

Sistema Assistivo de Detecção de Quedas com Arquitetura Embarcada e Comunicação de Longo Alcance

Nicole Silva de Jesus¹, Lucas Perrone Ramos², Raimundo José de Araújo Macêdo³

¹²³Laboratório de Sistemas Distribuídos (LaSiD)
Universidade Federal da Bahia (UFBA)

{nicolejesus, macedo}@ufba.br, lucaspramos21@gmail.com

Abstract. *This work presents the development of a fall detection system aimed at supporting individuals with specific care needs, using embedded sensors and wireless connectivity. The system was designed as a low-cost assistive technology solution, focusing on accessibility and energy efficiency. To validate its functionality, a prototype was built and evaluated through a series of experiments conducted on the campus of the Federal University of Bahia (UFBA), assessing its detection capability and usability in simulated fall scenarios. The results demonstrated that the solution is promising in terms of applicability in real environments, standing out as a viable alternative for personal safety monitoring.*

Resumo. *Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de detecção de quedas voltado ao apoio de pessoas com necessidades específicas de cuidado, utilizando sensores embarcados e conectividade sem fio. O sistema foi projetado como uma solução de tecnologia assistiva de baixo custo, com foco em acessibilidade e eficiência energética. Para validar sua funcionalidade, foi construído um protótipo avaliado em uma série de experimentos realizados no campus da Universidade Federal da Bahia (UFBA), analisando sua capacidade de detecção e usabilidade em contextos simulados de queda. Os resultados demonstraram que a solução é promissora quanto à aplicabilidade em ambientes reais, destacando-se como uma alternativa viável para o monitoramento da segurança pessoal.*

1. Introdução

O envelhecimento populacional, o aumento de doenças crônicas e a crescente demanda por cuidados domiciliares têm impulsionado o desenvolvimento de tecnologias assistivas voltadas à saúde e à qualidade de vida de pessoas com mobilidade reduzida. Dentre as soluções tecnológicas emergentes, destacam-se os sistemas de monitoramento automatizado, que visam proporcionar maior segurança e independência aos usuários, além de auxiliar cuidadores e profissionais de saúde no acompanhamento remoto. Um dos eventos mais críticos enfrentados por esse público é a queda, que pode gerar consequências físicas graves, principalmente em idosos, além de custos elevados para o sistema de saúde.

Nesse contexto, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de detecção de quedas voltado à assistência de pessoas que necessitam de monitoramento

¹ Estudante do Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia - IHAC/UFBA

² Estudante do Bacharelado em Sistemas de Informação - IC/UFBA

³ Professor Titular, DCI/IC/UFBA. Coordenador do LaSiD/UFBA.

constante. O protótipo foi construído com base em uma Rede de Sensores Sem Fio (RSSF), integrada a um sistema de comunicação de longo alcance via LoRa, sensores de movimento e um mecanismo simples de geração de alerta.

Durante o desenvolvimento, diversos desafios técnicos foram enfrentados, tais como o sensoriamento preciso dos movimentos corporais, a transmissão confiável dos dados coletados, o processamento eficiente das informações e a emissão de alerta em tempo real. Questões adicionais, como a estabilidade da comunicação ponto a ponto em diferentes distâncias e a calibração do espalhamento espectral do protocolo LoRa, também foram investigadas visando à melhoria da eficácia e robustez do sistema.

A arquitetura proposta é composta por um microcontrolador Arduino Nano, um sensor giroscópico/accelerômetro MPU-6050 responsável pela captação dos movimentos e um módulo de comunicação LoRa SX1280. A programação do sistema foi realizada em C/C++, e os testes experimentais foram conduzidos em ambientes controlados visando validar a precisão e a confiabilidade do protótipo.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma: na Seção 2, são apresentados trabalhos relacionados; na Seção 3, descrevemos o projeto e desenvolvimento do protótipo para detecção e transmissão de dados de quedas; a Seção 4 detalha os experimentos realizados para validação e avaliação do sistema; por fim, a Seção 5 apresenta as conclusões deste estudo.

2. Trabalhos Relacionados

Diversos estudos têm explorado o uso de tecnologias de sensoriamento e transmissão de dados para o monitoramento de quedas e a assistência a pessoas com saúde debilitada. A seguir, destacam-se alguns trabalhos relevantes que se relacionam com a presente proposta.

