

MONITORAMENTO ACÚSTICO URBANO E AMBIENTAL: DETECÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE EVENTOS SONOROS COM MICROCONTROLADOR ARDUINO E CIRCUITO RC

URBAN AND ENVIRONMENTAL ACOUSTIC MONITORING: DETECTION AND CLASSIFICATION OF SOUND EVENTS USING AN ARDUINO MICROCONTROLLER

Ana Beatriz Silva Araújo¹
Anderson de Jesus Saraiva Fernandes²
Gabriel Martins Nepomuceno³
Maria Eduarda da Silva Souza⁴
Maria Ivanilde Soares Ribeiro de Jesus⁵
Isaac Farias de Oliveira⁶
Jonathan Araujo Queiroz⁷

RESUMO: A poluição sonora permanece como um dos principais desafios ambientais em áreas urbanas e naturais, influenciando diretamente a qualidade de vida da população e o equilíbrio ecológico. Diante da necessidade de ferramentas acessíveis que permitam monitorar e compreender a dinâmica do ruído ambiental, este artigo apresenta o desenvolvimento de um protótipo de monitoramento acústico de baixo custo baseado na plataforma Arduino Uno. O sistema opera de forma híbrida (analógica e digital), capturando o som ambiente por meio de um microfone e aplicando filtragens físicas e computacionais para cálculo da intensidade sonora (RMS). A interface inclui LEDs nas cores verde, azul, amarelo e vermelho, representando diferentes faixas de intensidade, enquanto alertas de alto nível são registrados via comunicação serial para análise posterior. A metodologia adotada consistiu em testes experimentais realizados em ambientes controlados e externos, avaliando a estabilidade, a resposta dos componentes e a consistência das medições. Os resultados demonstram boa precisão relativa, funcionamento contínuo e interpretação visual imediata dos níveis sonoros, reforçando o potencial do dispositivo como instrumento educacional e de apoio ao monitoramento ambiental. Conclui-se que o protótipo apresenta uma solução acessível, funcional e tecnicamente viável, com possibilidade de aprimoramento e aplicação em diferentes cenários urbanos e ecológicos.

2198

Palavras-chave: Arduino. Monitoramento Acústico. Poluição Sonora. Análise de Intensidade.

¹Graduando em Engenharia de Computação. Universidade Ceuma.

²Graduando em Engenharia de Computação. Universidade Ceuma.

³Graduando em Engenharia de Computação. Universidade Ceuma.

⁴Graduando em Engenharia de Computação. Universidade Ceuma.

⁵Graduando em Engenharia de Computação. Universidade Ceuma.

⁶Graduando em Engenharia de Computação. Universidade Ceuma.

⁷Professor orientador. Universidade Ceuma.

ABSTRACT: Noise pollution remains one of the main environmental challenges in urban and natural areas, directly affecting population well-being and the ecological balance. Given the need for accessible tools to monitor and understand the dynamics of environmental noise, this article presents the development of a low-cost acoustic monitoring prototype based on the Arduino Uno platform. The system operates in a hybrid manner (analog and digital), capturing ambient sound through a microphone and applying physical and computational filtering for calculating sound intensity (RMS). The interface includes LEDs in green, blue, yellow, and red, representing different intensity ranges, while high-level alerts are recorded via serial communication for later analysis. The adopted methodology consisted of experimental tests conducted in controlled and outdoor environments, evaluating the stability, component response, and consistency of the measurements. The results demonstrate good relative accuracy, continuous operation, and immediate visual interpretation of sound levels, reinforcing the potential of the device as an educational tool and as support for environmental monitoring. It is concluded that the prototype presents an accessible, functional, and technically viable solution, with potential for improvement and application in various urban and ecological scenarios.

Keywords: Arduino. Acoustic Monitoring. Noise Pollution. Sound Intensity Analysis.

1 INTRODUÇÃO

O monitoramento ambiental tem ganhado relevância diante dos efeitos acelerados da urbanização e das transformações nos ecossistemas naturais. Gabriel et al. (2025) destacam que a intensificação de eventos extremos, como incêndios florestais e variações climáticas abruptas, reforça a necessidade de sistemas de sensoriamento contínuo, acessíveis e confiáveis. Nesse cenário, tecnologias de baixo custo assumem papel estratégico ao possibilitar a ampliação da coleta de dados em diferentes contextos urbanos, industriais e naturais, contribuindo para diagnósticos mais precisos e para a prevenção de riscos à saúde humana e ao equilíbrio ecológico. A disseminação desses dispositivos fortalece também a democratização da informação ambiental, aproximando a sociedade de práticas antes limitadas a equipamentos de alto custo.

Entre os diversos temas ligados à área ambiental, a poluição sonora figura como um dos principais desafios contemporâneos. Conforme Costa, Cavalcante e Façanha (2025), a exposição prolongada ao ruído pode desencadear efeitos auditivos como zumbido e perda progressiva da audição e impactos não auditivos, incluindo estresse, alterações cardiovasculares e prejuízos cognitivos. Esses danos, embora muitas vezes subestimados, afetam diretamente a qualidade de vida em áreas urbanizadas e justificam a necessidade de acompanhar sistematicamente os níveis de pressão sonora presentes no cotidiano. O controle e a mensuração do ruído também se

tornam relevantes para políticas de saúde pública, planejamento urbano e ações de mitigação em ambientes escolares, residenciais e industriais.

Diante desse panorama, cresce o interesse por soluções que sejam acessíveis, replicáveis e tecnicamente eficientes. A plataforma Arduino destaca-se como alternativa viável devido ao baixo custo, à versatilidade e à ampla compatibilidade com sensores analógicos e digitais, o que favorece sua aplicação em projetos educacionais, pesquisas ambientais e protótipos experimentais. Com base nesse potencial, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de análise acústica capaz de captar o som ambiente, processá-lo digitalmente e indicar seus níveis de intensidade por meio de LEDs. O sistema integra filtragem analógica (RC) e tratamento digital para aumentar a estabilidade das leituras, além de registrar alertas de ruído elevado via comunicação serial. A proposta configura uma solução simples, replicável e aplicável em diferentes cenários, incluindo ambientes urbanos, escolares e espaços naturais.

2 TRABALHOS RELACIONADOS

Neste capítulo, são apresentados os principais estudos relacionados ao monitoramento acústico de baixo custo, com o propósito de contextualizar o desenvolvimento do protótipo proposto. Os trabalhos selecionados abordam desde o uso de sensores simples e processamento digital básico até soluções com Arduino e sistemas IoT voltados ao acompanhamento contínuo da poluição sonora. Cada estudo é analisado quanto aos seus objetivos, metodologia, resultados e limitações técnicas. Ao final, realiza-se uma síntese comparativa que evidencia como essas pesquisas contribuem para fundamentar e orientar o aprimoramento de sistemas semelhantes de monitoramento ambiental.

2200

2.1 Tecnologia arduino para segurança ambiental: um dispositivo de monitoramento multifuncional

O trabalho de Moura, Martins e Maydana (2024), intitulado Tecnologia Arduino para Segurança Ambiental: um dispositivo de monitoramento multifuncional, apresenta o desenvolvimento de um painel dedicado à detecção de gases nocivos, umidade, temperatura e ruídos em ambientes industriais e residenciais. O projeto foi elaborado a partir de uma revisão bibliográfica sobre riscos ambientais e reuniu sensores variados integrados a um Arduino, permitindo monitoramento em tempo real e acionamento de alertas quando limites de segurança eram ultrapassados. Os autores destacam que a proposta busca facilitar a prevenção

de acidentes e promover melhores condições ambientais, aliando simplicidade operacional à aplicabilidade prática.

