



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS QUIXADÁ
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

MELLYSSA ALVES DE SOUSA

**ELDERSAFE: UM DISPOSITIVO VESTÍVEL PARA DETECÇÃO DE QUEDAS EM
IDOSOS COM COMUNICAÇÃO LORAWAN**

QUIXADÁ
2025

MELLYSSA ALVES DE SOUSA

ELDERSAFE: UM DISPOSITIVO VESTÍVEL PARA DETECÇÃO DE QUEDAS EM
IDOSOS COM COMUNICAÇÃO LORAWAN

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia de Com-
putação do Campus Quixadá da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do grau de bacharel em Engenharia de
Computação.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Helder
Candido dos Santos Filho.

QUIXADÁ

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S697e Sousa, Mellyssa Alves de.
Eldersafe: um dispositivo vestível para detecção de quedas em idosos com comunicação lorawan /
Mellyssa Alves de Sousa. – 2025.
44 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Quixadá,
Curso de Engenharia de Computação, Quixadá, 2025.
Orientação: Prof. Dr. Francisco Helder Candido dos Santos Filho.

1. Detecção de quedas. 2. Idosos. 3. Dispositivo vestível. 4. Longe Range (LoRa). I. Título.

CDD 621.39

MELLYSSA ALVES DE SOUSA

ELDERSAFE: UM DISPOSITIVO VESTÍVEL PARA DETECÇÃO DE QUEDAS EM
IDOSOS COM COMUNICAÇÃO LORAWAN

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia de Com-
putação do Campus Quixadá da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do grau de bacharel em Engenharia de
Computação.

Aprovada em: 06/03/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Helder Candido dos Santos
Filho (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Cristiano Bacelar de Oliveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Paulo Armando Cavalcante Aguiar
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, que me capacitou e me manteve firme durante todos os anos de graduação. Aos meus pais, Valdiran Silva de Sousa e Adreana Alves Soares, que sempre batalharam e me incentivaram a chegar aos lugares que eu mesma jamais imaginei alcançar, e que, sem eles, jamais conseguiria. Em especial, agradeço ao meu pai por ser tão presente na minha vida desde a infância, acompanhando de perto a minha educação, vida acadêmica e profissional. Obrigada, pai, pelas noites mal dormidas estudando as provas comigo. Quando criança, eu não entendia o porquê do seu esforço, e hoje eu entendo e vejo que valeu a pena cada detalhe desse processo. À minha mãe, agradeço pelas orações, pelo cuidado, pelos conselhos e por ser minha melhor amiga e consolo de Deus na minha vida. Obrigada mãe, por não me permitir jamais olhar pra trás, mas sempre me manter de olho no alvo que é Cristo.

Aos meu meus irmãos, Anna Cecília Alves de Sousa, Fellipe Alves de Sousa e Sara Alves de Sousa, por sempre estarem ao meu lado, mesmo com a distância, torcendo por mim e celebrando a cada conquista minha, que, aliás, é nossa!

Ao meu namorado, Hector José Rodrigues Salgueiros, sou grata por me ouvir, me apoiar e jamais permitir que eu desistisse. Agradeço pela paciência, pelos sorrisos e brincadeiras que tornaram minha vida mais leve, fazendo com que o processo árduo se transformasse em um fardo leve.

Ao meu gato, Chanel (*in memoriam*), que esteve comigo todas as noites, sempre ao meu lado enquanto eu realizava alguma atividade ou estudava para alguma prova, ele, com seu olhar mágico e infinito, que brilhou e sempre brilhará, deitava na minha mesa enquanto eu estudava ou jogava e me fazia companhia até caminhando em cima do meu teclado. Obrigada, *Chan Chan*, você esteve no início de tudo e foi tão especial para nós que o Senhor Jesus achou por bem eternizá-lo.

Aos meus professores, Dr. Francisco Helder Candido dos Santos Filho, Dr. Cristiano Bacelar de Oliveira e Dr. Paulo Armando Cavalcante Aguiar, que foram além do profissional, foram e são grandes amigos que fiz durante este processo de graduação. Levarei sempre os conselhos, ensinamentos e orientações guardados no meu coração.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, colaboraram e me motivaram a permanecer nesta caminhada. Não seria possível sem pessoas incríveis ao meu redor; a todos, a minha imensa gratidão.

RESUMO

Com o crescimento do envelhecimento populacional, é esperado que em 2045 o número de idosos supere o de crianças pela primeira vez na história. Devido a este fator, é necessário investir mais atenção e cuidados com a saúde deste grupo, cientes de que, devido à fragilidade causada pelo avanço da idade, estes se encontram propensos a serem vítimas de acidentes, principalmente quando estão em ambientes externos sem a supervisão de um responsável. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um dispositivo vestível, sob a forma de uma braçadeira que seja capaz de detectar quedas em idosos. A detecção foi realizada por meio de um acelerômetro, integrado a um microcontrolador. O dispositivo detecta a queda e envia os dados via LoRa, indicando a variação ocorrida. O projeto tem como objetivo oferecer uma alternativa tecnológica de baixo custo, portabilidade e baixo consumo de energia, além de possibilitar maior precisão e conforto.

Palavras-chave: detecção de quedas; idosos; dispositivo vestível; longe range (LoRa).

ABSTRACT

With the growth of the aging population, it is expected that by 2045, the number of elderly people will outnumber children for the first time in history. Due to this factor, it is necessary to devote more attention and care to the health of this group, recognizing that, due to the fragility caused by advancing age, they are more prone to accidents, especially when in external environments without the supervision of a responsible person.

This work proposes the development of a wearable device in the form of an armband capable of detecting falls in the elderly. Detection will be carried out using an accelerometer integrated into a microcontroller. When a fall is detected, the device will send data indicating the variation that occurred.

The project aims to provide a low-cost technological alternative with portability and low energy consumption while ensuring greater accuracy and comfort.

Keywords: fall detection; elderly; wearable device; long range (LoRa).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Comparação entre protocolos de rede.	18
Figura 2 – Fluxograma da metodologia	23
Figura 3 – Módulo acelerômetro e giroscópio MPU-6050	24
Figura 4 – - Módulo GPS NEO-6M V2 com Antena	25
Figura 5 – RP2040	25
Figura 6 – Módulo LoRa SX1276	26
Figura 7 – Fluxo de funcionamento do sistema.	27
Figura 8 – Esquemático do ElderSafe.	28
Figura 9 – Uso real do protótipo ElderSafe	36
Figura 10 – Gráfico do jerk capturado durante uma caminhada (sem queda).	37
Figura 11 – Gráfico do jerk capturado durante uma corrida (sem queda).	37
Figura 12 – Gráfico do jerk capturado enquanto o usuário deita-se.	38
Figura 13 – Gráfico dos dados capturados pelo acelerômetro durante a atividade de caminhada com queda.	38
Figura 14 – Gráfico dos jerk capturado durante uma corrida com queda.	39
Figura 15 – Coordenadas capturada pelo GPS no Google Maps.	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coordenadas GPS registradas durante os testes	40
--	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Análise comparativa	22
--	----

LISTA DE CÓDIGOS-FONTE

Código-fonte 1	– Inicialização do Sensor MPU-6050	29
Código-fonte 2	– Leitura de Dados de Aceleração	30
Código-fonte 3	– Leitura de Dados do GPS	30
Código-fonte 4	– Envio de Dados via LoRa	31
Código-fonte 5	– Cálculo do <i>deltaTime</i>	32
Código-fonte 6	– Conversão dos dados de aceleração	32
Código-fonte 7	– Cálculo do solavanco para cada eixo	33
Código-fonte 8	– Cálculo do solavanco total	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>CSS</i>	<i>Chirp-Spread-Spectrum</i>
<i>GPS</i>	<i>Global Positioning System</i>
<i>IoT</i>	<i>Internet of Things</i>
<i>LPWAN</i>	<i>Low Power Wide Area Network</i>
<i>LoRaWAN</i>	<i>Long Range Wide Area Network</i>
<i>LoRa</i>	<i>Long Range</i>
<i>MARG</i>	<i>Magnetic, Angular Rate, and Gravity</i>
<i>MQTT</i>	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
<i>OMS</i>	<i>Organização Mundial da Saúde</i>
<i>RF</i>	<i>Radio Frequency</i>
<i>SF</i>	<i>Spreading Factor</i>
<i>UART</i>	<i>Universal Asynchronous Receiver-Transmitter</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	15
1.1.1	<i>Objetivos específicos</i>	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	Dispositivos vestíveis na área da saúde	16
2.2	Microcontrolador	16
2.3	Sensores	17
2.4	Solavanco	17
2.5	Tecnologia LoRa	17
2.6	Sistemas embarcados para detecção de quedas	18
3	TRABALHOS RELACIONADOS	20
3.1	<i>SDQI: Sistema de detecção de quedas em idosos</i>	20
3.2	<i>Embedded System based Smart Automation for Elderly and Disabled People</i>	20
3.3	<i>Elderly monitoring system in a smart city environment using LoRa and MQTT</i>	21
3.4	<i>Análise comparativa</i>	22
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	23
4.1	Seleção de Componentes	23
4.1.1	<i>Acelerômetro MPU6050</i>	23
4.1.2	<i>Módulo GPS NEO-6M V2 com Antena</i>	24
4.1.3	<i>Microcontrolador RP2040</i>	25
4.1.4	<i>Módulo LoRa Sx1276</i>	26
4.2	Construção do protótipo	26
4.2.1	<i>Arquitetura de Funcionamento do Projeto</i>	26
4.2.2	<i>Esquemático do projeto</i>	28
4.2.3	<i>Protótipo</i>	28
4.3	Desenvolvimento do Algoritmo	29
4.3.1	<i>Inicialização do Sensor MPU-6050</i>	29
4.3.2	<i>Leitura de Dados de Aceleração</i>	29
4.3.3	<i>Leitura de Dados do GPS</i>	30

