



**JULIA MARIA PEREIRA MOREIRA**

**ESTUDO DE SOLUÇÃO PARA MONITORAMENTO DE  
QUEDAS EM CASA INTELIGENTE**

**LAVRAS – MG**

**2022**

**JULIA MARIA PEREIRA MOREIRA**

**ESTUDO DE SOLUÇÃO PARA MONITORAMENTO DE QUEDAS EM CASA INTELIGENTE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de Controle e Automação, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. DSc. Marluce Rodrigues Pereira

Orientadora

Prof. DSc. Raphael Winckler de Bettio

Coorientador

**LAVRAS – MG**

**2022**

**JULIA MARIA PEREIRA MOREIRA**

**ESTUDO DE SOLUÇÃO PARA MONITORAMENTO DE QUEDAS EM CASA INTELIGENTE  
STUDY OF SOLUTION FOR MONITORING FALLS IN SMART HOME**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de Controle e Automação, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 19 de setembro 2022.

Profa. DSc. Marluce Rodrigues Pereira UFLA  
Prof. DSc. Raphael Winckler de Bettio UFLA  
Prof. DSc. André Pimenta Freire UFLA  
Prof. Me. Luciano Mendes dos Santos UFLA

Prof. DSc. Marluce Rodrigues Pereira  
Orientadora

Prof. DSc. Raphael Winckler de Bettio  
Co-Orientador

**LAVRAS – MG  
2022**

*Dedico este trabalho aos meus avós, que sempre me apoiam com tanto amor.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço imensamente minha família e meu noivo pelo apoio nas dificuldades e pela motivação para concluir minha graduação e este trabalho. Agradeço meus orientadores, por me apresentarem assuntos e tecnologias que despertaram ainda mais o meu interesse e, principalmente, à professora Marluce, pelo suporte incomparável desde o início da minha atividade vivencial até a entrega deste trabalho. Por fim, um agradecimento especial à minha avó, que costurou com tanto carinho a base do dispositivo vestível desenvolvido.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>5</b>
1.1	Contextualização.....	5
1.2	Problema de Pesquisa .....	6
1.3	Objetivos.....	6
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>7</b>
2.1	Queda de idosos e acidentes domésticos .....	7
2.2	Casa assistiva .....	7
2.3	Dispositivos vestíveis .....	8
2.4	Acelerômetro e giroscópio .....	9
2.5	Internet das coisas .....	10
2.6	ESP32 .....	11
2.7	Protocolo MQTT .....	12
2.8	Node-RED .....	13
2.9	Trabalhos relacionados .....	13
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>14</b>
3.1	Configurações de Hardware .....	14
3.2	Configurações de Software .....	15
3.3	Construção do dispositivo vestível .....	16
3.4	Casos de teste .....	16
3.5	Metodologia de realização de testes .....	17
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>24</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>26</b>

# Estudo de solução para monitoramento de quedas em casa inteligente

Julia Maria Pereira Moreira<sup>1</sup>, Marluce Rodrigues Pereira<sup>2</sup>, Raphael Winckler de Bettio<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Automática – Universidade Federal de Lavras (UFLA)

<sup>2</sup>Departamento de Computação Aplicada – Universidade Federal de Lavras (UFLA)

<sup>3</sup>Departamento de Computação Aplicada – Universidade Federal de Lavras (UFLA)

julia.moreira@estudante.ufla.br, marluce@ufla.br, raphaelwb@ufla.br

**Abstract.** *The constant progress of technology, mainly in the area of health, brings numerous benefits, one of them being the increase in expectation of human life. However, problems that occur on a recurring basis with the age group of the older people are on the radar of studies that also seek to improve the quality of life of these people. The number of cases of falls from the older people worries, even more because they are a part of the population that usually lives alone. In the context of smart homes, several solutions for monitoring the older people have emerged to increase safety and provide faster assistance, if necessary. One of these solutions is the use of wearable devices responsible for identifying the person's movements. This work presents the study and development of a wearable device capable of detecting falls and, if they occur, automatically warn the necessary people through alert messages through the Telegram application so that they can help the person who has suffered a fall.*

**Resumo.** *O constante progresso da tecnologia, principalmente na área da saúde, traz inúmeros benefícios, sendo um deles o aumento da expectativa de vida do ser humano. Porém, problemas que acontecem de forma recorrente com a faixa etária de idosos passam a ficar no radar de estudos que buscam também a melhoria da qualidade de vida dessas pessoas. O número de casos de quedas de idosos preocupa, ainda mais por ser uma parcela da população que costuma morar sozinha. No contexto de casas inteligentes, surgiram diversas soluções para monitoramento de idosos visando aumentar a segurança e um socorro mais rápido, caso necessário. Uma dessas soluções é o uso de dispositivos vestíveis responsáveis por identificar os movimentos da pessoa. Este trabalho apresenta o estudo e desenvolvimento de um dispositivo vestível capaz de detectar quedas e, caso ocorram, avisar automaticamente as pessoas necessárias através de mensagens de alerta pelo aplicativo Telegram para que possam socorrer a pessoa que sofreu uma queda.*

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Contextualização

Atualmente, com o incentivo à inovação e à tecnologia como importante pilar para melhorar a qualidade de vida das pessoas, tem-se também um aumento da expectativa de vida e da taxa de envelhecimento da população mundial. Sendo assim, problemas observados

nessa faixa etária estão cada vez mais em foco. Em questões relacionadas a atividades do cotidiano, desde as mais simples como cozinhar até as mais elaboradas como uma ida ao banco, já é natural que a independência das pessoas diminua proporcionalmente com o aumento da idade. Riscos como o da queda aumentam ainda mais a preocupação dos familiares e pessoas próximas e diminuem cada vez mais a independência dos idosos [Zhang et al. 2021].

Dessa forma, busca-se amenizar as consequências dessas dificuldades na vida das pessoas que moram sozinhas, ao mesmo tempo que resgata a independência em atividades cotidianas e tranquiliza pessoas próximas a elas. Uma possível solução para garantir os pontos citados consiste em instalar sistemas de monitoramento na casa dessas pessoas, afim de garantir auxílio caso ocorra um acidente, seja incêndio, desmaio, queda ou até um mal estar causado por alterações em sinais vitais. Existem diferentes tipos de dispositivos de alerta de emergência que foram desenvolvidos para pessoas dependentes, incluindo crianças, pessoas com deficiência, doentes e idosos. A maioria deles envia um alarme somente quando a ajuda é necessária, mas alguns são desenvolvidos para monitorar a saúde de pacientes doentes, como pressão sanguínea, frequência cardíaca, entre outros [Lersilp et al. 2020].

## **1.2. Problema de Pesquisa**

O principal problema tratado neste trabalho consiste em como identificar que uma pessoa idosa que se encontra sozinha em sua residência sofreu uma queda e, além de identificar, utilizar essa informação para alertar pessoas próximas através de mensagens de aviso. Busca-se então uma solução eficaz, portátil, e com integração com a rede de internet para manter a conectividade e realizar os avisos quando necessário. Uma das formas de fazer isso é com o uso de sensores, pois com eles é possível obter dados capazes de serem interpretados ao nível de identificar uma queda. Porém, ainda há o questionamento se o uso de sensores em dispositivos vestíveis é suficiente para esse tipo de monitoramento, uma vez que os movimentos que um ser humano faz são muito variados.

Realizar o monitoramento de um ambiente, significa utilizar diferentes dispositivos que obtenham dados desejados, como uma câmera, um sensor de temperatura, sensor de umidade ou de luminosidade, entre outros, para a partir desses dados ser possível tomar decisões em busca de atingir os objetivos determinados. Da mesma forma, para monitorar situações que acontecem com seres humanos é preciso “vestir” sensores e dispositivos capazes de identificar variações e comunicar informações importantes de tal maneira que as leituras e coletas de dados não sejam prejudicadas e sejam úteis para as análises necessárias. Surgem então os dispositivos vestíveis como opção para o monitoramento de características e movimentos humanos e se torna necessário o aprofundamento nos estudos sobre as tecnologias e problemas envolvidos, buscando alternativas para que apresentem o máximo de confiabilidade possível nos dados.

## **1.3. Objetivos**

O objetivo principal deste trabalho é o projeto e implementação de um protótipo de dispositivo vestível para monitoramento de queda, utilizando os sensores acelerômetro e giroscópio, e conectar esse monitoramento a um ecossistema de casa inteligente utilizando a plataforma Node-RED para gerenciar avisos, caso seja detectada uma queda. Para atingir

esse objetivo é necessário dividi-lo em outros objetivos específicos relacionados às etapas de desenvolvimento do protótipo.

É necessário pesquisar e entender as tecnologias envolvidas em dispositivos vestíveis já existentes e, a partir disso, escolher as melhores e de custo mais acessíveis para implementar em um protótipo real. Neste trabalho, o objetivo foi integrar o acelerômetro e o giroscópio com o módulo ESP32<sup>1</sup> para construir o projeto. Depois disso, o propósito é desenvolver um software capaz de recolher os dados dos sensores de maneira confiável e interpretá-los para identificar diferentes movimentos que determinam uma queda, para com essas interpretações ser possível integrar o ESP32 com o ambiente de casa inteligente instalado com a plataforma Node-RED<sup>2</sup> e gerenciar alertas enviados pela internet para pessoas registradas, se preciso.

