



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Rio Claro

Pedro Luis Antonelli

**PLATAFORMA DE APRENDIZAGEM
BASEADA EM IoT: UM EXPERIMENTO EM
BANCADA DIDÁTICA**

Rio Claro

2019

Pedro Luis Antonelli

**PLATAFORMA DE APRENDIZAGEM BASEADA EM IoT:
UM EXPERIMENTO EM BANCADA DIDÁTICA**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação, junto ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Câmpus de Rio Claro.

Orientador: Prof. Dr. Ivan Rizzo Guilherme
Coorientador: Prof. Dr. Rodolfo Ipolito Meneguette

Rio Claro

2019

A634p

Antonelli, Pedro Luis

Plataforma de Aprendizagem Baseada em IoT : Um Experimento em Bancada Didática / Pedro Luis Antonelli. -- Rio Claro, 2019
110 f.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro

Orientador: Ivan Rizzo Guilherme

Coorientador: Rodolfo Ipolito Meneguette

1. Internet das Coisas. 2. Plataforma Didática. 3. Laboratório Didático. 4. Laboratório Remoto. 5. Otimização de Comunicação na lot. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Pedro Luis Antonelli

PLATAFORMA DE APRENDIZAGEM BASEADA EM IoT: UM EXPERIMENTO EM BANCADA DIDÁTICA

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação, junto ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Câmpus de Rio Claro.

Banca Examinadora

- Prof. Dr Ivan Rizzo Guilherme (Orientador)
Departamento de Estatística, Matemática Aplicada e Computação
Universidade Estadual Paulista - UNESP
- Prof. Dr. Kalinka Regina Lucas Jaquie Castelo Branco
Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação
Universidade de São Paulo - USP
- Prof. Dr. Benedito Renê Fischer
Departamento de Estatística, Matemática Aplicada e Computação
Universidade Estadual Paulista - UNESP

Rio Claro

06 de agosto de 2019

*Este trabalho é dedicado a minha filha,
e que ele possa servir de incentivo a ela,
para que caminhe, muito além de onde eu fui.*

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a Deus por ter me guiado e auxiliado em todos os momentos de minha vida.

Agradeço também a minha esposa, pela paciência que teve, para me suportar e me incentivar nos momentos em que eu já estava desistindo.

Meus sinceros agradecimentos ao meu professor e orientador, Dr. Ivan Rizzo Guilherme pela imensa contribuição em minha vida acadêmica. Seu apoio em todos os momentos, desde o primeiro contato com o programa de pós graduação, acreditando que independente da idade e da formação acadêmica, com vontade e disposição é possível atingir a meta desejada, fez com toda a certeza, principalmente no momentos difíceis, a diferença para que essa mestrado fosse concluído.

Agradeço também aos professores com quem pude ter o prazer de conviver e aprender, e também aos colegas com quem cursei as disciplinas, sempre dispostos a ajudar o "tio" quando necessário.

Resumo

Entre as várias possibilidades do uso da IoT no contexto educacional, o presente trabalho tem como foco apresentar as possibilidades da sua utilização para o desenvolvimento e melhoria nas ferramentas utilizadas para a execução de atividades práticas em laboratório, criando uma plataforma didática, que permita a execução de tarefas práticas, e que possibilite ao professor o acompanhamento das atividades realizadas pelo aluno, de forma local ou remota. Entre os aspectos que diferem dos trabalhos similares, estão a existência de dispositivos reais, mas com capacidade de processamento embarcado, conferindo alguma "inteligência" ao dispositivo convencional. A possibilidade de ter a supervisão sendo efetuada de forma local ou remota pelo professor, dá mais liberdade para que o professor avalie a necessidade de estar fisicamente presente na execução das atividades práticas. Com esse objetivo, é proposto a construção de um experimento que visa mostrar a viabilidade da construção de uma bancada didática, que agrega as vantagens da utilização de dispositivos reais, juntamente com a aplicação da tecnologia disponível, obtida com a popularização da IoT. O direcionamento do experimento, além da melhoria do sucesso nas atividades práticas, também visa a melhoria da segurança na realização das atividades, mediante os recursos tecnológicos agregados aos dispositivos, mediante o uso dos recursos da IoT. Na parte final do trabalho, é apresentado um algoritmo de redução das mensagens trocadas pelos dispositivos, com a finalidade de permitir o aumento da escalabilidade da plataforma. Os resultados obtidos no experimento, apontam para a viabilidade do uso da plataforma proposta como uma ferramenta segura para a realização de atividades práticas, de forma segura e eficiente.

Palavras-chave: Internet das Coisas, Plataforma didática, Laboratório didático, Laboratório Remoto, Otimização de Comunicação na IoT.

Abstract

Among the various possibilities of the use of IoT in the educational context, the present work focuses on the possibilities of its use for the development and improvement of the tools used for the execution of practical activities in the laboratory, creating a didactic platform that allows the execution of practical tasks, and that allows the teacher to follow the activities carried out by the student, locally or remotely. Among the aspects that differ from similar works are the existence of real devices, but with on-board processing capability, giving some "intelligence" to the conventional device. The possibility of having supervision carried out locally or remotely by the teacher gives more freedom for the teacher to evaluate the need to be physically present in the execution of practical activities. With this objective, it is proposed the construction of an experiment that aims to show the viability of the construction of a didactic workbench, which adds the advantages of the use of real devices, together with the application of available technology, obtained with the popularization of IoT. The aim of the experiment, as well as the improvement of the success in the practical activities, is also to improve the safety in the accomplishment of the activities, through the technological resources added to the devices, through the use of IoT resources. In the final part of the work, an algorithm is presented to reduce the messages exchanged by the devices, to increase the platform scalability. The results obtained in the experiment point to the feasibility of using the proposed platform as a safe tool to perform practical activities safely and efficiently.

Keywords: Internet of Things, Didactic platform, Didactic laboratory, Remote Laboratory, IoT Communication Optimization.

Lista de Figuras

Figura 1 – Bancadas Comerciais - Extraída de [1].	22
Figura 2 – Modelos de IoT. Adaptado de [2].	25
Figura 3 – Modelo de IoT Local. Adaptado de [2].	25
Figura 4 – Modelo de IoT em Nuvem. Adaptado de [2].	26
Figura 5 – Variação no modelo de IoT em Nuvem. Adaptado de [2].	27
Figura 6 – Modelo de IoT em Neblina. Adaptado de [2].	28
Figura 7 – Modelo Publicador/Assinante. Adaptado de [3].	29
Figura 8 – Estrutura de Monitoramento e Controle - IoT. Adaptado de [4].	31
Figura 9 – Pilares da IoT quando aplicada ao contexto da educação. Adaptado de [4].	33
Figura 10 – Modelo Básico de ensino utilizando IoT. Adaptado de [5].	34
Figura 11 – Arquitetura geral - IoT + IoTE. Elaborado pelo autor.	35
Figura 12 – Bancada Didática, Extraído [6].	36
Figura 13 – Bancada Didática. Extraído de [7]	37
Figura 14 – Laboratório Remoto. Extraído de [8]	38
Figura 15 – Laboratório Remoto. Extraído de [9].	39
Figura 16 – Laboratório Remoto. Extraído de [10].	39
Figura 17 – Laboratório Virtual. Extraído de [11].	40
Figura 18 – Laboratório Virtual. Extraído de [12].	41
Figura 19 – Laboratório Virtual. Extraído de [13].	41
Figura 20 – Relação entre a arquitetura IoT geral e a implementada. Elaborado pelo autor.	50
Figura 21 – Painel de Montagem. Elaborado pelo autor.	52
Figura 22 – Diagrama em blocos do dispositivo Painel de Montagem. Elaborado pelo autor.	53
Figura 23 – Dispositivo Interruptor. Elaborado pelo autor.	53
Figura 24 – Diagrama em blocos do dispositivo Interruptor. Elaborado pelo autor.	54
Figura 25 – Dispositivo Lâmpada. Elaborado pelo autor.	55
Figura 26 – Diagrama em blocos do dispositivo Lâmpada. Elaborado pelo autor.	55
Figura 27 – Principais características dos módulos pesquisados. Elaborado pelo autor.	57
Figura 28 – ESP8266. Extraído de [14].	58
Figura 29 – Wemos D1 Mini. Extraído de [15].	59

Figura 30 – Circuito da Interface de Entrada. Elaborado pelo autor.	60
Figura 31 – Placa de circuito impresso da Interface de Entrada. Elaborado pelo autor. . .	61
Figura 32 – Placas da Interface de Entrada construídas. Elaborado pelo autor.	61
Figura 33 – Fluxograma do software embarcado nos dispositivos "Interruptor" e "Lâmpada". Elaborado pelo autor.	62
Figura 34 – Fluxograma do software embarcado no dispositivo "Painel de Montagem". Elaborado pelo autor.	63
Figura 35 – Camada de Serviços implementada. Elaborado pelo autor.	65
Figura 36 – Metadados das mensagens trocadas. Elaborado pelo autor.	66
Figura 37 – Fluxo de informação: dispositivo -> aplicação. Elaborado pelo autor.	67
Figura 38 – Fluxo de informação: dispositivo <- aplicação. Elaborado pelo autor.	67
Figura 39 – Aplicação desenvolvida (Software Supervisor). Elaborado pelo autor.	69
Figura 40 – Teste inicialização. Elaborado pelo autor.	71
Figura 41 – Sequência de Teste dos dispositivos. Elaborado pelo autor.	72
Figura 42 – Tempo de inicialização dos dispositivos. Elaborado pelo autor.	72
Figura 43 – Teste de Conexão dos dispositivos. Elaborado pelo autor.	73
Figura 44 – Tempo para conexão na rede wi-fi. Elaborado pelo autor.	74
Figura 45 – Teste de conexão ao servidor MQTT. Elaborado pelo autor.	75
Figura 46 – Tempo de conexão no servidor MQTT local. Elaborado pelo autor.	76
Figura 47 – Tempo para conexão no servidor MQTT hospedado num serviço de nuvem. Elaborado pelo autor.	77
Figura 48 – Teste de envio de pacotes para o <i>broker</i> Local. Elaborado pelo autor.	79
Figura 49 – Teste de envio de pacotes para o <i>broker</i> hospedado em Nuvem. Elaborado pelo autor.	79
Figura 50 – Tempos de envio dos pacotes. Elaborado pelo autor.	80
Figura 51 – Modelo de IoT Fog para a redução de mensagens. Elaborado pelo autor. . .	81
Figura 52 – Fluxograma da política de redução de mensagens. Elaborado pelo autor. . .	84
Figura 53 – Algoritmo para a política de redução de mensagens. Elaborado pelo autor. .	85
Figura 54 – Configuração de teste do algoritmo de otimização. Elaborado pelo autor. . .	86
Figura 55 – Redução no número de mensagens enviadas. Elaborado pelo autor.	87
Figura 56 – Diagramas Unifilar e Multifilar da montagem. Elaborado pelo autor.	91
Figura 57 – Bancada no estado inicial da atividade prática. Elaborado pelo autor.	94
Figura 58 – Energizando a bancada didática. Elaborado pelo autor.	94

Figura 59 – Inserção dos dispositivos na bancada. Elaborado pelo autor.	95
Figura 60 – Montagem realizada da forma incorreta. Elaborado pelo autor.	96
Figura 61 – Montagem realizada da forma potencialmente perigosa. Elaborado pelo autor.	96
Figura 62 – Montagem realizada em desacordo com a norma vigente. Elaborado pelo autor.	97
Figura 63 – Montagem realizada da maneira desejada. Elaborado pelo autor.	98
Figura 64 – Liberação da bancada pelo professor para o teste do aluno. Elaborado pelo autor.	99
Figura 65 – Fotos do dispositivo Interruptor. Elaborado pelo autor.	107
Figura 66 – Fotos do dispositivo Lâmpada. Elaborado pelo autor.	108
Figura 67 – Fotos do dispositivo Painel de Montagem. Elaborado pelo autor.	108
Figura 68 – Diagrama em blocos do Módulo Supervisor. Elaborado pelo autor.	110
Figura 69 – Módulo Supervisor de baixo custo. Elaborado pelo autor.	110

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Análise dos Trabalhos Relacionados. Elaborado pelo autor	46
Tabela 2 – Tempos para enviar e receber pacotes de mensagens. Elaborado pelo autor. . .	80
Tabela 3 – Parâmetros dos níveis de relevância. Elaborado pelo autor.	82
Tabela 4 – Redução de tempo obtido para o <i>broker Fog</i> . Elaborado pelo autor.	88
Tabela 5 – Redução de tempo obtido para o <i>broker Cloud</i> . Elaborado pelo autor.	88
Tabela 6 – Tabela de verificação do dispositivo Interruptor. Elaborado pelo autor. . . .	92
Tabela 7 – Tabela de verificação do dispositivo Lâmpada. Elaborado pelo autor.	93

Lista de Abreviaturas

CPU	<i>Central Processing Unit</i>
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
MEMS	<i>Micro-ElectroMechanical System</i>
MQTT	<i>Message Queue Telemetry Transport</i>
M2M	<i>Machine-to-Machine</i>
NFC	<i>Near Field Communication</i>
NBR	<i>Norma Brasileira Regulamentadora</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
QR	<i>Quick Response</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
RTOS	<i>Real Time Operating Systems</i>
TCP/IP	<i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>

Sumário

1	Introdução	16
1.1	Objetivos e Contribuições	17
1.2	Contribuições do Trabalho	18
1.3	Organização do Texto	18
2	Fundamentação Teórica	20
2.1	Laboratórios Didáticos	20
2.1.1	Laboratório Didático Convencional	21
2.1.2	Laboratórios Didáticos Virtuais	22
2.1.3	Laboratórios Didáticos Remotos	23
2.2	Internet das coisas (IoT)	23
2.2.1	IoT na Borda ou Local ("Edge IoT")	25
2.2.2	IoT em Nuvem ("Cloud IoT")	26
2.2.3	IoT na Neblina ("Fog IoT")	27
2.3	Protocolo de Comunicação MQTT	28
2.3.1	Principais características do MQTT	29
2.3.2	Qualidade de serviço de entrega no MQTT	30
2.4	Estrutura de monitoramento e controle na IoT	31
2.5	IoT aplicada ao contexto da Educação	32
2.5.1	Modelo Geral de Ensino utilizando IoT	33
2.6	Arquitetura geral da IoT e da IoTE	34
3	Trabalhos Relacionados	36
3.1	Bancadas Didáticas	36
3.2	Laboratórios Remotos	38
3.3	Laboratórios Virtuais	40
3.4	Análise sobre os trabalhos relacionados	42
3.5	Considerações sobre a Plataforma Proposta	45
3.5.1	Modos de Utilização da Aplicação Desenvolvida	47

4	Plataforma Proposta	49
4.1	Arquitetura das camadas IoT propostas para o trabalho	49
4.2	Requisitos do Protótipo Desenvolvido	50
4.3	Camada dos Dispositivos	51
4.3.1	Dispositivo Painel de Montagem	51
4.3.2	Dispositivo Interruptor	53
4.3.3	Dispositivo Lâmpada	55
4.3.4	Construção dos Dispositivos	56
4.3.4.1	Placa de Interface de Entrada	60
4.3.4.2	Softwares Embarcados nos Dispositivos	61
4.4	Camada de Comunicação	64
4.5	Camada de Serviços	64
4.5.1	Formato das Mensagens	65
4.6	Camada da Aplicação	66
4.6.1	Fluxo da Informação	66
4.6.2	Aplicação Desenvolvida	68
5	Avaliação Experimental	70
5.1	Avaliação dos Módulos IoT	70
5.1.1	Camada dos dispositivos : Avaliação do tempo de inicialização	71
5.1.2	Camada de Comunicação : Avaliação do tempo para a conexão	73
5.1.3	Camada de Serviços : Avaliação para a conexão ao servidor MQTT	74
5.1.3.1	Avaliação da conexão ao servidor MQTT no modelo IoT Local (<i>Egde</i>)	75
5.1.3.2	Avaliação da conexão ao servidor MQTT no modelo IoT em Nuvem (<i>Cloud</i>)	76
5.2	Camada de Serviços : Avaliação da plataforma com o aumento da quantidade de mensagens	78
5.3	Proposta para a redução de mensagens baseados em uma política de envio	81
5.3.1	Política de controle de mensagens	83
5.3.2	Teste do algoritmo de otimização	86
5.3.3	Avaliação do algoritmo de otimização	87

6	Experimento de Uso da Plataforma	90
6.1	Roteiro de uso na aula prática	90
6.2	Exemplo de interação aluno-plataforma em aula prática	93
6.2.1	Energizando a bancada didática	93
6.2.2	Inserção dos dispositivos na bancada didática	94
6.2.3	Forçando uma montagem incorreta	95
6.2.4	Forçando uma condição de perigo	96
6.2.5	Forçando uma montagem em desacordo da Norma Vigente	97
6.2.6	Realizando a montagem de maneira correta	98
6.2.7	Teste final da montagem pelo aluno	98
7	Conclusão	100
7.1	Trabalhos Futuros	101
	REFERÊNCIAS	103

APÊNDICES **106**

APÊNDICE A - Dispositivos Adaptados e Desenvolvidos	107
.1 Dispositivo Interruptor	107
.2 Dispositivo Lâmpada	107
.3 Dispositivo Painel de Montagem	108
APÊNDICE B - Módulo de Supervisão Local - Opcional	109

1 Introdução

A área da educação tem um impacto fundamental na diminuição dos riscos existentes na execução de tarefas no ambiente de trabalho e uma formação sólida pode reduzir os fatores de risco. Nesse sentido, estratégias que permitam uma melhor formação dos profissionais devem ser incentivadas e parece haver um consenso, quanto aos ganhos no processo de ensino-aprendizagem, quando se agrega o uso de experimentos didáticos em sala de aula [16].

Atualmente vem ocorrendo uma verdadeira revolução na maneira em que o processo de ensino aprendizagem ocorre, em especial no uso de tecnologias que auxiliem alunos e professores a maximizar as oportunidades durante as aulas. Entre as mais diversas tecnologias que podem e devem ser aplicadas na melhoria do processo de aprendizagem, a IoT ("Internet das Coisas"), apresenta-se como uma das mais promissoras para conectar objetos e pessoas, de modo a aumentar o sucesso nas atividades educacionais [4].

A introdução da IoT em cenários educacionais pode proporcionar ganhos importantes no desempenho das atividades relacionadas ao processo de ensino-aprendizagem, podendo ser aplicado nas escolas e universidades ao redor do mundo. A contínua redução no custo dos sistemas embarcados que podem ser conectados a Internet, tem propiciado uma imersão sem precedentes neste sentido, tornando o ambiente educacional mais interativo e adequado às necessidades modernas de aprendizado [4].

No ambiente educacional, o uso dos laboratórios convencionais, em geral é limitado pelo seu alto custo, baixa disponibilidade para os alunos e utilização apenas "in loco". Na outra ponta, estão os laboratórios virtuais, que não apresentando a restrição física, podem ser utilizados a qualquer momento e em qualquer local, e que apesar dos avanços em simulações cada vez mais realísticas, podem acabar negligenciando as interferências externas que naturalmente ocorrem nos experimentos realizados o mundo real, e desta forma não preparando o aluno para essa realidade.

Como opção intermediária, os laboratórios remotos, que aproximam mais o estudante do experimento ocorrido no mundo real, porém em geral, não permitindo um contato físico real com os equipamentos.

Dessa forma, levando-se em conta, os aspectos apresentados anteriormente, o presente

trabalho de mestrado tem como proposta o desenvolvimento de uma plataforma didática de aprendizagem baseada em IoT, que permita o uso dos recursos disponibilizados pelos avanços da tecnologia, tais como o uso de modernos microcontroladores, a conectividade e acesso remoto proporcionada redes wi-fi, e tantos outros conceitos advindos da IoT, porém sem negar ao estudante o contato físico com dispositivos reais, e desta forma, propiciar uma interação mais completa com os experimentos realizados no contexto educacional.

Uma outra importante perspectiva do uso das tecnologia da IoT é aproximar as atividades da capacitação técnica dos profissionais com as mudanças que estão ocorrendo nos diferentes cenários como na automação residencial e na industrial.

1.1 Objetivos e Contribuições

O objetivo principal deste trabalho é utilizar o potencial das tecnologias da IoT e o seu uso como ferramenta para se obter uma melhoria no processo do ensino-aprendizagem.

Entre as várias possibilidades do uso da IoT no contexto educacional, o presente trabalho tem como foco a possibilidade da sua utilização para o desenvolvimento e melhoria nas ferramentas utilizadas para a execução de atividades práticas em laboratório, criando uma plataforma didática, que permita a execução de tarefas práticas, e que possibilite ao professor o acompanhamento das atividades realizadas pelo aluno, de forma local ou remota.

A plataforma proposta permite que a execução de atividades práticas no âmbito escolar, de forma segura e inteligente.

Segura, no sentido que o sistema deve impedir, que caso o aluno venha a cometer um erro de montagem, esse erro possa proporcionar um risco para ele ou para o equipamento.

Inteligente na medida que as ações tomadas pelo aluno, no decorrer da atividade, são continuamente avaliadas pelo professor, que pode intervir nos casos onde seja necessário, a tomada de alguma atitude que vise o impedimento da ocorrência de uma situação potencialmente perigosa à segurança do aluno ou dano ao equipamento.

A plataforma implementada neste trabalho também procura reunir em uma, além das tecnologias da IoT, aspectos importantes dos laboratórios convencionais como o uso de dispositivos reais, mesclando com a tecnologia de comunicação utilizada nos laboratórios remotos, e permitindo uma futura integração com os recursos utilizados nos laboratórios virtuais.

1.2 Contribuições do Trabalho

Buscando a realização do trabalho foi desenvolvida uma infraestrutura de hardware e de software, constituída de dispositivos convencionais, que somado as possibilidades das tecnologias trazidas com a IoT, permitem a realização de atividades práticas educativas supervisionadas, em mais de um modo de utilização.

O experimento proposto consiste em uma Bancada Didática que permite a realização de experimentos relacionados com a área de eletricidade, e possibilita que seja trabalhado conteúdos da disciplina de "Instalações Elétricas", que é uma sub-área da área denominada "Circuitos Elétricos". A escolha dessa área do conhecimento, para a elaboração e construção da bancada, deve-se a experiência do autor como professor dessa disciplina ministrada em cursos técnicos de nível médio, ao longo de mais de duas décadas.

Para isso foram desenvolvidos um conjunto de dispositivos e softwares, que permitem a realização de atividades práticas de instalações elétricas simples, mas de grande importância na área de circuitos elétricos, uma vez que seu entendimento constitui a base para a elaboração de todos os outros tipos de circuitos mais complexos.

Apesar de não estar contemplado no trabalho, ele pode permitir, em uma próxima etapa, um estudo experimental sobre a utilização da plataforma na captura de informações que levem a uma melhor compreensão das dificuldades de aprendizagem dos alunos, na área específica da disciplina utilizada no experimento.

1.3 Organização do Texto

No capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica do trabalho, onde é ressaltada a importância da utilização de recursos que permitam a realização de atividades práticas, como parte das estratégias da formação educacional, em especial nas áreas tecnológicas. Também são apresentadas algumas arquiteturas utilizadas na IoT, bem como a utilização de protocolos que permitam o fornecimento de serviços baseados no conceito da IoT.

No capítulo 3 são apresentados trabalhos relacionados aos tipos de laboratórios didáticos disponíveis atualmente, sendo feita uma comparação entre as características de cada modelo, suas vantagens e desvantagens, bem como os requisitos identificados e adotados no desenvolvimento da abordagem proposta.

No capítulo 4 é apresentada a plataforma proposta para o trabalho, sendo mostrados os aspectos funcionais da arquitetura e a bancada didática construída, como parte do experimento realizado, na sua proposta de utilização.

No capítulo 5 é apresentada uma avaliação experimental dos dispositivos utilizados e desenvolvidos, com o objetivo de verificar e validar o funcionamento e a estabilidade do sistema, para a sua efetiva utilização nas atividades práticas propostas como exemplo de aplicação. Também são apresentados testes para avaliar o comportamento da plataforma, quanto as possibilidades de escalabilidade e uma proposta de redução do tráfego de rede utilizado.

No capítulo 6 são apresentado os passos de um experimento utilizando a plataforma proposta para a realização de tarefas no contexto de uma aula de circuitos elétricos.

No capítulo 7 é apresentada a conclusão desse trabalho e feitas considerações para utilização da plataforma proposta, em futuros trabalhos.

2 Fundamentação Teórica

Neste capítulo são apresentados os aspectos teóricos e técnicos, que fundamentam a proposta do trabalho. Inicialmente é apresentado o uso da experimentação prática, como um recurso valioso no processo do ensino-aprendizagem. Posteriormente, os benefícios vindos do uso da tecnologia disponível, e em especial ao uso da Internet das Coisas (IoT), como um recurso valioso que deve ser utilizado, também para esse tipo de aplicação.

2.1 Laboratórios Didáticos

Um "laboratório didático" pode ser definido, como um ambiente que contém um conjunto de ferramentas (instrumentos, equipamentos e ou programas de computador), que permita a realização de atividades práticas, com a finalidade de tornar mais eficaz o processo da aprendizagem de um conceito abstrato.

Segundo Silva [17], os laboratórios utilizados para aulas práticas constituem-se um dos elementos essenciais para auxiliar na compreensão de conteúdos e maximizar o processo de ensino-aprendizagem. No entanto, por tratar-se de um recurso frequentemente escasso, constituem-se também, em um problema financeiro e logístico.

Como consequência, a gestão desses recursos limitados requerem grande habilidade para ser contornado com eficácia, pois sincronizar grande quantidade de pequenos grupos de estudantes, que requerem acesso contínuo e que sejam adequadamente supervisionados, requer alguma habilidade gerencial.

Por outro lado o investimento em um grande número de laboratórios, leva geralmente a custos significativos, que por vezes, inviabilizam os investimentos nesta área. Esse tipo de situação desafia constantemente as instituições de ensino, a disponibilizarem acessos alternativos como os laboratórios de experimentação remota ou totalmente virtuais.

Uma das tecnologias mais atuais aplicadas a educação é a simulação computacional, com uma ampla variedade de vantagens e benefícios para seus usuários. Entretanto, segundo Beloiu [18] e Pandini [6], os graduados de programas educacionais que perdem de vista aplicações experimentais reais, utilizando-se apenas das atividades práticas simuladas, estão enfrentando

desvantagem quando procuram emprego, já que as simulações, por mais realísticas que sejam, não conseguem incorporar os problemas rotineiros, como os decorrentes de defeitos de fabricação e ou manuseio incorreto dos equipamentos, bem como as interferências externas existentes nas aplicações reais.

As instituições de ensino devem portanto, quando possível, mesclar o uso dos laboratórios didáticos reais (ou convencionais), com os laboratório virtuais, tentando obter o melhor aproveitamento desses dois modelos.

Os laboratórios didáticos podem ser categorizados, segundo Veloso [19] em três grandes grupos: **Laboratório Didático Convencional** (ou "**Real**"), **Laboratório Didático Remoto** e **Laboratório Didático Virtual**.

2.1.1 Laboratório Didático Convencional

Um laboratório didático convencional é constituído de um ambiente físico com equipamentos, instrumentos de medição e guias de orientação para a realização da montagem e teste dos experimentos. Neste formato é comum a utilização de estações de trabalho denominadas de **Bancadas Didáticas**, cujos recursos permitem a reprodução de ambientes ou situações cotidianas no ambiente de trabalho, mas que possam ser experimentadas num ambiente com condições de segurança controladas e supervisionadas por um professor.

Uma bancada didática é definida como uma ferramenta de auxílio para a realização de experimentos que possibilita ao operador montar diversos sistemas variando seus parâmetros, familiarizando-se com os componentes e ao mesmo tempo verificando na prática a teoria vista em aula [16].

Normalmente essas bancadas são adquiridas de fornecedores especializados ou em alguns casos, são projetadas e construídas pelo próprio corpo técnico da instituição. Em geral, essas bancadas possuem uma configuração que permite a realização de um número pré definido de tarefas.

Exemplos de bancadas didáticas convencionais, para o ensino na área da eletricidade estão ilustrados na Figura 1.

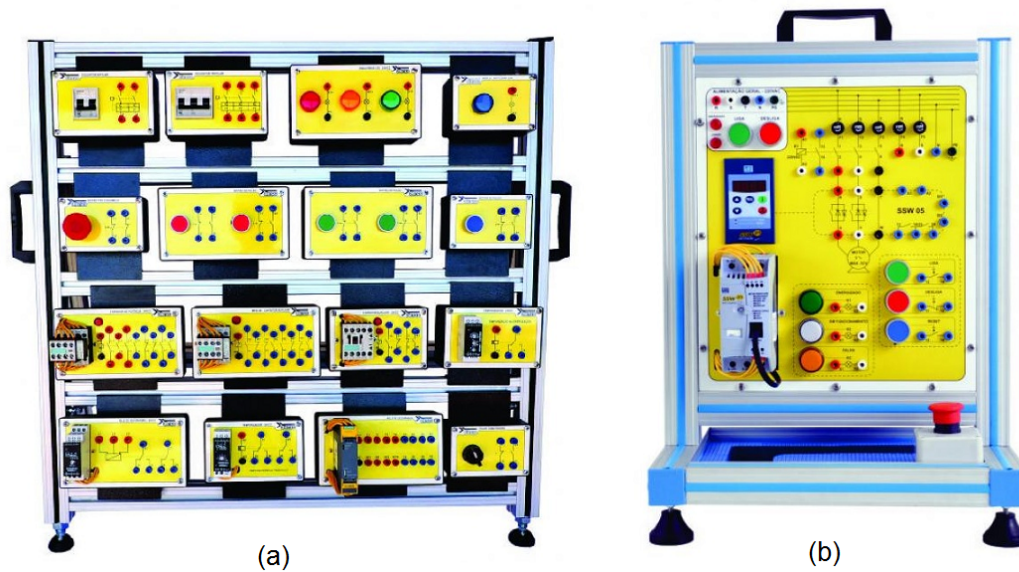


Figura 1 – Bancadas Comerciais - Extraída de [1].

A bancada didática da esquerda **(a)**, possui um conjunto de dispositivos que permitem a realização de atividades práticas para a disciplina de Comandos Elétricos, enquanto que a bancada da direita **(b)**, possui dispositivos que permitem a realização de atividades práticas para a disciplina de Conversores Industriais.

2.1.2 Laboratórios Didáticos Virtuais

Os laboratórios didáticos virtuais são constituídos por ambientes simulados (que visam imitar os dispositivos reais) por meio de um software e se caracterizam pelo tipo de tecnologia empregada, sendo os mais comuns os que utilizam recursos em multimídias, laboratórios com realidade virtual e os laboratórios em realidade aumentada.

Um laboratório virtual é um modelo de mundo, simulando em software, de um laboratório real. Segundo Guilherme [20], esse tipo de ambiente virtual não possui as limitações enfrentadas em laboratórios reais, sejam nas questões de segurança física, acesso limitado aos recursos ou equipamentos, provocados por restrições logísticas ou orçamentárias. Além disso, esses laboratórios são mais econômicos em sua configuração e manutenção quando comparados com laboratórios tradicionais.

