UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

LEONARDO VINICIUS CORREA BOENG

VITOR FARIAS DE BORBA

AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL DE BAIXO CUSTO

Palhoça

2019

LEONARDO VINICIUS CORREA BOENG

VITOR FARIAS DE BORBA

AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL DE BAIXO CUSTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Djan de Almeida do Rosario, Esp. Eng.

Palhoça

2019

LEONARDO VINICIUS CORREA BOENG
VITOR FARIAS DE BORBA

AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL DE BAIXO CUSTO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 06 de novembro de 2019.

Professor e orientador Djan de Almeida do Rosario, Esp. Eng.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Guilherme Campos Angeloni, Eng. Tecg.
Smart Homes – Automação Residencial

Prof. Anderson Soares André, Dr. Eng.
Universidade do Sul de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

A formação acadêmica de um profissional é somente uma das facetas de sua vida, enquanto estudante são inúmeros os desafios e adversidades as quais devem ser transpostas para alcançar o seu objetivo final. Essa jornada não é trilhada sozinho, está repleta de pessoas, ações e palavras que nos auxiliam direta e indiretamente a prosseguir e persistir.

Agradecemos ao nosso professor e orientador Engenheiro Especialista Djan Rosario, por suas correções, ideias e orientações, além de sua disposição e tempo.

Agradecemos a empresa Análise Elétrica pela liberação de equipamentos e dispensa para que pudéssemos finalizar este projeto.

Cada um de nós teve sua jornada tocada por diferentes pessoas e por isso agradecemos individualmente:

Agradeço a minha mãe, minha madrinha, meus tios e irmã por sempre me ajudarem com o que puderam. A minha namorada que jamais me negou apoio, carinho e incentivo. Obrigado por aguentar tantas crises de estresse e ansiedade.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

(Leonardo Vinicius Correa Boeng)

Agradeço a meus pais, minhas irmãs e meu irmão que estiveram presentes em todas as etapas de minha vida e apoiaram todas as minhas decisões, em especial a meu pai que incentivou de várias maneiras o prosseguimento de meus estudos.

Agradeço ainda a minha esposa, por suas correções, seu carinho, amor e paciência. Sem os quais não teria forças para finalizar mais esta etapa de minha formação.

(Vitor Farias de Borba)

“A primeira regra de qualquer tecnologia utilizada nos negócios é que a automação aplicada a uma operação eficiente aumentará a eficiência. A segunda é que a automação aplicada a uma operação ineficiente aumentará a ineficiência.” (Bill Gates).

RESUMO

Embora não seja um tema novo, a automação residencial ainda enfrenta barreiras a sua implantação. Atualmente existe uma polarização de soluções, pois por um lado existem soluções de alta complexidade, custo e confiabilidade, e do outro temos soluções de custo reduzido, fácil instalação, funcionamento errático e não integrativo. Este projeto consiste na implantação de um sistema de automação em um apartamento de 3 quartos, com foco na confiabilidade, com um custo reduzido. Foram automatizados: a iluminação, o controle de televisores, ar condicionado e a medição de energia em pontos de interesse. O sistema desenvolvido é controlado por meio de uma central de automação equipada com o *software* OpenHab, o qual é responsável pela integração, comandos e disponibilidade de interface visual única para todos os equipamentos. Para aferir os resultados obtidos foram realizados testes diversos para verificação da segurança, disponibilidade e latência das soluções aplicadas com resultados considerados satisfatórios em todas as categorias. O custo alvo para o projeto de R$ 3.000,00 para a aquisição de materiais foi considerado alcançado.

Palavras-chave: Automação Residencial. Confiabilidade em domótica. OpenHab.

ABSTRACT

Despite not being a new theme, home automation still faces barriers. Nowadays the solutions can be split into two groups. The first one is composed of systems with high complexity, cost and reliability, the second group consists of low-cost, easy to install, unreliable and nonintegrated systems. This project describes the development and installation of a home automation system for a 3-bedroom apartment, with the goal of a low-cost reliable solution. In this solution where included the control of lights, TVs, Air Conditioner and the power measurement of selected devices. To control all devices, a central unit equipped with OpenHab software is used, which is responsible for the integration, commands and supplying a unique visual interface to the system. To analyze the obtained results multiple tests where proposed, in which safety, availability and latency of the developed system where evaluated and considered satisfactory. The cost goal of R$ 3.000,00 for equipment acquisition was also achieved.

Keywords: Home Automation. Reliability in domotics. OpenHab.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Exemplo de automação centralizada. 19
Figura 2 - Exemplo de sistema distribuído com servidor remoto. 20
Figura 3 - Exemplo de sistema distribuído com servidor local. 21
Figura 4 - Exemplo de um sistema de automação inteligente. 22
Figura 5 - Sinal diferencial em um barramento RS-485. 23
Figura 6 - Planta do apartamento a ser automatizado. 27
Figura 7 - Planta com os equipamentos a serem automatizados. 28
Figura 8 - Mini PC Z83II. 31
Figura 9 - Esquema de instalação do Sonoff mini para interruptor simples. 34
Figura 10 - Esquema de instalação do Sonoff mini para interruptor paralelo. 34
Figura 11 - Instalação do Sonoff Pow R2 na medição e automação do desumificador. 36
Figura 12 - Esquema de ligação entre o Sonoff Basic e o PZEM-004T. 37
Figura 13 - Montagem do conjunto de medição de cargas elevadas. 38
Figura 14 - Controlador de fita LED utilizado. 39
Figura 15 - Emissores IR, Broadlink RM mini 3 a esquerda e Broadlink RM 3 Pro+ a direita. 41
Figura 16 - Tela desenvolvida para as interfaces de comando táctil visual. 42
Figura 17 – Interface táctil visual instalada e executando a tela de automação. 43
Figura 18 - Amazon Echo Dot 3º Geração. 45
Figura 19 - Exemplos de telas do aplicativo Alexa. 45
Figura 20 - AP 360 Intelbras e suas especificações. 46
Figura 21 - Planta com os equipamentos a serem automatizados em relação ao AP360. 47
Figura 22 - Equipamento de testes da influência das correntes de trabalho. 51
Figura 23 – Termografia dos testes do Sonoff mini. 57
Figura 24 – Teste do Sonoff mini sem carga. 58
Figura 25 – Teste do Sonoff mini com 4,35 A. 58
Figura 26 – Teste do Sonoff mini com 8,55 A. 58
Figura 27 – Termografia dos testes com o verso do Sonoff mini. 59
Figura 28 – Teste do Sonoff mini na parte traseira com 8,55 A. 59
Figura 29 – Termografia dos testes com o Sonoff POW R2. 60
Figura 30 – Teste do POW a vazio. 60
Figura 31 – Teste do POW em 4,35 A. 60

Figura 32 – Teste do POW em 8,55 A. 61
Figura 33 – Teste do POW em 12,70 A. 61
Figura 34 – Termografia dos testes com verso do Sonoff POW R2. 62
Figura 35 – Teste do POW em 12,70 A. 62
Figura 36 – Utilização dos canais de Wi-Fi nas imediações da planta automatizada. 63
Figura 37 - Níveis de sinal recebidos pelos dispositivos. 64
Figura 38 - Consumo de banda na rede da automação. 66
Figura 39 - Correntes em um dos testes do POW R2 em 127 V antes do ajuste de corrente... 68
Figura 40 - Correntes médias dos testes em 127 V e 220 V do Sonoff POW R2 após ajustes. 69
Figura 41 - Tensões médias dos testes em 127 V em um dos Sonoff POW R2. 69
Figura 42 - Tensões médias dos testes em 127 V em um dos Sonoff POW R2. 70

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11
1.1 PROBLEMA DA PESQUISA 12
1.2 JUSTIFICATIVA 12
1.3 OBJETIVOS 13
1.3.1 Objetivo Geral 13
1.3.2 Objetivos Específicos 13
1.3.3 Limitações da proposta 14

2 AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL 15
2.1 INTERNET DAS COISAS 16
2.2 CONFIABILIDADE 17
2.3 ARQUITETURA DOS SISTEMAS 18
2.3.1 Automação centralizada 19
2.3.2 Automação descentralizada 19
2.3.3 Automação distribuída 20
2.4 INTERAÇÃO ENTRE OS DISPOSITIVOS 21
2.4.1 Sistemas autônomos 21
2.4.2 Sistemas integrados 21
2.4.3 Sistemas inteligentes (*Smart*) ou complexos 22
2.5 INTERFACE E PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO 22
2.5.1 Comunicação com fios 22
2.5.2 Comunicação sem fios 24

3 SOLUÇÃO DESENVOLVIDA 27
3.1 CENTRAL DE AUTOMAÇÃO 29
3.2 ACIONAMENTO DIGITAL 31
3.3 MEDIÇÃO DE ENERGIA 34
3.4 CONTROLE DAS FITAS LED 39
3.5 CONTROLE DOS EQUIPAMENTOS COM INTERFACE IR 40
3.6 INTERFACES DE COMANDO 41
3.6.1 Interfaces visuais tácteis 41
3.6.2 Interfaces de voz 43
3.7 INFRAESTRUTURA DE REDE 46

4 METODOLOGIA DE TESTES 48
4.1 TESTES DE CORRENTE MÁXIMA APLICÁVEL 49
4.2 SITE SURVEY 52
4.3 TESTES DE DISPONIBILIDADE DA COMUNICAÇÃO 53
4.4 TESTES DE LATÊNCIA DE COMANDOS 53
4.5 TESTE DE CONEXÕES SIMULTÂNEAS 54
4.6 VALIDAÇÃO DOS MEDIDORES 54

5 RESULTADOS 56
5.1 CUSTOS 56
5.2 TESTES DE CORRENTE MÁXIMA APLICÁVEL 57
5.3 SITE SURVEY 62
5.4 TESTES DE DISPONIBILIDADE DA COMUNICAÇÃO 65
5.5 TESTES DE LATÊNCIA DE COMANDOS 67
5.6 TESTE DE CONEXÕES SIMULTÂNEAS 67
5.7 VALIDAÇÃO DOS MEDIDORES 68
5.8 IMPRESSÕES GERAIS DOS USUÁRIOS 74

6 CONCLUSÃO 76
6.1 DIFICULDADES ENCONTRADAS 77
6.2 TRABALHOS FUTUROS 77

REFERÊNCIAS 79

1 INTRODUÇÃO

O termo automação residencial provém de uma tradução literal do inglês, *Home Automation*. De forma mais ampla pode ser utilizado o termo de origem europeia “domótica” que, além da automação, compreende também outros sistemas como os de comunicação e sonorização.

Datadas do final da década de 1970 nos Estados Unidos, as primeiras soluções de automação residencial eram baseadas em módulos “inteligentes” com comunicação via rede elétrica, no conceito PLC (*Power Line Carrier*), tratava-se de soluções de baixa complexidade como o acionamento remoto de iluminação. (MURATORI, 2011)

Embora, ao falar em automação residencial venha a mente sistemas de alta complexidade e, por vezes relacionadas aos desenhos da família Jetsons ou a Pat, o sistema do filme “A casa Inteligente”, a maior parte das soluções ainda têm como objetivo atividades relativamente simples, como o controle de iluminação e de temperatura.

O avanço tecnológico e a popularização dos computadores, microcontroladores, e comunicações móveis trouxeram mais possibilidades de automação a custos cada vez menores. Estes fatores têm impulsionado a aceitação dessas tecnologias e a criação das denominadas “casas inteligentes”.

Atualmente existem diversas arquiteturas de sistemas de automação residencial, dos quais se destacam:

- Soluções com fio centralizadas por meio de uma central de automação;
- Soluções sem fio centralizadas por meio de uma central de automação;
- Soluções sem fio baseadas em servidores em nuvem e acesso remoto via app;

É possível, ainda, utilizar sistemas que incorporem características de dois ou até dos 3 sistemas acima citados.

Uma das características mais importantes de sistemas de automação residencial é a integração entre equipamentos de diferentes fabricantes, permitindo a expansão e adaptação do sistema, a medida que novos equipamentos são adquiridos. Por este motivo os profissionais que trabalham na área são comumente denominados “integradores”.

1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

A automação residencial vem experimentando uma demanda crescente em razão de tecnologias cada vez mais acessíveis. Porém, ainda sobram espaços para soluções mais integradas, robustas e acessíveis. No tocante a isto, este trabalho visa buscar respostas à seguinte pergunta: “É possível encontrar uma solução que alie confiabilidade, baixo custo relativo e entrega de recursos integrados, conectados e com a experiência de uso esperada pelo público de perfil médio?”

1.2 JUSTIFICATIVA

Os custos de implantação para sistemas de automação residencial variam de acordo com a arquitetura a ser implementada, assim como a confiabilidade da solução final. Sistemas com fio e controle centralizado tendem a ser mais confiáveis à medida que dependem apenas do hardware utilizado. Entretanto, necessitam de alterações nas instalações elétricas e de comunicação, resultando em custos elevados de implantação. Soluções sem fio possuem problemas intrínsecos a comunicação sem fio; interferência, distância, obstáculos, latência, dentre outros. Por este motivo é preciso realizar um bom plano de implantação e uso de tecnologias confiáveis para reduzir a influência destes problemas. Para soluções baseadas em servidores na nuvem, dependemos, ainda, da disponibilidade do link de internet e do servidor em questão. Em contrapartida, estes sistemas costumam ser de instalação simplificada, por vezes baseadas na instalação feita pelo próprio usuário.

De forma simplificada, temos um custo proporcional à confiabilidade do sistema. Além disso, sistemas de custo reduzido costumam ser baseados em aplicativos proprietários fechados, possibilitando pouca ou nenhuma integração com outros equipamentos, o que limita o conjunto das funcionalidades entregues e desejadas pelos usuários.

Dentre as funcionalidades requeridas pelos usuários, pode-se citar a integração transparente de todos os subsistemas a serem automatizados, como; iluminação, conforto térmico, controle dos *home appliances* (máquina de lavar, geladeira, forno, ...) controle dos dispositivos de entretenimento, dentre outros. É preciso também uma melhora na experiência de uso, centralizando as ações em interfaces unificadas, com a tendência do uso de comandos de voz, graças à massificação de serviços como o Amazon Alexa, Apple Home Kit ou Google Home. Atualmente estes recursos apenas estão disponíveis em sistemas de automação *high end*, caracterizados principalmente por seu custo elevado.

Sistemas como os exemplificados são inacessíveis a uma parcela de usuários que poderiam usufruir destes, caso os fabricantes do segmento se preocupassem em melhor adequar as tecnologias para atender tal demanda reprimida, sem comprometimento da qualidade.

Sendo assim este trabalho se justifica por haver uma lacuna na oferta de sistemas que sejam robustos o suficiente para suportar os desafios de uma conectividade sem fio e a serviços de Internet necessários para viabilizar um sistema de automação residencial que atenda às expectativas dos usuários no que tange ao funcionamento previsível e ao custo envolvido, lacuna esta ainda não coberta pelos provedores de solução do segmento.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Verificar a possibilidade de implementação de um sistema de automação residencial que permita o controle integrado de uma residência mantendo o custo reduzido e sem comprometimento da confiabilidade.

1.3.2 Objetivos Específicos

Tendo em vista alcançar o objetivo geral, foram determinados os seguintes objetivos específicos a serem alcançados:

- Implementar automação da iluminação da residência;
- Automatizar o comando de equipamentos como; televisores, ar condicionados e outros;
- Realizar a medição de consumo dos principais equipamentos, que possuam maior impacto no consumo de energia;
- Centralizar toda a automação em uma única IHM e aplicativo remoto;
- Integrar o comando de vários equipamentos por meio de rotinas simples, executadas a partir de um único comando;
- Integração de assistente de voz para realização de comandos;
- Custo de aquisição de materiais abaixo de R$3.000,00;
- Verificar a confiabilidade e disponibilidade do sistema por meio de testes de estresse, termografias, medição de latência de comando e monitoramento de rede.

1.3.3 Limitações da proposta

De forma geral, e conforme veremos a seguir, a automação costuma ser limitada pelo orçamento e pela tecnologia disponível na época. Vivemos em um período de grandes avanços, sendo possível a instalação de sistemas extremamente abrangentes, maior ainda podendo ser a abrangência do trabalho a ser desenvolvido. É por este motivo que se faz necessário não apenas definir metas, mas também limitações ao desenvolvimento deste projeto.

Como limitações implícitas, as quais não poderão ser executadas, podemos citar:

- Desenvolvimento de hardware personalizado;
- Comparação de opções de *hardware* e *software* por meio de testes;
- Testes cíclicos de longa duração;
- Testes de longevidade do sistema;
- Integração com sistemas de multimídia e serviços avançados de áudio e vídeo.

Dentre outras limitações apresentadas devido ao orçamento financeiro e temporal.

2 AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL

De acordo com Alves e Mota (2003) uma residência por si só não é e nem será inteligente, mas sim o uso que fizermos dela. No entanto, é possível assim a denominar quando houver características que a permitam simplificar a vida de seus habitantes. Pode-se agrupar essas facilidades em cinco grandes áreas:

- Segurança;
- Economia;
- Conforto;
- Ecologia;
- Integração.

Uma tecnologia pode se enquadrar em mais de uma das áreas, e a sua importância será dada pelo usuário e o momento em que é inserida. Tomemos como exemplo uma solução de monitoramento da entrada de uma residência com reconhecimento facial, poderia ser enquadrada como uma solução de segurança, no entanto pode também ser utilizada para disparar cenas e rotinas automáticas, podendo se integrar a diversos outros sistemas. É, portanto, uma solução integrada e que traz conforto ao seu usuário. A importância que é dada a cada uma dessas características é determinada pelo próprio usuário.

Idealmente, uma solução deve permear as cinco categorias, sendo que, para o usuário, a característica mais perceptível talvez seja a integração. Sistemas de automação fragmentados, com pouca ou nenhuma integração costumam ser rapidamente rejeitados ou subutilizados.

Pode-se implantar a automação em praticamente qualquer atividade que ocorra dentro da habitação, vejamos alguns dos exemplos sugeridos por Prudente (2011):

- Acionamento e regulação da iluminação;
- Energização de tomadas;
- Acionamento e controle de climatização (aquecedores ou ar condicionados);
- Comando de televisores e equipamentos de multimídia;
- Comando de venezianas, portas e portões;
- Controle de parâmetros atmosféricos;
- Controle de eletrodomésticos;

Estas são algumas das possibilidades e a limitação é comumente imposta pelo orçamento e a tecnologia disponível à época. O avanço tecnológico e a sua popularização são responsáveis pela recorrente quebra dos limites impostos a estes sistemas. Sendo assim, é preciso que sistemas de automação não apenas executem satisfatoriamente o seu propósito, mas também mantenham a possibilidade de futuras expansões e integrações.

A partir da definição acima pode-se chegar a um amplo conceito de automação residencial como sendo: Implementação de um conjunto de tecnologias, protocolos e produtos capazes de atuar de forma integrada para realização de tarefas domésticas de forma automática, melhorando características de segurança, conforto e economia para o habitante da residência.

Assume-se, conforme Bolzani (2007), o termo "domótica" como algo que abraça a automação residencial, que a engloba e a transcende, incluindo outros sistemas que tradicionalmente não são parte dos sistemas de automação residencial, por exemplo: sistemas de sonorização, alarmes e controles de acesso. Uma pesquisa aprofundada neste termo pode trazer respostas difusas, já que alguns autores, como Oliveira (2016) e Simplício, Lima e Silva (2018) consideram equivalentes os termos "automação residencial" e "domótica". Este trabalho ficará restrito aos sistemas propostos na definição básica de automação residencial e por isso não cabe uma discussão semântica mais elaborada.

De acordo com Spivey (2015) inicialmente e, de certa forma, até hoje, a automação residencial é um nicho de mercado para aqueles que são "abençoados com bolsos profundos". Isto porque soluções completas de automação são talhadas para um consumidor específico e suas necessidades demandam absurdas quantidades de tempo, planejamento e ajustes, resultando em custos considerados impeditivos pelo cidadão médio. No entanto, nas últimas décadas e principalmente nos últimos anos, cresce a largos passos o mercado de soluções simples para automação parcial dos ambientes e equipamentos, geralmente impulsionadas pelo conceito de IoT (*Internet of Things*) que será abordado adiante. Estas soluções são disponíveis ao usuário final de forma direta e costumam requerer pouco ou nenhum conhecimento da área para sua instalação e, devido ao seu largo alcance de mercado e produção em escala, possuem reduzido custo de aquisição.

2.1 INTERNET DAS COISAS

O termo internet das coisas, traduzido do inglês *Internet of Things* e representado comumente pela sigla IoT, é caracterizado principalmente pela presença de objetos, sensores e dispositivos que se comunicam e interagem em uma rede (como a internet). (SOUZA, 2016)

É um conceito relativamente simples, significa adicionar conectividade e permitir a interação com meio a qualquer objeto ou dispositivo que seja pertinente. Atualmente, vem ganhando força com o avanço da tecnologia de microcontroladores e a redução de custos e de consumo energético. É possível encontrar geladeiras, máquinas de lavar, condicionadores de ar e até lâmpadas com comunicação embarcada e a capacidade de comunicação com servidores e aplicativos de comando, permitindo a automação destes equipamentos e a sua interação com o usuário de forma mais complexa. Também é possível encontrar dispositivos externos que são capazes de adicionar as mencionadas capacidades a dispositivos comuns.

Ao falar de IoT na automação residencial, tem-se um problema fundamental, pois a indisponibilidade do link de internet é capaz de tornar todo o sistema inoperante, ainda que o usuário esteja no mesmo ambiente do equipamento. Estes dispositivos devem, portanto, possuir uma forma de acionamento independente da comunicação em rede, ou deve-se tomar medidas para mitigar possíveis problemas que levem a indisponibilidade de comunicação, adicionando redundâncias e utilizando uma infraestrutura de rede confiável.

De acordo com Oliveira (2016), outro problema que deve ser endereçado é o fato de esta abordagem tecnológica ainda estar em sua infância. Desta forma, ainda existe uma pluralidade de protocolos e interfaces de comunicação incompatíveis entre si, o que dificulta a interoperabilidade e a interação entre dispositivos com implementações divergentes. Essa pluralidade é facilmente observada ao se tentar realizar uma automação residencial baseada em IoT e dispositivos móveis como interface de comando, pois deve-se instalar uma grande quantidade de aplicativos, tornando a automação não integrada e de utilização complexa.

2.2 CONFIABILIDADE

Embora questões como o custo de implantação e o consumo energético sejam características importantes para a seleção e viabilidade de um sistema de automação residencial, talvez o aspecto mais importante destes sistemas seja a segurança, por isso podemos dividir este conceito em:

Segurança de dados – Um sistema informatizado é capaz de coletar diversas informações, quanto maior o número de entradas deste sistema, maior o volume de dados. Ao falar de sistemas de automação residencial fala-se de um sistema informatizado com acesso a informações particulares, padrões de uso e de consumo, cronograma diário, podendo até incluir acesso a câmeras e microfones.

Segurança elétrica – O princípio de funcionamento da automação residencial é o controle de equipamentos elétricos, seja por meio de comandos ou chaveamentos, possibilitando a adição de pontos de aquecimento e de sobrecargas, capazes até mesmo de levar a focos de incêndio. Este tipo de falha está comumente ligado à qualidade do produto ou ao uso fora das especificações.

Segurança física dos ocupantes da casa – A possibilidade de atuação automática em horários predeterminados, ou por meio de rotinas de inicialização, é um dos maiores atrativos de sistemas como o proposto. No entanto, em muitos casos não há um *feedback* ou verificação de condições para a execução de determinadas atividades, podendo gerar situações de risco aos ocupantes da residência, como por exemplo a ligação automática de uma lareira por temporização, sem a verificação dos arredores, aumentando a possibilidade de incêndios.

Existem ainda outras situações que poderiam ser tratadas, mas os exemplos acima são suficientes para o entendimento do conceito.

Outra característica capaz de inviabilizar a utilização de um sistema é a baixa disponibilidade. A intermitência em sistemas de automação gera dúvida e insegurança sobre o seu funcionamento, sendo preciso manter opções alternativas, com o tempo o usuário passa a retornar para a utilização dos métodos comuns de acionamento.

A disponibilidade do sistema pode ser medida em termos de MTBF (*Mean Time Between Failures*), que é o tempo médio entre falhas, e MTTR (*Mean Time To Repair*) que é o tempo médio para reparar um sistema após a falha. (ROSARIO, 2016)

De forma geral, pode-se chegar a máxima de que: Não adianta o sistema ser barato, se não há segurança ou se a disponibilidade é baixa.

Um sistema seguro e previsível, este último podendo ser medido por meio da disponibilidade, pode ser considerado um sistema confiável. A partir de agora, será definida como confiabilidade a intersecção entre estes dois conceitos.

Existem muitas características em um sistema de automação residencial. Em geral pode-se abstrair grande parte destes e dividi-los de acordo com as características principais da solução adotada, a seguir são apresentas algumas formas em que os sistemas se dividem.