A Seção 2 apresenta um Referencial Teórico sobre queda de idosos e acidentes domésticos, casa assistiva, internet das coisas, dispositivos vestíveis, acelerômetro e giroscópio, ESP32, filtro complementar, protocolo MQTT, Node-RED e trabalhos relacionados. A Seção 3 descreve a Metodologia adotada para construção do protótipo e define os casos de testes estudados, bem como o padrão seguido para realização desses testes. A Seção 4 apresenta todos os resultados obtidos com a solução desenvolvida e, por fim, a Seção 5 trata das conclusões sobre o protótipo e solução implementadas e indica as oportunidades de desenvolvimento para melhoria do projeto.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. Queda de idosos e acidentes domésticos**

Define-se queda por “vir a inadvertidamente ficar no solo ou em outro nível inferior, excluindo mudanças de posição intencionais para se apoiar em móveis, paredes ou outros objetos” [Kalache 2010]. Por se tratar de um problema cada vez mais presente na vida das famílias ao redor do mundo, a Organização Mundial da Saúde (OMS), que define a faixa etária de idosos como 60 anos ou mais, publica relatórios mundiais visando a prevenção de quedas na velhice. “A frequência de quedas aumenta com a idade e o nível de fragilidade. Aproximadamente 28% a 35% das pessoas com mais de 65 anos de idade sofrem quedas a cada ano, e a proporção sobe para 32% a 42% para as pessoas com mais de 70 anos.” [Kalache 2010]. Além disso, relata-se uma maior frequência de quedas em casas de repouso, em alguns casos inclusive quedas recorrentes. É possível concluir, então, que mesmo que as casas de repouso sejam adaptadas para a realidade das tarefas dos idosos, ainda assim não estão fora do perigo. Estuda-se então cada vez mais a implementação de soluções integradas à moradia dessas pessoas para que seja rápido o atendimento caso aconteça quedas, como por exemplo o desenvolvimento de sistemas de vigilância inteligentes para monitoramento, uma vez que as consequências médicas de acidentes como esse dependem muito do tempo de resposta do resgate [Mubashir et al. 2013]. Esses sistemas de vigilância podem ser construídos dentro de casas assistivas.

### **2.2. Casa assistiva**

Desde os primeiros objetos e dispositivos desenvolvidos e nomeados como “tecnologia”, o objetivo sempre foi de auxiliar ou facilitar alguma tarefa humana. Tecnolo-

<sup>1</sup>Datasheet disponível em: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1148023/ESPRESSIF/ESP32.html>

<sup>2</sup>Node-RED é uma ferramenta de desenvolvimento baseada em fluxo para programação visual desenvolvida para conectar dispositivos de hardware, APIs e serviços online como parte da Internet das Coisas.

gias assistivas são “produtos tecnológicos que apoiam pessoas no desempenho de suas atividades diárias ou manutenção de suas capacidades de função” ou ainda “qualquer ferramenta, dispositivo, software ou sistema que utiliza tecnologia moderna para manter ou aprimorar as capacidades funcionais de indivíduos com necessidades especiais” [Hélter Melo et al. 2020]. Tecnologias assistivas são então tecnologias pensadas e desenvolvidas especificamente para tarefas especiais e para pessoas que necessitam, ultrapassando a função de facilitador e se tornando essenciais para a vida das pessoas que a utilizam.

Para implementar essas tecnologias assistivas nas casas da população, principalmente para idosos, é necessário compreender bem quais são os objetivos e quais questões impedem o uso, ou seja, realizar estudos completos com relação à aceitação, uma vez que grande parte desse grupo não é familiarizado ainda com tantas tecnologias no dia a dia além das utilizadas para comunicação, como telefone ou mensagens de texto. Os Ambientes de Vida Assistida (AALs) têm como objetivo “criar objetos de alta tecnologia que objetivam não ser invasivos e fáceis de usar” [Hélter Melo et al. 2020].

Os Ambientes de Vida Assistiva, além das funções de monitoramento e segurança, são inteligentes. “Um ambiente doméstico inteligente é definido como uma aplicação onipresente capaz de fornecer aos usuários serviços de assistência com reconhecimento de contexto e automação residencial. A casa passa a interagir com as pessoas e a executar seus comandos, assim como age de forma independente, em casos de emergência” [Hélter Melo et al. 2020]. Sendo assim, há a aplicação de tecnologias cada vez mais atuais em conjunto com sensores e atuadores para que o controle do sistema seja completo e inteligente. Afinal, esses ambientes são projetados para realizar uma tarefa importante, que é zelar pela vida das pessoas que a utilizam. Esses dispositivos são acomodados de forma que possam ser “vestidos” de forma confortável pela pessoa que será monitorada.

### **2.3. Dispositivos vestíveis**

Dispositivos vestíveis, como o próprio nome sugere, são tecnologias desenvolvidas para serem utilizadas diretamente em contato com o corpo, seja como sensores embutidos na roupa, como acessórios de utilizar na cabeça, crachás ou ainda como acessórios de pulso, que são os mais famosos atualmente. Diversas marcas já possuem os chamados “smartwatches”, que são os relógios com funções dos já conhecidos smartphones e que cada vez mais tem aplicações que são interessantes para monitoramento da saúde do indivíduo que o utiliza. Já existem “smartwhatches” que, por exemplo, são capazes de realizar medições de temperatura corporal, concentração de glicose ou oxigênio no sangue, pH do sangue e pressão arterial através de sensores biométricos [Stavropoulos et al. 2020].

Os benefícios desse tipo de tecnologia são muito interessantes do ponto de vista da qualidade de vida das pessoas, principalmente da população idosa. Porém, a aceitação desses dispositivos por essa parte da população pode ser um impecílio, demandando um cuidado especial com detalhes de usabilidade e facilidade de entendimento.

No caso específico de detecção de quedas, como tratado em [Awolusi et al. 2018], há o estudo também sobre melhor local para o dispositivo vestível considerando dois principais fatores: a precisão dos sensores e a necessidade de ser confortável para a pessoa que está usando. Neste trabalho foram utilizados os sensores acelerômetro e gi-

roscópio para detecção de quedas e, dentre os lugares disponíveis para acoplá-los, tem-se cintura, cabeça, punho, frente da cintura, coxa, peito, tornozelo e braço. Segundo [de Quadros et al. 2018] e [Awolusi et al. 2018], os melhores locais para garantir o acerto na análise dos dados dos sensores são tórax, tornozelo e cintura, porém estes são fortemente ligados ao estigma de utilizar um dispositivo médico e, aliado ao fato de ter a necessidade de ser utilizado 24 horas por dia, podem ser desconfortáveis e menos aceitos [de Quadros et al. 2018].

O local mais confortável do ponto de vista do usuário é o pulso, porém as soluções que são baseadas em dispositivos vestíveis acoplados ao pulso possuem os piores resultados de precisão, com valores menores que 90%, aumentando muito o nível de complexidade da análise e dos cálculos envolvendo os dados obtidos. Para dispositivos que são utilizados nesse local então, acaba sendo necessário um estudo mais aprofundado sobre a utilização desses dados, algumas literaturas incluem, por exemplo, aplicações de aprendizado de máquina como recurso para aumentar a precisão e qualidade das análises realizadas [de Quadros et al. 2018].

#### **2.4. Acelerômetro e giroscópio**

Acelerômetros e giroscópios são sensores inerciais utilizados para monitoramento de movimentos e baseados na tecnologia de sistemas microeletromecânicos (Micro Electro Mechanical Systems - MEMS). “MEMS são dispositivos de tamanho entre 1mm e 10m que combinam componentes elétricos e mecânicos para produzir diversos tipos de sensores” [Torres 2018]. Quando o objetivo é determinar com precisão o movimento de um objeto ou usuário, pode ser necessário combinar os sinais dos sensores como os acelerômetros e os giroscópios, uma vez que os acelerômetros apresentam como sinal de saída a aceleração linear do objeto e os giroscópios a velocidade angular. A combinação desses sinais resultam em uma informação mais completa do movimento e permite análises mais assertivas.

Visto que a fusão dos sensores é vantajosa, é possível encontrar dispositivos comercializáveis que já apresentam a solução integrada. É o caso do módulo MPU-6050<sup>3</sup>, que possui três eixos para o acelerômetro e três eixos para o giroscópio, sendo ao todo seis graus de liberdade. Além disso, o módulo possui capacidade de acesso a outros sensores através de um barramento auxiliar I2C, ou seja, um barramento de comunicação serial que utiliza apenas dois fios, o que possibilita a obtenção de um conjunto pleno de dados de sensores e aumentando as alternativas disponíveis para uma mesma solução. Outra vantagem do módulo MPU6050 está no seu tamanho reduzido, fazendo com que seja ideal para utilização em dispositivos vestíveis com o objetivo de monitorar os movimentos de usuário.

O módulo MPU6050 possui os dois sensores integrados, e isso facilita a implementação em projetos. O ângulo obtido pelo giroscópio depende de uma posição conhecida encontrada através do acelerômetro e isso faz com que surjam ruídos e desvios que aumentam proporcionalmente com o tempo de medição, fazendo com que os dados fiquem imprecisos. Observando o funcionamento do módulo é possível perceber que a leitura do giroscópio é boa, mas apresenta oscilações de valores, causando a imprecisão

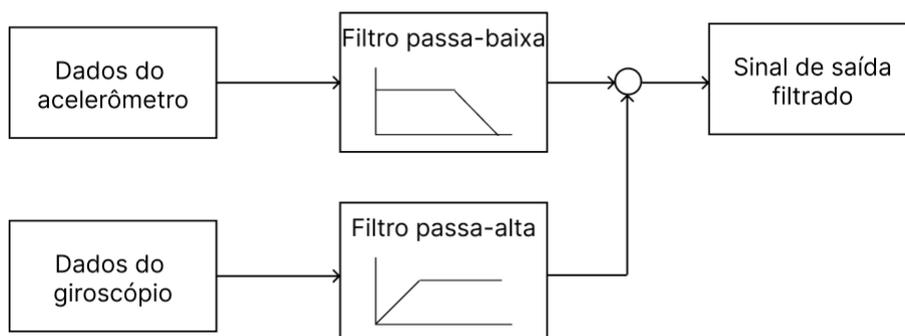
---

<sup>3</sup>Datasheet disponível em: <https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/robocore-lojavirtual/974/MPU-6000-Datasheet1.pdf>

citada anteriormente. Já o acelerômetro possui muito ruído, ou seja, presença de valores aleatórios, mas tem desvio nulo. Sendo assim, os sinais obtidos são imprecisos e, por isso, não são confiáveis.

