

Desenvolvimento de uma Pulseira Inteligente para Detecção de Quedas: Uma aplicação voltada à segurança de idosos e pessoas com deficiência

Eduardo José Menezes da Veiga¹, Thiago Valentim Bezerra²,
Mercio Antônio Oliveira de Andrade¹, Rodrigo Cesar Lira da Silva¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Pernambuco (IFPE)
Campus Paulista – PE – Brasil

²Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Pernambuco (IFPE)
Campus Palmares – PE – Brasil

ejmvd@discente.ifpe.edu.br, thiago.bezerra@palmares.ifpe.edu.br,
{rodrigo.lira, mercio.andrade}@paulista.ifpe.edu.br

Abstract. *This work presents the development of a low-cost smart wristband for fall detection, focusing on the safety of elderly people and individuals with disabilities in domestic environments. The proposal aims to fill the gap between expensive commercial solutions and less ergonomic alternatives by offering a wearable, autonomous, and accessible system. The prototype was built using the ESP-01 microcontroller, MPU6050 inertial sensor, and a piezoelectric buzzer, powered by two 18650 batteries regulated by an AMS1117. The embedded logic performs automatic calibration and detects falls based on three criteria: reduced acceleration (free fall), sudden impact, and variation in arm inclination. The physical structure was 3D-printed and attached to the wrist with velcro, aiming for comfort and practicality. Controlled tests were conducted with simulations of falls in different directions and common daily activities. The results showed a high detection rate for real falls and a low occurrence of false positives, validating the effectiveness of the three-stage algorithm. The system's autonomy reached approximately 8 hours of continuous use, limited by thermal instability of the AMS1117 regulator rather than battery depletion.*

Resumo. *Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma pulseira inteligente de baixo custo para detecção de quedas, com foco na segurança de idosos e pessoas com deficiência em ambientes domésticos. A proposta visa suprir a lacuna entre soluções comerciais caras e alternativas pouco ergonômicas, oferecendo um sistema vestível, autônomo e acessível. O protótipo foi construído com o microcontrolador ESP-01, sensor inercial MPU6050 e buzzer piezoelétrico, alimentados por duas baterias 18650 com regulação por AMS1117. A lógica embarcada realiza calibração automática e detecta quedas com base em três critérios: aceleração reduzida (queda livre), impacto súbito e variação de inclinação do braço. A estrutura física foi impressa em 3D e fixada ao pulso por velcro, visando conforto e praticidade. Foram realizados testes controlados com simulações de quedas em diferentes direções e atividades cotidianas. Os resultados demonstraram alta taxa de detecção correta para quedas reais*

e baixa ocorrência de falsos positivos, validando a eficácia do algoritmo de três etapas. A autonomia do sistema foi de aproximadamente 8 horas de uso contínuo, sendo limitada pela instabilidade térmica do regulador AMS1117 e não pelo esgotamento das baterias.

1. Introdução

A ocorrência de quedas em ambientes domésticos representa um risco relevante à integridade física e à autonomia de idosos e pessoas com deficiência, especialmente em contextos onde não há supervisão contínua. Um estudo mostrou que, entre 2000 e 2020, o número de internações e óbitos por quedas aumentou significativamente no Brasil, com projeção de cerca de 150 mil internações e um custo estimado de R\$ 260 milhões ao SUS em 2025, evidenciando o impacto desse tipo de acidente na saúde pública e a necessidade de ações preventivas [Novaes et al. 2023].

Dispositivos de detecção de quedas têm sido objeto de crescente interesse, especialmente com o avanço de tecnologias embarcadas, como microcontroladores e sensores de movimento. [Bezerra et al. 2025] apresentou uma solução baseada em câmeras para detecção de quedas, porém com alto consumo computacional. Já [Vieira and Araújo 2019] utilizaram sensores inerciais e plataformas embarcadas para identificação de quedas e envio de alertas, porém a abordagem ainda apresenta limitações em cenários cotidianos.

O sistema de [Bezerra et al. 2025], por exemplo, depende do uso contínuo de câmeras e maior capacidade de processamento. Já a solução de [Vieira and Araújo 2019] utiliza um módulo eletrônico acoplado na região abdominal por meio de uma faixa elástica, o que pode comprometer o conforto durante o uso prolongado.