Entre as vantagens identificadas no estudo, destacam-se a multifuncionalidade do protótipo, capaz de monitorar simultaneamente diferentes parâmetros ambientais, e a facilidade de uso, uma vez que o painel foi projetado para interação intuitiva por trabalhadores de diferentes níveis de experiência. Além disso, o emprego do Arduino garantiu baixo custo e boa flexibilidade para expansões futuras. Entretanto, o trabalho também apresenta limitações, como a ausência de métodos de calibração padronizados, dependência de sensores de baixo custo que podem comprometer a precisão absoluta das medições e a falta de integração com sistemas avançados de armazenamento ou análise de dados. Como melhorias futuras, os autores sugerem ampliar a robustez do dispositivo, explorar conectividade remota e aperfeiçoar mecanismos de validação dos parâmetros ambientais monitorados.

2.2 Monitoramento ambiental com IoT em espaços públicos: diagnóstico de qualidade do ar na Praça Tiradentes – Teófilo Otoni (MG)

O estudo de Ramos et al. (2025) apresenta o desenvolvimento de um sistema de monitoramento ambiental baseado em Internet das Coisas (IoT), projetado para medir temperatura, umidade e concentrações de CO e CO₂ em espaços públicos urbanos. O protótipo foi instalado na Praça Tiradentes, em Teófilo Otoni (MG), utilizando a plataforma Arduino e sensores de baixo custo para coleta contínua de dados. A metodologia incluiu seleção criteriosa de sensores, medições em diferentes períodos do dia, correções empíricas e comparação com normas ambientais como CONAMA e COPAM. Os resultados demonstraram boa consistência dos sensores utilizados e mostraram que soluções acessíveis podem gerar informações relevantes para diagnósticos de qualidade do ar, subsidiando políticas públicas e iniciativas de planejamento urbano.

Entre as vantagens do projeto desenvolvido por Ramos et al. destacam-se a viabilidade de uso de sensores de baixo custo em cenários reais, a clareza dos dados coletados e a capacidade de georreferenciar medições para fins de mapeamento ambiental. O estudo também reforça a importância da continuidade de iniciativas de monitoramento como ferramenta de conscientização e apoio à gestão pública. Contudo, o artigo aponta limitações como a necessidade de correções para melhorar a precisão dos sensores, dependência de infraestrutura local para coleta contínua e ausência de monitoramento acústico, que também é um fator crítico da qualidade ambiental urbana. Assim, apesar das restrições, o trabalho demonstra que soluções

com Arduino podem produzir diagnósticos eficazes e inspiram projetos complementares, como o presente protótipo de monitoramento acústico, que ampliam a gama de variáveis ambientais analisadas em plataformas de baixo custo.

2.3 Dispositivo auditivo para hipersensibilidade sonora: construção de protótipo para monitoramento sensorial de ruídos

O trabalho de Azevedo, Braz e Puci (2022), intitulado “Dispositivo auditivo para hipersensibilidade sonora: construção de protótipo para monitoramento sensorial de ruídos”, apresenta o desenvolvimento de um medidor de nível sonoro voltado a pessoas com Transtorno do Espectro Autista (TEA), especialmente aquelas que apresentam hipersensibilidade auditiva, condição que afeta entre 56% e 90% dos indivíduos no espectro. O dispositivo utiliza um Arduino Uno, o sensor KY-038 e um display LCD para medir níveis sonoros em diferentes ambientes, funcionando como um recurso de tecnologia assistiva de baixo custo para auxiliar no controle de estímulos sensoriais excessivos. Entre suas principais vantagens destacam-se a simplicidade de construção, o baixo custo dos componentes e a boa coerência das medições, que se mostraram úteis em ambientes cotidianos como festas e espaços de trabalho, contribuindo para maior autonomia e prevenção de crises sensoriais.

2202

Apesar disso, o protótipo apresenta limitações relevantes. Ele não é capaz de detectar ruídos acima de 100 dB, o que restringe seu uso em cenários mais intensos, e também enfrenta dificuldade em registrar sons contínuos ou intermitentes de alta intensidade, limitações associadas às características do sensor KY-038. Os autores apontam que aprimoramentos futuros devem incluir o aumento da faixa de detecção, melhorias na precisão e o desenvolvimento de uma estrutura mais robusta, de modo a ampliar a aplicabilidade do dispositivo em contextos ambientais mais complexos.

2.4 Diferencial do Monitoramento acústico urbano e ambiental

A análise dos trabalhos relacionados mostra que, embora todos busquem soluções de baixo custo para monitoramento ambiental, cada proposta adota um enfoque específico. O sistema desenvolvido por Ramos et al. (2025) concentra-se no monitoramento da qualidade do ar em praças públicas, utilizando sensores para CO, CO₂, temperatura e umidade, sem uma abordagem aprofundada da acústica. Já o dispositivo multifuncional de Moura, Martins e Maydana (2024) reúne medições de gases nocivos, ruídos, temperatura e umidade, oferecendo boa aplicabilidade em segurança ocupacional, mas depende de vários sensores e não explora

técnicas de tratamento do sinal sonoro. Por sua vez, o medidor apresentado por Azevedo, Braz e Puci (2022) é voltado à hipersensibilidade auditiva no TEA e usa o sensor KY-038, porém apresenta limitações relevantes em ruídos contínuos e acima de 100 dB, reduzindo sua precisão e alcance em cenários mais exigentes.

Em contraste com essas abordagens, o protótipo desenvolvido neste estudo diferencia-se por focar exclusivamente no monitoramento acústico, explorando de forma detalhada o comportamento do som e sua variação temporal. O sistema aplica cálculo digital do RMS, linha de base adaptativa e classificação visual por LEDs, aliados a uma abordagem híbrida de aquisição: o canal A₀ registra o sinal bruto com toda sua dinâmica e picos característicos, adequado para analisar agressividade sonora e risco auditivo, enquanto o canal A₁, filtrado analogicamente, funciona como uma camada de pré-processamento que suaviza oscilações rápidas e realça tendências gerais do ambiente. Essa combinação, ausente nos trabalhos analisados, torna o protótipo mais flexível, permitindo comparar diretamente sinal real e sinal suavizado e ampliando seu potencial pedagógico e analítico.

Outro diferencial importante está na simplicidade e acessibilidade do sistema. O protótipo utiliza apenas um microfone, um filtro RC e quatro LEDs para indicar os níveis sonoros, dispensando módulos adicionais, banco de dados externo ou infraestrutura IoT. Essa construção enxuta facilita sua replicação e aplicação em escolas, ambientes urbanos, salas de aula e estudos ambientais de campo. A resposta visual clara favorece atividades educativas e de conscientização, e a organização dos dados por modos ambiental e urbano amplia seu uso em análises comparativas. Assim, o projeto se destaca por oferecer um monitor acústico de baixo custo, tecnicamente consistente e capaz de atender tanto a fins didáticos quanto a observações ambientais básicas.

3 MÉTODOS

O desenvolvimento do protótipo adotou uma abordagem experimental e aplicada, voltada à criação de um sistema de monitoramento acústico ambiental de baixo custo. O processo contemplou a captação do sinal pelo microfone, o tratamento analógico via filtro RC, a digitalização pelo Arduino, o cálculo do valor RMS e a classificação da intensidade sonora por faixas representadas por LEDs. As funcionalidades foram implementadas de forma incremental, permitindo ajustes contínuos na calibração e no comportamento visual do sistema. A validação ocorreu por meio de testes em diferentes cenários acústicos, sem gravação ou