4.3.4	<i>Envio de Dados via LoRa</i>	31
4.3.5	<i>Cálculo do Solavanco para Detecção de Queda</i>	32
4.3.5.1	<i>Cálculo do Intervalo de Tempo</i>	32
4.3.5.2	<i>Cálculo das Acelerações nos Eixos x, y e z</i>	32
4.3.5.3	<i>Cálculo do Solavanco nos Eixos x, y e z</i>	33
4.3.5.4	<i>Cálculo do Solavanco Total</i>	33
4.4	Teste e validação	34
5	RESULTADOS	36
5.1	Protótipo final para uso	36
5.2	Resultado dos testes realizados	36
5.2.1	<i>Caminhada (sem queda)</i>	37
5.2.2	<i>Corrida (sem queda)</i>	37
5.2.3	<i>Deitando (sem queda)</i>	38
5.2.4	<i>Caminhando (com queda)</i>	38
5.2.5	<i>Correndo (com queda)</i>	39
5.3	Resultado dos testes de geolocalização	39
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	41
	REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

Em 2045, espera-se que, pela primeira vez, o número de idosos ultrapasse o número de crianças. Como consequência, o aumento da longevidade exigirá aumento dos custos médicos e a demanda por serviços de saúde mais qualificados. Entre os idosos com 65 anos ou mais, as quedas são a principal causa de hospitalização, sendo dois terços de todas as lesões graves em idosos originadas por quedas. Dentre os diversos motivos que levam às quedas, uma das causas menores são distúrbios visuais, confusão e hipotensão postural. Foi, portanto, proposto um dispositivo que utilizaria um sensor *Magnetic, Angular Rate, and Gravity (MARG)* que superasse a limitação de um único acelerômetro (Pierleoni *et al.*, 2015).

Atualmente, o mercado de dispositivos vestíveis para detecção de quedas tem evoluído rapidamente, impulsionado pela crescente preocupação com a segurança de idosos e pessoas com mobilidade reduzida. Diferentes tecnologias de rede de baixa potência (LPWAN), como LoRaWAN, Sigfox e NB-IoT, vêm sendo integradas a esses dispositivos para garantir uma comunicação eficiente e de baixo consumo energético. Empresas como *Apple* (com o *Apple Watch*), *Samsung* (com a linha *Galaxy Watch*), já oferecem soluções comerciais para monitoramento de quedas, cada uma adotando abordagens distintas para a transmissão de dados e detecção de eventos críticos.

O uso de dispositivos utilizados no braço para o monitoramento da saúde tem se tornado bastante popular, principalmente entre as pessoas que buscam um estilo de vida mais saudável, como praticar atividades físicas, onde é possível monitorar batimentos cardíacos durante exercícios através de dispositivos como braçadeiras ou relógios, por exemplo. Partindo deste contexto, pode-se adaptar e redirecionar o uso desses dispositivos para pessoas idosas, possibilitando a detecção de quedas e proporcionando menores ou nenhum impacto nocivo às suas vidas. Dentro dessa categoria de dispositivos vestíveis, no mercado, é possível encontrar cintos que ficam presos ao quadril. Entretanto, o uso de dispositivos presos ao braço do usuário oferece mais conforto, permitindo que os usuários os utilizem durante a maior parte do tempo, inclusive durante o sono.

Segundo a *Organização Mundial da Saúde (OMS)*, até 2030, a taxa de morte por doenças crônicas, como Alzheimer, diabetes e doenças cardíacas, pode chegar a 66%. Para contornar esse problema, o monitoramento à distância utilizando *Internet of Things (IoT)* permite que uma equipe médica, por exemplo, utilize dispositivos sensoriais que recolham dados do paciente, possibilitando que o profissional analise as informações coletadas e monitore o paciente,

evitando quadros críticos (Mdhaftar *et al.*, 2017).

Devido ao aumento de aplicações na *IoT*, diversos projetos passaram a necessitar de tecnologias que ofereçam longo alcance, baixo custo e baixo consumo de energia. Em consequência desse fato, as redes *Low Power Wide Area Network (LPWAN)* se encaixam perfeitamente neste novo cenário, possibilitando também a capacidade do sinal *Radio Frequency (RF)* em vencer barreiras físicas, buscando oferecer o menor nível de interferência possível (Garcia; Kleinschmidt, 2017).

Dentre as diversas tecnologias de comunicação sem fio projetadas para transmitir pequenas quantidades de dados a longas distâncias, uma que se destaca neste contexto é a rede *Long Range (LoRa)*, devido ao seu baixo consumo de energia e transmissão de dados a longa distância. Através desta tecnologia, criada pela empresa Semtech Corporation, é possível desenvolver dispositivos vestíveis que emitem alerta com coordenadas GPS, auxiliando os idosos a obter ajuda o mais rápido possível (Valach; Macko, 2018).

No trabalho (Augustin *et al.*, 2016), é realizada uma análise do protocolo *LoRa*, avaliando o desempenho da rede experimentalmente e propondo algumas melhorias, através da comparação com outras tecnologias de baixo consumo. Algumas das vantagens da rede *LoRa* que se destacam, dentre outras formas de comunicação, são: longo alcance, pois a rede *LoRa* pode cobrir de 3 a 15 km de distância (dependendo do ambiente onde irá atuar); baixo consumo de energia, o que é um grande benefício para dispositivos que utilizam bateria; resistência à interferência, o que permite maior fidelidade durante a comunicação.

O SPEEDY é o protótipo de um relógio capaz de detectar quedas em pessoas idosas que vivem sozinhas ou não. O dispositivo é pequeno e de fácil uso, conta com um botão de alarme que deverá ser pressionado pelo usuário em situação de emergência. Em seguida, é enviado um alerta aos familiares ou encaminhado via Wireless para uma central local. A desvantagem do dispositivo é a complexidade do algoritmo para detectar a queda, pois o braço pode realizar diversos movimentos. Dois caminhos foram encontrados para contornar esse empecilho: adaptar o algoritmo para funcionar com informações incompletas ou usar três sensores para aceleração e três sensores para rotação (Degen *et al.*, 2003).

Assim, o uso de *IoT* junto a uma rede de baixo custo e consumo tem um impacto positivo na área de assistência médica à distância, permitindo o monitoramento remoto contínuo; dessa forma, considerando que cada vez mais as pessoas estão dependentes de tecnologias para cuidar de sua saúde, é válido investir em soluções que promovam o bem-estar e a segurança de

grupos como os idosos.

Diante disso, foi desenvolvido um dispositivo vestível para pessoas idosas a fim de detectar quedas de pessoas desse grupo. O dispositivo realizou o monitoramento em diferentes atividades do usuário para detectar quando o evento acontecia. Além disso, a comunicação do aparelho para envio dos dados coletados foi realizada via *LoRa*.

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um dispositivo vestível, sob a forma de uma braçadeira para detecção de quedas em pessoas idosas, que seja capaz de capturar os dados do usuário através de um sensor e enviar os dados de queda e localização via *LoRa*. Os indicadores serão coletados com o auxílio de um módulo acelerômetro e *Global Positioning System (GPS)*.

1.1.1 Objetivos específicos

1. Implementar um algoritmo para detecção de quedas utilizando dados do acelerômetro para identificar padrões de movimento associados a quedas..
2. Integrar a comunicação via *LoRa* para o envio eficiente dos dados coletados, permitindo o monitoramento remoto em tempo real.
3. Validar o funcionamento do dispositivo em diferentes atividades para garantir precisão na detecção de quedas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, serão abordados os tópicos e fundamentos principais relacionados ao tema desenvolvido neste trabalho.

2.1 Dispositivos vestíveis na área da saúde

O uso de dispositivos vestíveis, como relógios, é um tema que vem sendo explorado há muitos anos, desde a invenção dos primeiros relógios de bolso no século XVI. Com o passar do tempo, esses aparelhos evoluíram significativamente, passando de meros acessórios de moda para complexos sistemas de monitoramento e comunicação. Desde então, o uso de dispositivos vestíveis para prevenção, monitoramento e cuidados com a saúde humana tem sido cada vez mais comum no meio tecnológico. Um dos primeiros dispositivos vestíveis desenvolvidos para monitorar uma ação corporal humana foi o pedômetro. Criado em 1780 por Abraham-Louis Perrelet, o pedômetro tem como objetivo contar os passos dados pelo usuário enquanto caminha ou corre (Perrelet, 2024). Nos dias de hoje, o pedômetro é utilizado em campanhas de incentivo à prática de atividades físicas, adotando como referência a recomendação da *OMS*, que determina que o padrão para sair do sedentarismo é, no mínimo, 10.000 passos por dia.

Atualmente, diversas empresas, como Apple e Samsung, têm desenvolvido relógios de pulso que auxiliam no monitoramento e controle do bem-estar humano. Esses dispositivos, conhecidos como *smartwatches*, desempenham um papel importante na coleta e exibição dos dados corporais do usuário. Com base nisso, diversos aparelhos têm sido desenvolvidos para essa finalidade: dispositivos vestíveis com capacidade de monitorar múltiplos parâmetros fisiológicos, como frequência cardíaca e pressão arterial. Esses equipamentos incluem hardware com sensores específicos e software que permitem medir e coletar dados sobre a saúde de forma discreta e contínua. O objetivo é oferecer um sistema de monitoramento de saúde mais preciso e menos intrusivo para os usuários (Gu *et al.*, 2019).