Para obter o ângulo de inclinação a partir dos sinais do acelerômetro e do giroscópio se implementa um filtro complementar. “O filtro complementar é um método de fusão das medições pertencentes à baixa frequência com as medições pertencentes à alta frequência” [Torres 2018]. O sinal do acelerômetro é afetado por ruídos de alta frequência e o sinal do giroscópio é afetado por ruídos de baixa frequência. O ângulo gerado a partir do acelerômetro passa por um filtro passa baixa e o ângulo gerado a partir do giroscópio passa por um filtro passa alta, permitindo então que o sinal de saída seja formado pela parcela de cada sinal de entrada filtrado, diminuindo o impacto dos ruídos no valor final. O diagrama representado na Figura 1 esquematiza a malha do filtro complementar.

**Figura 1. Implementação de filtro complementar nas leituras do giroscópio e do acelerômetro.**



Fonte: Da autora (2022).

Após coletados os dados de movimento de uma pessoa que está utilizando o vestível, esses dados precisam ser processados e analisados quando ocorre queda. Em seguida, os responsáveis por socorrer a pessoa que sofreu queda devem ser avisadas. Para que isso ocorra, é necessário que sejam utilizados os recursos tecnológicos de internet das coisas.

## 2.5. Internet das coisas

Refere-se como Internet das coisas (IoT) o fato de conectar-se à internet uma variedade de objetos, dispositivos e sensores e resultar em um conceito de monitoramento e controle do ambiente e das atividades realizadas por seres humanos. O objetivo de controlar e utilizar sensores em objetos e máquinas é de melhorar a eficiência, a precisão, automação e planejamento dos processos envolvidos, uma vez que se estabelece uma relação entre o mundo físico e o virtual, podendo prever e monitorar os dados desejados [Pimenta 2019]. O nome Internet das Coisas é relativamente novo, mas a busca por combinar computadores e redes acontece há vários anos. “Coisas são dispositivos (físicos ou virtuais) que possuem identidades, atributos e personalidades virtuais e são capazes de utilizar interfaces inteligentes” [Martins and Zem 2015].

Essa conectividade integra diferentes, e cada vez mais inovadoras, tecnologias e todas se baseiam em endereçamentos e protocolos de comunicação padrão. Além disso, são tecnologias muito presentes no cotidiano das pessoas, tomando responsabilidades de modo que os usuários não mais questionam seus funcionamentos, apenas as utilizam de maneira natural e totalmente integrada às ocupações diárias. Esse é o objetivo dos dispositivos vestíveis, além de vários dispositivos médicos de monitoramento que tem como finalidade apresentar bons resultados clínicos e ao mesmo tempo serem aceitos pelos usuários incentivando o cuidado com a saúde e a qualidade de vida. Todos os conceitos de casa assistiva e dispositivos vestíveis, utilizando de sensores e dispositivos diversos, só são possíveis com a conectividade e as consequências geradas pela implementação de internet das coisas.

Para que um dispositivo vestível com sensores integrados possa notificar um familiar de uma pessoa que sofreu um acidente doméstico é necessário que seja capaz de interpretar a informação provinda dos sensores quando houve a queda. Além disso, esse dispositivo deve ser capaz de conectar-se à internet e ao familiar e, então, enviar uma mensagem de alerta. Nessa situação descrita são utilizadas diversas tecnologias diferentes como protocolos de comunicação, servidores de rede, softwares de implementação de conectividade, como Node-RED, dispositivos e sensores. A Figura 2 esquematiza de maneira simplificada a comunicação implementada neste trabalho, onde os sensores são conectados ao módulo ESP32 que ficam num vestível e ocorre comunicação pelo protocolo MQTT com um servidor. Esse servidor hospeda o Node-RED e é capaz de se comunicar com a pessoa que receberá o alerta. Essa pessoa poderá usar um dispositivo como um smartphone ou notebook para receber a mensagem e alerta.

## 2.6. ESP32

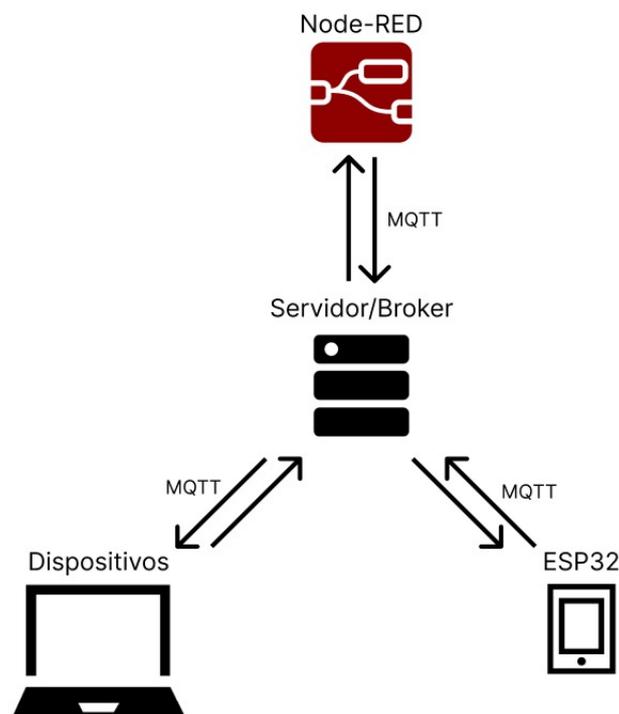
Quando se fala em Internet das Coisas, o dispositivo ESP32<sup>4</sup> é uma das melhores alternativas encontradas no mercado. “O ESP32 é um dispositivo IoT (Internet das Coisas) que consiste de um microprocessador de baixa potência dual core Tensilica Xtensa 32-bit LX6 com suporte embutido à rede WiFi, Bluetooth v4.2 e memória flash integrada” [Oliveira 2018]. Dessa forma, quando o objetivo envolve a conexão com a internet e a integração de sensores para monitoramento de ambientes e movimentos, encontrar um dispositivo que já possua essas funções integradas de conectividade é uma melhor opção, pois mesmo que exista outras tecnologias modulares, como Arduino, a aquisição de todas as extensões necessárias faz com que o projeto se torne mais caro, existam mais conexões físicas que podem apresentar problemas, e conseqüentemente o conjunto de todos os componentes fique maior, ocupando maior espaço físico. Facilitando também o projeto, o MPU6050 se comunica com as placas microcontroladoras por meio do protocolo I2C, um protocolo de comunicação serial que utiliza apenas dois fios para conexão e envio de informações [Ítallo Santos Lima e Silva and de Araujo Kaschny 2012].

Este dispositivo possui também baixo consumo de energia, sendo assim uma escolha vantajosa para projetos que envolvem mobilidade e uso contínuo. No caso de dispositivos vestíveis, por exemplo, tende-se a buscar cada vez mais uma eficiência da bateria para poder reduzir ao máximo a frequência de necessidade de recarga e assim aumentar o período de uso. Atualmente os smartphones são os dispositivos com maior presença

---

<sup>4</sup>Datasheet disponível em: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf)

**Figura 2. Esquema de comunicação entre dispositivos com Internet das Coisas.**



Fonte: Da autora (2022).

na vida das pessoas, e a eficiência de bateria ideal contempla todo o período em que as pessoas estão ativas, ou seja, o período em que as pessoas dormem acaba sendo o único período para recarga do dispositivo sem atrapalhar seu pleno uso. Para dispositivos voltados a monitoramentos de parâmetros de saúde, o período de uso ideal é contínuo e sem pausas, sendo assim, a eficiência energética é uma característica ainda mais importante.

Por fim, outro ponto importante que determina a escolha de um ESP32 é o fato de possuir certificação da Anatel. Todos os produtos de telecomunicação devem ter esse certificado que atesta que estão em conformidade com as normas da Anatel para que possam ser utilizados e comercializados, uma vez que a Anatel é responsável por regulamentar e fiscalizar todas as questões relacionadas à telecomunicações no Brasil. O certificado só é concedido para produtos que passam por homologação, ou seja, depois de passar por todos os testes necessários o produto é considerado adequado às normas brasileiras e é compatível com o sistema [Faria 2018].

## **2.7. Protocolo MQTT**

Partindo de conceitos básicos de redes de computadores, é necessário entender que para que dois ou mais computadores se comuniquem é preciso que falem a mesma língua, ou seja, é preciso que usem o mesmo protocolo. A comunicação é caracterizada pelo trânsito de informação entre um emissor e um receptor, e isso só é possível se ambos utilizarem um mesmo protocolo. O protocolo MQTT (do inglês Message Queue Telemetry Transport) é um protocolo que cada vez mais está sendo utilizado para implementação de soluções que envolvem Internet das Coisas (IoT), tanto em soluções industriais quanto domésticas.

“Trata-se de um protocolo de mensagens baseado na arquitetura publish/subscribe, voltado para dispositivos restritos e redes inseguras, com baixa largura de banda e alta latência” [Martins and Zem 2015]. Sendo assim, a comunicação se torna melhor por não sobrecarregar a internet e o dispositivo, além de apresentar uma simplicidade de código e de utilização por diversos sistemas [Fernandes 2020].