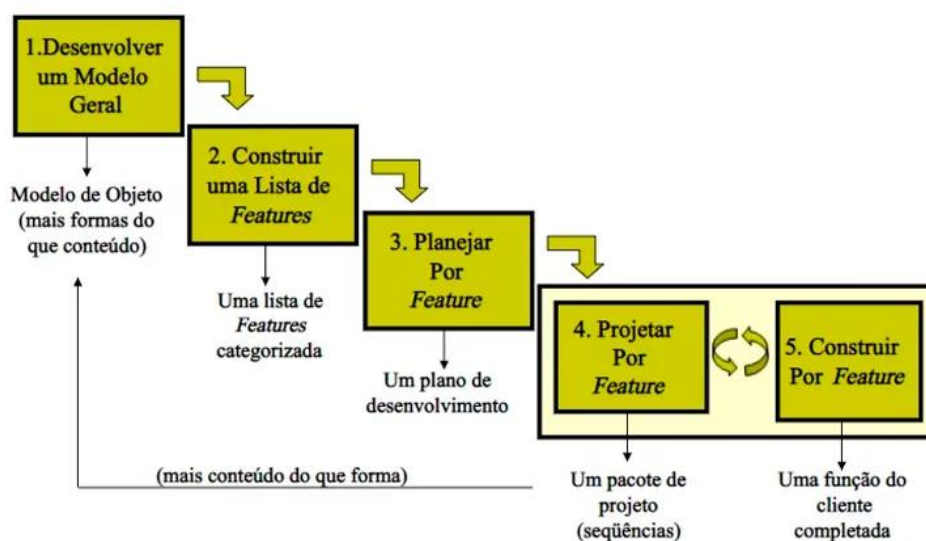
armazenamento de conteúdos, caracterizando exclusivamente um monitoramento ambiental, conforme descrito a seguir.

3.1 Metodologia Ágil

Ao longo do desenvolvimento, adotou-se a metodologia ágil Feature-Driven Development (FDD). Segundo Marques (2023), o FDD é um processo orientado a objetos que estrutura o desenvolvimento a partir de funções de valor para o cliente, chamadas *features*, que devem ser pequenas, claras e desenvolvidas em ciclos curtos geralmente em até duas semanas. Essa ênfase em funcionalidades independentes e entregas rápidas torna o método especialmente adequado para projetos que evoluem por refinamento contínuo, como protótipos eletrônicos baseados em Arduino. Além disso, o FDD favorece uma visão incremental do produto, permitindo que cada nova funcionalidade seja planejada, modelada e implementada de forma modular, evitando retrabalhos e possibilitando a validação progressiva do sistema. A estrutura disciplinada do método também ajuda na identificação antecipada de riscos técnicos, uma vez que cada *feature* exige análise prévia de requisitos, modelagem de domínio e integração com as partes já concluídas. Com isso, o desenvolvimento torna-se mais previsível, organizado e alinhado às necessidades do usuário final, aspecto essencial para projetos experimentais e de natureza iterativa.

2204

Figura 1. Processos básicos da metodologia FFD.



Fonte: Cedro Technologies, 2023.

No contexto deste protótipo, o FDD foi aplicado iniciando-se pela definição de um modelo geral do sistema e pela elaboração de uma lista de funcionalidades essenciais como captação do sinal, processamento em janelas de amostragem, cálculo de RMS, classificação do nível de ruído, calibração, alternância entre modos e geração de alertas via comunicação serial. Cada funcionalidade foi implementada, testada e integrada de maneira incremental, permitindo ajustes contínuos no algoritmo sem comprometer o funcionamento global.

Assim, a adoção do FDD proporcionou um processo de desenvolvimento organizado, rastreável e eficiente, garantindo clareza estrutural e facilitando melhorias no código e no comportamento do protótipo ao longo de sua construção.

3.2 Sistema Arduino

O sistema de controle do protótipo foi desenvolvido utilizando a plataforma Arduino Uno, reconhecida por sua simplicidade, baixo custo e ampla adoção em projetos educacionais e ambientais. De acordo com o site oficial do Arduino (Arduino, 2025), a plataforma foi criada com o propósito de democratizar o acesso à eletrônica e às tecnologias digitais, permitindo que estudantes, makers e profissionais desenvolvam projetos interativos de forma acessível. Esse ecossistema aberto e colaborativo conta com uma extensa comunidade que contribui continuamente com bibliotecas, exemplos e documentação, tornando o ambiente Arduino especialmente adequado para prototipagem rápida.

2205

Figura 2. Imagem do código do protótipo no Arduino IDE.

```

1 // ===== Monitor Auditivo v12f+ (URB & AMB: FAST+HPF200) =====
2 // A0= sinal bruto, A1=sinal filtrado
3 // D2=VERDE, D3=AZUL, D4=AMARELO, D5=VERMELHO
4 // D8: alterna A0/A1 | D9: curto=calibra, longo=troca URB/AMB
5 // D10: grava CSV | Serial: 9600
6
7 #include <math.h>
8
9 // ----- Pinos -----
10 const int LED_V=2, LED_AZ=3, LED_AM=4, LED_VM=5;
11 const int BTN_MODE=8, BTN_CAL=9, BTN_REC=10;
12 const int MIC_RAW=A0, MIC_RC=A1;
13
14 // ----- Amostragem -----
15 const uint16_t RMS_SAMPLES = 256;
16 const uint16_t SAMPLE_US = 195;
17
18 // ----- Perfis -----
19 enum Profile { AMBIENTAL=0, URBANO=1 };
20 Profile profile = URBANO;
21
22 struct Lims { float offMin, gMax, bMax, yMax; };
23 const Lims LIM_URB = { 3.0, 15.0, 25.0, 30.0 };
24 const Lims LIM_AMB = { 2.0, 12.0, 22.0, 28.0 };
25
26 const char* MODE_NAME(Profile p){ return (p==AMBIENTAL)?"Ambiental":"Urbano"; }
27
28 // ----- Estado -----
  
```

Fonte: Autoral, 2025.

No contexto deste projeto, o Arduino Uno é responsável pela leitura do sinal analógico proveniente do microfone MAX4466, utilizando o conversor analógico-digital (ADC) integrado ao microcontrolador ATmega328P. O sinal é processado em janelas de amostragem para o cálculo do valor RMS (Root Mean Square), permitindo estimar a intensidade média do som ambiente. Com base nesses valores, o Arduino compara os resultados com faixas pré-definidas e aciona os LEDs indicadores nas cores verde, azul, amarelo e vermelho, representando diferentes níveis de ruído.

Além disso, a placa controla a alternância entre os modos de monitoramento (urbano e ambiental), executa a calibração do silêncio e registra eventos de alta intensidade sonora por meio da comunicação serial. A combinação entre simplicidade, estabilidade e acessibilidade torna o Arduino Uno uma plataforma adequada para o desenvolvimento de soluções de monitoramento acústico de baixo custo.

3.3 Circuito Elétrico

Os componentes apresentados na Tabela 1 trabalham de forma integrada para viabilizar a captação, o processamento e a indicação dos níveis sonoros no protótipo. O Arduino Uno funciona como núcleo de controle, recebendo o sinal analógico do microfone e executando o algoritmo responsável pela análise em tempo real. LEDs e botões compõem a interface física do sistema, permitindo ao usuário visualizar rapidamente a intensidade do ruído e realizar ajustes quando necessário. O filtro RC contribui para estabilizar o sinal antes do cálculo do RMS, garantindo leituras mais consistentes.

2206

Tabela 1. Componentes usados no circuito.

Componentes	Quantidade	Função
Arduino Uno	1	Núcleo do circuito, serve como ponto de conexão para todos os componentes. Atua como interface física entre o sinal analógico do microfone e o processamento digital.
Microfone MAX4466	1	Responsável por captar a pressão sonora e amplificar o sinal analógico, fornecendo ao Arduino um nível adequado, estável e ajustável para o processamento digital.
Filtro RC	1 resistor e 1 capacitor	Constituído por um resistor de 10 kΩ em série com o sinal e um capacitor de 100 nF ligado ao terra, conectado ao pino A1 do Arduino. O filtro tem a função de atenuar variações muito rápidas do sinal e reduzir ruídos de alta frequência, fornecendo ao microcontrolador um sinal

Componentes	Quantidade	Função
		mais suave e com menor incidência de picos instantâneos indesejados.
LEDs (verde, azul, amarelo e vermelho)	4	Conectados aos pinos digitais D2-D5 por meio de resistores de 220 Ω , utilizados como indicadores de intensidade sonora.
Botões	3	Configurados com resistores internos de pull-up, para alternância do modo de monitoramento, calibração do nível de referência e início/parada da gravação de alertas.
Protoboard	1	Utilizada para a montagem experimental do circuito sem necessidade de soldagem, permitindo ajustes rápidos nos componentes e facilitando a validação das conexões antes da implementação definitiva do protótipo.
Jumpers	22	Realiza as interligações elétricas entre os componentes do circuito na protoboard, permitindo organização, alimentação e comunicação entre os módulos do protótipo.

