



Dispositivo Vestível para Monitoramento de Crises Epilépticas com Sensores Integrados

Walderlan Soares Sena¹, Maria Aline Gonçalves², Amauri Marcos Costa de Moraes Junior³, Ederson Cichaczewski⁴

¹UNINTER, Polo Fortaleza, Brasil (senawalderlan@gmail.com)

²UNINTER, Polo Curitiba, Brasil (maria.gon@uninter.com)

³UNINTER, Polo Curitiba, Brasil (amauri.m@uninter.com)

⁴UNINTER, Polo Curitiba, Brasil (ederson.c@uninter.com)

Resumo: Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema vestível para o monitoramento de pacientes com epilepsia, integrando sensores de frequência cardíaca, saturação de oxigênio no sangue, temperatura corporal e resposta galvânica da pele. O objetivo geral é detectar precocemente padrões fisiológicos precursores de crises epiléticas, possibilitando intervenções antecipadas. Como resultados um protótipo funcional e testes de filtragem de sinais e validação de dados demonstraram a base para uma futura aplicação clínica.

Palavras-chave: Epilepsia; monitoramento fisiológico; detecção precoce; sensores vestíveis.

INTRODUÇÃO

A epilepsia, uma condição neurológica crônica que acomete cerca de 50 milhões de indivíduos em escala global (World Health Organization, 2023), configura-se como um relevante problema de saúde pública. Embora sua manifestação varie, estimativas apontam que a epilepsia ativa afeta entre 4 e 10 a cada mil habitantes na população geral, com algumas regiões do território brasileiro exibindo índices ainda mais expressivos (Kanashiro, 2006). A dificuldade de acesso a métodos diagnósticos e terapêuticos, notadamente em países de baixa e média renda, agrava o cenário, resultando em um contingente considerável de pacientes sem o controle adequado das crises (World Health Organization, 2023). Ademais das implicações clínicas, a epilepsia associa-se a um risco ampliado de mortalidade precoce e a um estigma social que prejudica a qualidade de vida dos pacientes (World Health Organization, 2023; Fernandes et al., 2007).

A relevância deste projeto é destacada pela preocupação com a Morte Súbita Inesperada na Epilepsia (SUDEP), uma das principais causas de mortalidade em pessoas com epilepsia, especialmente aquelas com crises não controladas. Estudos indicam que a incidência de SUDEP é de aproximadamente 1 em 1.000 adultos com epilepsia por ano, aumentando significativamente em casos de epilepsia refratária (Giussani et al., 2012; Devinsky et al., 2019).

A busca por alternativas que possibilitem um acompanhamento otimizado e intervenções tempestivas torna-se, portanto, imprescindível. Nesse

panorama, o presente estudo propõe o desenvolvimento de um dispositivo vestível de baixo custo, fundamentado na plataforma CogWatch, destinado ao monitoramento de parâmetros fisiológicos relevantes, como frequência cardíaca (FC), saturação de oxigênio no sangue (SpO₂), temperatura corporal e resposta galvânica da pele (GSR). O propósito primordial consiste na criação de um protótipo funcional que viabilize a identificação precoce de padrões precursores das crises epiléticas, pavimentando o caminho para intervenções mais céleres e eficazes e, por conseguinte, aprimorando a qualidade de vida dos pacientes.

MATERIAL E MÉTODOS

Considerando a necessidade de maior acurácia na detecção de crises epiléticas, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um dispositivo vestível em formato de relógio, estruturado para o monitoramento de crises tônico-clônicas generalizadas. O sistema é composto por sensores de resposta galvânica da pele (GSR), frequência cardíaca, oximetria e temperatura corporal. Ressalta-se que cada tipo de crise pode estar associado a padrões específicos de sinais biométricos — como alterações na condutância elétrica da pele ou variações térmicas —, o que torna essencial a identificação desses padrões para o tipo de convulsão que se deseja monitorar.