Diante dessas restrições, percebe-se uma lacuna na oferta de soluções eficazes, financeiramente acessíveis e de uso prático no dia a dia. A proposta deste trabalho busca justamente preencher essa lacuna, com o desenvolvimento de uma pulseira inteligente de baixo custo, que funcione de forma autônoma, dispense conexão com aplicativos móveis e ofereça maior comodidade ao usuário por meio de um formato vestível discreto e *plug-and-play*. A proposta visa aliar funcionalidade, praticidade de uso e viabilidade técnica, utilizando componentes como o ESP-01, o sensor MPU6050 e o *buzzer*. O desenvolvimento envolveu a implementação do circuito eletrônico, programação da lógica de detecção, testes funcionais controlados e a avaliação da aplicabilidade do sistema no cotidiano.

Este trabalho está dividido da seguinte forma: na Seção 2, apresenta-se a fundamentação teórica, abordando os conceitos essenciais de quedas, as tecnologias assistivas e os componentes utilizados. A Seção 3 detalha a metodologia adotada para o desenvolvimento do protótipo e os procedimentos de teste. Na Seção 4, são apresentados os resultados obtidos nos testes experimentais. Por fim, a Seção 5 apresenta as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

2. Fundamentação Teórica

2.1. Tecnologias Assistivas

Tecnologias assistivas são recursos, dispositivos, serviços ou estratégias que visam ampliar ou restaurar a funcionalidade de pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida,

promovendo sua autonomia, inclusão e qualidade de vida. Segundo definição do Ministério da Saúde, esse conceito está alinhado à Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Lei nº 13.146/2015), e engloba soluções que superam barreiras no cotidiano e favorecem a participação social [Brasil 2015].

Entre os diversos exemplos de tecnologias assistivas desenvolvidas com foco na mobilidade e autonomia de pessoas com deficiência, pode-se citar o dispositivo proposto por [Ross and Mattos 2022], composto por um par de óculos com sensores a laser e uma pulseira com motores de vibração, voltado à mobilidade segura de pessoas com deficiência visual. O sistema oferece retorno tátil conforme a proximidade de obstáculos, auxiliando o deslocamento sem comprometer a audição ou o uso das mãos. Esse tipo de tecnologia demonstra como soluções vestíveis de baixo custo podem contribuir efetivamente para a acessibilidade e a independência de seus usuários.

2.2. Prototipagem Eletrônica

Sistemas embarcados são dispositivos computacionais integrados ao hardware que controlam, projetados para executar funções específicas de forma autônoma e contínua. São amplamente utilizados em aplicações que exigem operação dedicada com baixo consumo de energia, espaço físico reduzido e resposta em tempo real. Estão presentes em uma variedade de contextos, como eletrodomésticos, veículos, dispositivos médicos e soluções de acessibilidade, sendo uma base tecnológica importante para o desenvolvimento de recursos assistivos e vestíveis [De Micco et al. 2020].

Para o desenvolvimento de protótipos de sistemas embarcados, é comum a utilização de plataformas de hardware acessíveis, como Arduino ou módulos com microcontroladores ESP. No presente trabalho, optou-se pelo uso de um microcontrolador da família ESP8266 (modelo ESP-01), programado por meio da IDE do Arduino. Essa abordagem combina a flexibilidade e simplicidade da plataforma Arduino com os recursos integrados de conectividade do ESP-01, facilitando tanto a prototipagem quanto a integração com sensores e atuadores necessários à detecção de quedas e geração de alertas.

3. Metodologia

O desenvolvimento do protótipo envolveu a integração de componentes eletrônicos de prototipação rápida e de fácil acesso, selecionados com base em critérios de praticidade, compatibilidade com a plataforma Arduino e viabilidade técnica. Foram utilizados: um módulo ESP-01, responsável pela lógica de controle e acionamento do *buzzer*; um sensor MPU6050, que combina acelerômetro e giroscópio para captar variações bruscas de movimento; e um *buzzer* piezoelétrico, utilizado como mecanismo de alerta sonoro devido à sua simplicidade de acionamento, baixo consumo de energia e tamanho reduzido, características que o tornam adequado para aplicações embarcadas e vestíveis.