Fonte: Autoral, 2025.

Além disso, a disposição desses elementos no circuito foi planejada para assegurar a funcionalidade e a confiabilidade do sistema durante a operação. A integração entre sensores, atuadores e unidade de controle permite que o protótipo responda de forma imediata às variações do ambiente sonoro, oferecendo um comportamento coerente com o objetivo do monitoramento. Dessa forma, a combinação entre hardware básico, filtragem analógica e processamento embarcado sustenta a eficiência do protótipo, garantindo que as medições registradas sejam representativas das condições reais observadas.

2207

3.4 Tinkercad

O *Tinkercad* é uma plataforma online gratuita desenvolvida pela Autodesk que permite a simulação de circuitos eletrônicos e a modelagem 3D de forma prática e acessível. Por disponibilizar um ambiente visual intuitivo, com componentes eletrônicos padronizados e ferramentas de teste em tempo real, a plataforma facilita o entendimento do fluxo de sinais e das interações entre elementos do circuito. Dessa forma, o *Tinkercad* destaca-se como recurso pedagógico e introdutório ao estudo da eletrônica, possibilitando que estudantes e iniciantes explorem conceitos fundamentais sem a necessidade imediata de componentes físicos, reduzindo custos e evitando danos a dispositivos durante o processo de aprendizagem (Wishbox, 2017).

Figura 3. Página inicial do Tinkercad.

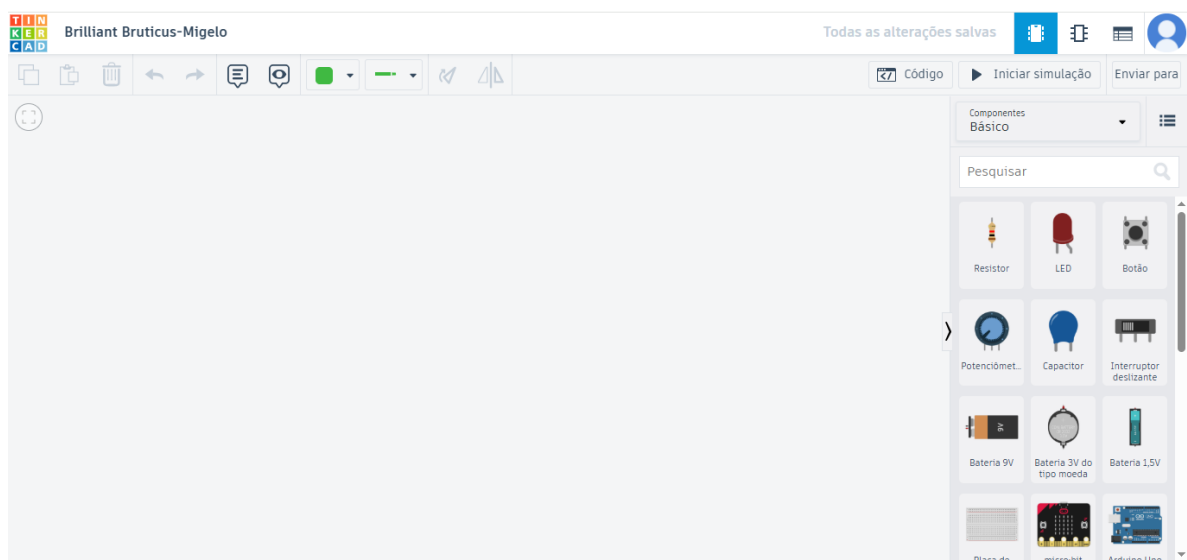


Fonte: Tinkercad (Autodesk, 2025).

Na fase inicial deste projeto, o Tinkercad foi utilizado para montar virtualmente todo o circuito do monitoramento acústico, incluindo Arduino Uno, microfone, LEDs, botões e filtro RC. A plataforma possibilitou testar o comportamento do sinal, verificar o funcionamento do algoritmo e observar a resposta dos LEDs sem riscos ou custos de montagem física. Isso permitiu identificar erros de conexão e ajustar a lógica do protótipo antes da implementação real, otimizando tempo e recursos.

2208

Figura 4. Tela do simulador do Tinkercad.



Fonte: Tinkercad (Autodesk, 2025).

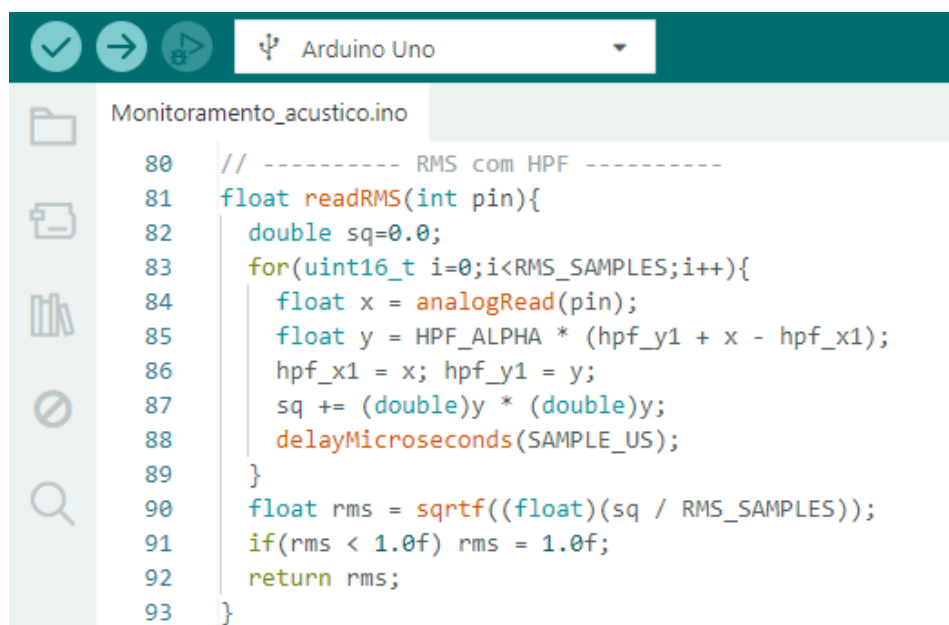
Além de auxiliar na validação do protótipo, o uso do Tinkercad contribuiu para documentar de forma clara as etapas de desenvolvimento. As imagens registradas da interface e da área de simulação ilustram o processo de montagem e demonstram a organização do circuito no ambiente virtual, reforçando a importância da ferramenta como apoio metodológico no desenvolvimento e teste preliminar de sistemas eletrônicos simples.

3.5 Processamento e Classificação dos Sinais Sonoros

O processamento do sinal sonoro realizado pelo protótipo ocorre integralmente no Arduino, onde o sinal analógico captado pelo microfone é convertido em valores digitais por meio do conversor analógico-digital. De acordo com Shenzhen Baiqiancheng Eletrônico Co., Ltd. (2019), o processamento de áudio pode ocorrer de forma analógica ou digital, sendo este último o mais utilizado por permitir maior controle e manipulação de dados acústicos. No contexto deste projeto, após a digitalização, o sistema trabalha com janelas de amostragem nas quais é calculado o valor RMS (Root Mean Square), parâmetro amplamente empregado na análise de sinais por representar a energia média do som e aproximar-se da forma como o ouvido humano percebe a intensidade sonora. Ao contrário das leituras instantâneas de pico, o RMS reduz flutuações rápidas e ruídos momentâneos, fornecendo uma estimativa mais estável e

2209

Figura 5. Função responsável pelo cálculo do RMS no protótipo.