A metodologia proposta consiste na captação contínua de quatro sinais fisiológicos (frequência cardíaca, saturação de oxigênio, resposta galvânica da pele e

temperatura corporal), os quais são processados e analisados em tempo real. Quando qualquer um desses sinais ultrapassa um limiar predefinido por um tempo determinado, um sistema de pontuação é ativado. Caso essa pontuação atinja ou ultrapasse o valor 2, o relógio emite um sinal de alerta. Os parâmetros utilizados foram fundamentados em estudos científicos prévios e definidos antes da implementação do sistema, conforme ilustrado na Figura 1.

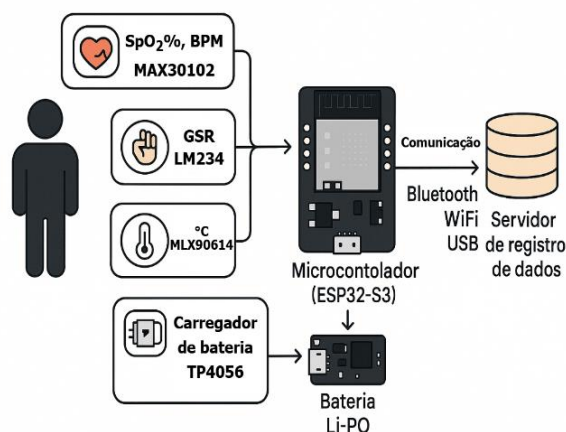


Figura 1. Diagrama de blocos do sistema vestível para monitoramento de sinais fisiológicos em pacientes com epilepsia.

Sensor de frequência cardíaca e saturação de oxigênio no sangue MAX30102

Para simplificar o circuito e reduzir o número de componentes, optou-se pelo sensor MAX30102. O MAX30102, que integra LEDs e fotodetector em um único módulo óptico (MAXIM INTEGRATED, [s.d.]). Utilizando o princípio de fotopletismografia (PPG), esse sensor realiza a medição da frequência cardíaca (HR) e da saturação de oxigênio no sangue (SpO₂) por meio da reflexão da luz nos vasos sanguíneos. Dentre suas características destacam-se o baixo consumo de energia, tamanho compacto, boa relação sinal-ruído e resposta rápida.

Sensor de temperatura infravermelho MLX90614

O sensor MLX90614 (MELEXIS, [s.d.]) realiza a medição da temperatura corporal sem contato físico, detectando a radiação infravermelha emitida pela pele. O dispositivo combina um termopar IR com circuitos de processamento de sinal, apresentando alta precisão e confiabilidade. Sua aplicação é especialmente adequada para dispositivos vestíveis, devido ao conforto proporcionado ao usuário e à imunidade a interferências por contato direto.

Sensor de resposta galvânica da pele

A resposta galvânica da pele (GSR) mede a condutância elétrica cutânea, associada à atividade simpática autonômica, sobretudo pela inervação das glândulas sudoríparas. Variações nesse parâmetro

refletem estados emocionais e fisiológicos, e vêm sendo correlacionadas a alterações autonômicas durante crises epilépticas. Estudos mostram que crises tônico-clônicas generalizadas (GTCS) frequentemente apresentam aumentos súbitos e prolongados da atividade simpática, observáveis pela elevação da GSR durante e após o episódio (Vieluf et al., 2021). Além disso, revisões sistemáticas indicam que o uso de biofeedback com GSR pode reduzir significativamente a frequência de crises em pacientes com epilepsia farmacorresistente, sendo uma alternativa terapêutica não invasiva com bons resultados clínicos (Nagai; Jones; Sen, 2019).

Neste projeto, a GSR é monitorada por um circuito analógico baseado no CI LM324, projetado para captar variações de condutância entre dois eletrodos aplicados à pele, geralmente nos dedos ou no punho. O circuito utiliza um divisor de tensão (Figura 2), no qual a resistência da pele é conectada em série com um trimpot ajustável que atua como resistência de referência. O trimpot permite a calibração do sistema, garantindo que o sinal de saída permaneça estável em condições de repouso, o que é essencial para a detecção precisa de alterações fisiológicas reais.

