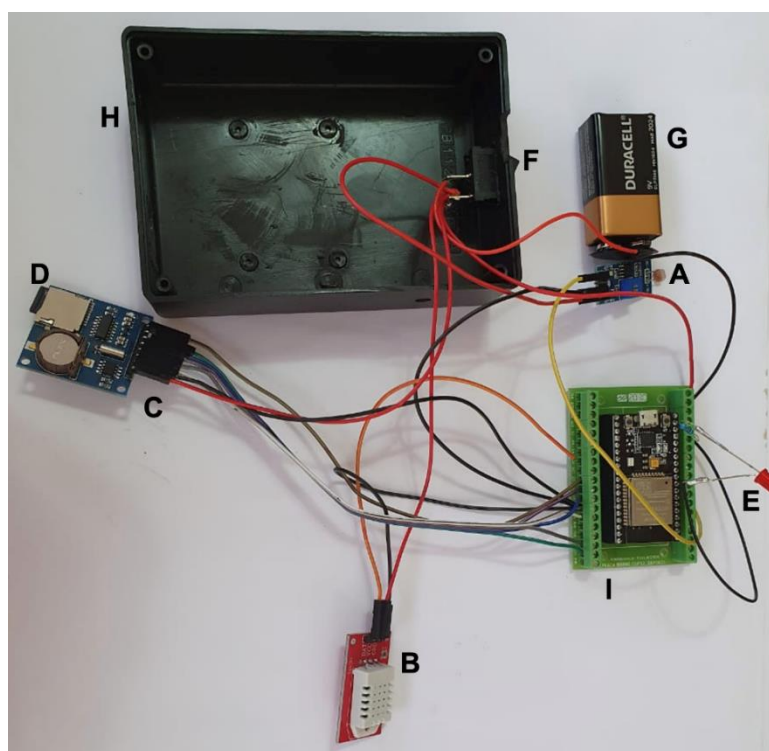
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Do presente estudo resultou-se um protótipo de um dispositivo físico de tecnologia aplicada os fundamentos da Internet das Coisas, que atua na captação autônoma de indicadores ambientais de temperatura, umidade relativa do ar e luminosidade, armazenando-os em mídia local em arquivo de formato digital.

O protótipo visa atender as especificações do modelo da pesquisa em colaboração que estabelece o monitoramento autônomo de indicadores ambientais durante o transporte de amostras biológicas, o protótipo é ilustrado e descrito o seu funcionamento a seguir por meio das figuras 32, 33 e 34.

4.1.1 Imagens do protótipo

Figura 32 – Imagens Iniciais do Protótipo(aberto)



Descrição: A) Sensor captador LDR (Light Dependent Resistor); B) Sensor DHT22 modelo AM302 (temperatura e umidade); C) Mini Data Logger RTC; D) Cartão Micro SD; E) Indicador de funcionamento LED (Light-Emitting Diode; F) Chave liga/desliga; G) Bateria de energia (9v); H) Caixa de plástico tipo “patola”; I) Microcontrolador ESP32 NodeMCU (38 pinos).

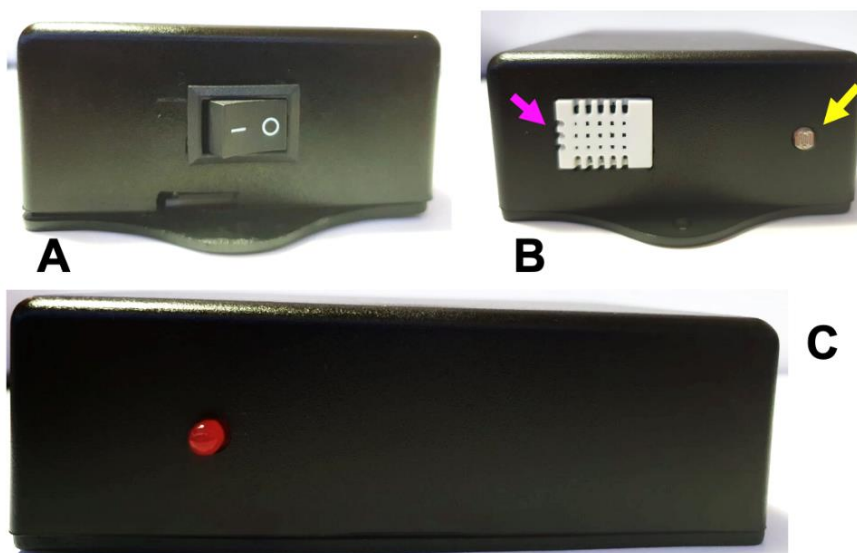
Fonte: Acervo Pessoal, 2023

Figura 33 – Dispositivo montado



Fonte: Acervo Pessoal, 2023

Figura 34 – Disposição externa do dispositivo



Descrição: a) Lateral onde está localizado o botão liga/desliga; b) Lateral que abriga os sensores de luminosidade (seta amarela) e temperatura/umidade (seta magenta); c) Lateral que exibe o LED indicador de funcionamento do dispositivo.

Fonte: Acervo Pessoal, 2023

Na Figura 35 é possível visualizar a disposição dos dados gerados pelo dispositivo IoT, os dados são gerados sob um formato denominado como JSON (*Javascript Object Notation*).

Figura 35 – Captura dos dados no formato JSON

```
{"datahora":"18/02/2021 14:26:00","umidade":36.50,"temperatura":29.10,"luminosidade":3254}  
{"datahora":"18/02/2021 14:27:00","umidade":41.60,"temperatura":28.00,"luminosidade":4095}  
{"datahora":"18/02/2021 14:28:00","umidade":42.20,"temperatura":27.90,"luminosidade":4095}  
{"datahora":"18/02/2021 14:29:00","umidade":42.10,"temperatura":27.50,"luminosidade":4095}
```

Descrição: dados de captura das variáveis ambientais, como são gravados no dispositivo de armazenamento.