Fonte: Autoral, 2025.

Além do RMS, o sistema adota uma linha de base (baseline) que representa o nível de referência do ambiente em condição de silêncio ou ruído mínimo. Essa baseline é atualizada automaticamente pelo software, atuando como um parâmetro de estabilidade semelhante ao que WPSafe (2025) descreve como um valor de referência essencial para evitar falsos acionamentos em sistemas de monitoramento. Assim, ruídos fracos e constantes, não elevam artificialmente a classificação sonora. A diferença entre o RMS atual e a baseline indica o quanto o som se afastou do estado de silêncio, garantindo medições mais coerentes e confiáveis.

Para expressar essa elevação de forma mais intuitiva, o sistema calcula um nível relativo em decibéis (dB) utilizando a relação entre o RMS atual e a baseline, conforme a expressão:

Figura 6. Fórmula de nível relativo em decibéis (dB).

$$dB = 20 \log_{10} \left(\frac{Rms}{baseline} \right)$$

Fonte: Autoral, 2025.

Esse valor de dB não corresponde ao nível absoluto de pressão sonora, mas sim a uma medida relativa que indica o quanto o ambiente ficou mais intenso em comparação com o nível de silêncio detectado pelo próprio protótipo.

Após esses cálculos, o sistema compara o nível obtido com limites previamente definidos no software, classificando o ruído em faixas graduais de intensidade. Essas faixas são representadas visualmente pelos LEDs, que variam desde níveis baixos (verde), passando por níveis moderados (azul) e elevados (amarelo), até atingir o nível crítico (vermelho), associado a risco auditivo quando mantido por períodos prolongados. Quando o valor permanece na categoria crítica por um intervalo superior ao tolerado, o sistema registra um evento de alerta e o transmite pela comunicação serial para análise posterior.

3.6 Tratamento Analógico do Sinal – Filtro RC

O tratamento analógico do sinal sonoro foi realizado por meio de um filtro RC passivo conectado entre a saída do microfone MAX4466 e a entrada A1 do Arduino. Seu objetivo foi suavizar o sinal antes da conversão digital, reduzindo oscilações rápidas, picos impulsivos e interferências de alta frequência que não correspondem às variações reais do ambiente. Como

explica Burrell (2024), um filtro RC “permite a passagem de sinais de baixa frequência enquanto diminui os de alta frequência, ajudando a suavizar o sinal, remover ruído e refinar a qualidade da saída”. No protótipo, o sinal bruto mostrou instabilidades causadas por transientes, vibrações mecânicas e componentes agudas, fatores que afetam diretamente o cálculo do RMS e podem acionar indevidamente faixas mais altas de intensidade sonora. Para minimizar esses efeitos, foi utilizado um resistor de 10 kΩ e um capacitor de 10 nF formando um filtro passa-baixa de primeira ordem, capaz de atenuar variações rápidas e preservar apenas mudanças sonoras relevantes e sustentadas. Com isso, o Arduino recebe um sinal mais estável, reduzindo a necessidade de compensações digitais adicionais. No contexto do monitoramento acústico ambiental, essa filtragem mostrou-se essencial para garantir medições consistentes ao longo do tempo e evitar distorções causadas por ruídos momentâneos, contribuindo diretamente para a precisão e confiabilidade das classificações realizadas pelo protótipo.

3.7 Procedimentos de Coleta de Dados

A coleta de dados foi conduzida em ambientes reais que apresentavam diferentes condições acústicas, abrangendo tanto espaços internos quanto externos. Antes de cada sessão, o sistema foi calibrado para registrar o nível de ruído de fundo, permitindo ajustar automaticamente a sensibilidade do protótipo ao ambiente analisado. Durante a etapa de coleta, o dispositivo foi posicionado em altura semelhante à da orelha humana e mantido afastado de paredes ou superfícies que pudessem gerar eco excessivo, evitando distorções na leitura.

2211

Cada sessão de monitoramento teve duração previamente estabelecida, o que possibilitou observar o comportamento dos indicadores visuais diante de diversas fontes sonoras presentes no ambiente. Os eventos críticos transmitidos pela porta serial foram posteriormente examinados com o objetivo de identificar padrões de intensidade elevada e períodos de maior ocorrência de ruído. Como o dispositivo não registra voz, não identifica indivíduos e não coleta qualquer dado pessoal, o trabalho caracteriza-se como monitoramento ambiental e não envolve aspectos éticos relacionados à pesquisa com seres humanos.

4 RESULTADOS

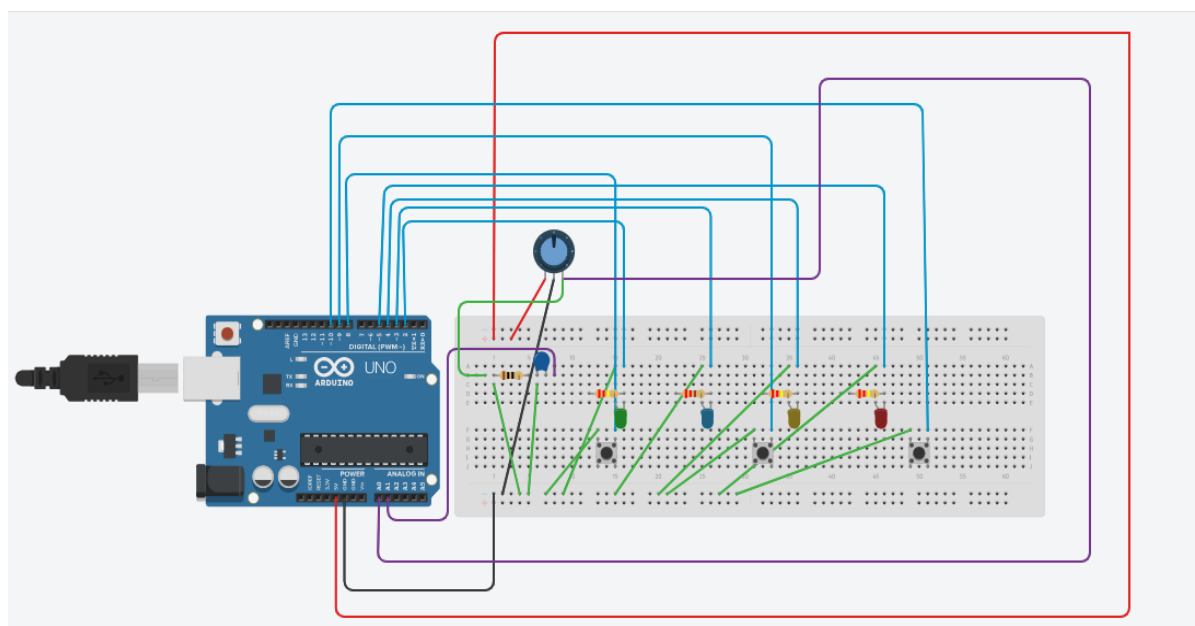
A seção de Resultados apresenta os principais achados obtidos durante a construção e os testes do protótipo de monitoramento acústico ambiental. Foram avaliados o comportamento dos LEDs frente a diferentes intensidades sonoras, a resposta do microfone às variações acústicas e a estabilidade geral do sistema em ambientes internos e externos. Os resultados

descritos a seguir referem-se exclusivamente ao comportamento prático do protótipo, sem análises interpretativas ou discussões teóricas.

4.1 Simulação no Tinkercad

O *Tinkercad* mostrou-se adequado para a fase inicial deste projeto, possibilitando validar a lógica do circuito e o comportamento dos elementos antes da implementação física.

Figura 7. Simulação do circuito eletrônico no Tinkercad.



2212

Fonte: Autoral, 2025.