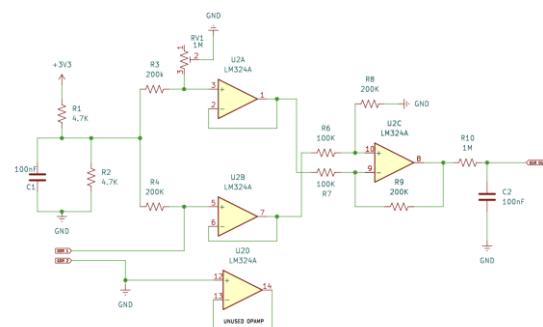


Figura 2. Diagrama do circuito GSR.

Os sinais são estabilizados por meio de amplificadores operacionais com ganho unitário e condicionados por um amplificador diferencial. Um filtro passa-baixa RC atua na remoção ruídos de alta frequência, deixando o sinal mais limpo. O sinal final representa com exatidão a condutância da pele, uma métrica que permite monitorar com precisão mudanças no estado autonômico do usuário. Essa arquitetura de circuito oferece sensibilidade, portabilidade e baixo custo de implementação, destacando-se como solução promissora para o monitoramento contínuo de pacientes epilépticos em contextos clínicos ou domiciliares.

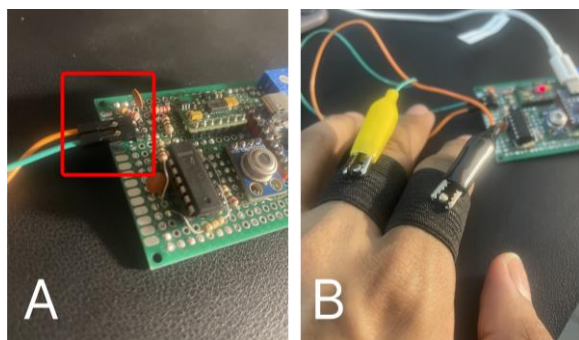


Figura 3. A) Detalhe da conexão dos eletrodos à placa do circuito GSR. B) Posicionamento dos eletrodos nos dedos para a medição da resposta galvânica da pele (GSR).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 apresenta a montagem do circuito eletrônico sobre placa perfurada, contendo os componentes principais do sistema de aquisição de sinais fisiológicos, incluindo microcontrolador, trimpot para calibração do GSR, sensor de temperatura IR e circuito de condicionamento analógico com CI LM324.

O hardware é energizado via cabo USB-C, como indicado pelo LED de sinalização, e fica funcional para leitura básica dos sinais. Contudo, os testes finais de aquisição e armazenamento de dados ainda não foram realizados, pois estão sendo finalizados os ajustes de filtragem analógica e digital, especialmente para atenuar ruídos espúrios de alta frequência no sinal GSR.

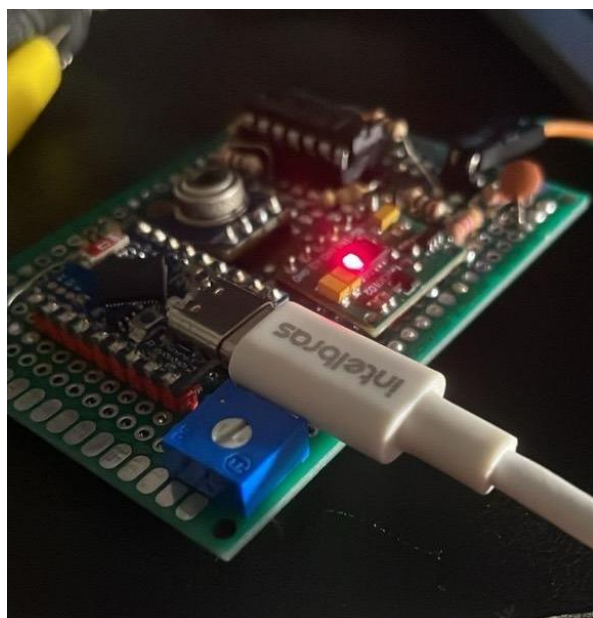


Figura 4. Circuito do sistema vestível montado sobre placa perfurada.