2.2 Microcontrolador

Um microcontrolador é um computador em miniatura integrado em um único chip, que contém uma unidade de processamento, memória, e componentes necessários para executar tarefas de forma autônoma. Ele é utilizado em sistemas embarcados para controlar dispositivos e promover interação com o usuário. Microcontroladores são amplamente aplicados em automação,

robótica e prototipagem (Silva *et al.*, 2019).

2.3 Sensores

Sensores são dispositivos que detectam e respondem a estímulos físicos ou químicos do ambiente, convertendo essas informações em sinais elétricos ou dados que podem ser interpretados. Eles são amplamente utilizados em diversas aplicações, como automação industrial, dispositivos eletrônicos, monitoramento ambiental e sistemas de segurança. Exemplos comuns incluem sensores de temperatura, pressão, movimento e luz (Wendling, 2010).

2.4 Solavanco

O solavanco (ou *jerk*) é a taxa de aceleração em relação ao tempo. Ele é a terceira derivada da posição em relação ao tempo ou a primeira derivada da aceleração. A fórmula matemática do solavanco (j) é definida como $j = \frac{da}{dt} = \frac{d^2v}{dt^2} = \frac{d^3x}{dt^3}$, onde j é o *jerk* (m/s³), a é a aceleração (m/s²), v é a velocidade (m/s), x é a posição (m). Logo, por meio do solavanco, é possível realizar uma análise precisa das mudanças de aceleração, independentemente da orientação dos sensores.

A abordagem de verificar a variação da aceleração em um determinado espaço de tempo permite detectar e discriminar o limiar de queda durante a tarefa de equilíbrio dinâmico, o que é especialmente útil em aplicações de monitoramento de atividades humanas, como a detecção de quedas. Dessa forma, sistemas de monitoramento baseados em sensores inerciais podem usar o solavanco para complementar a precisão na detecção de quedas, minimizando alarmes falsos e melhorando a resposta do sistema (Omkar *et al.*, 2011).

Assim, compreender e utilizar o solavanco em diferentes áreas permite otimizar o desempenho e a segurança de dispositivos baseados em movimento.

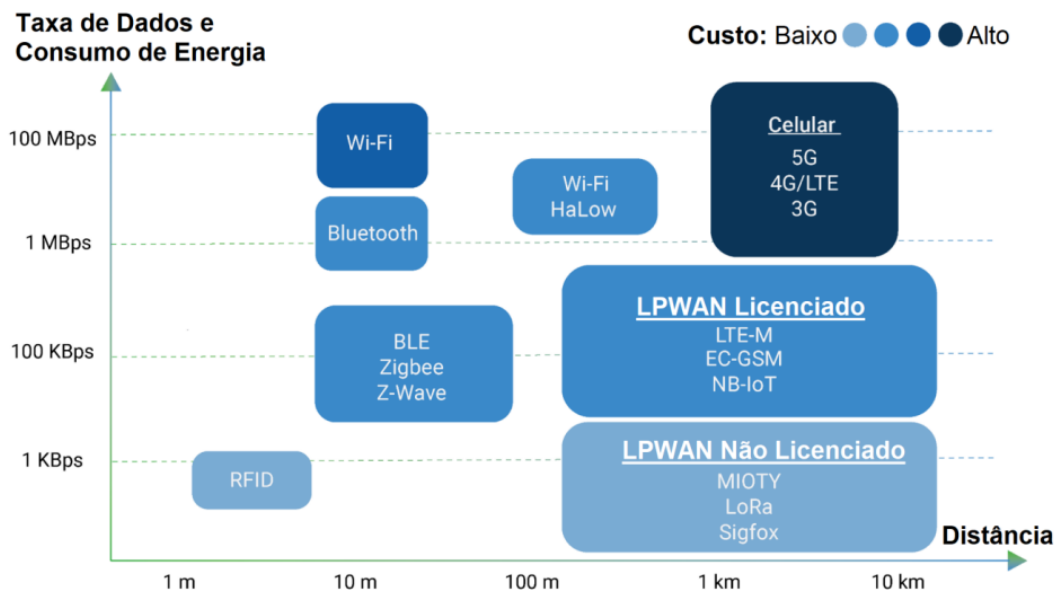
2.5 Tecnologia LoRa

LoRa foi uma tecnologia criada para promover soluções em larga escala para IoT utilizando como base o protocolo *Long Range Wide Area Network* (*LoRaWAN*). O objetivo deste protocolo é promover um ecossistema robusto e confiável. As bandas de frequência são definidas através da padronização, que varia de acordo com as normas e legislações dos órgãos regulamentadores de cada país (Ribeiro *et al.*, 2019).

A rede *LoRa* usa uma modulação *Chirp-Spread-Spectrum (CSS)* com opções para diversos fatores de *Spreading Factor (SF)* e largura de banda para atender à demanda de dados e requisitos (Wixted *et al.*, 2016).

Ademais, a rede *LoRa* apresenta diversas vantagens em relação a outras redes. Alguns dos seus principais benefícios são: baixo consumo de energia, segurança robusta e um longo alcance. Essas características tornam o *LoRa* ideal para sistemas embarcados e principalmente aplicações que exigem transmissão de dados e monitoramento em longa distância. Além disso, o *LoRa* apresenta grande eficiência em ambientes abertos e possui requisitos que possibilitam um consumo de energia muito baixo (Lima, 2023).

Figura 1 – Comparação entre protocolos de rede.



Fonte: Adaptado de Bassi (2021)

2.6 Sistemas embarcados para detecção de quedas

Sistemas embarcados são dispositivos projetados na área da Engenharia de Computação que são projetados para realizar objetivos específicos. Estes sistemas são propostos para que operem em conjunto com o hardware ao qual fazem parte; dessa forma, podem monitorar e realizar operações predeterminadas pelo desenvolvedor.

Dentre as diversas áreas em que esses sistemas podem ser aplicados, como automotiva, eletrônica, telecomunicações, agricultura, entre outras, um dos campos que vem se destacando é a área da saúde e medicina.

As quedas representam uma das maiores causas de mortalidade entre os idosos. Cerca de 50% dos idosos não conseguem se levantar sozinhos após uma queda, o que ocasiona sérias complicações, como pneumonia, hipotermia, desidratação e até mesmo a morte. Entretanto, com a aplicação de sistemas embarcados, é possível desenvolver algoritmos e/ou análises que serão projetados em dispositivos a serem utilizados por pessoas idosas, garantindo-lhes maior segurança, seja em casa ou em ambientes urbanos, onde uma assistência mais rápida em casos de acidentes pode evitar inconvenientes maiores (Sotero, 2014).

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Nesta seção, alguns trabalhos que possuem alguma relação com o projeto que foi desenvolvido neste trabalho serão apresentados.

3.1 *SDQI: Sistema de detecção de quedas em idosos*

Em (Junior, 2016) é proposto um sistema para smartphones, onde o acelerômetro presente na maioria dos *smarthphones* no mercado será responsável por detectar quedas ocorridas pelo indivíduo que estiver portando o aparelho. Caso este evento (a queda) ocorra, o sistema emitirá um alerta para os destinatários desejados, enviando SMS ou e-mails disponibilizados pelo dispositivo. Desta forma, os familiares serão notificados para que o socorro seja prestado o mais rápido possível.

A principal diferença entre o trabalho proposto neste documento e o de (Junior, 2016) é que o autor em (Junior, 2016) utiliza um *smartphone* como forma de detecção. No entanto, essa abordagem pode ser falha na maioria das vezes, pois o dispositivo não está atrelado ao corpo do usuário, tornando o sistema suscetível a erros e falsos positivos. Isso ocorre porque o aparelho pode cair do bolso ou até mesmo ser esquecido pelo idoso em algum local. Em contraste, dispositivos vestíveis oferecem uma solução mais confiável, pois geralmente permanecem fixos ao corpo do usuário, garantindo maior portabilidade e conforto.

3.2 *Embedded System based Smart Automation for Elderly and Disabled People*

No trabalho (Francis *et al.*, 2021), é proposto um sistema voltado para a automação residencial. O sistema é destinado a pessoas idosas ou com deficiência, com o objetivo de auxiliá-las no controle independente de dispositivos como ventiladores e luzes. Ele é capaz de detectar quedas, gerar notificações para os familiares em casos críticos e também localizar o usuário por meio de *GPS*. Toda a automação é realizada por meio de um aplicativo, garantindo ao usuário uma solução confortável e, ao mesmo tempo, de baixo custo. Para a execução do monitoramento, foram utilizados: acelerômetro ADXL335 para detecção de movimentos, Node MCU com Wi-Fi para conectividade, microcontrolador Arduino, módulo Bluetooth para controle dos dispositivos dentro de um determinado alcance e transformador para ajustar a voltagem do sistema quando necessário.

A principal distinção entre o projeto (Francis *et al.*, 2021) e este trabalho é que, em

(Francis *et al.*, 2021), foi realizado o controle dos dispositivos, enquanto no projeto proposto não será feito nenhum controle dos dispositivos, apenas será verificado se houve queda, indicada a ocorrência e coletados os dados. Além disso, o trabalho (Francis *et al.*, 2021) utilizou o NodeMCU, uma plataforma de desenvolvimento de hardware de código aberto baseada no ESP8266, enquanto, neste trabalho, será utilizado o microcontrolador Raspberry Pi Pico, baseado no RP2040, desenvolvido pela Raspberry Pi Foundation. Os autores de (Francis *et al.*, 2021) também utilizaram Wi-Fi para a comunicação, enquanto, no presente trabalho, a comunicação será feita por meio de *LoRa*, o que possibilita maior alcance, menor custo e economia no consumo de energia.