Nascimento, Silva e Juchem (2022) realizaram um estudo de revisão de literatura para identificar os serviços de suporte oferecidos pelas Tecnologias Assistivas na avaliação do risco de quedas em idosos, bem como no monitoramento de seus ambientes residenciais. O trabalho apresentou uma visão geral dos principais dispositivos utilizados, descrevendo suas particularidades. Os resultados indicaram que os smartphones são os aparelhos mais empregados na detecção de quedas, devido à sua acessibilidade e baixo custo. Em termos de software, destacou-se a utilização de algoritmos baseados em aprendizado de máquina, considerados mais eficazes na detecção de movimentações corporais em ambientes domésticos. Quanto à localização dos sensores vestíveis no corpo, o tronco foi o segmento mais utilizado, seguido pela cabeça. Por se tratar de um artigo de revisão, nenhuma tecnologia específica foi implementada.

Thamay e Moraes (2018) propuseram uma solução tecnológica chamada Weartool, voltada ao auxílio de cuidadores no monitoramento de idosos e crianças. O estudo teve caráter de pesquisa aplicada, com desenvolvimento de protótipos. O dispositivo demonstrou ser compacto, de baixo custo e fácil utilização, apresentando precisão de 95,98% na detecção de movimentos. A tecnologia empregada inclui o MetaWear, um sistema de baixo consumo energético composto por bateria CR2032, Bluetooth 4.0, processador ARM Cortex-M0 MCU, memória flash de 256 kB, RAM de 32 kB e diversos sensores, como os de temperatura, luz, proximidade e movimento (acelerômetro e giroscópio de 3 eixos).

Ferreira, Piva e Braga (2015) apresentaram um estudo visando propor um conjunto de métricas de qualidade de software para avaliar a confiabilidade de sistemas de detecção de quedas. Trata-se de uma pesquisa aplicada que utilizou a Metodologia Goal-Question-Metric (GQM). Por meio da análise do sistema fAlert, observou-se que a ativação de múltiplos sensores durante a configuração resulta em valores médios mais elevados nas coletas de dados. Além disso, foi identificado que o posicionamento do dispositivo na região do peito proporciona detecções de quedas mais eficazes, por se tratar de uma posição mais estável no corpo. O fAlert é um dispositivo móvel que utiliza acelerômetro e magnetômetro para identificar quedas e, após a detecção, emprega o Google Speech Recognizer para verificar, por meio de interação por voz, se o usuário está bem ou necessita de ajuda.

Destaca-se que um ponto em comum entre os dispositivos estudados é o uso do sensor acelerômetro. A análise dos dados gerados por esse sensor é frequentemente realizada por meio de funções trigonométricas, utilizadas para determinar o ângulo de inclinação. A proposta aqui apresentada distingue-se dos trabalhos mencionados principalmente pela utilização de comunicação por rede de baixa potência e longo alcance (LoRa), tratando-se de um projeto original em sua concepção. O protocolo LoRa foi escolhido por sua capacidade de operar em longas distâncias com baixo consumo de energia, características ideais para cenários em que os usuários podem estar em áreas residenciais amplas ou rurais, e onde a conectividade contínua via Wi-Fi ou redes móveis não é garantida. Além disso, diferentemente de soluções baseadas em smartphones, o uso de LoRa permite maior autonomia energética e menor dependência de dispositivos pessoais ou redes comerciais.

3. Sistema Proposto

O protótipo desenvolvido e apresentado neste artigo integra sensores, comunicação via LoRa e emissão de alerta em caso de queda. O hardware utilizado para a comunicação LoRa foi desenvolvido no contexto da tese de doutorado de Marcelo Guimarães, sob orientação de Raimundo Macêdo (Guimarães e Macêdo, 2024), e foi reutilizado neste sistema de detecção de quedas. Já o software de comunicação, assim como o software e o hardware voltados à detecção de quedas, foram desenvolvidos no âmbito de um projeto de iniciação científica ao nível de graduação, conforme descrito neste artigo. Esse trabalho incluiu a montagem do protótipo, programação, testes em ambiente controlado e em condições que simulam situações reais, seguidos da análise e ajuste de parâmetros para garantir a precisão na detecção de quedas.

