

PULSEIRA DE VIBRAÇÕES HÁPTICAS PARA PESSOAS SURDAS

Caio Henrique Almeida Ferreira Santos¹ - 4 ano do Ensino Médio, Gabrielly Rocha Nunes² - 4 ano do Ensino Médio, Murilo Neves Matutino³ - 3 ano do Ensino Médio

Alan Santos dos Santos⁴

caio_henrique2006@outlook.com¹, gabyrochanunes@gmail.com², matutino.murilo@ifba.edu.br³, alan_santos@ifba.edu.br⁴

IFBA - INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA

Seabra-Ba

Categoria: ARTIGO SUPERIOR / MULTIMÍDIA

Resumo: Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma pulseira de vibrações hápticas voltada à inclusão de pessoas surdas, com o objetivo de converter sons ambientes em estímulos táteis perceptíveis no pulso. A proposta baseia-se na sensibilidade tátil do pulso e visa aumentar a segurança e autonomia de pessoas com deficiência auditiva em contextos urbanos. O protótipo é composto por uma placa Raspberry Pi 3B+, oito micro motores de vibração e um microfone, integrados a um sistema de inteligência artificial (IA) capaz de classificar som. A IA foi treinada em Google Colab com redes neurais convolucionais, alcançando 77% de acurácia. A pulseira também possui conectividade Bluetooth e foi acompanhada pelo desenvolvimento de um site para controle remoto do dispositivo. Os testes com usuários indicaram boa percepção tátil e promissora identificação dos padrões vibratórios, embora ainda haja limitações quanto à acurácia da IA e à finalização da interface web. O projeto destaca-se pelo uso de tecnologias acessíveis e pelo forte caráter inclusivo, demonstrando viabilidade e potencial para aplicação prática e futura expansão.

Palavras Chaves: Pessoa surda, Acessibilidade, Vibração, Inteligência Artificial, Tecnologia assistiva.

Abstract: This article presents the development of a haptic vibration bracelet aimed at the inclusion of deaf individuals, with the goal of converting environmental sounds into tactile

stimuli perceptible on the wrist. The proposal is based on the wrist's tactile sensitivity and seeks to enhance the safety and autonomy of people with hearing impairments in urban contexts. The prototype is composed of a Raspberry Pi 3B+ board, eight vibration micro motors, and a microphone, integrated into an artificial intelligence (AI) system capable of classifying sounds using the UrbanSound8K dataset. The AI was trained on Google Colab using convolutional neural networks, achieving 77% accuracy. The bracelet also features Bluetooth connectivity and was accompanied by the development of a website for remote device control. User tests indicated good tactile perception and promising identification of vibration patterns, although there are still limitations regarding AI accuracy and the completion of the web interface. The project stands out for its use of accessible technologies and its strong inclusive character, demonstrating feasibility and potential for practical application and future expansion.

Keywords: Deaf person, Accessibility, Vibration, Artificial Intelligence, Assistive Technology

1 INTRODUÇÃO

A Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015, institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência, também conhecida como Estatuto da Pessoa com Deficiência (BRASIL, 2015). Essa legislação estabelece, entre outros direitos, a

obrigatoriedade da inclusão de pessoas com deficiência auditiva em ambientes educacionais e profissionais.

O pulso é uma região com grande densidade de receptores táteis (mecanorreceptores), o que significa que ele detecta vibrações com mais precisão na qual seriam identificados diferentes tipos de sons ambientes. A partir da vantagem sensorial do pulso, o presente projeto desenvolveu um protótipo pulseira capaz de transformar estímulos sonoros como buzinas, alarmes, sirenes, latidos de cachorro e outros, em sensações hápticas por meio de vibrações no pulso.

O projeto tem como objetivo usar a robótica como meio de inclusão digital para melhorar a vida das pessoas não-ouvintes. Estudos desse tipo são realizados principalmente em instituições de ensino e organizações sociais. Com base em autores como SILVA (2022) conclui-se que há um aumento no interesse na robótica como instrumento educacional e de inclusão nos últimos anos, entretanto há divergências na literatura científica quanto à escassez de recursos para pesquisas e implementação de projetos voltados à inclusão. Além disso, a proposta está alinhada à concepção de tecnologias sociais como ferramentas de apoio à inclusão plena das pessoas surdas na sociedade (BERSCH, 2006).

Portanto, com base em conhecimentos relacionados à robótica e tecnologia, este trabalho apresenta um dispositivo capaz de ajudar pessoas com deficiência auditiva em suas atividades diárias por meio da transformação de estímulos sonoros em sensações hápticas, promovendo acessibilidade a pessoa surda e visando sua segurança no ambiente.