3.3 *Elderly monitoring system in a smart city environment using LoRa and MQTT*

Em (Lachtar *et al.*, 2020) foi realizada uma implementação de um sistema de monitoramento de saúde utilizando uma bengala. A comunicação foi via rede *LoRa* utilizando o protocolo *Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)* em ambientes urbanos inteligentes. Os autores de (Lachtar *et al.*, 2020) utilizaram *LoRaWAN* para comunicação de longas distâncias entre a bengala e o gateway, e MQTT para a interoperabilidade e transmissão de dados entre o bastão e outros dispositivos conectados. A bengala também é equipada com um nó transmissor, que inclui um sensor GPS com o objetivo de monitorar a localização, além de detectar quedas e contar passos dos usuários idosos. Os testes foram realizados em Blacnac - França, para validar a eficiência do sistema. O foco principal foi garantir o mínimo de interferência humana entre a bengala conectada e outros objetos conectados, visando melhorar o monitoramento de idosos.

A principal diferença entre (Lachtar *et al.*, 2020) e o trabalho proposto neste documento, é que o trabalho aqui a ser desenvolvido não utilizará do protocolo *MQTT*, apenas o protocolo *LoRaWAN*, além de não se aplicar somente a ambientes urbanos inteligentes. Outro ponto que diverge do trabalho (Lachtar *et al.*, 2020) é que o dispositivo que será desenvolvido será um equipamento vestível para garantir que estará acompanhado do usuário durante todo o tempo nas mais diversas atividades cotidianas, além de coletar dados precisos a respeito do estado físico do usuário.

3.4 Análise comparativa

O Quadro 1 faz um comparativo entre os trabalhos relacionados apresentados anteriormente e o trabalho proposto. Os critérios que foram levados em consideração na comparação, são, se o trabalho utiliza LoRaWAN como via de comunicação, se o trabalho utiliza *GPS* e se o trabalho utiliza dispositivo vestível para monitoramento.

Quadro 1 – Análise comparativa

Trabalhos	Utiliza LoRaWAN	Utiliza GPS	Utiliza dispositivo vestível
(Junior, 2016)	Não	Sim	Não
(Francis <i>et al.</i> , 2021)	Não	Sim	Não
(Lachtar <i>et al.</i> , 2020)	Sim	Sim	Não
Trabalho proposto	Sim	Sim	Sim

Fonte: Elaborado pela autora.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos adotados para atingir os objetivos estabelecidos neste estudo.

Figura 2 – Fluxograma da metodologia



Fonte: Elaborado pela autora.

4.1 Seleção de Componentes

A escolha dos componentes para este projeto foi baseada em critérios como desempenho e, principalmente, por sua compactação, que os tornaram ideais para a construção de um dispositivo vestível.

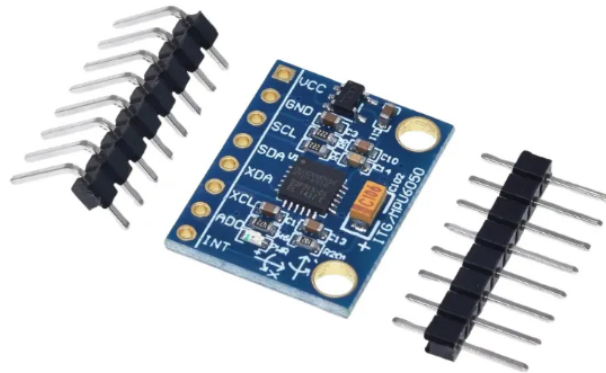
4.1.1 Acelerômetro MPU6050

O módulo acelerômetro e giroscópio 3 eixos, MPU-6050, é um sensor que apresenta alta performance e é bastante utilizado em diversos projetos, tais como: dispositivos móveis, robótica, drones etc (Smartkits, s.d.). A seguir, discute-se a respeito de algumas vantagens do MPU6050:

1. Acelerômetro e giroscópio integrados: este sensor é capaz de realizar a detecção de quedas através da captura dos eixos x (eixo horizontal, esquerda-direita) , y (eixo horizontal, frente-trás) e z (eixo vertical, cima-baixo);
2. Alta precisão: permite detectar mudanças sutis na posição e velocidade.
3. Facilidade de uso: possui uma interface I2C, desta forma possibilita comunicação com diversos microcontroladores.
4. Disponibilidade e custo: o MPU6050 é um componente acessível em termos de preço e amplamente disponível no mercado.

4. Compacto: possui uma construção compacta e leve, ideal para compor dispositivos vestíveis.

Figura 3 – Módulo acelerômetro e giroscópio MPU-6050



Fonte: Smart Kits (2024)

4.1.2 Módulo GPS NEO-6M V2 com Antena

O Módulo GPS será utilizado para capturar a localização do dispositivo via satélite *GPS*, para que em casos de quedas severas o usuário seja localizado e os procedimentos necessários sejam efetuados. Em seguida, a informação é encaminhada para o dispositivo deste projeto, via RS232 *Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (UART)*.

Nesta versão deste sensor, a antena cerâmica é externa, o que possibilita uma melhor precisão. Além disso, este módulo é capaz de enviar dados referentes a latitude e longitude, data, hora e velocidade de deslocamento (Smartkits, s.d.).

Vale ressaltar que graças à comunicação via *UART* deste sensor, a integração com o microcontrolador será facilmente realizada.

Figura 4 – - Módulo GPS NEO-6M V2 com Antena

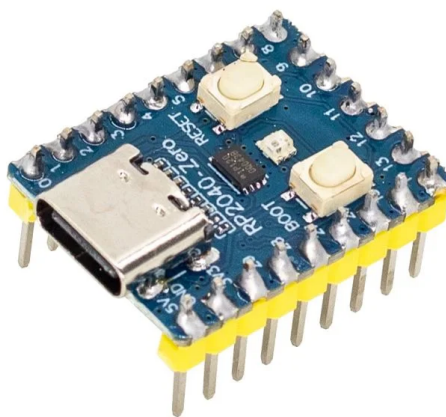


Fonte: Smart Kits (2024)

4.1.3 Microcontrolador RP2040

O microcontrolador RP2040, possui pequenas dimensões e uma das principais características que justifica a escolha deste componente são suas dimensões que o tornam compacto e versátil, já que possui 18mm x 24mm x 12mm (comprimento x largura x altura), permitindo que este microcontrolador seja integrado no invólucro do protótipo a ser construído, mantendo a portabilidade (Mischiatti, 2024).

Figura 5 – RP2040



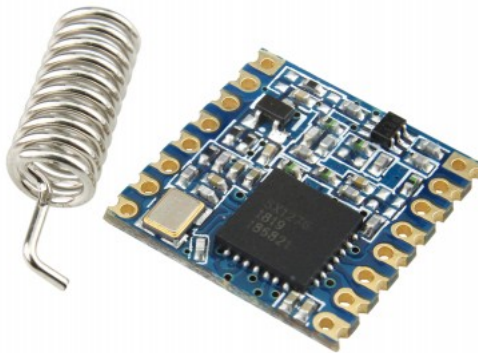
Fonte: Autocore Robótica (2024)

Por fim, a Raspberry Pi Pico foi escolhida por possuir características que permitem a construção de um dispositivo vestível, eficiente e prático.

4.1.4 Módulo LoRa Sx1276

O LoRa SX1276 é um chip de comunicação sem fio desenvolvido pela Semtech, projetado para aplicações de Internet das Coisas (IoT). Ele opera na faixa de frequência de 433 MHz e utiliza a tecnologia LoRa (Long Range) para permitir transmissões de dados de longo alcance com baixo consumo de energia. O SX1276 é conhecido por sua capacidade de comunicação em ambientes desafiadores, oferecendo alta sensibilidade e uma variedade de fatores de espalhamento para otimizar a cobertura e a taxa de dados (Muzafar *et al.*, 2022).

Figura 6 – Módulo LoRa SX1276



Fonte: Usinainfo (2025)

4.2 Construção do protótipo

O objetivo desta seção é dissertar sobre como foi realizada a construção do dispositivo. Durante essa etapa, foram elaborados o esquemático do projeto e a construção física do protótipo.

4.2.1 Arquitetura de Funcionamento do Projeto

O funcionamento do sistema de detecção de queda ocorre em etapas sequenciais. Inicialmente, o microcontrolador realiza a inicialização dos módulos embarcados, incluindo o sensor inercial MPU6050, o módulo GPS e o módulo de comunicação LoRa SX1276. Após essa etapa, o sistema entra em um ciclo contínuo de aquisição e processamento de dados.