Como já discutido anteriormente, uma das desvantagens desse tipo de laboratório é o de apresentar um modelo de mundo perfeito, onde as interferências externas, tais como falhas de material, variações entre componentes e outros fatores aleatórios não são levados normalmente em consideração, produzindo uma experiência limitada da realidade.

2.1.3 Laboratórios Didáticos Remotos

Um laboratório didático remoto (ou laboratório "on-line"), segundo Nedic e Machotka [21], é implementado utilizando-se de uma estrutura de hardware e software, que permite que alunos realizem experimentos reais, contudo não estando necessariamente no mesmo ambiente em que ocorre a experimentação. Em alguns cenários, os laboratórios didáticos remotos são algumas vezes, confundidos com os laboratórios virtuais.

A rede mundial de computadores (Internet), atualmente é o meio mais utilizado para que os laboratórios remotos estejam disponíveis ("on-line") e possam ser utilizados a partir de qualquer lugar.

A popularização e barateamento dos dispositivos e módulos para uso na IoT, juntamente com uma maior oferta dos protocolos e plataformas de desenvolvimento, permitiu um aumento na oferta de laboratórios remotos, pois sua implementação passou a ser mais acessível e barata.

2.2 Internet das coisas (IoT)

A comunicação entre diversos equipamentos, inicialmente era denominada de comunicação Máquina-a-Máquina (*Machine-to-Machine* ou *M2M*), mas com o aumento dos dispositivos conectados ao redor dos usuários, novos termos foram criados para designar essa tecnologia, como por exemplo a Computação Ubíqua (ou computação pervasiva), que que é a inserção de computadores nas atividades simples do cotidiano, sem que o usuário se dê conta dos dispositivos envolvidos [22].

Seguindo a tendência atual, as comunicações entre máquinas e dispositivos acabaram convergindo para a utilização da Internet como a principal rede de comunicação. Neste contexto, o termo criado para denominar essa tendência é o "Internet das Coisas" ("*Internet of Things – IoT*"). Embora atualmente o termo esta sendo largamente utilizado, foi utilizado pela primeira vez em 1999 em um trabalho de Kevin Ashton, para representar o conceito de computadores e máquinas com sensores, que se conectam à Internet para relatar o seu estado e aceitar comandos de controle [22].

Uma das características que observa-se na literatura sobre a IoT é que não se trata apenas de uma simples rede de dispositivos ou sensores, uma vez que as "coisas" nem precisam ser sensores ou seguir sequer um padrão de dispositivo. Qualquer dispositivo com capacidade de

conexão a Internet pode ser considerado uma “coisa”[23].

No contexto da IoT, classificam-se os elementos de software e hardware disponíveis de diversas maneiras [24], seja pela sua função que exercem no sistema, sua capacidade de processamento e capacidade de conexão em:

- **Sensores:** utilizados para obter informações do mundo físico, sendo composto de dispositivos em geral com limitado poder de processamento;
- **Atuadores:** Utilizados para interferir com o mundo físico, sendo os elementos que modificam o estado atual do meio em que o sistema está inserido;
- **Sistemas de processamento local:** compostos por microcontroladores e os periféricos mínimos para seu funcionamento. Também atuam como elementos concentradores que interligam os sensores e atuadores locais a redes mais amplas;
- **Sistemas de processamento remoto:** compostos por micro computadores que operam como servidores de aplicativos, fornecendo serviços de distribuição e armazenamento dos dados que trafegam pelo sistema.
- **Softwares:** responsáveis por todo o funcionamento lógico do sistema, em cada um dos níveis que o compõem.

Atualmente, em razão da redução do custo de produção, tem sido possível encontrar módulos de hardware a preços acessíveis, para o desenvolvimento de produtos para a IoT. Esses módulos vão desde projetos de código aberto, tal como a plataforma *Arduíno* (e similares), que permitem a conexão entre os sensores e atuadores, mas com pequeno poder de processamento e memória (da ordem de alguns Kilobytes), até sistemas mais robustos como as plataformas *Raspberry Pi*, *Intel Galileo* e similares, que além de servir como interligação de sensores e atuadores, possuem notável capacidade de processamento e memória (da ordem de Megabytes) [24].

A Internet das coisas (IoT) é uma rede de vários dispositivos distintos, que se comunicam entre si através da Internet. A proliferação dessas "coisas"(dispositivos e equipamentos) em uma rede de comunicação cria alguns desafios tecnológicos, já que o volume de dados coletados e processados é enorme, o que aumenta a necessidade de se definir uma estratégia para o processamento e o armazenamento desses dados em servidores apropriados [2].

Neste sentido, Brogi et al. [25] apresentam alguns modelos de computação para dispositivos na IoT, que são denominados de **Computação na Borda ou Local** (*Edge Computing*), **Computação em Nuvem** (*Cloud Computing*) e o modelo de **Computação na Neblina** (*Fog Computing*). Esses modelos são ilustrados na Figura 2, e são apresentados nas próximas seções.

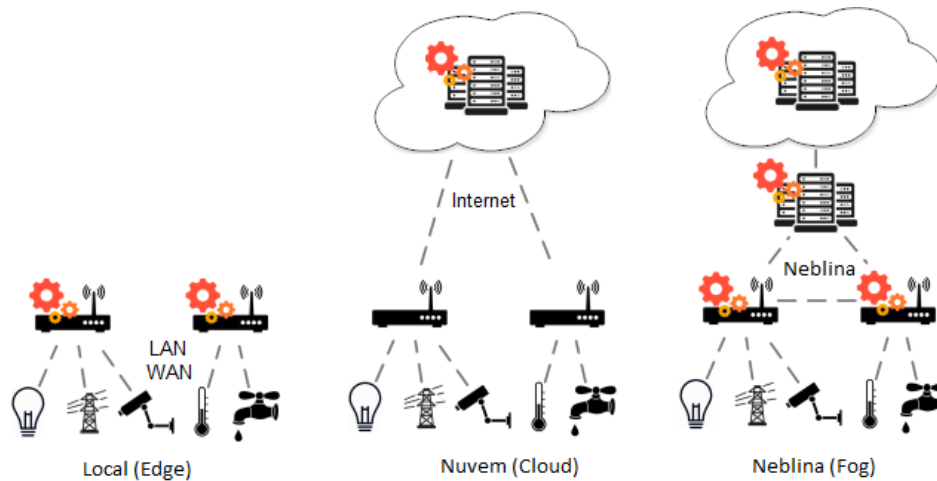


Figura 2 – Modelos de IoT. Adaptado de [2].

2.2.1 IoT na Borda ou Local ("Edge IoT")

Este modelo de IoT é aplicável quando todos os dispositivos pertencem a uma mesma rede local e sua área de abrangência também é restrita a uma região física limitada, como uma residência, instituição ou propriedade.

Neste modelo de IoT, a comunicação entre os sensores e os dispositivos controladores são realizadas por uma conexão de rede local, geralmente realizada por meio de uma rede cabeada (*Ethernet*), ou por uma rede sem fio (*WLAN, Bluetooth, wi-fi, etc*), formando um sistema local de detecção e controle independente (Figura 3).

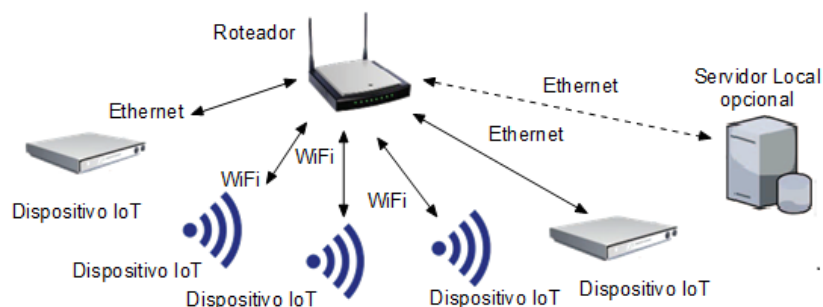


Figura 3 – Modelo de IoT Local. Adaptado de [2].

A menos que esse sistema necessite memorizar um longo histórico de estados anteriores, onde pode haver a necessidade de uma servidor local para essa finalidade, há apenas uma necessidade limitada de processamento e o uso de pequena quantidade de armazenamento de memória.

2.2.2 IoT em Nuvem ("Cloud IoT")

Com o aumento do número de dispositivos, aumentam os requisitos de processamento e armazenagem para os dados coletados, surgindo a necessidade de infraestrutura mais complexa.

A solução atualmente adotada nestes casos é a de se utilizar o poder de servidores em *data center* remotos ("em nuvem"), assim surgindo um modelo de IoT em nuvem.

A conexão com a nuvem é resolvida de maneira bastante eficiente de duas maneiras: por provedores de Internet e pelo uso de operadoras de telefonia móvel (Internet/GSM). Para a conexão um sensor IoT e ou qualquer dispositivo controlador à nuvem é necessário uma forma de comunicação que permita que os dados possam ser enviados e recebidos para o servidor, que em geral está localizado a grandes distâncias, como ilustrado na Figura 4.

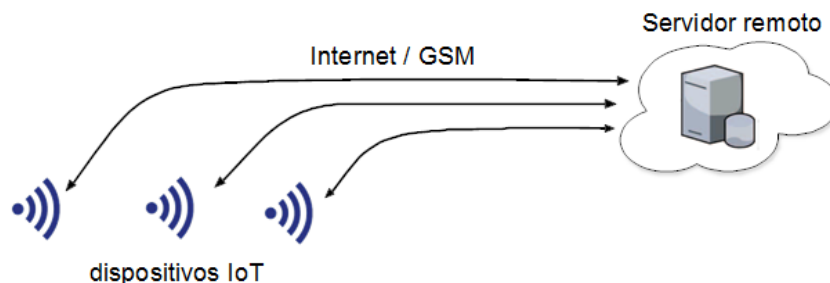


Figura 4 – Modelo de IoT em Nuvem. Adaptado de [2].

O modelo IoT em Nuvem funciona de maneira eficiente, enquanto a quantidade de dados transmitidos não é muito alta a ponto de não causar gargalos na comunicação [2].

Uma variação desse modelo é a utilização do uso da Internet em conjunto com as redes locais. Os dispositivos se conectam a uma rede local, por meio de conexões *Ethernet* ou *wi-fi*, que por sua vez fornecem a conexão com a Internet para a comunicação com o servidor remoto hospedado num serviço de nuvem, como visto na Figura 5.

No entanto, com o aumento da quantidade de dispositivos e o aumento no tamanho da informação enviada e ou recebida, o fluxo de dados pode aumentar consideravelmente causando atrasos e perda de conexão, o que para algumas aplicações pode não ser admitida. Neste caso,

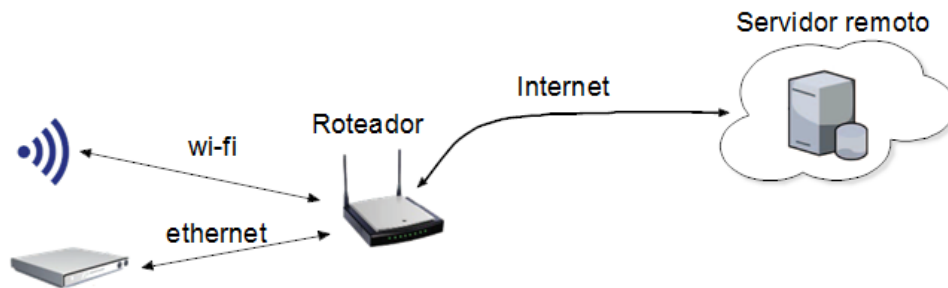


Figura 5 – Variação no modelo de IoT em Nuvem. Adaptado de [2].

uma opção pode ser o modelo de IoT denominada de "Neblina" (*Fog*), já que pode ser entendida, como sendo um nível intermediário entre o modelo Local e o modelo em Nuvem, ou para uma melhor compreensão do termo, uma "Nuvem" mais próxima dos dispositivos.

2.2.3 IoT na Neblina ("Fog IoT")

Nos novos cenários da IoT, criados por muitos sensores e dispositivos menores, foi introduzido uma noção de computação onipresente e abrangente. A maneira mais simples é coletar e processar todos esses dados conectando os dispositivos a um servidor hospedado em Nuvem, isso porém, exige redes e interconexões de alta velocidade.

Um outro aspecto observado é o que não importa o quão rápido seja os dispositivos e as redes de transmissão, a quantidade de dados tem se mostrado cada vez maior. Também foi ficando evidente que nem sempre é necessário transferir todos os dados para o servidor de dados hospedado na Nuvem.

Um outro modelo proposto, consiste em distribuir servidores menores entre o servidor de dados na Nuvem e os dispositivos. O servidor localizado entre os sensores e o servidor na Nuvem, é a ideia central do modelo de computação IoT denominado de Neblina (Figura 6).

No modelo de IoT na Neblina, os servidores intermediários (*Fog Server*) são responsáveis por agregar as informações vindas de um grupo local de dispositivos, e repassar para os demais servidores desse nível, as informações que forem relevantes para esse nível, e de forma semelhante, repassar para o servidor do nível acima (*Cloud Server*), apenas as informações que devem ser conhecidas por todo o sistema.

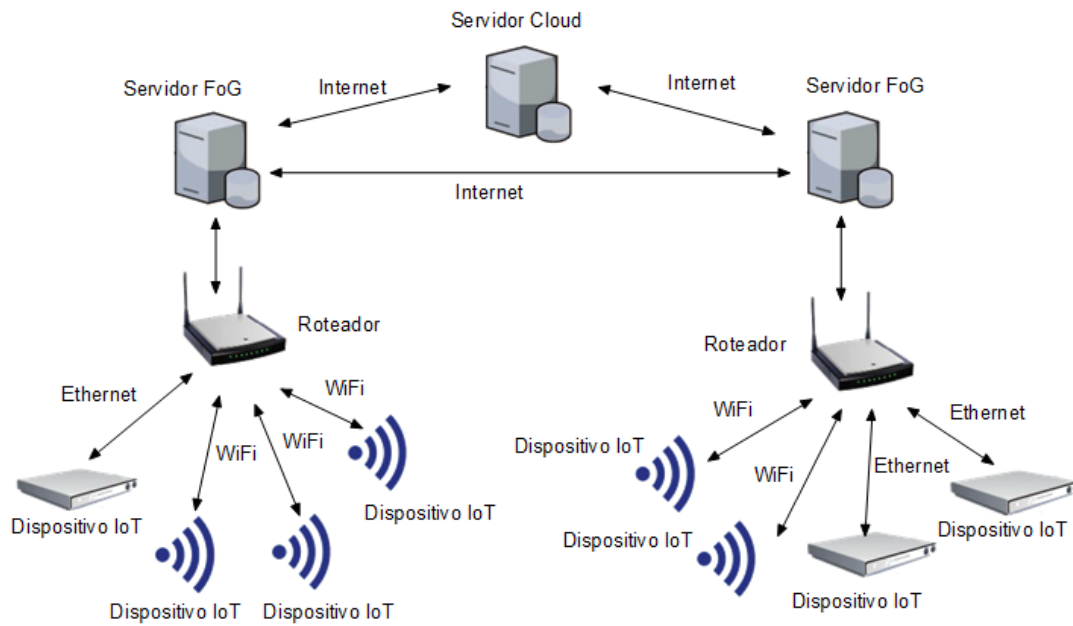


Figura 6 – Modelo de IoT em Neblina. Adaptado de [2].

2.3 Protocolo de Comunicação MQTT

Para que os dispositivos na Internet das Coisas (IoT) possam trocar informações de forma organizada é necessário que além da conexão física propriamente dita, exista uma conexão lógica entre esses dispositivos. Neste sentido, o protocolo MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*) foi proposto e desenvolvido com base nas camadas TCP/IP. Atualmente, tornou-se um padrão largamente utilizado para comunicação entre dispositivos na IoT.

O MQTT foi desenvolvido inicialmente pela IBM no final dos anos 90, com a finalidade de estabelecer uma ligação lógica entre sensores instalados em plataformas de petróleo a satélites de comunicação [26]. É um protocolo de mensagem com suporte para a comunicação assíncrona entre as partes.

Um protocolo de sistema de mensagens assíncrono desacopla o emissor e o receptor da mensagem, tanto no espaço quanto no tempo, sendo portanto, bastante útil em ambientes de rede que não são confiáveis.

No final de 2014, o MQTT se tornou oficialmente um padrão aberto, com suporte nas principais linguagens de programação disponíveis e utilizado em diversas implementações de software livre.

2.3.1 Principais características do MQTT

O protocolo MQTT utiliza o conceito de "corretor de mensagens" (*broker*), que é basicamente um software servidor, que recebe mensagens e as repassa, quando solicitado, para os clientes que assinam aquele tópico de mensagens.

Um *broker* atua como um corretor nos dois sentidos, tanto recebendo quanto enviando dados, possuindo um modelo de funcionamento simplificado, sendo indicado para aplicações que repassam dados simples, e vem sendo utilizado por muitos sistemas de IoT atualmente.

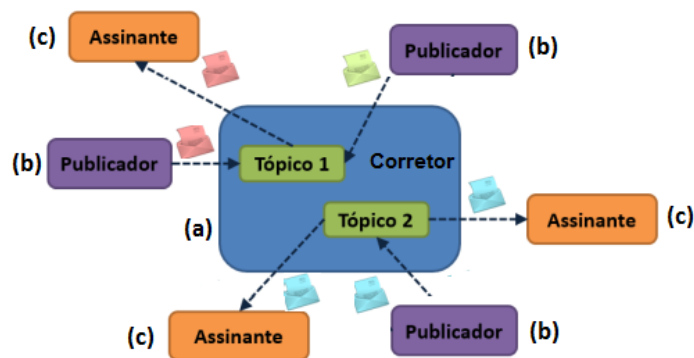


Figura 7 – Modelo Publicador/Assinante. Adaptado de [3].

O protocolo MQTT trabalha com o modelo de cliente-servidor e possui três tipos de elementos, o **Corretor** (*Broker*), o **Publicador** (*Publisher*) e o **Assinante** (*Subscriber*), conforme apresentado na Figura 7 e apresentado a seguir:

- **Corretor** (*Broker*): é o servidor que recebe todas as mensagens dos clientes (a), organizadas em tópicos e, em seguida, envia essas mensagens para os clientes de destino, inscritos naquele tópico.
- **Publicador** (*Publisher*): é um tipo de cliente publicador (b), que pode enviar mensagens para o *broker*, em um ou mais tópicos.
- **Assinante** (*Subscriber*): é um tipo de cliente assinante (c), que pode receber mensagens do *broker*, em um ou mais tópicos.

Um cliente conectando-se ao *broker* pode publicar e assinar qualquer tópico de mensagem, estabelecendo uma conexão TCP/IP simples ou uma conexão criptografada para mensagens sensíveis.

Também é possível configurar várias facilidades fornecidas pelas implementações do protocolo, como o estabelecimento de pontes entre *brokers*, persistência de mensagens, e definir a qualidade do serviço de entrega das mensagens.

2.3.2 Qualidade de serviço de entrega no MQTT

O protocolo MQTT fornece três níveis de qualidade de serviço (QoS) para entrega de publicações. A qualidade de serviço de uma publicação é um atributo que é configurado pelo protocolo, no momento da montagem da mensagem, por meio de método próprio da implementação utilizada [26]. Os três níveis de QoS especificados no protocolo MQTT são:

QoS 0 - ("No máximo uma vez ") : Modalidade na qual a mensagem é entregue no máximo uma vez ou não é entregue de modo algum. No caso em que a entrega na rede não é reconhecida, a mensagem não é armazenada e poderá ser perdida se o cliente for desconectado ou se o servidor falhar, porém é o modo de transferência mais rápido.

QoS 1 - ("Pelo menos uma vez ") : Modo de transferência padrão e nesta modalidade a mensagem é sempre entregue pelo menos uma vez. Se o emissor não receber uma confirmação, a mensagem será enviada novamente até que uma confirmação seja recebida. Como resultado, o receptor pode receber a mesma mensagem diversas vezes e processá-la diversas vezes.

QoS 2 - ("Exatamente uma vez ") : Modalidade na qual a mensagem é sempre entregue exatamente uma vez e deve ser armazenada localmente no emissor e no receptor até ser processada. O modo é o mais seguro e também o modo de transferência mais lento. Essa lentidão é consequência do fato de requerer pelo menos dois pares de transmissões entre o emissor e o receptor antes de a mensagem ser excluída do emissor.

A qualidade de serviço de uma publicação encaminhada para um assinante pode ser diferente da qualidade de serviço da publicação. Neste caso, o menor dos dois valores será usado para encaminhar uma publicação.

2.4 Estrutura de um sistema de monitoramento e controle na IoT

A aplicação do conceito da IoT, requer a utilização de uma estrutura de hardware e software desenvolvida para essa finalidade. Segundo Silva et al.[4], os componentes básicos dessa arquitetura, representada de forma simplificada na Figura 8, são apresentadas a seguir.



Figura 8 – Estrutura de Monitoramento e Controle - IoT. Adaptado de [4].

- **Sensores:** Entende-se por sensoriamento toda a coleta de dados sobre um objeto ou fenômeno. Os dados coletados podem representar grandezas físicas tais como temperatura, pressão, localização, etc., ou químicas tais como presença ou concentração de substâncias químicas, pH, condutividade e etc. Com o desenvolvimento da tecnologia de sensores eletrônicos e em especial as derivadas da área da nanotecnologia (como por exemplo a tecnologia MEMS (*Micro-ElectroMechanical System*)[27] tornou-se possível a construção a baixo custo, de transdutores para as mais diversas grandezas analógicas.
- **Atuadores:** Correspondem aos elementos finais de controle, responsáveis por modificar o estado do sistema. São os atuadores que permitem ligar ou desligar um equipamento ou parte dele, de forma a efetivar o controle desejado, para que o sistema permaneça nas condições desejadas.
- **Processamento Local:** Os dispositivos atuais utilizados na IoT, possuem uma unidade de processamento, que permite o tratamento dos dados vindos dos sensores, o controle dos atuadores, a comunicação do dispositivo e demais funções que sejam necessárias para o funcionamento do dispositivo.
- **Identificação:** Responsável pela identificação dos objetos que compõem um sistema de monitoramento. Em um sistema de monitoramento, em geral a identificação é feita por dispositivos de identificação por radiofrequência (“RFID”, também denominado de “Tag”), pelo endereço físico do dispositivo (“*Mac Adress*”) ou por outro meio que garanta a identificação única do dispositivo;

- **Comunicação:** Após a coleta, os dados dos sensores precisam ser disponibilizados para o restante do sistema, tarefa que envolve o uso de uma ou mais tecnologias de transmissão de dados. Além das tradicionais tecnologias de comunicação por cabo (como o padrão *Ethernet*), são muito utilizadas tecnologias de comunicação sem fio, devido a mobilidade de muitos dispositivos. Várias tecnologias de comunicação sem fio podem ser utilizadas para a transmissão das informações, e entre elas, podemos citar o padrão IEEE 802.11 (*wi-Fi*).
- **Serviços:** Para que o sistema seja funcional, deve existir uma camada de software responsável por tornar eficiente, a troca de dados entre os dispositivos e a Aplicação desejada. Os serviços relacionados a disponibilização das informações obtidas pelos sensores são de suma importância, pois permitem que os dados coletados possam ser utilizados por sistemas de monitoramento e controle. Um dos protocolos mais utilizados para a implantação desse tipo de serviço, é o MQTT, já apresentado anteriormente.
- **Aplicação:** A aplicação é a camada responsável em extrair, dos dados vindos dos sensores, as informações e transformá-los em conhecimento, aplicáveis no contexto da utilização desejada. Também é responsabilidade da Aplicação o gerenciamento das tarefas, para que o funcionamento do sistema de monitoramento e controle, por meio da IoT, tenha sucesso.

2.5 IoT aplicada ao contexto da Educação

Os educadores sempre estão em busca de métodos eficazes para o desafio de ensinar e aprender. Embora nenhum método ou técnica possa ser recomendado como o melhor para um assunto específico, existem muitos modelos, metodologias, abordagens e técnicas que foram desenvolvidas ao longo dos anos, e que podem ser adotadas ou adaptadas para um curso ou uma disciplina em especial [28].

A aplicação das tecnologias da IoT no contexto da educação, segundo Silva [4] e Venna [29], pode ser dividida em quatro pilares: i) **Pessoas**; ii) **Dados**; iii) **Coisas**; e, iv) **Processos**. Os pilares e as interações entre eles são descritas a seguir e ilustrados na Figura 9.

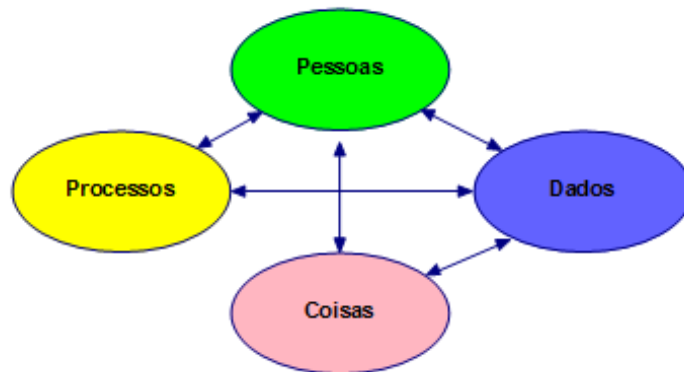


Figura 9 – Pilares da IoT quando aplicada ao contexto da educação. Adaptado de [4].

- **Pessoas:** São os elementos fundamentais e a razão de todo o esforço empregado na utilização da IoT, na melhoria dos processos de ensino-aprendizagem. Pessoas têm se conectado na rede mundial de computadores por diversos dispositivos e utilizado redes sociais para manter suas conexões pessoais e profissionais.
- **Dados:** São fundamentais para o sucesso da IoT. A tendência é que os dispositivos de IoT evoluam, alcançando um nível de inteligência que proporcionará dados mais relevantes e estruturados, permitindo a tomada de decisões mais rápidas e elaboradas.
- **Coisas:** São os elementos físicos que se conectam na Internet. Por meio de sensores é possível a captura de dados, que serão utilizados por aplicações cientes do contexto, ajudando as pessoas a terem informações mais precisas sobre o ambiente e sobre quais decisões, obterão maiores impactos no processo de ensino-aprendizagem.
- **Processos:** Definem como as pessoas, os dados e os objetos deverão interagir para gerar conhecimento utilizável. Estes processos permitem que a informação seja destinada a pessoa correta, no tempo certo e de forma apropriada. Como consequência, tal pessoa terá um maior oportunidade de aprendizado, tornando o processo educativo mais eficiente e motivador.

2.5.1 Modelo Geral de Ensino utilizando IoT

Embora haja muita discussão sobre o papel da IoT na educação, este domínio de aplicação é extremamente amplo, já que existe atualmente uma enorme gama de dispositivos, que podem ser utilizados em uma sala aula onde se pretenda a utilização da IoT.

Como exemplo de dispositivos disponíveis, além dos tradicionais celulares, *smartphones* e *tablets*, existem também uma grande oferta de placas de prototipação (*Arduino*, *ModeMcu*, *Wemos*, etc.), dispositivos de rastreamento (RFID, NFC, QR Code, etc.), sensores para diversas grandezas físicas ou químicas (aceleração, força, posição, temperatura) e computadores de pequeno porte (*Raspberry Pi*), *Beagle One*, *Intel Galileo*, etc [28].

Segundo AjazMoharkan [5] para a utilização da IoT, no contexto do auxílio no processo de ensino-aprendizagem, devemos ter um modelo que oriente a sua utilização, para que o esforço empreendido tenha o resultado esperado.

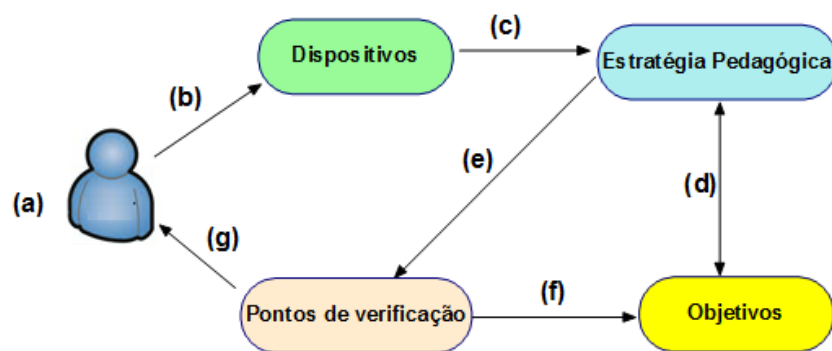


Figura 10 – Modelo Básico de ensino utilizando IoT. Adaptado de [5].

Um modelo para esse tipo de aplicação pode ser visto na Figura 10. Nesse modelo, o aluno (a) tem suas atividades coletadas pelos dispositivos que ele utiliza (b).

Esses dispositivos permitem que essas informações (c), possam ser utilizadas para conduzir o processo de ensino-aprendizagem, mediante uma estratégia pedagógica, que baseada nos objetivos propostos (d), permitem estabelecer pontos de verificação (e), de modo a avaliar se os objetivos propostos são atingidos (f).

Esses pontos de verificação permitem que o aluno receba um retorno do progresso da sua atividade.

2.6 Arquitetura geral da IoT e da IoTE

Em Silva et al.[4] é apresentada uma arquitetura da IoT estruturada em quatro camadas, conforme ilustra a Figura 11 (a). Na camada do nível mais baixo estão localizados os **dispositivos**. O nível mais alto é representado pela **aplicação**, que processa as informações e faz a análise dos dados vindos dos dispositivos. Entre essas duas camadas, temos outras duas camadas, uma que

provê a **comunicação** dos dispositivos e a camada imediatamente acima, que disponibiliza as informações para serem acessadas, normalmente na forma de **serviços**.

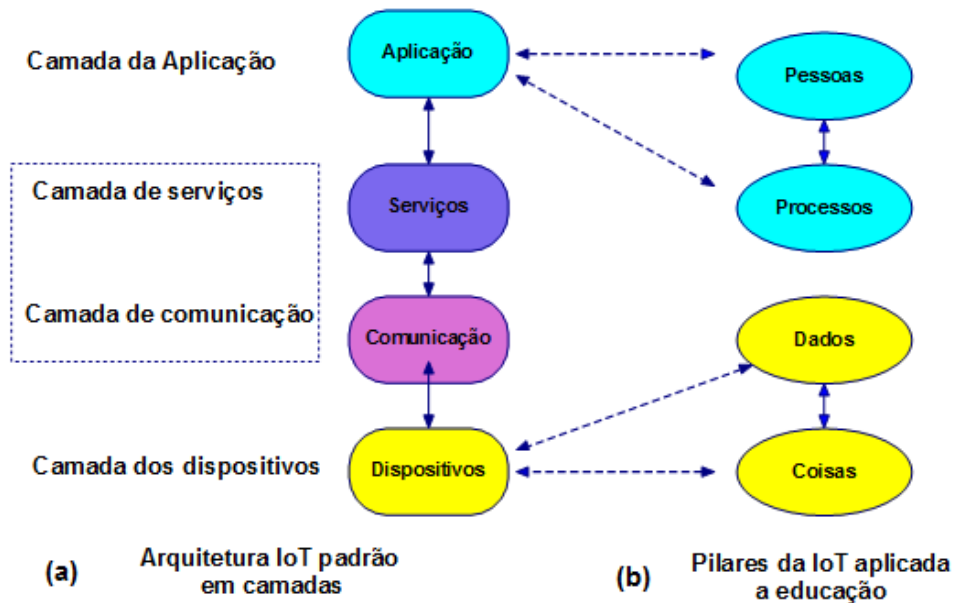


Figura 11 – Arquitetura geral - IoT + IoTE. Elaborado pelo autor.