2 O TRABALHO PROPOSTO

O projeto proposto tem o objetivo de construir uma pulseira capaz de transmitir ao usuário surdo sensações hápticas no pulso por meio da transformação dos sons do ambiente em vibrações. O intuito do dispositivo é permitir que o usuário tenha a capacidade de perceber sinais sonoros no ambiente, como: buzinas, alarmes, gritos e outros, melhorando a qualidade do trânsito da pessoa surda na sociedade, bem como autonomia e segurança em situações cotidianas. O grupo é composto por 3 membros e foi iniciado em 2024 usando como base um projeto de 2022 intitulado de Arm-Alpha de mesmo objetivo (SANTOS, 2022). Diferente do projeto de 2022, a pulseira de vibrações hápticas possui mais funcionalidades e capacidades aprimorando a ideia inicial.

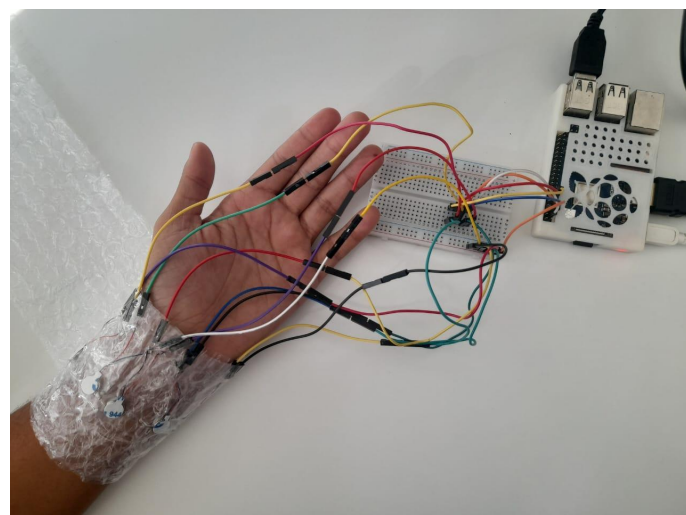
2.1 Hardware

O protótipo da pulseira foi composto por uma placa *Raspberry Pi 3* modelo B +, oito micro motores de vibração dispostos em um plástico bolha “vestível”, e um microfone. Além disso, o protótipo produzido é composto por *protoboards* e *jumpers*. A placa *Raspberry Pi* controla a transformação do áudio captado pelo microfone em diferentes classificações através de uma inteligência artificial (IA) produzida pelo grupo.

Os micro motores de vibração são ativados a partir da classificação definida pela IA, com o intuito de diferenciar tipos diferentes de sinais sonoros. A estimulação vibratória tem a capacidade de criar até três tipos de sensação de toque (respostas hápticas): textura, impacto e deslizamento, dependendo da frequência da vibração (1Hz a 10000 Hz) (PROCHNOW, 2003).

Autores como ALEXANDRE (2021), KLAUTAU (2019) e GUERRA (2020) desenvolveram estudos semelhantes, todos com o objetivo comum de transformar ondas sonoras em vibrações hápticas. A autora GUERRA (2020) em específico desenvolveu um protótipo para a transmissão de músicas por meio de estímulos táteis, em que utilizava das vibrações de motores para diferenciar tipos de frequência. Tal estudo foi adaptado para transformar eventos sonoros do ambiente em vibrações no pulso do usuário.

Figura 2. protótipo da pulseira háptica



Fonte: Autores, 2025

Além disso, a placa *Raspberry Pi* se conecta via *Bluetooth* a um site produzido pelo grupo, transmitindo os dados de detecção e classificação de áudio, além de controle da sensibilidade dos motores de vibração. É objetivo do grupo expandir essa transmissão para dispositivos mobile através de

um aplicativo, permitindo o acesso e controle do dispositivo remotamente.

2.2 Inteligência Artificial

Considerando os métodos que autores como MANARO, LARCO, LOPES (2021) e RIBEIRO (2022) usaram em suas pesquisas e os resultados satisfatórios obtidos por eles no campo da classificação de sons com inteligência artificial (IA), o presente projeto utiliza desses métodos e se baseia nessas pesquisas para construir o software de reconhecimento e classificação dos eventos sonoros.

A construção do software se deu por meio da plataforma *Google Colab*¹ com a linguagem de programação *Python* por ser um ambiente de produção gratuito e oferecer recursos computacionais essenciais para o desenvolvimento de IA. O programa pensado foi desenvolvido em duas partes: processamento e classificação do som, conforme o fluxograma abaixo.