Fonte: Acervo Pessoal, 2023

Nas figuras 36 e 37 observa-se o cenário de testes que foram realizados na pesquisa em colaboração a este projeto, que propõe o modelo para o **gerenciamento e controle de variações de indicadores ambientais no transporte de amostras biológicas**, realizado por Emerson Carlos Sarti Ferrasi.

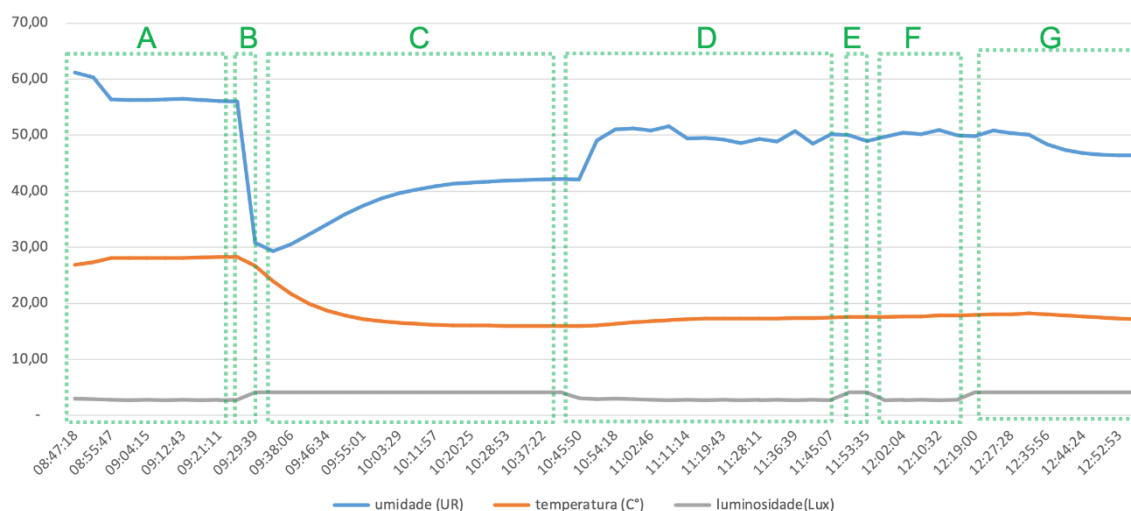
Figura 36: Caixa de Transporte de Amostras Biológicas



Descrição: Imagem ilustrativa de uma caixa térmica de transporte e do dispositivo acondicionado em seu interior, juntamente com amostras biológicas para testagem de sua funcionalidade.

Fonte: Ferrasi, 2023

Figura 37: Gráfico com as medições realizadas na caixa de transportes de amostras biológicas (ilustrada na Figura 32)



Descrição: Gráfico gerado com os dados de variação ambiental captados pelo dispositivo durante o transporte de amostras biológicas em um percurso com duração de aproximadamente nove horas e cinco minutos. As linhas azul, laranja e cinza indicam umidade, temperatura e luminosidade, respectivamente. A área definida com retângulos pontilhados verdes indicam as situações-teste: **A)** caixa aberta e vazia (sem amostra); **B)** inserção da amostra na caixa; **C)** caixa fechada; **D)** caixa aberta; **E)** fechamento da caixa; **F)** caixa aberta; **G)** caixa fechada.

Fonte: Ferrasi, 2023

4.1.2 Principais Desafios na Construção do Protótipo

A construção do protótipo passou por várias fases, neste item serão relatadas as fases que mais se destacaram e as que trouxeram os maiores desafios.

A fase inicial consiste em identificar os componentes mais adequados para o protótipo sendo essa uma das mais críticas, pois existem muitos componentes disponíveis, mas nem todos atendem os parâmetros necessários, foi necessário uma série de testes e a aquisição de mais de um tipo de sensor para garantir o melhor resultado.

Além da diversidade dos sensores disponíveis, outro desafio foi a montagem e acondicionamento de todos os componentes na caixa patola, onde é necessário criar aberturas em sua estrutura física para expor os sensores de temperatura e umidade por exemplo, onde precisam estar em contato com o exterior do invólucro.

Ao acondicionar os dispositivos em conjunto na caixa, após diversas tentativas e até uma possível soldagem em placa de circuito, percebeu-se que seria necessário um recurso mais eficaz e flexível na interligação dos componentes.

Por tratar-se de um protótipo onde modifica-se muito o arranjo do projeto precisou de uma adequação neste aspecto ao interconectar os componentes ao microcontrolador pois são muitos fios e a sua espessura é bem delicada.

Com isso optou-se pelo uso de um “*borne*” uma espécie de berço para a encaixar a placa, deste modo a junção dos fios ocorre por parafusos, por se tratar de um protótipo a interconexão por solda/estanho torna-se inviável pois é preciso a todo o instante a religação dos fios dos componentes.

Além de todos os desafios na montagem física do dispositivo a codificação do código fonte trouxe uma série de dificuldades como por exemplo, a leitura dos sensores de forma correta, a transformação dos indicadores ambientais em arquivo digital e a gravação em mídia de armazenamento.

Existem muitas formas de se acionar tais ações, mas todas culminam no uso da fonte de alimentação externa, a partir disso, deve-se otimizar ao máximo a utilização da energia.

Para isso foi necessária a adequação na codificação onde a placa ESP32 entra em um estado de hibernação, consumindo minimamente a bateria entre os intervalos das leituras e com isso, não consome a bateria desnecessariamente, prolongando a capacidade energética, ajustar esse sincronismo foi uma das maiores dificuldades na codificação.