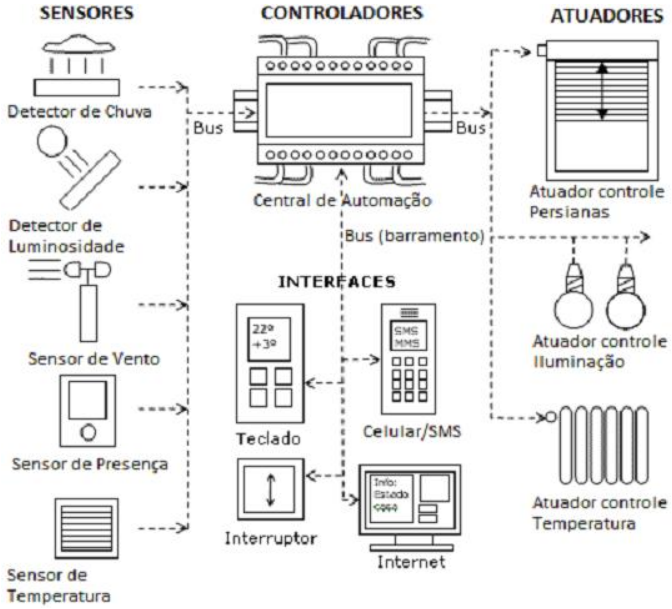
2.3 ARQUITETURA DOS SISTEMAS

A classificação da arquitetura de um sistema de automação residencial é feita de acordo com o posicionamento do sistema de controle. Pode-se utilizar arquiteturas centralizadas, descentralizadas e distribuídas, a seguir serão apresentadas em detalhes cada uma destas opções.

2.3.1 Automação centralizada

Na automação centralizada todas as cargas devem ser encaminhadas a um quadro de automação onde será realizada a comutação e o comando por meio de centralizadores. Pode-se observar um exemplo na figura 1, em que o controlador é a peça central do sistema. Sistemas como este possuem grande estabilidade e uma maior oferta de fabricantes. Em geral, o custo de aquisição dos componentes tende a ser menor em relação as demais arquiteturas apresentadas. Entretanto, o custo de implantação é elevado, além de expansões e até o diagnóstico de problemas se tornarem mais complexos. Em regra, são aplicáveis apenas em novas obras devido a grande quantidade de cabos necessários para a sua implementação. (ACCARDI; DODONOV, 2012) (COSTA, 2018)

Figura 1 - Exemplo de automação centralizada.



Fonte: Casadomo (2010, *apud* ACCARDI; DODONOV, 2012).

2.3.2 Automação descentralizada

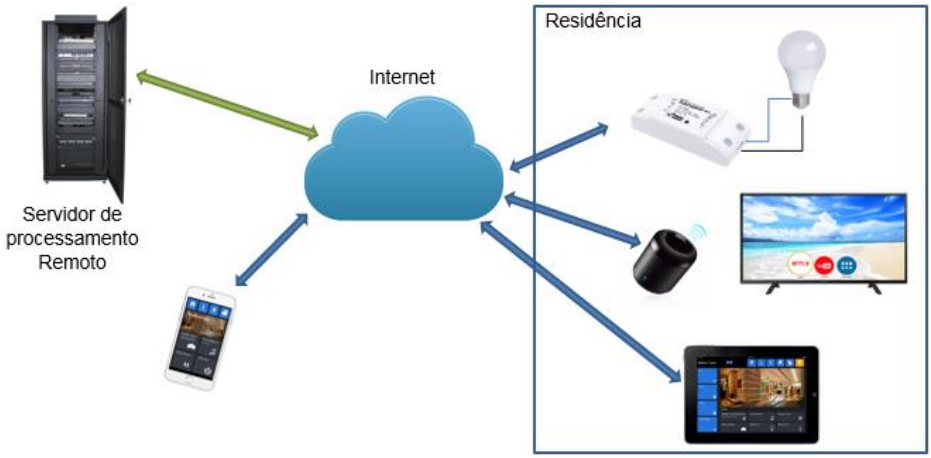
Podem existir vários controladores ligados por um barramento de comunicação para compartilhar informações e atuar como uma única central. É utilizada quando a área a ser automatizada é muito grande, ou necessita de separações claras entre regiões. Por exemplo, uma residência de grande porte pode ter vários quadros de automação que se comunicam entre si. (ACCARDI; DODONOV, 2012) (COSTA, 2018)

2.3.3 Automação distribuída

Nesta arquitetura os módulos de controle e acionamento das cargas ficam próximos ou até internamente às cargas e se comunicam uns com os outros diretamente ou por meio de servidores que podem ser locais ou remotos (acessíveis por meio da internet). É nesse contexto que se enquadram várias das opções IoT, geralmente com comunicação e acesso via servidores remotos. Destacam-se como vantagens desse tipo de sistema a instalação mais rápida, barata e modular, o que permite grande flexibilidade de projeto e pouca alteração das instalações. Além disso, uma falha em um sistema não necessariamente compromete os demais. Como desvantagens observa-se a dependência da comunicação para o correto funcionamento resultando na necessidade de canais de comunicação robustos e confiáveis. (COSTA, 2018)

Na figura 2 observa-se um exemplo de topologia distribuída com servidor remoto, em que todos os comandos devem seguir pela internet até o servidor de processamento remoto e então retornar. Uma falha de conexão tornaria o sistema não operante e não há diferenciação entre uma de interface de comando ligada a mesma rede local ou a um link externo.

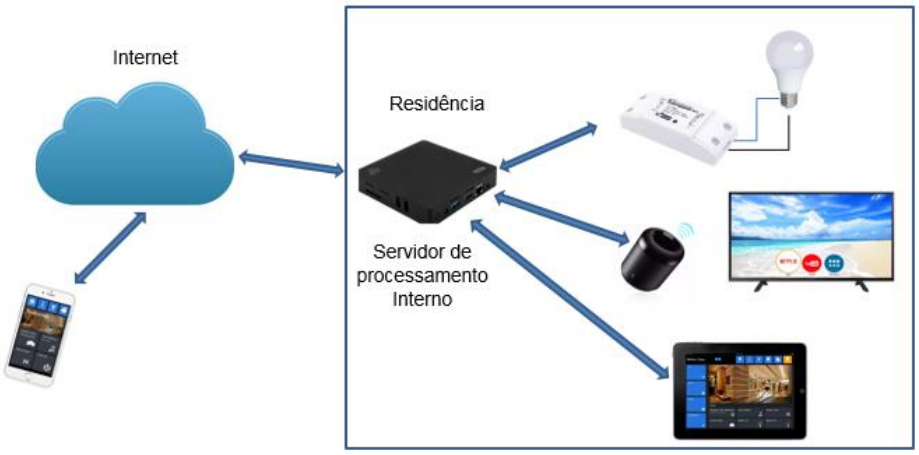
Figura 2 - Exemplo de sistema distribuído com servidor remoto.



Fonte: Autor (2019).

Na figura 3 é apresentado um exemplo de topologia distribuída com servidor local. Todos os comandos são emitidos a partir da rede local e a integração entre os equipamentos também é realizada pelo servidor interno, sendo que ele pode possuir acesso remoto. No caso de uma falha na internet, apenas o acesso remoto é perdido e internamente a edificação não há alterações no funcionamento. Destaca-se ainda que dispositivos conectados a mesma rede local tendem a possuir menor latência de resposta.

Figura 3 - Exemplo de sistema distribuído com servidor local.



Fonte: Autor (2019).

2.4 INTERAÇÃO ENTRE OS DISPOSITIVOS

Existem basicamente 3 níveis de automação em relação à interação entre os elementos. Os sistemas autônomos ou *stand alone*, os sistemas integrados e os sistemas inteligentes. A seguir serão apresentados em detalhes cada um destes níveis.

2.4.1 Sistemas autônomos

Consideram-se como sistemas autônomos todos aqueles que são capazes de operar de forma independente, sem a intervenção de um controlador central. Em geral, são sistemas eletromecânicos ou digitais de baixa complexidade, por exemplo: Automatizadores de portão; Centrais de alarme; Relé fotoelétrico e temporizadores. (COSTA, 2018)

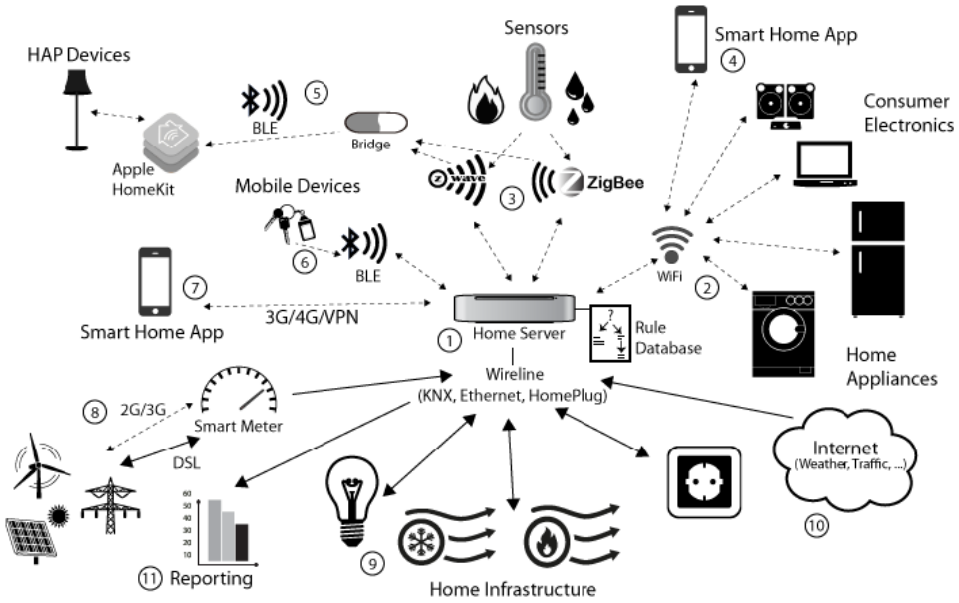
2.4.2 Sistemas integrados

Sistemas que trocam informações para trabalharem juntos, estabelecendo a interoperabilidade, mas sem a atuação de um controlador central. Por exemplo, um DVR que realiza a detecção de movimento por meio de imagens e envia informações para acionamento de uma central de alarme, ou para o acionamento de um portão. Em contrapartida, a abertura do portão ou acionamento do alarme poderiam fazer com que uma das câmeras móveis focalizasse em um ponto específico. Estes sistemas trabalham de forma integrada. (COSTA, 2018)

2.4.3 Sistemas inteligentes (*Smart*) ou complexos

Quando todos os subsistemas são interligados fazendo a troca de informações e sendo gerenciados por uma central é possível considerá-lo um sistema inteligente ou “complexo”. É preciso que os subsistemas possuam comunicação bidirecional, e para isso podem ser utilizados diversos protocolos e interfaces de comunicação, conforme será abordado mais adiante e como é destacado na figura 4. (COSTA, 2018)

Figura 4 - Exemplo de um sistema de automação inteligente.



Fonte: (SMART AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL, 2019).

2.5 INTERFACE E PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO

Existem duas categorias de automação e dentro de cada categoria existe uma grande diversidade de possíveis protocolos para a sua correta aplicação. A seguir são apresentados alguns deles.

2.5.1 Comunicação com fios

É mais utilizada em construções partindo do zero ou em reformas. O integrador deve projetar o sistema em conjunto com arquitetos, engenheiros e designers para obter o melhor aproveitamento da planta. Costuma ter um custo superior, pois além dos equipamentos, é preciso utilizar cabos e tubulações. Pode ser implantado de forma centralizada ou descentralizada. (Oliveira, 2016)

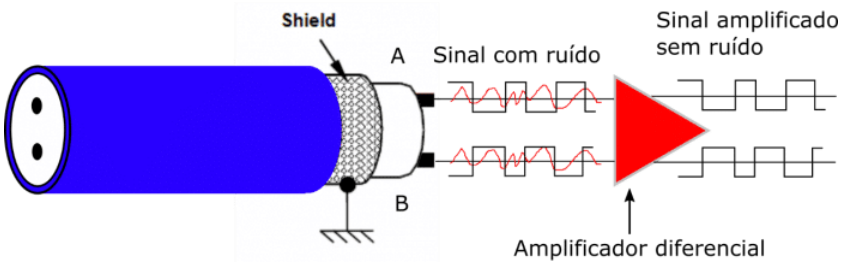
Pode-se citar como maiores vantagens dos sistemas com fio:

- Maior taxa de comunicação;
- Maior resistência a ruídos e interferências;
- Dificuldade de interceptação da comunicação fora do ambiente controlado, o que torna os sistemas com fio mais seguros do ponto de vista de dados;
- Facilidade na instalação de *No-break* sendo que, geralmente, junto ao canal de comunicação, é distribuída a alimentação dos sensores e atuadores.

Em relação aos principais protocolos de comunicação utilizados em sistemas de automação residencial com fio, destacam-se:

RS-485: É mais uma interface de comunicação do que um protocolo. Sobre este podem ser implementados diversos dos protocolos que serão abordados a seguir. É uma interface amplamente utilizada na indústria e foi incorporada também na automação residencial, além de ter "inspirado" várias das outras tecnologias, utilizando um par de cabos sobre o qual trafega um sinal diferencial, como demonstrado na figura 5. Sua grande vantagem está na robustez a ruídos. Interferências afetam os dois cabos de forma igual, sendo possível por meio do sinal diferencial filtrar o ruído de modo comum e obter boas relações sinal/ruído mesmo em ambientes industriais. A topologia mais comum é *half-duplex* em barramento, sendo fácil a adição de novos componentes que podem chegar a 255. Entretanto, deve-se considerar a ocupação do barramento, já que todos os dispositivos compartilham um único canal de comunicação. A taxa máxima de transferência é de 10Mbps, sendo inversamente proporcional ao comprimento total do barramento. (FREITAS, 2017)

Figura 5 - Sinal diferencial em um barramento RS-485.



Fonte: (FREITAS, 2017).

Ethernet: É uma tecnologia de comunicação em rede local baseada em pacotes. Define o cabeamento e sinais na camada física e é amplamente utilizada na conexão de computadores em rede.

ModBus: Protocolo desenvolvido pela Modicon Inc. para ser utilizado como meio de comunicação entre elementos de uma rede. Durante a comunicação, o protocolo determina como cada dispositivo é identificado, como reconhece uma mensagem endereçada a ele, determina o tipo de ação e obtém todas as informações necessárias à sua execução. É baseada na técnica de mestre-escravo, em que apenas um dispositivo por vez inicia a comunicação e os demais apenas respondem os dados solicitados. Pode operar sobre as interfaces **RS232, RS485**, além de possuir uma versão para tráfego em pacotes TCP/IP configuráveis por hardware. (INSTRUMENTOS, 2000)

BUSLINE: Usam uma arquitetura de comunicação de barramento por par trançado em 24V, podendo seguir em paralelo a rede elétrica, o que facilita e barateia a sua instalação. As principais tecnologias são: Bati-Bus, EIB, EHS e KNX, dentre os quais destaca-se o uso do KNX, criado pela KNX *Association*, que faz grande sucesso na Europa e sua utilização tem se popularizado cada vez mais devido a sua eficácia, embora seu custo seja superior a outras soluções. É focado na gestão das instalações elétricas, gestão de recursos e o controle e segurança do ambiente. Não possui um dispositivo central controlando as comunicações, ou seja, consiste em um conjunto descentralizado de sensores e atuadores em que cada um toma as suas decisões e é responsável pela alimentação e comunicação dos equipamentos. (RIBEIRO, 2018)

SBUS: "Smart-BUS" é um protocolo baseado em *Advanced* RS485, e a sua comunicação se dá sobre barramento bidirecional, podendo conectar até 250 dispositivos em um único cabo de até 1200m, sendo que são utilizados 2 pares de fios, 1 par servindo para a comunicação e o outro para alimentação dos dispositivos. É um protocolo patenteado, mas também é aberto para desenvolvedores e integradores profissionais por meio de cadastro junto a empresa detentora dos direitos. (SMART HOME GROUP, 2019)

2.5.2 Comunicação sem fios

Baseada em radiofrequência, é a mais utilizada hoje em dia, devido ao seu menor custo de implantação, não requerendo extensivas obras e cabeamento como a arquitetura com fios, o que torna a sua instalação muito mais simples em obras finalizadas. O alcance costuma variar na casa de dezenas de metros, o que torna imprescindível a verificação de distâncias, barreiras e fontes de interferência para a sua correta utilização. Existe atualmente uma tendência do mercado de automação para dispositivos IoT sem fio, a maioria baseada na instalação pelo próprio usuário sem qualquer tipo de conhecimento técnico. (Oliveira, 2016)

Pode-se citar como maiores vantagens dos sistemas sem fio:

- Facilidade de instalação do sistema;
- Facilidade de ampliação do sistema com a instalação de novos pontos;
- Custo inferior de implantação;
- Instalação em obras finalizadas, sem a necessidade de grandes obras;

Entretanto, como desvantagem pode-se citar os problemas intrínsecos de uma comunicação sem fios. É necessário realizar uma extensiva vistoria do local em que será instalado o sistema, realizar a correta seleção de uma faixa de frequência a fim de evitar a alocação em bandas muito ocupadas e evitar obstáculos à propagação do sinal e fontes de interferência. Em geral, são várias as fontes que podem causar problemas de comunicação em um sistema sem fios, devendo realizar um bom projeto de implantação para que não haja surpresas que afetem a disponibilidade do sistema.

Em relação aos principais protocolos e interfaces de comunicação utilizados em sistemas de automação residencial sem fio, destacam-se: (Oliveira, 2016) (HERRUZO, 2019) (DIAS; PIZZOLATO, 2004) (BOLZANO, 2004)

Wi-Fi: É o protocolo de comunicação mais conhecido. Pode operar em 2,4 GHz com alcance médio de até 100 m sem barreiras e taxas de 11Mbps, 54 Mbps, 150 Mbps ou até 300 Mbps. Recentemente foi criada uma alternativa com 5 GHz, uma frequência com menor ocupação e menor interferência, com taxas de até 867 Mbps ao custo de uma redução em seu alcance. Os dispositivos que utilizam os demais protocolos sem fio costumam possuir uma interface para acesso à internet, a qual comumente utiliza Wi-Fi. É, portanto, o protocolo mais comum em dispositivos IoT.

ZigBee: Possui baixo consumo de energia, podendo ser alimentado por baterias por meses ou até anos sem necessitar de substituição, e, ainda, é considerada de baixo custo. Trabalha no conceito de rede (*mesh*), sendo que cada um dos até 255 dispositivos serve como um retransmissor, permitindo que a rede se adapte da melhor forma para desviar dos obstáculos e integrar todos os dispositivos. Opera nas faixas de frequência de 868 MHz na Europa, 915 MHz nos EUA e Austrália e 2,4 GHz mundialmente. As taxas de transmissão variam de 20 Kbps a 900 Kbps e o alcance de 10 m a 75 m. Para economizar energia permanece latente até que seja “acordado” por uma mensagem.

Z-Wave: Semelhante à ZigBee em relação ao consumo de energia e método de comunicação. Trabalha com velocidade de comunicação de até 100 Kbps, e com uma frequência de 900 MHz. Devido à frequência utilizada possuir menor saturação de usuários

resulta em menor interferência. Além disso, a frequência menor possibilita a penetração mais fácil das ondas em paredes, pisos e móveis. Assim como a ZigBee, trabalha em *mesh*, suportando até 232 por malha e com alcance médio entre os dispositivos de 30 m (máximo de 100 m). Existe uma melhoria do padrão denominada Z-Wave Plus, que é totalmente compatível com os produtos Z-Wave.

Bluetooth: Opera na mesma frequência do Wi-Fi, é mais barato, mas possui menor alcance. Divide-se em 3 classes com alcance de 1 m (classe 3), 10 m (classe 2) e 100 m (classe 1). A banda de transmissão varia de 1 Mbps até 50 Mbps de acordo com a versão.

Infravermelho (IR): Possui taxa de transmissão relativamente alta, entretanto, devido ao seu princípio baseado em luz pulsada, é preciso visada direta entre o emissor e receptor, sendo o alcance máximo de poucos metros. Não é utilizado como meio de transmissão em um sistema de automação devido ao baixo alcance e a facilidade de obstrução, mas devido a sua utilização na atuação de controles remotos pode-se utilizar o infravermelho como método de controle direto a equipamentos.

3 SOLUÇÃO DESENVOLVIDA

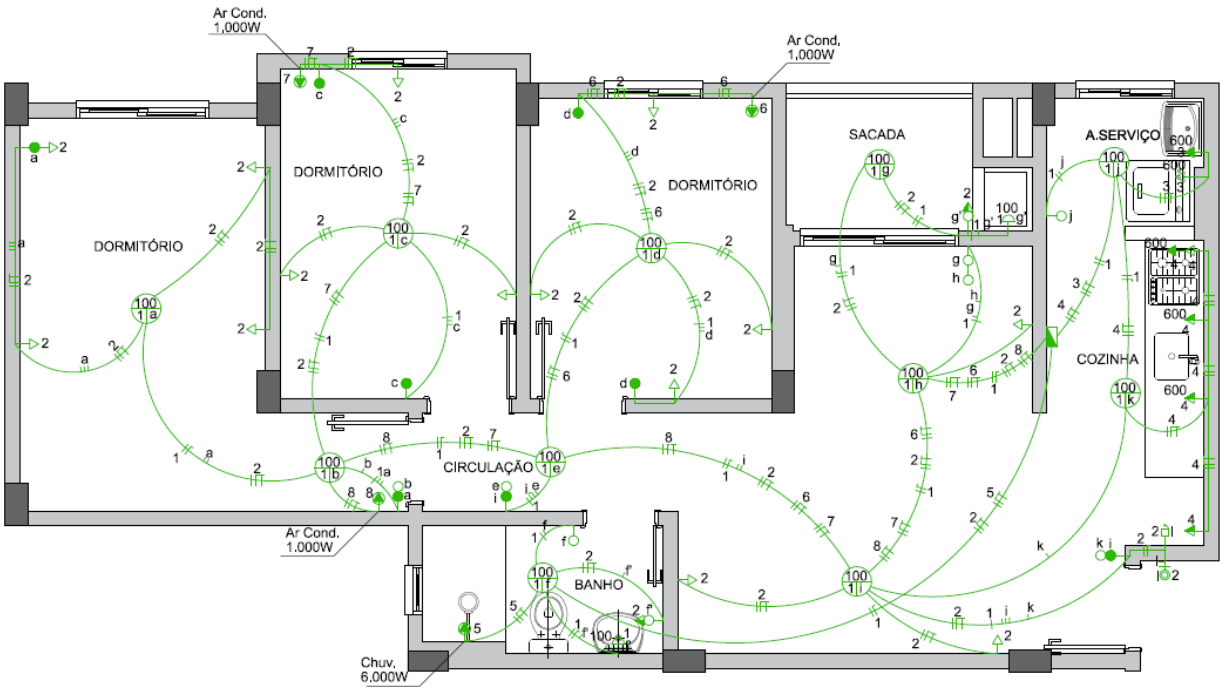
Antes de iniciarmos a definição da solução desenvolvida para a desejada automação é preciso descrever quais processos serão automatizados. Conforme foi explanado anteriormente, é possível obter vários níveis de automação, geralmente limitando-se ao orçamento e tecnologias disponíveis.

Este projeto foi fortemente limitado pelo quesito econômico, haja vista que um dos principais objetivos é a realização de uma automação com custo reduzido e limitado. Desta forma o sistema foi restringido aos objetivos descritos no capítulo 1.3 que podem ser resumidos da seguinte forma:

- Automação da iluminação;
- Automação de equipamentos com interface IR;
- Medição de consumo de energia dos principais equipamentos.

Como estudo de caso foi selecionada uma planta de apartamento com 3 quartos e 69m² de um dos autores. A figura 6 apresenta a planta elétrica desta unidade. É preciso ressaltar que a planta obtida se trata de uma unidade espelhada em relação a posição real do imóvel.

Figura 6 - Planta do apartamento a ser automatizado.



Fonte: Autor (2019).