Quando a IoT é aplicada no contexto da educação (IoTE), segundo Silva et al.[4] e Venna [29], ele pode ser compreendida, como composta de quatro pilares, conforme apresentado na Figura 11 (b), em que as **coisas** e os **dados** que eles produzem, podem ser relacionadas com a camada dos **dispositivos** da IoT, e as **pessoas** e os **processos** que promovem a relações de significado, em relação as coisas e os dados, são construídos na camada da **aplicação**, na arquitetura da IoT.

Dessa forma, uma arquitetura para ser utilizada, utilizando-se a estrutura da IoT, com a finalidade de ser aplicada no contexto das atividades relacionadas ao ensino-aprendizagem (IoTE), deve buscar estabelecer uma relação entre essas duas visões, para a elaboração de aplicações, em especial quando o objetivo é promover uma melhoria na realização de atividades práticas, como proposto no presente trabalho.

3 Trabalhos Relacionados

Este capítulo apresenta alguns trabalhos relacionados, ao uso de bancadas e equipamentos para a realização de atividades práticas educacionais, no contexto do ensino na área tecnológica. Os trabalhos foram organizados de forma a evidenciar as principais propostas disponíveis, em ordem crescente de conectividade e interação com a internet. No final, os trabalhos citados, são avaliados de acordo com os requisitos identificados no contexto da educação utilizando a IoT.

3.1 Uso de Bancadas Didáticas

O uso de bancadas didáticas é altamente difundido, como um recurso valioso para a realização de atividades práticas, com o objetivo de melhorar o processo do ensino-aprendizagem. O trabalho de Pandini et al.[6] descreve o projeto e a construção de uma bancada didática para sistemas de automação industrial (Figura 12), destacando sua importância para a formação acadêmica. O trabalho também abrange o custo de fabricação da bancada e a composição da circuitos de proteção, assegurando a integridade física do equipamento que o constituem.



Figura 12 – Bancada Didática, Extraído [6].

Com a finalidade de avaliar o impacto na aprendizagem dos estudantes, nos cursos de tecnologia, o trabalho de Coelho et al. [16] apresenta um modelo de desenvolvimento de atividades, relacionadas às disciplinas eletrônicas, com o uso de uma bancada didática móvel de baixo custo, que devido a essa característica de mobilidade, permite ao professor realizar experimentos durante as aulas, eliminando a necessidade do deslocamento dos alunos até os laboratórios.

Em outro trabalho, visando atualizar uma bancada antiga, destinada a práticas envolvendo sistemas de controle industriais, Reguera et al. [7], apresentam uma abordagem de baixo custo, a fim de ampliar o número e o tipo de experimentos possíveis na bancada (Figura 13). A abordagem combina várias tecnologias de softwares diferentes, tais como o uso da linguagem C para programação de microcontroladores, pacotes proprietários como *Matlab* (para construção de gráficos) e *Simulink* (para controle de sistemas). Os autores ainda ressaltam que a abordagem utilizada, poderia ser aplicável a qualquer outro sistema físico do gênero.

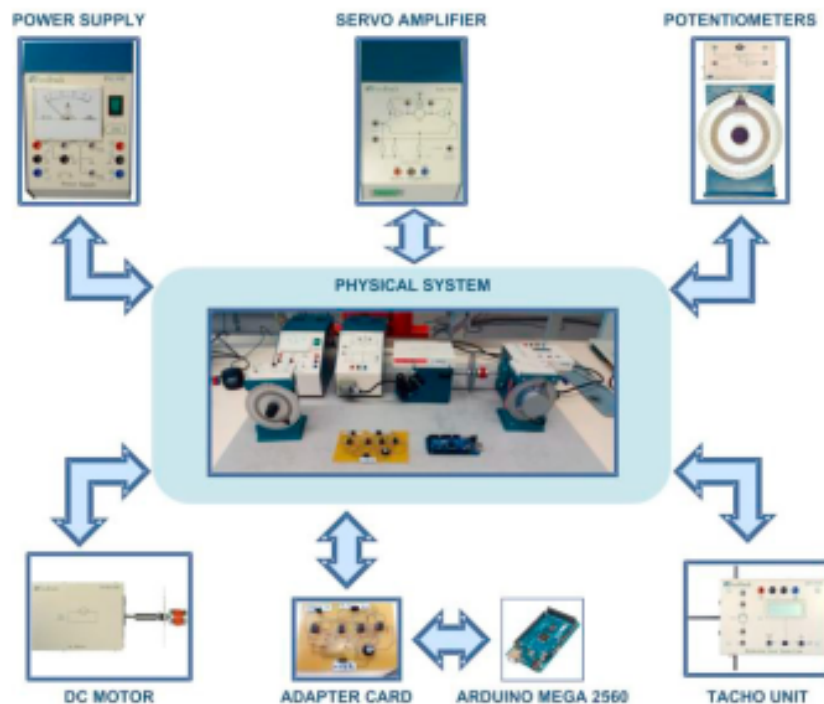


Figura 13 – Bancada Didática. Extraído de [7]

3.2 Laboratórios Remotos

Com a popularização ao acesso a Internet, tornou-se possível e viável o acesso a dispositivos que podem ser monitorados e ou controlados à distância. Segundo Fidalgo et al.[30], um **Laboratório Remoto** é um tipo de laboratório onde o equipamento experimental e o aluno estão fisicamente separados e a execução da experiência exige um meio de comunicação (no caso a Internet) entre as partes. Exige também, geralmente uma interface especificamente desenvolvida para os dispositivos utilizados nos experimentos, que em geral não possuem nativamente, a capacidade de acessar uma rede de comunicação.

Uma das grandes contribuições dos Laboratórios Remotos, é a sua disponibilidade, pelo fato de poderem ser utilizados à distância, por várias turmas, sem a necessidade do deslocamento físico até o laboratório, fato que não é possível no caso das bancadas didáticas convencionais.

Essa característica, permite uma economia para a instituição de ensino, já que várias cursos, inclusive em localidades diferentes, podem se beneficiar de uma mesmo aparato didático, implicando tanto em uma maior disponibilidade, quanto num menor custo, já que não é necessário a aquisição de mais de uma unidade de um mesmo tipo de laboratório.

Os laboratórios remotos são uma das opções atualmente disponíveis para a execução de práticas, e em especial nos cursos da área tecnológica, em cuja grade curricular, estão contempladas uma boa parte da carga horária em atividades práticas.

Entre vários exemplos, o trabalho de Herrera et al. [8] apresenta a proposta de uma bancada de testes remotos, para máquinas elétricas (Figura 14).

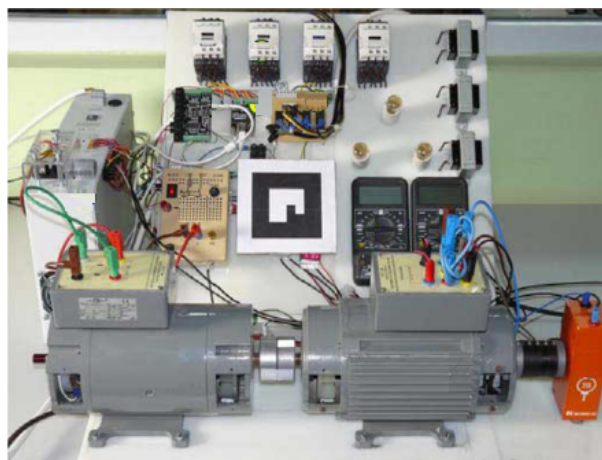


Figura 14 – Laboratório Remoto. Extraído de [8]

A proposta do sistema é utilizar um microcomputador como elemento de ligação entre os dispositivos da bancada e a internet.

Para aumentar a sensação de realidade do experimento, uma câmera IP obtém o vídeo e sinais de áudio do laboratório e envia para o usuário. Nesta configuração, os aspectos de segurança estão associados ao fato do aluno, não ter nenhum contato físico com os dispositivos.

No trabalho apresentado por Chouzal et al. [9] é apresentada uma solução de monitoramento e controle remoto para um sistema de medição de nível. O sistema de medição de nível compreende dois tanques em um circuito de água de circuito fechado, onde são colocados alguns sensores de nível, detectores e dois atuadores (Figura 15 a). A solução desenvolvida é baseada em microcontroladores e serviços da web. A interface web (Figura 15 b) permite ao usuário interagir remotamente com o sistema de medição e controle de nível.

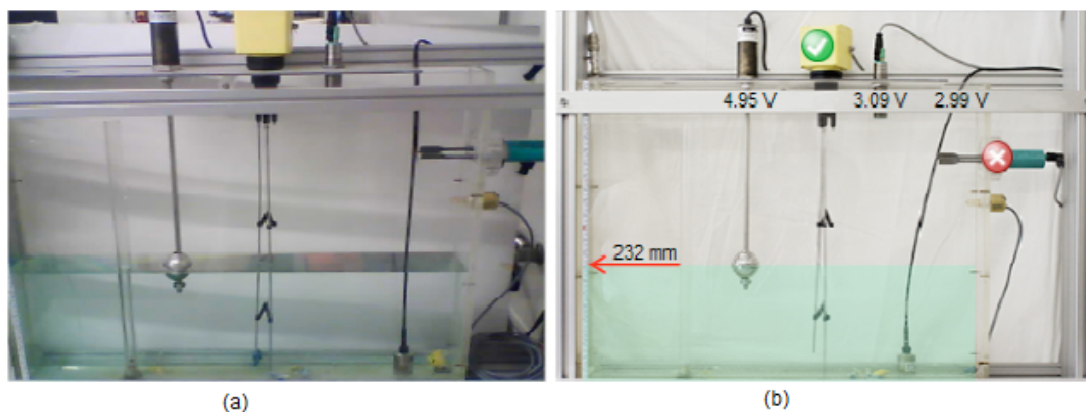


Figura 15 – Laboratório Remoto. Extraído de [9].

Segundo Cardoso et al. [10], o desenvolvimento de laboratórios remotos, pode representar um suporte valioso para o ensino e aprendizado dos alunos, possibilitando um amplo acesso, a um grande número de experimentos, em diversos tópicos e permitindo a interação em tempo real, com o sistema de laboratório para realizar experimentos práticos.



Figura 16 – Laboratório Remoto. Extraído de [10].

No trabalho os autores apresentam um sistema de laboratório remoto (Figura 16), com o objetivo de realizar experimentos em controle de sistemas não-lineares, podendo o aluno variar alguns parâmetros de controle e coletar os dados que são produzidos pelo sistema.

3.3 Laboratórios Virtuais

Uma outra alternativa para minimizar o problema do custo e ou do acesso as bancadas didáticas, é a utilização de laboratórios virtuais (emulados em software) que permitem a realização das atividades práticas. De acordo com Narayanan et al. [11], nesse modelo os estudantes realizaram com segurança vários experimentos e aprendem os conceitos através da simulação das atividades práticas. Apesar de não ter contato físico com os dispositivos, a experiência é bastante satisfatória, eficaz e útil.

Nesse sentido, apresentam um laboratório para a realização de experimentos práticos na área de máquinas elétricas (Figura 17), no qual os alunos podem acessar o laboratório remotamente e realizar experimentos sem o perigo de altas tensões.

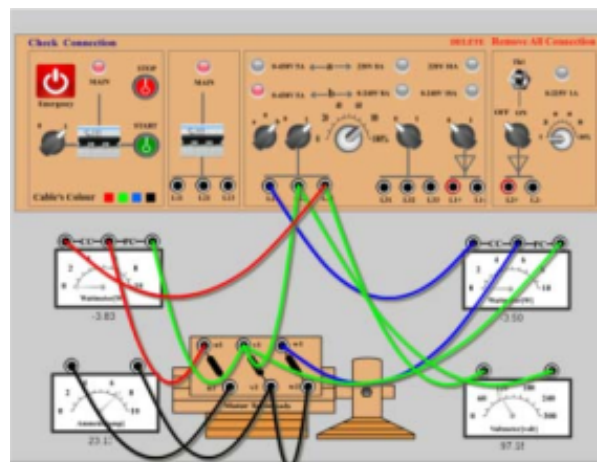


Figura 17 – Laboratório Virtual. Extraído de [11].

Ressaltam também, que os experimentos não podem ser concluídos, a menos que todas as conexões sejam feitas corretamente. Dessa forma, os alunos tem que entender os conceitos teóricos, para realizar as conexões de forma apropriada. No entanto experimentos poderiam ser modificados, com pesquisas adicionais, para permitir conexões erradas ou falhas no laboratório de máquinas virtuais e dessa forma poder verificar os seus efeitos práticos, porém sem causar qualquer dano real.

Segundo Valdez et al. [12], o ensino da análise de circuitos elétricos requer que os

estudantes comparem a teoria e a prática de modo a "aprender fazendo", seja usando bancadas didáticas físicas ou virtuais. O objetivo do trabalho apresentado pelos autores, é o desenvolvimento de réplicas tridimensionais de sistemas elétricos reais, para que os componentes elétricos possam ser movidos virtualmente, possibilitando um fácil manuseio e controle de lições e atividades educativas de forma virtual, em um ambiente amigável.



Figura 18 – Laboratório Virtual. Extraído de [12].

Para finalizar, o trabalho de Travassos et al. [13], apresenta um cenário virtual de um laboratório de instrumentação e medições (Figura 19).

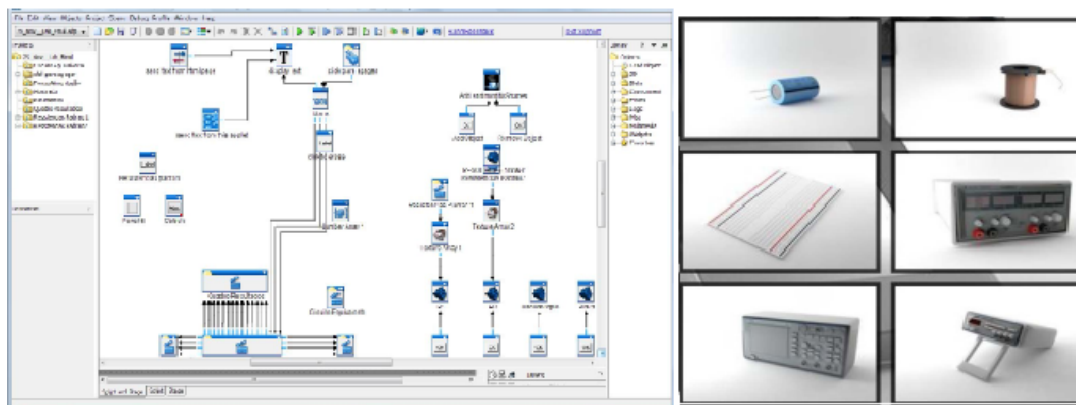


Figura 19 – Laboratório Virtual. Extraído de [13].

Os alunos trabalham com representações de circuitos elétricos focados no aprendizado de conceitos elétricos e análise de circuitos, estudando e desenvolvendo procedimentos de ação. Segundo os autores os laboratórios virtuais, em especial os que fornecem uma imersão do aluno utilizando as técnicas de uso de ambiente "3D" ou utilizando o conceito de realidade virtual, fornecem excelentes plataformas para alcançar resultados, já que são projetados para serem altamente atraentes para seus usuários.

Uma crítica que alguns autores fazem a respeito dos laboratórios virtuais, entre eles Fidalgo et. al.[30], é a de que em geral, essas simulações dos dispositivos criam um "mundo

perfeito", onde as interferências e as perturbações, que são parte inerentes ao uso de dispositivos e equipamentos reais, são mascaradas de forma a não preparar o aluno para várias situações, que ocorrem naturalmente nas situações cotidianas.

Fidalgo et al. [30] também argumentam, em favor dos laboratórios remotos e em detrimento aos laboratórios virtuais, que os alunos iniciantes cometem naturalmente mais erros, e que devem ser permitidos, garantindo porém a segurança do experimento, de modo ao aluno perceber as consequências de medições e montagens incorretas e aprender com seus erros. Se a implementação de um laboratório virtual não permite erros que são comuns em laboratórios reais, ou sinaliza-os como erros do sistema, acaba a fornecer uma assistência inadequada aos alunos e não cumpre o objetivo de reproduzir as condições de laboratório reais.

3.4 Análise sobre os trabalhos relacionados

Uma análise sobre os trabalhos relacionados, permite distinguir três "modelos" de dispositivos que podem ser utilizados para compor as atividades práticas durante a sua realização:

(a) Dispositivos reais convencionais: é de modelo tradicional, constituído de elementos de tecnologia convencional, que não possuem nenhuma capacidade de comunicação, e portanto sua utilização requer tanto a presença física do aluno, para a realização da atividade práticas, como a presença também física do professor para a supervisão das mesmas atividades;

(b) Dispositivos reais com capacidade de comunicação: neste modelo, o dispositivo físico continua existindo, mas como possui a capacidade de comunicação, seu estado pode ser lido e ou alterado à distância. Para que isso seja possível, existe a necessidade de se adaptar ao dispositivo físico, um pequeno sistema computacional, para a leitura e manipulação dos parâmetros desejados, e de uma interface de comunicação para o acesso remoto ao dispositivo.

(c) Dispositivos virtuais: Neste modelo, os dispositivos não existem fisicamente, sendo emulados em software, se comportando de maneira semelhante ao seu equivalente físico.

Comparando os trabalhos apresentados, é possível elencar vantagens e desvantagens em cada modelo de dispositivo adotado.

No caso da utilização dos dispositivos tradicionais **(a)**, o aluno tendo contato com o dispositivo real, recebe informações sensoriais bastante completas.

O acesso ao dispositivo físico permite ao aluno, além ver o dispositivo, poder também em muitos casos, sentir a temperatura, ouvir ruídos, sentir vibrações ou outras informações que podem ser agregadoras de significado ao momento pedagógico.

Como características desvantajosas, pode-se citar que a existência física em si, de um laboratório neste modelo, é um fator limitante para seu uso, devido ao seu custo, em geral elevado, e também devido à concorrência de seu uso no espaço e tempo, além da logística envolvida no deslocamento de um aluno ou turma para o seu uso.

Outro aspecto que também é notado, é a exigência também física do professor durante as atividades, que tem como agravante o fato de poder estar auxiliando um aluno ou grupo de alunos por vez, na realização das atividades.

O modelo de laboratório remoto **(b)**, permite que algumas desvantagens inerentes ao modelo de laboratório tradicional **(a)** sejam minimizados, como por exemplo o custo do laboratório, já que existência física de mais de um laboratório do mesmo tipo, em localidades diferentes, pode ser evitada com a utilização remota de um mesmo laboratório por diversas turmas, inclusive em localidades distintas.

Uma das desvantagens citadas por alguns autores é o empobrecimento da interação com os dispositivos, já que o acesso remoto, em geral, traz consigo a perda de algumas informações sensoriais, pois no momento da adaptação de um dispositivo convencional para o uso remoto, deve-se decidir quais variáveis ou parâmetros serão monitorados.

Outra desvantagem apresentada neste modelo de laboratório, é que em geral, o número de experimentos que podem ser realizados é fixo, já que as mudanças e reconexões entre os dispositivos, nem sempre é possível de ser feita à distância.

Outra desvantagem é a de que, em geral, não permitem que os alunos façam conexões "incorretas", o que em alguns casos pode ser útil para a ilustração de um fato ou conceito trabalhado nas aulas teóricas.

Por último, o modelo de laboratório que utilizam os Dispositivos Virtuais **(c)**, possui como vantagem o fato de poder ser utilizado por várias turmas, inclusive em alguns casos, simultaneamente, permitindo uma grande redução no custo de obtenção e uso de laboratórios

didáticos. Em geral são muito escaláveis, já que o aumento dos dispositivos e dos experimento baseia-se no acréscimo de software ao sistema.

Em geral, segundo alguns autores, os laboratórios virtuais são muito "atraentes" e "amigáveis", em especial devido a utilização de recursos gráficos que permitem uma "imersão virtual" no experimento, tais como o uso de imagens realísticas e da utilização de técnicas de "realidade virtual", que já são possíveis e acessíveis atualmente.

O controle dos experimento pode ser feito de maneira muito efetiva e completa pelo professor, ou um sistema tutor, já que todas as ações ocorrem dentro de um mesmo sistema computacional.

Uma das desvantagens, segundo alguns autores, é a retirada que aspectos relevantes existentes nos dispositivos físicos, tais como mal funcionamento de um dispositivo devido a fadiga de material, desgaste com o tempo de uso, diferenças entre dispositivos físicos de um mesmo lote de fabricação, entre outros que ocorrem naturalmente nos dispositivos reais, que segundo esses mesmos autores, tem provocado uma deficiência na formação de alguns profissionais, quando expostos a situações reais do exercício de suas atividades.

Um outro aspecto observado é o tipo de tecnologia utilizada nos dispositivos, que são totalmente antagônicas. Num modelo os dispositivos são totalmente convencionais, e em alguns casos apenas acrescentados de interfaces para aquisição de dados, sendo totalmente dependentes de um computador para o processamento de seu dados e comunicação como os servidores. No outro modelo, os dispositivos são totalmente virtuais e emulados em software.

A proposta apresentada a seguir, tenta agregar o esses dois mundos, permanecendo com a manipulação de dispositivos reais, mas com alguma "inteligência" embarcada, como por exemplo a capacidade de processamento local e a transmissão de dados, características típicas de dispositivos na IoT.

Também foi levado em conta, a questão do monitoramento humano, tanto das ações acadêmicas quanto aos aspectos de segurança. Na plataforma proposta apresentada, apesar da tecnologia empregada para a segurança do aluno, como os dispositivos de proteção física (disjuntor, botoeira de emergência, etc.), cabe ao professor a decisão para a liberação do equipamento, que segundo sua avaliação deve ser liberado ou não.

Por último, a plataforma também permite o professor, acompanhar o processo de entendimento do aluno da teoria envolvida por meio das ações realizadas pelo aluno ao longo

das atividades práticas.

Partindo da análise feita acima, foram identificados alguns aspectos que caracterizam os modelos de laboratórios dedicados a realização de atividades práticas nos processos de ensino-aprendizagem.

Na Tabela 1 é apresentado o mapeamento dos aspectos apresentados nos artigos avaliados, julgados como relevantes para a proposta do trabalho.

Para uma melhor compreensão, na Tabela 1 será utilizada a seguinte legenda:

L1: Contato com equipamento / dispositivo real

L2: Contato com equipamento real / aquisição de dados local

L3: Contato com equipamento real / aquisição de dados remoto via internet

L4: Contato remoto ao equipamento real/ aquisição de dados remoto via internet

L5: Contato remoto ao equipamento real / controle remoto via internet

L6: Uso de dispositivos com poder de processamento ("inteligentes")

L7: Equipamento totalmente simulado localmente

L8: Equipamento totalmente simulado remotamente

L9: Implementação de medidas para a segurança do aluno / equipamento

L10: Monitoramento humano quanto a aprendizagem do aluno

Observação: (X) implementado e (*) opcional

3.5 Considerações sobre a Plataforma Proposta

A solução proposta neste trabalho procura atender o maior número de aspectos positivos, elencadas na análise dos trabalhos citados. Atender todos os aspectos positivos em uma só proposta, em geral é um objetivo extremamente difícil de alcançar, pois para cada requisito, se faz necessário lidar com vários aspectos do projeto, em alguns casos conflitantes, seja por questões técnicas como o tamanho do dispositivo, velocidade de processamento, fornecimento de energia, ou outros aspectos, como custo, disponibilidade no mercado, entre outras.

Tabela 1 – Análise dos Trabalhos Relacionados. Elaborado pelo autor

Trabalho	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10
Pandini et al. (2017)	X	X				X				X
Coelho et al. (2016)	X					X				X
Reguera et al. (2015)	X	X	*							
Herrera et al. (2013)				X	X				X	
Chouzal et al. (2016)				X	X				X	
Cardoso et al. (2016)				X	X					
Narayanan et al. (2016)							X	X	X	
Valdez et al. (2016)							X	X	X	
Travassos et al. (2016)							X	X	X	
Trabalho proposto	X	X	X	X	X	X	*	*	X	X

A solução apresentada em detalhes no próximo capítulo teve como base, a análise realizada nos trabalhos citados. Também foi levado em consideração as observações coletadas pelo autor no convívio com alunos, em especial na realização de atividades práticas. Os aspectos mais relevantes que serão implementados no experimento da plataforma proposta são:

- **Existência de dispositivos reais:** a proposta apresentada é baseada na interação dos alunos com dispositivos físicos, fato que é observado quando os alunos são levados a um laboratório e podem ter contato com dispositivos reais, que normalmente não fazem parte de seu convívio diário, em geral, desperta o interesse pela novidade e possibilidade da manipulação desses dispositivos.
- **Possibilidade de uso no modo convencional:** apesar das tecnologias aplicadas nos dispositivos, para lhe conferirem capacidade de processamento e comunicação, a proposta apresentada permite, que mediante a escolha do professor, os dispositivos sejam plenamente funcionais no modo convencional para que foram construídos inicialmente. A eletrônica embarcada em cada dispositivo construído não deve interferir em seu funcionamento original.
- **Independência de operação:** os dispositivos desenvolvidos na proposta, são completamente independentes, sendo unidades autônomas, quanto ao processamento e a comunicação. Os dispositivos executam um conjunto de rotinas que permitem o seu funcionamento local, fazendo a coleta e o pré-processamento das variáveis de interesse, podendo atuar em uma rede local (*Edge IoT*), como também enviar dados para um servidor hospedado em nuvem (*Cloud IoT*).

- **Possibilidade de abstração do sistema:** A ligação lógica entre os dispositivos se dá por meio de uma Aplicação que se comunica com todos os dispositivos individualmente e segundo algum modelo de atividade, faz a avaliação das interações entre os dispositivos e os objetivos da atividade prática. No caso mais simples, o professor por meio de um software de supervisão acompanha e analisa as ações efetuadas pelo aluno e avalia se estão de acordo com as regras e os objetivos da atividade proposta;
- **Utilização de Padrões Abertos:** Desde do início do desenvolvimento da proposta houve uma preocupação de se utilizar recursos que pudessem ser utilizados livremente. Na proposta foram utilizados programas e linguagens que possuem ferramentas de uso livre (C, C++, etc), protocolos de comunicação aberto (*MQTT*) e formato de mensagens aberto (*JSON*).
- **Alta Escalabilidade:** A proposta apresentada permite facilmente o aumento do número de dispositivos ou de bancadas, sendo limitado apenas pela capacidade da rede de comunicação, que pode introduzir um atraso na troca das mensagens entre os dispositivos e os servidores.
- **Supervisão e Controle da atividade prática:** A proposta apresentada, permite não apenas o monitoramento das atividades do aluno, que pode realizar as atividades de forma correta ou incorreta, porém permite uma supervisão ativa do professor, que é o elemento que decide sobre a permissão ou não da liberação da bancada para o teste em condições reais, da atividade feita pelo aluno. Dessa maneira é inserido na plataforma o componente humano, que apesar da tecnologia envolvida na plataforma, continua com o papel fundamental no acompanhamento do progresso da aprendizagem do aluno.
- **Segurança para o aluno e o equipamento:** A supervisão ativa do professor durante a realização das atividades na plataforma, implementa uma segurança intrínseca ao uso do equipamento. Apenas o professor pode liberar o equipamento para entrar em uma condição que possa provocar potenciais danos, como por exemplo no experimento realizado, o fornecimento da tensão alternada para o funcionamento do circuito.

3.5.1 Modos de Utilização da Aplicação Desenvolvida

A aplicação desenvolvida para o experimento, deve permitir seu uso em dois modos diferentes, utilizando-se dos mesmos dispositivos, porém com um nível diferente de supervisão. Esses modos de operação podem ser vistos abaixo:

Modo "Convencional": Neste modo de operação, a bancada didática é utilizada pelo aluno de forma convencional, ou seja, da mesma forma que uma bancada didática convencional. Mediante um roteiro prévio do experimento e sob a supervisão direta e presencial do professor responsável. Para isso basta que o professor , desbloqueie o painel, e libere as tensões alternadas nos respectivos bornes na tela da aplicação desenvolvida.

Modo "Supervisionado": Neste modo de operação, a bancada didática pode ser utilizada pelo aluno normalmente, porém todas as etapas da montagem do circuito são monitoradas, pelo professor utilizando a aplicação desenvolvida. Dessa forma é possível obter dados sobre a execução durante toda a atividade prática.

Outro aspecto fundamental neste modo de funcionamento, é que **o fornecimento da tensão alternada não é liberada pelo dispositivo Painel de Montagem**, o que impede que o aluno possa se colocar em uma condição que resulte em risco para a sua integridade ou cause algum dano a bancada didática.

O professor pode, mediante a utilização da aplicação desenvolvida, verificar se existe alguma conexão que possa causar algum dano ao equipamento, e outras informações, como por exemplo a posição do interruptor. Desta forma, enquanto o professor não avaliar que as conexões realizadas pelo aluno, estão corretas e de acordo com as desejadas para a atividade, **o aluno não tem a liberação para o teste da sua atividade**, o que somente pode ser feito mediante comando vindo da aplicação.

Um possível terceiro modo de utilização, não implementado na aplicação desenvolvida, e que pode ser denominado de "**Modo Inteligente**", a bancada didática é utilizada pelo aluno, e durante todas as etapas do experimento são monitoradas e avaliadas por um sistema inteligente, que mediante a aplicação de regras, avalia o andamento e o sucesso do experimento. Este modo não foi implementado neste trabalho, sendo deixado o seu desenvolvimento para trabalhos futuros.

4 Plataforma Proposta

Neste capítulo é apresentada uma visão geral da IoT, mas visando a sua aplicação com o foco da educação (IoTE). Em seguida são apresentados os requisitos que devem se atendidos para o protótipo desenvolvido, bem como a implementação feita para cada camada em que se divide a IoT.

A proposta dessa dissertação de mestrado, é apresentar uma plataforma que possa ser utilizada na área educacional, em especial, na área de laboratórios didáticos, utilizando-se dos recursos advindos dos avanços na área da IoT, mas permitindo aos alunos, uma interação física com os elementos utilizados nas atividades práticas.

Dessa forma, a proposta consiste em conjunto de dispositivos inteligentes, que podem trocar informações, mediante uma infraestrutura de comunicação e de serviços, de modo a tornar a realização de uma atividade prático-pedagógica, uma atividade que possa, através da supervisão em tempo real, ser eficiente e segura.

4.1 Arquitetura das camadas IoT propostas para o trabalho

Durante as etapas de desenvolvimento da plataforma proposta, algumas decisões de projeto se fizeram necessárias, para a efetiva implementação das tradicionais camadas, em que é separada a arquitetura da IoT.