Outro conceito importante é o de arquitetura cliente/servidor. “Na rede existem os fornecedores de recursos ou serviços a rede, que são chamados de servidores, e existem os requerentes dos recursos ou serviços, denominados clientes” [Silva et al. 2016]. Ao utilizar protocolo MQTT para a comunicação, vários clientes podem se comunicar com um mesmo servidor, chamado broker. Os dispositivos conectados ao mesmo broker podem publicar (publish) ou receber (subscribe) informações, dessa forma publica-se mensagens para serem enviadas para um endereço específico, chamado tópico, ou inscreve-se em um ou mais tópicos para que seja possível receber mensagens que outros clientes publiquem em um mesmo tópico [Martins and Zem 2015].

## **2.8. Node-RED**

Com o objetivo de conectar e implementar dispositivos IoT é possível encontrar algumas ferramentas que facilitem as atividades em níveis de código e programação. “Node-Red trata-se de uma ferramenta de programação baseada em fluxo, usada principalmente para integrar componentes eletrônicos com aplicações de diferentes naturezas, possibilitando desenvolver programas de forma rápida e intuitiva” [Pimenta 2019].

Criado pela IBM Emerging Technology, assim como o protocolo MQTT, a ferramenta visual Node-RED possui código aberto e se baseia nos “nós” ou “nodes”, blocos de funções pré definidas disponíveis em uma aba da plataforma chamada “paleta”. É possível construir o fluxo desejado apenas arrastando os blocos para a área de trabalho fornecida e realizar as conexões e interações desejadas entre blocos [Pimenta 2019]. Para que seja possível avaliar se o fluxo construído está realizando as funções como determinado, a plataforma possui ainda uma aba de “debug”, onde as mensagens e ações aparecerem de forma síncrona com o funcionamento do sistema desenvolvido.

Além dos blocos de ação já existentes disponíveis na plataforma, tem-se também a possibilidade do usuário criar novos blocos. Para isto, é necessário ter conhecimentos básicos de Linguagem de Marcação de Hipertexto (HTML) e JavaScript, sendo a primeira uma linguagem de marcação, componente básico da web, e a segunda uma linguagem de programação dinâmica. Os blocos desenvolvidos pelo usuário podem ser reutilizados em vários projetos e pode também ser compartilhado entre usuários. Com essas facilidades de implementação e de compartilhamento, o Node-RED vem cada vez mais sendo utilizado no cenário de desenvolvimento de soluções em IoT e conectividade atual, por se mostrar uma plataforma muito útil e prática [Basílio 2021].

## **2.9. Trabalhos relacionados**

O trabalho de Torres [2018] aborda a construção de um sistema vestível para detecção de queda em casas inteligentes. O monitoramento de queda é feito através de dois sensores (acelerômetro e giroscópio de 3 eixos), acoplados ao peito do usuário. Um algoritmo de análise de limites utiliza os dados gerados por esses sensores para detectar quedas. Essa abordagem é a mesma realizada neste trabalho. Porém, no trabalho de Torres [2018] não

foi utilizado Node-Red como ferramenta para realizar a integração dos dispositivos com a rede e um sistema de casa inteligente, utiliza-se a plataforma Home Assistant e sistema KNX.

Há também o trabalho de Quadros et al. [2018] que apresenta o desenvolvimento e avaliação de uma solução de detecção de quedas com implementação do aprendizado de máquina para melhorar os resultados. A solução desenvolvida é utilizada no pulso, por ser considerado o lugar mais confortável, e utiliza acelerômetro, giroscópio e magnetômetro para calcular aceleração, velocidade e deslocamento que, implementados em métodos baseados em aprendizado de máquina, conseguem definir a melhor abordagem para detecção da queda. Os resultados são baseados nos dados adquiridos dos movimentos de queda e não queda de 22 voluntários demonstrando a abordagem utilizada para testes com usuários reais. O aprendizado de máquina não foi implementado neste atual trabalho, mas apresenta grande oportunidade de melhoria de resultados se implementado posteriormente.

No artigo de Mubashir et al. [2013] há um levantamento abrangente de diferentes sistemas de detecção de quedas e dos algoritmos implementados em cada um. Três categorias de abordagens são identificadas: soluções baseadas em dispositivos vestíveis, em dispositivos postos no ambiente e em soluções baseadas na visão, ou seja, utilizando câmeras. A análise sobre os dispositivos vestíveis trata dos mesmos sensores utilizados neste trabalho e a abordagem é bem próxima considerando algoritmos e local do dispositivo vestível. Já as análises das outras abordagens são interessantes, pois demonstram alternativas que, se atreladas aos dispositivos vestíveis, acrescentam ainda mais confiabilidade ao monitoramento em casas inteligentes principalmente no problema da queda de idosos.

### **3. METODOLOGIA**

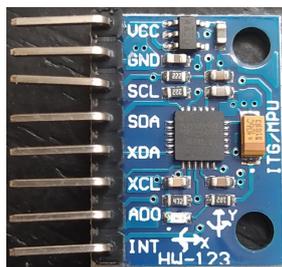
A partir dos conhecimentos apresentados anteriormente sobre tecnologias e aplicações que envolvem Internet das Coisas escolheu-se os componentes físicos, ou seja, o hardware utilizado no projeto, além de se aprofundar nos softwares empregados e linguagem de programação utilizada. Todos os elementos implementados a fim de desenvolver uma solução para monitoramento de quedas serão descritos nesta seção.

#### **3.1. Configurações de Hardware**

O dispositivo vestível para monitoramento de quedas tem seu funcionamento baseado em dois sensores, o acelerômetro e o giroscópio, pois só a partir deles é possível encontrar padrões de movimentos que determinem uma queda e então realizar as seguintes atividades como alertar familiares. O módulo MPU6050 possui os dois sensores citados integrados de forma a facilitar a utilização de seus dados de saída e por isso foi o módulo escolhido para realização dos testes envolvidos.

Inicialmente, como módulo de desenvolvimento do sistema, utilizou-se um Arduino UNO, pois se mostrou satisfatório para implementação dos testes com o módulo MPU6050 em bancada, ou seja, fora do contexto real do objetivo. Porém, considerando que o objetivo do projeto tem grande relação com a conectividade Wifi e Internet das Coisas, a utilização do Arduino UNO ficou comprometida, uma vez que seria necessário adquirir mais um módulo apenas para a função da conexão com a rede, indo contra o desejo de se construir um dispositivo portátil, vestível e compacto.

**Figura 3. Módulo MPU6050.**



Fonte: Da autora (2022).

Optou-se então por utilizar o módulo ESP32 (Figura 4), que possui tamanho reduzido e suporte embutido à rede WiFi e Bluetooth, além de memória flash integrada, dispensando então a utilização de outros módulos microcontroladores como o Arduino UNO. Necessita-se então conectar apenas o módulo MPU6050 com o módulo ESP32, e esta é feita com 4 ligações. Os pinos SCL e SDA do MPU6050 são conectados aos pinos D22 e D21 do ESP32, enquanto os pinos VCC e GND do MPU6050 são conectados aos 3,3 V e GND do ESP32.

**Figura 4. Módulo de programação ESP32.**



Fonte: Da autora (2022).

### **3.2. Configurações de Software**

Para desenvolvimento da programação do projeto utilizou-se a própria Arduino IDE, ou seja, o ambiente de desenvolvimento integrado criado para programar microcontroladores da família Arduino, mas que atualmente pode ser utilizada também para módulos compatíveis, como é o caso do ESP32. A linguagem de programação da IDE é C++, uma linguagem de nível médio baseada na linguagem C.

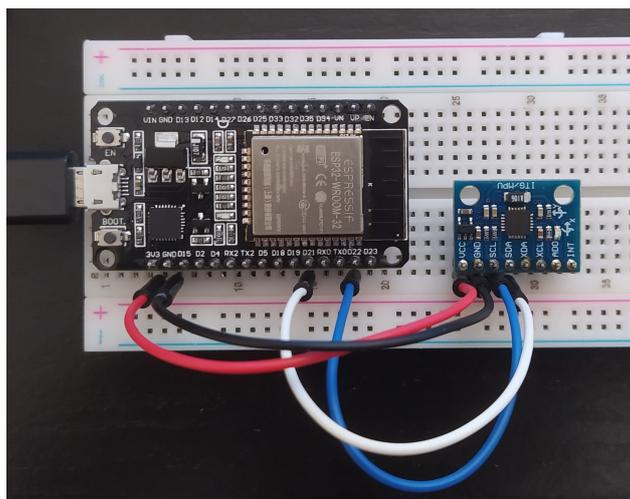
Todas as funcionalidades necessárias para desenvolvimento da solução são obtidas baixando extensões e bibliotecas na Arduino IDE. Para que o ambiente reconheça o módulo ESP32 é necessário adicionar uma URL específica do pacote que contém a placa correspondente nas preferências da aplicação e então será possível encontrar e instalar no gerenciador de placas da IDE o pacote completo. É importante selecionar sempre a placa correta para que seja possível carregar programas, neste caso utiliza-se a placa “ESP32 Dev Module”.

Assim que o reconhecimento da placa correta é feito, já é possível compilar e carregar programas. Porém para utilização do módulo MPU6050 é necessário instalar bibliotecas específicas que já possuem funções prontas para leitura e tratamento de dados dos sensores, além das bibliotecas que auxiliam no uso da conectividade WiFi do módulo ESP32. As bibliotecas instaladas são: WiFi, Ethernet, Wire e PubSubClient.