A comunicação via LoRa é realizada exclusivamente com a biblioteca *SX12XX-LoRa* (Stuart, 2024), que fornece suporte à transmissão e recepção de dados com os módulos *SX128x*, incluindo funcionalidades avançadas como envio de pacotes confiáveis com verificação de integridade, controle de rede, modos de baixo consumo e suporte a alta taxa de transferência.

Por fim, o protótipo de detecção de quedas está consolidado em uma placa que integra o rádio LoRa, o Arduino e os sensores, com o objetivo principal de avaliar, em ambiente acadêmico, os mecanismos desenvolvidos para comunicação e detecção de quedas. Trata-se, portanto, de uma plataforma funcional voltada à experimentação e validação dos conceitos propostos. Naturalmente, para uma aplicação em larga escala, o formato final do dispositivo — seja como uma pulseira ou outro tipo de vestível —

exigirá uma avaliação específica voltada à usabilidade, ergonomia e aceitação pelo usuário, o que está além do escopo deste projeto. Em uma perspectiva futura, espera-se que o dispositivo seja aprimorado para assumir um formato vestível, como uma pulseira no braço, alimentada por uma bateria portátil recarregável.

3.1 Hardware utilizado no protótipo

A escolha dos componentes de hardware baseou-se no baixo custo e na flexibilidade de acesso e uso — características que facilitam a construção de diferentes cenários de aplicação. Além disso, no caso do Arduino, trata-se de hardware livre, ou seja, os usuários têm liberdade para utilizar, copiar e redistribuir os dispositivos, com ou sem modificações (Stallman, 2021).

As placas de prototipagem Arduino (e suas versões genéricas) são dispositivos voltados à integração entre hardware e software. Sua programação é realizada por meio de ambientes de desenvolvimento integrado (IDE – Integrated Development Environment), utilizando, por padrão, a linguagem C/C++.

A placa Arduino Nano utilizada é baseada no microcontrolador ATmega328 e conta com 14 portas digitais e 8 portas analógicas, que podem ser configuradas como entradas ou saídas de dados. Além disso, o Arduino opera com uma tensão mínima de 3,3 V e máxima de 20 V.

O microcontrolador ATmega328 é um dispositivo de 8 bits, com 32 KB de memória *flash* para armazenamento de programas — que pode ser programada via interface SPI ou diretamente através do Arduino — e 2 KB de memória RAM para armazenamento de dados em tempo de execução. Destaca-se também que esse microcontrolador possui uma interface serial para comunicação I²C, um protocolo que permite a interligação de diversos dispositivos em um mesmo barramento (*bus*), promovendo a troca de dados entre eles.

Por fim, o ATmega328 utiliza a arquitetura Harvard, que separa fisicamente as memórias e os barramentos destinados a instruções e dados. Essa característica permite que o microcontrolador execute instruções em um único ciclo de clock, resultando em alto desempenho e baixo consumo de energia.

Para aquisição de dados, foi utilizado o sensor inercial MPU-6050 que integra um acelerômetro de três eixos, um giroscópio de três eixos e um termômetro, o qual capta a temperatura do ambiente. Ele opera com uma tensão de aproximadamente 5V e possui oito pinos de conexão, dos quais foram utilizados quatro neste experimento. Esse sensor contém um conjunto de microestruturas que detectam a aceleração do corpo e, como resultado, geram um sinal elétrico proporcional à aceleração em cada um dos seus três eixos. Esses sinais são amplificados e convertidos para valores digitais de 16 bits (1 bit para o sinal e 15 para o valor numérico), permitindo representar valores entre -32.767 e 32.768. Além disso, o sensor também possui uma estrutura sensível à rotação, que se baseia no efeito Coriolis para gerar sinais elétricos correspondentes aos movimentos rotacionais. Esses sinais são, da mesma forma, interpretados e convertidos em valores digitais de 15 bits.