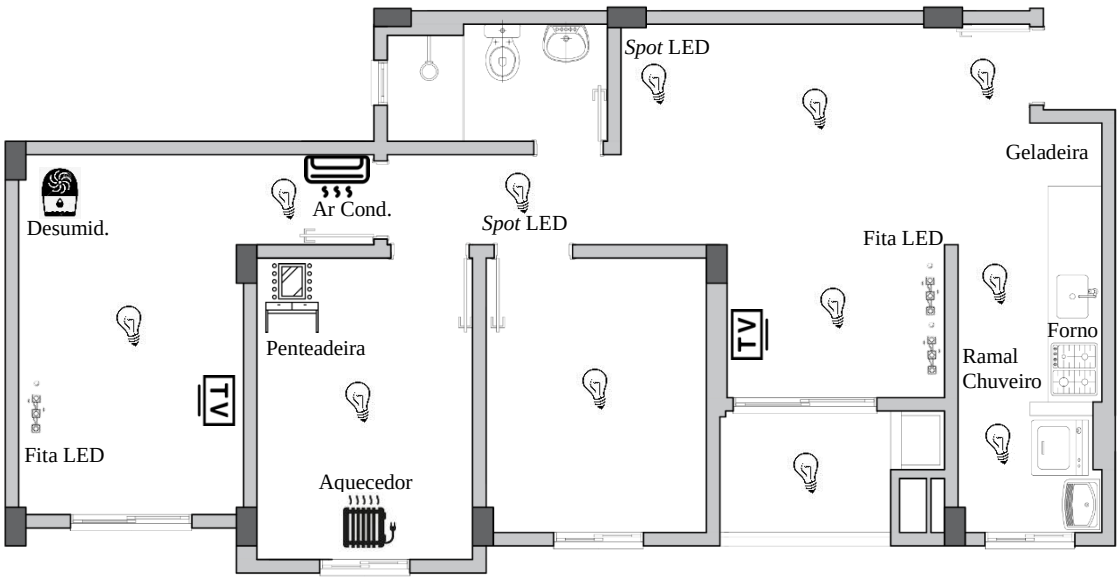
Como é possível observar na figura 6 existem dez pontos de iluminação (excetuando-se o banheiro) e três condicionadores de ar. No entanto, apenas um ar condicionado foi instalado e outros três pontos de iluminação foram adicionados, assim como duas fitas de LED. Existem também dois televisores, um na sala e outro no quarto principal os quais se deseja automatizar.

Em relação aos pontos de interesse para medição foram selecionados os seguintes:

- Ar condicionado;
- Forno elétrico;
- Geladeira;
- Chuveiro;
- Entrada de energia bifásica;
- Desumidificador;
- Penteadeira;
- Aquecedor.

Na figura 7 destaca-se de forma simplificada a alocação de todos os equipamentos que devem ser automatizados na orientação correta do imóvel.

Figura 7 - Planta com os equipamentos a serem automatizados.



Fonte: Autor (2019).

Visando os objetivos previamente estabelecidos de confiabilidade e baixo custo, optou-se pela utilização de um sistema do tipo descentralizado com interação inteligente. Desta forma, conforme os conceitos vistos anteriormente, os controladores serão instalados próximos a carga, e se comunicarão por meio de uma central para criar uma rede de automação integrada.

Definidos os pontos de interesse e a premissa da automação, é preciso definir os equipamentos que serão utilizados e de que forma serão empregados. Para facilitar a seleção destes produtos o sistema foi dividido de acordo com a lógica de automação, neste caso em três grandes grupos que se assemelham ao resumo dos itens do capítulo 1.3:

- Acionamento do tipo digital (ligado/desligado);
- Controle por meio de IR;
- Controle e monitoramento de consumo.

Nas próximas seções serão examinados estes grupos de forma individual propondo formas de realizar a devida automação, sendo preciso ainda verificar os requisitos da central de automação, das interfaces de comando e da infraestrutura de rede.

3.1 CENTRAL DE AUTOMAÇÃO

A central é a peça chave na automação como foi proposta, para que seja estável e possua alta disponibilidade é necessário que a central seja sempre funcional e acessível.

A central de automação neste contexto se trata de um computador que deve estar disponível na rede 24h, rodando um *software* que é responsável pela verificação de todos os subsistemas e variáveis, sempre tomando decisões e ações baseadas nestes dados. Em um sistema comercial seria utilizado um servidor de automação especialmente desenvolvido para tal atividade, mas tal abordagem possui elevado custo. O *software* a ser utilizado também deve ser específico para esta atividade, existindo diversas opções a custos variáveis.

Tendo em mente o objetivo de custo reduzido, optou-se pela utilização de um *software open source*, que possibilite a integração entre elementos e subsistemas de diversos fabricantes, e que não possua custos para a sua instalação e operação. Existem algumas opções neste âmbito, mas apenas três são amplamente adotadas e possuem documentação satisfatória, sendo estes: (SMART HOME, 2019)

OpenHab – Plataforma desenvolvida em Java, permitindo a sua instalação em diversos sistemas diferentes. Este sistema não é ligado a nenhum fabricante ou tecnologia específica e sua arquitetura é baseada em *bindings* que adicionam suporte aos mais diversos equipamentos. Como resultado destas características, se uma solução se torna popular é provável que o suporte a esta se torne disponível cedo ou tarde.

Domoticz – É um sistema “leve” quando comparado às outras duas opções apresentadas. A configuração é feita por meio de uma interface web e podem ser usados *plugins* para ampliar as funcionalidades.

Home Assistant – Dos três sistemas é o mais novo, pois possui uma comunidade em expansão e uma abordagem mais amigável, baseando-se na simplicidade. Seu desenvolvimento foi realizado em Python e assim como o Domoticz sua funcionalidade é expandida por *plugins*.

Os três sistemas acima mencionados possuem funcionamento semelhante, para que possam ser diferenciados foi montada o quadro 1 por meio da compilação dos dados expostos pela comparação realizada em Smart Home (2019). É preciso enfatizar que esta comparação se trata de uma análise subjetiva realizada por usuários, entretanto, serve ao propósito de elucidar alguns aspectos de cada software.

Quadro 1 - Comparação entre os sistemas mais usados para automação open source.

	Instalação	**Configuração**	**Flexibilidade**	**Comunidade de usuários**	**Ritmo de desenvolvimento**
OpenHab	Simples	Na interface ou edição de arquivos JSON	Alta	Numerosa, ativa e solidária	Lento, valoriza a estabilidade
Domoticz	Simples	Web UI, não é intuitiva	Limitada	Reduzida e lenta	Lento devido a comunidade reduzida
Home Assistant	Simples	Automatizada ou por meio de edição YAML	Boa	Em expansão, muitas dúvidas, poucas soluções	Rápido, em detrimento da estabilidade

Fonte: Compilado de (SMART HOME, 2019).

De acordo com o quadro comparativo não há motivos para utilização do sistema “Domoticz” em detrimento das outras duas opções. Entre as opções restantes há vantagens na utilização de ambos os sistemas. Todavia, quando analisamos os principais objetivos deste projeto, custo e confiabilidade, vemos que o requisito de custo é atendido por ambos, enquanto a confiabilidade (neste caso medida por meio da estabilidade) do sistema OpenHab é considerada superior, por este motivo optou-se pela utilização deste sistema.

O *software* escolhido pode ser instalado em diversos *hardwares* desde que equipados com um sistema operacional baseado em linux, incluindo a placa de desenvolvimento *raspberry*

pie, reconhecida por seu baixo custo e versatilidade. Neste projeto optou-se pela utilização de um mini pc Z83II, cujas especificações serão apresentadas a seguir na figura 8. Este *hardware* foi utilizado por estar disponível em função da utilização em projeto anterior já finalizado, além de possibilitar expansões futuras e utilização simultânea como estação de multimídia e armazenamento de dados em rede (NAS).

Figura 8 - Mini PC Z83II.

Processor: Intel Atom X5-Z8350 4 núcleos de 1,44GHz e 1,92GHz de turbo boost;
GPU: Intel HD graphics 400
RAM: 2GB DDR3L
Espaço interno de armazenamento: 32 GB
Sistema operacional Instalado: Xubuntu
Wi-fi: 2,4GHz e 5GHz
Bluetooth: 4.0

Fonte: Adaptado de (BANGGOOD, 2019).

É nesta central que é realizada toda a integração entre os subsistemas e equipamentos que veremos a seguir, incluindo as interfaces de comando e a integração com assistentes de voz. Também é nesta central que serão programadas as rotinas e cenas, uma das maiores vantagens de sistemas de automação, permitindo que apenas um comando seja responsável pela execução de diversas atividades e configurações.

3.2 ACIONAMENTO DIGITAL

É a forma mais simples de controle para equipamentos que permitem o desligamento e religamento por meio do chaveamento da alimentação elétrica. Como dito anteriormente, foi a primeira forma de automação criada, e ainda é a mais versátil, sendo muito utilizada para controles simples.

Neste projeto todas as lâmpadas foram automatizadas desta forma. A utilização de lâmpadas com dimerização é algo desejável, uma vez que traz economia de energia e torna o ambiente mais adaptável aos seus usuários. Contudo, seu custo ainda é elevado e na planta em que a automação foi sugerida, nenhum dos pontos contava com essa modalidade de iluminação.

Foram pesquisadas várias opções de *hardware* que atendessem aos requisitos de automação descentralizada, de baixo custo e confiabilidade elevada para acionamento digital.

Soluções do tipo Z-Wave e Zigbee são consideradas de alta confiabilidade, mas, em geral, possuem um elevado custo ou são limitadas à atuação proprietária, não permitindo total integração com outros equipamentos. Uma pesquisa rápida de mercado nos informa que

produtos baseados nestas tecnologias são comercializados e/ou importados a valores nos três dígitos. É neste contexto que podemos citar produtos como a linha Fibaro, alguns dos mais reconhecidos no Brasil, mas que possuem um custo agregado alto, dificultando sua utilização em projetos de baixo custo.

Produtos que utilizem interface de comunicação cabeada requerem obras para a passagem de novos conduítes, ou pelo menos a passagem de grande quantidade de cabos, algo que é difícil em imóveis acabados, principalmente em imóveis de médio e baixo custo, em que a possibilidade da automação não tenha sida prevista.

Por este motivo recorreu-se, para que sejam atendidos os requisitos de baixo custo, a produtos baseados em redes Wi-Fi. Devido à simplicidade e a inundação do mercado com produtos deste tipo, os preços hoje são atrativos. No entanto, a quase que totalidade destes produtos é baseada em IoT, com a utilização de servidores remotos como central de automação, algo que torna o sistema refém da conexão com a internet e de fabricantes nem sempre dispostos a realizar integrações com outras soluções.

Neste contexto, dois fabricantes se destacam, a ITEAD com a sua linha Sonoff, e a Allterco Robotics, com a linha Shelly. Ambos possuem produtos bastante similares, sendo que a linha Shelly tem dimensões reduzidas em comparação a produtos similares da Sonoff. A seguir realizamos por meio do quadro 2 uma comparação entre os produtos mencionados.

Quadro 2 - Comparação entre Shelly 1.0, Sonoff *basic* e Sonoff Mini.

	Tamanho [mm]	**Tensão de operação**	**Corrente máxima**	**Wi-Fi**	**Interruptor físico**	**Aplicativo**	**Integra com OpenHab**	**Certificações**
Shelly 1.0	36x41x17	110-240V 50/60Hz 24-60V DC 12V DC	16A	Sim	Aceita	Shelly Cloud	*binding*, ou MQTT	CE RoHS2
Sonoff Basic	88x38x23	90-250V 50/60Hz	10A	Sim	Não tem	Ewelink	Não	CE RoHS
Sonoff Mini	42,6x42,6 x20	100-240V 50/60Hz	10A	Sim	Aceita	Ewelink	Rest API	CE RoHS

Fonte: Autor (2019).

Conforme podemos observar acima, os três produtos possuem características semelhantes em relação à disponibilidade de aplicativo para acesso direto e operam em tensão de 220V. Entretanto, é possível observar que o Shelly 1.0 possui opções de integração com o

OpenHab, algo que não é aceito de forma nativa no Sonoff. Além disso, a corrente máxima aplicável ao Shelly é de 16 A, contra apenas 10 A em ambos os modelos da ITEAD.

As características acima mencionadas poderiam destacar como candidato mais viável o uso do Shelly 1.0. Todavia, o custo dele é de aproximadamente US$ 11,00, contra US$ 4,30 do *basic* e US$ 6,50 do Sonoff mini. Além disso, o Shelly não pode ser encontrado no mercado nacional no momento desta pesquisa, enquanto os demais produtos foram adquiridos em fornecedores nacionais aos preços de R$ 32,00 para o Basic e R$ 48,00 para o mini.

A disponibilidade local, a diferença de preços e a possibilidade de suporte a interruptor físico fez com que fossem utilizados os equipamentos do modelo Sonoff Mini para automatizar a iluminação.

Conforme foi visto na tabela 2, o equipamento selecionado possui integração com o *software* OpenHab por meio de uma API específica. Esta integração é simplória e reportada por diferentes usuários como falha, o que fez com que fosse indicada a alteração do firmware original do produto por outro que ofereça integração completa.

O microcontrolador utilizado nas três opções apresentadas, assim como de diversos outros equipamentos de IoT, é da família ESP. O recente interesse da comunidade "*hobbista"* por produtos semelhantes ao que está sendo estudado aqui culminou no surgimento de um número considerável de *firmwares* customizáveis e compatíveis com vários produtos que utilizem os mencionados microcontroladores ESP. Dentre as opções, destaca-se com maior proeminência o uso do Tasmota.

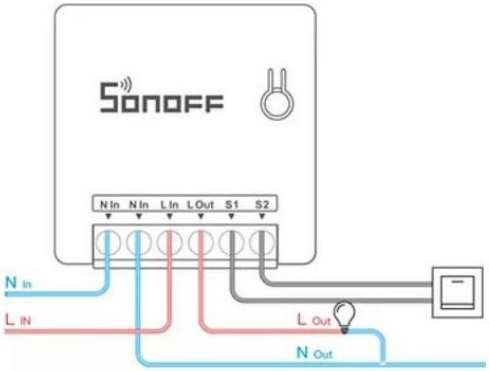
De acordo com a sua página oficial, o Tasmota, é um *firmware open source* alternativo para diferentes produtos baseados no ESP8266 (INGRAHAM, 2019), algumas de suas funcionalidades são:

- Configuração inicial simplificada;
- Interface para configuração e controle baseada em página HTTP;
- Atualizações de *firmware* por meio da interface ou OTA (*over the air)*;
- Regras e temporizadores diretamente no equipamento;
- Controle por meio da interface web, MQTT, requisições web ou terminal serial;
- Configuração simplificada com o uso de *templates;*
- Suporte a expansão de funcionalidades não especificadas pelos fabricantes;
- Integração facilitada com sistemas de automação como OpenHab, Home Assistant, Domoticz e outros;
- Suporte ao protocolo KNX IP.

Nos dispositivos Sonoff mini a alteração de firmware foi prevista pelo fabricante que disponibilizou o modo DIY (*Do It Yourself*) e pode ser realizada por meio da interface Wi-Fi, sem a necessidade de conexões de cabos ou alterações físicas no produto que possam comprometer a sua integridade física, sendo que este processo é irreversível se realizado da forma proposta pelo fabricante.

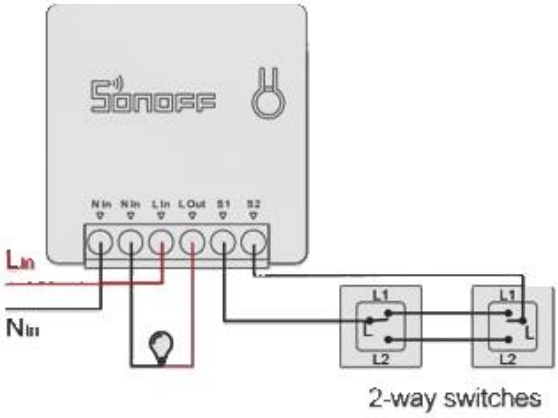
A instalação destes equipamentos foi realizada conforme proposto na imagem 9 nos pontos acionados por meio de interruptores simples, e conforme a figura 10 para pontos acionados por interruptores paralelos.

Figura 9 - Esquema de instalação do Sonoff mini para interruptor simples.



Fonte: (ITEAD, 2019a).

Figura 10 - Esquema de instalação do Sonoff mini para interruptor paralelo.



Fonte: Alterado a partir de ITEAD (2019a).

3.3 MEDIÇÃO DE ENERGIA

A medição de energia é cada vez mais utilizada em sistemas de automação residencial. Ela permite a verificação de perfis e o melhor controle do consumo de energia na residência, trazendo benefícios econômicos e ecológicos, além de auxiliar a manutenção da residência.

Um levantamento dos produtos disponíveis no mercado indicou duas linhas principais deste tipo de produto, uma delas é voltada a medição em circuitos de potência limitada, a outra é voltada a medições de potência elevada.

Para os circuitos de baixa potência novamente destacamos os produtos das linhas Sonoff e Shelly, sendo especificamente o Sonoff Pow R2 e o Shelly 1PM. Existem outros produtos, mas estes dois são os que melhor atendem o equilíbrio entre confiabilidade e baixo custo. No quadro 3 podemos observar a diferença entre estes dois dispositivos.

Quadro 3 - Comparação entre Shelly 1PM, Sonoff POW R2.

	Tamanho [mm]	**Tensão de operação**	**Corrente máxima**	**Wi-Fi**	**Interruptor físico**	**Aplicativo**	**Integra com OpenHab**	**Certificações**	**Outras funções**
Shelly 1PM	36x41x17	110-240V 50/60Hz 24-60V DC	16A	Sim	Aceita	Shelly Cloud	Através de binding, ou MQTT	CE RoHS2	Proteção de Sobrecarga
Sonoff POW R2	114x52x32	90-250V 50/60Hz	16A	Sim	Não tem	Ewelink	Não	CE RoHS	Proteção de Sobrecarga

Fonte: Autor (2019).

Novamente o Shelly 1PM apresentaria uma opção mais adequada, mas a sua indisponibilidade fez com que fosse preterido em função do Sonoff POW R2, o qual pode ser adquirido no mercado nacional. A resolução neste equipamento é de 1 V para a tensão, e de 0,01 A para a corrente, não havendo nenhuma especificação em relação a incerteza de medição.

Nestes equipamentos também foi instalado o *firmware* Tasmota, sendo que ele já possui suporte a estas funcionalidades, tornando possível utilizá-lo na medição dos seguintes pontos:

- Ar condicionado;
- Forno elétrico;
- Geladeira;
- Desumidificador;
- Penteadeira;
- Aquecedor.

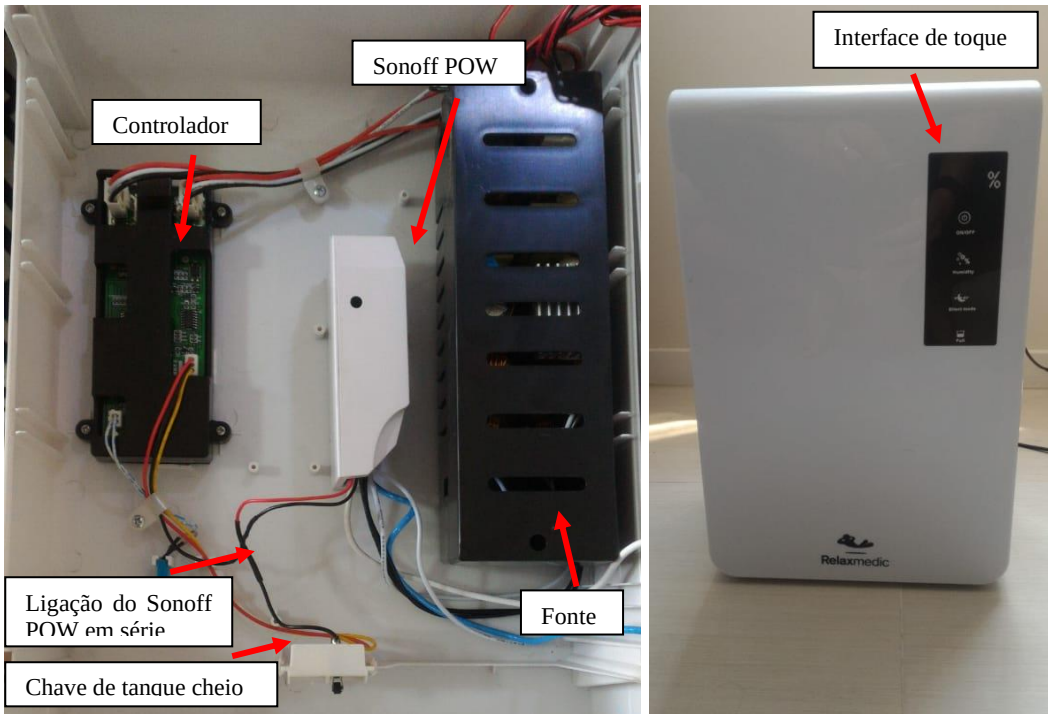
No caso das medições do ar condicionado e geladeira, como deseja-se apenas medir o consumo, não é desejável que o controle sobre estes equipamentos seja exercido por meio de um relé. O relé incluído nestes medidores pode ser fisicamente desabilitado ou por *firmware*.

No caso do forno, da penteadeira e do aquecedor é desejável realizar o controle da alimentação elétrica, principalmente para garantir que estes equipamentos não permaneçam ligados quando não houver ocupantes na residência, o que melhora a segurança desta.

O desumidificador possui um controlador digital embutido com comando por meio de interface de toque. O corte de energia requer um reset manual pelo painel, dificultando a sua integração a automação. Foi identificado que existe um sensor de "tanque cheio" no desumidificador, o qual causa a parada do equipamento até que seja esvaziado. Para realizar a automação o equipamento foi aberto e incluído o relé do Sonoff POW R2 em série, permitindo a parada do desumidificador sem que este fosse desligado, dispensando a operação manual.

Uma vez que o Sonoff POW R2 mede a corrente que passa pelo relé, a saída do dispositivo é energizada, não sendo possível utilizá-la para acionamento do tipo "contato seco". Para isso o relé foi substituído por um *by-pass* fazendo com que a energia não possa ser cortada pelo Sonoff. Em seguida o relé foi reinstalado de forma a ser utilizado apenas no controle do desumificador, sem potência passando por este. Na figura 11 pode-se observar como o medidor foi instalado para realizar o comando do equipamento.

Figura 11 - Instalação do Sonoff Pow R2 na medição e automação do desumificador.



Fonte: Autor (2019).

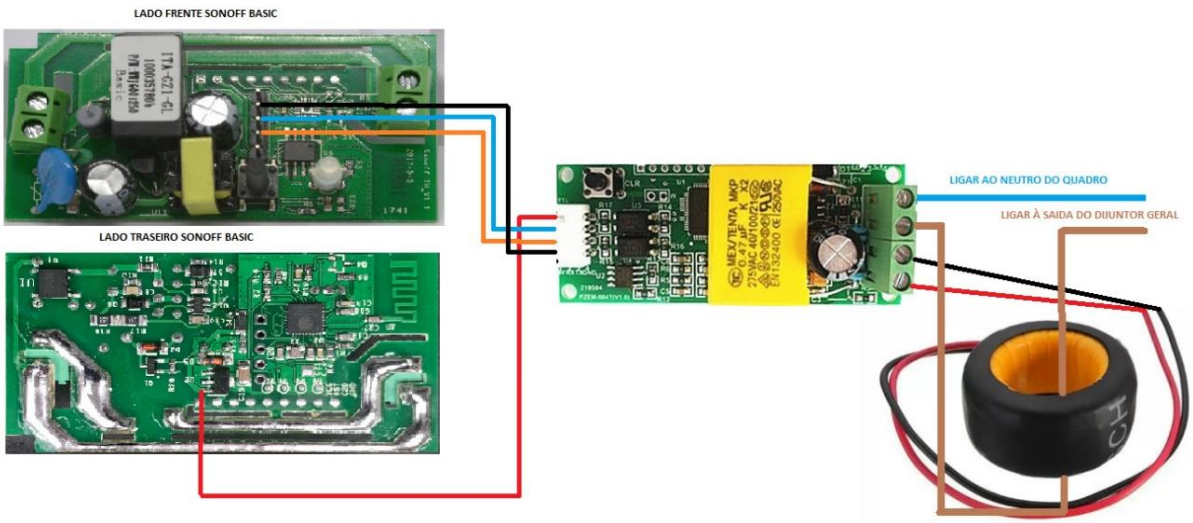
Restam ainda a medição da entrada bifásica e do chuveiro para completar a proposta inicial. Estas medições possuem corrente muito superior aos 16 A, necessitando de uma outra forma de medição. É nesse ponto que existe uma lacuna de mercado, é possível encontrar equipamentos de medição no padrão industrial para instalação em quadro elétrico e utilização de transformador de corrente (TC) externo ou integrado, mas não há uma disponibilidade considerável de produtos de tamanho e custos reduzidos com as mesmas capacidades. Como único exemplo encontrado, citamos o Shelly EM que pode medir até 2 circuitos por meio de TC, com opções de TC de 50 A e 120 A e um custo de US$ 67,00.

Existem também produtos que podem ser conectados ao aplicativo Ewelink no formato de disjuntores, com desligamento e religamento remoto e medição de consumo integrada. Entretanto, estas opções possuem custo relativamente elevado e baixa confiabilidade, além de não estarem disponíveis no mercado nacional.

A alternativa adotada foi utilizar o módulo eletrônico PZEM-004T. Capaz de medir tensão, corrente, frequência, potência e fator de potência, este módulo possui comunicação TTL o que permite o seu uso em conjunto com uma variedade grande de microcontroladores e conversores. O PZEM foi conectado ao Sonoff *basic* por meio da serial exposta neste.

O Sonoff atua como uma ponte para que as informações medidas pelo PZEM possam ser transmitidas ao OpenHab, cada circuito necessita de um PZEM e um Sonoff. A figura 12 apresenta o diagrama de ligação destes componentes.

Figura 12 - Esquema de ligação entre o Sonoff Basic e o PZEM-004T.