Após a finalização do dispositivo ocorre a fase de testes onde foi possível verificar o seu funcionamento dentro de um ambiente simulado, ao expor o dispositivo as variações ambientais perceberam-se alguns fatores que limitaram a sua utilização, como por exemplo, baixas temperaturas em torno de -10°C o dispositivo interrompeu a aferição por alguns instantes.

Também não é possível expor o dispositivo a líquidos ou a ambientes com altas temperaturas podendo assim danificar e até inutilizar o dispositivo provocando o derretimento dos materiais que não são resistentes ao calor extremo. Com isso, é necessário o direcionamento correto ao cenário ao qual o dispositivo será exposto.

4.1.3 Melhorias e aplicações futuras

Apesar do dispositivo IoT desenvolvido ter se demonstrado eficaz para a aplicação dentro dos parâmetros do modelo proposto, ainda requer algumas melhorias e possíveis aplicações futuras, como por exemplo, a interconexão com a

Internet de tal forma que fosse possível a transmissão dos dados em tempo real para um servidor.

Tal abordagem foi descartada nesta ocasião, devido à dificuldade de se obter uma conexão de ampla cobertura pelas redes de telefonia móvel e durante o transporte dos materiais e devido aos custos adicionais que isso acarretaria ao projeto, pois a proposta inicial é calcada em se obter um dispositivo que traga mais possibilidades de indicadores ambientais e que se mantenha a um custo viável.

O microcontrolador ESP32 utilizado nesta ocasião conta apenas com a conexão wifi e para a submissão de dados via Internet seria necessário a aquisição de um módulo adicional(dispositivo) o qual seria acoplado a um cartão SIM (do inglês: *subscriber identity module*) de telefonia móvel, sendo assim a necessidade de um plano de assinatura de dados junto a rede de telefonia móvel, bem como uma ampla cobertura em área geográfico, por isso, tal abordagem não foi adotada e assim inviabilizada pelo pesquisador.

Além da interconexão e submissão de dados em tempo real através da Internet, cogita-se a utilização da interconexão de dados via *bluetooth* recurso este que também acarreta a utilização de uma segunda aplicação de software bem como um dispositivo móvel para a interconexão e consumo dos dados.

4.1.4 Aplicações em potencial

O dispositivo foi projetado para a aplicação em situações em que possam ser detectadas e registrados os indicadores ambientais de luminosidade, temperatura e umidade. Existem muitos cenários onde o dispositivo é capaz de ser utilizado, a abordagem inicial foi a verificação das condições ambientais no interior de caixas térmicas para o transporte de amostras biológicas, mas, no entanto, é possível verificar as condições de outros tipos de materiais que sejam expostos nas mesmas condições.

Nos últimos anos tivemos uma demonstração de como foi importante a vacinação devido a pandemia do COVID-19, e as vacinas, conforme já supracitado no capítulo 2, geralmente são transportadas em condições parecidas e o seu monitoramento torna-se muito importante para garantir a sua consistência e eficácia.

Outro exemplo também não menos importante é o transporte de medicamentos, bolsas de sangue dentre outros tipos de materiais onde a variação

desses indicadores aqui observado são preponderantes na garantia de sua condição final.

4.1.5 Desvantagens verificadas

O dispositivo possui limitações e pode ser utilizado somente em condições específicas, preferencialmente para as quais foi projetado, onde utiliza-se caixas térmicas para o transporte de matérias, neste caso, amostras biológicas ou outros, desde que as condições ambientais (no interior da caixa) sejam parecidas.

O dispositivo não é aplicável a qualquer condição e não pode ser exposto a temperaturas muito baixas (abaixo de -10) ou muito altas, podendo danificá-lo.

A exposição a líquidos, também é um dos fatores que podem arretar na sua danificação ou inutilização, com isso, o dispositivo requer algumas melhorias de projeto para ser exposto a cenários mais críticos.

4.1.6 Custos para a construção do dispositivo IoT

Na tabela 1 estão listados os componentes utilizados na construção do projeto/protótipo, estão dispostos os custos obtidos a partir da compra dos componentes através de vendas no varejo e em sites de e-commerce.

Tabela 1 - Custo* aproximado dos componentes utilizados no protótipo do dispositivo IoT

Componente	Qtde	Valor Unit. (R\$)	Total (R\$)
Microcontrolador ESP32	1	10,75	10,75
Mini Data Logger RTC	1	19,60	19,60
Lâmpada LED	1	0,25	0,25
Sensor LDR (Luz)	1	3,69	3,69
Sensor DHT22 (temp/umid)	1	9,34	9,34
Cartão Mem. MicroSD 64GB	1	10,80	10,80
Placa Adaptadora Borne	1	13,30	13,30
Caixa tipo patola	1	5,60	5,60
Bateria 9v (Recarregável)	1	22,00	22,00
Cabos	20	0,10	2,00
Custo Final:			R\$ 97,33
*valores unitários obtidos no varejo em junho de 2023. Qtde. = Quantidade; Unit. = Unitário			

É importante frisar que os valores acima mencionados são praticados por empresas que efetuam a venda dos componentes no varejo, se caso a aquisição for feita em lotes maiores os itens podem sofrer um declínio em seus valores tornando ainda mais viável a sua construção em maior escala.

Existem dispositivos similares que são comercializados com valores a partir de R\$ 250,00 até R\$ 700,00. Todos eles não possuem a detecção de luminosidade.

4.2 Impactos da Pesquisa

Os impactos obtidos por este projeto baseiam-se na discussão e promoção do conhecimento sobre o tema da Internet das Coisas. As apresentações realizadas em eventos científicos bem como em ambientes paralelos de estudo, resulta na propagação sobre o conceito e fomento de ideias que possam contribuir para difusão e viabilização da implementação das tecnologias abordadas nesta pesquisa e as que coexistem em paralelo a elas. Nos itens a seguir serão relacionados outros possíveis impactos deste trabalho de uma forma mais direcionada.