Figura 1. Fluxograma do software



Fonte: Autores, 2025

¹ Google Colab é uma plataforma online e gratuita oferecida pelo Google que permite a execução de códigos diretamente no navegador. Google. Perguntas frequentes - Google Colab. Disponível em: <https://research.google.com/colaboratory/intl/pt-BR/faq.html>. Acesso em: 25 mar. 2025.

2.2.1 Dataset

Antes de iniciar o processo de construção do código, foi buscado um dataset que atendesse as demandas do projeto e contasse com uma grande coleção de áudios para se obter uma melhor acurácia após o treinamento da IA (Inteligência Artificial). As pesquisas por um dataset foram realizadas utilizando o mecanismo de busca do google e os artigos do google acadêmico, que nos retornaram alguns *dataset*, entre eles o dataset *UrbanSound8K*², que foi escolhido por contar com um acervo de 8732 arquivos de áudio, divididos em 10 categorias:

- 0 = ar condicionado
- 1 = buzina de carro
- 2 = crianças brincando
- 3 = latido de cachorro
- 4 = perfuração
- 5 = motor em marcha lenta
- 6 = tiro de arma de fogo
- 7 = britadeira
- 8 = sirene
- 9 = música de rua

Que se mostram condizentes com a finalidade do projeto, evitando trabalhos posteriores, como a junção de vários dataset menores e a remoção de arquivos de áudio indesejáveis, por exemplo.

2.2.2 Processamento do áudio

A lógica do processamento dos sinais sonoros foi inspirada nos projetos realizados ao longo do curso 'Deep Learning For Audio', do Valério³, em que o apresentador conduz os ouvintes a um aprendizado profundo e denso, baseado em aulas teóricas e práticas. Finalizado o curso, foi criado o arquivo *pulseira_preprocess.ipynb* no google colab, que se responsabilizaria por todo o processamento do dataset.

No início do código são importadas várias bibliotecas conforme a figura abaixo, mas vale ressaltar a biblioteca *Librosa*⁴ por apresentar diversas funções para extrair

² UrbanSound8K - Urban Sound Datasets. Disponível em: <https://urbansounddataset.weebly.com/urbansound8k.html>

³ Curso em vídeo: Deep Learning (for Audio) with Python. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=fMqL5vckiU0&list=PL-wATfeyAMNrtbkCNsLcpoAyBBRJZVInf&ab_channel=ValerioVelardo-TheSoundofAI. Acesso em: 15 de junho de 2025.

⁴ Librosa é uma biblioteca da linguagem de programação python para a análise de áudio e música. Librosa. Librosa

rapidamente os recursos de áudio, que serão fundamentais para as etapas posteriores.

Figura 2. Importando as bibliotecas

```
[ ] # importando as bibliotecas

import os
import librosa
import math
import json
import soundfile as sf
import pandas as pd
import numpy as np
import tensorflow as tf
```

Fonte: Autores, 2025

Com as bibliotecas importadas e configurações como: *sample rate* e *hop length*, agora se faz necessário importar os áudios e extrair os seus recursos. E pensando nisso, foi definido que seriam extraídos os MFCCs⁵ dos arquivos de áudio por se mostrarem eficientes em classificar sinais sonoros em estudos anteriores. Processado áudio, os seus recursos são armazenados em um arquivo *JSON*⁶, que será importado na etapa de treinamento e classificação dos sinais sonoros.

Figura 3. Importando e transformando áudio em mfcc

```
signal, sr = librosa.load(file_path, sr=SAMPLE_RATE)

# extraindo mfccs
mfcc = librosa.feature.mfcc(y=signal,
                           sr=sr,
                           n_fft=N_FFT,
                           n_mfcc=N_MFCC,
                           hop_length=HOP_LENGTH)

mfcc = mfcc.T
```

Fonte: Autores, 2025

2.2.3 Classificação do áudio

A classificação dos áudios é feita através de um rede neural convolucional (CNN), por apresentar um alto desempenho na classificação de imagens, identificando as suas características, através de *kernels*. Tendo em vista as suas

vantagens, a CNN foi adaptada para as necessidades do projeto, passando a classificar sons na forma de MFCCs ao invés de imagens.