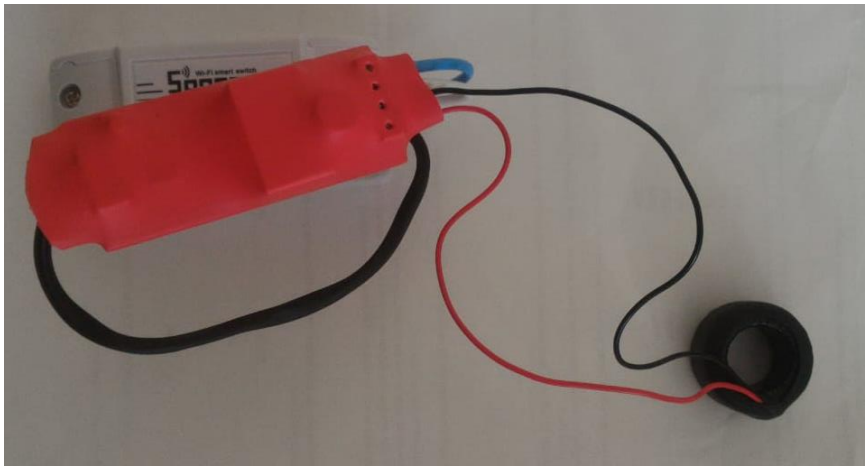
Fonte: (VIEIRA, 2019).

As principais características da medição são apresentadas a seguir, com exceção da incerteza que não especificada pelo fabricante:

- Tensão medida: 80 ~ 260VAC
- Potência máxima: 100A / 22000W
- Frequência de trabalho: 45-65Hz
- Comunicação TTL serial;
- Botão de reset da memória cumulativa de consumo.

Para que o conjunto Sonoff+PZEM mantivesse um tamanho reduzido, optou-se pelo uso da embalagem original do Sonoff e a isolação elétrica, e a mecânica do PZEM foi realizada por meio de termo contrátil especificado para 1kV, resultando em uma montagem mecânica semelhante a exposta na figura 13, o que permitiu que as três unidades fossem inseridas no interior do quadro elétrico.

Figura 13 - Montagem do conjunto de medição de cargas elevadas.



Fonte: Autor (2019).

Em complemento as medições de energia, optou-se também pela medição das condições de temperatura e umidade externas à planta. Dessa forma é possível criar cenas que dependam das condições climáticas. Para esta medição foi utilizado o medidor Sonoff TH16 em conjunto com o sensor de temperatura e umidade Si7021, o qual já vem calibrado de fábrica. As características do sensor e do dispositivo podem ser observadas no quadro 4:

Quadro 4 - Características do Sonoff TH16 e Si7021.

Sonoff TH16	Si7021
Tensão de alimentação: 90 ~ 250V AC **Corrente máxima:** 15A **Potência máxima:** 3500W(15A) **Umidade:** 5%-90%RH, sem condensação **Temperatura de operação:** 0 ºC a 40 ºC **Material do case:** ABS V0 retardante a chamas **Dimensões:** 114x51x32 mm **Protocolo Wireless:** 802.11 b/g/n **Segurança:** WPA-PSK/WPA2-PSK **Sensores suportados:** Si7021, AM2301, DS18B20, DHT11 **Certificação:** CE, RoHS, FCC	**Tamanho:** 58,8x26,7x13,8 mm **Conexão:** Cabo P2 e conexão I²C **Umidade:** • **Faixa de operação:** 0 %UR a 100 %UR • **Resolução:** 0,1 %UR • **Incerteza:** ± 3 %UR • **Estabilidade:** 0,25 %UR/ano **Temperatura:** • **Faixa de operação**: -40 ºC a 125 ºC • **Resolução:** 0,1 ºC • **Incerteza:** ± 0,4 ºC • **Estabilidade:** 0,01 ºC/ano

Fonte: Compilado de (ITEAD, 2019b) (SILICON LABS, 2016).

3.4 CONTROLE DAS FITAS LED

A utilização de fitas LED para iluminação e principalmente para decoração é bastante comum, além da ativação e desativação, como ocorre na iluminação comum, é possível controlar a intensidade luminosa e em muitos casos a cor.

Há uma grande variedade de fabricantes de controladores de fita LED com a opção de comando por aplicativo e conexão Wi-Fi. Entretanto, existe pouca variedade de produtos, e a grande maioria dos dispositivos possui um *hardware* padrão baseado no ESP.

A escolha do equipamento a ser utilizado foi feita com base na disponibilidade e na avaliação de usuários, tendo sido escolhido o modelo em destaque na figura 14. O custo de R$ 66,00 é similar a outros fabricantes.

Figura 14 - Controlador de fita LED utilizado.

● Controle RGB de 24 teclas;
- Controle de luminosidade entre 1 – 100%;
- Velocidade ajustável entre 1 – 100%;
- 4 modos de transição: flash, strobe, fade, smooth;

● Controle por meio de aplicativo;
● 16 milhões de opções de cores;
● Temporização, modo pré-configurado e customizado;
● Funciona com Amazon Alexa;
● Tamanho do produto (C x L x A): 90 x 55 x 10 mm;
● Alimentação entre 5 e 28V DC;
● Potência máxima de saída de 144W.

Fonte: Modificado de Gearbest (2019).

O controle desse dispositivo é realizado no OpenHab por meio de um *binding* específico em que os comandos são enviados diretamente para o controlador pelo endereço IP deste.

3.5 CONTROLE DOS EQUIPAMENTOS COM INTERFACE IR

Uma das primeiras formas de automação mais flexíveis, o controle de equipamentos diversos a partir de uma interface IR, ainda é extensamente utilizado.

Atualmente, são diversos os fabricantes que trabalham com este tipo de equipamento, sendo possível a utilização dos chamados IR *blasters*, que fazem a transmissão da informação de forma difusa, para qualquer equipamento ao seu alcance, ou a utilização de emissores IR focados, em que cada equipamento controlado recebe um emissor cabeado até a central IR.

Assim como foi anteriormente explicado, a automação com fios, embora mais confiável, é mais complexa e cara, por este motivo, optou-se pelo uso dos IR *blasters*. Após uma pesquisa no mercado nacional, optou-se pelos produtos da empresa Broadlink, a qual possui uma linha consistente e boa reputação. O custo destes produtos é similar a outras marcas.

Para este projeto foram utilizados dois emissores, um Broadlink RM mini 3 na sala para comando da televisão, e outro Broadlink RM 3 Pro+ no quarto principal para comando da televisão e ar condicionado. A tabela 4 apresenta as principais especificações dos dois produtos e a imagem 15 apresenta ambos.

É possível observar no quadro 5 que a diferença básica entre os dois modelos é o tamanho maior e a possibilidade de comandar dispositivos com comunicação RF no caso do modelo Pro+, o que permitirá a integração futura com equipamentos que utilizem esta interface.

Quadro 5 - Comparação entre Broadlink RM mini 3 e Broadlink RM 3 Pro+.

	Tamanho [mm]	**Tensão de operação**	**Wi-Fi**	**Aplicativo**	**Integra com OpenHab**	**Certificações**	**Outras funcionalidades**
Broadlink RM mini 3	55x55x65	5V DC, não acompanha fonte	Sim	IHC	Através de *binding*	CE RoHS	Nenhuma
Broadlink RM 3 Pro+	100x150x150	5V DC, não acompanha fonte	Sim	IHC	Através de *binding*	CE RoHS	Comando RF

Fonte: Autor (2019).

Figura 15 - Emissores IR, Broadlink RM mini 3 a esquerda e Broadlink RM 3 Pro+ a direita.

Fonte: (AMAZON, 2019a).

3.6 INTERFACES DE COMANDO

Atualmente, para um projeto de automação residencial, existem três formas básicas de interface entre o usuário e o sistema; interface de voz, interface táctil e a interface visual. O avanço das telas responsivas ao toque popularizou o uso de interfaces visuais tácteis, sendo que em alguns casos, como o da iluminação, pode-se também considerar os interruptores como formas de interfaceamento táctil com o sistema. A seguir são apresentadas as considerações sobre as interfaces visuais tácteis e de voz deste projeto.

3.6.1 Interfaces visuais tácteis

Seguindo a tendência de vários sistemas, inclusive sistemas comerciais, optou-se pela utilização de dispositivos móveis como forma de interfaceamento visual táctil, sendo possível utilizar *tablets* e celulares.

O sistema OpenHab possui aplicativos para Android e para IOS, além de poder ser utilizado diretamente no navegador de internet, permitindo o uso de qualquer equipamento já disponível ao usuário que suporte Java.

O desenvolvimento da página de interface é realizado em parte graficamente por meio da interface de programação, o restante do desenvolvimento é realizado por meio da edição do código em JSON dos chamados *widgets*, tornando a implementação da interface menos amigável do que o esperado inicialmente.

Devido à dificuldade na sua construção foi desenvolvida para validação apenas uma tela de interface, a qual pode ser utilizada em computadores e *tablets* com a tela configurada no modo paisagem. Esta interface valida o funcionamento do sistema, o seu acionamento local e remoto, e a utilização de dispositivos móveis para o controle da automação, sendo possível o

posterior desenvolvimento de novas telas para funções avançadas e utilização em outros tipos de dispositivos.

A tela desenvolvida tem em mente a apresentação de todos os interruptores e dispositivos, tendo sido apresentados apenas os dados de consumo da entrada de energia, os demais pontos devem integrar uma segunda tela cujo objetivo específico é o monitoramento de energia. Para melhor compreensão os dispositivos foram divididos de acordo com o ambiente em que foram instalados. A figura 16 apresenta a tela desenvolvida e os seus principais componentes.

Figura 16 - Tela desenvolvida para as interfaces de comando táctil visual.

Fonte: Autor (2019).

Para melhoria do acesso a informações optou-se pela utilização de um *tablet* como interface central, o qual foi instalado em suporte fixo. É importante mencionar que o *tablet* em questão foi posto em desuso por ter configuração ultrapassada para qualquer tipo de utilização atual, no entanto, é suficiente para utilização da forma que foi proposta.

Para que o mencionado *tablet* fosse utilizado este recebeu apenas o aplicativo chamado "*Fully Single App Kiosk*" o qual permite que, ao ligar o equipamento, ele já execute diretamente o OpenHab por meio de sua interface web e permaneça neste. Além disso, permite utilizar a câmera como um sensor de movimento. Desta forma, o *tablet* permanece com a tela desligada até que alguém se aproxime, ligando-a automaticamente e evitando o incomodo gerado pela tela ligada o tempo todo, ou pelo processo de desbloqueio. A figura 17 apresenta o mencionado *tablet* instalado e executando a interface desenvolvida.

Figura 17 – Interface táctil visual instalada e executando a tela de automação.

Fonte: Autor (2019).

3.6.2 Interfaces de voz

Até pouco tempo o uso de comandos de voz em sistema de automação residencial era restrito ao uso de *software* com alto custo de licenciamento, além de requerer a instalação de *hardware* específico para a captação do áudio. Porém, recentemente ocorreu a massificação do desenvolvimento das assistentes de voz. Este movimento foi iniciado principalmente pela Amazon, com sua assistente Alexa, a qual ainda hoje é a mais utilizada por possibilitar alta integração com os serviços da empresa. Posteriormente, empresas como a Google e Apple lançaram produtos semelhantes, o Google Home e o Apple Home Kit respectivamente, os quais são baseados nos assistentes de voz já presentes em seus aparelhos móveis. Várias outras marcas lançaram produtos semelhantes com menor sucesso.

A interface de voz deve ser utilizada para comandar as ações que o sistema é capaz de executar; desligar e ligar equipamentos, realizar verificações, desencadear rotinas de execução, dentre outras funções. Atualmente as assistentes de voz não apenas são capazes de executar estas funções como inserem várias outras possibilidades; verificar o clima, responder perguntas, realizar chamadas, solicitar músicas, dentre várias opções que são adicionadas todos os dias por meio de novas habilidades desenvolvidas por usuários e prestadores de serviço. Por este motivo as assistentes de voz têm não somente sido utilizadas em sistemas de automação residencial, como tem impulsionado a instalação destes. Pode-se observar este fenômeno recentemente no

Brasil, em que junto ao lançamento oficial da Alexa, outros fabricantes lançaram seus produtos de automação IoT já com suporte a esta e a outras assistentes.

De certa forma as assistentes de voz passaram de um simples alto-falante inteligente para uma espécie de central de automação para produtos que possuam conectividade com a internet. Sendo que alguns modelos possuem embutidos *hubs* para a comunicação ZigBee ou *Z-Wave*, ampliando ainda mais a sua atuação como central de automação.

É possível por meio dos aplicativos destas assistentes unir produtos de fabricantes diversos, tornando a iteração entre eles transparente, inclusive em rotinas e cenas. Esta integração sofre com um inconveniente, é uma automação descentralizada e inteligente com servidores remotos, dependendo continuamente da conexão com a internet para qualquer atividade. Além disso a interface visual destas assistentes é voltada para o uso ocasional e não para a instalação de interfaces visuais fixas.

Neste projeto optou-se pela utilização da assistente de voz Alexa, isso se deu por ser uma das opções com maior disponibilidade de integração com outros dispositivos, incluindo a integração de nível elevado que tem com o OpenHab. Em adição, embora a assistente da Google já possua versão em português a algum tempo, não houve um lançamento oficial, não gerando o mesmo interesse dos desenvolvedores em comparação ao lançamento oficial da Alexa.

Por meio da integração OpenHab + Alexa é possível enviar comandos para os dispositivos, assim como receber *status* destes e até enviar frases para serem reproduzidas na Alexa. Torna-se possível utilizar a assistente de voz para criar uma interface de voz bidirecional, onde o sistema não apenas pode receber os comandos, mas é capaz de responder de forma condicional, algo que ainda não é suportado pelas assistentes de voz.

Para que pudesse ser adicionada ao OpenHab, embora já seja oficialmente suportada no Brasil, a Alexa teve de ser adicionada a uma conta da Amazon americana, isso foi necessário pois a *skill* (como são chamados os *plugins* dentro do aplicativo) para o OpenHab ainda não foi disponibilizada no Brasil. Após a configuração da *skill* é possível migrar a conta, assim os comandos são proferidos em português e recebem respostas na mesma língua.

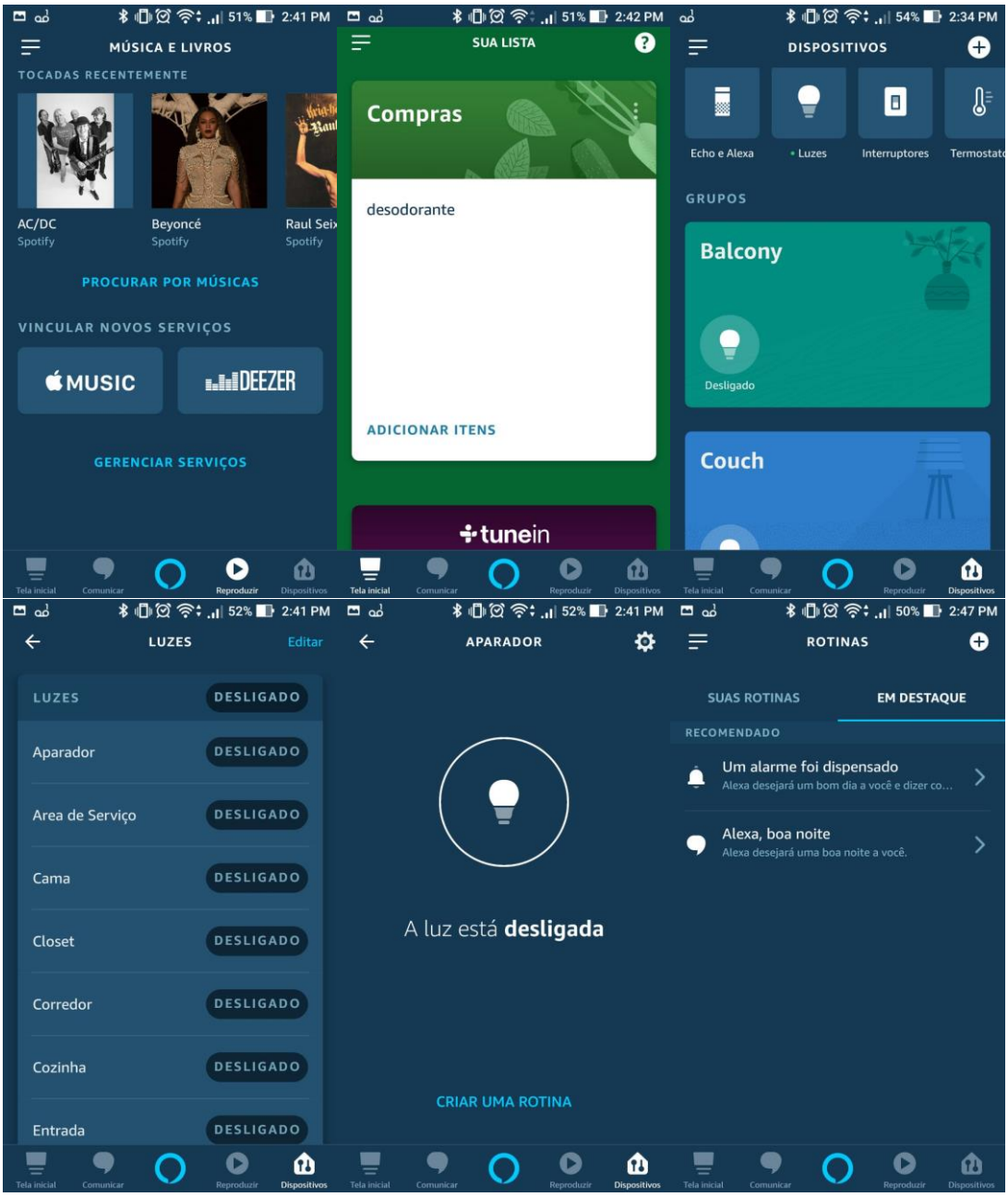
O comando de voz é dependente do servidor da Amazon, sendo que todo o processamento de áudio é realizado remotamente. No entanto, a automação permanece funcionando localmente por meio das interfaces visuais, caso o *link* de internet esteja indisponível.

A figura 18 apresenta o produto que foi utilizado, Amazon Echo Dot 3º geração. Já na figura 19 podemos verificar a representação de algumas das telas do seu aplicativo já com os dispositivos configurados.

Figura 18 - Amazon Echo Dot 3º Geração.

Fonte: (AMAZON, 2019b).

Figura 19 - Exemplos de telas do aplicativo Alexa.



Fonte: Autor (2019).

3.7 INFRAESTRUTURA DE REDE

Em um sistema de automação residencial baseado em redes Wi-Fi um dos pontos de maior preocupação é a estabilidade do sinal. É preciso utilizar equipamentos que suportem uma grande quantidade de dispositivos de forma estável e com boa resistência a ruídos, sendo, portanto, de fundamental importância à análise da infraestrutura de rede utilizada.

A planta tomada como estudo de caso é suprida por um *link* externo de internet de 140Mbps de *download* e 10Mbps de *upload*, sendo esta velocidade suficiente para todas as necessidades da planta, incluindo o acesso remoto da automação e a comunicação das assistentes de voz com o servidor remoto, mesmo durante o uso de serviços de *streaming*.

O roteador fornecido pelo provedor é de baixa qualidade e o sinal Wi-Fi irradiado não é suficiente para cobrir toda a planta, além de não ser capaz de lidar de forma estável com a quantidade de dispositivos a serem instalados.

Para o atendimento dos requisitos de rede optou-se pela utilização de um equipamento corporativo. Em especifico o *Access Point* Wi-Fi Corporativo de Alta Potência AP360 da empresa Intelbras. Este equipamento, apresentado na figura 20, é detentor das especificações também apresentadas nesta figura.

Figura 20 - AP 360 Intelbras e suas especificações.

- Capacidade de até 100 dispositivos;
- Cobertura de até 400m²;
- Até 8 SSID’s com VLAN e Radius;
- Gerenciamento centralizado da rede por meio do WiseFi ou de forma individual pelo firmware;
- Criação de portal de acesso à rede Wi-Fi customizável: CPF, Voucher ou senha simples;
- PoE passivo até 24V para instalações otimizadas;
- Potência de transmissão de 630mW;
- 300 Mbps e 2 antenas internas de 3 dBi em 2,4GHz;
- Tecnologia Qualcomm: estabilidade e qualidade do sinal Wi-Fi de um fabricante Líder em Wi-Fi.

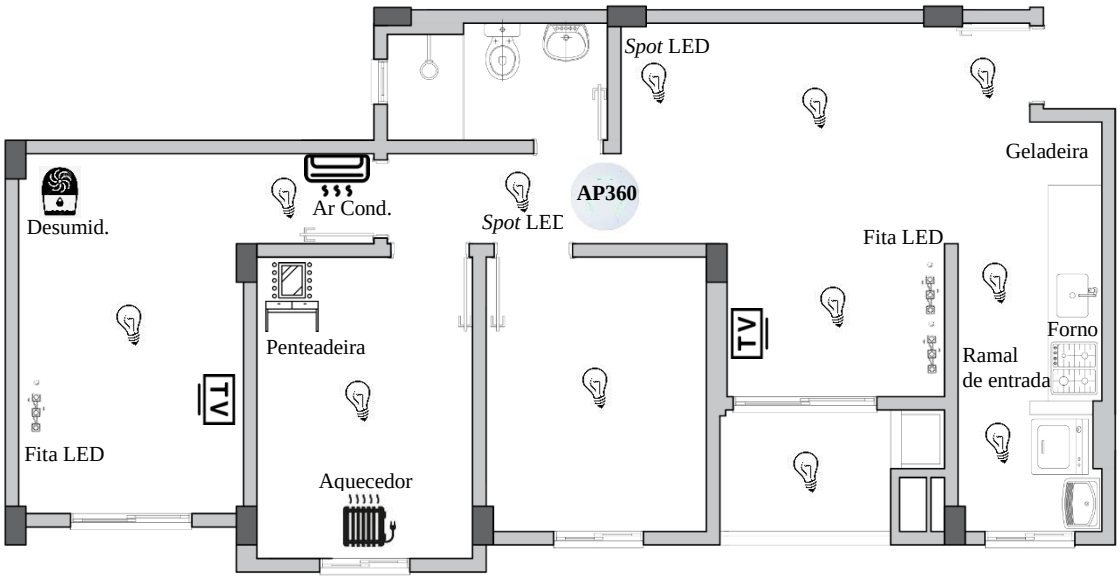
Fonte: (INTELBRAS, 2019).

Neste equipamento foi criada uma rede específica para o atendimento dos dispositivos de automação, incluindo a central, assistentes de voz e os Sonoff mini e Sonoff POW, sendo que ele desempenha a função de roteador, distribuindo endereços IP.

A instalação do roteador foi realizada no teto, no local mais próximo ao centro geométrico da planta, sendo ainda considerada a quantidade mínima de paredes para acesso a cada ambiente. Espera-se, desta forma, que o sinal seja irradiado da forma mais uniforme

possível em toda a área da planta. O posicionamento do roteador em relação aos demais equipamentos é demonstrado na figura 21.

Figura 21 - Planta com os equipamentos a serem automatizados em relação ao AP360.



Fonte: Autor (2019).

4 METODOLOGIA DE TESTES

A proposição inicial para este projeto é a de um sistema de custo reduzido mantendo as características de confiabilidade. Não basta afirmar que os objetivos foram atendidos, é necessário comprovar a hipótese por meio de testes e comparações. Para que sejam considerados válidos os resultados obtidos destes testes, torna-se necessário determinar uma metodologia que atenda a certos requisitos:

- **Significância –** Os testes propostos precisam ter uma significância para a comprovação da hipótese;
- **Reprodutibilidade –** É necessário que os testes possam ser reproduzidos por outros. Para isso, é preciso documentar os procedimentos, condições e equipamentos utilizados;
- **Repetibilidade –** Realizar o mesmo teste sobre as mesmas condições e verificar se os resultados são os mesmos, indicando que os resultados obtidos possuem confiabilidade elevada;
- **Valores de referência –** É necessário especificar valores de referência para comparação e aceitação da hipótese.

A primeira hipótese "O sistema possui custo reduzido" é de comprovação simples, foi proposto o valor de referência de R$ 3.000,00 para a aquisição de materiais, devendo-se realizar o levantamento dos equipamentos adquiridos e então fazer a comparação com o valor de referência. Adicionalmente é possível comparar este valor ao custo de um sistema sem fios convencional, custo este que pode ser estimado por uma pesquisa de mercado simples, não exigindo a repetição.

A segunda hipótese, "O sistema é confiável", possui uma comprovação razoavelmente mais complexa, exigindo um número considerável de testes. Para isso separar-se-á a confiabilidade novamente em duas vertentes básicas, a segurança e a disponibilidade. Em relação à segurança foi mencionado no capítulo 2 três itens básicos:

Segurança de dados: A automação foi inteiramente realizada com o uso de redes de Wi-Fi protegidas com o protocolo WPA2-PSK considerado seguro. A maior brecha possível seria a utilização do aplicativo e servidor da OpenHab para realização de acesso remoto. É preciso mencionar que não foi necessário realizar a abertura de portas ou outra configuração especial para utilização destes serviços, o que torna mais distante a probabilidade de uma invasão por meio destes serviços. Não é possível realizar testes em relação a este quesito, no

entanto, foram reduzidos os acessos a *softwares* potencialmente perigosos, como o aplicativo Ewelink que possui registros de invasão e compartilhamento de dados pessoais de seus usuários.