Para comunicação foi utilizado o LoRa 2.4GHz (G-NiceRF SX1280), que é um módulo de comunicação via Rádio que opera em uma frequência de 2,4 GHz a longa distância, além disso, possui tecnologia de anti-interferência de sinal. Ele opera em uma

voltagem de aproximadamente 1,8 à 3,7 volts. Possui 16 pinos de conexão, incluindo um para a antena. Esta tecnologia visa auxiliar aplicações que buscam o baixo consumo de energia, o alto alcance e a baixa taxa de transmissão de dados. Sua taxa de transmissão varia de 0,3 kbps a 50 kbps e geralmente utilizadas para o envio de informações simples, como mensagens de texto, vídeos e áudios. O alto alcance se dá devido à sua técnica de modularização. Esta técnica é baseada no espelhamento CSS (Chirp Spread Spectrum), que consiste no uso de pulsos modulados em frequência linear de banda larga. A frequência aumenta ou diminui com base na informação codificada, resultando nas baixas taxas de transmissão e no alto alcance (TOZETTO, SILVA, FREIRE, 2021).

3.2 Módulo de Transmissão e Recepção

Ambos os módulos compartilham a mesma base de hardware e software para comunicação LoRa, utilizando a biblioteca de Stuart Robinson (Stuart, 2024) e operando com os mesmos parâmetros de modulação e frequência. O sistema é configurado para operar na frequência de 2,445 GHz, com um fator de espalhamento (spreading factor) de 7, largura de banda de 400 kHz e taxa de codificação de 4/5.

O sensoriamento e processamento local é feito junto ao módulo de transmissão, já o módulo de recepção é passivo, recebe pacotes e valida sua integridade, sem realizar qualquer tipo de processamento de sensores.



Figura 1. Diagrama da solução

Módulo de Transmissão e Recepção

A coleta de dados é feita por meio do sensor inercial MPU-6050. Este sensor possui um registrador, no qual está definido o valor de referência para que o acelerômetro realize a coleta e transmissão correta dos dados. Esses valores do registrador podem assumir uma escala de 1g, 2g, 4g, 8g ou 16g. Por exemplo, o -32767 equivale a -2g (caso o valor escolhido no registrador seja o de 2g) e 32768 equivale a 2g. A fórmula para conversão pode ser escrita da seguinte forma (Valor Lido é o valor que o acelerômetro captou na escala escolhida).

$$Valor\ Real = \frac{Valor\ Lido \times Escala}{32768}$$

Após o uso da fórmula, os valores estarão em “g” mas caso seja necessário usar em “m/s²”, basta multiplicar por 9,8 que ele será convertido.

Responsável por escutar os dados enviados pelo módulo transmissor. Não há sensores conectados ao receptor, uma vez que sua única responsabilidade é a recepção dos pacotes enviados. Quando um pacote é recebido, o sistema avalia sua integridade e qualidade com base nos indicadores RSSI e SNR, fornecidos pela própria biblioteca SX12XX-LoRa (Stuart. 2024). O conteúdo do pacote é exibido via monitor serial, caso

uma queda seja detectada ela é sinalizada por meio de LEDs, facilitando testes em campo. Caso ocorra erro na transmissão, o receptor também registra o tipo de falha, permitindo diagnóstico rápido.

4 Experimentos Realizados para Ajustes de Medidas

Em cada experimento, foram transmitidos 200 pacotes contendo a mensagem “Experimento LoRa”, com pacote de 18 bits, utilizando antena de 5 dBi (SMA fêmea, 915 MHz), potência de transmissão, espalhamento espectral e distância variáveis. A frequência da portadora foi de 2.445.000.000 Hz, com largura de banda de 203.125 Hz e taxa de código (CR) de 4/5.

Inicialmente, na primeira coleta, o valor da potência de transmissão foi fixado em 12,2 dBm. A cada envio de 200 pacotes, o espalhamento espectral foi gradualmente reduzido até chegar ao último valor possível. Dessa forma, pode-se observar que o indicador de intensidade do sinal recebido (RSSI) decai à medida que o espalhamento espectral diminui; porém, o tempo de transmissão oscilou e não foi possível notar um padrão.

Posteriormente, na segunda coleta, a potência de transmissão foi reduzida para 6,9 dBm a fim de analisar se o alcance da transmissão era mantido. Entretanto, com a redução da potência, não foi possível estabelecer comunicação na distância de 154,22 metros (da Biblioteca Central da UFBA até a sala 157 do Laboratório de Sistemas Distribuídos - LaSiD, em ambiente aberto). Portanto, foi necessário reduzir a distância, e a coleta foi novamente realizada em uma distância de 88,55 metros. Notou-se que, ao diminuir o espalhamento espectral, o tempo de transmissão e a quantidade de mensagens com envio mal sucedido também decresceram. Entretanto, ao chegar nos valores 10 e 8 do espalhamento espectral, exatamente no ponto de decremento, que ocorre ao atingir 200 pacotes, ocorreram pacotes com erro e, devido a um problema na lógica de programação do código, o espalhamento espectral era reduzido para o próximo valor sem realizar a transmissão dos pacotes.