A escolha das baterias de íon-lítio modelo 18650 foi motivada por sua alta densidade de energia, leveza e longa vida útil, sendo amplamente empregadas em dispositivos móveis, lanternas táticas e projetos embarcados que exigem autonomia e portabilidade [Zaghib et al. 2011]. Duas baterias de 4,2 V foram conectadas em série, totalizando 8,4 V. Para adaptar essa tensão aos níveis exigidos pelos componentes, foi utilizado o regulador linear AMS1117-3.3, conhecido por sua confiabilidade, ampla disponibilidade e

capacidade de fornecer corrente estável de até 1 A, o que atende às demandas do sistema. Como o AMS1117 apresenta *dropout* típico da ordem de 1,1 V, manter 3,3 V regulados sob carga requer $V_{in} \gtrsim 4,4$ V. Uma única célula Li-ion (3,0–4,2 V) não fornece margem suficiente em todo o ciclo de descarga. Assim, adotaram-se duas 18650 em série para garantir a regulação com LDO.

O microcontrolador ESP-01 foi escolhido por sua compatibilidade com a linguagem Arduino, dimensões reduzidas e facilidade de integração com sensores e atuadores digitais. Além disso, oferece suporte à comunicação I2C, essencial para conectar o sensor MPU6050. Este sensor, por sua vez, foi selecionado por reunir acelerômetro e giroscópio em um único componente, o que simplifica a leitura dos movimentos e permite análises de orientação e aceleração com precisão aceitável para aplicações de detecção de quedas.

O sensor inercial MPU6050 foi conectado à interface I2C do ESP-01, utilizando os pinos GPIO0 (SDA) e GPIO2 (SCL) para a comunicação de dados. O botão de reinicialização foi ligado diretamente ao pino de *reset* do ESP-01, permitindo reiniciar o microcontrolador e forçar a recalibração dos limiares. O *buzzer* piezoelétrico, por sua vez, foi conectado ao pino TX (GPIO1) do ESP-01, utilizado como saída digital para geração do sinal sonoro, com retorno ao GND. O diagrama da Figura 1 (a) detalha as conexões. A Figura 1 (b) apresenta a montagem completa do circuito na protoboard, com destaque para as conexões entre os principais componentes do sistema.

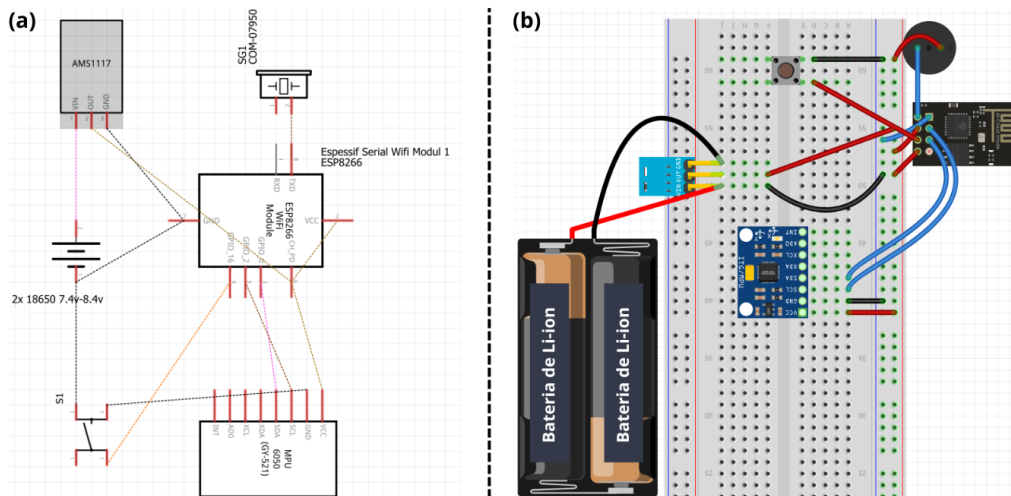


Figura 1. Em (a) é apresentado o diagrama elétrico do sistema (baterias 18650 em série, AMS1117-3.3, ESP-01, MPU6050 e *buzzer*). Em (b) exibida a representação do circuito desenvolvido na protoboard, incluindo alimentação com AMS1117, módulo ESP-01, sensor MPU6050 e *buzzer*.