Segurança física dos ocupantes da casa – Este é outro quesito que dispensa testes, não foi instalada automação em equipamentos que possam causar danos a propriedade ou aos seus ocupantes. Nos casos já mencionados do forno elétrico, penteadeira e aquecedor foram instalados dispositivos para medição de consumo com possibilidade de corte da alimentação elétrica, prevenindo que permaneçam ligados quando não estiverem em uso. Entretanto, o acionamento destes equipamentos permanece sendo manual.

Segurança elétrica – A segurança elétrica é medida por dois parâmetros, a isolação elétrica e a resistência do equipamento as correntes de serviço.

A isolação elétrica é medida por meio de ensaios destrutivos, realizados pelo uso de equipamentos específicos para a medição de tensão máxima de isolamento. Optou-se pela utilização das especificações impostas pelo fabricante como sendo um intervalo seguro de operação, principalmente devido à impossibilidade de realização dos mencionados testes.

Para avaliação dos efeitos da corrente sobre o equipamento optou-se pela realização de testes que serão descritos na subseção “testes de corrente máxima aplicável”.

Por se tratar de um sistema baseado em Wi-Fi é necessário que o canal de comunicação seja extensivamente testado, comprovando a sua utilização de forma estável. Realizou-se um *Site Survey* e testes de disponibilidade dos links individuais de equipamentos. Estes procedimentos estão descritos nas subseções “*Site Survey”* e “Disponibilidade da comunicação”.

Em relação ao teste de algumas características do sistema é preciso verificar o tempo de resposta a comandos por meio da interface táctil (interruptores), da interface visual táctil localmente e remota. Assim como teste da interface de voz, estes testes são descritos na subseção “testes de latência de comandos”. Deve-se testar também o número máximo de conexões que a central aceita, verificado por meio do teste de conexões simultâneas.

Além dos testes acima mencionados foi realizada a validação dos medidores de energia por meio da comparação, os testes são descritos na subseção “aferição dos medidores”.

4.1 TESTES DE CORRENTE MÁXIMA APLICÁVEL

A falha de isolamento pode ocasionar a ruptura do dielétrico e o curto-circuito do equipamento, conforme dito anteriormente esta característica não será analisada. Faz-se necessário observar que a proteção contra curto circuito e contra fugas podem ser obtidas pelos

dispositivos de proteção ligados a rede elétrica da planta escolhida, em que foram utilizados disjuntores e um DR geral de corrente de fuga igual a 30 mA.

O defeito mais comum causado por sobrecorrente é o aquecimento anormal dos componentes, podendo inclusive causar princípios de incêndio. Neste caso, a proteção não atuaria. Tomando-se como exemplo o circuito da iluminação, o disjuntor geral é de 20 A, sendo a corrente máxima dos dispositivos Sonoff mini de 10 A. Esta configuração permite que a corrente esteja dentro dos limites aceitáveis para o circuito, com o disjuntor protegendo apenas os condutores, e ainda assim cause danos aos equipamentos.

Para melhorar a segurança da instalação faz-se necessário realizar testes que atestem a capacidade de corrente informada pelo fabricante. Nesse intuito, é sugerido um teste baseado na utilização dos dispositivos em condições controladas e sob supervisão de um equipamento termográfico a fim de registrar a temperatura em todos os componentes do equipamento.

O teste consiste na utilização dos equipamentos a serem testados, nomeadamente Sonoff mini, Sonoff POW R2 e Sonoff Basic, em alguns degraus de corrente, objetivando-se verificar os limites aceitáveis de corrente para estes equipamentos. Durante o teste uma câmera termográfica Fluke Ti200, cujas características podem ser observadas no quadro 6, será utilizada para monitorar a temperatura em todos os componentes simultaneamente.

Quadro 6 - Características da Câmera Termográfica Ti200.

Faixa de medição de temperatura	-20 °C a +650 °C
Precisão na medição da temperatura	± 2 °C ou 2% (a 25 °C nominais, o que for maior)
Frequência de captura de imagens	Taxa de atualização de 9 Hz
Tipo de detector	Arranjo de Plano Focal, microbolômetro não refrigerado, 200 X 150 pixels
Sensibilidade térmica (NETD)	≤ 0,075 °C à temperatura-alvo de 30 °C (75 mK)
Total de pixels	30,000
Faixa espectral do infravermelho	7,5 µm a 14 µm (ondas longas)

Fonte: Compilado a partir de (FLUKE, 2019).

Como carga foram utilizados aquecedores de potência máxima 2000 W, que possuem regulagem de trabalho em 50% e 100% da potência, tendo sido utilizados 2 destes aquecedores em paralelo, resultando em 4 possíveis degraus de corrente: 4,35 A, 8,6 A, 12,9 A e 17 A. Nos equipamentos Sonoff mini e Sonoff Basic, apenas as duas primeiras configurações foram utilizadas, enquanto no Sonoff POW R2 foram utilizadas as três primeiras configurações.

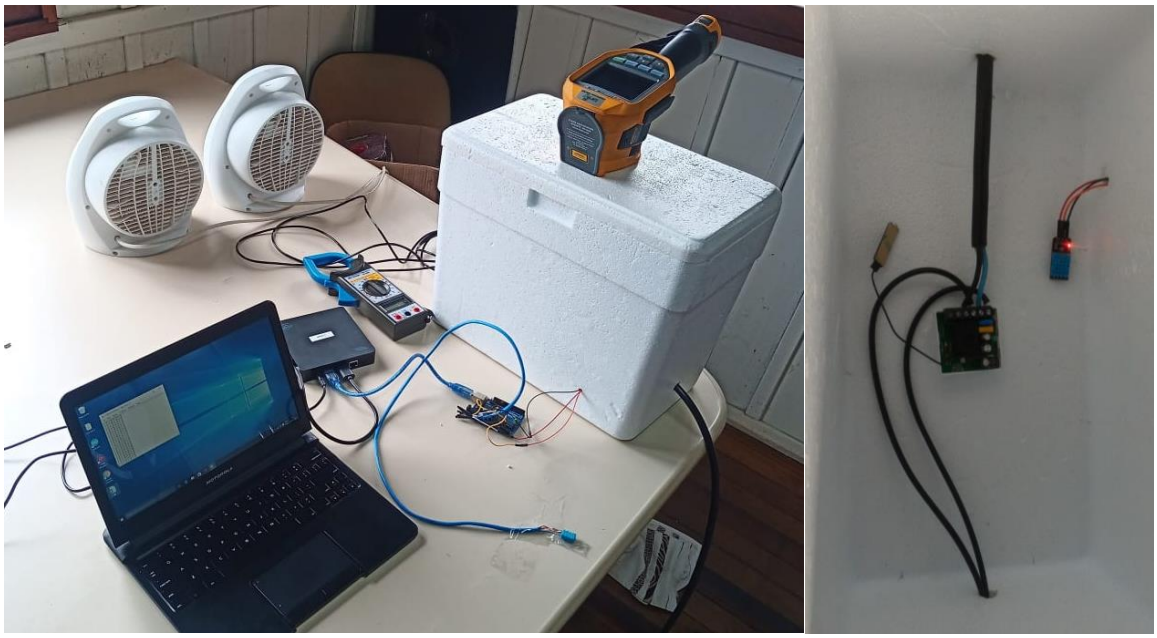
Para reduzir a influência do ambiente sobre os testes foi utilizada uma caixa térmica. Desta forma a influência das correntes de convecção que resfriam os componentes é evitada.

Os locais em que os equipamentos foram instalados é um ambiente fechado, com troca de calor reduzida, fazendo-se necessário simular um ambiente semelhante a este. Para registro dos efeitos dos equipamentos sobre o meio em que estão inseridos, foram utilizados sensores de temperatura e umidade do tipo DHT11 ligados a um Arduino Uno continuamente registrando os dados. Seguem abaixo as características dos mencionados sensores: (FILIPEFLOP, 2019)

- Faixa de medição de umidade: 20 a 90% UR;
- Faixa de medição de temperatura: 0º a 50ºC;
- Alimentação: 3-5VDC (5,5VDC máximo);
- Corrente: 200uA a 500mA, em *stand by* de 100uA a 150 uA;
- Precisão de umidade de medição: ± 5,0% UR;
- Precisão de medição de temperatura: ± 2.0 ºC;
- Tempo de resposta: 2s;
- Dimensões: 23 x 12 x 5mm (incluindo terminais).

A figura 22 apresenta a montagem mecânica do aparato de testes. Faz-se necessário salientar que o tamanho da caixa térmica utilizada é superior ao necessário para o alojamento dos equipamentos em testes, aumentando a inércia térmica do conjunto como um todo. Entretanto, foi necessário tal adoção em função do ângulo de visão do equipamento termográfico.

Figura 22 - Equipamento de testes da influência das correntes de trabalho.



Fonte: Autor (2019).

Atendendo aos requisitos de repetibilidade, estes testes devem ser realizados com os números de amostras e repetições apresentados no quadro 7.

Tabela 1 - Configurações de testes de corrente por equipamento.

Equipamento	Degraus	Repetições	Nº amostras
Sonoff mini	0 A, 4,5 A e 9,0 A	3 por degrau	3 equipamentos
Sonoff POW R2	0 A, 4,5 A, 9,0 A e 13,5 A	3 por degrau	3 equipamentos

Fonte: Autor (2019).

A duração de cada teste é de 1 hora ou até que a temperatura de todos os componentes tenha se estabilizado por ao menos 15 minutos, o que ocorrer por último. Na análise do equipamento deve-se tomar especial atenção aos seguintes pontos: Conectores e cabos de entrada e saída, relé e CPU. Qualquer outro ponto verificado durante o teste como de interesse deve ser identificado e a sua influência no equipamento destacada. O Sonoff Basic não foi testado uma vez que não há corrente atuando sobre este.

4.2 SITE SURVEY

Em residências a interferência que o sinal Wi-Fi sofre é reduzida, e ao se falar de apartamentos a situação é mais complexa, tendo em vista o grande número de roteadores Wi-Fi disputando a mesma faixa de frequência. Para que se tenha um sinal funcional é necessário realizar um *site survey*, ainda que básico. Desta forma é possível identificar qual canal de comunicação possui menor utilização na área de cobertura da rede, oferecendo menor interferência e maior estabilidade. É necessário também verificar se os equipamentos de rede instalados são capazes de ofertar um sinal de qualidade a todos os dispositivos.

Na impossibilidade de acesso a equipamentos capazes de realizar uma inspeção completa, incluindo a interferência de outros equipamentos que não sejam roteadores Wi-Fi, optou-se pela realização de uma análise por meio das ferramentas disponíveis pelo AP360. É possível, com a utilização deste equipamento, verificar todas as redes ao alcance e o nível de sinal medido em dB, e, ainda, além do nome das redes é informado o canal utilizado por estas, permitindo a seleção do canal de menor interferência.

O equipamento de rede AP360 oferece ainda a possibilidade de medição do sinal e da velocidade de conexão em cada um dos pontos conectados a este, sendo possível identificar a necessidade de realocação do AP para melhor atender a todos os dispositivos.

4.3 TESTES DE DISPONIBILIDADE DA COMUNICAÇÃO

Além do *site survey*, é necessário calcular a disponibilidade dos equipamentos conectados à automação, de acordo com o estabelecido no capítulo 2, a disponibilidade pode ser calculada em função de MTBF e MTTR. Para que estes indicadores sejam calculados são propostos testes cíclicos por período total não inferior a 15 dias.

Para verificar a contínua comunicação entre o servidor e os dispositivos foi implantado no servidor um *script* que realiza continuamente o *ping* em todos os dispositivos e armazena em um arquivo de *log* todos os resultados. Ao final do período proposto o *log* será analisado para levantar os indicadores MTBF e MTTR e a disponibilidade total do sistema.

Além dos dispositivos locais, o sistema testa continuamente a conexão com a internet, por meio do *ping*, a própria página do sistema por um endereço remoto.

4.4 TESTES DE LATÊNCIA DE COMANDOS

Não apenas estável deve ser um sistema de automação para ser usual, mas também responsivo, pois de nada adiantará um sistema que responde a 100% dos comandos, mas que tem 5 segundos de atraso nesta resposta. Isso porque, a esse tempo o usuário já foi capaz de alcançar outra forma de acionamento.

A medição desta variável será realizada por meio da gravação de vídeo da interação entre as interfaces de comandos e a resposta desta interação. Estes vídeos devem ser utilizados para verificar o tempo aproximado de resposta do sistema. Todas as formas de comando devem ser testadas de forma repetida para que haja maior confiabilidade nos resultados. A tabela 2 apresenta o número de repetições que será utilizada em cada teste.

Tabela 2 - Configurações de testes de latência de comandos.

Equipamento	Repetições	Nº amostras
Interruptores	3 por teste x 3 vezes em dias diferentes	5 equipamentos
Interface visual táctil localmente	3 por teste x 3 vezes em dias diferentes	1 equipamento
Interface visual táctil remotamente	3 por teste x 3 vezes em dias diferentes	1 em 4G
Interface de voz	3 por teste x 3 vezes em dias diferentes	1 equipamento em rede Wi-Fi e outro em 4G

Fonte: Autor (2019).

4.5 TESTE DE CONEXÕES SIMULTÂNEAS

Uma interface visual táctil estará ligada ao sistema 24/7, sendo assim, é necessário verificar a influência do uso de várias interfaces simultaneamente e o resultado desta interação sobre a estabilidade do sistema. Para isto, serão utilizadas cinco interfaces simultaneamente, e durante este teste serão executados acionamentos simultâneos de um mesmo dispositivo, objetivando-se a verificação da resposta do sistema.

O teste proposto será realizado em três momentos distintos com razões entre dispositivos locais e remotos nas proporções respectivas: 1:4, 3:2 e 5:0.

4.6 VALIDAÇÃO DOS MEDIDORES

Em primeiro lugar é imperioso mencionar a diferenciação feita pelo VIM (Vocabulário Internacional de Metrologia) entre os termos validação e calibração. A calibração é um processo que estabelece a relação entre as medições realizadas por um equipamento e padrões internacionais por meio de uma cadeia de rastreabilidade, necessitando de registro junto a RBC (rede brasileira de calibração). A validação, por outro lado, é um processo de menor complexidade, em que os requisitos especificados são verificados em relação a sua adequação para o uso pretendido. (INMETRO, 2012)

Fica claro, portanto, que a intenção do processo é verificar a adequação dos medidores a utilização proposta, e não realizar um procedimento de calibração completo.

Ainda, de acordo com o VIM, o erro de uma medição é composto de duas parcelas básicas: o erro aleatório e o erro sistemático. O erro sistemático, que é de fácil correção (geralmente por meio do ajuste de *offset)*, é quando o erro se repete por um número ou função previsível. O erro aleatório, que é de complexa correção, é preciso levantar as várias causas de seu aparecimento, sendo em geral mais fácil a substituição do equipamento.

O processo de validação dos medidores foi realizado pela comparação com equipamentos comerciais. Nesse caso, a intenção é verificar se possuem características metrológicas comparáveis. Uma vez que o *firmware* tasmota permite o ajuste das medições é possível realizar uma comparação eficiente em termos de erros aleatórios.

Para atender a diversidade de medidores utilizados foram propostos dois procedimentos, uma para os medidores Sonoff POW R2 e outro para o Sonoff *basic* + PZEM.

A validação do POW R2 foi realizada por meio de dois equipamentos, um TY720 da marca Yokogawa para medição de tensões e um ET3367c da Minipa para comparação das correntes. O quadro 7 apresenta as características principais destes equipamentos.

Quadro 7 - Especificações dos equipamentos utilizados na comparação.

Yokogawa TY720	**Minipa ET3367c**
Na faixa de tensão utilizada o equipamento possui as seguintes características metrológicas: **Tensão máxima:** 500 V **Resolução:** 0,01 V **Incerteza (entre 5 e 100%):** ± 1,30 V **Impedância de entrada:** 10 MΩ <50 pF	Na faixa de tensão e corrente utilizada o equipamento possui as seguintes características metrológicas: **Corrente máxima:** 60 A **Resolução de corrente:** 0,01 A **Incerteza de corrente:** ± (2,5 % + 0,08 A) **Tensão máxima:** 600 V **Resolução de tensão:** 0,1 V **Incerteza de tensão:** ± (0,8 % + 0,05 V)

Fonte: Compilado a partir dos manuais impressos dos equipamentos.

Como amostras foram utilizados os mesmos dois aquecedores do teste de corrente máxima, sendo que eles foram alimentados em 127 V e 220 V, resultando nas seguintes opções aproximadas de corrente:

- Em 127 V – 0,0 A; 2,5 A; 5,0 A; 7,5 A e 9,7 A.
- Em 220 V – 0,0 A; 4,4 A; 8,5 A e 12,7 A.

Todos os medidores do tipo POW R2 foram testados ao menos três vezes em cada uma das opções anteriores. Mas antes deste processo foram levantadas possíveis tendências sistemáticas por meio da execução de uma rotina de testes em 127 V para todos os pontos relacionados a essa tensão. Estas tendências foram corrigidas pelo *firmware* tasmota.

No caso dos conjuntos Sonoff+PZEM foi realizada uma verificação *in loco*, visto que a corrente máxima do equipamento em questão é de 100 A. A verificação até 19 A proporcionada pelos aquecedores não seria adequada. A verificação foi realizada diretamente no circuito em que operará, sendo possível obter correntes superiores. Foram executados testes com aproximadamente 0 A, 10 A, 20 A, 30 A e 40 A, quando possível. A única tensão que foi testada foi a de 220 V e o módulo PZEM não permite o ajuste das medições. O equipamento de comparação neste caso foi o Minipa ET3367c.

O Sonoff TH16 não foi verificado, uma vez que somente será utilizado para verificação das condições climáticas, sem maiores efeitos sobre o funcionamento do sistema. Além disso, o sensor é calibrado de fábrica e possui estabilidade elevada.

5 RESULTADOS

A seguir são expostos os resultados dos testes propostos na seção 4 assim como as considerações sobre os resultados obtidos. Para melhor compreensão os resultados foram divididos de forma semelhante à seção 4.

5.1 CUSTOS

Os custos dos produtos levados em conta são para aquisição no país, dando preferência a lojas que possuam política de garantia dos produtos. A tabela 3 apresenta estes custos:

Tabela 3 - Custos de aquisição de materiais.

Item	Produto	QTD	Custo Unitário	Custo Total
1	Broadlink RM mini 3	1	R$ 107,99	R$ 107,99
2	Broadlink RM 3 Pro+	1	R$ 237,98	R$ 237,98
3	Sonoff mini	13	R$ 48,99	R$ 636,87
4	Sonoff *basic*	3	R$ 31,87	R$ 95,61
5	Sonoff Pow R2	6	R$ 72,99	R$ 437,94
6	PZEM-004T	3	R$ 61,35	R$ 184,05
7	Controlador *Magic Home* fita LED	2	R$ 66,00	R$ 132,00
8	Alexa *Echo Dot*	1	R$ 249,00	R$ 249,00
9	Minicomputador Intel Z83II	1	R$ 600,00	R$ 600,00
10	*Access Point* Wi-Fi de Alta Potência AP360	1	R$ 416,00	R$ 416,00
11	*Tablet* para interface visual táctil	1	Existente	R$ 0,00
			Valor total final	**R$ 3.097,44**

Fonte: Autor (2019).

O valor destacado na tabela 10 como custo total é levemente superior ao proposto de até R$ 3.000,00 para aquisição de materiais. No entanto é preciso destacar alguns fatores:

- O item 7, controlador de fita LED, embora conste na relação, trata-se de um controlador já necessário para o funcionamento da fita LED, não devendo fazer parte do custo de automação, mas sim do custo do produto da própria fita.
- O item 9, conforme foi explicado no capítulo, 3 já estava disponível, podendo em seu lugar ser utilizado um *hardware* como a raspberry Pi 3 que pode ser adquirido em kits incluindo *case*, fonte e cartão de memória por cerca de R$ 400,00.

- O item 10 foi incluído para compreensão de todos os materiais envolvidos, e trata-se de uma melhoria necessária a rede já existente. Dependendo da infraestrutura envolvida, poderia ser dispensado.
- O item 11 foi reaproveitado, e esta é a intenção, que sejam utilizados os dispositivos já disponíveis para o usuário, incluindo a reutilização de *hardware* considerado obsoleto para outras atividades.

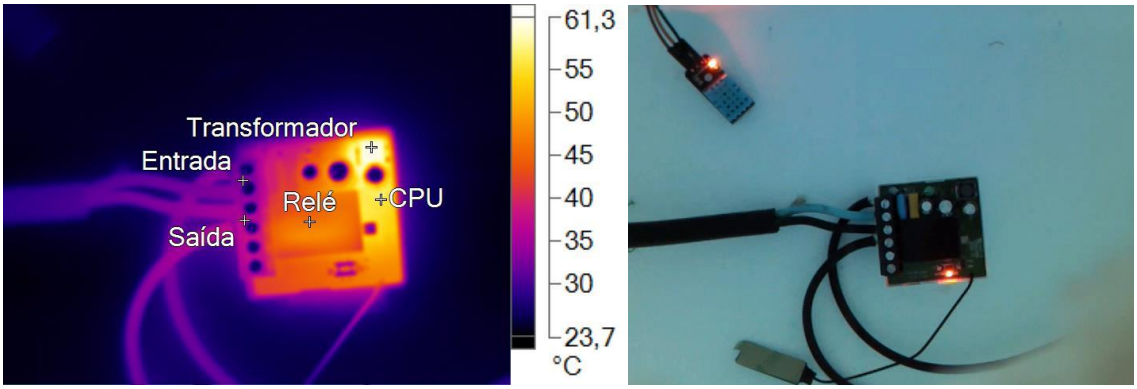
Observadas as considerações acima, sendo feitas as devidas correções, pode-se considerar o valor de R$ 2.349,44. Este sim abaixo do valor alvo.

5.2 TESTES DE CORRENTE MÁXIMA APLICÁVEL

Não foram verificadas alterações significativas nas condições internas e externas de temperatura, sendo assim não discorremos sobre estes dados. Em relação às medições termográficas, realizadas conforme o exposto na tabela 1, foram selecionadas as amostras mais significativas de cada situação. Destas foram observados os pontos de maior interesse e então foram construídos gráficos destas temperaturas, permitindo a rápida comparação visual entre os resultados.

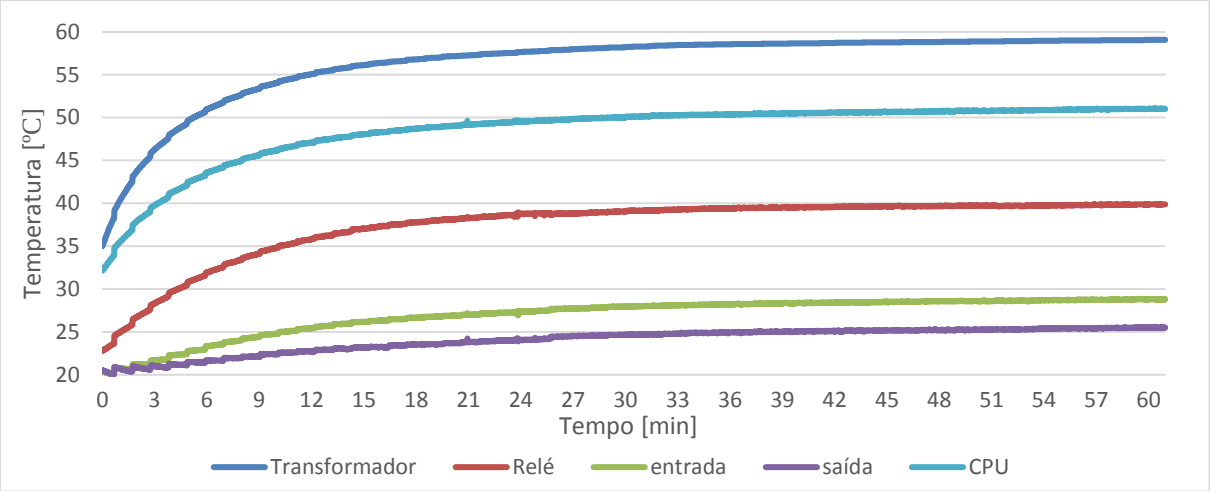
A figura 23 apresenta um exemplo da imagem termográfica dos testes realizados com o equipamento Sonoff mini, sendo possível observar os pontos escolhidos. Os gráficos das figuras 24, 25 e 26 apresentam as medições deste equipamento sem carga, com 4,35 A e com 8,55 A respectivamente.

Figura 23 – Termografia dos testes do Sonoff mini.