4.2.1 Impacto Científico

A presente pesquisa busca contribuir de forma substancial a comunidade científica trazendo como base uma abordagem exploratória e experimental sobre o conceito da Internet das Coisas em seu estado atual. Tal conceito atravessa sua fase de expansão e se apresenta como algo muito recente e ainda com possibilidades limitadas de aplicação, com isso, as contribuições aqui relacionadas podem servir de alento ou base inicial de conhecimento para pesquisas futuras e correlatas.

4.2.2 Impacto Tecnológico

Por meio da abordagem do cenário tecnológico proposto pela Internet das Coisas este projeto sugere uma das inúmeras possíveis arquiteturas de software e hardware e fomenta a discussão sobre a aplicabilidade de dispositivos microcontrolados interconectados a sensores captadores, coletando dados de forma autônoma, sobre variações ambientais.

Sendo esta umas das abordagens mais adotadas pelos projetos existentes para o ecossistema da IoT.

4.2.3 Impacto Econômico

O tema abordado nesta pesquisa oferece inúmeras possibilidades de facilitar o cotidiano das pessoas e organizações com o uso de tecnologias de informação e comunicação. O primeiro impacto são as tecnologias exploradas, as quais não requerem nenhum tipo de licenciamento e compra de credenciais para o desenvolvimento e publicação do produto final, facilitando e encurtando o tempo de desenvolvimento do projeto e testes. Outro aspecto é que muitas dessas tecnologias podem ser direcionadas para obtenção de economia de diversas formas, desde economia financeira com a otimização de tempo e recursos, como a facilitação e organização do acesso a informações. Foco central da abordagem da IoT.

4.2.4 Impacto Mercadológico

O mercado de tecnologia da informação sofre, atualmente, uma convergência de evolução. Muitas dessas mudanças ocorrem nos recursos que estão sendo projetados sob o uso da Internet como plataforma de telecomunicação.

Estima-se que em pouco tempo serão apresentadas diversas inovações na obtenção e propagação de informações. Grandes corporações já investem muitos recursos financeiros para o fomento de pesquisas e aceleração dessas inovações.

O dispositivo construído e experimentado apresenta uma abordagem viável e com diferenciais importantes frente a outros já existentes em escala comercial e que já são amplamente utilizados e estabelecidos no mercado. O protótipo serve de inspiração e insumo para projetos futuros em que pode surgir novas ideias e a criação de novos dispositivos e projetos.

4.2.5 Impacto Ambiental

Uma das principais discussões que o tema abordado no projeto fomenta é a sustentabilidade e otimização de recursos com a propagação autônoma de dados e a geração de informações.

A Internet das Coisas poderá contribuir para o uso sustentável de inúmeros recursos ambientais, como, por exemplo, a energia elétrica, desperdício de água, uso indiscriminado de papel, dentre outros.

A exemplo disso, o protótipo aqui exposto trata-se de um dispositivo que não é descartado após o seu uso como outros aqui expostos, além de possuir uma possibilidade de utilização prolongada pode-se ainda modificar facilmente a sua caracterização inicial acrescentando mais componentes e tornando-o melhor ou mais eficiente dependendo da abordagem escolhida.

As possibilidades da IoT são expressivas e podem contribuir muito para uma revolução na diminuição dos impactos ambientais gerados pelo Homem em nosso planeta.

Sendo assim, no próximo capítulo “Resultados Finais” são apresentadas as conclusões e considerações gerais sobre o desenvolvimento desta presente tese.

5. CONCLUSÕES

A Internet das Coisas surge em decorrência da evolução da própria Internet e desponta como uma das maiores revoluções tecnológicas ocorridas nas últimas décadas.

A tecnologia da IoT fundamenta que a infraestrutura da Internet evolui de uma rede de computadores para uma rede de objetos (“coisas”) e dispositivos inteligentes, que colem, processem e armazenem dados dos ambientes físicos os quais estejam presentes.

Onde é importante salientar que este processo transcorra de forma autônoma sem a interação humana, realizando o compartilhamento dos dados coletados, com outros dispositivos e pessoas, utilizando a Internet.

Tais aspectos trazem uma infinidade de aplicações, onde os smartphones e dispositivos móveis são protagonistas pois estão presentes no cotidiano das pessoas e organizações, auxiliando e facilitando as mais diversas atividades em que existe o consumo instantâneo e compartilhamento de informações.

A partir disso, esta pesquisa explora uma gama de recursos disponíveis para o desenvolvimento desta tecnologia, o cenário proposto para o desenvolvimento do experimento baseia-se num conjunto de parâmetros necessários que caracterizam um modelo ideal proposto pelos fundamentos desta tecnologia.

A atividade de pesquisa e desenvolvimento é de suma importância para a evolução da IoT, pois as suas projeções apesar de promissoras, ainda requerem o desenvolvimento de soluções.

Existem muitas barreiras ainda a serem superadas e os resultados deste presente estudo corrobora de forma a contribuir para a exploração dos meios e recursos atualmente disponíveis, a fim de explorá-los e verificá-los.

Com isso este presente estudo demonstra por meio de seus resultados, ser possível a aplicação da tecnologia da Internet das Coisas (IoT) sob um cenário com necessidades reais de utilização.

Que os recursos tecnológicos aqui aplicados com base nos fundamentos desta tecnologia podem contribuir consideravelmente para o monitoramento autônomo de indicadores ambientais em que seja necessário o gerenciamento e controle de variações de temperatura, umidade e luminosidade, nesta ocasião, no transporte de amostras biológicas.

Mostra que é possível a construção de um dispositivo de baixo custo com componentes acessíveis apoiado nos fundamentos da IoT e que com alguns ajustes pode-se tornar um recurso viável para a utilização real.