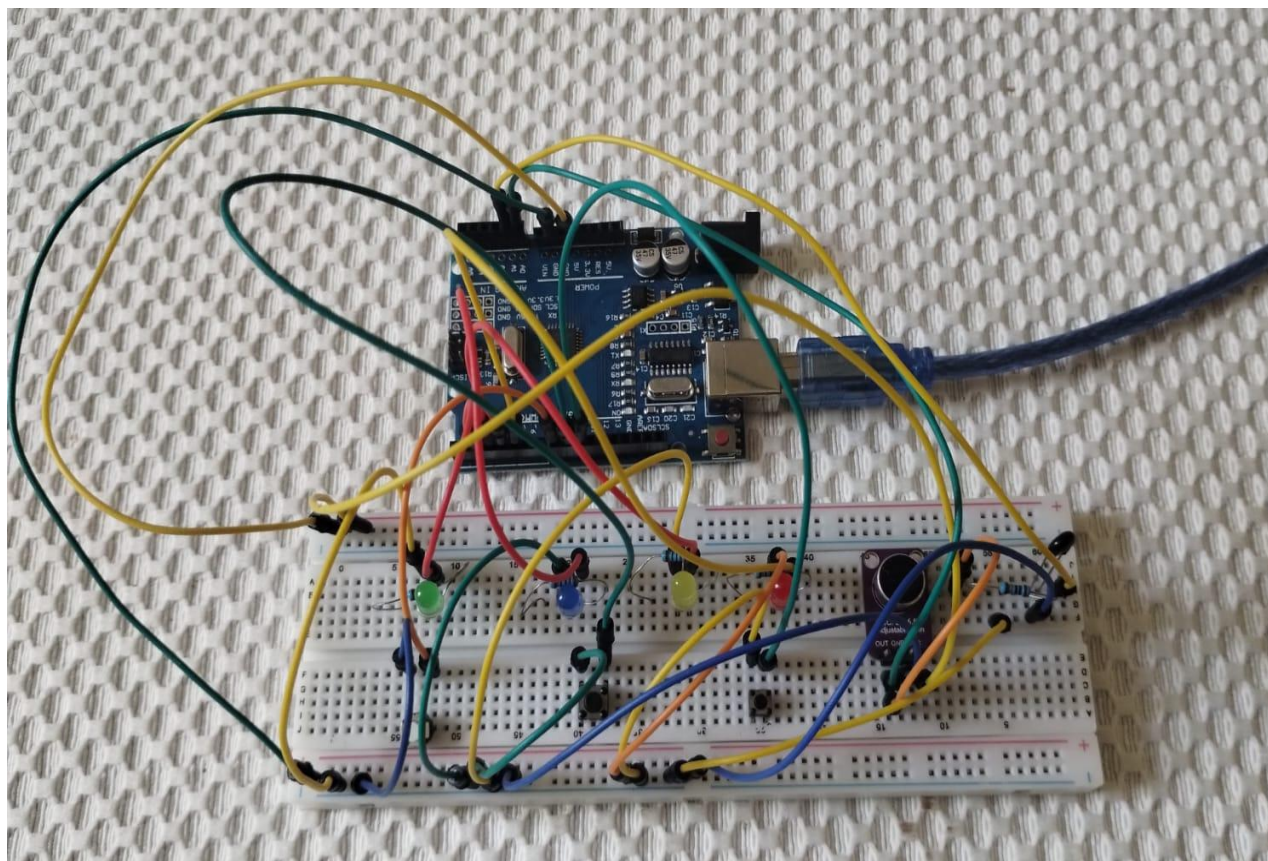
A simulação permitiu verificar o funcionamento dos LEDs, botões e do filtro RC antes da implementação real. Como o microfone não está disponível na plataforma, utilizou-se um potenciômetro como fonte alternativa de sinal analógico, possibilitando emular manualmente variações de amplitude. Essa adaptação tornou possível testar a leitura analógica e ajustar a resposta do circuito. Após essa validação, o microfone físico foi integrado ao protótipo final, substituindo o potenciômetro e permitindo a captação adequada do sinal acústico.

4.2 Funcionamento Geral

Durante os testes realizados em diferentes ambientes como cômodos internos, áreas externas e locais com distintos níveis de ruído, o protótipo respondeu de forma contínua às variações sonoras após a calibração inicial. Os LEDs acompanharam essas mudanças com clareza, indicando os níveis de intensidade de maneira coerente. Sons mais suaves, como

conversas, ruídos domésticos e barulhos leves ao redor, acionaram predominantemente os LEDs verde e azul. Já estímulos mais intensos, como gritos, batidas de porta, aplausos e ruídos de tráfego, provocaram o acionamento do LED amarelo e, em situações de maior pressão sonora, o LED vermelho.

Figura 8. Imagem do protótipo montado.



Fonte: Autoral, 2025.

A alternância entre os modos de funcionamento ocorreu sem falhas, e todos os botões testados como modo, calibração e gravação, responderam de forma imediata e estável. Durante os ensaios, a troca entre o modo urbano e o modo filtrado aconteceu sem atrasos perceptíveis, mantendo o comportamento esperado dos LEDs em cada configuração. O botão de calibração também apresentou desempenho satisfatório, redefinindo corretamente a linha de base do silêncio sempre que acionado, o que garantiu leituras coerentes mesmo em ambientes distintos.

O botão de gravação registrou corretamente os alertas no monitor serial, iniciando e encerrando o registro sem perda de dados. Em todas as sessões de teste não foram observados travamentos, reinicializações inesperadas ou falhas na leitura dos sensores. O processamento manteve-se contínuo e estável, demonstrando integração adequada entre circuito, programação

e lógica de controle, o que reforça a confiabilidade do protótipo para monitoramento acústico em cenários reais.

Os alertas foram registrados automaticamente no monitor serial sempre que o LED vermelho permaneceu ativo de forma contínua, listando os valores de intensidade e documentando os picos sonoros do ambiente. Durante toda a coleta, não houve perda de dados, e os registros mantiveram-se organizados em ordem cronológica, garantindo a confiabilidade do monitoramento

4.2 Filtro RC

Os testes foram realizados no modo urbano, com o sistema previamente calibrado, e mostraram que o uso do filtro RC altera de forma significativa o comportamento dos LEDs durante a análise sonora. Com o sinal suavizado, as transições entre as faixas de intensidade tornaram-se mais estáveis e menos sensíveis a picos muito rápidos, reduzindo oscilações que poderiam dificultar a leitura do nível sonoro. Esse comportamento mais contínuo contrasta claramente com a resposta imediata do sinal bruto, permitindo observar com maior precisão como cada forma de leitura, Ao direto e A₁ filtrado, reage ao mesmo estímulo acústico. Essa diferença ficou especialmente evidente no teste com o som da buzina, escolhido por apresentar uma variação comum em ambientes urbanos: início fraco, aumento rápido e pico curto de intensidade.

2214

A comparação entre o sinal bruto e o sinal filtrado mostrou resultados bem diferentes. No canal bruto, a buzina começou acionando o LED verde porque o início do som tinha baixa intensidade, o que é comum em ruídos que começam suaves antes de ficarem mais fortes. Conforme o volume aumentou, o LED passou para azul e, em seguida, para amarelo, indicando intensidades moderada e alta. O LED vermelho não acendeu porque, embora o som fosse forte, a buzina não manteve esse volume elevado por tempo suficiente para ultrapassar o limite mais crítico definido no algoritmo. Assim, o Ao registrou picos fortes, mas curtos, representando fielmente as variações rápidas do som, como pequenas oscilações e mudanças bruscas, o que explica a alternância dinâmica entre as cores exibidas pelos LEDs ao longo do teste.