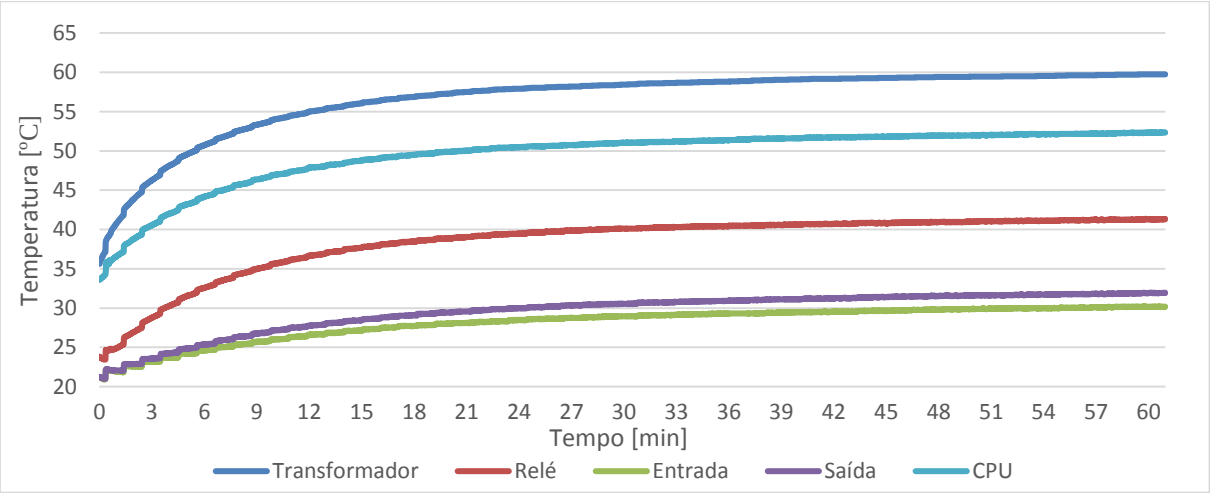
Fonte: Autor (2019).

Figura 24 – Teste do Sonoff mini sem carga.



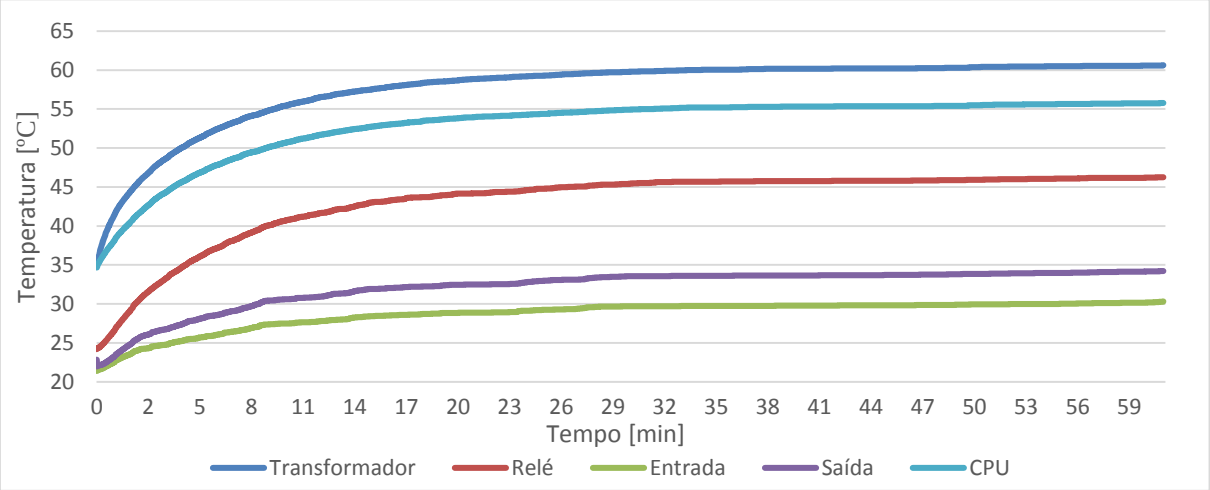
Fonte: Autor (2019).

Figura 25 – Teste do Sonoff mini com 4,35 A.



Fonte: Autor (2019).

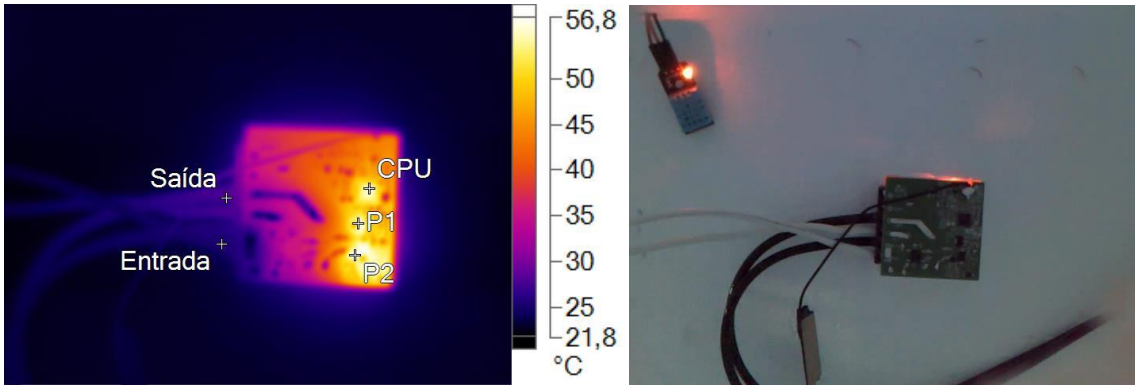
Figura 26 – Teste do Sonoff mini com 8,55 A.



Fonte: Autor (2019).

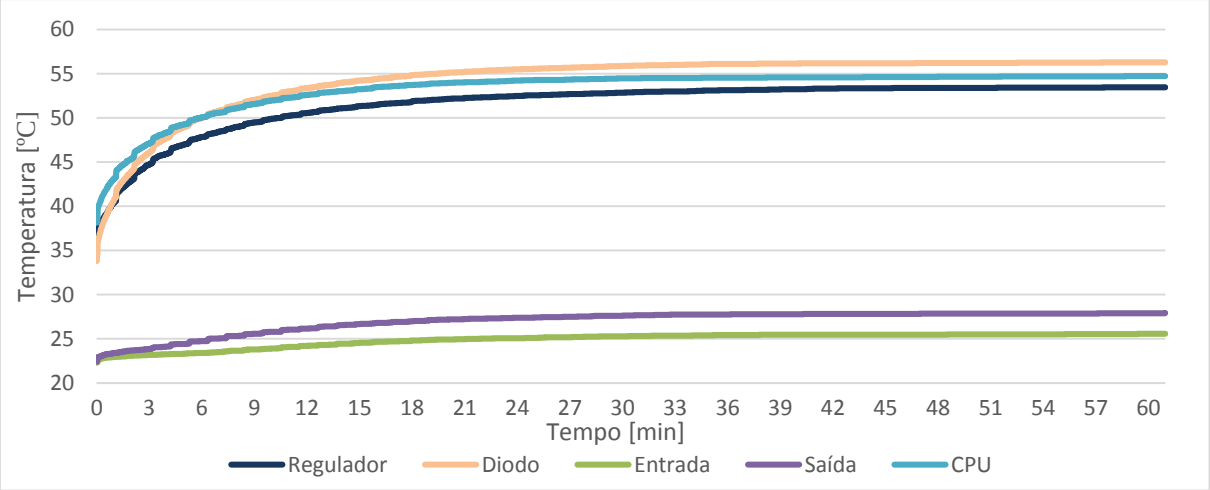
Para evitar que algum problema seja negligenciado, foi também realizado um teste com o verso do dispositivo na configuração de 8,55 A. A figura 27 apresenta um exemplo da termografia obtida nestes testes. Sendo que o gráfico da figura 28 apresenta os resultados.

Figura 27 – Termografia dos testes com o verso do Sonoff mini.



Fonte: Autor (2019).

Figura 28 – Teste do Sonoff mini na parte traseira com 8,55 A.

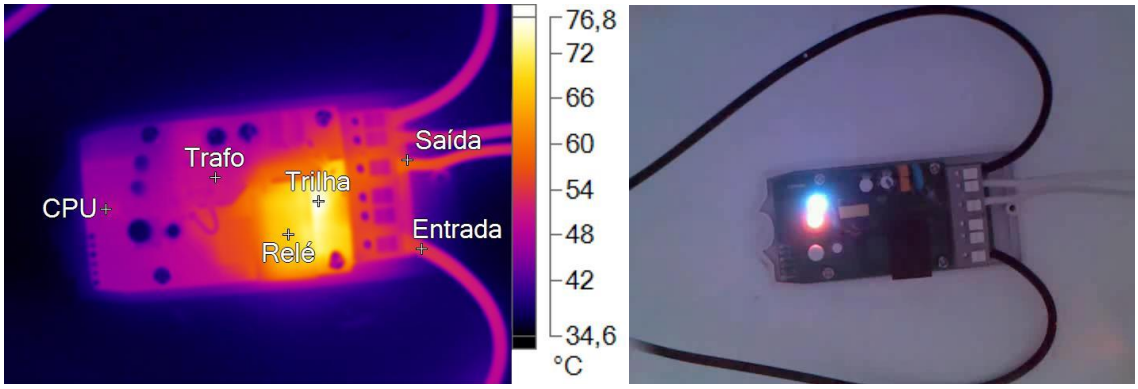


Fonte: Autor (2019).

Os testes realizados com este dispositivo demonstram que os pontos de maior aquecimento são aqueles relacionados à alimentação do dispositivo, evidenciados pela manutenção das temperaturas máximas em todas as configurações de teste. O pequeno aquecimento no relé de potência não é alarmante, indicando que o produto pode ser utilizado de forma segura em condições próximas aquela indicada pelo fabricante.

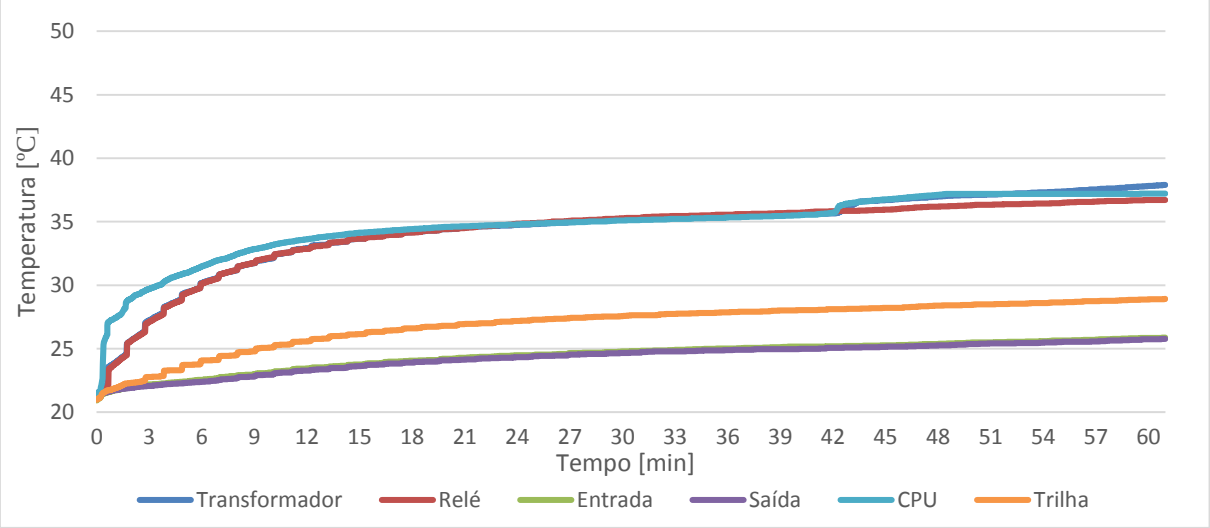
Da mesma forma podemos verificar a seguir os testes realizados com os equipamentos Sonoff POW R2, em que foram realizados testes nas configurações a vazio, com 4,35 A, 8,55 A e 12,70 A respectivamente apresentados nas figuras 30, 31, 32 e 33. Os pontos medidos são evidenciados na figura 29.

Figura 29 – Termografia dos testes com o Sonoff POW R2.



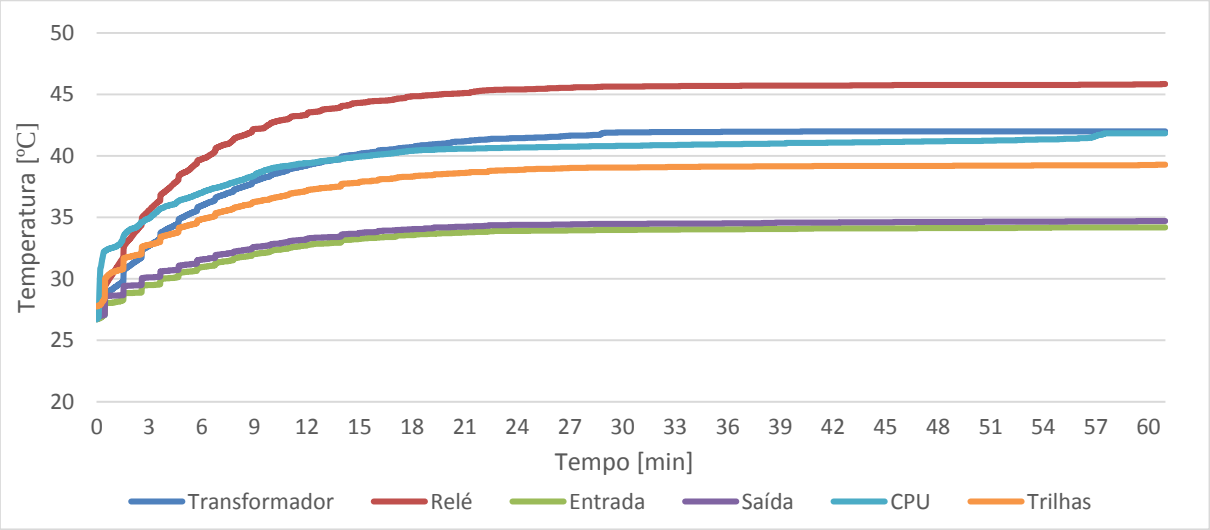
Fonte: Autor (2019).

Figura 30 – Teste do POW a vazio.



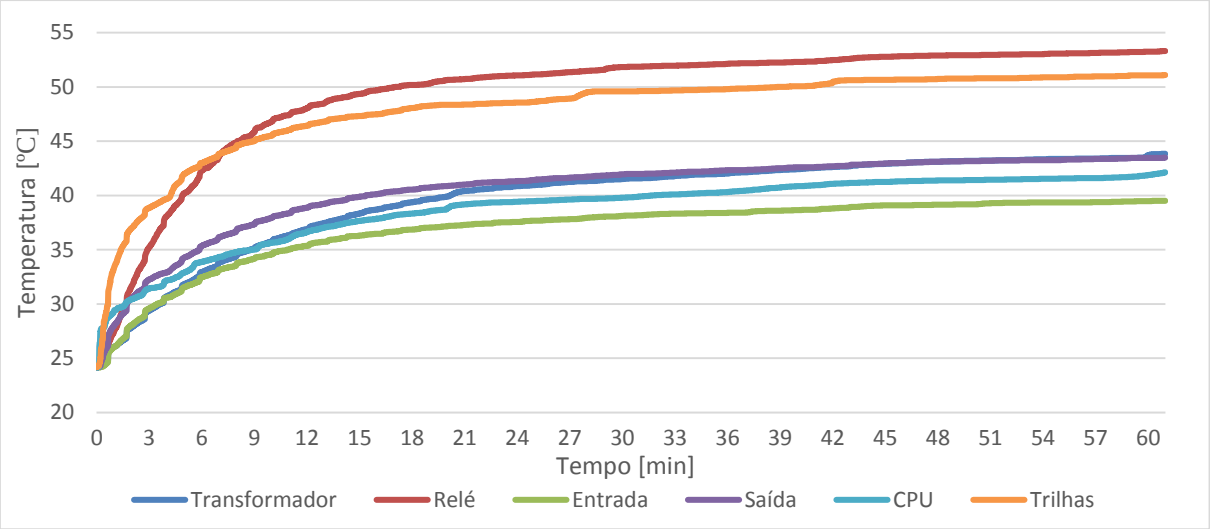
Fonte: Autor (2019).

Figura 31 – Teste do POW em 4,35 A.



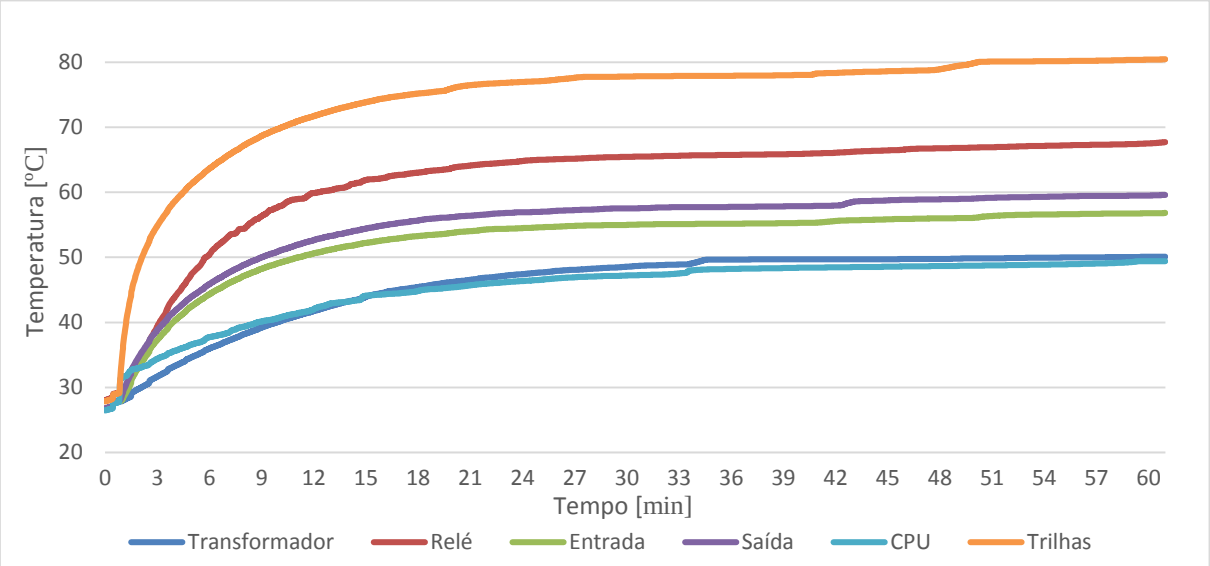
Fonte: Autor (2019).

Figura 32 – Teste do POW em 8,55 A.



Fonte: Autor (2019).

Figura 33 – Teste do POW em 12,70 A.

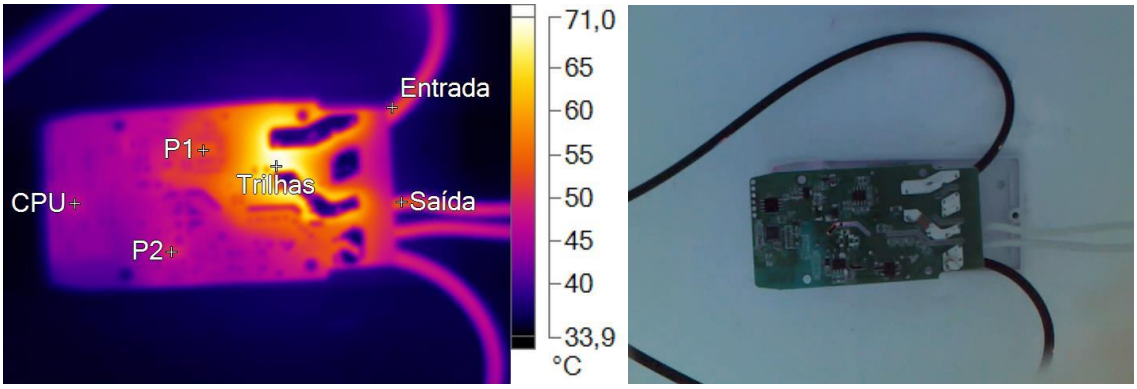


Fonte: Autor (2019).

É possível verificar nos gráficos acima um aquecimento crescente nos elementos de potência, como o relé e as trilhas de condução. Haja vista que as trilhas alcançaram a temperatura de aproximadamente 80 ºC dentro da faixa indicada pelo fabricante como segura, considera-se prudente reduzir este limite para 10 A.

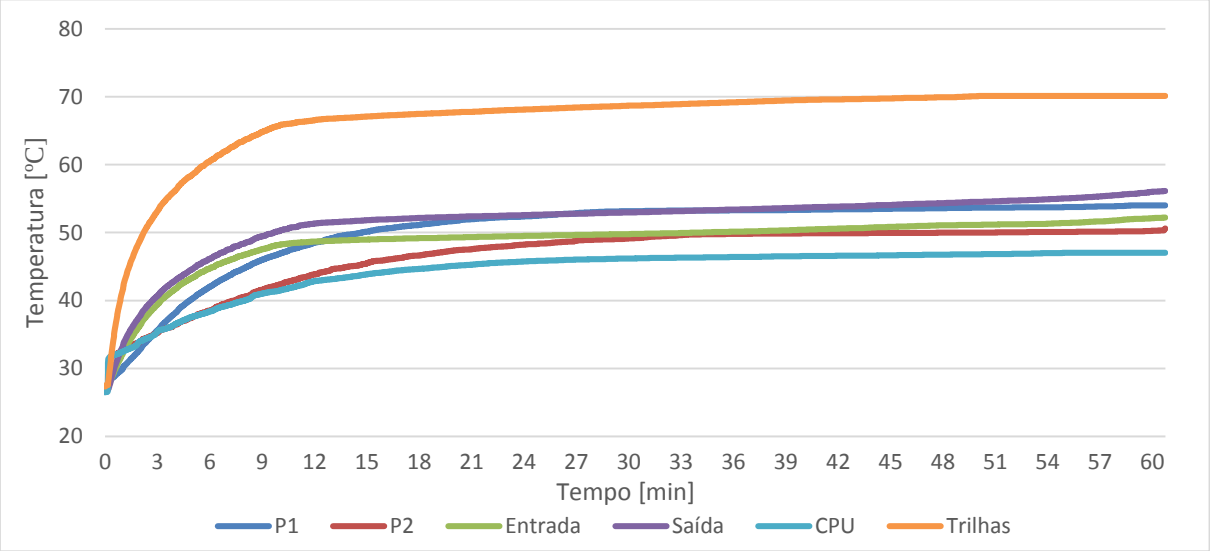
Assim como no Sonoff Mini, foram realizadas medições no verso do equipamento para a condição menos favorável, visando identificar possíveis problemas. As imagens 34 e 35 apresentam os pontos escolhidos para estas medições e os resultados destas respectivamente.

Figura 34 – Termografia dos testes com verso do Sonoff POW R2.



Fonte: Autor (2019).

Figura 35 – Teste do POW em 12,70 A.



Fonte: Autor (2019).

Assim como no resultado obtido na frente do dispositivo foram verificados aquecimentos nos componentes de potência, reafirmando a necessidade de alteração do limite de utilização destes equipamentos para 10 A.

5.3 SITE SURVEY

Segue abaixo a figura 36 retirada do AP360 em que é possível observar a distribuição de Wi-Fi no entorno da planta automatizada. Com base nesta medição, optou-se pela utilização de um dos canais que não foi encontrado nas imediações, o canal 4.

Figura 36 – Utilização dos canais de Wi-Fi nas imediações da planta automatizada.

Canal	SSID	Criptografia	Sinal
11 (2462MHz)	2.4 NET VIRTUA AP. 307	🔒	-46 dBm
8 (2447MHz)	#NET-CLARO-WIFI		-49 dBm
8 (2447MHz)	AP 407- 2G	🔒	-50 dBm
1 (2412MHz)	CRIS	🔒	-53 dBm
1 (2412MHz)	MOREIRANET_MARCELO	🔒	-57 dBm
11 (2462MHz)	Claudia	🔒	-57 dBm
1 (2412MHz)	NET_2Ggilvan	🔒	-62 dBm
6 (2437MHz)	oletelecom-112904	🔒	-64 dBm
11 (2462MHz)	UAIFAI	🔒	-69 dBm
1 (2412MHz)	net virtua bl 5 ap 23	🔒	-70 dBm
7 (2442MHz)	MOREIRANET_511	🔒	-73 dBm
11 (2462MHz)	Tech_G0073422	🔒	-73 dBm
11 (2462MHz)	Nathalia	🔒	-74 dBm
9 (2452MHz)	Ap 43	🔒	-74 dBm
3 (2422MHz)	MOREIRANET_DANIELA	🔒	-75 dBm
10 (2457MHz)	Regina	🔒	-76 dBm
3 (2422MHz)	DIRECT-UIDESKTOP-PNDLBQ0msNd	🔒	-76 dBm
11 (2462MHz)	Haraguchi2.4	🔒	-77 dBm
3 (2422MHz)	FURLANETTO	🔒	-77 dBm
11 (2462MHz)	Diego&Sil	🔒	-80 dBm
10 (2457MHz)	MOREIRANET_ADILSON	🔒	-88 dBm

Fonte: Autor (2019).