Sendo assim, esta pesquisa aplica os conceitos da Internet das Coisas e reafirma o seu potencial como uma das mais atuais e revolucionárias fase de evolução tecnológica da própria Internet.

Muitos autores apontam que ainda existe um longo caminho, difícil e trabalhoso, mas sem retorno, onde da mesma maneira que o surgimento da Internet revolucionou a comunicação a Internet das Coisas será na geração e disponibilização autônoma de dados, visando auxiliar as mais diversas tarefas da vida cotidiana.

Revisitando a analogia descrita por Mark Weiser nos anos 90, onde relata que um dia os PCs convencionais iriam desaparecer e que teríamos a era da tecnologia calma, onipresente e unida ao tecido de nossas vidas, pode-se considerar que com os recursos tecnológicos disponíveis atualmente, alinhados aos constantes avanços das tecnologias móveis este fato pode estar se concretizando.

A chamada Internet dos objetos mudará tudo, inclusive nós mesmos. Isso pode parecer uma declaração arrojada, mas considere o impacto que a Internet já teve na educação, na comunicação, nos negócios, na ciência, no governo e na humanidade. Evans (2011).

Evidentemente, a Internet é uma das criações mais importantes e poderosas de toda a história humana. Os impactos dessas mudanças já são vivenciados em todas as áreas, mesmo ainda com algumas lacunas em sua total aplicação seu potencial se apresenta realmente como uma revolução tecnológica e que ainda existe muito a evoluir e explorar.

5.1 Trabalhos Futuros

As tecnologias da IoT são promissoras e existe um cenário vasto com grande potencial de aplicações, o presente estudo traz contribuições importantes para a evolução desta tecnologia, pois as suas projeções apesar de promissoras, ainda requerem o desenvolvimento de soluções.

Existem inúmeros cenários onde são considerados potenciais em aplicações análogos ao abordado nesta tese, como por exemplo: além de amostras biológicas outros materiais poderiam ser monitorados, como vacinas, medicamentos, bolsas de

sangue e derivados, órgãos e tecidos para transplante, alimentos, equipamentos, obras de arte dentre outros.

Além disso, o baixo custo relativo e o potencial de aplicação do presente dispositivo no monitoramento autônomo de materiais sensíveis, nos motivam a conduzir novos estudos para o seu aprimoramento e produção de um possível dispositivo viável.

Com algumas adequações, como por exemplo, a utilização de sensores de alta precisão e principalmente sob uma validação com a calibragem adequada, o aperfeiçoamento da captura da luminosidade a qual não foi verificada em dispositivos correlatos, dentre outras, como a proteção e vedação do dispositivo contra a exposição de líquidos.

Com isso o protótipo poderia sim ser aprimorado e segmentado para estudos mais aprofundados sobre o tema, que inclusive neste presente instante pleiteia-se a submissão do projeto a plataforma da Agência UNESP de Inovação (AUIN) e uma posterior submissão ao registro de patente no Brasil.

Diante do disposto o presente estudo mostrou a viabilidade na construção de um dispositivo que implementa os fundamentos da IoT balizado em um cenário constituído sob uma necessidade real de uso onde traz importantes aplicações no monitoramento autônomo das variações ambientais ocorridas durante o transporte de amostras biológicas.

Demonstra ainda ser viável a realização de tal monitoramento por meio da observação de variações ambientais sob o uso de um protótipo que adota como base os princípios desta tecnologia.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALECRIM, E. **Conhecendo o Servidor Apache (HTTP Server Project)**. Infowester, 2006. Disponível em: <<http://www.infowester.com/servapach.php>>. Acesso em: 24/07/2015.

ALECRIM, E. **Tecnologia Bluetooth: o que é e como funciona?** Infowester, 2008. Disponível em: <<http://www.infowester.com/bluetooth.php>>. Acesso em: 24/07/2015.

ALMEIDA, C. **Nós e os beacons**. Concrete solutions, 2014. Disponível em: <<http://concretesolutions.com.br/2014/07/nos-e-os-beacons/>>. Acesso em: 25/07/2015.

AMAZON. **AWS IoT Core**. 2022. Disponível em: https://docs.aws.amazon.com/pt_br/iot/latest/developerguide/iot-dg.pdf. Acesso em: 23 de junho de 2022.

ANVISA, MANUAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA SOBRE O TRANSPORTE DE MATERIAL BIOLÓGICO HUMANO PARA FINS DE DIAGNÓSTICO CLÍNICO, 2015

Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/sangue/transporte-de-material-biologico/manual-de-transporte-de-material-biologico-humano.pdf> acesso: 01/06/2023

AQUINO, A. **Sensores Conectados em Redes: Especial Internet das Coisas**. Revista da Sociedade Brasileira de Computação. p. 9-13, 2015.

ARDUINO. **Arduíno UNO Rev. 3**. [S.l.], 2019. Disponível em: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-unorev3>. Acesso em: 11 de novembro de 2021.

ARDUINO.CC, Arduino IDE 1, 2023 disponível em: <https://docs.arduino.cc/software/ide-v1> acesso: 10/06/2023

ASHTON, Kevin, ***That 'Internet of Things' Thing***, *RFID Journal*, 2009. Disponível em: <http://www.rfidjournal.com/articles/pdf?4986>, Acesso em: 01/10/2015.

ATZORI, Luigi; IERA, Antonio; MORABITO, Giacomo. **The Internet of Things: A survey**, 2010. Computer Networks 54 (2010), p. 2787–2805. Disponível em: http://www.elsevier.com/___data/assets/pdf_file/0010/187831/The-Internet-of-Things.pdf Acesso em: 25/10/2015.

BBC News Brasil, Internet móvel: a revolução tecnológica do smartphone, 2021, disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-55973855> acesso: 19/06/2023

BRAGA T., RUIZ L., NOGUEIRA J. **Tecnologia de nós sensores sem fio**. UFMG. 2003. Disponível em:
<https://homepages.dcc.ufmg.br/~linnyer/ufmgnossensores.pdf/>. Acesso: 10 de janeiro de 2022.