CONCLUSÃO

O desenvolvimento do dispositivo vestível proposto neste estudo representa um avanço significativo na busca por soluções acessíveis e eficazes para o monitoramento de pacientes com epilepsia, especialmente no contexto da prevenção da Morte Súbita Inesperada na Epilepsia (SUDEP). A integração de sensores de frequência cardíaca, saturação de oxigênio, temperatura corporal e resposta galvânica da pele, aliados a um sistema de pontuação para detecção precoce de crises, demonstra viabilidade técnica e potencial para aplicação clínica e domiciliar. Os resultados parciais obtidos até o momento, com a montagem e funcionamento básico do hardware, são promissores e indicam que a abordagem adotada é adequada para a captação e processamento dos sinais fisiológicos de interesse. A etapa atual, focada no aprimoramento da filtragem analógica e digital, é fundamental para garantir a precisão e a confiabilidade do sistema, especialmente na detecção de alterações sutis associadas às crises epiléticas. A conclusão desta etapa permitirá validar o desempenho do sistema em condições reais de monitoramento, possibilitando a integração com módulos de comunicação sem fio.

Testes posteriores serão realizados para validar o desempenho do protótipo em condições reais de uso, incluindo a aquisição contínua de dados, a análise da robustez do sistema frente a diferentes perfis de pacientes e a integração com módulos de comunicação sem fio. Espera-se que, com a conclusão dessas etapas, o dispositivo possa contribuir de forma efetiva para o monitoramento remoto, a intervenção precoce e, consequentemente, para a melhoria da qualidade de vida de pessoas com epilepsia.

REFERÊNCIAS

DEVINSKY, O. et al. Sudden unexpected death in epilepsy: epidemiology, mechanisms, and prevention. *The Lancet Neurology*, v. 15, n. 10, p. 1075–1088, set. 2016. DOI: 10.1016/S1474-4422(16)30158-2

GIUSSANI, G. et al. Sudden unexpected death in epilepsy: a critical view of the literature. *Epilepsia Open*, v. 8, n. 3, p. 728–757, set. 2023. DOI: 10.1002/epi4.12722.

KANASHIRO, Ana Lúcia Andrade Noronha. *Epilepsia: prevalência, características epidemiológicas e lacuna de tratamento farmacológico*. 2006. Tese (Doutorado em Ciências Médicas) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

MAXIM INTEGRATED. MAX30102: Pulse oximeter and heart-rate sensor for wearable health. San Jose, CA: Maxim Integrated, [s.d.]. Disponível em: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/max30102.pdf>. Acesso em: 23 maio 2025.



MELEXIS. MLX90614ESF-BAA. Melexis Microelectronic Integrated Systems, [s.d.]. Disponível em: <https://www.melexis.com/en/documents/documentations/datasheets/datasheet-mlx90614>. Acesso em: 27 maio 2025.

FERNANDES, Paula T. et al. Training the trainers and disseminating information: A strategy to educate health professionals on epilepsy. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, São Paulo, v. 65, supl. 1, p. 14-22, 2007. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/is_digital/is_0307/pdfs/IS27%283%29069.pdf. Acesso em: 21 maio 2025.

NAGAI, Y.; JONES, C. I.; SEN, A. Galvanic Skin Response (GSR)/Electrodermal/Skin Conductance Biofeedback on Epilepsy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Neurology*, Lausanne, v. 10, art. 377, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.00377>. Acesso em: 28 maio 2025.

VIELUF, S. et al. Twenty-four-hour patterns in electrodermal activity recordings of patients with and without epilepsy. *Epilepsia*, Hoboken, v. 62, n. 5, p. 1069–1080, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/epi.16853>. Acesso em: 28 maio 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Epilepsy*. Geneva: WHO, 2024. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/epilepsy>. Acesso em: 21 maio 2025.