A programação foi desenvolvida na IDE do Arduino, utilizando a biblioteca `Wire.h` para comunicação I2C com o MPU6050. A lógica de detecção de quedas foi implementada no ESP-01 com base em três critérios principais: (i) identificação de queda livre, quando a aceleração total do corpo é inferior a um limiar calculado na calibração inicial; (ii) detecção de impacto subsequente, com aumento súbito da aceleração acima de um segundo limiar; e (iii) verificação de uma variação significativa na inclinação do braço, medida a partir dos ângulos de rotação (*pitch* e *roll*). Essa abordagem é coerente com outras propostas acadêmicas similares que utilizam o MPU6050 para detectar quedas

com base em padrões combinados de aceleração e orientação.

A calibração é feita automaticamente nos primeiros segundos de uso, permitindo que o sistema adapte os limiares à postura inicial do usuário. A queda é confirmada somente quando os três eventos ocorrem em sequência dentro de uma janela de tempo específica, minimizando alarmes falsos.

A montagem física do dispositivo foi realizada com foco na compactação, na praticidade e na firmeza estrutural. Os componentes eletrônicos (ESP-01, MPU6050, *buzzer* piezoelétrico e regulador AMS1117) foram conectados em uma *protoboard* compacta de 170 furos, fixada na parte superior do *case* por meio de sua própria base adesiva. Essa estrutura foi posicionada em um *case* impresso em 3D, previamente modelado no Tinkercad.

As conexões elétricas entre os módulos foram realizadas com *jumpers* rígidos, escolhidos por sua maior firmeza mecânica, o que reduz o risco de desconexões acidentais. O botão de reinicialização foi incluído no circuito com a função de reiniciar o sistema e forçar uma nova calibração dos parâmetros de repouso do braço do usuário. A Figura 2 ilustra o ambiente utilizado para a realização dos testes simulados, com o voluntário posicionado diante do colchão de segurança. Em (a) é apresentado o protótipo da pulseira desenvolvida e, em (b), a disposição final dos componentes montados no *case*.

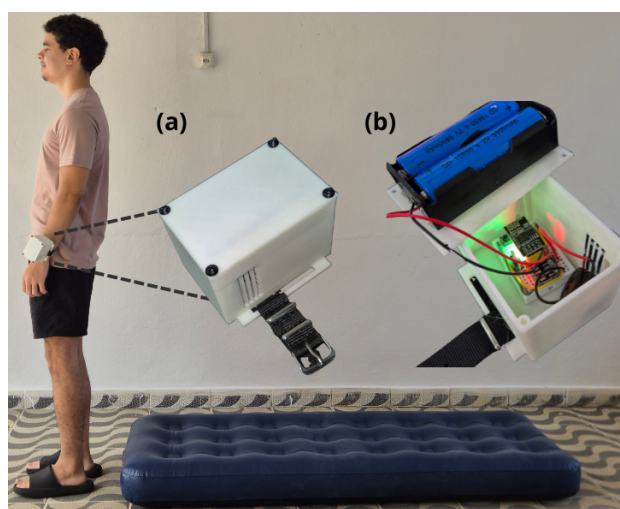


Figura 2. Na figura, é apresentado o cenário de teste para simulação de quedas com o uso do protótipo, destacando-se, em (a), a vista externa do *case* com a pulseira e, em (b), a vista interna do protótipo montado.

Para validar o funcionamento do protótipo desenvolvido, foram definidos dois tipos principais de testes experimentais: (i) testes de detecção de quedas simuladas, e (ii) testes de autonomia da bateria. Todos os procedimentos foram realizados em ambiente controlado, de forma segura e padronizada.

Os testes de detecção de queda foram conduzidos com o dispositivo fixado ao pulso de um voluntário. As simulações foram executadas sobre um colchão de segurança, garantindo a integridade física do participante (Figura 2). Cada tipo de evento foi repetido 9 vezes para permitir a análise da consistência e da confiabilidade do sistema. Foram simuladas quedas que envolveram os seguintes cenários: (i) queda para trás; (ii) queda

para frente; (iii) queda lateral para a direita e (iv) queda lateral para a esquerda. Além das quedas, foram incluídas atividades comuns do cotidiano, que não devem acionar o alarme, com o objetivo de avaliar a ocorrência de falsos positivos: (i) deitar rapidamente; (ii) deitar lentamente; (iii) sentar rapidamente; (iv) sentar lentamente; (v) andar normalmente; (vi) andar rapidamente; (vii) subir escadas e (viii) descer escadas. Para mensurar o desempenho do sistema, foram utilizadas métricas clássicas da literatura, como sensibilidade, especificidade, acurácia e taxa de falsos positivos [Verçosa et al. 2021].