Diante dos problemas apresentados, foi necessário refazer os experimentos. Assim, a cada envio de 200 pacotes, o espalhamento espectral foi alterado manualmente, pois a alteração automática em ambos os módulos estava gerando problemas de comunicação, fazendo com que os módulos, em alguns momentos da transmissão, não estivessem calibrados igualmente. Além disso, notou-se que espalhamentos espetrais abaixo de 7 não são eficientes, pois não possuem um bom alcance. Diante disso, as próximas coletas foram limitadas aos espalhamentos espetrais 12, 10 e 7, pois com esses valores é possível ter um bom alcance. A potência foi variada em três valores: o seu valor máximo, 13; seu valor médio, 5; e o menor valor possível, 0, que equivalem, respectivamente, a 12,2 dBm, 0,3 dBm e -16,5 dBm. Ademais, em cada variação dos parâmetros supracitados, foi calculada a porcentagem de perda de pacotes no intervalo de 200 envios bem-sucedidos.

4.1 Dados da primeira coleta:

Este teste foi realizado com potência de 12,2 dBm e 154,22 m de distância, usando espalhamentos variados (12,10,7). Na Tabela 1 estão listados os dados da coleta, e a Figura 2 mostra o mapa do local onde a coleta foi realizada.

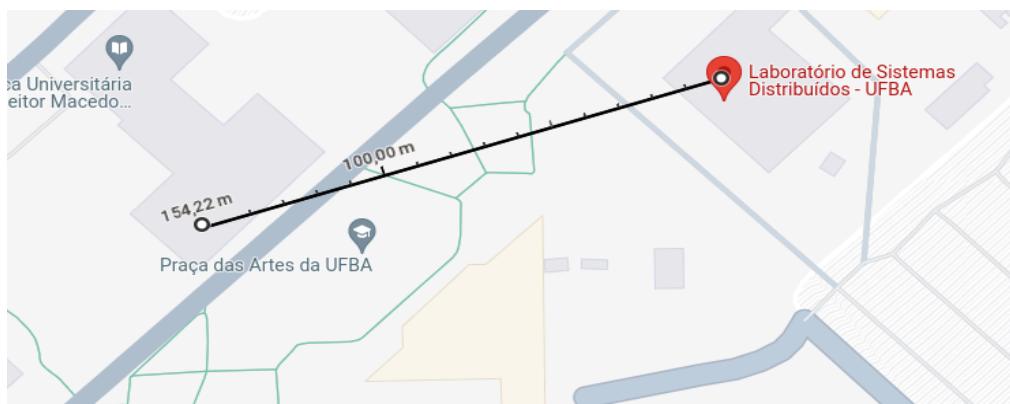


Figura 2. Mapa do local onde a primeira coleta de dados foi realizada

Tabela 1. Dados da primeira coleta de experimentos realizados

SF ⁴	Início - Fim da transmissão	Tempo médio de recepção	Nº pacotes recebidos sem erro	Nº pacotes recebidos com erro	Porcentagem de erros	Desvio padrão RSSI	Desvio padrão SNR
12	15:02 - 15:11	4ms	136	64	32%	11	0
10	15:42 - 15:45	2 ms	62	138	69%	0	0
7	16:31 - 16:36	14 ms	93	107	53,5%	12	0

4.2 Dados da segunda coleta:

Já para a segunda coleta, realizada com potência de transmissão de 0,3 dBm, a uma distância de 88,55 m e com espalhamento variável (7, 10, 12), os dados coletados estão resumidos na Tabela 2, com base no experimento ilustrado na Figura 3.