É possível observar na figura 37 que o equipamento AP360 é capaz de atingir a todos os equipamentos com níveis aceitáveis de sinal, com exceção dos equipamentos que fazem a automatização da lâmpada do quarto e a fita LED do mesmo ambiente, os quais são localizados conforme figura 7. A distância entre estes equipamentos e o AP360 não é superior a outros equipamentos, assim como o número de barreiras. O resultado inferior se atribui, provavelmente, a alguma fonte de interferência que não é provinda de sinal Wi-Fi. Deve-se realizar um estudo mais aprofundado para verificar o problema específico nesta localização. Outros dispositivos ligados nesta área possuem comunicação intermitente, o que reforça a teoria de que existe uma interferência não diagnosticada.

Figura 37 - Níveis de sinal recebidos pelos dispositivos.

Hostname	Tipo	Rx	Tx	Sinal	Inativo	Conectado
penteadeira_tomada-0695	DHCP	6.0 Mbps	72.2 Mbps	-47 dBm	54 s	55 s
ESP_F74BCA	DHCP	1.0 Mbps	6.5 Mbps	-72 dBm	199 s	201 s
entrada_energia_1-5223	DHCP	6.0 Mbps	65.0 Mbps	-60 dBm	206 s	219 s
Vitor-PC	DHCP	144.4 Mbps	72.2 Mbps	-41 dBm	0 s	1348 s
entrada_energia_2-6169	DHCP	6.0 Mbps	52.0 Mbps	-64 dBm	9 s	2001 s
chuveiro-5043	DHCP	2.0 Mbps	11.0 Mbps	-47 dBm	65 s	2601 s
cama-3585	DHCP	36.0 Mbps	43.3 Mbps	-72 dBm	176 s	2602 s
sacada_sensor-4401	DHCP	6.0 Mbps	57.8 Mbps	-61 dBm	206 s	6090 s
amazon-fc200dbfc	DHCP	24.0 Mbps	72.2 Mbps	-41 dBm	0 s	6115 s
openhab	DHCP	24.0 Mbps	58.5 Mbps	-56 dBm	0 s	6617 s
area_de_servico-2751	DHCP	6.0 Mbps	58.5 Mbps	-61 dBm	206 s	8602 s
desumidificador_-7509	DHCP	6.0 Mbps	58.5 Mbps	-46 dBm	14 s	16934 s
ESP_F74D72	DHCP	2.0 Mbps	58.5 Mbps	-55 dBm	206 s	84803 s
android-f9b7eeff317feb20	DHCP	1.0 Mbps	72.2 Mbps	-52 dBm	1 s	88151 s
RMPROPLUS-17-fd-7b	DHCP	19.5 Mbps	52.0 Mbps	-57 dBm	20 s	94474 s
lumi-gateway-v3_miio132383450	DHCP	72.2 Mbps	65.0 Mbps	-51 dBm	2 s	94548 s
RMMINI-d9-0b-8e	DHCP	65.0 Mbps	65.0 Mbps	-51 dBm	16 s	94574 s
android-802080144636ac4b	DHCP	1.0 Mbps	65.0 Mbps	-49 dBm	7 s	124323 s
entrada-5239	DHCP	6.0 Mbps	65.0 Mbps	-42 dBm	206 s	136404 s
closet-4423	DHCP	2.0 Mbps	58.5 Mbps	-45 dBm	206 s	147804 s
cozinha-1286	DHCP	6.0 Mbps	72.2 Mbps	-42 dBm	206 s	154405 s
corredor-6479	DHCP	6.0 Mbps	65.0 Mbps	-20 dBm	206 s	201205 s
escritorio-4225	DHCP	6.0 Mbps	72.2 Mbps	-47 dBm	206 s	207805 s
quarto_porta-4141	DHCP	6.0 Mbps	72.2 Mbps	-36 dBm	206 s	238406 s
*	DHCP	72.2 Mbps	72.2 Mbps	-46 dBm	7 s	249922 s
aparador-3248	DHCP	6.0 Mbps	65.0 Mbps	-23 dBm	206 s	263607 s
ar_condicionado-4295	DHCP	6.0 Mbps	65.0 Mbps	-36 dBm	206 s	272607 s
penteadeira-7972	DHCP	6.0 Mbps	72.2 Mbps	-44 dBm	121 s	365008 s
amazon-169c2d9eb	DHCP	65.0 Mbps	72.2 Mbps	-40 dBm	9 s	426084 s
sacada-6389	DHCP	54.0 Mbps	52.0 Mbps	-57 dBm	189 s	430410 s
mesa-3366	DHCP	6.0 Mbps	58.5 Mbps	-52 dBm	140 s	788016 s
sala-5439	DHCP	54.0 Mbps	72.2 Mbps	-45 dBm	187 s	871417 s

Fonte: Autor (2019).

Com exceção do problema com os dispositivos citados anteriormente com baixo sinal é possível afirmar, por meio do teste, que a rede atinge com sinal suficiente a todos os pontos e que foi utilizado o canal de menor interferência, resultando na melhor configuração de rede a disposição.

5.4 TESTES DE DISPONIBILIDADE DA COMUNICAÇÃO

Os testes foram realizados entre os dias 5/10 e 24/10 resultando em um total de aproximadamente 6,5 milhões de amostras de *ping*. Os resultados foram analisados separadamente por equipamento para verificar a relação com o nível de sinal individualmente. A tabela 4 apresenta um resumo dos resultados obtidos, em função dos indicadores previamente mencionados.

Tabela 4 - Resultados do teste de disponibilidade da comunicação.

Dispositivo	MTBF	MTTR	Disponibilidade [%]
Medição entrada de energia 1	0:25:16	00:00:05	99,67
Medição entrada de energia 2	0:47:09	00:00:05	99,82
Medição chuveiro	10:17:36	00:00:04	99,99
Medição ar condicionado	5:37:05	00:00:04	99,98
Medição tomadas Penteadeira	0:29:05	00:00:06	99,66
Medição forno	0:45:07	00:00:06	99,78
Medição geladeira	1:15:09	00:00:04	99,91
Medição aquecedor closet	2:45:05	00:00:04	99,96
Medição desumidificador closet	1:27:01	00:00:04	99,92
Sensor na sacada (TH16)	0:07:51	00:00:06	98,74
Luz Cozinha	2:36:04	00:00:04	99,96
Luz Cama	00:09:35	00:00:07	98,82
Luz Quarto Porta	3:44:37	00:00:04	99,97
Luz Entrada	2:25:29	00:00:04	99,95
Luz Sacada	03:44:00	00:00:04	99,97
Luz Área de Serviço	1:23:26	00:00:04	99,92
Luz Mesa	02:28:42	00:00:03	99,97
Luz Sala	6:32:40	00:00:04	99,98
Luz Penteadeira	4:00:13	00:00:04	99,97
Luz Corredor	2:24:56	00:00:05	99,94
Luz Escritório	3:04:10	00:00:05	99,95
Luz Aparador	38:48:38	00:00:04	99,99
Luz Closet	8:38:41	00:00:04	99,99
Broadlink mini	24:00:13	00:00:04	99,99
Broadlink Pro+	1:41:07	00:00:06	99,91
Controlador LED sala	6:05:47	00:00:04	99,98
Controlador LED quarto	00:10:21	00:00:07	98,88
Link Externo	3:17:33	00:00:11	99,91

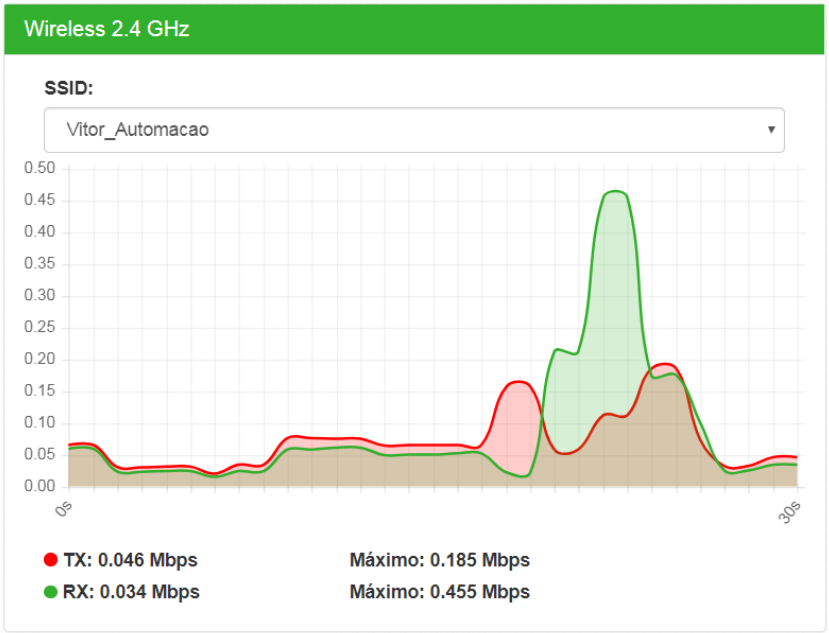
Fonte: Autor (2019)

Verifica-se na tabela 4 valores de MTBF relativamente baixos para alguns equipamentos, em especial equipamentos com sinal baixo como a luz da cama e o LED do quarto, resultando em um grande número de aparentes falhas. No entanto, o MTTR igualmente reduzido nos mostra a tendência de as mencionadas falhas terem sido causadas por erros de *time out*, em que o equipamento por um problema diverso leva mais tempo do que o permitido para emitir uma resposta. Isto é evidenciado pelo MTTR de poucos segundos, inferior ao tempo necessário para que o equipamento realize um reset e reconecte-se a rede. É possível que estas "falhas" não venham a impactar no uso do sistema, aumentado ainda mais a disponibilidade dos equipamentos.

Durante o teste, nenhum problema que necessitasse da intervenção humana foi constatado, sendo todos os reparos realizados automaticamente pelo sistema.

Uma vez que a central de automação realiza requisições de *ping* continuamente, faz-se necessário averiguar a influência destas requisições sobre o funcionamento da rede e o consumo de banda correspondente. Na figura 38, observa-se o consumo da rede em que todos os dispositivos foram conectados. Esta medição foi realizada durante a reprodução de músicas em um dos dispositivos Alexa, sendo que o pico de banda é o momento em que foi feita uma nova requisição de voz. Percebe-se que o consumo de banda para as atividades básicas do sistema, incluindo a constante requisição de *ping*, não é inpactante no funcionamento da rede.

Figura 38 - Consumo de banda na rede da automação.



Fonte: Autor (2019).

5.5 TESTES DE LATÊNCIA DE COMANDOS

Os testes realizados no mesmo dia foram agrupados em forma de média, permitindo uma melhor comparação do tempo médio de resposta do sistema. Estes resultados podem ser visualizados na tabela 5 abaixo.

Tabela 5 - Resultados dos testes de latências.

Equipamento	Teste 1 [s]	Teste 2 [s]	Teste 3 [s]	Média [s]
Interruptores	0,111	0,079	0,074	0,088
Interface visual táctil localmente	1,131	1,666	0,777	1,191
Interface visual táctil em 4G	1,610	1,107	1,112	1,276
Interface de voz na Wi-Fi	2,723	1,704	2,060	2,162
Interface de voz em 4G	2,663	2,183	1,937	2,261

Fonte: Autor (2019).

Observando os dados da tabela acima é possível observar que embora satisfatório, o tempo médio para atendimento dos comandos de voz é superior a 2 s, gerando uma impressão de lentidão no sistema. Esta sensação é ainda maior visto que o tempo de resposta foi calculado entre o instante em que o comando é finalizado até a sua execução, levando aproximadamente o mesmo tempo para obter a confirmação por voz da execução do comando.

5.6 TESTE DE CONEXÕES SIMULTÂNEAS

Os testes de conexões simultâneas indicaram a possibilidade de utilização por múltiplas interfaces simultaneamente sem instabilidades do sistema.

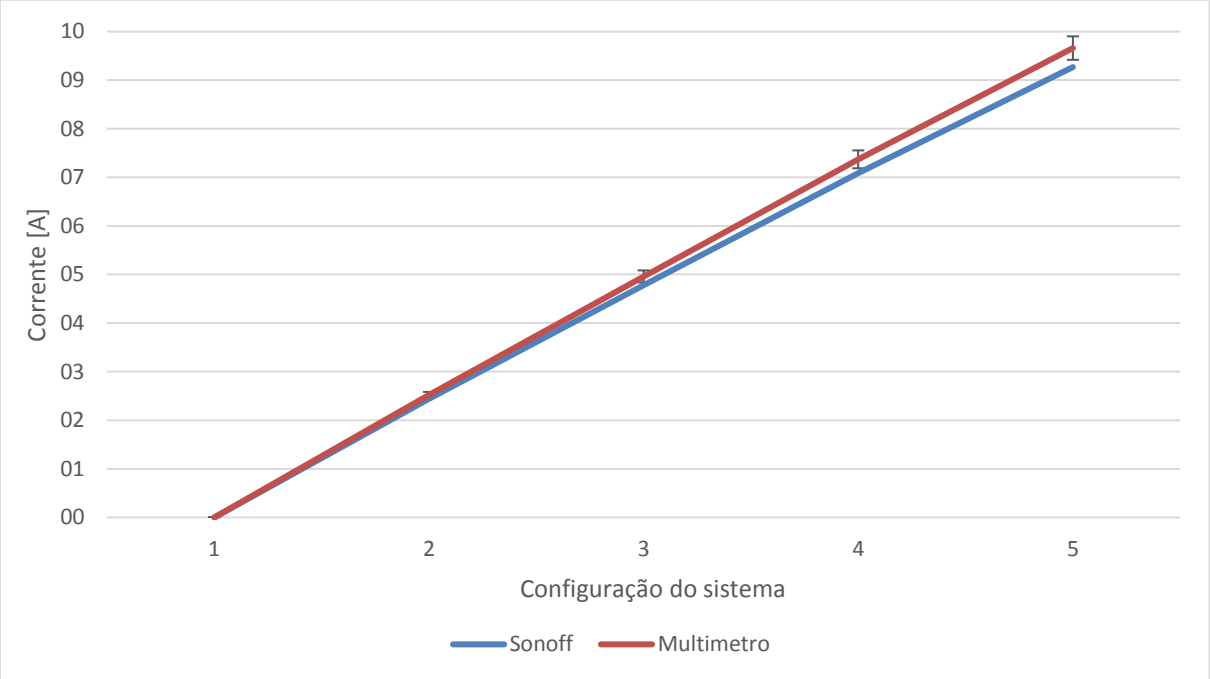
Verificou-se que as alterações realizadas por um dispositivo se refletem nos demais dentro de intervalos compatíveis com os medidos na subseção anterior. Comandos enviados por múltiplas interfaces dentro de um intervalo inferior a latência pode refletir em uma incerteza acerca do estado final do dispositivo comandado. Esta situação não gerou erros no sistema e passado um curto período é possível verificar o estado final do dispositivo, alterando-o se necessário.

Considera-se o sistema apto a operar com múltiplos usuários simultâneos, tendo sido testado com até cinco interfaces.

5.7 VALIDAÇÃO DOS MEDIDORES

Os testes com os Sonoff POW foram realizados no mesmo dia e no mesmo ambiente, não tendo sido levantadas as características deste ambiente por possuírem pouca influência sobre o processo. A seguir, na figura 39, é apresentada uma medição de corrente de um dos equipamentos antes do ciclo de ajuste. Observa-se que no final da curva existe uma tendência superior ao erro máximo do equipamento de referência, impossibilitando afirmar que os equipamentos são comparáveis.

Figura 39 - Correntes em um dos testes do POW R2 em 127 V antes do ajuste de corrente.



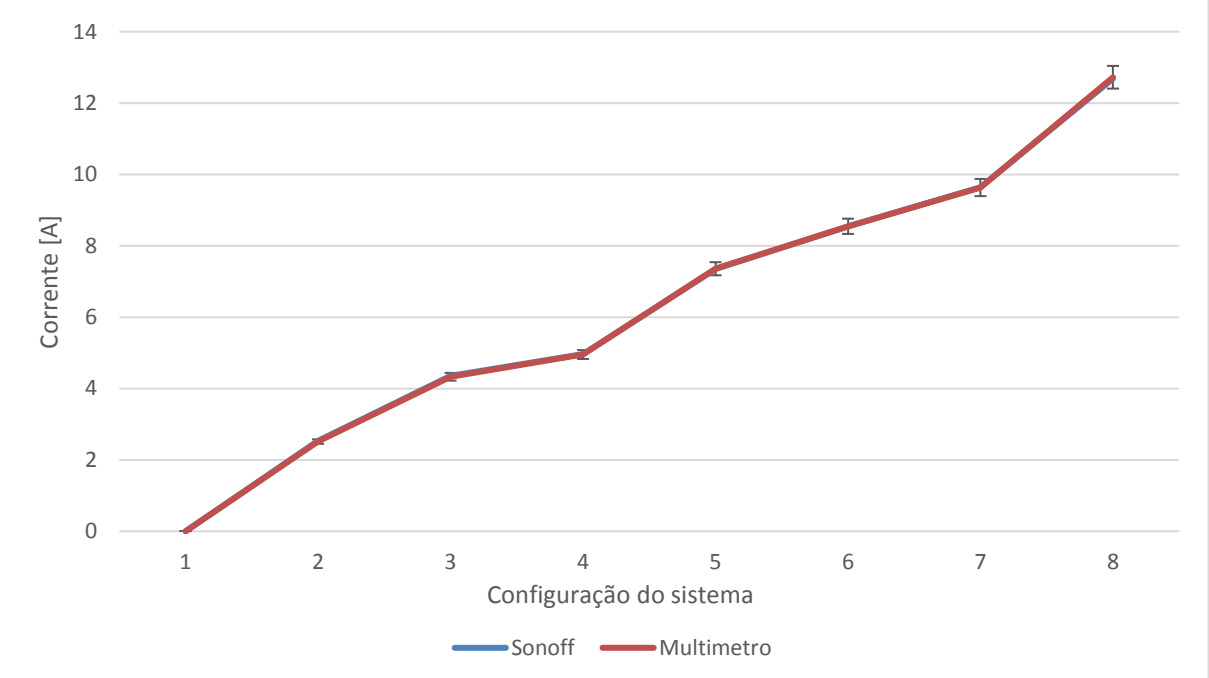
Fonte: Autor (2019).

Não foram realizados ajustes na tensão de nenhum dos equipamentos, visto que a resolução do POW é de 1 V e as tendências apresentadas são aleatórias em torno deste valor. A figura 40 apresenta os resultados de um teste do mesmo equipamento mostrado na figura 39 após o ajuste das correntes, e as figuras 41 e 42 apresentam as respostas de tensão para o mesmo equipamento nos testes de 127 V e 220 V, respectivamente.

É possível observar nos gráficos das figuras 41 e 42 que as medições do Sonoff estão dentro da área de incerteza do multímetro, não sendo possível afirmar que estas são diferentes, validando, em relação à tensão, o medidor para o uso pretendido. Na corrente, o método gráfico

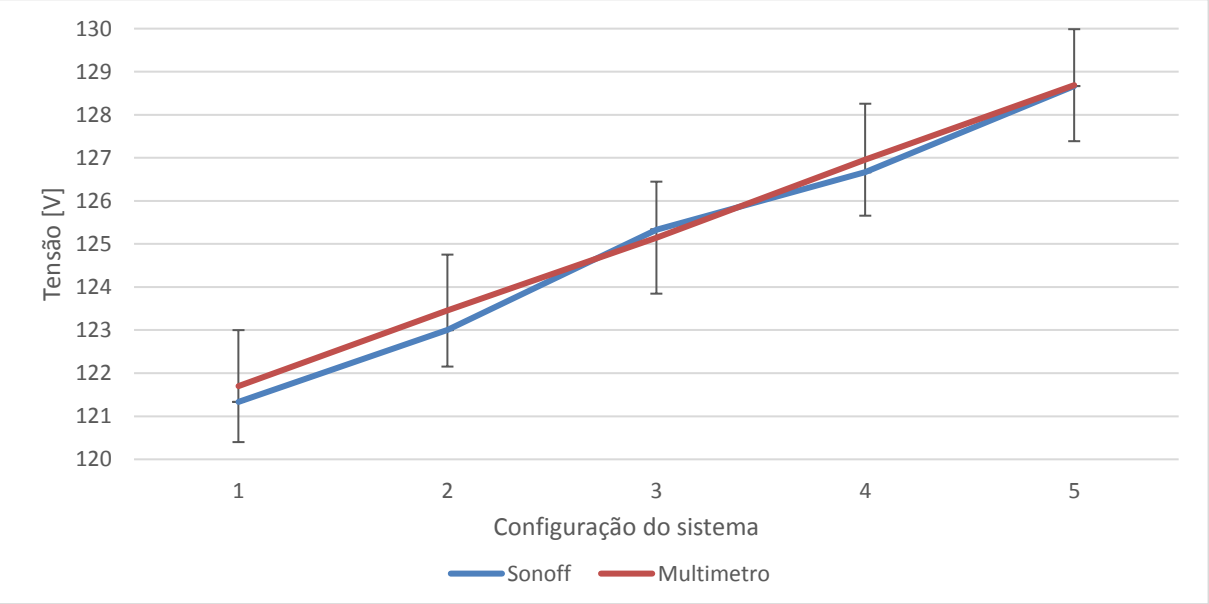
conforme vemos na figura 40, devido às pequenas incertezas apresentadas, não se apresenta útil, sendo necessária a avaliação dos valores envolvidos, a qual é realizada nas tabelas 6 a 8.

Figura 40 - Correntes médias dos testes em 127 V e 220 V do Sonoff POW R2 após ajustes.



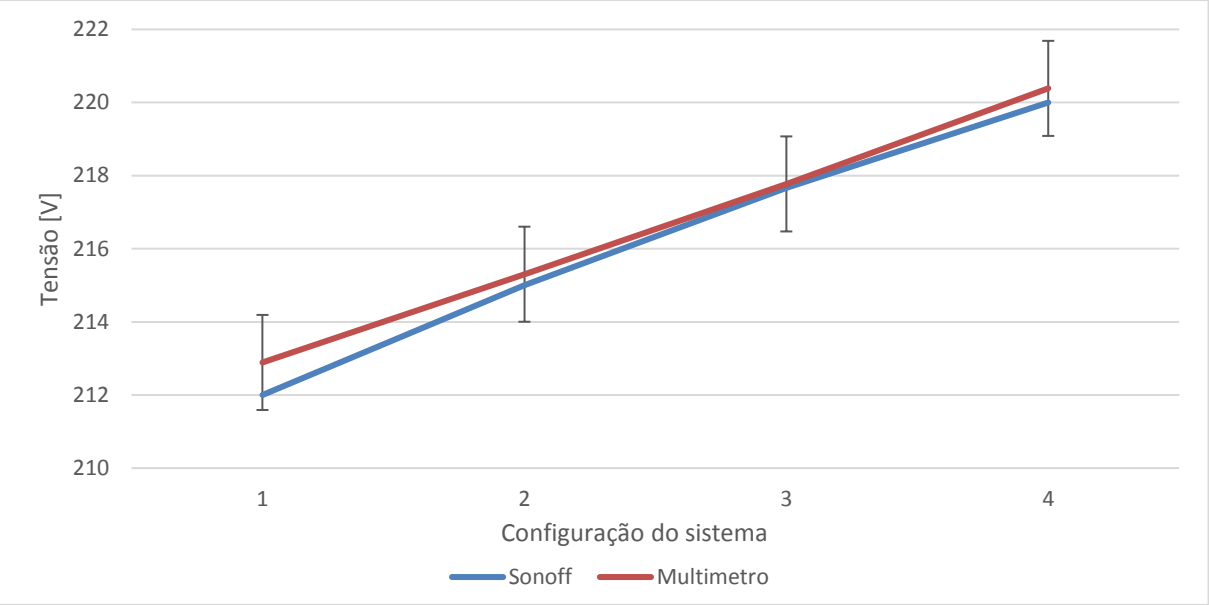
Fonte: Autor (2019).

Figura 41 - Tensões médias dos testes em 127 V em um dos Sonoff POW R2.



Fonte: Autor (2019).

Figura 42 - Tensões médias dos testes em 127 V em um dos Sonoff POW R2.



Fonte: Autor (2019).

Na tabela 6 são apresentados os testes de tensão em 127 V, em que as configurações se referem respectivamente à: Sem carga; com 1 aquecedor em 50%; com um aquecedor em 100%; com 2 aquecedores, um em 100% e outro em 50%; com 2 aquecedores em 100%.

Tabela 6 - Resultados das validações das medições de tensão em 127 V nos dispositivos POW.