Figura 9. Comportamento do sinal bruto (Ao) durante o teste com buzina

```
Urbano A0 rms=39.5 base=9.5 dB=12.4 LED=GREEN
Urbano A0 rms=118.9 base=9.5 dB=22.0 LED=BLUE
Urbano A0 rms=171.4 base=9.5 dB=25.1 LED=BLUE
Urbano A0 rms=145.5 base=9.5 dB=23.7 LED=BLUE
Urbano A0 rms=132.0 base=9.5 dB=22.9 LED=BLUE
Urbano A0 rms=146.9 base=9.5 dB=23.8 LED=BLUE
Urbano A0 rms=144.1 base=9.5 dB=23.6 LED=BLUE
Urbano A0 rms=124.3 base=9.5 dB=22.3 LED=BLUE
Urbano A0 rms=142.1 base=9.5 dB=23.5 LED=BLUE
Urbano A0 rms=154.0 base=9.5 dB=24.2 LED=BLUE
Urbano A0 rms=161.8 base=9.5 dB=24.6 LED=BLUE
Urbano A0 rms=174.1 base=9.5 dB=25.3 LED=BLUE
Urbano A0 rms=159.4 base=9.5 dB=24.5 LED=BLUE
Urbano A0 rms=83.5 base=9.5 dB=18.9 LED=BLUE
Urbano A0 rms=42.0 base=9.5 dB=12.9 LED=BLUE
Urbano A0 rms=130.2 base=9.5 dB=22.7 LED=BLUE
Urbano A0 rms=171.7 base=9.5 dB=25.2 LED=BLUE
Urbano A0 rms=169.5 base=9.5 dB=25.0 LED=BLUE
Urbano A0 rms=189.7 base=9.5 dB=26.0 LED=BLUE
Urbano A0 rms=166.6 base=9.5 dB=24.9 LED=BLUE
Urbano A0 rms=153.6 base=9.5 dB=24.2 LED=BLUE
Urbano A0 rms=153.4 base=9.5 dB=24.2 LED=BLUE
Urbano A0 rms=140.4 base=9.5 dB=23.4 LED=BLUE
Urbano A0 rms=208.6 base=9.5 dB=26.8 LED=BLUE
Urbano A0 rms=184.4 base=9.5 dB=25.8 LED=BLUE
Urbano A0 rms=254.0 base=9.5 dB=28.6 LED=YELLOW
Urbano A0 rms=223.4 base=9.5 dB=27.4 LED=YELLOW
```

Fonte: Autoral, 2025.

Por outro lado, a aplicação do filtro suavizou de maneira clara o sinal captado, fazendo com que o comportamento do A₁ fosse totalmente diferente do observado no A₀. Enquanto o sinal bruto apresentou valores de RMS altos e bastante variáveis, indo de cerca de 39,5 RMS (12,4 dB) no início da buzina até aproximadamente 254,0 RMS (28,6 dB) nos picos mais fortes, o sinal filtrado permaneceu muito mais estável, oscilando apenas entre 12,6 e 28,0 RMS, o que corresponde a aproximadamente 2,0 a 8,9 dB. Essa diferença ocorre porque o capacitor do filtro RC suaviza picos rápidos e atenua de forma significativa as componentes de alta frequência, reduzindo artificialmente a energia total do som. Por isso, mesmo diante de um ruído intenso, o canal filtrado permaneceu apenas no LED verde, sem atingir as faixas azul ou amarela. Nesse sentido, o A₁ não representa a intensidade real do ruído, mas sim tendências sonoras mais lentas e amplas do ambiente. Embora não seja adequado para estimar risco auditivo ou medir a pressão sonora de forma fidedigna, o sinal filtrado mostrou-se útil para identificar padrões gerais, analisar estabilidade ao longo do tempo e conferir consistência às medições em contextos de monitoramento ambiental.

Figura 10. Comportamento do sinal filtrado (A_1) durante o teste com buzina

```
# fonte: A1 (RC)
Urbano A1 rms=18.0 base=10.0 dB=5.1 LED=GREEN
Urbano A1 rms=12.6 base=10.0 dB=2.0 LED=GREEN
Urbano A1 rms=13.7 base=10.0 dB=2.7 LED=GREEN
Urbano A1 rms=23.9 base=10.0 dB=7.6 LED=GREEN
Urbano A1 rms=25.5 base=10.0 dB=8.1 LED=GREEN
Urbano A1 rms=26.3 base=10.0 dB=8.4 LED=GREEN
Urbano A1 rms=26.9 base=10.0 dB=8.6 LED=GREEN
Urbano A1 rms=26.5 base=10.0 dB=8.5 LED=GREEN
Urbano A1 rms=24.6 base=10.0 dB=7.8 LED=GREEN
Urbano A1 rms=21.3 base=10.0 dB=6.6 LED=GREEN
Urbano A1 rms=20.7 base=10.0 dB=6.3 LED=GREEN
Urbano A1 rms=23.1 base=10.0 dB=7.3 LED=GREEN
Urbano A1 rms=25.2 base=10.0 dB=8.0 LED=GREEN
Urbano A1 rms=27.3 base=10.0 dB=8.7 LED=GREEN
Urbano A1 rms=26.5 base=10.0 dB=8.5 LED=GREEN
Urbano A1 rms=23.5 base=10.0 dB=7.4 LED=GREEN
Urbano A1 rms=23.6 base=10.0 dB=7.5 LED=GREEN
Urbano A1 rms=24.7 base=10.0 dB=7.9 LED=GREEN
Urbano A1 rms=27.1 base=10.0 dB=8.7 LED=GREEN
Urbano A1 rms=28.0 base=10.0 dB=8.9 LED=GREEN
Urbano A1 rms=26.9 base=10.0 dB=8.6 LED=GREEN
Urbano A1 rms=27.5 base=10.0 dB=8.8 LED=GREEN
Urbano A1 rms=26.9 base=10.0 dB=8.6 LED=GREEN
Urbano A1 rms=35.0 base=10.0 dB=10.9 LED=GREEN
Urbano A1 rms=29.8 base=10.0 dB=9.5 LED=GREEN
Urbano A1 rms=26.5 base=10.0 dB=8.5 LED=GREEN
```

Fonte: Autoral, 2025.

Essa característica torna o sinal filtrado especialmente relevante em contextos de monitoramento ambiental contínuo. Para engenheiros ambientais que atuam em áreas urbanas, industriais ou florestais, este canal permite identificar tendências gerais do ambiente, períodos prolongados de quietude e variações amplas no nível sonoro sem a interferência de picos muito curtos que poderiam distorcer análises de longo prazo. Em ecossistemas naturais, esse comportamento suavizado é útil para estudos de fauna sensível ao ruído, acompanhamento de impactos acústicos causados por atividades humanas e elaboração de relatórios periódicos sobre a qualidade ambiental. Assim, o filtro funciona como uma etapa analógica de pré-processamento que complementa o canal bruto (A_0): enquanto o A_0 oferece precisão e resposta rápida para avaliar intensidade real e risco auditivo, o A_1 fornece estabilidade e uma visão macro dos padrões acústicos, favorecendo análises ambientais, mapas simplificados de ruído e registros históricos de tendência.

5 DISCUSSÃO

A análise dos resultados demonstra que o protótipo cumpriu seu objetivo de identificar e representar diferentes níveis de intensidade sonora por meio de LEDs, permitindo uma compreensão rápida mesmo por usuários sem conhecimento técnico. O cálculo de RMS, a linha

de base adaptativa e o uso de histerese contribuíram para classificações estáveis, evitando oscilações bruscas e distinguindo adequadamente ruídos fracos, moderados e intensos em ambientes internos e urbanos.

A inclusão do filtro RC também teve impacto relevante, oferecendo maior estabilidade ao sinal ao suavizar picos e transientes que não correspondiam a mudanças reais no ambiente acústico. Entretanto, observou-se que essa suavização reduz de maneira significativa a energia do sinal, produzindo valores de dB muito inferiores mesmo em sons intensos. Por isso, enquanto o canal filtrado é útil para observar tendências e realizar análises ambientais mais amplas, o canal bruto permanece essencial para a avaliação fiel da intensidade sonora e de potenciais riscos auditivos.