Na Figura 20, é apresentado a relação entre a organização das camadas da IoT com as camadas implementadas:

- (i) Para a implementação da camada da **aplicação**, foi desenvolvido um software que permite o monitoramento, a supervisão e o controle das atividades realizadas pelo aluno.
- (ii) Para a implementação da camada de **serviços**, foram utilizados os mecanismos de troca e controle de mensagens do protocolo MQTT.
- (iii) Para a implementação da camada de **comunicação**, foi adotado o padrão wi-fi (802.11)
- (iv) Para a camada dos **dispositivos**, foi desenvolvida uma eletrônica embarcada que contém as funcionalidades exigidas para essa camada, como o processamento, a identificação, a

leitura e a modificação do estado do dispositivo.

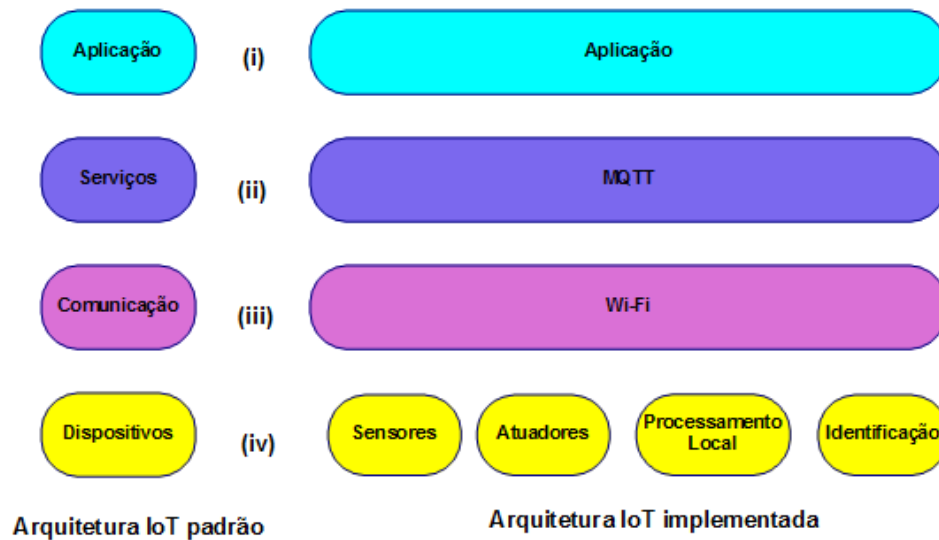


Figura 20 – Relação entre a arquitetura IoT geral e a implementada. Elaborado pelo autor.

Todas as implementações dessas camadas, serão apresentadas em detalhes, ao longo do capítulo corrente.

4.2 Requisitos do Protótipo Desenvolvido

Para que fosse viável o desenvolvimento de um protótipo de uma bancada didática, que auxiliasse a aprendizagem do aluno na realização de tarefas práticas, alguns requisitos tiveram que ser levados em conta. Esses requisitos serviram de base para o desenvolvimento, sendo eles:

- **Custo de construção e manutenção:** No projeto procurou-se utilizar componentes e materiais facilmente encontráveis no mercado. Dessa forma tanto a construção, quanto uma eventual reposição de uma peça ou componente do sistema ficará facilitado.
- **Alta confiabilidade:** Os dispositivos desenvolvidos foram submetidos a uma bateria de testes, com o intuito de assegurar um funcionamento rápido e estável.
- **Segurança:** Na elaboração e construção da bancada didática foram tomados os devidos cuidados, de modo a garantir que o seu utilizador, não fosse exposto a situações que pudessem resultar em acidentes danosos ao usuário ou ao equipamento;

- **Independência do modelo de IoT utilizado:** Para flexibilizar a utilização do protótipo desenvolvido, o mesmo não deveria estar limitado a qualquer um dos modelos de IoT apresentados na fundamentação teórica (*Edge, Fog ou Cloud*). A solução apresentada pode ser utilizada em qualquer um dos modelos de IoT, desde que sua configuração, esteja de acordo com o modelo adotado.
- **Escalabilidade:** Alguns cuidados foram tomados para tentar facilitar a capacidade das futuras expansões na plataforma, entre eles:
 - A adoção de um protocolo de comunicação aberto e amplamente utilizado na área da IoT, como o MQTT, permite que que novos dispositivos e aplicações sejam desenvolvidas e agregadas ao projeto inicial;
 - O processamento do dispositivo, ficando a cargo da eletrônica embarcada no próprio dispositivo, permite que diferentes necessidades de processamento sejam resolvidas por diferentes modelos de módulos embarcados;
 - A independência da plataforma, de um modelo específico de modelo de IoT, permite que a plataforma seja aplicada em qualquer escala, sendo que o modelo de IoT deve ser escolhido em conformidade com a necessidade específica do caso da utilização.

4.3 Camada dos Dispositivos

Os dispositivos físicos básicos desenvolvidos como protótipos, foram um "**Painel de Montagem**", um dispositivo do tipo "**Interruptor Simples**" e um dispositivo do tipo "**Lâmpada**", que são descritos nos tópicos a seguir.

4.3.1 Dispositivo Painel de Montagem

O dispositivo denominado de "**Painel de Montagem**" é o elemento principal do sistema, pois funciona como uma base de montagem para os outros dispositivos. As principais funções são: prover a alimentação elétrica de baixa tensão para todos os outros dispositivos; e, controlar o fornecimento da tensão alternada para o usuário no momento do teste de seu experimento, de forma controlada, garantindo assim a segurança na execução das tarefas.

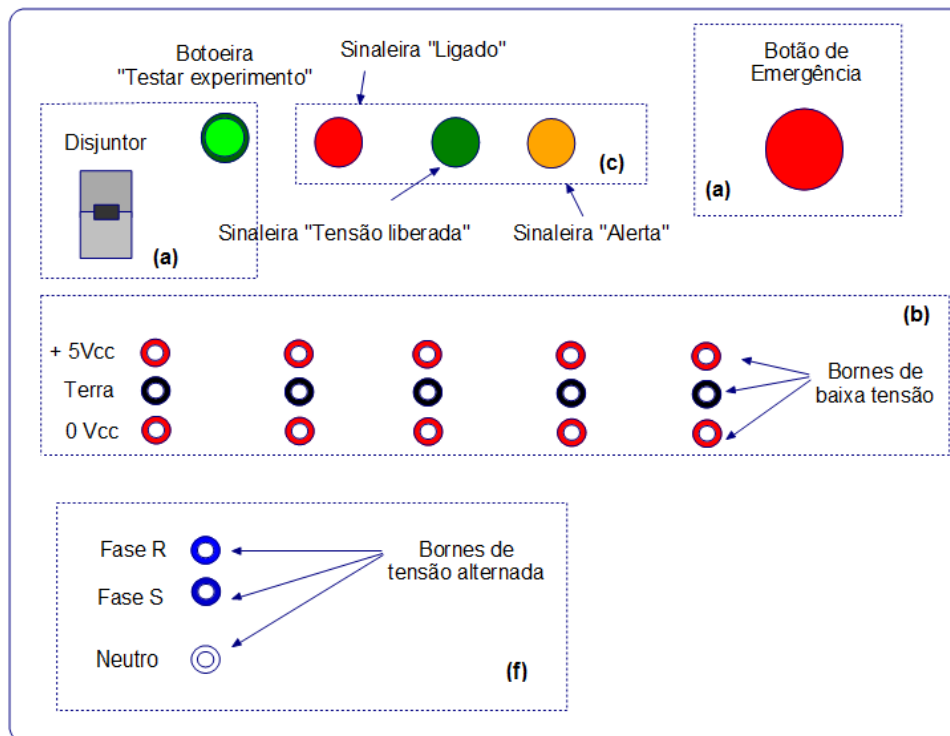


Figura 21 – Painel de Montagem. Elaborado pelo autor.

O dispositivo Painel de Montagem é o elemento que serve de base mecânica para a realização das atividades práticas. Conforme pode ser visto na Figura 21 e no seu diagrama em bloco (Figura 22), é composto das seguintes partes:

- (a)** Dispositivos de proteção e segurança elétrica, composto de disjuntores e botoeira de emergência;
- (b)** Fonte de alimentação contínua de baixa tensão (+5Vcc) para a alimentação dos demais dispositivos que foram conectados. Essa alimentação está disponível nos bornes de baixa tensão;
- (c)** Sinalização luminosa, por meio de sinaleiras, sobre as condições e estado do painel e do experimento;
- (d)** Um microcontrolador, responsável pelo processamento dos dados enviados para o sistema, bem como responsável pela execução dos comandos vindos do sistema;
- (e)** Um hardware responsável por promover a comunicação do painel, via padrão wi-fi (802.11);

(f) Um circuito de comutação, responsável pela disponibilização da tensão alternada, mediante consentimento do o aplicativo de supervisão (controlado pelo professor ou sistema tutor).

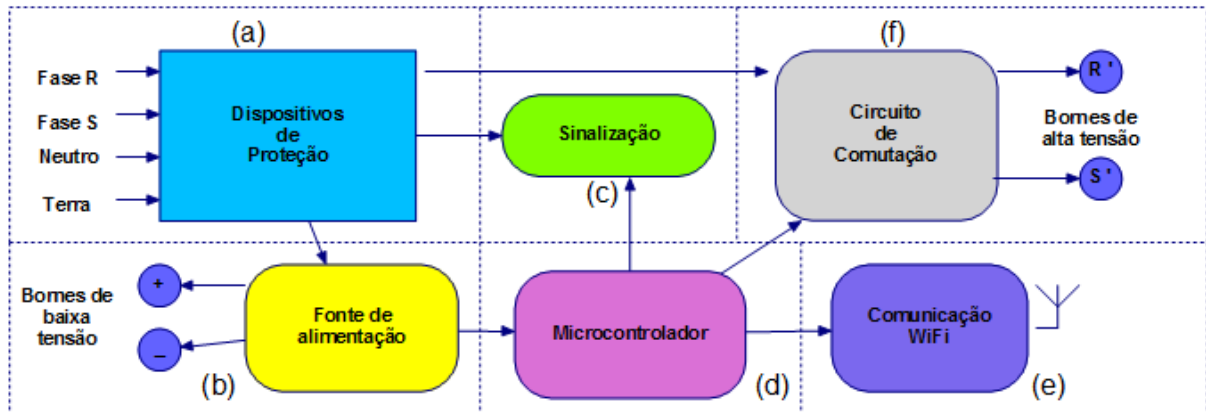


Figura 22 – Diagrama em blocos do dispositivo Painel de Montagem. Elaborado pelo autor.

4.3.2 Dispositivo Interruptor

O dispositivo "**Interruptor**" (Figura 23) é um elemento de chaveamento de um circuito elétrico. Por meio dele, podemos interromper ou não a circulação da corrente elétrica em um circuito, sendo o elemento que permite o controle do funcionamento da carga que queremos utilizar. No caso do sistema proposto, ele tem a função de permitir ou não, a passagem da corrente elétrica alternada pelo circuito montado pelo aluno.

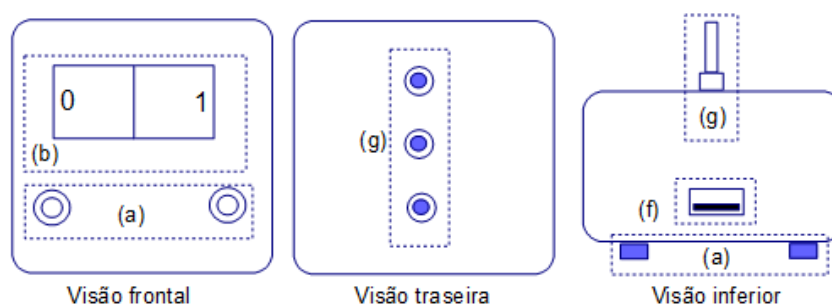


Figura 23 – Dispositivo Interruptor. Elaborado pelo autor.

O dispositivo desenvolvido possui, além das funções inerentes a sua função de fechar ou não o circuito elétrico, um hardware que provê a capacidade de monitorar a existência ou não da tensão alternada em cada um dos seus terminais (denominados de bornes de ligação), bem como a capacidade de conhecer a posição da alavanca do seu elemento de comutação. Para melhor compreensão do dispositivo interruptor, temos o seu diagrama em blocos apresentado na Figura 24, que é composto das seguintes partes:

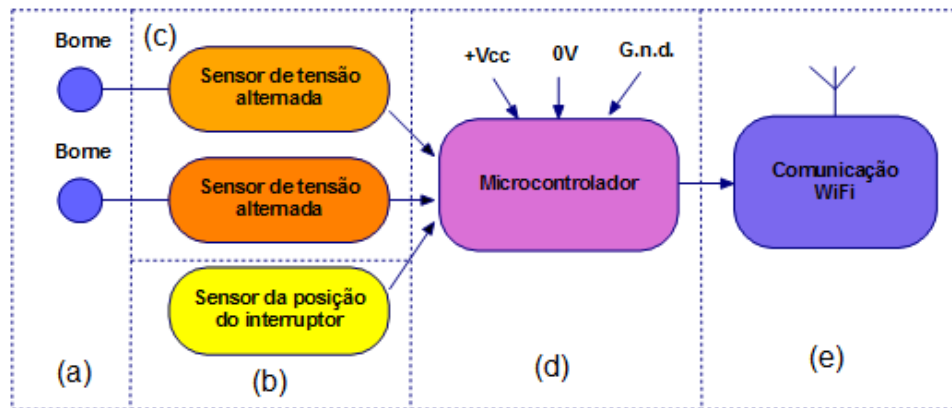


Figura 24 – Diagrama em blocos do dispositivo Interruptor. Elaborado pelo autor.

(a) Bornes para a conexão dos cabos, para a conexões de tensão alternada, realizadas pelo aluno;

(b) Sensor da posição da alavanca do interruptor. Esse sensor permite ao sistema identificar a posição da alavanca do interruptor. Assim, é por meio desse sensor que o dispositivo pode verificar, em qual estado o interruptor se encontra, se na posição de repouso (posição "aberto" ou "0"), na qual não permite a passagem da corrente elétrica, ou se na posição ativado (posição "fechado" ou "1"), que permite a passagem da corrente elétrica;

(c) Sensores de tensão alternada. Esses sensores permitem identificar a existência ou não de uma tensão alternada em cada um dos bornes do dispositivo. Por meio desses sensores é possível para a aplicação desenvolvida, verificar se a existência de determinada tensão alternada, é compatível com as regras da atividade prática que está sendo desenvolvida;

(d) Um microcontrolador, responsável pelo processamento dos dados enviados para o sistema;

(e) Um hardware responsável por promover a comunicação do painel, via padrão wi-fi (802.11);

(f) Uma conexão no padrão USB, para programação dos dispositivos durante seu desenvolvimento, e para futuras alterações de seu software embarcado;

(g) Pinos "Machos" para a fixação do dispositivo interruptor ao dispositivo painel, para a sua efetiva utilização em uma atividade prática. Esses pinos além de fornecer um suporte mecânico ao dispositivo, também são utilizados para ao fornecimento de tensão contínua para a alimentação do dispositivo interruptor.

4.3.3 Dispositivo Lâmpada

O dispositivo "Lâmpada" (Figura 25) é o elemento final de um circuito elétrico, e é também denominado de "carga". Esse é o elemento que efetivamente realiza o trabalho no circuito, no caso específico, a produção de luz.

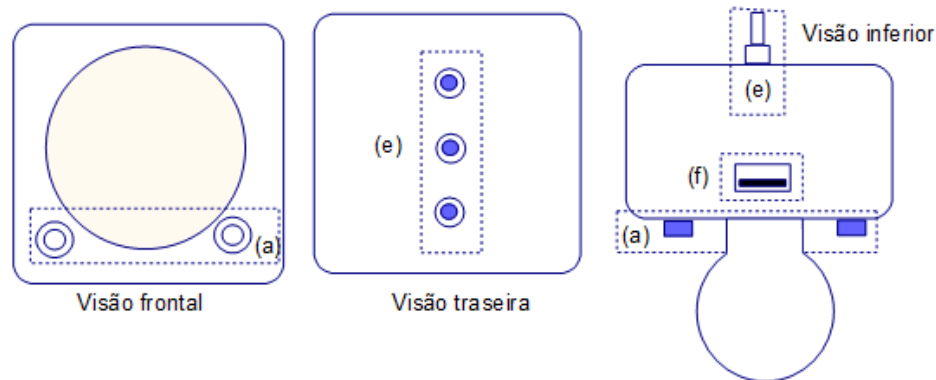


Figura 25 – Dispositivo Lâmpada. Elaborado pelo autor.

O dispositivo desenvolvido, além de exercer a função de carga no circuito elétrico, também possui um hardware que permite monitorar a existência ou não da tensão alternada em cada um dos seus terminais. Para melhor compreensão do dispositivo lâmpada, o seu diagrama em blocos é apresentado na Figura 26, e é composto das seguintes partes:

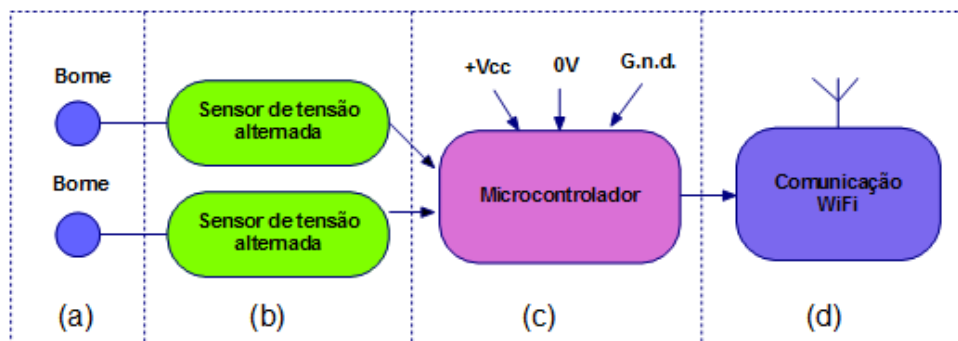


Figura 26 – Diagrama em blocos do dispositivo Lâmpada. Elaborado pelo autor.

- (a) Bornes para a conexão dos cabos durante a montagem realizada pelo aluno;
- (b) Sensores de tensão alternada. Esses sensores permitem identificar a existência ou não de uma tensão alternada em cada um dos bornes do dispositivo. Por meio desses sensores é possível para a aplicação desenvolvida, verificar se a existência de determinada tensão alternada, é compatível com as regras da atividade prática que está sendo desenvolvida;

- (c) Um microcontrolador, responsável pelo processamento dos dados enviados para o sistema;
- (d) Um hardware responsável por promover a comunicação do painel, via padrão wi-fi (802.11);
- (e) Uma conexão no padrão USB, para programação dos dispositivos durante seu desenvolvimento, e para futuras alterações de seu software embarcado;
- (f) Pinos "Machos" para a fixação do dispositivo interruptor ao dispositivo painel, para a sua efetiva utilização em uma atividade prática. Esses pinos além de fornecer um suporte mecânico ao dispositivo, também são utilizados para o fornecimento de tensão contínua para a alimentação do dispositivo interruptor.

4.3.4 Construção dos Dispositivos

Para a construção dos dispositivos foi realizada uma pesquisa, com o objetivo de selecionar os componentes de hardware que seriam utilizados na construção dos protótipos. Atualmente existem várias opções no mercado de plataformas de prototipagem (módulos), para o desenvolvimento de aplicações que utilizam o conceito da IoT.

Durante a pesquisa para a escolha do módulo a ser utilizado para a construção dos protótipos, alguns critérios foram levados em consideração, tais como a disponibilidade no mercado, capacidade de processamento, preço do módulo, tamanho físico, documentação e a disponibilidade de ferramentas de desenvolvimento. Um resumo das principais características dos módulos pesquisados é apresentado na Figura 27.

Módulo	CPU - Modelo	CPU (bits)	RAM	Flash	Clock (Mhz)	Comunicação nativa	Ref.
Arduino Uno	Atmega 328	8	8 Kb	2 Kb	16	não possui	(a)
Arduino Mega 2560	ATmega2560	8	8 Kb	32 Kb	16	não possui	(a)
ESp01	Tensilica's L106	32	36 Kb	4 Mb	80	802.11 b / g / n	(b)
ESP12	Tensilica's L106	32	36 Kb	4 Mb	80	802.11 b / g / n	(b)
Wemos D1	Tensilica's L106	32	36 Kb	4 Mb	80	802.11 b / g / n	(b)
Esp32	Xtensa dual-core	32	520 Kb	448 Kb	60	802.11 b/g/n + B.L.E.	(b)
STM8	STM8S003F3	8	1 Kb	8 Kb	16	não possui	(c)
STM32	ARM 32 Cortex	32	20 Kb	64/128 Kb	72	não possui	(c)
Intel Galileo	Quark SoC X1000	32	512 Kb	micro SD	400	Ethernet 10/100	(d)
Raspberry Pi B	ARM11	32	512 Mb	micro SD	700	Ethernet 10/100	(e)
Raspberry Pi 2 B+	Cortex A7	32	1Gb	micro SD	900	Ethernet 10/100	(e)

(a) <https://www.arduino.cc> (b) <https://www.st.com> (c) <https://www.espressif.com>
(d) <https://www.intel.com> (e) <https://www.raspberrypi.org>

Figura 27 – Principais características dos módulos pesquisados. Elaborado pelo autor.

Após uma pesquisa feita sobre os dispositivos, e também de testes realizados nos módulos disponíveis, alguns aspectos se tornaram determinantes para a escolha, sendo uma delas a de que os módulos teriam que ser embarcados nos dispositivos. O resultado dessa análise, segue listado abaixo:

- **Tamanho e Consumo de energia:** Como os módulos seriam embarcados em vários dispositivos, e alguns com restrições de tamanho, os módulos de menores dimensões tiveram preferência, sendo descartados os módulos identificados como (d) e (e), por serem os de maiores dimensões e também por consumirem altas correntes elétricas;
- **Disponibilidade e Documentação:** Os módulos baseados na família STM (c), apesar de promissores, não são encontrados com tanta facilidade no mercado, não possuindo uma comunidade de utilizadores tão ampla, o que poderia dificultar encontrar informações e exemplos de uso desse módulos;
- **Comunicação:** Os módulos baseados nos microcontroladores Atmega (a), como a família *Arduino*, apesar de serem facilmente encontráveis no mercado, possuem vários modelos e com farta documentação, não possuem um hardware de comunicação wi-fi embutida, sendo necessário a utilização de placas de expansão, o que aumentaria a custo e comprometeria o tamanho do dispositivo.

Como resultado da pesquisa realizada, baseada nos itens apresentados, a escolha recaiu sobre os módulos baseados no microcontrolador ESP8266 (Figura 28).



Figura 28 – ESP8266. Extraído de [14].

Entre as características mais contribuíram para essa escolha, foram:

- **Processamento e Comunicação:** Além de possuir uma CPU de 32 bits, possui embutida toda a eletrônica para o uso de comunicação wi-fi (Padrão 802.11), incluindo a implementação de uma boa parte da pilha do protocolo TCP/IP;
- **Disponibilidade no mercado:** Os módulos baseados no microcontrolador ESP8266 são facilmente encontrados, tanto em sites de compra internacionais, como em sites de compra nacionais, o que torna o módulo muito disponível para testes e uso;
- **Preço do módulo:** Os módulos baseados no microcontrolador ESP8266, que são de baixo custo e podem ser adquiridos facilmente;
- **Disponibilidade de ferramentas de desenvolvimento de uso livre.** Existem três ambientes de desenvolvimento para o microcontroladores ESP8266:
 1. Um ambiente baseado na linguagem de programação **Lua** (uma linguagem interpretada e de fácil integração);
 2. O ambiente de desenvolvimento do projeto *Arduino*, incluindo todas as sua bibliotecas e interfaces, herdando toda a base já desenvolvida no projeto;
 3. Um ambiente de desenvolvimento baseado no sistema operacional de tempo real RTOS, capaz de criar aplicações profissionais, permitindo explorar todo o potencial do microcontrolador [31].
- **Documentação:** Existência de um bom suporte fornecido pelo fabricante, e com farto material disponível na internet.

As principais características técnicas da família de microcontroladores ESP8266 são :

- CPU Tensilica's L106 de 32 bits, 80Mhz, 4 Mbytes de memória Flash, 36 Kbytes de memória RAM;
- Padrões de comunicação wi-fi (IEEE 802.11b, 802.11g e 802.11n);
- Faixa de frequência de comunicação de 2.4GHz;
- Taxa de transmissão de 110 à 460 Mbps;
- Antena Embutida;
- Interface Serial disponível;
- Alimentação de 4,0 à 9,0 Vcc (conector Micro USB);
- Tensão Lógica de 3,3 Vcc;
- Consumo de corrente de 70 mA (em repouso) e Máximo de 220 mA (transmitindo)
- Conversor A/D de 10 bits;
- GPIO com 11 pinos de entrada ou saída.

Para agilizar o desenvolvimento dos dispositivos foi escolhido o módulo WeMos D1 Mini (Figura 29) , que é uma placa de desenvolvimento para IoT, que combina o microcontrolador ESP8266 com um hardware mínimo, facilitando a sua programação e utilização.

Sua programação pode ser feita usando as ferramentas de desenvolvimento fornecidas pelo fabricante [15] ou por meio da IDE do *Arduino* [32], que além de ser uma ferramenta de desenvolvimento livre, é amplamente utilizada e documentada.

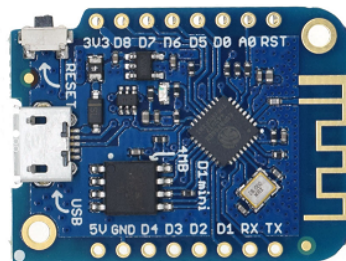


Figura 29 – Wemos D1 Mini. Extraído de [15].

4.3.4.1 Placa de Interface de Entrada

Apesar da ideia básica do projeto poder ser aplicada em outros contextos, principalmente em disciplinas que são beneficiadas pelo uso de experimentação prática, é necessário que os dispositivos utilizados nas atividades práticas consigam ler e manipular as variáveis de interesse para aquela atividade.

No caso de experimentos que envolvam montagem de circuitos elétricos (caso utilizado no experimento prático), uma das maneiras de se verificar a correta conexão dos elementos é a verificação da existência ou não de determinada tensão, num determinado ponto do circuito.

Para essa finalidade, foi desenvolvida uma placa de interface que permite a verificação da existência de tensão em até três pontos distintos, e tem seu circuito eletrônico apresentado na Figura 30.

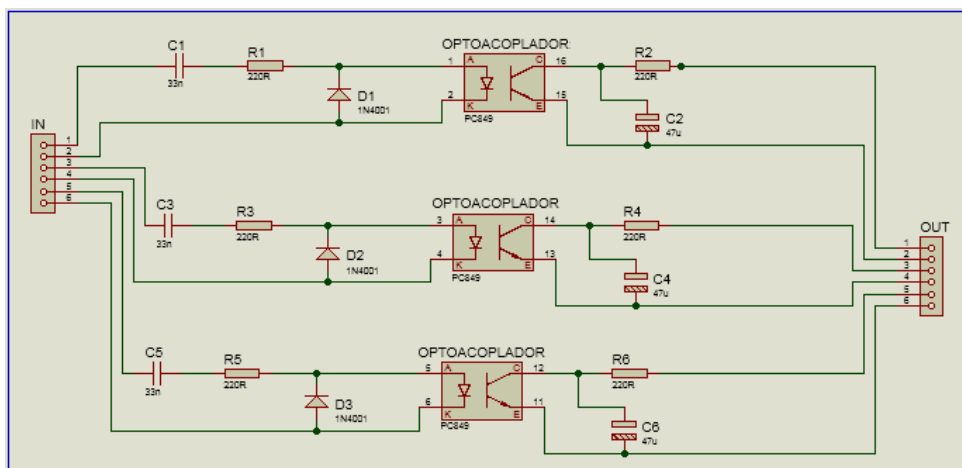


Figura 30 – Circuito da Interface de Entrada. Elaborado pelo autor.

Um dos cuidados tomados no desenvolvimento da interface, foi o total isolamento da tensão de entrada (em geral 127 ou 220 VCA). Para essa finalidade foi utilizado a técnica de opto-acoplamento, onde a informação é transmitida por meio luminoso, garantindo assim a total isolação galvânica entre o circuito de alta tensão e o circuito de baixa tensão, inclusive do elemento responsável pelo processamento (no caso, o módulo Wemos D1).

Durante a fase de testes da interface, o circuito foi montado em *proto-board* e quando atingido uma performance satisfatória, foi desenvolvida uma placa de circuito impresso para uma montagem definitiva. A placa desenvolvida, apesar de ser funcional em todos os testes, dadas as suas dimensões, não permitia a sua incorporação aos dispositivos prototipados.

Para contornar esse problema, outra versão da placa de circuito impresso foi desenvolvida,

porém devido ao seu tamanho reduzido e a tecnologia envolvida no processo de fabricação da placa de circuito impresso (placa de dupla face, com furos metalizados), esse trabalho foi repassado para uma empresa especializada, cujo resultado pode ser visto na Figura 31.

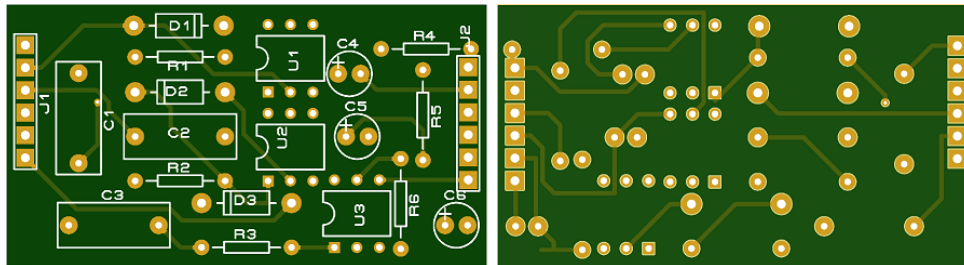


Figura 31 – Placa de circuito impresso da Interface de Entrada. Elaborado pelo autor.

O resultado obtido na nova versão da placa, após a montagem dos componentes, permitiu uma versão final da placa, menor e mais compacta, que com maior facilidade pode ser embutida nos dispositivos prototipados. Para efeito de comparação, a redução no tamanho obtido para a placa pode ser vista na Figura 32.



Figura 32 – Placas da Interface de Entrada construídas. Elaborado pelo autor.

4.3.4.2 Softwares Embarcados nos Dispositivos

Para o funcionamento dos dispositivos prototipados, foi necessário o desenvolvimento de softwares que seriam embarcados nos dispositivos. No desenvolvimento dos softwares dos dispositivos foi utilizada uma variante da linguagem C++, utilizada na plataforma de prototipagem *Arduino*, que foi devidamente configurada para conseguir compilar os códigos para o modelo do microcontrolador escolhido (ESP8266).

O software embarcado nos dispositivos tem a função de verificar o estado dos seus terminais (bornes) quanto a existência ou não de tensão aplicada, posição física de seus elementos móveis (interruptores e alavancas).

Esses dados podem ser enviados periodicamente para uma aplicação que possam ser tratados, ou solicitados mediante uma requisição pela software da aplicação. No caso do testes realizados com os protótipos, os dados eram enviados em intervalos de 1 segundo, ou quando solicitado pelo software desenvolvido para os testes de funcionamento dos dispositivos.