Para avaliar a duração da bateria, foi realizado um teste contínuo, sem interrupções, com o dispositivo em funcionamento, no modo de espera, para determinar a autonomia do sistema. O tempo de carga foi monitorado desde a inicialização até o desligamento total do sistema, considerando o uso de duas baterias 18650 totalmente carregadas. Essa avaliação tem como objetivo verificar se a autonomia energética é compatível com o uso cotidiano, considerando a necessidade de recarga periódica.

4. Resultados e Discussão

Os testes foram divididos em dois grupos: (a) eventos simulados de queda e (b) atividades cotidianas, para avaliação da sensibilidade e da ocorrência de falsos positivos, respectivamente. A Tabela 1 apresenta o desempenho do sistema nos testes de quedas simuladas em quatro direções diferentes. Em todos os casos, o sistema respondeu corretamente, confirmando sua efetividade na detecção de padrões de queda.

Tabela 1. Resultados dos testes de detecção de quedas.

Evento Simulado	Detecção Correta	Assertividade
Queda para trás	8	88,9%
Queda para frente	9	100%
Queda lateral (direita)	8	88,9%
Queda lateral (esquerda)	8	88,9%

A Tabela 2 mostra os resultados dos testes com atividades normais do cotidiano, com o objetivo de verificar a estabilidade do sistema e a ocorrência de falsos positivos. Embora tenham ocorrido alguns falsos positivos durante atividades como deitar e andar rapidamente, a maioria das simulações foi corretamente ignorada, demonstrando boa especificidade.

Tabela 2. Resultados dos testes com atividades cotidianas.

Atividade	Falsos Positivos	Assertividade
Deitar rapidamente	3	66,67%
Deitar lentamente	0	100%
Sentar rapidamente	2	77,8%
Sentar lentamente	0	100%
Andar normalmente	0	100%
Andar rapidamente	2	77,8%
Subir escadas	0	100%
Descer escadas	0	100%

A Tabela 3 apresenta os valores das métricas calculadas conforme fórmulas apresentadas na metodologia. Os resultados indicam que o sistema é eficaz na detecção de quedas simuladas, apresentando alta sensibilidade e acurácia nas condições controladas. A baixa taxa de falsos positivos em atividades como sentar, andar e subir escadas sugere que o algoritmo de três etapas (queda livre, impacto e inclinação) é robusto o suficiente para evitar alarmes indevidos.

Tabela 3. Métricas de avaliação do sistema com base nos testes realizados

Métrica	Valor (%)
Sensibilidade (Recall)	91,67
Especificidade	90,28
Acurácia	90,74
Taxa de falsos positivos	9,72

Os poucos casos em que quedas reais não foram detectadas (falsos negativos) ocorreram, principalmente, em simulações sobre o colchão de segurança, que pode ter atenuado o impacto esperado pelo algoritmo, dificultando o reconhecimento completo da sequência de queda. Já os falsos positivos observados em atividades como deitar ou sentar rapidamente se explicam pela semelhança desses movimentos com a dinâmica de uma queda, em especial quando envolvem mudanças bruscas de aceleração e inclinação do braço, o que desafia a diferenciação do sistema. Ainda assim, o desempenho geral evidencia que a lógica implementada é promissora para aplicações assistivas.

No teste de duração contínua, o sistema permaneceu em funcionamento por aproximadamente 8 horas com duas baterias 18650 conectadas em série. Durante esse período, o protótipo operou normalmente, com a lógica embarcada ativa e o *buzzer* acionado apenas nos eventos simulados de queda. Observou-se, no entanto, que após cerca de 8 horas de funcionamento ininterrupto, o regulador de tensão AMS1117 passou a apresentar instabilidade na saída, o que ocasionou o desligamento do ESP-01. As baterias, quando testadas separadamente, ainda apresentavam tensão suficiente, indicando que a interrupção ocorreu por limitação térmica ou corrente do próprio regulador, e não por esgotamento completo das células. Esse comportamento sugere que, embora as baterias possuam capacidade de manter o sistema ativo por mais de 8 horas, o desempenho do AMS1117 pode ser um fator limitante em operações contínuas, especialmente sem dissipação térmica adequada.