O sensor MPU6050 monitora os dados de aceleração e giroscópio do dispositivo. A partir dessas informações, um algoritmo de detecção de queda é aplicado para determinar se ocorreu um evento de queda. Paralelamente, o módulo GPS obtém as coordenadas geográficas

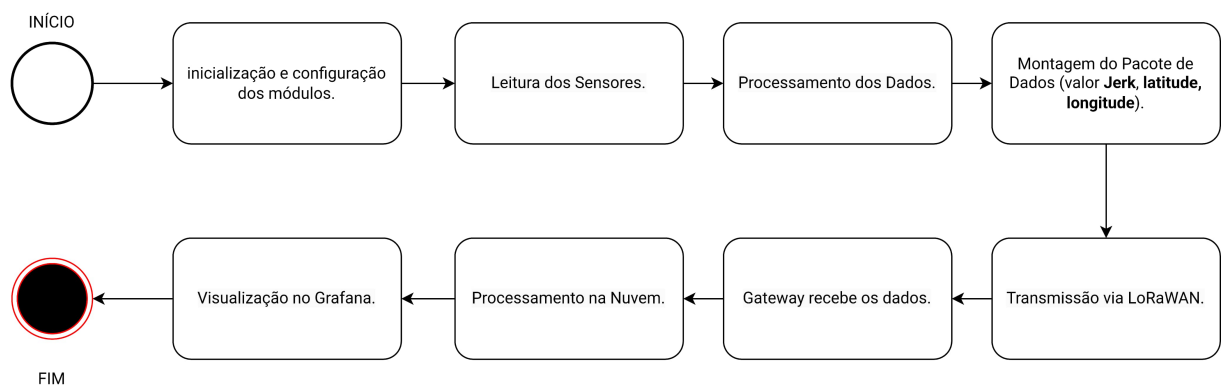
do dispositivo.

Com os dados adquiridos, o microcontrolador monta um pacote contendo o status da queda (*queda detectada* ou *não detectada*) e as coordenadas geográficas (latitude e longitude). Esse pacote é então transmitido via LoRaWAN para um *gateway*, que encaminha as informações para um servidor na nuvem, o envio dos dados é realizado à todo instante.

No servidor, os dados são processados e armazenados em um banco de dados. Por fim, os valores são disponibilizados na plataforma Grafana, permitindo a análise das informações em tempo real por meio de gráficos.

A Figura 7 ilustra o funcionamento sequencial do sistema do sistema.

Figura 7 – Fluxo de funcionamento do sistema.

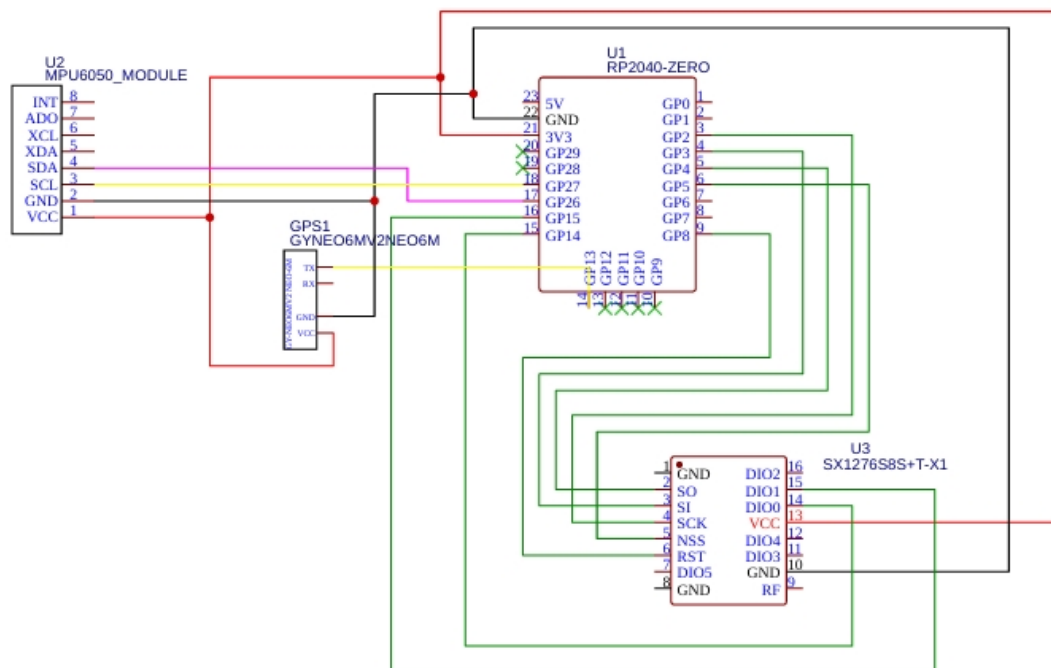


Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.2 Esquemático do projeto

O esquemático da Figura 8 ilustra a disposição e a conexão dos componentes eletrônicos que compõem o dispositivo para detecção de quedas. O sistema é formado principalmente pelo acelerômetro MPU6050 que realiza a captura dos movimentos do usuário, o microcontrolador RP2040-Zero. A comunicação do acelerômetro com o microcontrolador é realizada através de uma interface I2C. Ademais, o projeto inclui um módulo GPS para capturar a localização do usuário. Os dados capturados são enviados para o servidor via *LoRa*.

Figura 8 – Esquemático do ElderSafe.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.3 Protótipo

Para o desenvolvimento inicial do dispositivo ElderSafe, foi necessário elaborar uma estrutura física que acomodasse os componentes eletrônicos do sistema e, dessa forma, garantir que o equipamento possa ser utilizado pelo usuário de forma confortável. O protótipo foi construído utilizando uma caixa de papelão como invólucro para o dispositivo, contendo o acelerômetro MPU6050, o GPS e o microcontrolador RP2040. Essa abordagem permitiu a rápida montagem e testes iniciais do dispositivo, facilitando ajustes no posicionamento dos sensores e na organização do cabeamento.

Com base nas observações feitas a partir do modelo inicial, futuras versões do invólucro serão desenvolvidas utilizando materiais mais resistentes, como filamento para impressão 3D. Por fim, ajustes no design serão considerados para melhorar a ergonomia e a fixação dos componentes internos.

4.3 Desenvolvimento do Algoritmo

No desenvolvimento do algoritmo de detecção de quedas, a única biblioteca utilizada foi a **LMICNode** para comunicação via *LoRaWAN*. O restante do código foi desenvolvido em uma abordagem **bare-metal**, ou seja, diretamente sobre o hardware. Essa abordagem possibilita uma otimização no uso de recursos e maior eficiência no dispositivo.

4.3.1 Inicialização do Sensor MPU-6050

O sensor MPU-6050, responsável pela coleta dos dados da aceleração, é inicializado através da função `init_MPU6050`. O Código-Fonte 1 mostra a configuração do sensor:

Código-fonte 1 – Inicialização do Sensor MPU-6050

```

1 void init_MPU6050() {
2     i2c_init(I2C_PORT, 400 * 1000);
3     gpio_set_function(SDA_PIN, GPIO_FUNC_I2C);
4     gpio_set_function(SCL_PIN, GPIO_FUNC_I2C);
5     gpio_pull_up(SDA_PIN);
6     gpio_pull_up(SCL_PIN);
7     writeMPU(PWR_MGMT_1, 0x00);
8     writeMPU(GYRO_CONFIG, 0x00);
9     writeMPU(ACCEL_CONFIG, 0x00);
10 }
```

Fonte: Elaborado pela autora.

Nessa função, o protocolo I2C é configurado para comunicação com o acelerômetro.

4.3.2 Leitura de Dados de Aceleração

Os valores de aceleração nos três eixos (x, y e z) são coletados pela função `read_acc`.

Código-fonte 2 – Leitura de Dados de Aceleração

```

1 void read_acc(int16_t *values) {
2     uint8_t buffer[6];
3     readMPU(REG_ACCEL_XOUT_H, buffer, 6);
4     values[0] = (buffer[0] << 8) | buffer[1];
5     values[1] = (buffer[2] << 8) | buffer[3];
6     values[2] = (buffer[4] << 8) | buffer[5];
7 }

```

Fonte: Elaborado pela autora.

Esses dados são utilizados para calcular o solavanco.

4.3.3 Leitura de Dados do GPS

A leitura das coordenadas geográficas é realizada pelo *GPS*. A função `readGPSData` captura os dados enviados pelo módulo via UART:

Código-fonte 3 – Leitura de Dados do GPS

```

1 void readGPSData() {
2     while (uart_is_readable(UART_GPS_ID)) {
3         char received_char = uart_getc(UART_GPS_ID);
4         if (receive_buffer_index < BUFFER_SIZE - 1) {
5             receive_buffer[receive_buffer_index++] =
6                 received_char;
7             receive_buffer[receive_buffer_index] = '\0';
8         }
9         if (received_char == '\n') {
10             gps_data_ready = true;
11         }
12     }
13 }

```

Fonte: Elaborado pela autora.

Após a captura dos dados, a função `getLocalizacao` processa a sentença NMEA para extrair as coordenadas de latitude e longitude. As sentenças NMEA são compostas por mensagens de texto ASCII, onde cada linha contém uma sequência de dados iniciada pelo caractere '\$', seguida por um identificador de tipo e campos separados por vírgulas.

4.3.4 Envio de Dados via LoRa

A função `prepareUplink` é responsável por compor e enviar os dados (aceleração e coordenadas GPS) para a rede via *LoRa*.

Código-fonte 4 – Envio de Dados via LoRa

```

1 void prepareUplink() {
2     float jerkParaEnvio = quedaDetectada ? ultimoJerk :
        totalJerk;
3     snprintf(mpuData, sizeof(mpuData), "f|%.2f",
        jerkParaEnvio);
4     snprintf(coordenadas, sizeof(coordenadas), "la|%.8f|lo
        |%.8f", lat, lon);
5     snprintf(dataComplete, sizeof(dataComplete), "%s|%s",
        mpuData, coordenadas);
6
7     strcpy((char*)LMICNode::mydata, dataComplete);
8     LMICNode::sizeData = strlen((char*)LMICNode::mydata);
9
10    #ifdef USE_SERIAL
11        Serial.print("Dados enviados: ");
12        Serial.println((char*)LMICNode::mydata);
13    #endif
14
15    LMICNode::fPort = 10;
16    LMICNode::scheduleUplink(LMICNode::fPort, LMICNode::
        mydata, LMICNode::sizeData);
17    quedaDetectada = false;

```

```
18 }
```

Fonte: Elaborado pela autora.