Para que o desenvolvimento dos softwares embarcados nos dispositivos fosse possível, a utilização de algumas bibliotecas foram necessárias, e são descritas a seguir:

- Para a conexão dos dispositivos a uma rede wi-fi, foi utilizada a biblioteca **ESP8266WiFi** [33], disponibilizada como a biblioteca oficial pela própria fabricante do ESP8266;
- Para a implementação de um cliente MQTT no dispositivo, foi utilizada a biblioteca **PubSubClient** [34], disponibilizada no site oficial do projeto Arduino [32];
- Para a manipulação de mensagens no formato JSON, foi utilizada a biblioteca **ArduinoJson** [35], disponibilizada no site oficial do projeto Arduino.

Para uma melhor compreensão do software embarcado nos dispositivos "**Interruptor**" e "**Lâmpada**", é apresentado no fluxograma da Figura 33, que fornece de forma simplificada, a sequência de passos realizados pelo software.



Figura 33 – Fluxograma do software embarcado nos dispositivos "Interruptor" e "Lâmpada". Elaborado pelo autor.

O software embarcado nos dispositivos "Interruptor" e "Lâmpada", executa as seguintes etapas:

- O dispositivo após ser alimentado, executa as rotinas de inicialização (a);

- Em seguida, inicia a conexão com a rede wi-fi **(b)**, seguida da conexão com o servidor MQTT **(c)**;
- A seguir o dispositivo entra em um laço de repetição, em que verifica o estado de suas entradas, fazendo a leitura dos dados **(d)** e publica esses dados no tópico correspondente ao seu tipo de dispositivo **(e)**;
- O dispositivo irá repetir a leitura e envio dos dados quando for solicitado pela aplicação **(f)**, ou quando um tempo máximo estabelecido for atingindo **(g)**. Esse tempo deve ser compatível com as normas de segurança aplicadas e serve também como uma informação que o dispositivo ainda está ativo no sistema.

No caso específico do dispositivo "Painel de Montagem", além da sequência de eventos já citados para os dispositivos anteriores, os itens de **(a)** até **(f)** e **(i)**, estão embutidas no software, algumas funções adicionais, como ilustradas na Figura 34.

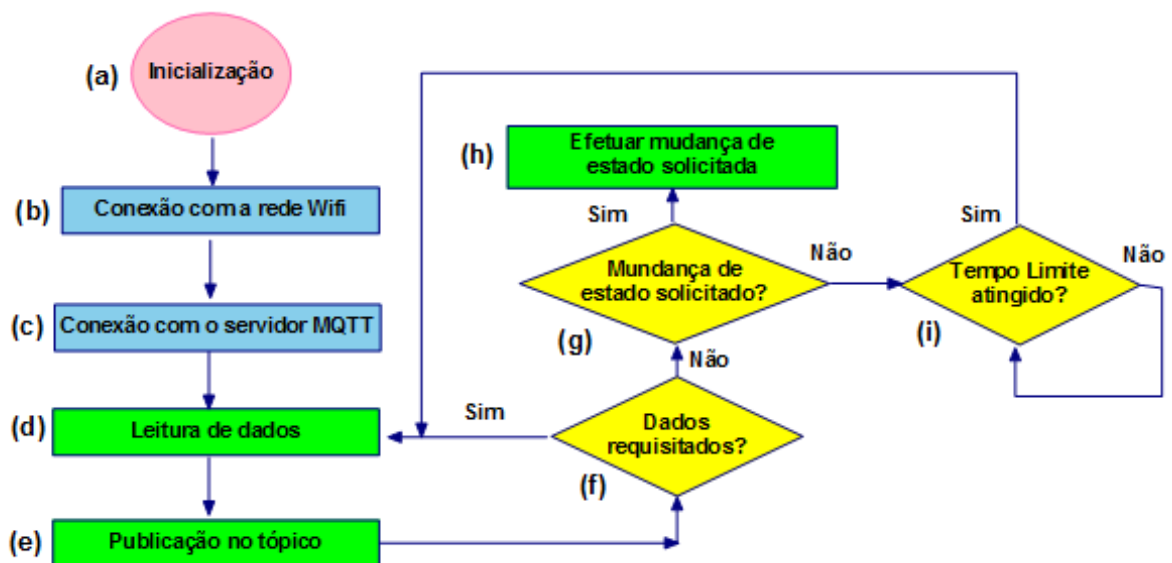


Figura 34 – Fluxograma do software embarcado no dispositivo "Painel de Montagem". Elaborado pelo autor.

O dispositivo "Painel de Montagem", também é dotado de uma interface de saída, que permite, mediante solicitação do sistema supervisor **(g)**, alterar o estado de suas saídas **(h)**.

A interface de saída permite ao painel controlar o fornecimento da tensão alternada nos bornes de saída (mediante solicitação do software supervisor utilizado no experimento), nos momentos de teste e verificação da montagem feita pelo aluno, bem como o controle da sinalização luminosa do estado do experimento, por meio das sinaleiras luminosas.

4.4 Camada de Comunicação

A camada de comunicação foi implementada, utilizando-se os recursos embutidos no próprio microcontrolador do módulo utilizado, no caso o microcontrolador ESP8266.

Esse microcontrolador possui um circuito de rádio que consiste num transmissor e um receptor de operando na frequência 2,4 GHz, além de implementar a pilha de protocolo TCP / IP e protocolo MAC 802.11 b/g/n, podendo implementar uma rede WLAN completa.

O microcontrolador ainda possui um antena interna de cerâmica, e um alcance da ordem de 100 m em condições ideais e sem obstáculos, podendo ter seu alcance ampliado com o uso de antenas externas.

Como o teste do protótipo seria realizado inicialmente, adotando-se o modelo de IoT local (*Edge*), foi utilizado um roteador doméstico, modelo TL-WR941 (fabricante TP-Link) para a implementação de uma rede local WLAN, para a conexão dos dispositivos prototipados.

Posteriormente, os testes também foram realizados utilizando-se o modelo de IoT *Cloud*, e serão apresentados no capítulo seguinte.

4.5 Camada de Serviços

A camada de serviços foi implementada para suportar os requisitos definidos no protocolo de troca de mensagens MQTT, para permitir que todos os dispositivos possam se comunicar e trocar informações com a camada da aplicação. Dessa forma todo o serviço de troca de mensagens serão realizados por meio de um servidor utilizando o protocolo MQTT.

A opção pelo MQTT deu-se pelo fato de ser um protocolo aberto, leve e próprio para dispositivos com baixo poder de processamento, muito bem documentado e suportado pela maioria das linguagens de programação atuais. Essa escolha permite que aplicações desenvolvidas futuramente, possam ser facilmente integrada ao sistema, facilitando sua escalabilidade.

A Figura 35, apresenta o mecanismo da troca de mensagens entre os dispositivos e a aplicação. Usando a terminologia do protocolo MQTT, os dispositivos Interruptor, Lâmpada e Painel de Montagem, **publicam** (isto é, enviam uma mensagem) e **assinam** (isto é, são destinatários das mensagens postadas) em seus respectivos tópicos (**a**).

O *Broker* MQTT, atua como um serviço de intermediador (**b**), recebendo mensagens

organizadas em tópicos e repassando essas mensagens aos interessados que assinaram esses tópicos.

A aplicação (c), assina e publica em todos os tópicos, sendo responsável pela conexão lógica entre os dispositivos, mediante as regras e objetivos estabelecidos para aquela atividade prática em especial.

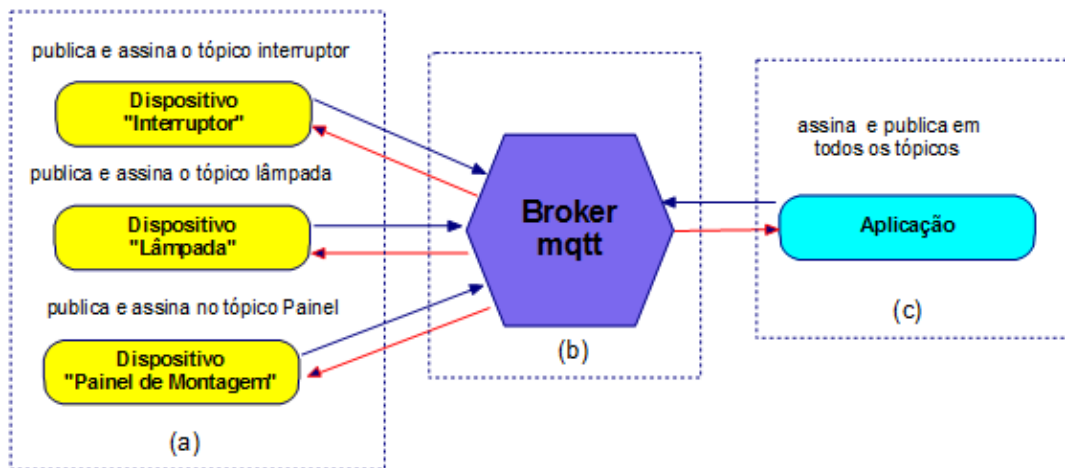


Figura 35 – Camada de Serviços implementada. Elaborado pelo autor.

4.5.1 Formato das Mensagens

As informações trocadas pelos dispositivos e pela aplicação, utilizam o formato JSON (*JavaScript Object Notation* - Notação de Objetos JavaScript). A escolha desse formato para a troca das informações, se deve ao fato do mesmo ser um formato aberto, fácil para as máquinas interpretar e gerar, ao mesmo tempo que é compreensível para os seres humanos.

É um padrão em formato texto e completamente independente de linguagem, sendo suportada por quase todas as linguagens atuais. Seu formato é constituído por uma coleção de pares **nome/valor**, ou de uma lista ordenada de valores. Por ser extremamente simples, é um formato muito eficiente para a troca de dados.

As informações enviadas e ou recebidos pelos dispositivos, são constituídas com os campos, seguindo o formato apresentado na Figura 36.

```
{ "device" : ["painel","interruptor","lampada"],  
  "id": "001",  
  "comand" : ["request_status","request_action"],  
  "status" : ["switch_state_on","switch_state_off","left_pin_voltage","left_pin_no_voltage","right_pin_voltage",  
             "right_pin_no_voltage"],  
  "action" : ["fase_R_off","fase_R_on","fase_S_off","fase_S_on","lamp_blink", "alert_light_on","alert_light_off",  
             "alert_light_blink", "locked voltage", "released voltage" ] }
```

Figura 36 – Metadados das mensagens trocadas. Elaborado pelo autor.

Uma breve descrição de cada campo das mensagens trocadas na plataforma, estão listadas abaixo:

- **device**: Campo que identifica o tipo de dispositivo;
- **id**: Campo que identifica o número daquele dispositivo;
- **comand**: Campo que define que a mensagem de requisição de dados ou modificação do estado de um dispositivo;
- **status**: Campo que identifica o valor a ser lido no dispositivo;
- **action**: Campo que identifica o estado a ser modificado no dispositivo.

4.6 Camada da Aplicação

Ao longo das etapas que compõem as atividades práticas, todas informações sobre o estado dos dispositivos, são enviadas para a camada da aplicação, para serem processadas no software desenvolvido para cada tipo de atividade especificamente.

A aplicação, deve ser desenvolvida tendo em mente, os objetivos pedagógicos a serem alcançados, as etapas e as ações que levem ao sucesso proposto na atividade, e as particularidades de cada atividade.

Cabe a aplicação, disponibilizar ao professor ou a um sistema automático de avaliação, a extração das informações relevantes, em cada etapa da atividade prática.

4.6.1 Fluxo da Informação

O fluxo das informações, pode ocorrer entre os dispositivos e a aplicação, nos dois sentidos, dos dispositivos até a aplicação e vice-versa.

A comunicação de um dispositivo com a aplicação (Figura 37), começa quando o dispositivo é energizado e estabelece a comunicação com o *Broker* MQTT, publicando no tópico correspondente ao seu tipo de dispositivo, as informações que o identificam, e os dados correspondentes ao seu estado atual.

Essas informações são então processadas pela aplicação e disponibilizadas ao professor (ou futuramente a um sistema inteligente de avaliação) que verifica se estão de acordo com as regras estabelecidas para a tarefa didática que está sendo desenvolvida. Opcionalmente essas informações podem ser armazenadas para posterior análise.

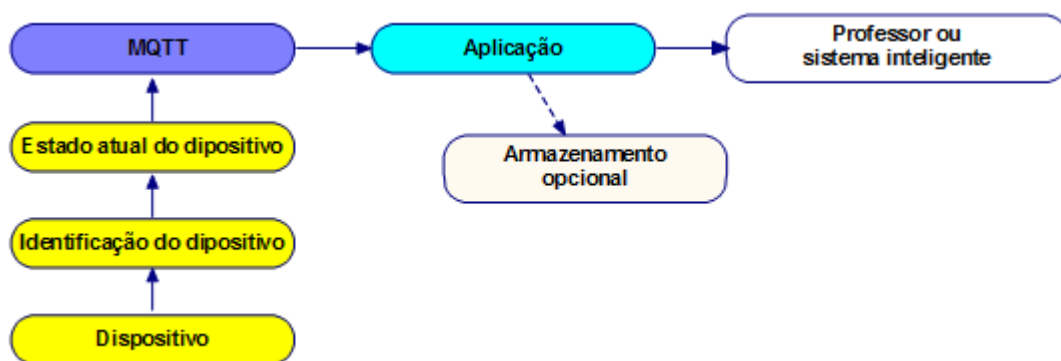


Figura 37 – Fluxo de informação: dispositivo -> aplicação. Elaborado pelo autor.

No caso de alguma regra de segurança for violada, o professor (ou futuramente um sistema inteligente de avaliação) deve atuar para impedir que o aluno e ou o equipamento sofra algum dano. Neste caso a comunicação ocorre no sentido inverso (Figura 38), partindo da aplicação para o dispositivo, com o objetivo que o dispositivo assuma um estado seguro. Essa ação também pode opcionalmente ser armazenada para posterior análise.

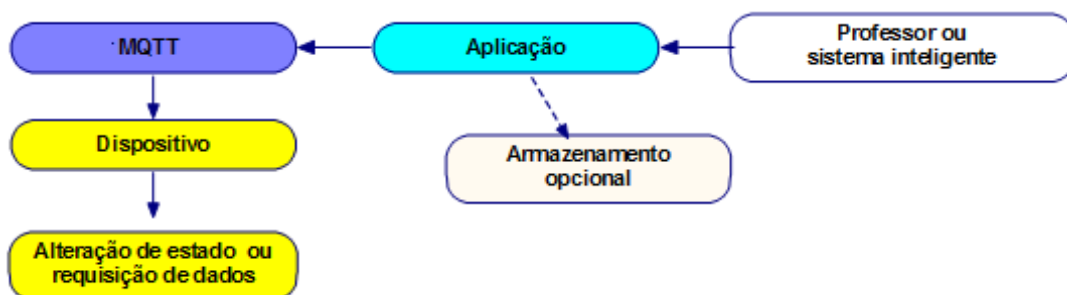


Figura 38 – Fluxo de informação: dispositivo <- aplicação. Elaborado pelo autor.

4.6.2 Aplicação Desenvolvida

A aplicação foi desenvolvida levando-se em conta os objetivos e as características da atividade prática a ser realizada pelo aluno.

Os dispositivos descritos nas seções anteriores foram desenvolvidos com o objetivo de proporcionar a realização de uma atividade prática, na área de circuitos elétricos. Nessa atividade, consiste na verificação da correta interligação dos dispositivos, para o acendimento de uma lâmpada, que apesar de simples, é de fundamental entendimento para que outros circuitos mais elaborados possam ser posteriormente trabalhados.

A aplicação desenvolvida, consiste num software com a interface apresentada na Figura 39 e as funcionalidades básicas para que o professor possa: acompanhar a atividade do aluno durante a execução da atividade prática; sinalizar alguma condição especial; e, permitir ou não que a tensão alternada seja liberada, para que o aluno possa efetivamente verificar o sucesso ou não da sua atividade.

No lado esquerdo da interface da Figura 39, temos a indicação se o dispositivo Painel de Montagem está conectado no sistema ou não **(a)**, bem como os botões que permitem controlar o dispositivo, permitindo as funções de energizar e desenergizar os bornes que fornecem a tensão alternada para os experimentos, além de ligar, desligar e fazer piscar a lâmpada de sinalização do painel **(b)**.

Na parte inferior a esquerda da interface, temos uma janela de texto que mostra as mensagens trocadas entre os dispositivos do sistema **(c)**. Essa janela foi inicialmente colocada para a depuração do sistema durante as fases de desenvolvimento e testes dos dispositivos.

No lado direito da interface, temos a indicação do estado do dispositivo "Interruptor", com a verificação da posição do interruptor, e da existência ou não de tensão nos seus bornes **(d)**, bem como a indicação do estado do dispositivo "Lâmpada", com a verificação se seu estado e da existência ou não de tensão nos seus bornes **(e)**.

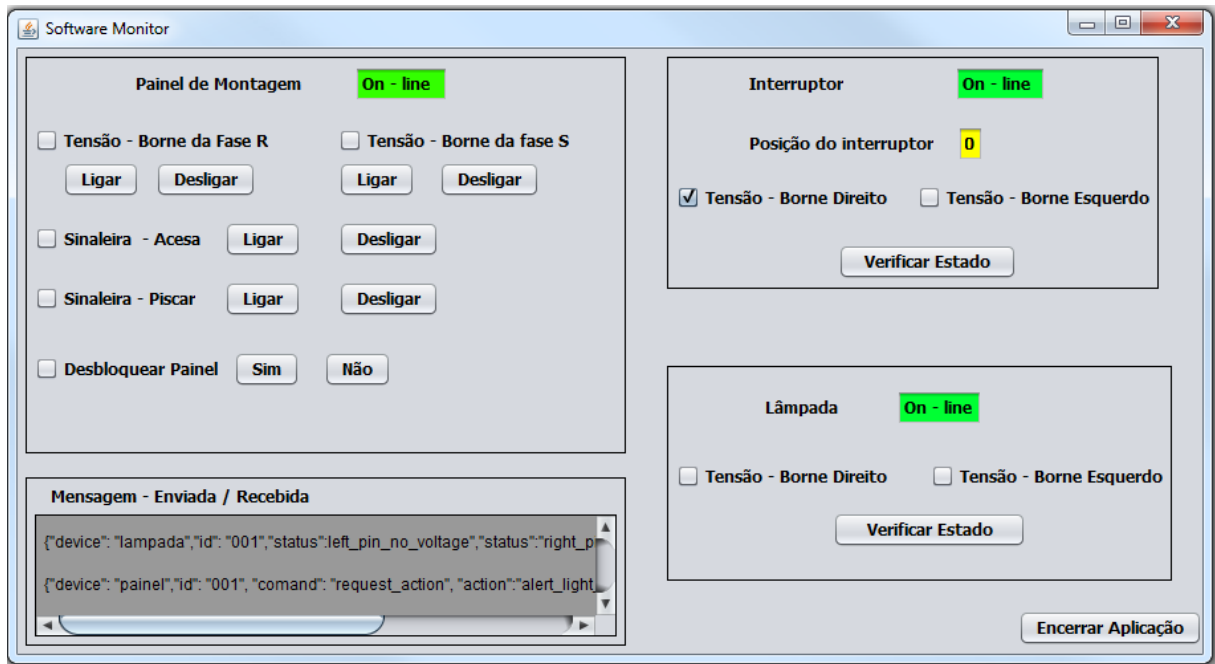


Figura 39 – Aplicação desenvolvida (Software Supervisor). Elaborado pelo autor.

No capítulo seguinte, são apresentados os testes para a avaliação dos dispositivos desenvolvidos para o experimento.

5 Avaliação Experimental

Neste capítulo são apresentados os testes realizados nos dispositivos IoT, que foram utilizados na construção dos protótipos da bancada didática desenvolvida para o experimento.

Os testes efetuados tem como objetivo, permitir a avaliação dos elementos, nas respectivas camadas que compõem a plataforma proposta (dispositivos, comunicação, comunicação e aplicação).

5.1 Avaliação dos Módulos IoT

Para avaliar a performance dos módulos escolhidos para o experimento proposto, e sua adequação a plataforma, foram realizados testes para mensurar o tempo que cada dispositivo levaria para, após ser energizado, executar as seguintes etapas:

- Realizar a sua completa inicialização;
- Estabelecer conexão a uma rede wi-fi;
- Estabelecer a conexão a um *broker* MQTT, tanto no modo Local (*Edge*), quanto num *broker* hospedado num serviço de Nuvem (*Cloud*).

Essa avaliação surgiu do fato, de que por opção do projeto, a maior parte dos dispositivos desenvolvidos não possuem alimentação própria (com exceção ao dispositivo Painel de Montagem que é alimentado pela rede elétrica). Essa decisão foi tomada para evitar o uso de baterias nos dispositivos, que além de necessitarem de trocas ou recargas periódicas, possuem um tempo de uso limitado, sendo descartadas geralmente trazendo danos ao meio ambiente.

Dessa forma, como os dispositivos não possuem alimentação própria, era necessário saber qual seria o tempo de latência, ocorrido desde a sua energização, quando inseridos na atividade prática, até estarem efetivamente participando da plataforma.

5.1.1 Camada dos dispositivos : Avaliação do tempo de inicialização

Para a realização dos testes do tempo de inicialização dos dispositivos, foi construído uma infra-estrutura de hardware e software, que permitisse controlar o fornecimento da alimentação para o dispositivo, bem como o reconhecimento da inicialização do dispositivo, como ilustrado na Figura 40.

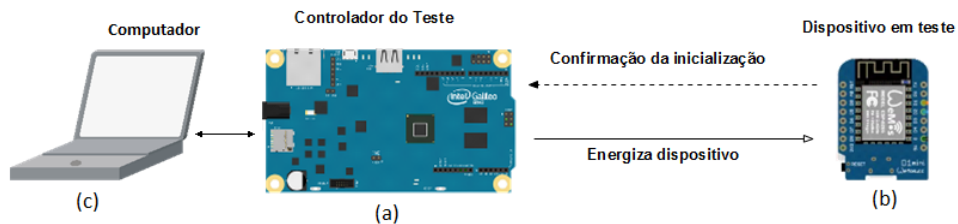


Figura 40 – Teste inicialização. Elaborado pelo autor.

Para a função de controlador do teste, foi escolhido uma placa de desenvolvimento Intel Galileo Gen2 [36] (a), sendo que a sua escolha deu-se por três motivos:

1. Pelo seu poder de processamento, sendo cerca de 20 vezes mais rápido que o dispositivo a ser avaliado (módulo Wemos D1) (b), garantindo dessa forma que as medidas possam ser realizadas em tempo hábil.
2. Por ser um recurso já disponível, evitando-se dessa forma o custo com a aquisição de um outro módulo para essa finalidade;
3. A possibilidade de se utilizar as mesmas ferramentas de desenvolvimento utilizadas para o desenvolvimento dos softwares embarcados nos dispositivos.

Os tempos obtidos nos testes, são enviados para um computador (c) conectado ao controlador do teste, mediante uma conexão USB, para armazenagem e posterior análise.

A rotina de testes (Figura 41) começa com a seleção do dispositivo a ser avaliado. Em seguida o controlador energiza o dispositivo em teste, começando a contagem do tempo, que se encerrará quando o dispositivo avaliado consiga retornar uma informação que o caracterize como ativo.



Figura 41 – Sequência de Teste dos dispositivos. Elaborado pelo autor.

Nos testes realizados para a avaliação do tempo de inicialização do dispositivo, desde a sua energização até a execução do programa embarcado, foram utilizadas 50 repetições do teste, em 4 unidades do dispositivo IoT Wemos D1, cujos resultados são apresentados na Figura 42.

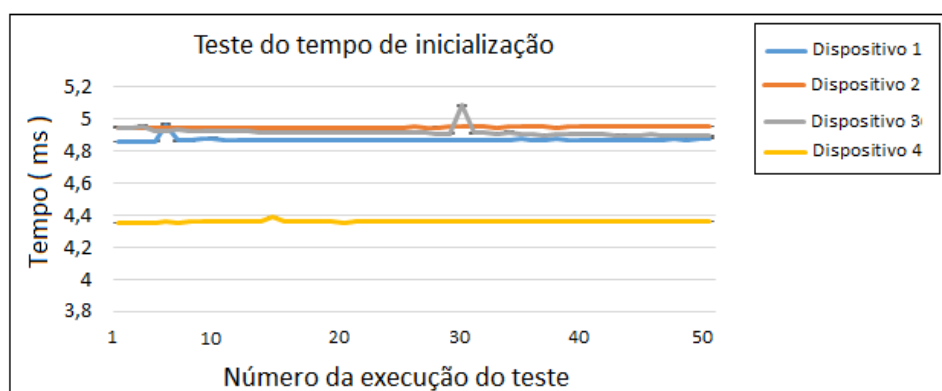


Figura 42 – Tempo de inicialização dos dispositivos. Elaborado pelo autor.

Nos valores obtidos no teste de inicialização, foi observado uma faixa de variação no tempo de inicialização, indo desde 4,36 ms (milissegundos) para o menor tempo de inicialização, e até 5,1 ms para o dispositivo que demorou o maior tempo de inicialização.

Esse teste, mesmo indicando pequenas variações em dispositivos de um mesmo tipo, muito provavelmente decorrentes das tolerâncias existentes nos componentes eletrônicos que foram utilizados na construção dos módulos, mostra que o tempo médio de inicialização do dispositivo médio dos dispositivos de 4,78 ms, é perfeitamente aceitável para o tipo de aplicação proposta, não interferindo no tempo de execução de uma atividade prática.

Os resultados obtidos permitem concluir que os dispositivos tem um tempo de inicialização compatível com o esperado para atender os requisitos da camada dos dispositivos da plataforma.

5.1.2 Camada de Comunicação : Avaliação do tempo para a conexão

Para a realização dos testes do tempo para a conexão dos dispositivos IoT, foi construído uma infra-estrutura de hardware e software, que permitisse controlar o fornecimento da alimentação para o dispositivo, bem como reconhecer um sinal de retorno do estabelecimento da conexão, ilustrado na Figura 43.

Para execução desta avaliação, foi adicionado a infra estrutura de testes, um roteador da marca TPlink, modelo TL-WR941ND, para o estabelecimento de uma rede wi-fi para os dispositivos se conectarem.

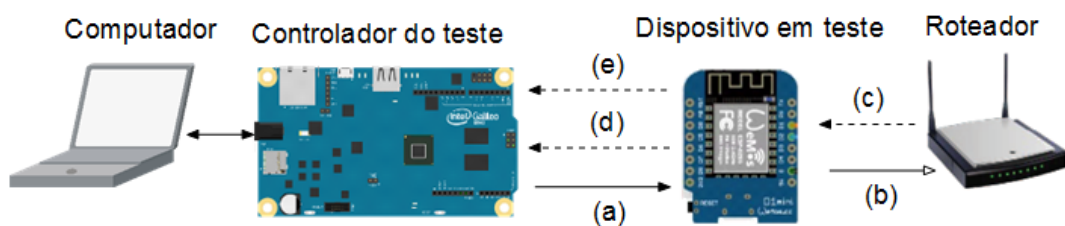


Figura 43 – Teste de Conexão dos dispositivos. Elaborado pelo autor.

Neste teste, o controlador do teste libera a alimentação para o dispositivo a ser avaliado **(a)** e começa a temporização. Assim que o dispositivo é inicializado, ele começa a tentativa de conexão na rede wi-fi **(b)**. Se o dispositivo consegue se conectar a rede wi-fi **(c)**, ele retorna essa informação mediante a um sinal enviado ao controlador do teste **(d)**, que encerra a temporização do teste.

Caso o tempo para a conexão seja superior a 30 s, o dispositivo retorna um sinal de erro **(e)** ao controlador, que reinicia o teste. Se a conexão não for estabelecida após 3 tentativas, o controlador encerra o teste.

Foram realizados 50 execuções do teste em 4 unidades dos dispositivos, cujos resultados são apresentados na Figura 44. Para facilitar a visualização do gráfico, visto que muitos pontos ficaram sobrepostos por serem valores muito próximos, o gráfico apresenta o valor médio de cada uma das rodadas com os 4 dispositivos.

Nos valores obtidos no teste de conexão, foi observado uma faixa de variação no tempo de conexão, indo desde 2,52 s (segundos) para o menor tempo de conexão, e até 6,53 s para o dispositivo que demorou o maior tempo para conectar.

Esse teste, mesmo indicando pequenas variações em dispositivos de um mesmo tipo, mostra que o tempo médio de conexão do dispositivos foi de 4,86 s, é perfeitamente aceitável para

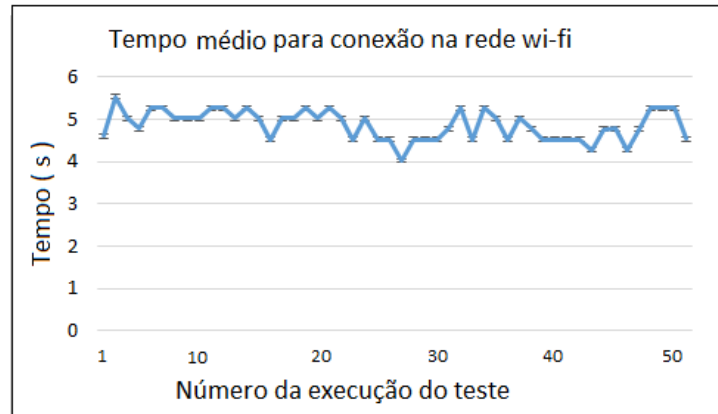


Figura 44 – Tempo para conexão na rede wi-fi. Elaborado pelo autor.

o tipo de aplicação proposta, não interferindo no tempo de execução de uma atividade prática.

Durante os testes, não ocorreram erros na tentativa de conexão, mas para se obter a informação do correto funcionamento do teste, em algumas ocasiões o roteador era propositalmente desligado para que o erro fosse reportado, evidenciando seu correto funcionamento.

Com esse resultado, podemos concluir os dispositivos tem um tempo de conexão compatível com o esperado para a camada de comunicação , proposta na plataforma.

5.1.3 Camada de Serviços : Avaliação para a conexão ao servidor MQTT

Para que fosse possível essa avaliação, foi necessário a construção de uma infra estrutura que permitisse a realização deste teste. Para isso além da infra estrutura já utilizada para o teste anterior, de conexão com a rede wi-fi, foi necessário a instalação e configuração de um servidor MQTT.

A escolha recaiu pelo servidor MQTT *Mosquitto*, desenvolvido e mantido pela *Eclipse Foundation* [37].

O *Mosquitto* é um projeto de código aberto, leve e adequado para uso em todos os dispositivos, desde computadores de baixa potência até servidores completos. O projeto *Mosquitto* também fornece bibliotecas para a implementação de clientes MQTT para a maioria das linguagens atuais.

Neste teste (Figura 45), o controlador do teste libera a alimentação para o dispositivo a ser avaliado (a) e começa a temporização. Assim que o dispositivo é inicializado, ele começa a tentar se conectar na rede wi-fi (b). Com a conexão com a rede estabelecida, o dispositivo

começa a tentativa de se conectar com o *broker* MQTT (c). Assim que o dispositivo recebe a confirmação da conexão com o *broker* MQTT (d), ele retorna essa informação mediante a um sinal enviado ao controlador do teste (e), que encerra a temporização do teste.