### 3.3. Construção do dispositivo vestível

A construção do protótipo começou com a montagem dos componentes em bancada para realização de testes básicos de funcionamento, apenas tendo como objetivo realizar a leitura dos dados dos sensores de maneira satisfatória, implementar a comunicação com outros clientes a partir do protocolo MQTT e implementar o filtro complementar de forma a aumentar a confiabilidade dos dados. Nessa etapa o módulo de desenvolvimento ESP32 possui alimentação direta do computador utilizado para desenvolvimento do software e por isso ainda não possui a portabilidade desejada. A Figura 5 retrata a disposição dos componentes do protótipo na primeira etapa de construção sem considerar eixos de leitura do sensor.

Figura 5. Protótipo do dispositivo vestível em bancada.



Fonte: Da autora (2022).

Para construção do protótipo do dispositivo vestível considerou-se o tórax como melhor local para acoplar os componentes, visando dados mais confiáveis e melhor desempenho. A partir dessa determinação buscou-se uma forma confortável e segura de utilizar o dispositivo como demonstrado na Figura 6. Além disso, a posição do módulo que possui os sensores acelerômetro e giroscópio é tal de forma que o plano horizontal seja o plano XZ orientando a leitura dos dados. A alimentação do ESP32 nesta etapa é realizada através de uma bateria de 9V conectada aos pinos VIN e GND do módulo.

### 3.4. Casos de teste

Considerando a faixa etária dos idosos, é possível identificar alguns cenários que podem resultar em queda. São esses: “quedas ao caminhar ou em pé, quedas ao ficar em pé sobre suportes, por exemplo, escadas, bancos, etc, quedas ao deitar ou levantar da cama ou cair ao se sentar em uma cadeira” [Mubashir et al. 2013]. Por isso, para realizar os

**Figura 6. Dispositivo vestível.**

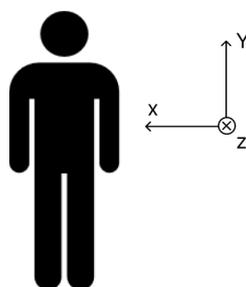


Fonte: Da autora (2022).

testes determinou-se três movimentos de não queda e quatro movimentos de queda para análise. Dos movimentos de não queda se tem caminhando, parado em pé e sentado, e dos movimentos de queda se tem queda para frente, para trás e para os lados esquerdo e direito.

Assim que são determinados esses movimentos de estudo se consideram variações a partir dos valores de inicialização e estacionários dos sensores do módulo MPU6050, dessa forma inicializa-se sempre o dispositivo na posição sentado em busca de reproduzir um cenário onde o usuário veste o dispositivo pela manhã antes de se levantar, mantendo assim as referências de valores com as menores variações possíveis e melhorando os resultados. Os eixos cartesianos de referência ficam dispostos segundo a Figura 7.

**Figura 7. Disposição dos eixos X, Y e Z em referência ao corpo do usuário.**



Fonte: Da autora (2022).

### **3.5. Metodologia de realização dos testes**

Para a realização de testes foi definida a seguinte metodologia:

1. A pessoa responsável por utilizar o protótipo do dispositivo vestível deve colocar o mesmo no corpo, ajustando as alças de maneira a ficar acoplado e fixo ao tórax,

mas ainda de forma confortável que não impeça os movimentos. O dispositivo deve estar desligado.

2. Após ajustado e vestido devidamente, o usuário deve se sentar em uma cadeira com postura ereta e ligar o dispositivo.
3. Todos os testes devem durar dois minutos para melhor visualização dos dados plotados, ser realizados em um local com conexão Wi-fi estável e pelo mesmo usuário.
4. Para os testes de não queda os dados podem ser recolhidos assim que o dispositivo for ligado, porém para os dados de queda o usuário deve se levantar e se dirigir até o local de testes e aguardar no mínimo trinta segundos até que os dados se estabilizem para melhor visualização nos gráficos que são plotados simultaneamente.
5. Após realizar o movimento de queda aguardar novamente no mínimo trinta segundos para estabilização dos dados.
6. Ao fim da coleta de dados desejada o usuário deve desligar o dispositivo para que a plotagem de dados pare e os gráficos possam ser salvos com os dados recentes.
7. Idealmente repete-se os testes de três a quatro vezes para comparação de dados e coerência.

#### 4. RESULTADOS

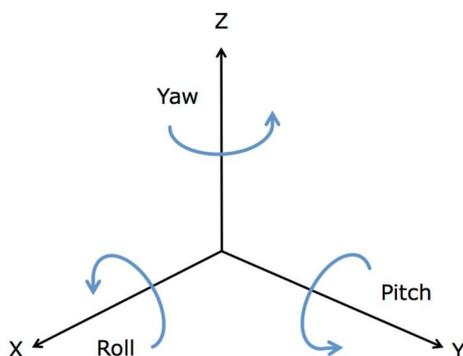
A obtenção dos resultados se inicia com a leitura dos dados do módulo MPU6050. Os valores brutos lidos pelos sensores podem ser obtidos utilizando a biblioteca Wire, porém é necessário realizar o tratamento desses dados, pois os valores encontrados não correspondem a nenhuma grandeza física e por isso é necessário convertê-los. No caso do giroscópio os valores são convertidos para graus por segundo (°/s) e representam as variações de posição em uma grandeza de velocidade angular. Já para o acelerômetro, os dados brutos são utilizados para encontrar um ângulo de inclinação, mas para que o resultado dos valores obtidos seja um valor mais preciso é necessário utilizar uma relação entre os três eixos fazendo uma conversão segundo as equações 1, 2 e 3 implementadas no código. Nas equações temos *rho* que representa a rotação em torno do eixo Y, *phi* que representa a rotação em torno do eixo X e *theta* que representa a rotação em torno do eixo Z, “arctan” refere-se a encontrar o arco tangente, a função inversa da tangente, e os valores  $A_x$ ,  $A_y$  e  $A_z$  representam as leituras obtidas com o módulo MPU-6050 nos eixos X, Y e Z, respectivamente. Denomina-se também as variações em torno dos eixos X, Y e Z como “Roll”, “Pitch” e “Yaw”, respectivamente, assim como demonstrado na Figura 8.

$$\rho = \arctan \left( \frac{A_x}{\sqrt{A_y^2 + A_z^2}} \right) \quad (1)$$

$$\phi = \arctan \left( \frac{A_y}{\sqrt{A_x^2 + A_z^2}} \right) \quad (2)$$

$$\theta = \arctan \left( \frac{\sqrt{A_x^2 + A_y^2}}{A_z} \right) \quad (3)$$

**Figura 8. Eixos cartesianos e variáveis das rotações em torno dos mesmos.**



Fonte: ResearchGate (2014).

Assim que a leitura dos dados dos sensores fornece valores tratados e com unidades conhecidas, inclui-se a implementação do filtro complementar com função de diminuir ruídos nas medições ao integrar dados do giroscópio com os ângulos obtidos nas leituras do acelerômetro. O filtro complementar utiliza duas constantes nos cálculos,  $\alpha$  (alfa) e  $\Delta t$  (taxa de amostragem).  $\alpha$  é determinado por uma relação entre uma constante de tempo e a taxa de amostragem. Para os cálculos desse artigo se utiliza uma constante de tempo igual a 1 e uma taxa de amostragem de 0,04, valores obtidos através das especificações do módulo de sensores escolhido, resultando em um valor de alfa igual a 0,96. Dessa forma, o ângulo filtrado é encontrado através da equação 4.

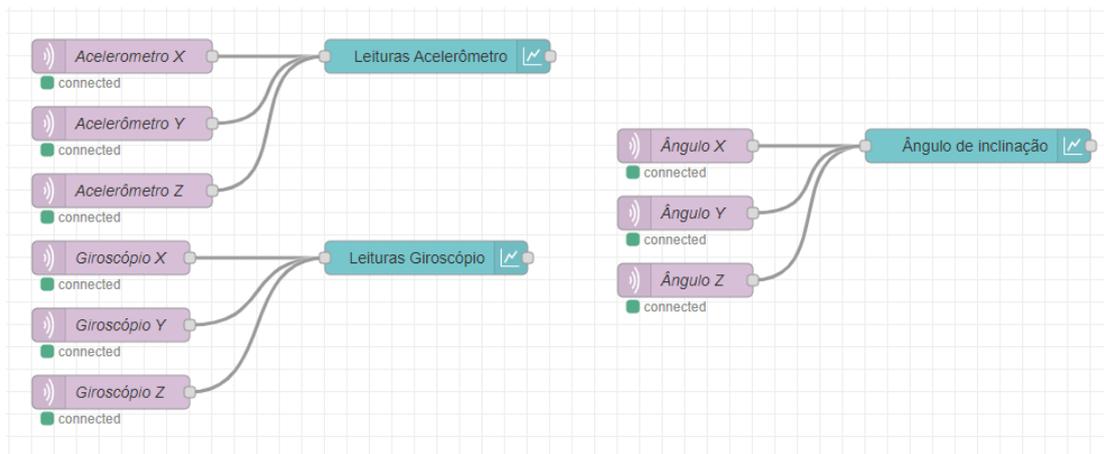
$$Angulo = \alpha * (Angulodogiroscopio) + (1 - \alpha) * (Angulodoacelerometro) \quad (4)$$

Com todas as leituras ocorrendo de maneira correta busca-se desenvolver o algoritmo de detecção de quedas a partir de valores obtidos para os movimentos de queda e de não queda determinados anteriormente. Foi desenvolvido um dashboard utilizando a plataforma Node-RED capaz de plotar de maneira síncrona os valores obtidos com o dispositivo. As leituras dos dados são publicadas em tópicos e no fluxo construído no Node-RED realiza-se a inscrição nesses tópicos nos nodes chamados de “mqtt in”, isso é possível pois tanto o módulo de desenvolvimento ESP32 quanto o node estão conectados no mesmo broker, segundo conceitos de servidor e clientes, utilizando protocolo MQTT já descritos neste trabalho. Esses nodes responsáveis por receber os valores das leituras são ligados a nodes “chart” capazes de plotar gráficos no dashboard. Assim os dados são postados ao mesmo tempo que as leituras acontecem. O fluxo construído está demonstrado na Figura 9.