Os dados de aceleração e coordenadas são formatados em uma string e enviados através do módulo *LoRa* para a rede, com a utilização da biblioteca LMIC.

4.3.5 Cálculo do Solavanco para Detecção de Queda

O cálculo do solavanco é uma etapa fundamental na detecção de quedas, pois através dele, será possível identificar mudanças abruptas no movimento, características típicas de quedas. Abaixo está a análise detalhada do trecho de código responsável por este cálculo.

4.3.5.1 Cálculo do Intervalo de Tempo

O Código-fonte 5 a seguir calcula o intervalo de tempo entre duas medições consecutivas:

Código-fonte 5 – Cálculo do *deltaTime*

```
1 float deltaTime = (currentTime - prevTime) / 1000.0;
```

Fonte: Elaborado pela autora.

Aqui, a variável *deltaTime* representa o intervalo de tempo entre o tempo atual (*currentTime*) e o tempo anterior (*prevTime*), calculado em segundos. A divisão por 1000.0 converte a diferença de milissegundos para segundos. O intervalo de tempo é necessário para calcular o *jerk*, pois ele representa a taxa de variação da aceleração, e a unidade de tempo é um componente essencial para o cálculo correto do *jerk*.

4.3.5.2 Cálculo das Acelerações nos Eixos x, y e z

Após calcular o intervalo de tempo, o código segue com a conversão dos dados de aceleração brutos para unidades do Sistema Internacional (metros por segundo ao quadrado):

Código-fonte 6 – Conversão dos dados de aceleração

```
1 float accX = accel[0] / (float)ACCEL_FS_SEL_0 * 9.81;
2 float accY = accel[1] / (float)ACCEL_FS_SEL_0 * 9.81;
```

```
3 float accZ = accel[2] / (float)ACCEL_FS_SEL_0 * 9.81;
```

Fonte: Elaborado pela autora.

Neste trecho, as acelerações brutas nos três eixos (`accel[0]`, `accel[1]` e `accel[2]`) são convertidas para unidades de metros por segundo ao quadrado. O fator de escala `ACCEL_FS_SEL_0` é utilizado para ajustar os valores brutos de acordo com a sensibilidade do acelerômetro, que pode ser ajustada dependendo do modelo. A multiplicação por 9.81 converte o valor da aceleração de *g* (aceleração gravitacional) para metros por segundo ao quadrado.

4.3.5.3 Cálculo do Solavanco nos Eixos *x*, *y* e *z*

O próximo passo é o cálculo do solavanco, que é a taxa de variação da aceleração ao longo do tempo. Esta taxa de variação é calculada para cada eixo separadamente:

Código-fonte 7 – Cálculo do solavanco para cada eixo

```
1 float jerkX = (accX - prevAccX) / deltaTime;
2 float jerkY = (accY - prevAccY) / deltaTime;
3 float jerkZ = (accZ - prevAccZ) / deltaTime;
```

Fonte: Elaborado pela autora.

Aqui, a aceleração atual (`accX`, `accY`, `accZ`) é comparada com a aceleração do ciclo anterior (`prevAccX`, `prevAccY`, `prevAccZ`). A diferença entre as acelerações (*acc - prevAcc*) é dividida pelo intervalo de tempo (`deltaTime`), resultando no *jerk* em cada eixo.

Esses cálculos fornecem a taxa de variação da aceleração em cada um dos três eixos. Um aumento repentino no *jerk* pode ser um indicador de movimento abrupto, como uma queda.

4.3.5.4 Cálculo do Solavanco Total

Por fim, a magnitude total do *jerk* é calculada como a raiz quadrada da soma dos quadrados dos *jerks* nos três eixos:

Código-fonte 8 – Cálculo do solavanco total

```
1 totalJerk = sqrt(jerkX * jerkX + jerkY * jerkY + jerkZ *
    jerkZ);
```

Fonte: Elaborado pela autora.

Este cálculo resulta em um valor escalar que representa a intensidade total do *jerk* no espaço tridimensional. A magnitude total do *jerk* é útil para identificar movimentos abruptos, que ocorrem durante uma queda. Se o valor de `totalJerk` ultrapassar o limite predefinido, isso pode indicar que uma queda ocorreu.

Onde `jerk_threshold` é o valor limiar que foi determinado com base em testes realizados. Neste projeto, o limiar definido foi de **2500 m/s³**.

4.4 Teste e validação

Para avaliar a eficácia do sistema desenvolvido, foram realizados diversos testes reais envolvendo diferentes atividades do usuário. O objetivo desses experimentos foi identificar padrões de comportamento do acelerômetro e determinar um limiar adequado para a detecção de quedas.

Após a análise dos dados coletados, verificou-se que, durante uma queda real, o valor do *jerk total* – que representa a taxa de variação da aceleração – ultrapassava consistentemente **2500 m/s³**. Esse comportamento foi observado repetidamente nos testes, permitindo definir esse valor como o **limiar para a detecção de quedas** no algoritmo. Ou seja, sempre que o *jerk total* ultrapassar esse limite, o sistema interpretará o evento como uma possível queda.

Para garantir a robustez da detecção, realizamos os seguintes experimentos em condições reais:

- **Usuário caminhando sem queda:** Para identificar o comportamento normal da aceleração e evitar falsos positivos.
- **Usuário caminhando com queda:** Simulando uma queda súbita durante a caminhada.
- **Usuário correndo sem queda:** Para avaliar se a corrida poderia gerar valores de *jerk* próximos ao limiar de queda.
- **Usuário correndo com queda:** Testando o impacto de uma queda enquanto o usuário estava em movimento acelerado.

- **Usuário deitando-se normalmente:** Para diferenciar esse movimento de uma queda real e minimizar detecções errôneas.

Esses experimentos forneceram dados fundamentais para a calibração do algoritmo, garantindo que ele consiga detectar quedas de maneira confiável, minimizando alarmes falsos e garantindo a segurança do usuário. Os resultados dos testes realizados nesta etapa são exibidos na Seção 5.

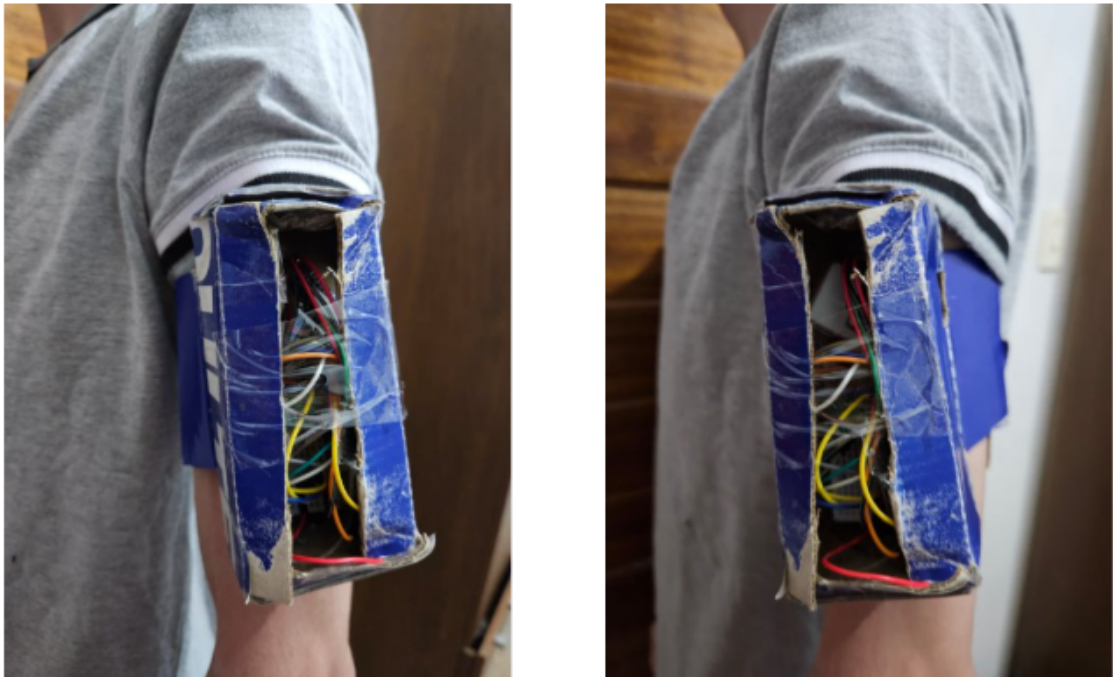
5 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados deste trabalho. Os dados da seção 5.2 foram coletados por meio de gráficos na plataforma Grafana, uma ferramenta de visualização e monitoramento de dados utilizada para exibir métricas em tempo real.

5.1 Protótipo final para uso

Após a construção do dispositivo, o protótipo final foi fixado no braço do usuário. Esse posicionamento é essencial para garantir a captação precisa dos dados durante o monitoramento das atividades do usuário.

Figura 9 – Uso real do protótipo ElderSafe



Fonte: Elaborado pela autora.