		POW 1 [V]	POW 2 [V]	POW 3 [V]	POW 4 [V]	POW 5 [V]	POW 6 [V]
Config. 1	POW	128,67	129,67	129,00	128,00	127,67	128,67
	Referência	128,69	128,78	128,23	128,16	127,99	128,23
	Desvio	0,02	-0,89	-0,77	0,16	0,32	-0,44
	Erro máximo	±1,3	±1,3	±1,3	±1,3	±1,3	±1,3
Config. 2	POW	126,67	128,00	127,00	126,00	126,00	127,00
	Referência	126,96	127,08	126,55	126,27	126,22	126,49
	Desvio	0,29	-0,92	-0,45	0,27	0,22	-0,51
	Erro máximo	±1,3	±1,3	±1,3	±1,3	±1,3	±1,3
Config. 3	POW	125,33	126,67	125,33	124,00	124,00	125,33
	Referência	125,15	125,41	124,88	124,55	124,54	124,84
	Desvio	-0,19	-1,26	-0,453	0,55	0,54	-0,49
	Erro máximo	±1,3	±1,3	±1,3	±1,3	±1,3	±1,3
Config. 4	POW	123,00	124,67	124,00	122,60	122,00	123,67
	Referência	123,45	123,63	123,11	122,89	122,78	123,23
	Desvio	0,45	-1,04	-0,89	0,22	0,78	-0,44
	Erro máximo	±1,3	±1,3	±1,3	±1,3	±1,3	±1,3
Config. 5	POW	121,33	123,00	122,00	121,00	120,67	121,67
	Referência	121,70	121,97	121,42	121,19	121,11	121,52
	Desvio	0,37	-1,03	-0,58	0,19	0,45	-0,15
	Erro máximo	±1,3	±1,3	±1,3	±1,3	±1,3	±1,3

Fonte: Autor (2019).

Na tabela 7 são apresentados os testes de tensão em 220 V, em que as configurações se referem respectivamente à: Sem carga; com 1 aquecedor em 50%; com um aquecedor em 100%; com 2 aquecedores, um em 100% e outro em 50%.

Tabela 7 - Resultados das validações das medições de tensão em 220 V nos dispositivos POW.

		POW 1 [V]	POW 2 [V]	POW 3 [V]	POW 4 [V]	POW 5 [V]	POW 6 [V]
Config. 1	POW	220,00	222,67	221,00	219,00	220,67	220,33
	Referência	220,39	220,92	219,89	219,37	221,17	219,42
	Desvio	0,39	-1,75	-1,11	0,37	0,50	-0,92
	Erro máximo	±1,3	±1,3	±1,3	±1,3	±1,3	±1,3
Config. 2	POW	217,67	220,00	218,00	216,00	217,67	218,00
	Referência	217,77	218,32	217,30	216,78	218,52	217,03
	Desvio	0,11	-1,68	-0,70	0,78	0,86	-0,97
	Erro máximo	±1,3	±1,3	±1,3	±1,3	±1,3	±1,3
Config. 3	POW	215,00	217,00	215,00	213,33	215,67	215,00
	Referência	215,30	215,75	214,68	214,31	216,04	214,46
	Desvio	0,30	-1,25	-0,32	0,97	0,38	-0,54
	Erro máximo	±1,3	±1,3	±1,3	±1,3	±1,3	±1,3
Config. 4	POW	212,00	214,33	213,00	211,00	213,00	213,00
	Referência	212,89	213,31	212,30	211,75	213,87	211,92
	Desvio	0,89	-1,03	-0,70	0,75	0,87	-1,08
	Erro máximo	±1,3	±1,3	±1,3	±1,3	±1,3	±1,3

Fonte: Autor (2019).

Verifica-se nas tabelas 6 e 7 a adequação dos instrumentos de medição em relação à tensão, assim como a necessidade de ajuste do medidor POW 2, a qual não foi realizada, trata-se de uma tendência sistemática que pode ser corrigida de maneira simples.

A tabela 9 apresenta os dados obtidos para corrente agrupando medições realizadas com tensão de 127 V e 220 V. As configurações para estas medições são apresentadas na tabela 8:

Tabela 8 - Configurações para os testes de corrente nos dispositivos POW.

	Tensão [V]	**Aquecedor 1 [%]**	**Aquecedor 2 [%]**
Config. 1	127	0	0
Config. 2	127	50	0
Config. 3	220	50	0
Config. 4	127	100	0
Config. 5	127	100	50
Config. 6	220	100	0
Config. 7	127	100	100
Config. 8	220	100	50

Fonte: Autor (2019).

Tabela 9 - Resultados das validações das correntes nos dispositivos POW.

		POW 1 [A]	POW 2 [A]	POW 3 [A]	POW 4 [A]	POW 5 [A]	POW 6 [A]
Config. 1	POW	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Referência	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Desvio	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Incerteza da ref.	±0,080	±0,080	±0,080	±0,080	±0,080	±0,080
Config. 2	POW	2,538	2,543	2,545	2,534	2,528	2,542
	Referência	2,513	2,513	2,520	2,507	2,523	2,523
	Desvio	-0,024	-0,029	-0,025	-0,027	-0,005	-0,018
	Incerteza da ref.	±0,143	±0,144	±0,144	±0,143	±0,143	±0,144
Config. 3	POW	4,354	4,374	4,360	4,344	4,363	4,357
	Referência	4,330	4,353	4,323	4,317	4,367	4,323
	Desvio	-0,024	-0,021	-0,037	-0,027	0,004	-0,033
	Incerteza da ref.	±0,189	±0,189	±0,189	±0,189	±0,189	±0,189
Config. 4	POW	4,967	4,981	4,979	4,957	4,936	4,964
	Referência	4,953	4,963	4,960	4,943	4,967	4,960
	Desvio	-0,014	-0,018	-0,019	-0,013	0,030	-0,004
	Incerteza da ref.	±0,204	±0,205	±0,204	±0,204	±0,203	±0,204
Config. 5	POW	7,355	7,386	7,386	7,350	7,312	7,367
	Referência	7,357	7,367	7,363	7,343	7,373	7,373
	Desvio	-0,002	-0,019	-0,022	-0,007	0,062	0,006
	Incerteza da ref.	±0,264	±0,265	±0,265	±0,264	±0,263	±0,264
Config. 6	POW	8,547	8,550	8,539	8,490	8,527	8,501
	Referência	8,547	8,547	8,523	8,497	8,583	8,513
	Desvio	-0,000	-0,003	-0,015	0,007	0,057	0,012
	Incerteza da ref.	±0,294	±0,294	±0,293	±0,292	±0,293	±0,293
Config. 7	POW	9,638	9,676	9,681	9,621	9,584	9,646
	Referência	9,633	9,667	9,667	9,623	9,670	9,660
	Desvio	-0,005	-0,009	-0,014	0,002	0,086	0,014
	Incerteza da ref.	±0,321	±0,322	±0,322	±0,321	±0,320	±0,321
Config. 8	POW	12,685	12,707	12,697	12,628	12,717	12,662
	Referência	12,723	12,733	12,703	12,650	12,807	12,667
	Desvio	0,038	0,026	0,006	0,022	0,090	0,005
	Incerteza da ref.	±0,397	±0,398	±0,397	±0,396	±0,398	±0,397

Fonte: Autor (2019).

É possível observar que assim como na tensão, os desvios entre as médias dos equipamentos são inferiores as incertezas da referência demonstrando a sua aptidão para o uso dentro das condições estabelecidas. Um processo de calibração traria confiabilidade às medições realizadas, no entanto, é possível afirmar que o equipamento possui características de erro aleatório dentro do esperado.

Para os medidores baseados no conjunto Sonoff+PZEM são apresentados na tabela 10 os resultados da tensão e na tabela 11 os resultados para a corrente.

Tabela 10 - Resultados das validações das medições de tensão em 220 V nos Sonoff+PZEM.

		Entrada de Energia 1 [V]	Entrada de Energia 2 [V]	Chuveiro [V]
0 A	POW	220,00	221,00	222,00
	Referência	220,00	222,17	222,27
	Desvio	0,00	-1,17	-0,27
	Erro máximo	±1,3	±1,3	±1,3
10 A	POW	218,00	220,00	220,00
	Referência	217,80	220,63	220,63
	Desvio	0,20	-0,63	-0,63
	Erro máximo	±1,3	±1,3	±1,3
20 A	POW	215,00	218,00	217,33
	Referência	215,77	219,00	218,10
	Desvio	-0,77	-1,00	-0,77
	Erro máximo	±1,3	±1,3	±1,3
30 A	POW	212,00	215,00	213,00
	Referência	213,03	216,20	213,57
	Desvio	-1,03	-1,20	-0,57
	Erro máximo	±1,3	±1,3	±1,3
40 A	POW	210,00	212,00	
	Referência	210,40	213,10	
	Desvio	-0,40	-1,10	
	Erro máximo	±1,3	±1,3	

Fonte: Autor (2019).

Tabela 11 - Resultados das validações das correntes nos Sonoff+PZEM.

		Entrada de Energia 1 [A]	Entrada de Energia 2 [A]	Chuveiro [A]
0 A	POW	0,53	0,72	0,00
	Referência	0,53	0,74	0,00
	Desvio	0,00	0,02	0,00
	Incerteza da ref.	±0,09	±0,10	±0,08
10 A	POW	9,37	10,87	9,79
	Referência	10,66	10,83	10,82
	Desvio	-1,29	0,04	-1,03
	Incerteza da ref.	±0,31	±0,35	±0,32
20 A	POW	18,01	20,33	18,37
	Referência	19,56	20,52	19,53
	Desvio	-1,55	-0,19	-1,16
	Incerteza da ref.	±0,53	±0,59	±0,54
30 A	POW	28,96	29,64	33,65
	Referência	28,77	29,62	33,76
	Desvio	-0,81	0,02	-0,11
	Incerteza da ref.	±0,80	±0,82	±0,92
40 A	POW	39,31	40,74	
	Referência	39,53	40,76	
	Desvio	-0,22	-0,02	
	Incerteza da ref.	±1,06	±1,10	

Fonte: Autor (2019).

Ao analisar as tabelas 8 e 9 é possível observar que em relação as tensões os três equipamentos apresentam resultados comparáveis ao equipamento de referência. Na comparação das correntes a situação é diferente, observa-se que apenas o dispositivo para medição de energia na entrada 2 apresenta resultados satisfatórios. Esta diferença pode ser atribuída ao fato de que a carga utilizada na validação foi um chuveiro eletrônico com variação de potência através de dimerização eletrônica, estes dispositivos causam distorções na forma de onda que não são medidas corretamente em dispositivos que não sejam *true RMS* como é o caso do PZEM, assim como de vários medidores utilizados comercialmente. As medições finais em que o *dimmer* do equipamento estava configurado na carga máxima demonstram a adequação dos medidores para utilização em condições de corrente senoidal.

5.8 IMPRESSÕES GERAIS DOS USUÁRIOS

Durante a instalação e após a finalização, o sistema esteve em uso pelos residentes da planta automatizada, tendo sido registradas as impressões gerais sobre o seu funcionamento.

Em relação a falhas, não foram registradas ocorrências que comprometessem o uso do sistema e mesmo após faltas de energia o sistema foi capaz de se recuperar sem nenhum auxílio, demonstrando características de resiliência.

A adição da automação na iluminação não introduziu falhas no acionamento manual por meio dos interruptores em uso normal. Entretanto, para curtos intervalos de tempo entre acionamentos, da ordem de um segundo, o sistema apresenta lentidão e falha no acionamento da referida lâmpada, situação anômala ao uso cotidiano.

O uso da interface de voz é simples, embora apresente um tempo de latência relativamente elevado. Durante a instalação do sistema foi introduzido o idioma português, sendo que anteriormente os comandos deveriam ser proferidos em língua inglesa. Faz-se notar que durante o período em que o sistema operava em língua inglesa este apresentava melhor compreensão das requisições. Em português muitos comandos ainda são recusados pela interface, mesmo que proferidos corretamente, é possível que esta responsividade venha a melhorar com *updates* futuros.

A interface táctil visual ainda apresenta poucos recursos, sendo necessário desenvolver outros módulos que serão identificados pelo uso constante. Em relação ao seu funcionamento, foram registradas lentidões na resposta em alguns momentos e o comando das fitas LED apresenta baixa responsividade, sendo necessário alterar a forma de acionamento destes dispositivos.

A infraestrutura de rede poderia ter sido mais bem planejada, alguns dispositivos possuem interface para conexão de rede cabeada a qual não pôde ser utilizada, uma vez que o AP360 foi empregado na função de roteador com a finalidade de lidar com o grande número de usuários simultâneos. Esta decisão pode ter influenciado na disponibilidade geral do sistema, visto que a conexão da central poderia ter sido realizada por cabos, reduzindo consideravelmente a ocupação do canal Wi-Fi.

O desenvolvimento de rotinas e funções combinadas é simples pelo aplicativo de configuração da Alexa. Contudo, quando se pretende fazer o mesmo diretamente na central de automação, o que permitiria maior confiabilidade e flexibilidade, torna-se uma tarefa complexa, a qual não seria realizada pelo usuário e sim pelo integrador, exigindo recorrentes interferências destes sobre o sistema.

6 CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste trabalho possibilitou a análise de uma solução para automação residencial de baixo custo aliada a confiabilidade. Foram realizadas seleções de produtos com elevado potencial para atendimento dos requisitos e a implementação da referida automação. Esta implementação permitiu a execução de testes que objetivavam a aferição do atendimento dos objetivos principais de confiabilidade.

Ao todo foram automatizados treze pontos de iluminação, duas fitas de LED RGB, dois televisores, um ar condicionado, além da realização de medições de energia em nove pontos considerados de principal relevância.

A solução adotada para atendimento dos requisitos foi a utilização de equipamentos com comunicação Wi-Fi, comandados por meio de uma central em rede local equipada com o software de código aberto OpenHab. A solução aplicada se demonstrou altamente flexível e estável, permitindo a integração das tecnologias e fabricantes escolhidos de forma rápida com custo próximo aos R$ 3.000,00 inicialmente propostos.

Foram realizados testes de comunicação entre a central e os dispositivos sob o pretexto de medir a confiabilidade do *link* de comunicação, os quais apresentaram resultados satisfatórios, não sendo necessária a intervenção humana para correção de falhas e com disponibilidades superiores a 99,5% em praticamente todos os dispositivos, com exceção de 2 dispositivos que apresentaram disponibilidade média de cerca de 98,8%, sendo que estes também apresentaram sinal Wi-Fi reduzido conforme *site survey* realizado.

Testes termográficos foram utilizados para determinação da influência da carga no aquecimento dos equipamentos escolhidos, tendo sido verificada a necessidade da alteração dos limites de operação informados pelo fabricante em alguns dos produtos.

Os dispositivos responsáveis pela medição de energia foram verificados em comparação a equipamentos comerciais apresentando desempenho metrológico dentro dos limites desejados, o que constata a possibilidade de utilização para os fins desejados.

Outros testes foram realizados com o objetivo de aferir a confiabilidade do sistema implementado. Em todos os testes o sistema apresentou resultados satisfatórios, e por este motivo, conclui-se diante da execução desde trabalho que a instalação da automação residencial a custos reduzidos com a manutenção das características de confiabilidade é possível. Para isto são necessários estudos aprofundados da planta a ser automatizada, assim como da disposição dos equipamentos que realizarão a referida automação para redução de fontes de interferência.

A presença de um sinal forte de Wi-Fi em sistemas baseados nesta tecnologia é imprescindível para o seu correto funcionamento.

A utilização de dispositivos móveis assim como o uso de assistente de voz como interface de comando se mostrou adequada ao desempenho esperado, embora o uso da segunda possa apresentar latências acima do esperado devido ao processamento remoto do áudio.

6.1 DIFICULDADES ENCONTRADAS

Durante a implementação do projeto foram observadas as seguintes dificuldades:

- Necessidade de alteração do *firmware* padrão de alguns equipamentos – inicialmente estes apresentavam apenas a opção de conexão em nuvem, tornando o sistema dependente de um link de internet. A simples implantação de um *firmware* modificado não apenas acrescentou a possibilidade de comunicação local como trouxe novas possibilidades de expansão. A necessidade desta alteração ilustra uma das principais barreiras à proposta principal do trabalho, a integração de equipamentos de baixo custo na formação de um sistema confiável e independente de protocolos e marcas não é de interesse dos fabricantes, o que dificulta a sua aplicação neste cenário.
- A utilização de um *software* de código aberto para centralização das tecnologias e informações, embora flexível e versátil, apresenta a constante necessidade de desenvolvimento de módulos e códigos personalizados, o que nem sempre é claramente documentado. Em especial, o desenvolvimento das chamadas “telas” e das rotinas de automação é muito mais complexo do que inicialmente previsto, exigindo um grande esforço, incluindo a edição de códigos, para a personalização desta.

6.2 TRABALHOS FUTUROS

Esta linha de pesquisa tem ainda muitos pontos a serem desenvolvidos que poderiam auxiliar na popularização e redução de custos em sistemas do gênero. Ficando evidente a necessidade de envolvimento de fabricantes e desenvolvedores para a melhoria das soluções já disponíveis. É nesse âmbito que destacamos algumas sugestões para futuros trabalhos:

- Verificação da longevidade do sistema desenvolvido;
- Desenvolvimento de sistemas de custo reduzido para a automação das cortinas;
- Integração com outros dispositivos de automação como sensores de aberturas, centrais multimídia, servidores de dados, inversores fotovoltaicos e outros;
- Desenvolvimento de novas “telas” de automação com foco na análise detalhada das medições elétricas;
- Desenvolvimento de módulos para simplificação de tarefas de desenvolvimento de novas telas e rotinas, permitindo ao usuário final a personalização de seu sistema sem a intervenção dos integradores;
- Comparação da influência da utilização de redes Wi-Fi por meio de AP e redes do tipo *Mesh* na disponibilidade de comunicação de dispositivos de automação Wi-Fi de custo reduzido.

REFERÊNCIAS

ACCARDI, Adonis; DODONOV, Eugeni. Automação Residencial: Elementos Básicos, Arquiteturas, Setores, Aplicações e Protocolos. **Tecnologias, Infraestrutura e Software**, São Carlos, v. 1, n. 2, p.156-166, nov. 2012. Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17829/material/ARTIGO02.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2019.

ALCÂNTARA, Eurípedes. A redoma do atraso. **Veja**, São Paulo, v. 24, n. 25, p. 42-43, jun. 1991.

ALVES, José Augusto; MOTA, José. **Casas Inteligentes.** Lisboa: Centro Atlântico, 2003. 144 p.

AMAZON. **Broadlink RM 3 PRO + Broadlink RM 3 Mini**. Disponível em: <https://www.amazon.com.br/Broadlink-RM-PRO-Mini/dp/B0757FCS64>. Acesso em: 11 out. 2019a.

AMAZON. **Echo Dot (3ª Geração): Smart Speaker com Alexa:** Cor Preta. Disponível em: <https://www.amazon.com.br/Echo-Dot-3%C2%AA-Gera%C3%A7%C3%A3o-Cor-Preta/dp/B07PDHSJ1H>. Acesso em: 12 out. 2019b.

BOLZANO, Caio Augusto Morais. **Residências Inteligentes**: um curso de domótica. São Paulo: Livraria da Física, 2004.

BOLZANI, Caio Augustus Morais. Desmistificando a Domótica. **Sinergia**, São Paulo, v. 1, n. 8, p.17-20, jan-jun 2007.

FILIPEFLOP. **Sensor de Umidade e Temperatura DHT11.** Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-umidade-e-temperatura-dht11/>. Acesso em: 14 out. 2019.

FLUKE. **Especificações: Câmera de Infravermelho Ti200**. Disponível em: <https://www.fluke.com/pt-br/produto/cameras-termicas/ti200>. Acesso em: 14 out. 2019.

FREITAS, Carlos Márcio. **Redes de comunicação em RS-485.** 2017. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/redes-de-comunicacao-em-rs-485/>. Acesso em: 05 jun. 2019.

GEARBEST. **ZDM WiFi RGB LED Smart Controller - White**. Disponível em: <https://www.gearbest.com/diy-parts-and-tools/pp_009170524198.html?wid=1433363>. Acesso em: 11 out. 2019.

HERRUZO, Manuel Calero. **Domotica Hibrida Inalambrica (Jeedom, Z-Wave, WiFi y Open Source.** 2019. 75 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia de Telecomunicações, Universitat Oberta de Catalunya, Catalunya, 2019.

INGRAHAM, Michael. **Tasmota.** 2019. Disponível em: <https://github.com/arendst/Sonoff-Tasmota/wiki>. Acesso em: 09 out. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **VIM:2012**: Vocabulário Internacional de Metrologia: Conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2012). Duque de Caxias, RJ, 2012. 95 p. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/vim_2012.pdf>. Acesso em: 14 out. 2019.

INSTRUMENTOS, Alfa. **Protocolo de Comunicação Modbus RTU/ASCII:** VERSÃO 1.0 – 28/08/2000. São Paulo: Alfa Instrumentos, 2000. 42 p. Disponível em: <https://www.dca.ufrn.br/~affonso/FTP/DCA447/modbus/modbus_manual.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2019.

INTELBRAS. **AP 360 - Access Point Wi-Fi Corporativo de Alta Potência**. Disponível em: <http://loja.intelbras.com.br/ap-360---access-point-wi-fi-corporativo-de-alta-potencia-1990.aspx/p>. Acesso em: 12 out. 2019.

IPEA**. Ipea divulga nova edição do Boletim Mercado de Trabalho.** Brasília, 2016. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=27678&catid=10&Itemid=9. Acesso em: 4 fev. 2019.

ITEAD. **SONOFF MINI:** Two Way Smart Switch. Disponível em: <https://www.itead.cc/sonoff-mini.html>. Acesso em: 09 out. 2019a.

ITEAD. **Sonoff TH10/TH16:** Temperature And Humidity Monitoring WiFi Smart Switch. Disponível em: <https://www.itead.cc/sonoff-th.html>. Acesso em: 13 out. 2019b.

KARDEC, Alan. **O evangelho segundo o espiritismo**. Disponível em: http://www.netpage.estaminas.com.br/sosdepre/codificação.htm. Acesso em: 11 nov. 1998.

MACAMBYRA, Marina. No escuro da biblioteca, brilha luz. *In*: NASCIMENTO, Andrea *et al***. Bibliotecários sem fronteiras.** [S. l.], 02 fev. 2019. Disponível em https://bsf.org.br/2019/02/02/luz-livros-paulo-freire/ . Acesso em: 4 fev. 2019.

MARCONI, Marina de Andrade. Cultura e sociedade. *In*: LAKATOS, Eva Maria. **Sociologia**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 1991.

MEDEIROS, João Bosco. **Alucinação e magia na arte**: o ultimatum futurista de Almada Negreiros. 1991. 100 f. Monografia (Departamento de Letras)–Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP, São Paulo, 1991.

MURATORI, J. R.; DAL BÓ, P.H. **Automação residencial: histórico, definições e conceitos.** O Setor Elétrico, São Paulo, ed. 62, mar. 2011. Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2011/04/Ed62_fasc_automacao_capI.pdf >. Acesso em: 07 abril de 2019.

PRUDENTE, Francesco. **Automação predial e residencial:** Uma introdução. Rio de Janeiro: Ltc, 2011. 230 p.

RAUEN, Fábio José. **Influência do sublinhado na produção de resumos informativos**. 1996. 200f. Tese (Doutorado em Letras/Linguística)-Curso de Pós-graduação em Letras/Linguística, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

RAUEN, Fábio José. **Roteiros de pesquisa**. Rio do Sul: Nova Era, 2006.

ROSARIO, Djan de Almeida do. **Disponibilidade e qualidade operacional de datacenters.** Palhoça: Unisul Virtual, 2016.

SILICON LABS. **I²C HUMIDITY AND TEMPERATURE SENSOR**. 2016. Disponível em: <https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/Si7021-A20.pdf>. Acesso em: 13 out. 2019.

SIMPLÍCIO, Paulo Victor Galvão; LIMA, Beatriz Rêgo; SILVA, Givanildo Santos da. Automação Residencial: Uma solução social e econômica. **Ciências Exatas e Tecnológicas**: Cadernos de graduação, Alagoas, v. 4, n. 3, p.17-24, maio 2018.

SMART AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL. **Entendendo a automação residencial.** São Paulo: Apagar, 2019. 25 slides, color. Disponível em: <http://www.aconvap.com.br/erapido/plugins/erapido.link/download.php?id=6211>. Acesso em: 01 jun. 2019.

SMART HOME BLOG. **OpenHab vs Home Assistant vs Domoticz**. Disponível em: <https://www.smarthomeblog.net/openhab-home-assistant-domoticz/>. Acesso em: 03 out. 2019.

SMART HOME GROUP. **SMART-BUS (S-BUS) TECHNOLOGY.** Disponível em: <https://www.smarthomebus.com/smart-bus-sbus-technology.html>. Acesso em: 05 jun. 2019.

SOUZA, Marcelo Varela de. **Domótica de baixo custo usando princípios de IoT.** 2016. 50 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Software, Pós-graduação em Engenharia de Software, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

SPIVEY, Dwight. **Home automation for dummies.** New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2015. 338 p.

VIEIRA, Rodolfo. **Como instalar e configurar um Medidor de Energia PZEM-004T**. Disponível em: <https://forum.cpha.tech/t/como-instalar-e-configurar-um-medidor-de-energia-pzem-004t/540>. Acesso em: 11 out. 2019.