A partir do dashboard construído é possível monitorar os valores das leituras desejadas para posterior análise e definição de limites para cada tipo de queda determinada. Os gráficos apresentam os testes seguindo a metodologia descrita anteriormente primeiro para os valores de não queda: sentado, em pé e andando e são demonstrados nas Figuras 10 e 11. Os dados seguintes são dos movimentos de queda: para frente, para trás, para lado direito e para lado esquerdo, segundo Figuras 12, 13, 14 e 15, respectivamente.

Em todos os gráficos plotados o eixo X apresenta os últimos dois minutos de leitura dos sensores no formato HH:MM. Já o eixo Y para o gráfico “Leituras Ace-

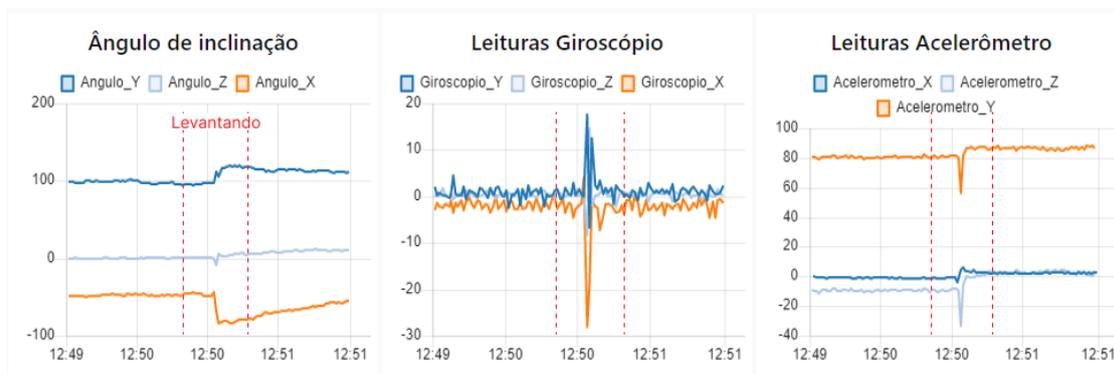
**Figura 9. Nodos de inscrição nos tópicos onde os valores dos sensores são postados.**



Fonte: Da autora (2022).

lerômetro” apresenta as variações dos ângulos em graus, para o gráfico “Leituras Giroscópio” apresenta a velocidade angular em graus por segundo ( $^{\circ}/s$ ) e, para o gráfico “Ângulo de inclinação” o eixo Y apresenta os ângulos em graus. Os valores apresentados foram analisados para verificação de coerência e são amostras escolhidas dentre outras quatro para cada movimento.

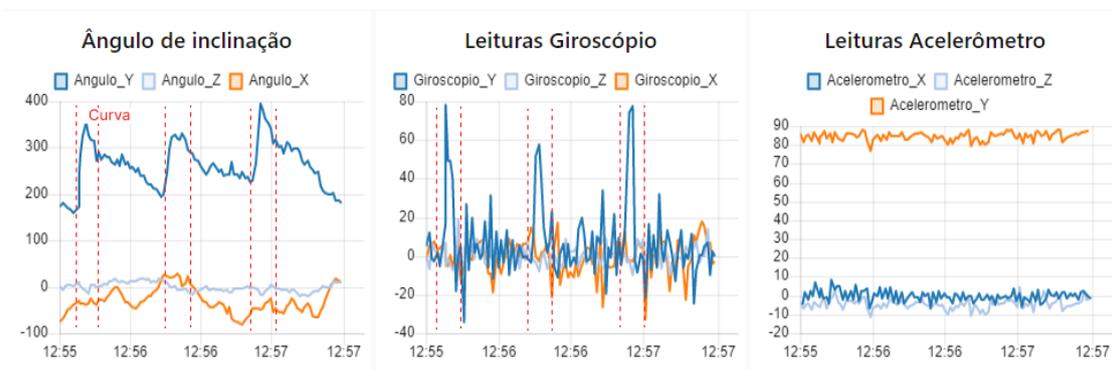
**Figura 10. Valores obtidos para teste de usuário inicialmente sentado e depois em pé.**



Fonte: Da autora (2022).

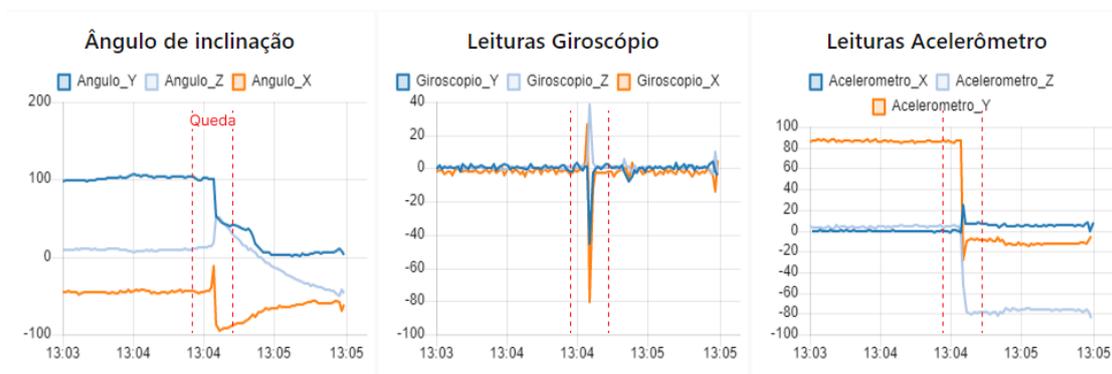
É possível inferir dos gráficos gerados que os movimentos de não queda não serão confundidos com movimentos de queda, uma vez que os valores obtidos para velocidade angular tanto para o movimento de se levantar de uma cadeira quanto movimentos andando não são maiores que 80 ou menores que -40, já para os movimentos de queda os valores obtidos na leitura do giroscópio ultrapassam esses limites. A velocidade angular é muito importante para determinação dos limites, pois a velocidade dos movimentos de queda são claramente maiores que de movimentos cotidianos. Era de se esperar que nas leituras do acelerômetro o eixo Z e o eixo Y apresentassem maior variação em graus para os movimentos de queda para frente e para trás, uma vez que estes movimentos ocorrem rotacionando os eixos em torno do eixo X. E, para os movimentos de queda para os la-

Figura 11. Valores obtidos para teste de usuário andando.



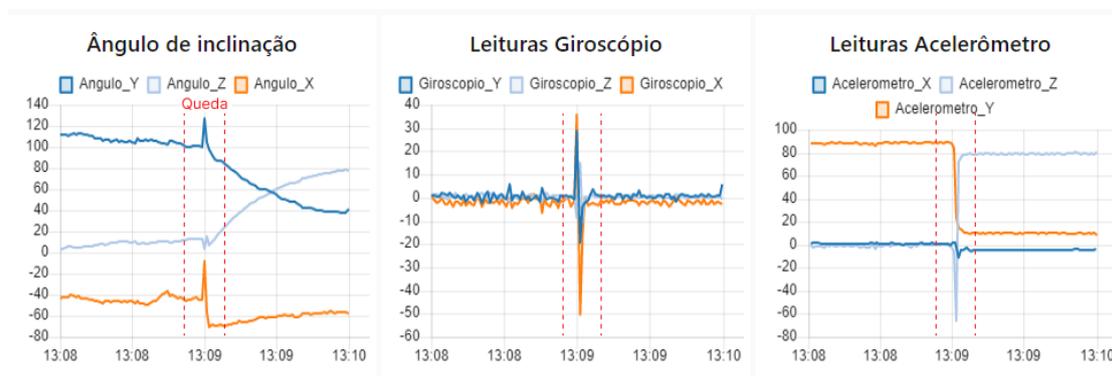
Fonte: Da autora (2022).

Figura 12. Valores obtidos para teste de usuário inicialmente parado e então tendo sofrido uma queda para frente.



Fonte: Da autora (2022).

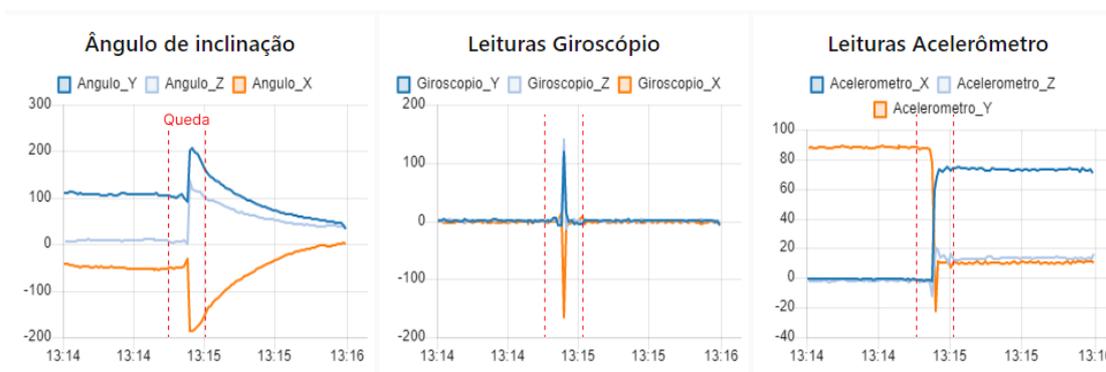
Figura 13. Valores obtidos para teste de usuário inicialmente parado e então tendo sofrido uma queda para trás.