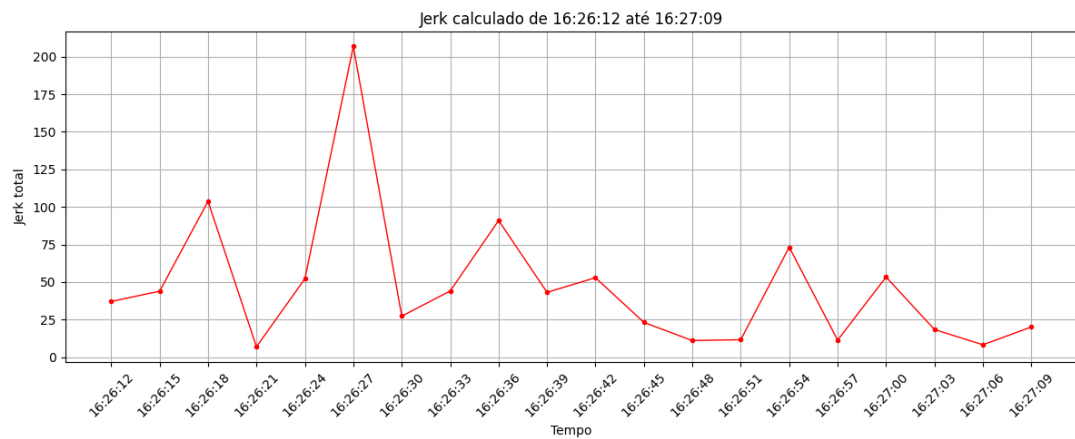
5.2 Resultado dos testes realizados

Este tópico apresenta os resultados dos experimentos de atividades reais realizadas pelo usuário. Os dados coletados apresentam a capacidade do sistema em detectar as quedas.

5.2.1 Caminhada (sem queda)

O teste de caminhada (sem queda) avaliou o comportamento normal do sistema durante esta atividade, conforme ilustrado no gráfico da Figura 10.

Figura 10 – Gráfico do jerk capturado durante uma caminhada (sem queda).

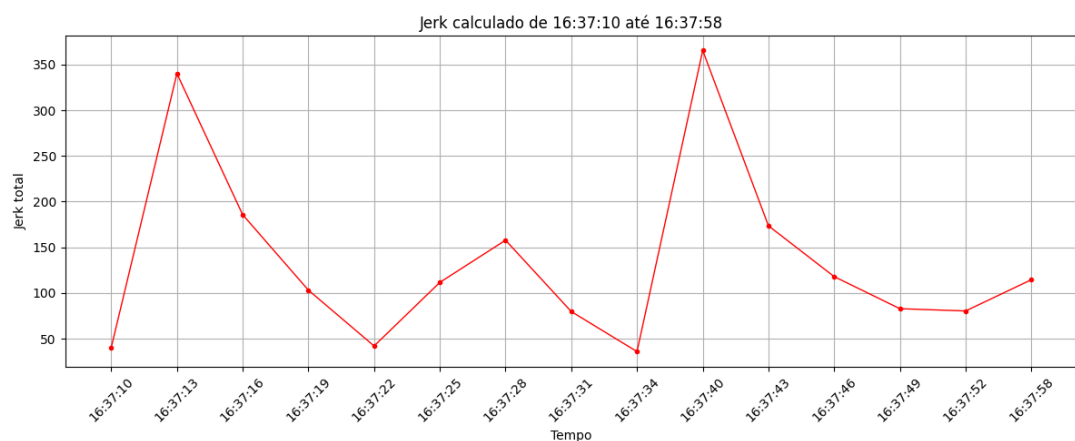


Fonte: Elaborado pela autora.

5.2.2 Corrida (sem queda)

O gráfico da figura 11 mostra os dados capturados durante uma atividade física mais intensa: uma corrida.

Figura 11 – Gráfico do jerk capturado durante uma corrida (sem queda).

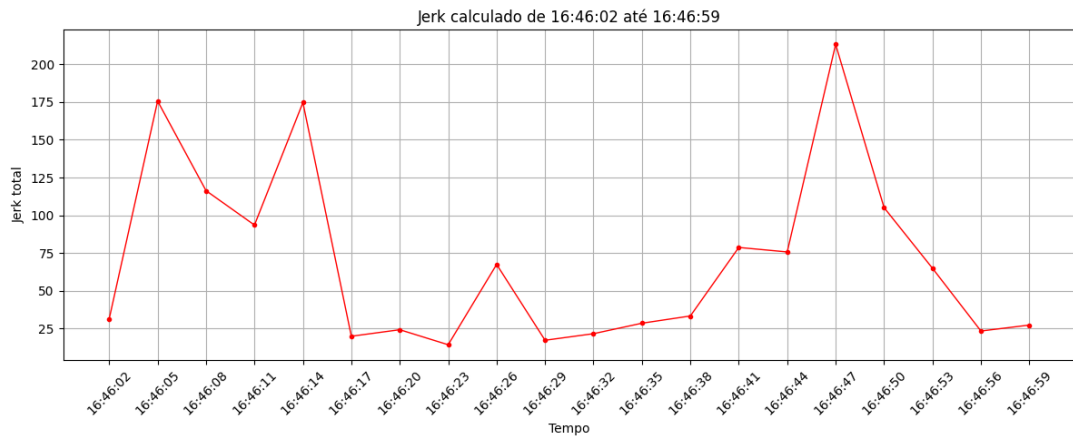


Fonte: Elaborado pela autora.

5.2.3 Deitando (sem queda)

Neste teste foi analisado o comportamento do sistema ao usuário deitar, com os dados do acelerômetro mostrados na Figura 12.

Figura 12 – Gráfico do jerk capturado enquanto o usuário deita-se.

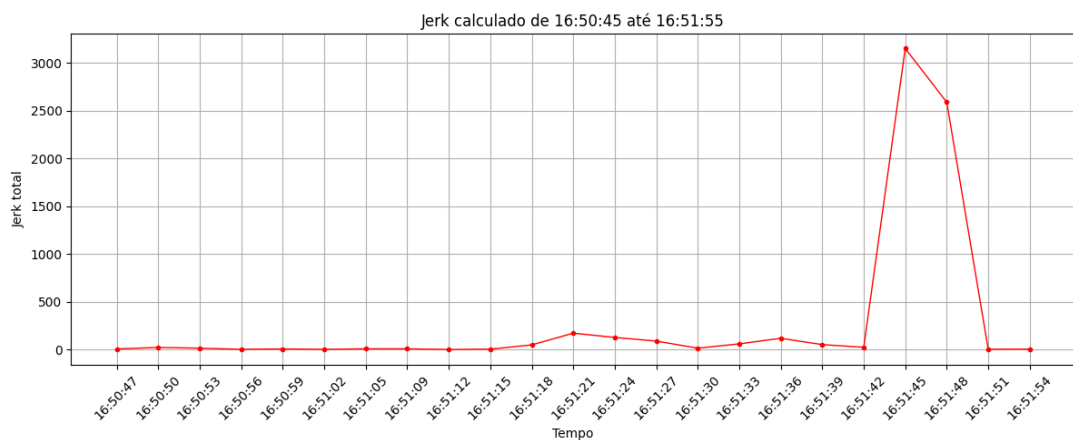


Fonte: Elaborado pela autora.

5.2.4 Caminhando (com queda)

A atividade de caminhar com queda foi realizada para simular um cenário em que o usuário pode cair enquanto caminha. O gráfico da Figura 13 apresenta as informações referentes a esta atividade.

Figura 13 – Gráfico dos dados capturados pelo acelerômetro durante a atividade de caminhada com queda.

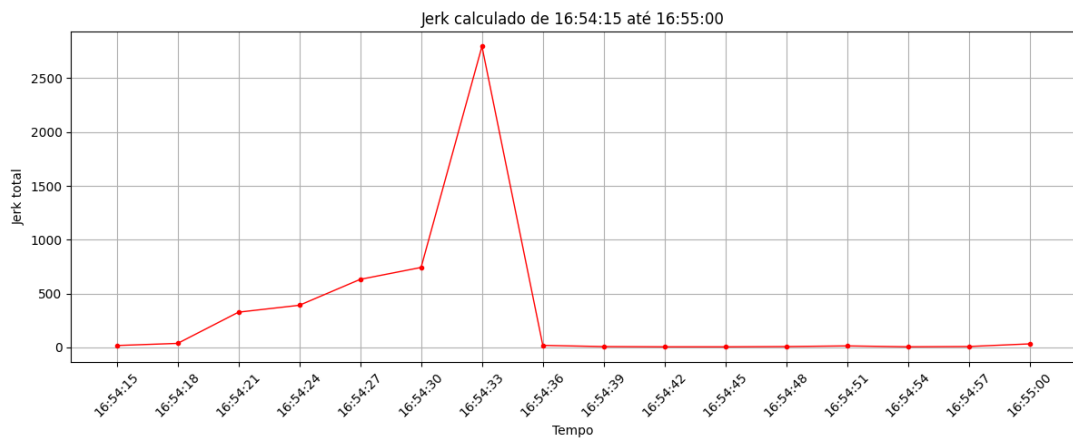


Fonte: Elaborado pela autora.

5.2.5 Correndo (com queda)

A corrida com queda testou a detecção de quedas enquanto o usuário executa uma atividade física mais intensa, conforme mostrado na Figura 14.

Figura 14 – Gráfico dos jerk capturado durante uma corrida com queda.