5. Considerações Finais

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de uma pulseira inteligente de baixo custo para detecção de quedas, com foco na segurança de idosos e pessoas com deficiência em ambientes domésticos. A proposta buscou oferecer uma solução vestível, autônoma e acessível, superando limitações identificadas em projetos anteriores, como a dependência de dispositivos comerciais caros ou de formatos pouco ergonômicos.

A arquitetura do sistema embarcado foi implementada com o microcontrolador ESP-01, o sensor inercial MPU6050 e um *buzzer* piezoelétrico, alimentados por duas baterias 18650 e um regulador de tensão AMS1117. A lógica de detecção baseada em três critérios (queda livre, impacto e inclinação) demonstrou-se eficaz em testes simulados, com alta sensibilidade e baixa taxa de falsos positivos em atividades cotidianas.

A avaliação experimental indicou que o sistema consegue detectar diferentes tipos de quedas com boa precisão, mantendo-se estável em situações normais como caminhar, sentar ou subir escadas. A autonomia de funcionamento contínuo alcançou cerca de 8 horas, sendo limitada não pela carga das baterias, mas pelo desempenho térmico do regulador AMS1117, que passou a apresentar instabilidade após esse período.

Como limitação identificada, destaca-se, justamente, o uso do AMS1117, que pode comprometer a confiabilidade do sistema em uso prolongado. Para aplicações reais mais exigentes, recomenda-se a substituição por reguladores mais eficientes, como conversores *buck* com melhor desempenho térmico e menor dissipação de energia.

Em trabalhos futuros, pretende-se explorar a capacidade de conectividade do ESP-01, implementando o envio remoto de alerta por meio de notificações via e-mail, Telegram ou outras plataformas acessíveis, sem a necessidade de aplicativos móveis intermediários. Além disso, recomenda-se a busca por soluções de alimentação mais compactas, como baterias de menor porte ou sistemas de gerenciamento de energia mais eficientes, visando à redução do tamanho do *case* e ao aprimoramento do *design* ergonômico.

Referências

- Bezerra, T., Vinicius, M., Ciane, A., Callou, G., França, C., and Tavares, E. (2025). An approach based on iot and machine learning for monitoring patients on healthcare centers. In *Simpósio Brasileiro de Computação Aplicada à Saúde (SBCAS)*, pages 260–271. SBC.
- Brasil (2015). Lei brasileira de inclusão da pessoa com deficiência (lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015).
- De Micco, L., Vargas, F. L., and Fierens, P. I. (2020). A literature review on embedded systems. *IEEE Latin America Transactions*, 18(02):188–205.
- Novaes, A. D. C., Bianco, O. A. F. M., Silva, D. B. d., Silva, L. C. d., Dotta, E. A., Ansai, J. H., Tavares, L. R. C., and Gramani-Say, K. (2023). Acidentes por quedas na população idosa: análise de tendência temporal de 2000 a 2020 e o impacto econômico estimado no sistema de saúde brasileiro em 2025. *Ciência & Saúde Coletiva*, 28(11):3101–3110.
- Ross, G. C. and Mattos, M. C. d. (2022). Dispositivo de tecnologia assistiva para pessoas com deficiência visual. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Verçosa, L. F., Lira, R. C., P. Monteiro, R., D. M. Silva, K., O. L. Magalhaes, J., M. A. Maciel, A., L. D. Bezerra, B., and A. Bastos-Filho, C. J. (2021). Analysis of distinct feature groups in the credit scoring problem. *Journal of Information and Data Management*, 12(1).
- Vieira, J. P. B. G. and Araújo, M. H. M. (2019). Sistema de detecção e alerta de quedas para idosos. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade de Brasília, Brasília.
- Zaghib, K., Dontigny, M., Guerfi, A., Charest, P., Rodrigues, I., Mauger, A., and Julien, C. M. (2011). Safe and fast-charging li-ion battery with long shelf life for power applications. *Journal of Power Sources*, 196(8):3949–3954.