Fonte: Da autora (2022).

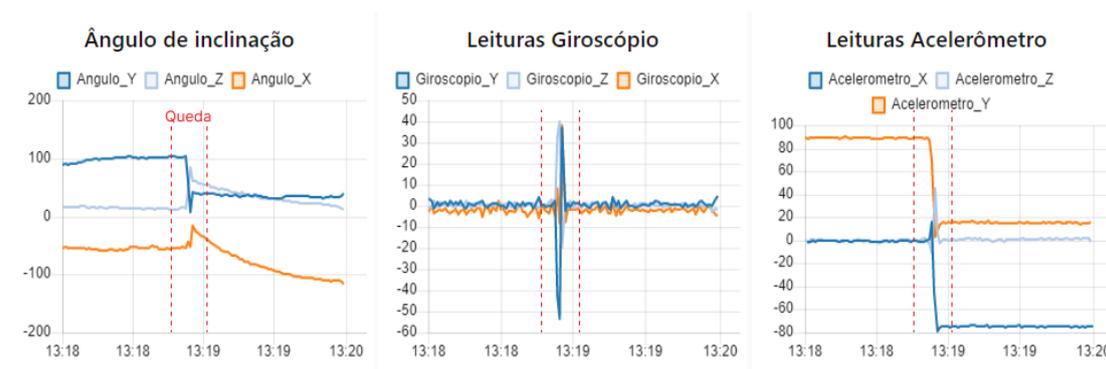
dos direito e esquerdo, os eixos X e Y são os que apresentam maiores variações, pois os movimentos ocorrem rotacionando os eixos em torno do eixo Z. Por fim, os valores de ângulo de inclinação, principalmente no eixo Y, também são bem específicos e incorporam claramente as componentes críticas do acelerômetro e giroscópio.

**Figura 14. Valores obtidos para teste de usuário inicialmente parado e então tendo sofrido uma queda para o lado direito.**



Fonte: Da autora (2022).

**Figura 15. Valores obtidos para teste de usuário inicialmente parado e então tendo sofrido uma queda para o lado esquerdo.**

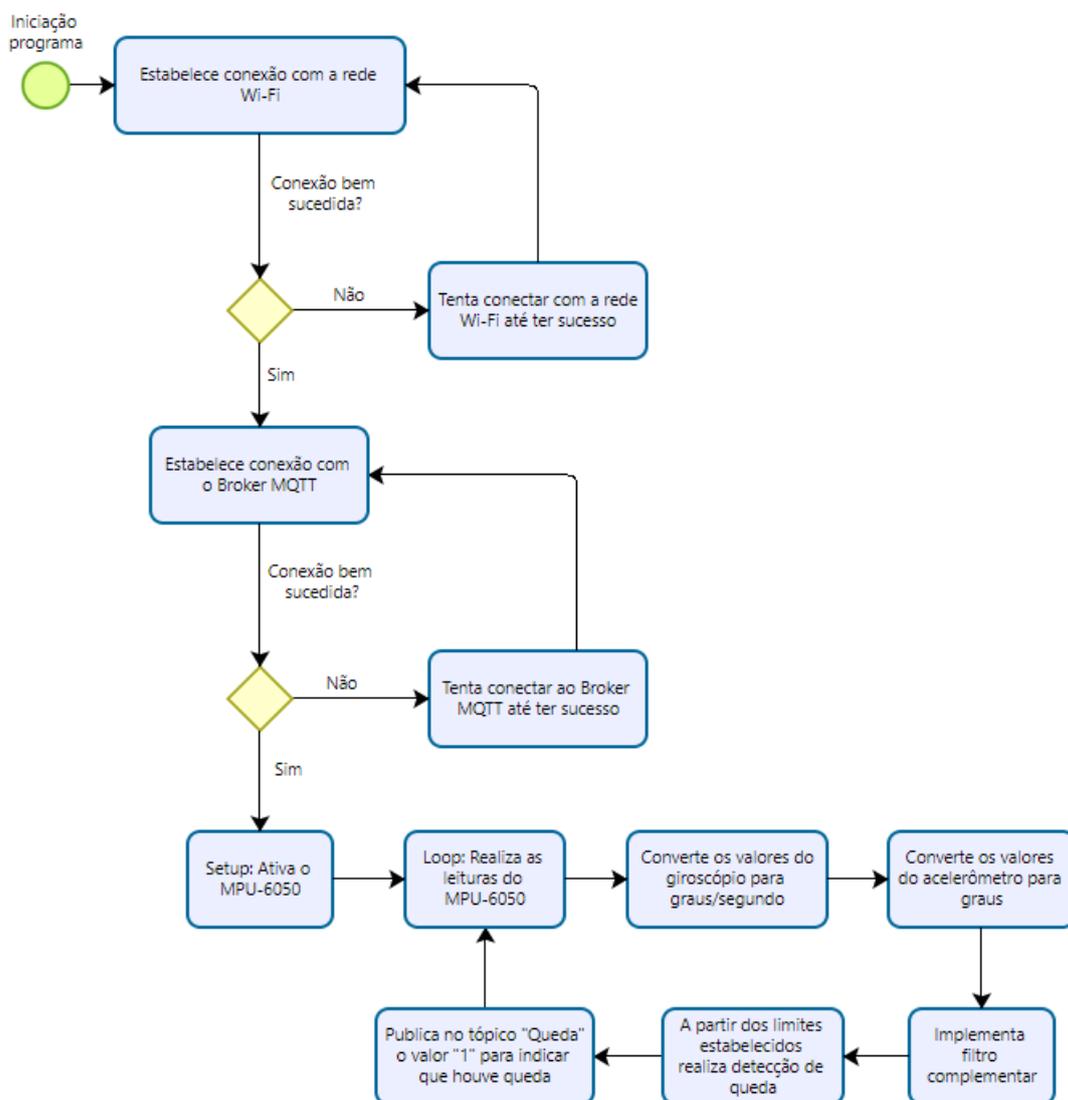


Fonte: Da autora (2022).

Após análise e identificação de limites para cada componente dos testes: leituras do acelerômetro, giroscópio e ângulo de inclinação, há a implementação desses limites em estruturas condicionais no código para garantir que todos os casos sejam compreendidos. Cada caso de queda publica em um único tópico chamado “Queda” e esse tópico deve ser acessado no Node-RED, onde ocorre o envio das mensagens para as pessoas registradas para tal. O programa desenvolvido na IDE Arduino para o módulo ESP32 está esquematizado no fluxograma da Figura 16.

Com a implementação de todos os casos de queda no algoritmo desenvolvido pode-se seguir para a integração com o Node-RED. Foi construído um fluxo com um node inscrito no tópico “Queda” que, ao receber o valor “1” indicando que houve queda, ativa um gatilho que envia uma mensagem através do aplicativo Telegram. Para implementar o envio de mensagens pelo Node-RED é necessário criar um chat bot no Telegram, ou seja, uma janela de conversa programada específica para o envio das mensagens de alerta de queda. A criação do chat bot pode ser feita facilmente através do próprio aplicativo pela conversa com um outro bot desenvolvido para isso. É necessário buscar por “BotFather” dentro do aplicativo do Telegram e enviar o comando “newbot”. Com isso, é possível escolher nome e nome de usuário do bot, é preciso atenção porque o nome

**Figura 16. Fluxograma do programa desenvolvido para o ESP32. Fonte: Do autor (2022).**



Fonte: Da autora (2022).

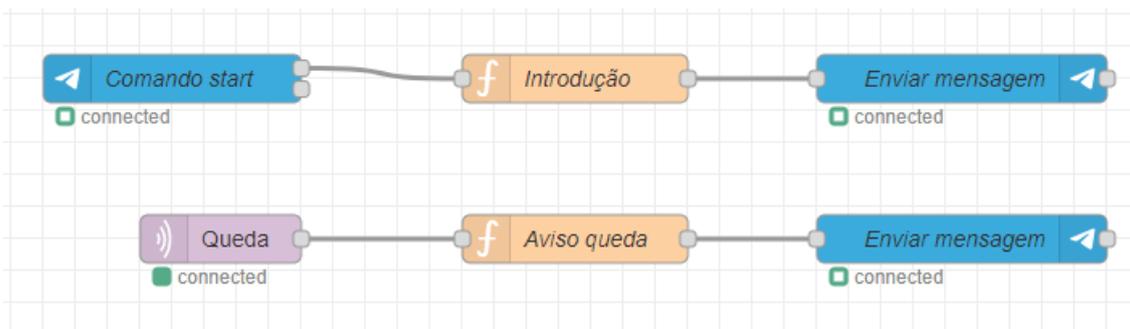
de usuário deve ser único. Para este trabalho criou-se o bot de nome “Monitoramento e saúde” com nome de usuário “monitoramento-saudebot”.

Ao criar um bot com o “BotFather” é fornecido um código token para acessar a HTTP API, porém, não é necessário trabalhar com desenvolvimento em ambientes web, pois o Node-RED possui uma extensão que acessa diretamente o Telegram. Instala-se a extensão “telegrambot” à paleta de nodes do Node-RED e assim cinco novos nodes ficam disponíveis para uso. Um desses é o node “sender” responsável por enviar uma mensagem ao chat cadastrado quando acionado. Para executar a ação de envio utiliza-se um node “mqtt in” que recebe a mensagem postada pelo ESP32 quando ocorrer a queda e esse acontecimento é o suficiente para iniciar o fluxo.