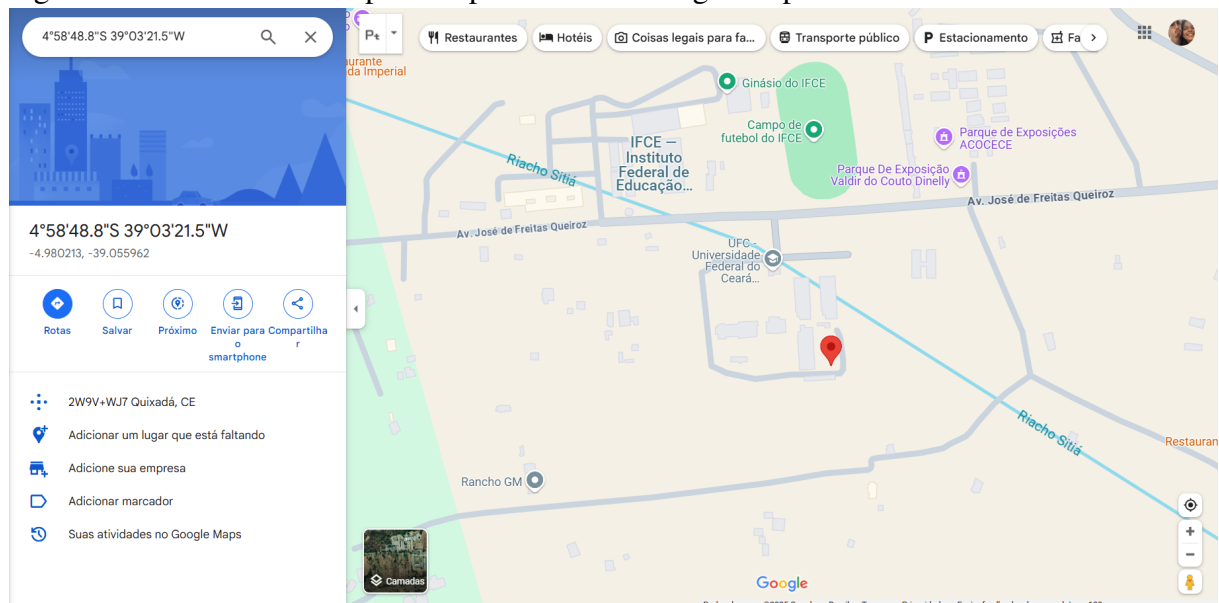


Fonte: Elaborado pela autora.

5.3 Resultado dos testes de geolocalização

A validação da funcionalidade de geolocalização do dispositivo vestível foi realizada através da coleta de coordenadas GPS durante os testes práticos. O objetivo era coletar e enviar esses dados para LoRa.

Figura 15 – Coordenadas capturada pelo GPS no Google Maps.



Fonte: Elaborado pela autora.

A Tabela 1 apresenta as coordenadas registradas pelo GPS durante a execução dos testes. Os resultados desta etapa foram consideravelmente bons, pois os dados coletados eram valores próximos de onde o dispositivo estava localizado. Vale destacar que este módulo de GPS apresenta uma precisão em torno de 5 metros (RoboCore, 2024).

Tabela 1: Coordenadas GPS registradas durante os testes

Ponto	Latitude	Longitude
1	-4.980213	-39.055962
2	-4.980007	-39.056003
3	-4.979773	-39.056010
4	-4.979750	-39.055881
5	-4.980033	-39.055839

Elaborado pela autora.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um dispositivo vestível para detecção de quedas, utilizando o acelerômetro MPU6050, o microcontrolador RP2040 e comunicação LoRa. O sistema foi desenvolvido com o objetivo de detectar quedas sofridas pelo usuário possibilitando uma maior segurança para pessoas idosas.

Os resultados obtidos nas etapas de desenvolvimento e testes do protótipo mostraram que o dispositivo foi eficaz na identificação de quedas em atividades básicas como: caminhar, correr e deitar. O uso da comunicação via LoRa permitiu que o envio de informações fosse realizado por uma rede de baixo custo e alta economia de energia. Além disso, o microcontrolador RP2040 apresentou desempenho satisfatório no processamento dos dados do acelerômetro e no envio das informações.

Contudo, algumas limitações foram identificadas durante os testes. Um dos maiores desafios foi identificar, através do acelerômetro MPU6050, se o usuário caiu e ainda está no chão ou se já se levantou. Este módulo é eficaz na detecção de movimentos, mas apresenta dificuldades em identificar se o usuário permanece no chão ou se já conseguiu se erguer.

Outra limitação observada foi a utilização do GPS utilizado neste projeto para monitorar a localização do usuário. Em ambientes fechados, como casas e prédios, o sinal do GPS pode ser fortemente prejudicado pela estrutura física dos ambientes, dificultando a coleta dos dados. Para contornar essa limitação, uma sugestão futura seria incorporar um GPS com antena melhor adaptada para ambientes internos.

Dessa forma, para trabalhos futuros, é notória a necessidade de melhorias no hardware de detecção de quedas, com a utilização de sensores mais avançados, como sensores com barômetro, que poderiam, por meio da pressão atmosférica e densidade do ar, verificar se o usuário ainda se encontra no chão após uma queda.

REFERÊNCIAS

- AUGUSTIN, A.; YI, J.; CLAUSEN, T.; TOWNSLEY, W. M. A study of lora: Long range low power networks for the internet of things. **Sensors**, v. 16, n. 9, 2016. ISSN 1424-8220. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/16/9/1466>. Acesso em: 7 set. 2024.
- DEGEN, T.; JAECKEL, H.; RUFER, M.; WYSS, S. Speedy: A fall detector in a wrist watch. In: **ISWC**. [S. l.: s. n.], 2003. v. 3, p. 184–187.
- FRANCIS, G. A.; LEXMITHA, S.; DEVI, N. A.; SWATHIKA, C. Embedded system based smart automation for elderly and disabled people. **Annals of the Romanian Society for Cell Biology**, p. 9909–9917, 2021.
- GARCIA, S. R.; KLEINSCHMIDT, J. Tecnologias emergentes de conectividade na iot: Estudo de redes lpwan. In: **Anais do XXXV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais (SBrT)**. [S. l.]: SBrT, 2017. p. 1009–1013.
- GU, Y.; SHEN, J.; CHEN, Y. Poster abstract: Know you better: a smart watch based health monitoring system. In: **2019 IEEE/ACM International Conference on Connected Health: Applications, Systems and Engineering Technologies (CHASE)**. [S. l.: s. n.], 2019. p. 7–8.
- JUNIOR, C. L. B. **SDQI: Sistema de Detecção de Quedas de Idosos**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso.
- LACHTAR, A.; VAL, T.; KACHOURI, A. Elderly monitoring system in a smart city environment using lora and mqtt. **IET Wireless Sensor Systems**, Wiley Online Library, v. 10, n. 2, p. 70–77, 2020.
- LIMA, W. P. Explorando as vantagens da rede lora em iot: Um estudo de caso com medição de distâncias usando o esp32. Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 2023.
- MDHAFFAR, A.; CHAARI, T.; LARBI, K.; JMAIEL, M.; FREISLEBEN, B. Iot-based health monitoring via lorawan. In: **IEEE EUROCON 2017 -17th International Conference on Smart Technologies**. [S. l.: s. n.], 2017. p. 519–524.
- MISCHIANTI. **Waveshare RP2040 Zero: High Resolution Pinout and Specs**. 2024. Disponível em: <https://mischianti.org/waveshare-rp2040-zero-high-resolution-pinout-and-specs/>. Acesso em: 09 set. 2024.
- MUZAFAR, M. I. Z. A.; ALI, A. M.; ZULKIFLI, S. A study on lora sx1276 performance in iot health monitoring. **Wireless Communications and Mobile Computing**, Wiley Online Library, v. 2022, n. 1, p. 6066354, 2022.
- OMKAR, S. N.; NAGARAJA, V. H.; VYAS, K. Evaluation of fall detection under sudden mechanical perturbations. In: **International Conference on Ergonomics and Human Factors (HWWF)**. [S. n.], 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/365294278>. Acesso em: 7 set. 2024.
- Perrelet. **Our History**. 2024. <https://perrelet.com/en-GB/our-history>. Acesso em: 8 ago. 2024.
- PIERLEONI, P.; BELLI, A.; PALMA, L.; PELLEGRINI, M.; PERNINI, L.; VALENTI, S. A high reliability wearable device for elderly fall detection. **IEEE Sensors Journal**, v. 15, n. 8, p. 4544–4553, Aug 2015. ISSN 1558-1748.

RIBEIRO, J. M. T. *et al.* Uma aplicação da tecnologia lora em um ambiente hospitalar. Florianópolis, SC, 2019.

RoboCore. **Módulo GPS GY-NEO6MV2 com Antena**. 2024. Disponível em: <https://www.robocore.net/robot-sensor/modulo-gps-gy-neo6mv2-com-antena>. Acesso em: 09 set. 2024.

SILVA, R. O. da; ARAUJO, W. M.; CAVALCANTE, M. M. Visão geral sobre microcontroladores e prototipagem com arduino. **Tecnologias Em Projeção**, v. 10, n. 1, p. 36–46, 2019.

SMARTKITS. **Smartkits**. s.d. Disponível em: <https://www.smartkits.com.br>. Acesso em: 09 set. 2024.

SOTERO, D. M. S. Desenvolvimento de um sistema embarcado para detecção de queda para idosos. Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, 2014.

VALACH, A.; MACKO, D. Exploration of the lora technology utilization possibilities in healthcare iot devices. In: **Anais do 16º International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA)**. Sary Smokovec: ICETA, 2018. p. 623–628. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ICETA.2018.8572032>. Acesso em: 7 set. 2024.

WENDLING, M. Sensores. **Universidade Estadual Paulista. São Paulo**, v. 2010, p. 20, 2010.

WIXTED, A. J.; KINNAIRD, P.; LARIJANI, H.; TAIT, A.; AHMADINIA, A.; STRACHAN, N. Evaluation of lora and lorawan for wireless sensor networks. In: **2016 IEEE SENSORS**. [S. l.: s. n.], 2016. p. 1–3.