Os achados obtidos dialogam com estudos recentes de monitoramento acústico de baixo custo. Pesquisas como as de Saldana-Barrios et al. (2023) e Abdulqadir e Shukur (2017) mostram que sensores simples e plataformas acessíveis podem gerar medições ambientalmente úteis, ainda que não alcancem a precisão de equipamentos profissionais. Nesse contexto, o protótipo confirma que soluções econômicas podem oferecer estabilidade e valor educacional, contribuindo para a conscientização do ambiente acústico.

Apesar dos avanços, algumas limitações foram identificadas, como a sensibilidade do microfone à posição e vibração, o uso de decibéis relativos e a ausência de armazenamento contínuo, o que restringe análises de longo prazo. Ainda assim, o sistema apresenta vantagens importantes, como baixo custo, fácil replicação e boa aplicabilidade educacional. Para trabalhos futuros, recomendam-se microfones MEMS, conectividade IoT, filtros digitais mais robustos e uma interface web, ampliando o potencial do protótipo como ferramenta acessível de monitoramento ambiental.

2217

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver um protótipo de monitoramento acústico ambiental de baixo custo, capaz de identificar e representar diferentes níveis de intensidade sonora por meio de LEDs, oferecendo uma ferramenta acessível tanto para fins educativos quanto para observação qualitativa do ambiente. A proposta buscou criar um dispositivo simples, responsivo e de fácil interpretação, permitindo acompanhar sons comuns do cotidiano. Os resultados demonstraram que o sistema cumpriu seu propósito, apresentando boa estabilidade operacional, sensibilidade consistente e aplicabilidade prática em ambientes internos e externos.

A adoção do Arduino como plataforma central, aliada ao cálculo de RMS, à linha de base adaptativa e à classificação relativa em dB, forneceu ao protótipo uma estrutura técnica sólida e eficiente. O uso combinado dos canais Ao e A1 possibilitou análises complementares: enquanto o sinal bruto representou com fidelidade a intensidade real do ruído, o sinal filtrado ofereceu uma visão mais suave e adequada para tendências ambientais. Essas decisões de projeto resultaram em um dispositivo funcional, coerente com os princípios de aquisição e processamento digital de sinais que fundamentam a área de tecnologia, demonstrando como hardware simples e lógica computacional podem gerar informações valiosas para a compreensão do ambiente acústico.

Em síntese, o protótipo representa uma contribuição relevante para o campo do monitoramento ambiental acessível, demonstrando que soluções eletrônicas de baixo custo podem promover conscientização sobre poluição sonora, apoiar práticas educativas e auxiliar em observações qualitativas de ecossistemas. Como continuidade, recomenda-se integrar armazenamento de dados, comunicação sem fio, filtros digitais mais avançados e microfones de maior precisão, além de explorar algoritmos classificadores para reconhecer diferentes tipos de sons. Dessa forma, reafirma-se o potencial da Engenharia de Computação na criação de tecnologias sustentáveis, replicáveis e socialmente úteis voltadas à preservação ambiental e à melhoria da qualidade de vida.

2218

REFERÊNCIAS

1. Abdulqadir, Aram Mohammad and Mohammed Hussein Shukur. **“Development of an IoT-based Noise Monitoring Network.”** (2017). DOI:10.24086/CUESJ.SI.2017.N1A16
2. ARDUINO. **About Arduino.** Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/about/>. Acesso em: nov. 2025.
3. AZEVEDO, Celia Andrade Baptista de; BRAZ, Isabela Cristina Couti; PUCI, Luiz Alexandre Jeronimo. **Dispositivo auditivo para hipersensibilidade sonora: construção de protótipo para monitoramento sensorial de ruídos.** Trabalho de conclusão de curso (Curso Superior de Tecnologia em Sistemas Biomédicos) - Faculdade de Tecnologia FATEC Bauru, Bauru, 2022.
4. BAIQIANCHENG. **O que é processamento de áudio.** 2019. Disponível em: <https://pt.ems-pcbassembly.com/info/distributor-41917858.html>. Acesso em: nov. 2025.
5. Costa, D. de J. da, Cavalcante, M. L., & Façanha, R. C. (2025). **A POLUIÇÃO SONORA E OS AGRAVOS À SAÚDE AUDITIVA.** Revista De Investigação Biomédica, 14(1). Recuperado de [//portalderevistas.grupoceuma.com.br/index.php/RIB/article/view/586](http://portalderevistas.grupoceuma.com.br/index.php/RIB/article/view/586)

6. EQUIPEWISHBOX. **Tinkercad: O que é, download de como criar seu modelo 3D.** Wishbox, 6 dez. 2017. Disponível em: <https://www.wishbox.net.br/blog/tinkercad/>. Acesso em: nov. 2025.
7. Gabriel, J. E., Diagone, L. A., Silva, L. V. da, Teixeira, V. A., & Nascimento Junior, V. de F. (2025). **O monitoramento ambiental por meio de sensores frente aos novos desafios provocados pelos incêndios florestais: uma revisão narrativa de literatura.** *Brazilian Journal of Development*, 11(5), e79502. <https://doi.org/10.34117/bjdv11n5-014>
8. MARQUES, Rogério. **Feature Driven Development (FDD): conheça essa metodologia.** Cedro Tech, 12 abr. 2019. Atualizado em 14 jul. 2023. Disponível em: <https://www.cedrotech.com/blog/feature-driven-development-fdd/>. Acesso em: nov. 2025.
9. MOURA, Camila Fernanda Rangel; MARTINS, Felipe Reis Araújo; MAYDANA, Giovanni Henrique. **Tecnologia arduino para segurança ambiental: um dispositivo de monitoramento multifuncional.** 2024. 23 p. Trabalho de conclusão de curso. Artigo. (Curso Técnico em Eletromecânica) - Etec Prof. Alfredo de Barros Santos, Guaratinguetá, SP, 2024.
10. Picaut J, Can A, Fortin N, Ardouin J, Lagrange M. **Low-Cost Sensors for Urban Noise Monitoring Networks-A Literature Review.** *Sensors (Basel)*. 2020 Apr 16;20(8):2256. doi: 10.3390/s20082256. PMID: 32316202; PMCID: PMC7218845.
11. Ramos, I. de O., Andrade, P. H. D. B., Santos, D. M., & Sakiyama, N. R. M. (2025). **Monitoramento ambiental com IoT em espaços públicos: diagnóstico de qualidade do ar na Praça Tiradentes - Teófilo Otoni (MG).** *Caderno Pedagógico*, 22(10), e18768. <https://doi.org/10.54033/cadpedv22n10-002> 2219
12. Saldana-Barrios JJ, Aguilar E, Ng W, Orocu R. **Designing an IoT-Based System for Monitoring Noise Levels in the Computer Science Faculty and Library of the Technological University of Panama.** *Sensors (Basel)*. 2023 Nov 10;23(22):9083. doi: 10.3390/s23229083. PMID: 38005471; PMCID: PMC10675386.
13. AUTODESK. **Tinkercad.** Disponível em: <https://www.tinkercad.com/>. Acesso em: nov. 2025.
14. WPSAFE. **O que é Baseline?** 2025. Disponível em: <https://wpsafe.com.br/dicionario-ti/o-que-e-baseline/>. Acesso em: nov. 2025.
15. BURRELL, Stephanie. **Compreender o básico: o que é um filtro passa-baixo RC e como funciona.** Wray Castle, 13 nov. 2024. Disponível em: <https://wraycastle.com/pt/blogs/knowledge-base/understanding-the-basics-what-is-an-rc-low-pass-filter-and-how-does-it-work?srsltid=AfmBOopxNYAywpyczksLTAqeKTvyDqWAG8Z-oEKTNidIewWnPQXgIyWd>. Acesso em: nov. 2025.