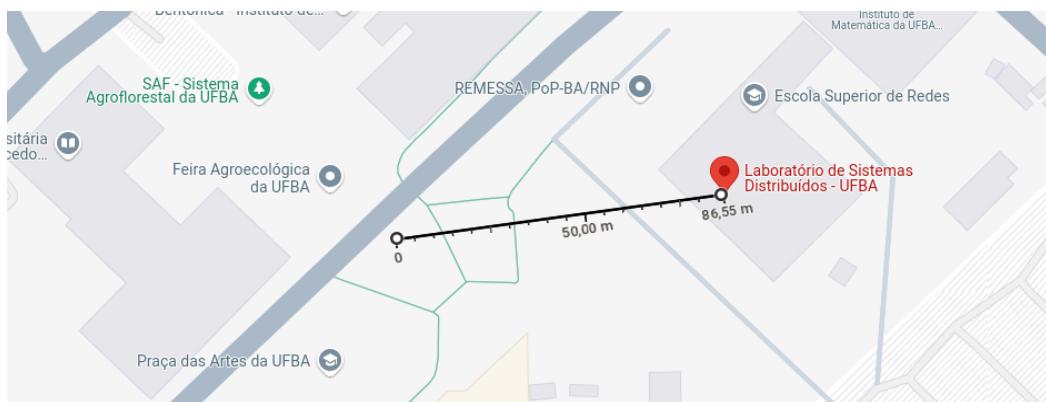


Figura 3. Mapa do local onde a segunda coleta de dados foi realizada

⁴ Espelhamento Espectral

Tabela 2. Dados da segunda coleta de experimentos realizados

SF	Início - Fim transmissão	Tempo médio de recepção	Pacotes	Pacotes	Porcentagem de erros	Desvio padrão RSSI	Desvio padrão SNR
			recebidos sem erro	recebidos com erro			
12	15:45 - 15:55	4 ms	196	4	2%	9	0
10	15:57 - 16:00	1 ms	128	72	36%	0	0
7	16:18 - 16:29	36 ms	44	156	78%	0	0

Vale destacar que, para conseguir realizar o experimento com a potência de 0,3 dBm, foi necessário diminuir ao máximo a distância entre os módulos. A comunicação só foi possível quando ambos estavam a uma distância de aproximadamente 5 metros, no mesmo ambiente. Com a potência de -16,5 dBm, não foi possível estabelecer comunicação. Dessa forma, as potências de 0,3 dBm e -16,5 dBm foram descartadas, tendo em vista que não foi possível realizar comunicação em longas distâncias com esses valores.

Por fim, diante do observado, observamos que a comunicação se comporta melhor entre os espalhamentos espectrais 7 e 10 e com a potência do transmissor sempre no valor máximo. Dessa forma, pretende-se alcançar um maior ganho em distância e transmissão de dados. Com a potência em valores muito baixos, é necessário que o espalhamento espectral esteja alto, ou no seu valor máximo, para conseguir uma comunicação minimamente eficiente.

4.3 Detecção de quedas

Neste experimento, foram analisados os dados dos três eixos do giroscópio durante o movimento de uma pessoa se sentando. Notou-se que o eixo X apresentou uma variação mais intensa, com um aumento nos valores seguido por uma queda acentuada. Esse comportamento reflete o movimento natural do corpo ao se sentar: primeiro, o tronco se inclina para frente, e depois a pessoa se encosta na cadeira. Já os eixos Y e Z mostraram oscilações menores, indicando que registram movimentos mais sutis, como pequenos ajustes laterais ou rotações menos intensas. Com isso, é possível perceber que o eixo X concentra a maioria de movimentos nesse tipo de ação, sendo o principal indicador do padrão ao se sentar.

O segundo teste consistiu em simular uma queda, deixando o dispositivo cair a partir de um ângulo inicial de 90° em relação ao solo, tendo o travessereiro como superfície de impacto. O gráfico obtido foi semelhante na maioria das execuções. O eixo X (em azul), que representa o eixo vertical, foi o principal indicador da queda. No entanto, o eixo Z (em laranja), que mede a rotação lateral do dispositivo, também apresentou alterações significativas. Essas variações são explicadas pelo impacto, momento em que o dispositivo pode girar aleatoriamente para a direita ou para a esquerda.

Para a realização do teste, foi utilizada uma tábua de madeira, na qual o Arduino com o giroscópio foi fixado a uma altura de 1,06 metros (Figura 4). Essa altura correspondente à cintura do estudante que realizou o teste, local onde o dispositivo será posicionado em situações reais. Um travesseiro foi colocado no chão visando amortecer o impacto da queda.