BRASIL. Decreto Nº 9.854, de 25 de junho de 2019. Institui o **Plano Nacional de Internet das Coisas e dispõe sobre a Câmara de Gestão e Acompanhamento do Desenvolvimento de Sistemas de Comunicação Máquina a Máquina e Internet das Coisas**. 2019. Disponível em:
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/D9854.htm. Acesso em: 12 de outubro de 2020

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária; BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Portaria Conjunta ANVISA/SAS Nº 370 de 07/05/2014. Dispõe sobre regulamento técnico-sanitário para o transporte de sangue e componentes. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 08 maio 2014. Disponível em:
<https://saude.rs.gov.br/upload/arquivos/carga20170553/04145347-portaria-370-2014.pdf> acesso: 01/06/2023

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária; RESOLUÇÃO DE DIRETORIA COLEGIADA - RDC Nº 20, DE 10 DE ABRIL DE 2014, disponível em:
https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2014/rdc0020_10_04_2014.pdf

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária; RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA - RDC Nº 197, DE 26 DE DEZEMBRO DE 2017, disponível em:
https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2017/rdc0197_26_12_2017.pdf

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária; RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA - RDC Nº 504, DE 27 DE MAIO DE 2021, disponível em:
http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/6278627/RDC_504_2021_.pdf/2a5ef301-325b-4947-b2fe-c4c25665b9b1

Brito, Fabio, **Sensores e Atuadores**, São Paulo, Erica, 2017

Brock F.V, **Meteorological Measurement Systems**, OXFORD, 2001.

BROOKSHEAR, J. Glenn, **Ciência da Computação - 11ed: Uma Visão Abrangente**, Bookman Editora, 2013.

CARVALHO, V. A. **Aplicação de técnicas de qualidade da informação em sensores na internet das coisas (IoT)**. Revista Ifes Ciência, Vitória, v. 7, n. 1, 2021.

CASAGRAS. CASAGRAS na EU framework 7 project. Disponível em: <https://docbox.etsi.org/zArchive/TISPAN/Open/IoT/low%20resolution/www.rfidglobal.eu%20CASAGRAS%20IoT%20Final%20Report%20low%20resolution.pdf>. Acesso em: 02 de setembro de 2022

CASTELLS, Manuel. **A Galáxia da Internet**: Reflexões sobre a Internet, os negócios e a sociedade. Rio de Janeiro: Zahar, 243 p, 2003.

CASTELO Branco, Kalinka, TEIXEIRA, Mário, GURGEL, Paulo. **Redes de Computadores: Da Teoria à Prática Com Netkit**, Elsevier Brasil, 2014. **Concrete solutions**, <http://blog.concretesolutions.com.br/2014/07/nos-e-os-beacons/>, Acesso em 25/07/2015.

CASTRO, L.B.; FRANCINNY, B. **IoT e Seus Principais Desafios**. *Revista Interdisciplinar de Tecnologias e Educação*. 2017 July v3 (1).

CAVALCANTE M. A., TAVOLARO C. R. C., MOLISANI E. Física com **Arduino para iniciantes**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. 2011. v.33, n.4, p4503.

CETIC.Br - Centro Regional de Estudos para o Desenvolvimento da Sociedade da Informação, disponível em: <https://cetic.br/pt/pesquisa/provedores/> acesso em 13/06/2023.

CGI.br - Comitê Gestor da Internet no Brasil, disponível em: https://www.cgi.br/noticia/releases/tres-em-cada-quatro-brasileiros-ja-utilizam-a-internet-aponta-pesquisa-tic-domicilios-2019/_ acesso em: 13/06/2023

CNN Brasil, Brasil tem mais smartphones que habitantes, aponta FGV, 2021, disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/economia/brasil-tem-mais-smartphones-que-habitantes-aponta-fgv/> acesso: 18/06/2023

COSTA, Rodrigo Gonçalves Porto, **Universo Java: Domine os principais recursos oferecidos por esta**, Universo dos Livros Editora, 2008.

CULKIN J. et. al. **Aprenda Eletrônica com Arduino**. 1ed, São Paulo, Novatec, 2018.

CURVELLO A., **ESP32 – Um grande aliado para o Maker IoT, 2018**, disponível em: <https://www.makerhero.com/blog/esp32-um-grande-aliado-para-o-maker-iot/> acesso: 15/06/2023

DACHYAR M., ZAGLOEL T.Y.M., SARAGIH L.R. **Knowledge growth and development: internet of things (IoT) research**, 2006-2018. *Heliyon*. 2019 Aug 28;5(8):e02264.

DEITEL P. et al, **C How to Program** 8th Edition, 2016, Pearson, England;

EBC, Internet das Coisas: saiba como essa tecnologia pode afetar sua vida, 2019, disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2019-09/internet-das-coisas-saiba-como-essa-tecnologia-pode-afetar-sua-vida> acesso: 18/06/2023

ECMA-404, **The JSON Data Interchange Format**, 1ª edição, 2013.

EMBARCADOS, A História do Arduino, 2023, disponível em: <https://embarcados.com.br/a-historia-do-arduino-parte-1-apresentando-o-arduino/> Acesso: 13/06/2023

Embarcados, O Arduino está se tornando o novo padrão da indústria, 2019, Disponível em: <https://embarcados.com.br/o-arduino-esta-se-tornando-o-padrao-da-industria/> acesso: 17/06/2023

ESPRESSIF. ESP32 NodeMCU. ESP32-DevKitC V4 Getting Started Guide. Disponível em: <<https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/hwreference/esp32/get-started-devkitc.html> > Acesso: 15/02/2022.