Caso o tempo para a conexão seja superior a 30 s, o dispositivo retorna um sinal de erro (f) ao controlador, que reinicia o teste. Se a conexão não estabelecida após 3 tentativas, o controlador encerra o teste.

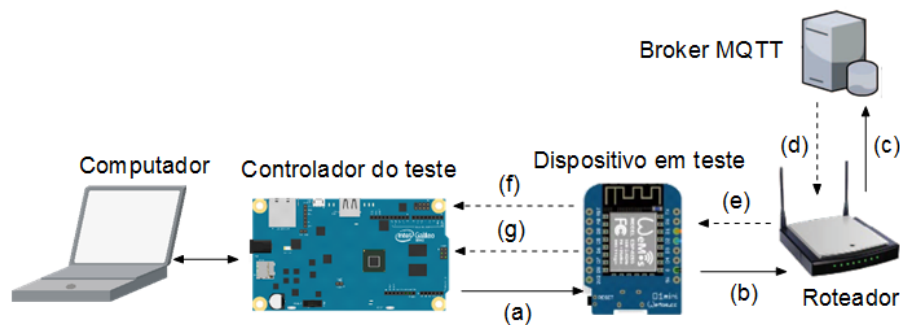


Figura 45 – Teste de conexão ao servidor MQTT. Elaborado pelo autor.

Este teste foi realizado, utilizando dois modelos de IoT, citados no referencial teórico: o modelo de IoT Local (*Edge*) e modelo de IoT em Nuvem (*Cloud*), e são descritos a seguir.

5.1.3.1 Avaliação da conexão ao servidor MQTT no modelo IoT Local (*Edge*)

Para montar uma infra estrutura que permitisse a realização da avaliação no modo local, foi utilizado como hardware para a instalação do *broker* MQTT, um computador de baixo custo, modelo *Raspberry PI 2 B+*, rodando o sistema operacional *Raspian*, e instalado e configurado o servidor MQTT *Mosquitto*.

Como adotado nos teste anteriores, foram realizados 50 execuções do teste em 4 unidades dos dispositivos IoT, cujos resultados são apresentados na Figura 46. Para facilitar a visualização, o gráfico apresenta o valor médio de cada uma das rodadas com os 4 dispositivos.

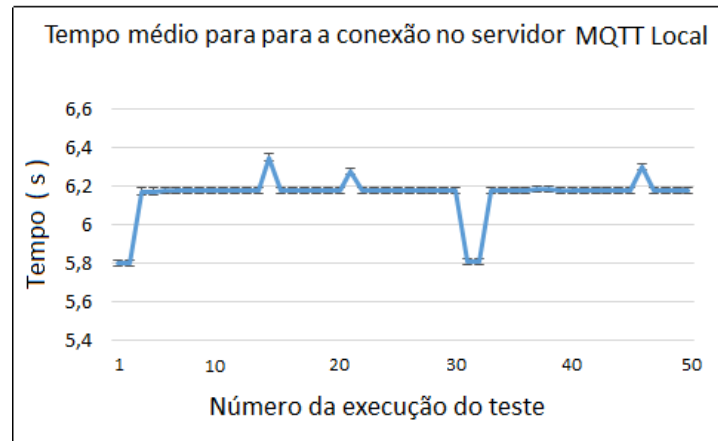


Figura 46 – Tempo de conexão no servidor MQTT local. Elaborado pelo autor.

No teste realizado, mesmo indicando pequenas variações em dispositivos de um mesmo tipo, é possível verificar que o tempo médio, desde a energização do dispositivo até a conexão com o *broker* MQTT, foi de 6,15 s, é perfeitamente aceitável para o tipo de aplicação proposta, não interferindo no tempo de execução de uma atividade prática.

Durante os testes, geralmente não ocorreram erros na tentativa de conexão, mas para se obter a informação do correto funcionamento do teste, em algumas ocasiões o roteador, ou o servidor eram propositalmente desligados para que um erro fosse reportado, evidenciando seu correto funcionamento.

Com esse resultado, podemos concluir os dispositivos tem um tempo de conexão compatível com o esperado para a camada de comunicação, proposta na plataforma, quando utilizado no modelo de IoT Local.

Esse modo pode ser utilizado, quando se faz necessário a utilização da plataforma em locais onde não existe uma infra estrutura de rede wi-fi disponível, quando não se deseja que o funcionamento da plataforma concorra com os recursos de rede disponíveis, ou caso seja desejável a separação da plataforma do restante da infra estrutura de rede disponível

5.1.3.2 Avaliação da conexão ao servidor MQTT no modelo IoT em Nuvem (*Cloud*)

Para a realização do teste utilizando um servidor em hospedado em nuvem, foi utilizado um serviço de *cloud computing*, hospedado no provedor de serviços comercial, rodando o sistema operacional *Ubuntu* 16.04, tendo sido instalado e configurado o servidor MQTT *Mosquitto* como um serviço. Esse serviço foi alugado especificamente para essa finalidade, onde foi instalado e configurado também o servidor MQTT *Mosquitto*.

A decisão de se utilizar esse serviço, no lugar das opções de hospedagem gratuitas disponíveis, baseou-se no fato de que, com o uso de um servidor dedicado, poderiam ser eliminadas interferências devidos a concorrência com outros usuários, propagandas ou outros fatores que pudessem interferir nos valores de tempo obtidos.

Como adotado em todos os testes, foram realizados 50 execuções em 4 unidades do dispositivo IoT, cujos resultados são apresentados na Figura 47. Para facilitar a visualização, o gráfico apresenta o valor médio de cada uma das rodadas com os 4 dispositivos.

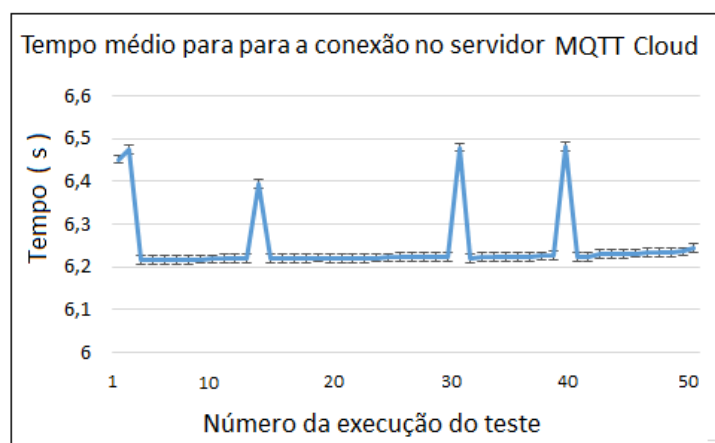


Figura 47 – Tempo para conexão no servidor MQTT hospedado num serviço de nuvem. Elaborado pelo autor.

No teste realizado, mesmo indicando pequenas variações em dispositivos de um mesmo tipo, é possível verificar que o tempo médio, desde a energização do dispositivo até a conexão com o broker MQTT hospedado no serviço de Nuvem, foi de 6,24 s, que atende perfeitamente os requisitos para o tipo de aplicação proposta, não interferindo no tempo de execução de uma atividade prática.

Durante os testes, geralmente não ocorreram erros na tentativa de conexão, mas para se obter a informação do correto funcionamento do teste, em algumas ocasiões o roteador, ou a execução do *broker Mosquitto* no servidor, eram propositalmente desligados para que um erro fosse reportado, evidenciando seu correto funcionamento.

Com os resultado obtidos, podemos concluir que os dispositivos tem um tempo de conexão da mesma ordem de grandeza, tanto quando utilizando o modelo IoT Local (*Edge*) ou o modelo de IoT em Nuvem (*Cloud*); e, em ambos os casos, compatíveis com os requisitos esperado para a camada de comunicação, proposta na plataforma.

Esse modo de utilização pode ser vantajoso, quando se possui uma infra estrutura de rede

que permita a utilização de servidores em Nuvem. A utilização da plataforma neste modelo de IoT, pode propiciar um ganho considerável de informações por meio da centralização dos dados de várias instâncias da plataforma, a utilização de serviços de análise de dados e de inteligência artificial fornecidos por terceiros e já disponíveis na internet, como por exemplo o *IBM Watson* [38].

A aproveitando-se as mesmas configurações de teste, foi incluído o teste da publicação da primeira mensagem nos servidores MQTT, com o tempo de médio 6,18 s para o servidor local e de 6,35 s para o servidor em nuvem. Dessa maneira foi possível estabelecer que os dispositivos, após a sua inserção no painel, levam um tempo máximo em torno de 6,40 s para serem reconhecidos pelo sistema e efetivamente fazer parte dos componentes do experimento a ser realizado, tempos que não inviabilizam a sua utilização na plataforma proposta.

5.2 Camada de Serviços : Avaliação da plataforma com o aumento da quantidade de mensagens

Durante o desenvolvimento do trabalho, algumas novas questões foram sendo levantadas. Uma das questões é identificar a influência do tempo de latência na troca de mensagens se na infraestrutura for utilizado somente a estrutura de IoT baseada em nuvem.

Essa questão pode ser respondida, observando-se apenas os tempos obtidos para a conexão ao *broker* MQTT, que são basicamente da mesma ordem de grandeza, independentemente se o *broker* está instalado num servidor Local (*Edge*) ou em um serviço de Nuvem (*Cloud*).

Outra questão levantada em relação a latência, foi se esse mesmo comportamento seria mantido, caso houvesse um aumento significativo no número de mensagens trocadas pelos dispositivos com a aplicação. Essa avaliação pode proporcionar dados quanto a capacidade de escalabilidade do sistema.

Considerando esses questionamentos, foram acrescentados alguns testes quantitativos no sistema, com o objetivo de verificar qual o seu comportamento, quanto ao aumento do número de mensagens trocadas, tanto quando o servidor é instalado localmente (*Edge*), quanto quando o servidor está hospedado num serviço de Nuvem (*Cloud*).

Para coletar as informações do comportamento da plataforma com o aumento no número de mensagens trocadas, foi montada uma infraestrutura que permitisse medir o tempo para um

dispositivo enviar um pacote de mensagens e esse pacote ser recebido por um outro dispositivo, mediante a utilização de um *broker* Local.

Essa infraestrutura está ilustrada na Figura 48 e para a função de *Broker* local (g) na avaliação, foi utilizado como hardware para a instalação do *broker* MQTT, um computador de baixo custo, modelo *Raspberry PI 2 B+*, rodando o sistema operacional *Raspbian*, sendo instalado e configurado o servidor MQTT *Mosquitto*.

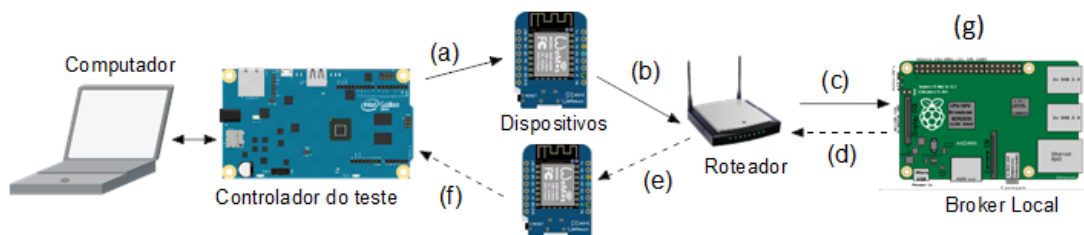


Figura 48 – Teste de envio de pacotes para o *broker* Local. Elaborado pelo autor.

Para refazer o mesmo teste, porém agora para a avaliação do desempenho com o *broker* estando hospedado num servidor em Nuvem, foi montada uma infra estrutura que está ilustrada na Figura 49, sendo utilizando um serviço comercial de hospedagem em Nuvem (g), rodando o sistema operacional *Ubuntu 16.04*, sendo instalado e configurado o servidor MQTT *Mosquitto*.

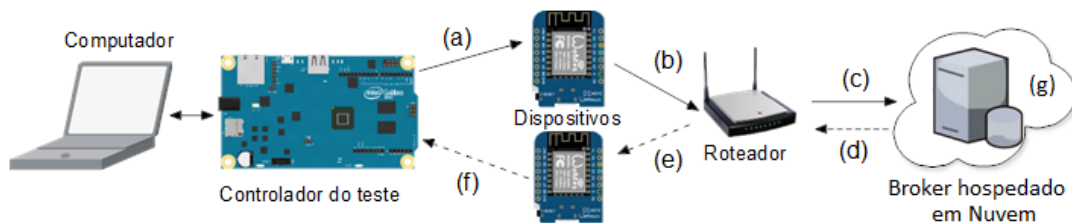


Figura 49 – Teste de envio de pacotes para o *broker* hospedado em Nuvem. Elaborado pelo autor.

Os testes ocorrem de maneira semelhante, com os dispositivos já inicializados, conectados a rede wi-fi e ao *broker* MQTT.

O controlador do teste, envia um sinal (a) para que o dispositivo já conectado a rede wi-fi (b), comece a publicar um pacote de mensagens para o *broker* MQTT (c), e inicia a contagem do tempo.

O *broker* MQTT, realizando o seu serviço de corretor, encaminha as mensagens (d) para o outro dispositivo, que assina o mesmo tópico. Assim que um dispositivo que assina o tópico, recebe o pacotes de mensagens (e), ele emite uma sinal de confirmação (f), para o controlador do teste, para que a contagem do tempo seja finaliza.

O teste foi realizado com pacotes de 100, 1000 e 10000 mensagens, com o tamanho da maior mensagem utilizada no exemplo de uso da plataforma (cerca de 250 bytes), e os resultados obtidos em ambos os testes, podem se vistos na Tabela 2.

Tabela 2 – Tempos para enviar e receber pacotes de mensagens. Elaborado pelo autor.

Tamanho do Pacote	Servidor MQTT Local (<i>Edge</i>)	Servidor MQTT em Nuvem (<i>Cloud</i>)
100 Mensagens	20,81 ms	70,61 ms
1000 Mensagens	228,32 ms	770,23 ms
10000 Mensagens	2333,38 ms	27292,53 ms

A Figura 50, apresenta em forma de gráfico, os valores apresentados na Tabela 2, onde o a diferença entre os tempos obtidos na utilização do *broker* MQTT e do *broker* Local podem ser observados de forma mais clara.

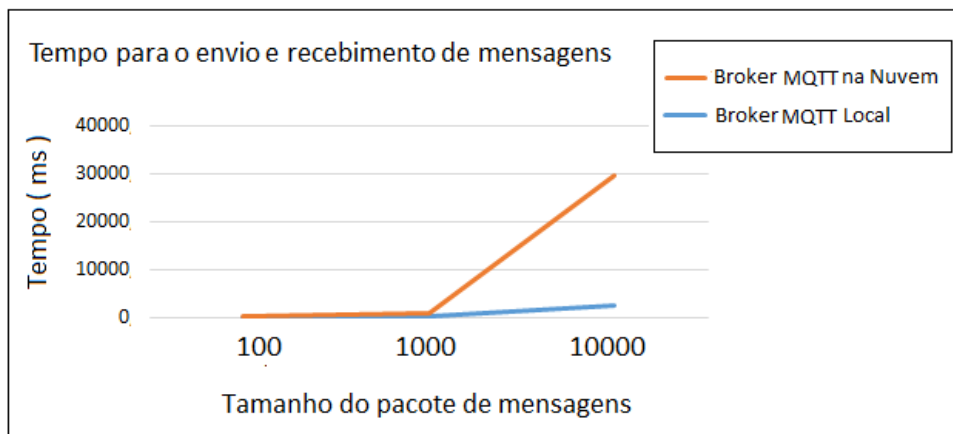


Figura 50 – Tempos de envio dos pacotes. Elaborado pelo autor.

Analisando os valores dos resultados, apresentados na Tabela 2, podemos observar que o aumento no tempo de envio das mensagens, aumenta de maneira proporcional em relação ao aumento no número de mensagens, quando utilizado um servidor Local.

Por outro lado, a análise dos resultados quando utilizado um servidor em Nuvem, pode-se verificar que os valores apontam um crescimento exponencial do tempo de envio, em relação ao aumento no número de mensagens. Este resultado, já esperado, pode ser explicado por diversos fatores, tais como a concorrência no uso dos recursos de rede, do roteamento das mensagens, e da concorrência pelo uso da banda da internet utilizada.

Como é possível concluir pelos resultados obtidos, devido ao tamanho das mensagens utilizadas na plataforma proposta, mesmo com um aumento significativo da quantidade de mensagens trocadas entre os dispositivos, a camada de comunicação, implementada na plataforma proposta atende a finalidade para qual ela foi desenvolvida.

Mas com um aumento exponencial da quantidade de mensagens, o tempo de tráfego das mensagens pode vir a ser um fator limitante para a plataforma se trabalhando com um servidor hospedado em Nuvem (*Cloud*), sendo que depois de algumas discussões, foi proposto que seria benéfico para sistemas dessa natureza, alguma forma de redução no tráfego das mensagens que efetivamente devem ser trocadas com o servidor em Nuvem. Uma proposta de solução para esse problema, é apresentada na seção seguinte.

5.3 Proposta para a redução de mensagens baseados em uma política de envio

Durante a etapa de avaliação e teste da infraestrutura proposta, surgiram algumas considerações sobre o número de mensagens geradas.

Em geral, o número de mensagens que trafegam pelo sistema, aumenta consideravelmente com o número de dispositivos utilizados e com a redução do intervalo entre as mesmas, sendo seu efeito mais criticamente percebido, quando utilizado o modelo de *IoT Cloud*, onde o *broker* está hospedado num serviço de Nuvem.

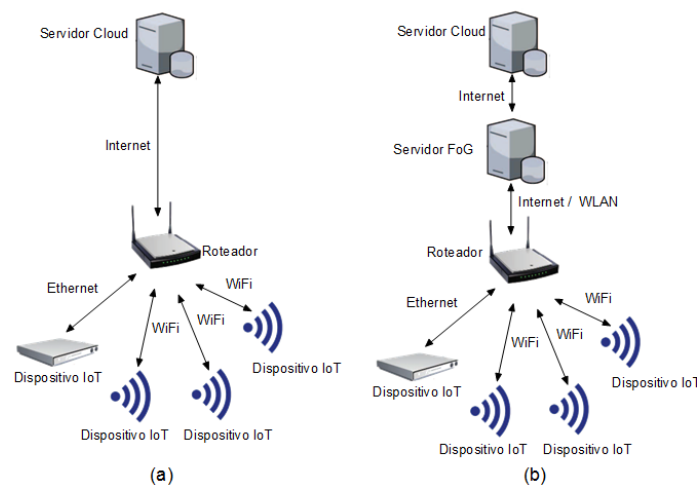


Figura 51 – Modelo de IoT Fog para a redução de mensagens. Elaborado pelo autor.

Uma opção para contornar esse problema é a adoção do modelo de *IoT FOG* (na Neblina). Neste modelo ao invés dos dispositivos se comunicarem diretamente com o servidor *Cloud* (a), são adicionados servidores intermediários, que atuam mais próximo aos dispositivos e servem de ponte para o servidor *Cloud* (b), como ilustrado na Figura 51. Esses servidores permitem, que algumas decisões possam ser realizadas neste nível, e somente as mensagens que efetivamente devem ser enviadas para o servidor *Cloud* sejam encaminhadas.

Para que esse modelo seja efetivo, foi proposto um mecanismo de redução no número de mensagens, baseado em uma política que avalia a real necessidade de envio de uma determinada mensagem, em função do nível de relevância do evento associado a mensagem.

Em virtude do protótipo construído, ter sido desenvolvido para a aplicação em atividades práticas na área de **Circuitos Elétricos**, os níveis de relevância dos eventos tratados pela plataforma, foram baseados em parâmetros elétricos, em especial a **Corrente Elétrica**, e seus efeitos para a segurança do aluno ou do próprio equipamento.

Esses parâmetros podem ser observados na Tabela 3, e a política de redução de mensagens proposta classifica o estado do sistema em **quatro** níveis de importância:

- (0) **Normal**, na qual representa que os valores lidos estão dentro da faixa esperada;
- (1) **Atenção**, na qual representa que houve uma alteração do valor atual, mas que ainda pode ser tolerada e não apresenta grande chance de danos ou perigo ao sistema;
- (2) **Perigoso**, na qual representa a leitura de um valor que ameaça a integridade física do dispositivo, caso nenhuma atitude seja tomada;
- (3) **Crítico** que representa ameaça eminente ao dispositivo.

A escolha desses quatro níveis se deu pelo motivo do experimento a ser realizado no estudo de caso envolve a manipulação de equipamentos que são diretamente alimentados pela rede elétrica e naturalmente envolvem riscos de acidentes.

Para estabelecer os parâmetros associados a cada nível do estado dos dispositivos, foi construída a Tabela 3, que estabelece o valor da corrente elétrica que percorre o dispositivo, que pode se admitida em cada estado, e tem como base o grau do potencial dano causado ao equipamento, e conseqüentemente ao usuário do sistema. Os percentuais utilizados para a construção da tabela, foram baseados nas indicações dos fabricantes de dispositivos e utilizados em ensaios para homologação de segurança de equipamentos elétricos.

Tabela 3 – Parâmetros dos níveis de relevância. Elaborado pelo autor.

Nível	Estado	Descrição
0	Normal	$I \leq I_r$ (I_r = corrente nominal)
1	Atenção	$I_r < I \leq 1.2I_r$
2	Perigoso	$1.2I_r < I \leq 1.5I_r$
3	Crítico	$1.5I_r < I$

Na Tabela 3, observa-se que o estado é considerado **Normal**, quando a corrente que circula pelo dispositivo está dentro da especificada como sendo a corrente nominal de uso do dispositivo.

Um acréscimo de até 20% dessa corrente, conduz o dispositivo ao estado de **Atenção**, onde mesmo não sendo um estado ainda potencialmente perigoso, o dispositivo deve atuar para que a corrente no dispositivo volte ao valor nominal.

Um acréscimo entre 20 e 50 % na corrente do dispositivo, eleva o estado do dispositivo para o seguinte nível, que é o considerado **Perigoso**. Este estado indica que a possibilidade de dano ao equipamento é muito grande, e em consequência disso medidas devem ser tomadas para que esse estado não evolua para o estado seguinte, o que certamente causará danos ao equipamento.

Por ultimo, quando o acréscimo de corrente no dispositivo, é superior a 50 %, o estado do dispositivo é considerado como **Crítico**, sendo que nessa situação o sistema deve atuar para o desligamento imediato do dispositivo, sob a pena de dano permanente no dispositivo,

5.3.1 Política de controle de mensagens

Em resposta a cada um dos estados que o dispositivo pode assumir, deve haver uma resposta adequada. A lógica da política de controle proposta, está representada no Fluxograma da Figura 52, e consiste na seguintes etapas:

- O dispositivo, após a sua inicialização, realiza a conexão a rede e ao broker *FOG*;
- A seguir passa a ler o estado do dispositivo;
- Se o estado do dispositivo se encontra **nonível (0)**, isso corresponde a leitura de um valor de um parâmetro dentro das especificações do fabricante e nenhuma ação deve ser adotada pelo dispositivo, não sendo enviada nenhuma mensagem aos servidores;
- Se o estado do dispositivo se encontra no **nível (1)**, isso corresponde a um valor lido acima do valor nominal, porém ainda dentro da faixa que o dispositivo deve tentar fazer a correção, atuando no próprio dispositivo, e também não enviando nenhuma mensagem aos servidores;

- Se o estado do dispositivo se encontra no **nível (2)**, isso corresponde a um valor potencialmente perigoso. O dispositivo deve além de atuar no sentido de reconduzir o valor lido para dentro da faixa desejada, também deve enviar uma mensagem para que o servidor *Fog*, para que os demais dispositivos, agregados no mesmo grupo local, possam estar ciente do fato;
- Se o estado do dispositivo se encontra no **nível (3)**, isso informa ao dispositivo que o valor lido encontra-se em uma faixa que, se não tomadas as devidas providências imediatamente, irá causar danos ao aluno ou ao equipamento. Neste nível, o dispositivo deve tomar as ações para minimizar os possíveis danos, e informar a todos os servidores do ocorrido.

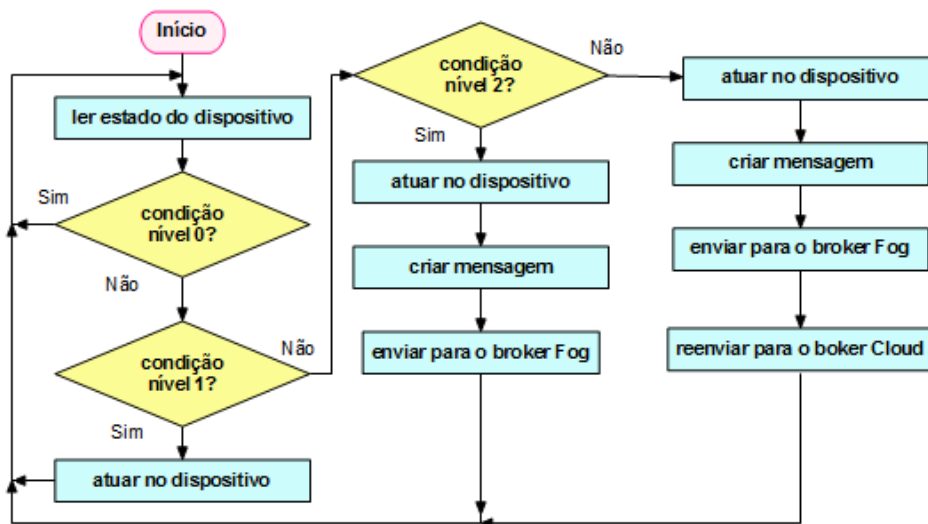


Figura 52 – Fluxograma da política de redução de mensagens. Elaborado pelo autor.

Com base no fluxograma apresentado, foi elaborado um algoritmo, para a redução no tráfego das mensagens, sendo apresentado na Figura 53.

Figura 53 – Algoritmo para a política de redução de mensagens. Elaborado pelo autor.

```
1: Inicializa o dispositivo
2: for Todas as grandezas do dispositivo do
3:   ler valor
4:   avaliar(valor, estado, tabela de níveis)
5:   if (nível == 0) then
6:     nenhuma ação requerida
7:   end if
8:   if (nível == 1) then
9:     atuar no sistema
10:  end if
11:  if (nível == 2) then
12:    atuar no sistema
13:    enviar mensagem para o broker Fog
14:  end if
15:  if (nível == 3) then
16:    atuar no sistema
17:    enviar mensagem para o broker Fog
18:    replicar a mensagem para o broker Cloud
19:  end if
20: end for
```

Uma breve explicação do algoritmo proposto é dada a seguir:

- O algoritmo começa com a inicialização dos dispositivo, onde após a sua energização, o dispositivo conecta-se a rede e ao servidor (linha **1**);
- Em seguida temos o laço responsável pela execução contínua dos etapas do algoritmo (linhas **2** a **20**), a ser aplicada em todas as variáveis de interesse;
- O valor da variável de interesse é lido (linha **3**);
- Na sequência o valor lido é avaliado, com a finalidade de saber em que nível de relevância, o estado do dispositivo se encontra (linha **4**);
- Se o sistema se encontra no nível (**0**), significa que o valor da grandeza está dentro dos valores para o estado **Normal**. Neste caso nenhuma ação é feita (linhas **5** a **7**);
- Se o sistema se encontra no nível (**1**), significa que o valor da grandeza está dentro dos valores para o estado de **Atenção**. Neste caso, o software embarcado no dispositivo, atua para que o valor monitorado seja restabelecido para o estado **Normal** (linhas **8** a **10**);
- Se o sistema se encontra no nível (**2**), significa que o valor da grandeza está dentro dos valores para o estado de **Perigo**. Neste caso, o software embarcado no dispositivo, atua para

que o valor monitorado seja restabelecido para o estado **Normal**, e envia uma mensagem de alerta para o *broker* mais próximo, no caso o *broker Fog* (linhas **11 a 14**);

- Se o sistema se encontra no nível **(3)**, significa que o valor da grandeza está dentro dos valores para o estado **Crítico**. Neste caso, o software embarcado no dispositivo, e envia uma mensagem de alerta para todos os **brokers**, e atua para que o dispositivo seja desligado, para evitar que algum dano maior possa ocorrer (linhas **15 a 19**).

5.3.2 Teste do algoritmo de otimização

Para a realização de um experimento para verificar a resposta do algoritmo de otimização proposto, foi montado uma estrutura que permitisse que as mensagens geradas pelos dispositivos (Figura 54), pudessem ser publicadas e trafegarem por dois caminhos diferentes:

(i) Passando apenas pelo servidor *Fog* até encontrar o dispositivo receptor (**dispositivo → Fog → dispositivo**) ou;

(ii) Passando pelo servidor *Fog* e *Cloud* até atingir o dispositivo receptor (**dispositivo → Fog → Cloud → Fog → dispositivo**).

Para disponibilizar uma infra estrutura para a realização do teste, foram utilizados os mesmos recursos utilizados anteriores, sendo que para a função de *broker Fog*, foi utilizado como servidor para a instalação do *broker* MQTT, um computador de baixo custo, modelo *Raspberry PI 2 B+*, rodando o sistema operacional *Raspian*, e na função do *broker Cloud* sendo utilizando o mesmo serviço comercial de hospedagem em nuvem, rodando o sistema operacional *Ubuntu 16.04*. Nos dois servidores foram instalados e configurados o *broker* MQTT *Mosquitto*.

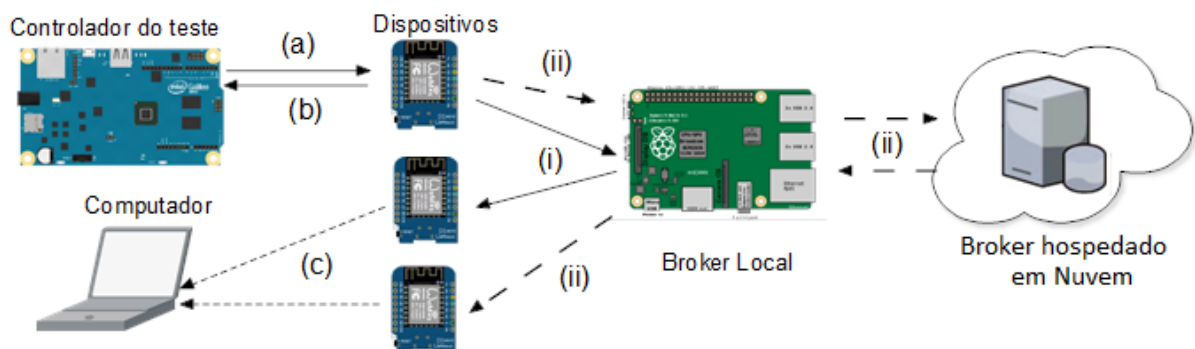


Figura 54 – Configuração de teste do algoritmo de otimização. Elaborado pelo autor.

A rotina do teste se inicia, quando o controlador do teste, envia um sinal para que o dispositivo (a), comece a gerar randomicamente valores de corrente elétrica que estariam sendo lidas no dispositivo, e se encerra quando o dispositivo envia um sinal (b), reportando que já foram gerados o número de valores desejados no teste (100, 1000 ou 10000 valores).

Esse valores são submetidos ao crivo do algoritmo proposto, e de acordo com o nível de classificação do estado em que encontram, produzem mensagens que são publicadas para os respectivos níveis de servidores *Fog* ou *Cloud*.