A mensagem que será enviada a cada alerta de queda pode ser configurada também utilizando nodes no Node-RED. Conecta-se ao bloco “mqtt in” um bloco “funcion”, onde é possível escrever a mensagem desejada, mas é preciso também fornecer um número chamado “chatId” específico do Telegram de destino. Para conseguir o chatId é preciso buscar “Get My ID” no campo de busca do próprio aplicativo Telegram e iniciar a conversa, o número será fornecido automaticamente. Com o chatId fornecido e a mensagem configurada utiliza-se o node “sender” ao final do fluxo para indicar a qual chat bot é destinada a mensagem, é esse node que deve ser preenchido com o nome de usuário único do bot e o código token.

Para que a pessoa interessada pelo monitoramento de quedas receba mensagens pelo Telegram em seu celular é preciso buscar pelo nome do chat bot no campo de pesquisa do aplicativo e iniciar a conversa, o que corresponde a enviar um comando “start” para o bot. Configura-se também uma mensagem de introdução para quando uma pessoa se inscreve na conversa. Utilizando o node “receiver” é possível acionar um novo processo quando se recebe uma mensagem pelo chat bot. A partir do “start” recebido aciona-se um gatilho que envia uma mensagem de introdução. As configurações são as mesmas que o fluxo de alerta de queda. Os fluxos construídos estão representados na Figura 17, e na Figura 18 tem-se as mensagens enviadas pelo Node-RED para o Telegram.

**Figura 17. Fluxos de envio de mensagens no Node-RED.**



Fonte: Da autora (2022).

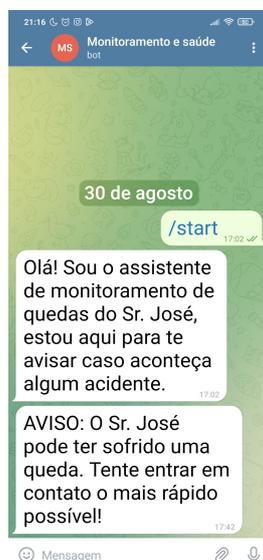
A solução desenvolvida neste trabalho, desde o protótipo programado para detecção de quedas até o alerta por mensagens, será integrado em um sistema de casa inteligente construído no contexto do projeto “Usabilidade de Sistemas Interativos com Internet das Coisas para Controle de Casas Inteligentes e Monitoramento de Saúde para Pessoas Idosas”. O projeto é desenvolvido pelo Departamento de Computação Aplicada da Universidade Federal de Lavras e com registro de software como Casa Assistiva, número de registro BR512018000396-6, pelo INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal problema abordado neste trabalho consiste em como identificar que uma pessoa idosa que se encontra sozinha em sua residência sofreu uma queda. Ao identificar que houve queda é necessário alertar pessoas próximas através de mensagens de aviso.

O objetivo deste projeto foi implementar um protótipo de dispositivo vestível para monitoramento de queda, utilizando os sensores acelerômetro e giroscópio, e conectar

**Figura 18. Tela do aplicativo Telegram onde os avisos são enviados por conversa com chat bot.**



Fonte: Da autora (2022).

esse monitoramento a um ecossistema de casa inteligente utilizando a plataforma Node-RED para gerenciar avisos, caso seja detectada uma queda.

O protótipo vestível desenvolvido neste trabalho é uma solução adequada para monitoramento de movimentos, mais especificamente para detecção de quedas. Prova-se que dispositivos vestíveis desenvolvidos com sensores inerciais são adequados para este tipo de problema e podem ser aliados para reduzir o tempo de socorro caso ocorram acidentes com pessoas idosas, ao mesmo tempo que aumenta a independência e a segurança dessa faixa etária em suas próprias casas.

Mesmo que módulos de baixo custo e de capacidade computacional limitada sejam escolhidos é possível implementar tratamentos de dados como o filtro complementar para aumentar a precisão dos valores obtidos e ainda assim desenvolver soluções confiáveis. A abordagem utilizada neste trabalho para desenvolvimento do algoritmo responsável por determinar movimentos de queda foi baseada nos limites encontrados em testes coerentes, porém há espaço para implementação de análises computacionais mais complexas utilizando aprendizado de máquina. Atualmente são assuntos com grande destaque no contexto de tecnologias assistivas e podem trazer mais desempenho para soluções como a desenvolvida.

Por fim, cada vez mais se investe em aplicações para casas inteligentes, e a integração de várias delas resulta em controles mais completos, confiáveis e também confortáveis. Dito isso, uma solução como a desenvolvida combinada a outros sistemas garantirá maior desempenho e confiabilidade em suas atividades. Outros sistemas que têm potencial para serem integrados podem se basear em diferentes sensores, redes, protocolos de comunicações e algoritmos. Neste trabalho utilizou-se rede Wi-Fi, protocolo MQTT, os sensores inerciais acelerômetro e giroscópio e uma placa ESP32 programada através da IDE Arduino, porém existem mais possibilidades como por exemplo conexão bluetooth, câmeras, sensores de presença e luz, protocolo HTTP e outras placas de desenvolvimento

como Arduino, Raspberry Pi, entre outras.

Como trabalhos futuros, pretende-se realizar teste de usabilidade do vestível em ambiente de casa inteligente e com pessoas idosas, visando aprimorar ainda mais o protótipo. Pode-se também, utilizar dados históricos gerados por sensores associados a técnicas de aprendizado de máquina para identificar de forma mais precisa as situações de queda. Outra possibilidade de trabalho é utilizar outras formas de detecção de queda, como por exemplo por análise de imagens de câmeras de monitoramento, como abordado por [De Miguel et al. 2017] e *deep learning* [Pourazad et al. 2020].

## Referências

- Awolusi, I., Marks, E., and Hallowell, M. (2018). Wearable technology for personalized construction safety monitoring and trending: Review of applicable devices. *Automation in Construction*, 85.
- Basílio, S. (2021). O que é node-red? conhecendo e instalando. Disponível em: <https://blogmasterwalkershop.com.br/outros/o-que-e-node-red-conhecendo-e-instalando>, Acesso em: ago de 2022.
- De Miguel, K., Brunete, A., Hernando, M., and Gambao, E. (2017). Home camera-based fall detection system for the elderly. *Sensors*, 17(12).
- de Quadros, T., Lazzaretti, A. E., and Schneider, F. K. (2018). A movement decomposition and machine learning-based fall detection system using wrist wearable device. *IEEE SENSORS*, 18(12).
- Faria, B. (2018). Entenda a importância do certificado de homologação de produtos da anatel. Disponível em: <https://teletronix.com.br/blog/entenda-a-importancia-do-certificado-de-homologacao-de-produtos-da-anatel>, Acesso em: ago de 2022.
- Fernandes, N. (2020). O que é protocolo mqtt. Disponível em: <https://www.hitecnologia.com.br/blog/o-que-e-protocolo-mqtt/>, Acesso em: jul de 2022.
- Hélter Melo, B., Walter Correia, D., and Fábio Campos1, D. (2020). Idosos e o uso de tecnologias assistivas em casa: Uma revisão sistemática de literatura. *Revista Ergodesign & HCI*, 8(2).
- Kalache, A. (2010). Who global report on falls prevention in older age. Disponível em: [https://www.who.int/ageing/publications/Falls\\_prevention7March.pdf](https://www.who.int/ageing/publications/Falls_prevention7March.pdf), Acesso em: mar de 2022.
- Lersilp, S., Putthinoi, S., Lertrakarnnon, P., and Silsupadol, P. (2020). Development and usability testing of an emergency alert device for elderly people and people with disabilities. *e Scientific World Journal*, 2020.
- Martins, I. R. and Zem, J. L. (2015). Estudo dos protocolos de comunicação mqtt e coap para aplicações machine-to-machine e internet das coisas. *Revista Tecnológica da Fatec Americana*, 3(1).
- Mubashir, M., Shao, L., and Seed, L. (2013). A survey on fall detection: Principles and approaches. *Neurocomputing*, 100.

- Oliveira, E. (2018). Conhecendo o nodemcu-32s esp32. Disponível em: <https://blogmasterwalkershop.com.br/embarcados/esp32/conhecendo-o-nodemcu-32s-esp32>, Acesso em: ago de 2022.
- Pimenta, G. B. A. (2019). Uso da ferramenta node-red em processos de automatização no cenário da quarta revolução industrial. Monografia, Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG.
- Pourazad, M. T., Shojaei-Hashemi, A., Nasiopoulos, P., Azimi, M., Mak, M., Grace, J., Jung, D., and Bains, T. (2020). A non-intrusive deep learning based fall detection scheme using video cameras. In *2020 International Conference on Information Networking (ICOIN)*, pages 443–446.
- Silva, C. V., de Carvalho Eiras Alves, G., and de Brito Fernandes, L. S. (2016). O modelo cliente servidor. Disponível em: [https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel1878/redes1-2016-1/16\\_1/p2p/modelo.html](https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel1878/redes1-2016-1/16_1/p2p/modelo.html), Acesso em: jul de 2022.
- Stavropoulos, T. G., Papastergiou, A., Mpaltadoros, L., Nikolopoulos, S., and Kompatsiaris, I. (2020). Iot wearable sensors and devices in elderly care: A literature review. *Sensors*, 20.
- Torres, G. G. (2018). Tecnologia assistiva para detecção de quedas: Desenvolvimento de sensor vestível integrado ao sistema de casa inteligente. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/180824>.
- Zhang, J., Li, J., and Wang, W. (2021). A class-imbalanced deep learning fall detection algorithm using wearable sensors. *Sensors*, 21(19).
- Ítallo Santos Lima e Silva and de Araujo Kaschny, J. R. (2012). Aplicações do protocolo i2c em sistemas microcontrolados. *VII CONNEPI*, 33(7).