ESPRESSIF. **ESP-WROOM-32 Datasheet 2020**. Disponível em: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf. Acesso: 6 de dezembro de 2020. IBRAHIM, D. The Complete ESP32 Projects Guide. 1a. ed. [S.l.]: Elektor Digital, 2017. KOLBAN, N. Kolban's book on ESP32. [S.l.]: Leanpub, 2018

EVANS, Dave. **A Internet das Coisas: Como a próxima evolução da Internet está mudando tudo**. 2011. Disponível em: http://www.cisco.com/web/BR/assets/executives/pdf/internet_of_things_iot_ibsg_0411final.pdf. Acesso em: 20/05/2016

FERRASI, EMERSON CARLOS SARTI. **Internet das coisas aplicada ao gerenciamento de rastreabilidade de amostras biológicas**, Tese Doutorado, UNESP, 2023. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/239787>

FINEP. Kevin Ashton – **entrevista exclusiva com o criador do termo “Internet das Coisas”**. **Inovação em Pauta**, ed. 18, 2015. Disponível em : <http://finep.gov.br/noticias/todas-noticias/4446-kevin-ashton-entrevista-exclusiva-com-o-criador-do-termo-internet-das-coisas> acesso: 13/06/2023

FRANÇA, H. **Curso de Sensoriamento Remoto**, SENAC. 2006.

FRICK, Gabriella, How to create a proof of concept with 6 free templates, 2022, Disponível em: <https://www.techtarget.com/searchcio/tip/Free-proof-of-concept-templates-for-the-CIO>, acesso em: 01/06/2023

FRIEDEWALD, M., RAABE, O. **Ubiquitous computing: an overview of technology impacts. Telematics and Informatics**, Telematics and Informatics, vol. 28, p.55-65, 2011. GARTNER. Internet of Things Definition. 2017. Disponível em: <http://www.gartner.com/itglossary/internet-of-things/>. Acesso em: 14 de janeiro de 2020.

GIL, Antonio Carlos. Como Elaborar **Projetos de Pesquisa**. São Paulo, Atlas, 1987.

GOV.BR, Plataforma reúne todos os serviços públicos e já conta com 70% oferecidos de forma digital, 2021, disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/financas-impostos-e-gestao-publica/2021/08/plataforma-reune-todos-os-servicos-publicos-e-ja-conta-com-70-oferecidos-de-forma-digital> acesso: 15/06/2023

IBRAHIM, D. **The Complete ESP32 Projects Guide**. 1a. ed. [S.l.]: Elektor Digital, 2017.

IOT ANALYTICS, disponível em: <https://iot-analytics.com/number-connected-iot-devices/> acesso em: 10/06/2023

KOLBAN, N. **Kolban's book on ESP32**. [S.l.]: Leanpub, 2018

LE MOS, André. **"Cultura da mobilidade."** Revista Famecos - Midia, Cultura e Tecnologia 40 (2009): Disponível em: <http://go.galegroup.com/ps/i.do?id=GALE%7CA305250580&v=2.1&u=capes&it=r&p=AONE&sw=w&asid=3294ae57dd3593f5f713f70b42b4d21b>. Acesso em: 10/10/2015.

LE MOS, André. **A Comunicação das Coisas: teoria ator-rede e cibercultura**. São Paulo: Annablume, 310 p, 2013.

LINFO.ORG, **Source Code Definition**, 2004, disponível em: http://www.linfo.org/source_code.html acesso: 16/06/2023

LOPEZ RESEARCH. **Uma introdução à Internet das Coisas (IoT)**. São Francisco, 2013. Disponível em: https://www.cisco.com/c/dam/global/pt_br/assets/brand/iot/iot/pdfs/lopez_research_a_n_introduction_to_102413_final_portuguese.pdf. Acesso em: 12 de julho de 2022.

MANCINI, M. **Internet das Coisas: História, Conceitos, Aplicações e Desafios**, 2018. Disponível em: http://monicamancini.com.br/wp-content/uploads/2019/07/Monica_ManciniEbook_lot.pdf. Acesso em: 05 de agosto 2022.

MATHEEN, M. A., SUNDAR, S. **IoT Multimedia Sensors for Energy Efficiency and Security: A Review of QoS Aware and Methods in Wireless Multimedia Sensor Networks**. Int J Wireless Inf Networks. Sensors. 19(1), 199, 2019.

McROBERTS, M. **Arduíno Básico**. São Paulo: Novatec, 2.ed. 505p, 2015

META, Internet das Coisas estabelece novo paradigma no uso do Big Data, 2023, disponível em: <https://www.meta.com.br/o-que-e-internet-das-coisas/> acesso: 12/06/2023

MOBILETIME, Precisamos do básico para criar padrões em IoT, clama especialista, 2022, disponível em: <https://www.mobiletime.com.br/noticias/02/03/2022/precisamos-do-basico-para-criar-padroes-em-iot-clama-especialista/> acesso: 16/06/2023

Mobiletime, Qualcomm inaugura centro de pesquisas de IoT no Brasil, 2018, disponível em: <https://www.mobiletime.com.br/noticias/18/09/2018/centro-de-iot-da-qualcomm-mira-em-visao-computacional-e-smart-cities-no-brasil/> acesso: 10/06/2023

Mundo do Marketing, E-commerce brasileiro lidera o ranking mundial de crescimento, 2023, disponível em: <https://www.mundodomarketing.com.br/e-commerce-brasileiro-lidera-o-ranking-mundial-de-crescimento/> acesso: 25/06/2023.

NBC NEWS, Witnessing papal history changes with digital age, 2013, disponível em: <https://www.uol.com.br/tilt/noticias/redacao/2013/03/14/imagens-mostram-evolucao-tecnologica-da-morte-de-joao-paulo-2-a-escolha-do-papa-francisco.htm>, acesso: 16/06/2023.