Para que seja possível identificar, qual o caminho percorrido pelas mensagens que são geradas, cada um dos dispositivos assinam o mesmo tópico, porém cada um num servidor diferente (*broker Fog* ou *Cloud*).

Para a coleta da quantidade de mensagens recebidas de cada broker, um computador é conectado (c), mediante uma conexão USB, a cada um dos dispositivos que assinam os tópicos das mensagens.

5.3.3 Avaliação do algoritmo de otimização

A avaliação dos resultados dos teste da utilização do algoritmo de otimização, foi possível constatar que houve uma redução significativa no número de mensagens geradas e enviadas pelo dispositivo, cujos resultados que são apresentados na Figura 55.

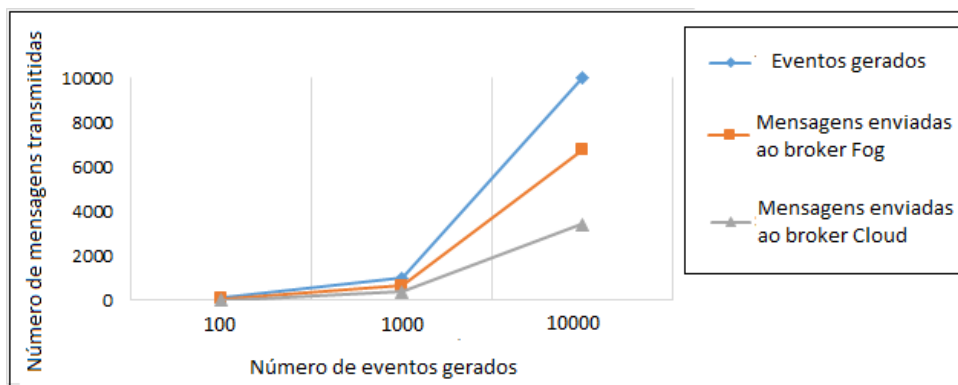


Figura 55 – Redução no número de mensagens enviadas. Elaborado pelo autor.

Nos testes, quando comparadas as mensagens geradas utilizando o algoritmo, para cada lote 100 eventos gerados no dispositivo, a solução permitiu uma redução média de 28,0% das mensagens efetivamente enviadas ao *broker Fog* e de 62,5% para aquelas que ser enviado para o *broker Cloud*.

No caso de testes com lotes de 1000 eventos gerados, a redução média obtida foi de 31,8% das mensagens que iriam para o *broker Fog* e de 56,9% para o *broker Cloud*.

Finalmente, para os testes com lotes de 10000 eventos gerados, a redução média foi de 32,4% para mensagens para o *broker Fog* e 49,4% para o *Broker Cloud*.

Em relação a redução do tempo utilizado para o envio das mensagens para o broker Fog, a Tabela 4 descreve o tempo médio gasto, enviando os lotes de mensagens através do experimento, considerando apenas a publicação realizada para o *broker Fog*.

Tabela 4 – Redução de tempo obtido para o *broker Fog*. Elaborado pelo autor.

Número de eventos	100	1000	10000
Tempo de envio para todos os eventos	228,3 ms	4104,9 ms	38727,6 ms
Tempo gasto com a aplicação do algoritmo	63,9 ms	1305,3 ms	12547,7 ms
Redução de tempo obtida	164,4 ms	2799,5 ms	26179,8 ms

Os resultados dos tempos gerados nos experimentos permitem observar que, utilizando o algoritmo proposto, foi alcançada uma redução média de 164,4 ms, 2799,5 ms e 26179,8 ms, respectivamente, para enviar lotes de 100, 1000 e 10000 mensagens para o *broker Fog*, em relação a tecnologia aplicada pelo mercado.

Esse resultado ocorre porque, nos sistemas tradicionais de IoT, todos os valores ou eventos medidos são enviados para os servidores. O mesmo não ocorre quando é utilizado o algoritmo de otimização, que analisa a necessidade real desse valor medido ou evento para gerar uma mensagem e ser enviado dessa maneira economizando tempo de processamento do sistema.

Da mesma forma, a Tabela 5 descreve o tempo gasto para enviar a Nuvem, considerando apenas as mensagens que o algoritmo avaliou como necessárias, tendo obtido a redução média de resultados no envio de 345,6 ms, 2482,5 ms e 13831,6 ms para lotes de 100, 1000 e 10000 eventos gerados.

Tabela 5 – Redução de tempo obtido para o *broker Cloud*. Elaborado pelo autor.

Número de eventos	100	1000	10000
Tempo de envio para todos os eventos	1208,1 ms	8443,7 ms	40431,6 ms
Tempo gasto com a aplicação do algoritmo	934,5 ms	5961,3 ms	26599,9 ms
Redução de tempo obtida	345,6 ms	2482,5 ms	13831,6 ms

Analisando os resultados dos testes realizados, é possível observar que a aplicação de alguma técnica que avalia a real necessidade de um evento gerar uma mensagem, pode reduzir

sensivelmente o tráfego de mensagens em sistemas de IoT, que em geral possuem restrições de processamento ou comunicação.

Em especial, o algoritmo proposto se mostra bastante promissor, para esse tipo de aplicação, dada a redução na quantidade de mensagens que deixaram de trafegar no sistema, com uma proporcional redução no tempo gasta na comunicação desnecessária com os servidores.

Em trabalhos futuros, pode ser feito um estudo que relacione, a redução do número de mensagens enviadas, com a economia de processamento e de consumo de energia, fatores que são muito importantes para sistemas de IoT, que em muitos casos são alimentados por baterias, onde soluções que reduzam o consumo são muito importantes.

Em geral uma parcela significativa da energia consumida num dispositivo IoT, ocorre justamente nos momentos em que os dispositivos estão transmitindo dados, que segundo o fabricante [14], o dispositivo utilizado no protótipo da plataforma, tem o seu pico de consumo justamente durante a transmissão de dados.

6 Experimento de Uso da Plataforma

Neste capítulo é apresentado os passos de um experimento utilizando a plataforma proposta para a realização de tarefas no contexto de uma aula de circuitos elétricos.

Nos experimentos as tarefas desenvolvidas abrangem uma enorme variedade de situações reais, inclusive nos circuitos que compõem as instalações elétricas de residências e outros tipos de construções. Além de seguirem a norma para a execução desse circuito (dada pela NBR 5410 [39]), a qual cuja observância, garante a segurança tanto do usuário, quanto da própria instalação física.

6.1 Roteiro de uso na aula prática

Para exemplificar o uso da plataforma proposta, tomaremos como a tarefa a ser desenvolvida pelo aluno, um circuito fundamental na área de estudo da eletricidade, denominado "Ligação de uma Lâmpada numa rede monofásica". A escolha dessa atividade deu-se por envolver conceitos fundamentais da área, como a noção de circuito elétrico, continuidade e os conceitos de gerador e carga.

Apesar de ser um circuito relativamente simples, sua aplicação é verificada em uma enorme variedade de situações reais, inclusive nos circuitos que compõem as instalações elétricas de residências e outros tipos de construções. No caso da aplicação desse circuito em instalações elétricas residenciais, existe uma norma para a execução desse circuito (dada pela NBR 5410 [39]), a qual cuja observância, garante a segurança tanto do usuário, quanto da própria instalação física.

Inicialmente o aluno recebe um roteiro do experimento a ser realizado, que contém o objetivo da prática e uma breve descrição do circuito a ser montado.

O circuito elétrico, correspondente ao circuito a ser montado deve ser analisado pelo aluno, com a finalidade de orientar a correta conexão dos dispositivos que devem compor a atividade. Normalmente esse circuito pode ser apresentado em dois formatos, denominados de Diagrama Unifilar 56 (a) e de Diagrama Multifilar 56 (b).

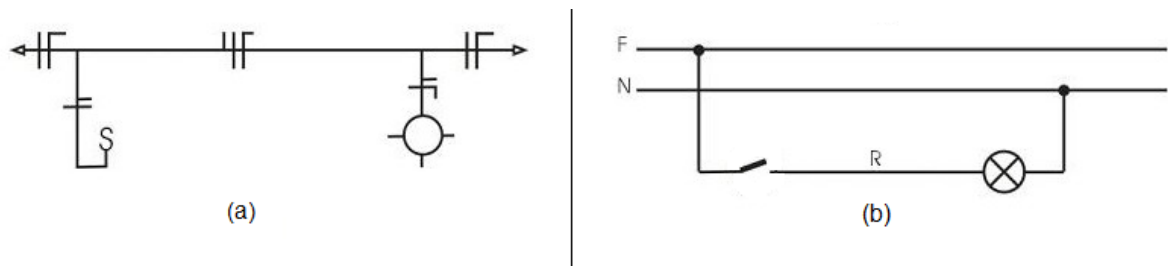


Figura 56 – Diagramas Unifilar e Multifilar da montagem. Elaborado pelo autor.

A realização do experimento pelo aluno, segue o roteiro daquela aula prática em especial, e em geral obedece a seguinte sequência:

1. Leitura e interpretação do objetivo e a sequência de montagem;
2. Identificação e escolha dos dispositivos que farão parte da montagem proposta;
3. Energização do painel (nesta etapa, somente das funções internas são energizadas, não sendo fornecida ao usuário nenhuma tensão que possa oferecer perigo ou dano ao equipamento);
4. Inserção dos dispositivos no painel;
5. Realização das conexões desejadas;
6. Verificação e análise, pelo professor por meio do software supervisor, da montagem realizada, por meio dos estados dos dispositivos e conexões feitas pelo aluno;
7. Liberação ou não do fornecimento da tensão alternada, para que o aluno possa testar o experimento realizado;
8. Teste de uso pelo aluno, ou solicitação para a remontagem, seguido dos comentários do professor acerca dos erros cometido pelo aluno.

No caso específico da prática proposta no exemplo, temos **quatro** possíveis configurações de montagem, que são citadas abaixo:

- **As eletricamente incorretas, porém sem risco ao equipamento ou a instalação.** Neste caso as conexões realizadas pelo aluno não permitem que o circuito opere de maneira adequada, porém não promovem um uma situação que causem uma sobrecorrente ("curto-circuito") que possa provocar danos ao equipamento;

- **As eletricamente incorretas com possíveis danos aos equipamentos.** Neste caso as conexões realizadas pelo aluno são potencialmente danosas ao equipamento, devido a possibilidade de haver uma sobrecorrente no circuito;
- **As eletricamente corretas, porém em desacordo com as normas de segurança.** Neste caso as conexões estão corretas, permitindo o funcionamento elétrico da montagem, porém está em desacordo com as normas vigentes para aquele tipo de circuito;
- **As eletricamente corretas, e de acordo com as normas vigentes,** sendo este o objetivo a ser alcançado na aula prática.

Durante a montagem, todas as etapas são acompanhadas pelo professor, por meio da aplicação desenvolvida. A verificação se dá pelos dados enviados ou retornados pelos dispositivos, cuja indicação é feita na interface da aplicação desenvolvida. A análise da coerência das conexões efetuadas pelo aluno, devem seguir as regras estabelecidas para a montagem em particular.

No caso do exemplo proposto, as regras que definem as combinações possíveis para as conexões efetuadas no dispositivo Interruptor são apresentadas na Tabela 6 , e devem ser avaliadas pelo professor, com o auxílio da aplicação desenvolvida para o monitoramento da atividade, de acordo com as regras estabelecidas para o tipo de circuito em questão.

Tabela 6 – Tabela de verificação do dispositivo Interruptor. Elaborado pelo autor.

Caso	Borne Dir.	Borne Esq.	Situação
1	R	-	Correto: Fase R apenas em um lado do interruptor
2	-	R	Correto: Fase R apenas em um lado do interruptor
3	S	-	Correto: Fase S apenas em um lado do interruptor
4	-	S	Correto: Fase S apenas em um lado do interruptor
5	-	-	Incorreto: nenhuma das fases no interruptor
6	R	R	Incorreto: a mesma fase em ambos os lados do interruptor
7	S	S	Incorreto: a mesma fase em ambos os lados do interruptor
8	R	S	Incorreto: fases diferentes em ambos os lados do interruptor
9	S	R	Incorreto: fases diferentes em ambos os lados do interruptor

No casos numerados de **1 a 4**, estão de acordo com as regras da montagem que estabelece que em apenas um dos terminais de um interruptor deve ser conectada uma fase.

Os casos numerados de **5 a 7**, as conexões não estão de acordo com as regras, sendo que o dispositivo não exercerá a função desejada, porém não existe o perigo de dano ao equipamento.

Os casos numerados de **8 e 9**, também não estão de acordo com as regras estabelecidas, e tem como elemento agravante o caso de poder trazer dano ao equipamento.

As combinações possíveis para as conexões efetuadas no dispositivo Lâmpada, são apresentadas na Tabela 7, e também devem ser avaliadas pelo professor, com o auxílio do software de monitoramento, de acordo com as regras estabelecidas para o tipo de circuito em questão:

Os casos numerados de **1** a **8**, não estão de acordo com as regras da montagem (Norma NBR 5410), que estabelece que por motivos de segurança para o usuário, nunca deve existir uma conexão de uma fase a um dos terminais de uma lâmpada, sendo que apenas o caso **9**, não existe a violação à norma estabelecida.

Tabela 7 – Tabela de verificação do dispositivo Lâmpada. Elaborado pelo autor.

Caso	Borne Dir.	Borne Esq.	Situação
1	R	-	Incorreto: Fase R em um lado da lâmpada
2	-	R	Incorreto: Fase R em um lado da lâmpada
3	S	-	Incorreto: Fase S em um lado da lâmpada
4	-	S	Incorreto: Fase S em um lado da lâmpada
5	R	R	Incorreto: a mesma fase em ambos os lados da lâmpada
6	S	S	Incorreto: a mesma fase em ambos os lados da lâmpada
7	R	S	Incorreto: fases diferentes em ambos os lados da lâmpada
8	S	R	Incorreto: fases diferentes em ambos os lados da lâmpada
9	-	-	Correto: nenhuma das fases na lâmpada

6.2 Exemplo de interação aluno-plataforma em aula prática

Como exemplo de interação entre o aluno e a bancada didática desenvolvida no experimento, será utilizado como base o roteiro de aula apresentado na seção 6.1.

Antes do uso propriamente dito da bancada didática, é de suma importância que o aluno tenha lido, interpretado e assimilado os principais conceitos da atividade a ser desenvolvida, sem o qual o aproveitamento do potencial da plataforma desenvolvida poderá ser sub-aproveitado.

Inicialmente, o aluno deve fazer o reconhecimento das partes que compõem o dispositivo **Painel de Montagem** (Figura 57), com o intuito de se familiarizar com todas as suas funcionalidades, e em especial aos dispositivos de segurança, como o Disjuntor Principal (**a**) e a Botoeira de Emergência (**b**).

6.2.1 Energizando a bancada didática

Em seguida deve ocorrer a energização (Figura 58 **(i)**) do dispositivo **Painel de Montagem** (**a**) por meio do disjuntor (**b**), para que o mesmo passe a fazer parte da plataforma, através de

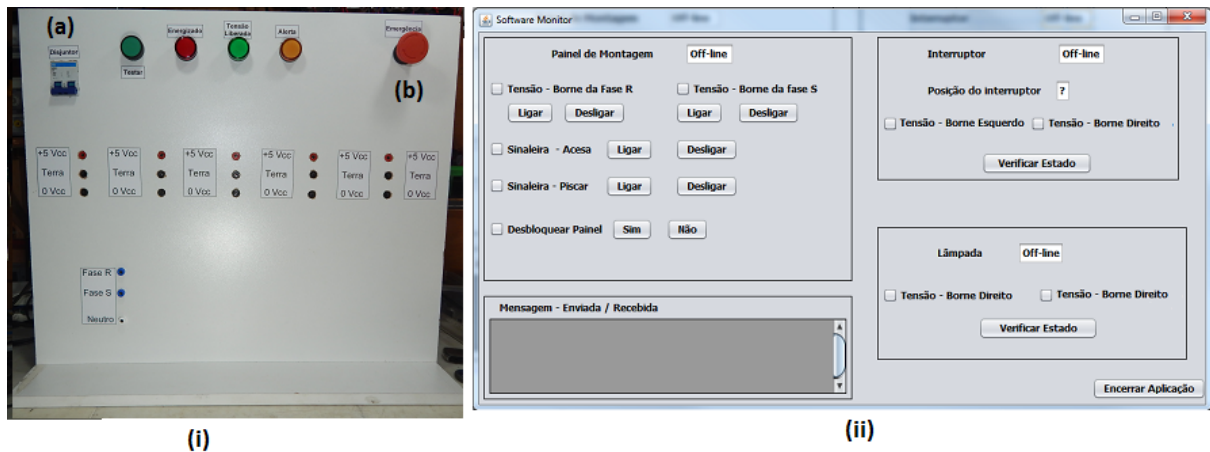


Figura 57 – Bancada no estado inicial da atividade prática. Elaborado pelo autor.

o envio de uma mensagem no seu tópico correspondente (Figura 58 (ii)), permitindo que a aplicação desenvolvida possa monitorar seu estado.

Convém ressaltar, que nesta etapa, somente das funções internas são energizadas, não sendo fornecida ao usuário nenhuma tensão que possa oferecer perigo ou dano ao equipamento (c). Apenas passa a existir o fornecimento da tensão de alimentação para os dispositivos que serão adicionados ao experimento (d).

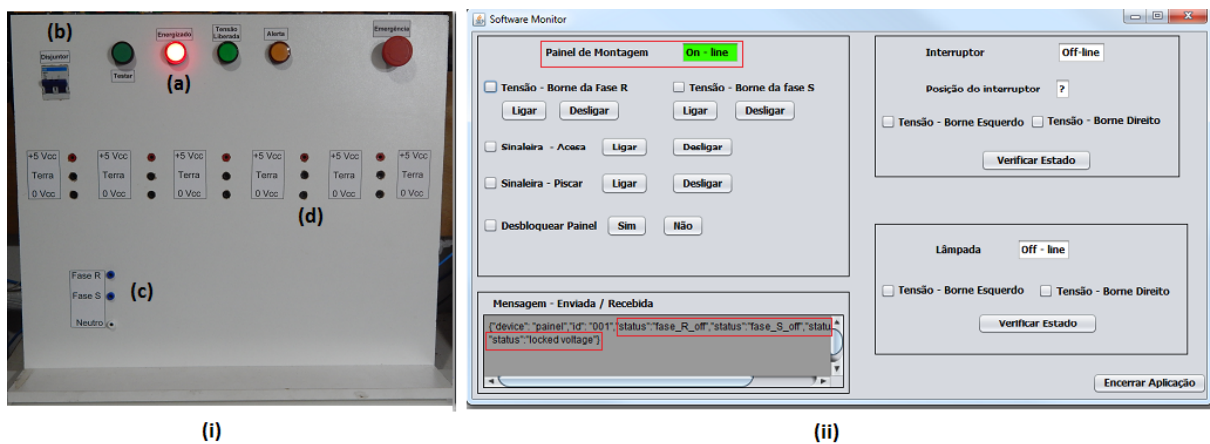


Figura 58 – Energizando a bancada didática. Elaborado pelo autor.

6.2.2 Inserção dos dispositivos na bancada didática

Estando com o dispositivo **Painel de Montagem** energizado, deve-se proceder a inserção dos dispositivos que farão parte da atividade prática, no caso um dispositivo **Interruptor** e um dispositivo **Lâmpada**.

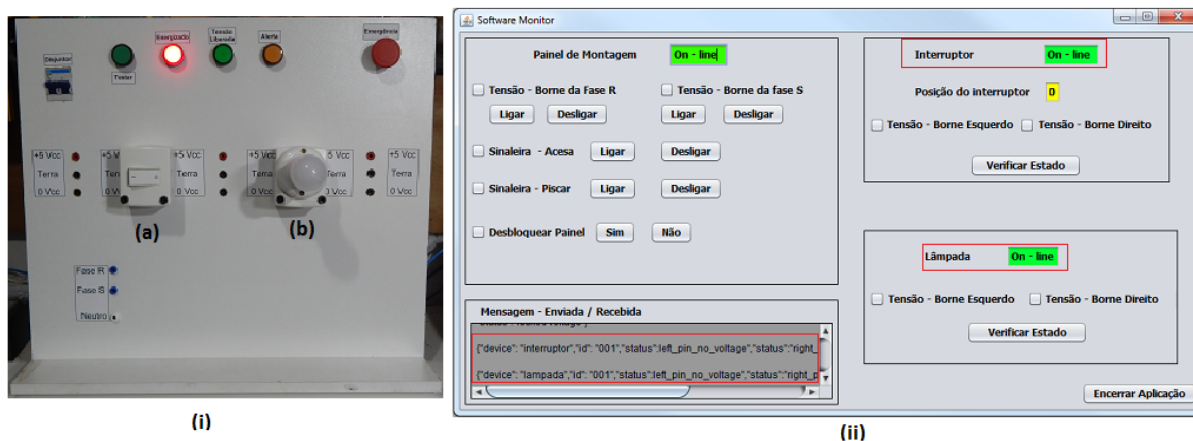


Figura 59 – Inserção dos dispositivos na bancada. Elaborado pelo autor.

Na Figura 59 (i), temos inicialmente a inserção do dispositivo **Interruptor** (a), em seguida a inserção do dispositivo **Lâmpada** (b). O local escolhido pelo aluno não interfere no resultado final da atividade, pois nesta etapa os dispositivos inseridos apenas recebem do dispositivo **Painel de Montagem**, o fornecimento da alimentação de baixa tensão (5Vcc) para o seu funcionamento.

Os dispositivos passam a enviar, para os seus respectivos tópicos, as mensagens para que a aplicação desenvolvida (Figura 59 (ii)), possa monitorar seu estado.

6.2.3 Forçando uma montagem incorreta

Na realização da montagem, pode ocorrer que o aluno não realiza as conexões nos lugares corretos. Neste caso, o professor, que mediante o uso da aplicação desenvolvida, vai acompanhando a realização do experimento pelo aluno, tem as condições para avaliar que as conexões realizadas, não irão produzir o comportamento correto da atividade.

No exemplo ilustrado na Figura 60 (i), as conexões estão eletricamente incorretas, porém sem risco ao equipamento ou a instalação. Este evento corresponde a condição da regra 6 da Tabela 2 (condição incorreta para o dispositivo **Interruptor**)(a) e da regra 9 da Tabela 3 (condição correta para o dispositivo **Lâmpada**) (b).

Neste caso as conexões realizadas pelo aluno não permitem que o circuito opere de maneira adequada, porém não promovem um uma situação que causem uma sobrecorrente ("curto-circuito") que possa provocar danos ao equipamento.

O professor mediante o uso da aplicação desenvolvida (Figura 60 (ii)), informa ao aluno

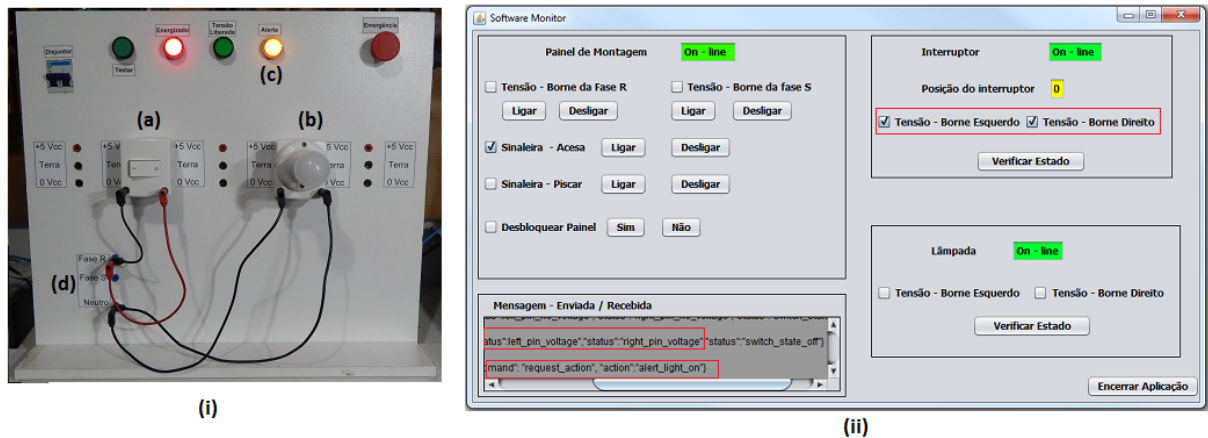


Figura 60 – Montagem realizada da forma incorreta. Elaborado pelo autor.

por meio da "Sinaleira Alerta"(c), que a montagem realizada não está correta, e dessa forma a tensão alternada não é liberada nos respectivos bornes (d), para que o aluno não consiga realizar o teste, tendo que reavaliar suas ações e prosseguir para uma tentativa.

6.2.4 Forçando uma condição de perigo

Na realização da montagem, pode ocorrer que o aluno não realiza as conexões nos lugares corretos, e que no caso as conexões realizadas pelo aluno são potencialmente danosas ao equipamento, devido a possibilidade de haver uma sobrecorrente no circuito.

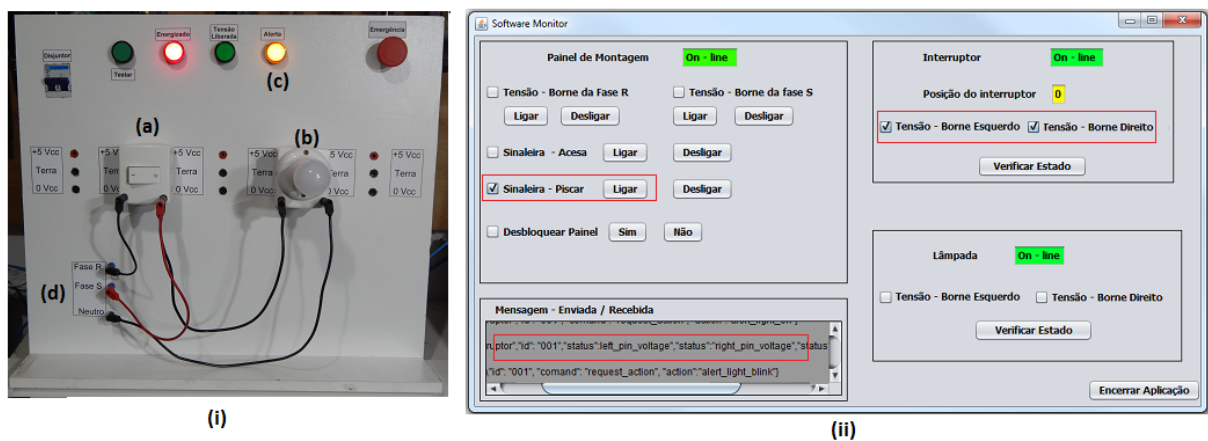


Figura 61 – Montagem realizada da forma potencialmente perigosa. Elaborado pelo autor.

No exemplo ilustrado na Figura 61(i), as conexões estão eletricamente incorretas, e existe o perigo ao equipamento. Esta condição corresponde ao casos 8 e 9 da Tabela 2 (condição incorreta para o dispositivo **Interruptor**) (a) e aos casos 3 e 4 da Tabela 3 (condição correta para o dispositivo **Lâmpada**) (b).

Neste caso, o professor mediante o uso da aplicação desenvolvida (Figura 61(ii)), informa ao aluno por meio da "Sinaleira Alerta"(c) piscando de forma a chamar a atenção do aluno, que a montagem realizada não está correta e potencialmente perigosa.

Nessa condição, a tensão alternada não é liberada nos respectivos bornes (d), para que o aluno não consiga realizar o teste, tendo que reavaliar suas ações e prosseguir para uma tentativa.

6.2.5 Forçando uma montagem em desacordo da Norma Vigente

Com a finalidade de ilustrar um caso em particular, temos a situação apresentada na Figura 62(i) . Nesse exemplo, o aluno não realizou nenhuma conexão que pode ser avaliada como "incorreta" do ponto de vista elétrico.

Porém para satisfazer um requisito de segurança, constante da NBR 5410, que orienta sobre as normas de realização das instalações elétricas, o fato de um borne de uma lâmpada estar conectando a uma Fase do sistema elétrico fornecido pela concessionária, pode ocasionar um choque elétrico no momento da substituição de uma lâmpada (a), mesmo estando com o interruptor na posição desligado (b).

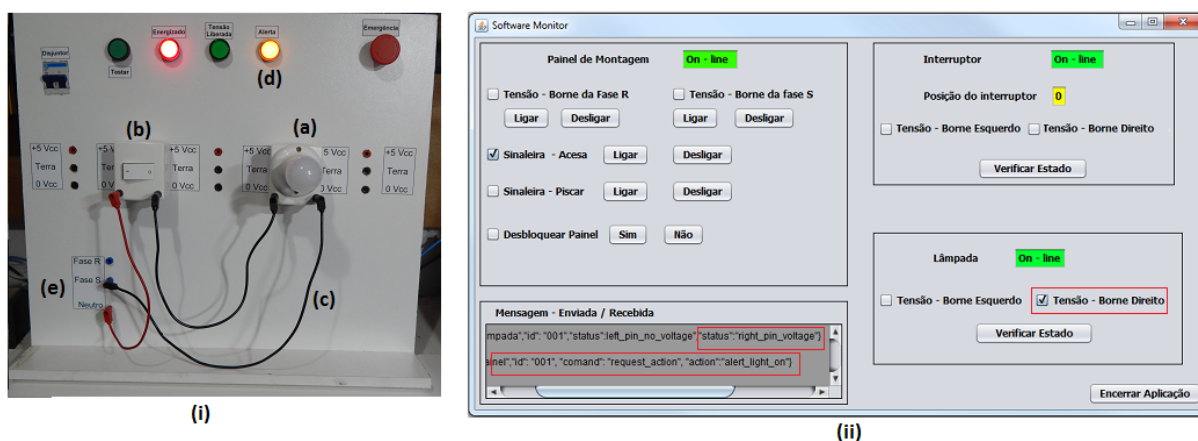


Figura 62 – Montagem realizada em desacordo com a norma vigente. Elaborado pelo autor.

No exemplo ilustrado, as conexões estão eletricamente corretas, porém em desacordo com a norma vigente (c). Nesta condição corresponde a regra 5 da Tabela 2 (condição incorreta para o dispositivo **Interruptor**) e as regras de 1 a 4 da Tabela 3 (condição correta para o dispositivo **Lâmpada**).

O professor mediante o uso da aplicação desenvolvida (Figura 62(ii)), informa ao aluno por meio da "Sinaleira Alerta"(d) , que a montagem realizada não está correta, e dessa forma a

tensão alternada não é liberada nos respectivos bornes (e), para que o aluno não consiga realizar o teste, tendo que reavaliar suas ações e prosseguir para uma tentativa.

6.2.6 Realizando a montagem de maneira correta

Para concluir os exemplos de possíveis montagens feitas pelo alunos, temos o caso onde as estão conexões em lugares corretos e de acordo com a norma vigente. Neste caso, o professor, que mediante o uso da aplicação desenvolvida (Figura 63 (ii)), vai acompanhando a realização do experimento pelo aluno, e pode concluir que a montagem realizada está em uma condição desejada.