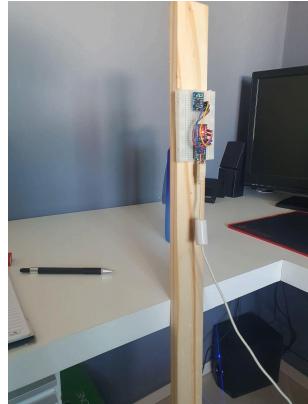


Figura 4. Dispositivo utilizado para simulação de pessoa caindo

5. Conclusão

Este trabalho demonstrou a viabilidade de um sistema de detecção de quedas baseado em Redes de Sensores Sem Fio (RSSF), utilizando tecnologia LoRa, Arduino e sensores inerciais. Ao longo do desenvolvimento, constatou-se que a tecnologia LoRa é adequada à aplicação proposta, pois sua modulação, aliada a modos de baixo consumo energético, permite que o sistema opere por longos períodos com manutenção mínima — um requisito essencial para o monitoramento remoto de saúde com eficiência. A escolha por componentes de baixo custo e ampla disponibilidade, como o Arduino Nano e o sensor MPU-6050, também reforça o potencial de escalabilidade e acessibilidade do projeto.

Os experimentos confirmaram que o sistema é capaz de identificar quedas e enviar alerta em tempo real, mesmo a distâncias consideráveis, com boa precisão nos cenários simulados com o dispositivo preso a um artefato de madeira.

A técnica empregada nesta etapa baseia-se em uma abordagem heurística, que analisa os sinais dos eixos do giroscópio — com ênfase no eixo X — para detectar padrões característicos de queda. Como desenvolvimento futuro, pretende-se incorporar algoritmos de aprendizado de máquina para reconhecer padrões mais complexos e reais de movimentos de quedas. Modelos supervisionados, como *Random Forest* ou redes neurais, poderão distinguir de forma mais eficaz entre quedas reais e movimentos semelhantes, tornando o sistema mais robusto e adaptável a diferentes perfis e contextos de uso.

Também está previsto o desenvolvimento de uma arquitetura de notificação mais sofisticada, com envio automático de alerta por e-mail ou por meio de um aplicativo dedicado ao monitoramento dos pacientes.

Referências

- Ferreira, A., Piva, L. e Braga, R. (2015) "Avaliação da Confiança no Funcionamento de Sistemas de Detecção e Alerta de Quedas", *Anais do Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva (SBCUP)*. Disponível em: <https://doi.org/10.5753/sbcup.2015.10165> (Acesso em: 27 de janeiro de 2024).
- Guimarães, M. A. e Macêdo, R. J. de A. (2024) "Energy-Efficient eHealth Monitoring with LPWAN", *2024 XIV Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering (SBESC)*, Recife, Brazil, 2024, pp. 1-6. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/SBESC65055.2024.10771908> (Acesso em: 17 de julho de 2025).
- Thamay, F., e Moraes, M. E. de. (2018). *Monitoramento de crianças e idosos utilizando uma WBAN*. *Revista de Saúde Digital e Tecnologias Educacionais*, 3(4), 44–59. <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/34326>
- Nascimento, M. de M.; Silva, P. S. T. e Juchem, L. (2022) "Tecnologias Assistivas: aplicações na prevenção de quedas de idosos", *Revista Saúde e Desenvolvimento Humano*, 10(1), pp. 1–14. Disponível em: <https://doi.org/10.18316/sdh.v10i1.8492> (Acesso em: 27 de janeiro de 2024).
- Stallman, R. (2021) "Hardware livre e designs de hardware livre", *GNU*. Disponível em: <https://www.gnu.org/philosophy/free-hardware-designs.pt-br.html> (Acesso em: 6 de outubro de 2023).
- Stuart, Robinson (2024) "SX12XX-LoRa: LoRa library for SX126X/SX127X/SX128X LoRa devices", *GitHub*. Disponível em: <https://github.com/StuartsProjects/SX12XX-LoRa> (Acesso em: 15 de junho de 2025).
- Tozetto, D., Silva, R. e Freire, R. (2021) Sistema de Comunicação LoRa: Uma solução para Transmissão de Dados no Agronegócio envolvendo Longas Distâncias e Baixo Custo. Sociedade Brasileira de Automática (SBA), [s. l.]., Disponível em: https://www.sba.org.br/open_journal_systems/index.php/sbai/article/view/2647. (Acesso em: 28 set. 2023).