NIC.br - Núcleo de Informação e Coordenação, disponível em: <https://nic.br/noticia/nasce-a-internet/4397> acesso em 10/06/2023.

ORACLE. **O QUE É IOT?** Disponível em: Acesso em: 19/12/2022.

Organismo Brasil, O caminho promissor da IoT no Brasil, 2023, disponível em: <https://organismobrasil.com.br/o-caminho-promissor-da-iot-no-brasil/#:~:text=No%20Brasil%2C%20o%20setor%20mais,sa%C3%BAde%2C%20agroneg%C3%B3cios%20e%20cidades%20inteligentes.> acesso: 19/06/2023

Plataforma de hardware de baixo custo para ensino de conceitos em Internet das Coisas. Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, Lousada, n. 28, p. 510-519, 2020.

PODER360, Internet é principal meio de informação para 43%; TV é mais usada por 40%, 2021, disponível em: <https://www.poder360.com.br/midia/internet-e-principal-meio-de-informacao-para-43-tv-e-preferida-de-40/>, acesso: 17/06/2023

POPESCU, D., STOICAN, F., STAMASTESCU, G., et al. **Advanced UAV–WSN System for Intelligent Monitoring in Precision Agriculture. Sensors**, v. 20, n. 3, 2020. **RASPBERRYPI FOUNDATION**. Disponível em: Acesso: 10 de janeiro de 2021.

RASPBERRY PI. **Raspberry Pi Foundation. 2021**. Disponível em: Acesso: 27/01/2021

REIGONES, A. R., GASPAR, P. D., GARCIA, N. M. **Sistema de monitorização de biosinais de gado baseado em tecnologias da informação e comunicação & eletrónica (TICE)**. In: **International Congress on Engineering 2017. Proceedings**, ICEUBI, 2017. SABO, P. H.; KAWAMOTO, A.; LIBERATO, R.; CARDIERI, P.

Sales A.C.L, **Desempenho de sensores**, disponível em: <http://www2.decom.ufop.br/imobilis/desempenho-de-sensores-parte-1/> acesso: 14/06/2023

SANTAELLA, Lucia, **Desvelando a Internet das Coisas**, 2013, Revista GEMINIS ano 4 - n. 2 - v. 1 | p. 19 – 32. Disponível em: <http://www.revistageminis.ufscar.br/index.php/geminis/article/view/141> Acesso em: 03/10/2015.

SANTAELLA, Lucia. **"Mídias locativas: a internet movel de lugares e coisas."** Revista Famecos - Midia, Cultura e Tecnologia. .35 (Abr. 2008): p96 acesso em: 25/10/2015

SANTAELLA, Lucia. **Comunicação ubíqua**: Repercussões na cultura e na educação. São Paulo: Paulus, 2013.

SANTOS B.P., SILVA L. A. M., CELES C. S. F. S., et al. **Internet das Coisas: da Teoria à Prática**. 2016. **Internet das Coisas Uma Breve Introdução e Perspectivas na Área da Saúde**: Componentes da Internet das Coisas 17 TEIXEIRA, H.T.,

SANTOS, B.P. et al. **Internet das Coisas: da Teoria à Prática. Minicursos / XXXIV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos**; Porto Alegre: SBC, 2016. p.01-50. Disponível em: <https://bps90.github.io/assets/files/MinicursosSBRC2016.pdf>. Acesso em: 13 de setembro de 2022.

Sousa, W. Q., **A Importância da Plataforma Arduino no Meio Acadêmico, 2018**, disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-eletrica/meio-academico> acesso: 15/06/2023

Startse, Wearables: como o médico conhece seu paciente com a IoT?, 2023, disponível em: <https://www.startse.com/artigos/wearables-como-o-medico-conhece-seu-paciente-com-a-iot/> acesso: 15/06/2023

T. Bray, E. (2013). Rfc 7159 - **the javascript object notation (json) data interchange format**. 3:16.

TAVARES, M.F., PEREIRA, R.V.M. **Sistemas Digitais**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A. 184p, 2017.

TEIXEIRA, F. **Arquitetura de informação**. UX. 2014. Disponível em: <http://arquiteturadeinformacao.com/ux-em-espacos-fisicos/tudo-o-que-voce-precisa-saber-para-comecar-a-brincar-com-ibeacons/>. Acesso em: 25/07/2015.

Teleco, http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialcelb/pagina_1.asp, acesso em 24/07/2015.

TELECO. **Telefonia celular: o que é?** Disponível em: http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialcelb/pagina_1.asp. Acesso em: 24/07/2015.

THOMAZINI, Daniel, Pedro U. B, **Sensores industriais: Fundamentos e aplicações**, Ed. São Paulo, Erica, 2005.

VELLOSO, Fernando, **Informática: Conceitos Básicos** - 9ª Edição, Elsevier Brasil, 2014.

WEISER, M. **The computer for the 21st century**, *Scientific American*, pp. 94-104, Set 1991, Disponível em: <https://www.lri.fr/~mbl/Stanford/CS477/papers/Weiser-SciAm.pdf>, Acesso em: 18 de setembro de 2022.

WEISER, Mark, **The computer for the 21st century**, *Scientific American*, pp. 94-10, Setembro 1991, Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=329124.329126>, Acesso em: 18/05/2016.

XU, L. D., HE, W., LI, S. **Internet of Things in Industries: A Survey**. *IEEE Trans. Ind. Inf.* 10:2233–2243, 2014.

XU, L.D.; HE, W.; LI, S. **Internet of Things in Industries: A Survey**. *IEEE Trans. Ind. Inf.* 2014; 10:2233–2243. YANG, C.; SHEN, W.; WANG, X. Internet of Things in manufacturing: An overview. *IEEE SMC*. 2018 May; 4:6–15. ZABADAL, B. M.;