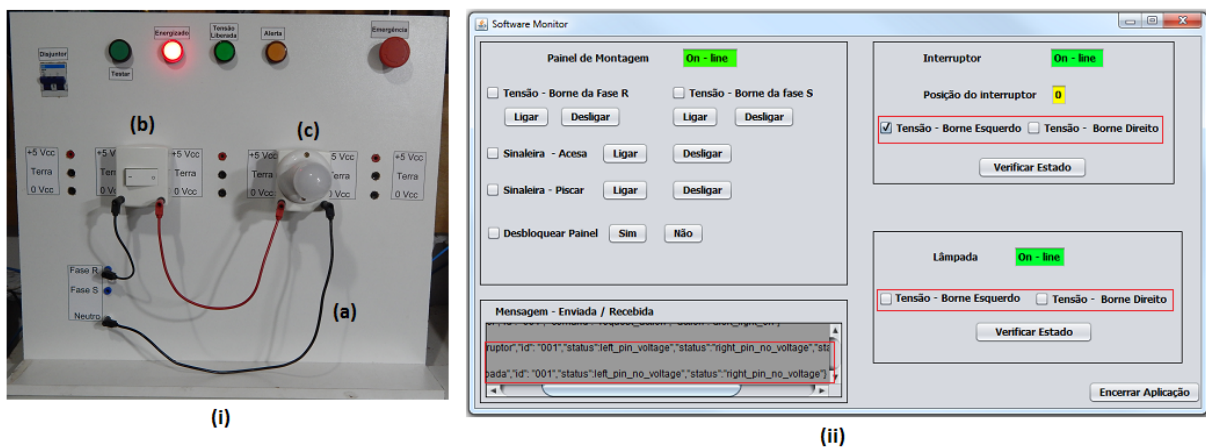


Figura 63 – Montagem realizada da maneira desejada. Elaborado pelo autor.

No exemplo ilustrado na Figura 63 (i), as conexões estão eletricamente corretas (a), e de acordo com a norma vigente. Esta condição corresponde as regras de 1 a 4 Tabela 2 (condição correta para o dispositivo **Interruptor**) (b) e a regra 9 da Tabela 3 (condição correta para o dispositivo **Lâmpada**) (c).

6.2.7 Teste final da montagem pelo aluno

O professor avaliando que a montagem realizada está correta, e mediante o uso da aplicação desenvolvida (Figura 64 (ii)), pode proceder a liberação da tensão alternada nos respectivos bornes, para que o aluno consiga realizar o teste, podendo verificar o correto funcionamento da montagem realizada.

Dessa forma, o aluno pode pulsar a **Botoneira Testar** (a), e chavear o circuito interno que libera a tensão alternada nos respectivos bornes (b), condição sinalizada pela **Sinaleira Tensão**

liberada (c), conforme ilustrado na Figura 64 (i).

O aluno então pode testar a montagem realizada, acionando a alavanca do dispositivo, verificando o funcionamento da sua montagem prática (d).

Mesmo estando correta a montagem, o professor a qualquer momento pode desabilitar o fornecimento da tensão alternada (e), por meio da aplicação desenvolvida.

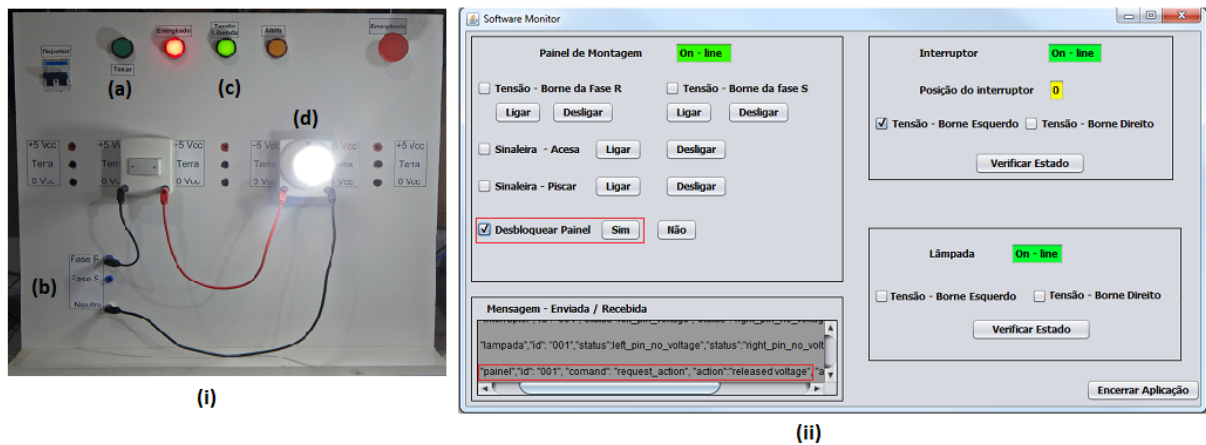


Figura 64 – Liberação da bancada pelo professor para o teste do aluno. Elaborado pelo autor.

No capítulo seguinte será apresentada as considerações finais, bem como algumas sugestões para os trabalhos futuros.

7 Conclusão

Neste trabalho foi apresentado o potencial da utilização das tecnologias da IoT e o seu uso como ferramenta para se obter uma melhoria no processo do ensino-aprendizagem.

Entre as várias possibilidades do uso da IoT no contexto educacional, o presente trabalho teve como foco a possibilidade da sua utilização para o desenvolvimento e melhoria nas ferramentas utilizadas para a execução de atividades práticas em laboratório. O estudo foi feito a prover uma forma supervisionada de acompanhamento por parte do professor nos seguintes aspectos: nos diversos aspectos educacionais; no quesito segurança do humano e da máquina; nas atividades desenvolvidas pelo humano executor da prática (no caso o aluno); e, também para acompanhar o estado dos equipamentos utilizados.

A plataforma implementada neste trabalho, procurou reunir em uma só ferramenta, além das tecnologias da IoT, aspectos importantes dos laboratórios convencionais como o uso de dispositivos reais, mesclando com a tecnologia de comunicação utilizada nos laboratórios remotos, e permitindo uma futura integração com os recursos utilizados nos laboratórios virtuais.

Alguns dos aspectos que diferem dos trabalhos similares, são a existência de dispositivos reais, mas com capacidade de processamento embarcado, conferindo alguma "inteligência" ao dispositivo convencional. A possibilidade de ter a supervisão sendo efetuada de forma local ou remota pelo professor, dá mais liberdade para que o professor avalie a necessidade de estar fisicamente presente na execução das atividades práticas.

Nos aspectos técnicos a plataforma implementada apresenta as vantagens de não estar limitada ao modelo de IoT utilizado (*Edge*, *Fog* ou *Cloud*), podendo ser adaptada ou modelo desejado ou disponível no local de sua utilização. A adoção de padrões abertos, tanto no desenvolvimento dos dispositivos, quanto na utilizada na comunicação dos elementos da plataforma, permite a agregação de novos dispositivos, reais ou virtuais, de modo a ampliar a sua adaptação e utilização em várias disciplinas, onde o seu uso possa beneficiar a aprendizagem de conceitos abstratos.

Na avaliação da performance dos dispositivos construídos para o experimento, os resultados obtidos se mostram adequados ao tipo de uso pretendido, tendo o tempo desde a sua inclusão na atividade realizada até efetivamente ser reconhecida pela aplicação, dentro de valores

compatíveis com a velocidade das ações humanas, tanto quando a aplicação rodava localmente, (modelo *Edge IoT*), quanto quando hospedada num serviço de nuvem (modelo *Cloud IoT*).

Com a finalidade de se antever um aumento muito significativo do número de dispositivos ou de bancadas, foram realizados testes com um volume grande de mensagens trafegando pelo sistema, o que poderia gerar atrasos que comprometessem o uso da plataforma desenvolvida, principalmente quando utilizada no modelo *Cloud IoT*.

Com essa finalidade foi proposto um algoritmo para a redução do número de mensagens geradas, baseadas em uma política, que leva em consideração as particularidades do tipo de experimento que irá ser feito. Também foi proposto a utilização do modelo de IoT em Neblina (*Fog IoT*), de forma a proporcionar uma hierarquia no envio de mensagens para diferentes servidores.

Na avaliação do algoritmo otimização proposto, houve uma significativa redução no número de mensagens e conseqüentemente uma redução nos tempos de envio dessas mensagens. Isso foi possível, porque nos sistemas tradicionais de IoT, todos os valores ou eventos medidos são enviados para os servidores, o que não é o caso do sistema quando utiliza o algoritmo de otimização proposto, que analisa a necessidade real desse valor medido ou evento para gerar uma mensagem e ser enviado, dessa maneira economizando tempo de processamento do sistema.

Como as decisões tomadas pelo algoritmo, dependem dos pares **estado/nível** armazenados em uma tabela, ele pode ser facilmente adaptado para diferentes experimentos e aplicações, bastando que a tabela construída seja compatível com a atividade a ser realizada.

7.1 Trabalhos Futuros

Apesar dos bons resultados obtidos, vários outros aspectos podem ser explorados nos trabalhos futuros. Os diferentes aspectos estão relacionados a evolução da infraestrutura proposta bem como nos aspectos pedagógicos e na finalidade de avaliar o comportamento dos alunos no uso da plataforma desenvolvida.

O primeiro aspecto da abordagem proposta a ser evoluído é a adoção de métodos de aprendizado de máquinas para o ajuste automático das regras do algoritmo de otimização. Desta forma possibilitar que todos os aspectos de energia e comunicação se tornem adaptados às diferentes tarefas a serem realizadas e ambientes de ensino.

Com experimentos sistemáticos, utilizando-se várias turmas de alunos com características diversas (idade, curso, região, etc.) pode-se tentar traçar o ganho da utilização da plataforma nos diversos A primeira se concentra em realizar pesquisas experimentais sobre a usabilidade e eficiência do sistema.

A integração de uma diversidade maior de dispositivos, com o intuito de se ampliar as possibilidades de uso da plataforma, em várias atividades de disciplinas correlatas, melhorando com isso a relação de custo/ benefício na construção de laboratórios didáticos.

Para melhorar ainda mais o aspecto em relação a segurança do aluno, pode-se incluir mecanismos que verifiquem a utilização dos equipamentos de proteção específicos para aquele experimento em particular, podendo ser isso ser implementado por meio de dispositivos de proteção individual (óculos, luvas, etc.) "inteligentes"(que partilhem da mesma filosofia de construção proposta na plataforma), bem como a utilização de técnicas de reconhecimento de imagens disponíveis atualmente.

Por último, a utilização de padrões de comunicação abertos, a facilidade de comunicação dos dispositivos da plataforma com aplicações mais elaboradas, que utilizem os avanços obtidos na área de Inteligência Artificial. Neste sentido, o uso das técnicas de Inteligência Artificial para desenvolver arquiteturas multiagentes, capaz de ampliar as funcionalidades: para o acompanhamento dos alunos e das coisas presentes no ambientes; automatizar os aspectos didáticos e de segurança desejados; e, facilitar a extração de conhecimentos que possam levar a uma maior compreensão das dificuldades do alunos, em uma determinada área do conhecimento.

Referências

- 1 DIENZO.COM.BR. *Dienzo - Soluções Didáticas*. 2019. Disponível em: <<http://www.dienzo.com.br/produtos>>.
- 2 Gusev, M.; Dustdar, S. Going back to the roots—the evolution of edge computing, an iot perspective. *IEEE Internet Computing*, v. 22, n. 2, p. 5–15, Mar 2018. ISSN 1089-7801.
- 3 MAZZER, D.; FRIGIERI EDIELSON P.AND GAMBOGI, L. F. C. P. *Protocolos M2M para Ambientes Limitados no Contexto do IoT: Uma Comparação de Abordagens*. 2013. Disponível em: <<https://www.inatel.br/smartcampus/imgs/protocolos-para-iot-pt.pdf>>.
- 4 SILVA, R. d. A.; NOVA, J. G.; VASCONCELOS, R. F.; CALADO, I. A.; BRANCO, K. R.; BRAGA, R. T. Aplicando internet das coisas na educação: Tecnologia. *Anais dos Workshops do VI Congresso Brasileiro de Informática na Educação (WCBIE 2017)*, p. 1256–1267, 2017.
- 5 AJAZMOHARKAN, Z.; CHOUDHURY, T.; GUPTA, S.; RAJ, G. Internet of things and its applications in e-learning. *IEEE International Conference on Computational Intelligence and Communication Technology*, 2017.
- 6 PANDINI, M. M.; COELHO, M. A. J.; NETO, J. M.; SPACEK, A. D.; JUNIOR, O. H. A. Design of a didatic workbench of industrial automation systems for engineering education. *EEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS*, v. 15, n. 8, p. 1384–1391, 2017.
- 7 REGUERA, P.; GARCÍA, D.; DOMÍNGUEZ, M.; PRADA, M.; ALONSO, S. A low-cost open source hardware in control education.case study:arduino-feedback ms-150. *International Federation of Automatic Control*, p. 117–122, 2015.
- 8 HERRERA, M. R. S.; MÁRQUEZ, J. M. A.; BORRERO, A. M.; SÁNCHEZ, M. A. Testing bench for remote practical training in electric machines. *10th IFAC Symposium Advances in Control Education*, p. 357–362, 2013.
- 9 CHOUZAL, M. d. F.; RESTIVO, M. T.; SILVA, F. G.; ALMEIDA, F. G.; ANDRADE, T. F. Remote level monitoring and control solution. *International Federation of Automatic Control*, p. 194–197, 2016.
- 10 CARDOSO, A.; SOUSA, V.; GIL, P. Demonstration of a remote control laboratory to support teaching in control engineering subjects. *International Federation of Automatic Control*, p. 226–229, 2016.
- 11 NARAYANAN, G.; DESHPANDE, A.; NARAYANAN, A. Realistic experience without risk using virtual electrical machines laboratory. *International Conference on Learning and Teaching in Computing and Engineering*, p. 132–133, 2016.
- 12 VALDEZ, M. T.; FERREIRA, C. M.; BARBOSA, F. P. M. 3D virtual laboratory for teaching circuit theory - a virtual learning environment (vle). *51st International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, 2016.
- 13 TRAVASSOS, M. V.; FERREIRA, C. M.; BARBOSA, F. P. M. Virtual labs in electrical engineering education the vem environment. *Information Technology Based Higher Education and Training*, 2014.

- 14 ESPRESSIF. *Esp8266*. 2018. Disponível em: <<https://www.espressif.com>>.
- 15 WEMOS.CC. *Wemos*. 2018. Disponível em: <<https://wiki.wemos.cc/products>>.
- 16 COELHO, M. A. J.; NETO, J. M.; SPACEK, A. D.; ANDO, O. H. J. Learning improvement in electronics disciplinary using a didactic workbench. *EEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS*, v. 14, n. 1, p. 83–88, 2016.
- 17 SILVA, J. B. d. *A UTILIZAÇÃO DA EXPERIMENTAÇÃO REMOTA COMO SUPORTE PARA AMBIENTES COLABORATIVOS DE APRENDIZAGEM*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.
- 18 BELOIU, R. Teaching induction machine laboratory using Projectx. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 182, p. 349 – 359, 2015. ISSN 1877-0428. 4th WORLD CONFERENCE on EDUCATIONAL TECHNOLOGY RESEARCHES (WCETR-2014).
- 19 VELOSO, M. S. S. d. O.; NETO, A. S. A. Panorama do uso de laboratório didático em cursos de ensino de física, modalidade a distância, no país. *Renote*, v. 12, n. 2, p. •, 2014.
- 20 GUILLERMO, O. E. P. *USO DE LABORATÓRIOS VIRTUAIS DE APRENDIZAGEM EM MECÂNICA DOS FLUÍDOS E HIDRÁULICA NA ENGENHARIA*. Tese (Doutorado) — UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, 2016.
- 21 NEDIC, Z.; MACHOTKA, J. Remote laboratory netlab for effective teaching of 1st year engineering students. *4th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation*, 2007.
- 22 NORRIS, D. *The Internet of Things*. New York: McGraw-Hill Education, 2015.
- 23 WAHER, P. *The Internet of Things*. Birmingham: Packt Publishing, 2015.
- 24 BACCELLI, E.; HAHM, O.; PETERSEN, H.; SCHEISER, K. Riot and the evolution of iot operating. *Ercin News*, 2015.
- 25 BROGI, A.; FORTI, S.; IBRAHIM, A.; RINALDI, L. Bonsai in the fog: an active learning lab with fog computing. *Third International Conference on Fog and Mobile Edge Computing*, 2018.
- 26 IBM.COM. *IBM MQ Telemetry Transport format and protocol*. 2018. Disponível em: <https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/pt-br/SSFKSJ_8.0.0/com.ibm.mq.ref.doc/q049190_.htm>.
- 27 EICHHOLZ, J.; BROGÅRDH, T. *Advanced Mechatronics and MEMS Devices*. [S.l.]: Springer-Verlag, 2013.
- 28 PIMENTEL, J. R.; BALTUANO, O.; CHAN, R.; TINCOPA, J.-P. Teaching and learning engineering subjects in the times of the IoT: A case study on a course on wireless communications and networks. *Industrial Electronics Society*, 2017.
- 29 VENNA, A.; MANJULATHA, B.; SOUMYA, K. A study on the integration of iot and cloud computing for education system. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, v. 4, p. 12279–12284, 2016.

- 30 FIDALGO, A.; ALVES, G.; MARQUES, M.; VIEGAS, C.; LOBO, C. C.; HERNANDEZ, U.; GARCIA-ZUBIA, J.; GUSTAVSSON, I. Adaptação de laboratórios remotos a cenários de ensino: Casos de estudo com Visir e Remotelectlab. v. 1, p. 135–141, 06 2013.
- 31 OLIVEIRA, S. d. *Internet das Coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry Pi*. São Paulo: Novatec, 2017.
- 32 ARDUINO.CC. *Arduino*. 2018. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/>>.
- 33 GROKHOTKOV, I. *ESP8266WiFi library*. 2017. Disponível em: <<https://github.com/esp8266/Arduino/tree/master/libraries/ESP8266WiFi>>.
- 34 O'LEARY, N. *ESP8266WiFi library*. 2018. Disponível em: <<https://www.arduinolibraries.info/libraries/pub-sub-client>>.
- 35 BLANCHON, B. *ArduinoJson*. 2018. Disponível em: <<https://www.arduinolibraries.info/libraries/arduino-jsonFi>>.
- 36 INTEL.COM. *Intel*. 2018. Disponível em: <<https://ark.intel.com/pt-br/products/83137/Intel-Galileo-Gen-2-Board>>.
- 37 ECLIPSE-FOUNDATION. *Eclipse Mosquitto*. 2018. Disponível em: <<https://mosquitto.org/>>.
- 38 IBM.COM. *IBM Watson*. 2019. Disponível em: <<https://www.ibm.com/watson/br-pt/>>.
- 39 ABNT. *NBR 5410 - Instalações elétricas de baixa tensão*. 2008. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/>>.

Apêndices

APÊNDICE A - Dispositivos Adaptados e Desenvolvidos

Desenvolvidos

Neste apêndice são mostrados os dispositivos convencionais adaptados e desenvolvidos para o uso no experimento deste trabalho de mestrado.

.1 Dispositivo Interruptor

A Figura 65 ilustra as visões: frontal **(a)**, onde nota-se os bornes para a conexão dos cabos durante a montagem da atividade prática e o interruptor basculante que permite a manobra do interruptor para as posições "Ligado" (1) e "Desligado" (0); a visão lateral **(b)**, onde nota-se os *plugs* "machos" que permitem a fixação mecânica do dispositivo Interruptor ao dispositivo Pannel, bem como o fornecimento de sua alimentação de baixa tensão; e a visão inferior **(c)** onde fica ressaltada a conexão USB para a programação e reconfiguração do dispositivo, se necessária.

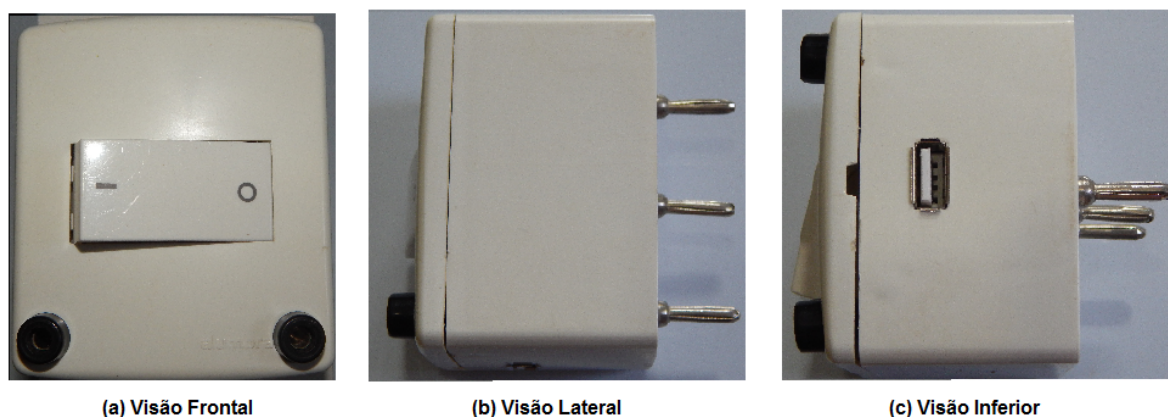


Figura 65 – Fotos do dispositivo Interruptor. Elaborado pelo autor.

.2 Dispositivo Lâmpada

A Figura 66 ilustra as visões: frontal **(a)**, onde nota-se os bornes para a conexão dos cabos durante a montagem da atividade prática e o bulbo da lâmpada; a visão lateral **(b)**, onde nota-se os *plugs* "machos" que permitem a fixação mecânica do dispositivo Interruptor ao dispositivo

Painel, bem como o fornecimento de sua alimentação de baixa tensão; e a visão inferior (c) onde fica ressaltada a conexão USB para a programação e reconfiguração do dispositivo, se necessária.

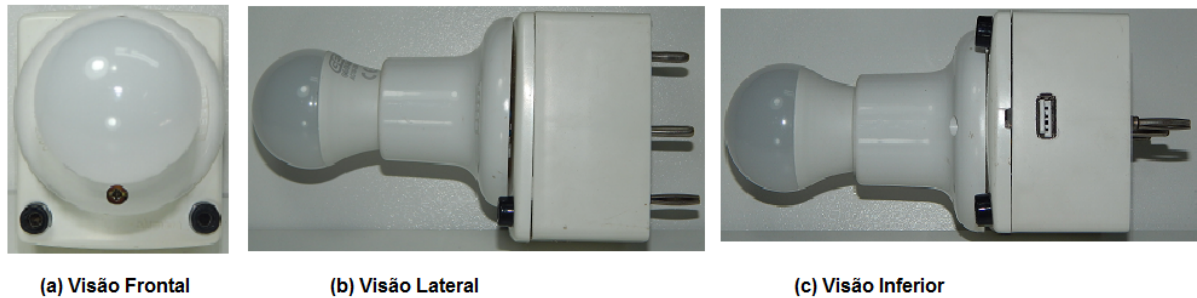


Figura 66 – Fotos do dispositivo Lâmpada. Elaborado pelo autor.

.3 Dispositivo Painel de Montagem

A Figura 67 ilustra as visões: frontal (a), onde nota-se os bornes para a conexão dos cabos durante a montagem da atividade prática, os bornes onde os dispositivos são encaixados, o disjuntor para a energização e proteção do equipamento, o botão para o teste do experimento, a boteira de emergência e as sinaleiras que indicam o estado do sistema. A visão traseira (b) mostra os elementos internos do dispositivo Painel de montagem, como a fonte de alimentação de baixa tensão, o módulo IoT e sua placa de conexão, o módulo de comutação, bem como as ligações internas.

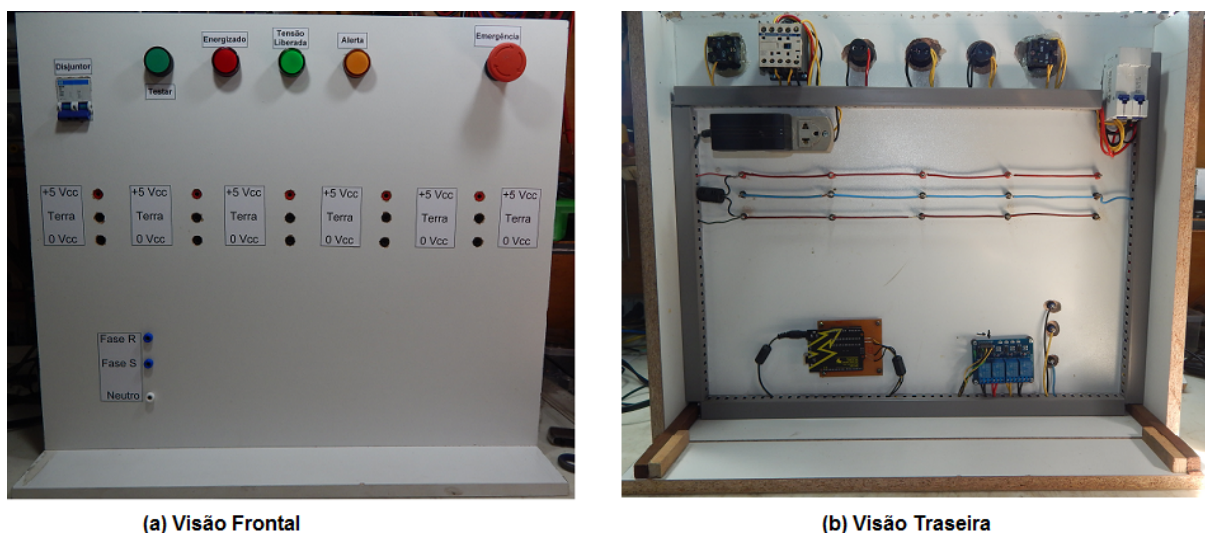


Figura 67 – Fotos do dispositivo Painel de Montagem. Elaborado pelo autor.

APÊNDICE B - Módulo de Supervisão Local - Opcional

Para a supervisão das atividades realizadas pelo aluno, é necessário acesso a uma rede wi-fi e um dispositivo (que pode ser um microcomputador ou um *smartphone*) com um aplicativo de supervisão ou um sistema mais elaborado, dependendo da necessidade ou o objetivo do experimento realizado pelo aluno.

Para facilitar o uso da bancada didática, no modelo de IoT *Edge* (borda ou local), pode ser utilizado um módulo de supervisão compacto, que utiliza um computador de baixo custo (um *Raspberry Pi 2* - modelo B+), que pode acompanhar a bancada didática e permitir que seu uso não dependa do uso dos laboratórios de informática. Entre as funcionalidades do módulo, podemos destacar:

- Disponibilizar um ponto de conexão para uma rede *ethernet* local (se desejado);
- Disponibilizar uma rede Wi-Fi para a comunicação entre os dispositivos;
- Prover um servidor MQTT local para a centralização da comunicação entre os dispositivos e uma rede externa;
- Executar o aplicativo para o controle e a supervisão do experimento;

As partes que compõem o módulo supervisor podem ser vistas no diagrama em blocos da Figura 68, e são compostas de:

(a) Fonte de alimentação para o computador de baixo custo;

(b) Roteador wi-fi, que disponibiliza uma local para a conexão entre os dispositivos que compõem o sistema. O roteador também permite que o sistema possa ser conectado a uma outra rede local ou a internet, permitindo que seus dados possam ser enviados a outros sistemas, para armazenagem de dados ou supervisão remota;

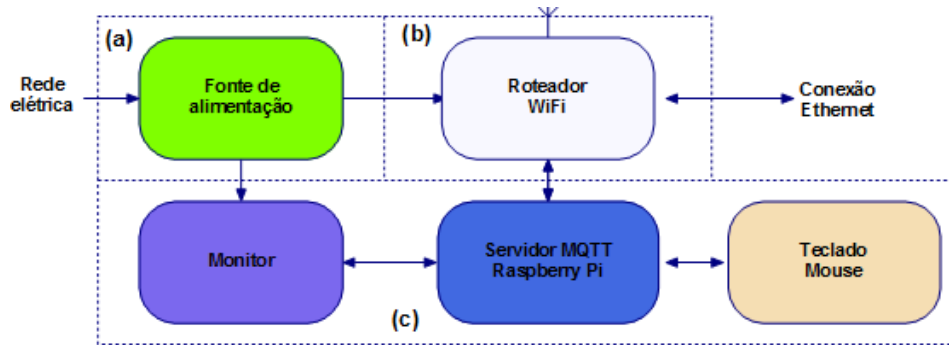


Figura 68 – Diagrama em blocos do Módulo Supervisor. Elaborado pelo autor.

(c) Um computador de baixo custo (Raspberry Pi + teclado + mouse), rodando um sistema operacional derivado do Linux (Raspian O.S.), responsável por executar os softwares do servidor MQTT (broker Mosquitto) e do aplicativo de supervisão desenvolvido.

Na Figura 69, podemos ver um exemplo de composição de um módulo de baixo custo, que pode ser utilizado para trabalhar em conjunto com a bancada didática desenvolvida. Composto por um roteador wi-fi (a) para fornecer uma rede local para os dispositivos da plataforma, um computador de baixo custo (b) rodando a aplicação desenvolvida para aquela atividade em particular, e de um monitor (c).

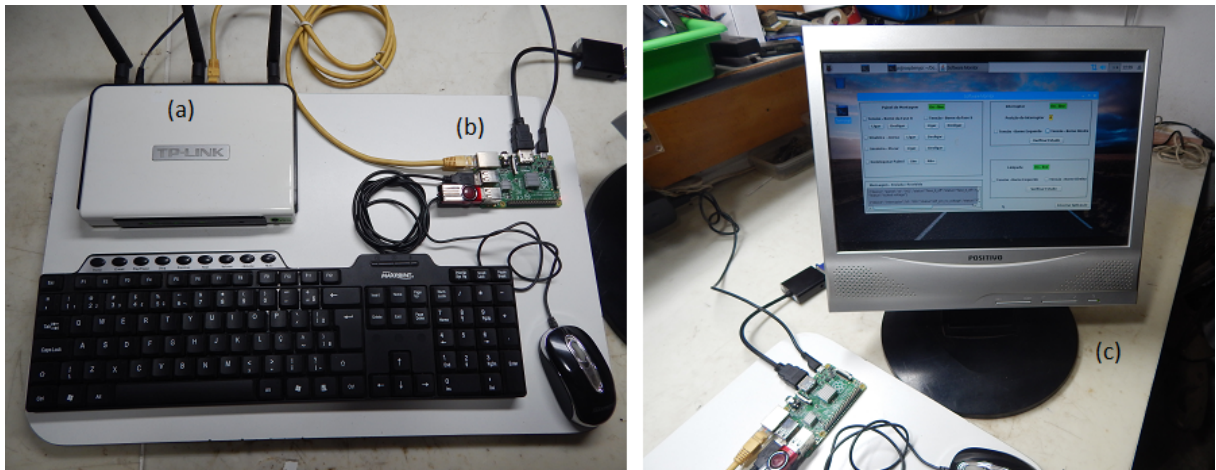


Figura 69 – Módulo Supervisor de baixo custo. Elaborado pelo autor.

Um conjunto desse tipo, pode facilmente ser alojado em uma maleta, tornando o uso da bancada didática móvel, expandindo suas possibilidades de uso.