Figura 4. estrutura da rede neural

```
# criando modelo
model = keras.Sequential()

# 1ª camada de convolução
model.add(keras.layers.Conv2D(32, (3,3), activation='relu', input_shape=input_shape))
model.add(keras.layers.MaxPool2D((3,3), strides=(2,2), padding='same'))
model.add(keras.layers.BatchNormalization())

# 2ª camada de convolução
model.add(keras.layers.Conv2D(32, (3,3), activation='relu', input_shape=input_shape))
model.add(keras.layers.MaxPool2D((3,3), strides=(2,2), padding='same'))
model.add(keras.layers.BatchNormalization())

# 3ª camada de convolução
model.add(keras.layers.Conv2D(32, (2,2), activation='relu', input_shape=input_shape))
model.add(keras.layers.MaxPool2D((2,2), strides=(2,2), padding='same'))
model.add(keras.layers.BatchNormalization())

# achatando saída e colocando uma camada densa
model.add(keras.layers.Flatten())
model.add(keras.layers.Dense(64, activation='relu'))
model.add(keras.layers.Dropout(0.3))

# camada de saída
model.add(keras.layers.Dense(10, activation='softmax'))
```

Fonte: Autores, 2025

Conforme a figura acima é perceptível que a estrutura da rede neural, é composta por cinco camadas, sendo três delas camadas de convolução e duas densas, seguidas de métodos como *batch normalization* e *dropout*, que agem de modo a diminuir o *overfitting* da rede. Os métodos e a estrutura acima foram escolhidos através de vários testes e pesquisas que nos mostraram ser a melhor opção no momento, alcançando no máximo 77% de precisão na classificação correta dos áudios. Entretanto ainda se faz necessário aperfeiçoar a IA de modo que ela atinja uma melhor acurácia.

2.3 Site

O site foi pensado como meio de melhorar o contato do usuário com a pulseira, possibilitando uma usabilidade facilitada e promovendo uma melhor adaptação ao dispositivo, por meio de uma interface atrativa e intuitiva. O site se conecta via Bluetooth com o dispositivo, permitindo a sua interação em tempo real. O site está disponível no seguinte link⁷: <https://caio-henrique2006.github.io/Site-Pulseira-Haptica/>

Para o início do projeto do site da pulseira háptica, foi utilizada a plataforma *Canva*⁸. A capa do site foi elaborada

0.11.0 documentation. Disponível em:

<<https://librosa.org/doc/latest/index.html>>. Acesso em: 25 de abril de 2025.

⁵ MFCC (*Mel-Frequency Cepstral Coefficients*) é um espectrograma em que a escala da frequência é convertida para a escala Mel. WIKIPEDIA. Mel-frequency cepstrum. Disponível em:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Mel-frequency_cepstrum>. Acesso em: 25 de abril de 2025.

⁶ JSON (JavaScript Object Notation) é um formato baseado em texto para armazenar e trocar dados de uma forma que seja legível por humanos e analisável por máquinas. Disponível em: <<https://www.oracle.com/br/database/what-is-json/>>. Acesso em: 15 de junho de 2025.

⁷ Site da pulseira háptica. Disponível em: <<https://caio-henrique2006.github.io/Site-Pulseira-Haptica/>>

⁸ O Canva é uma plataforma online de design gráfico que permite criar artes visuais, como cartazes, apresentações e

com o objetivo de transmitir uma mensagem visual atrativa, utilizando símbolos que remetem à comunidade surda. Logo abaixo da capa, foram inseridos botões com as funcionalidades principais do site. As seções criadas foram: “Agora”, “Históricos” e “Ajustes”.

A seção “Agora” apresenta os acontecimentos em tempo real detectados pela pulseira háptica. Já a seção “Históricos” exibe os registros dos eventos ocorridos durante o dia, juntamente com o tipo de sinal emitido, de acordo com o reconhecimento realizado pelo sistema. Por fim, a seção “Ajustes” oferece ao usuário a possibilidade de configurar a sensibilidade da pulseira, ajustar a força das vibrações, realizar a conexão com o dispositivo e futuramente executar o treinamento do relógio com novas classificações.

Até a entrega deste artigo o site não foi concretizado, faltando a integração com a conexão Bluetooth e o envio dos dados e configurações da pulseira. Dessa forma, ele se mantém como futuro avanço da pesquisa.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os testes com o protótipo montado tinham o intuito de observar todos os processos necessários para o funcionamento da pulseira.

Primeiro foram feitos os testes com a classificação do áudio com inteligência artificial internamente no *raspberry Pi* com a linguagem de programação *Python*, utilizando um conjunto de testes de áudio fornecidos pelo *dataset UrbanSound8K*.

Depois seguiram os testes de sensações hápticas com discentes e docentes do campus Seabra, totalizando 8 pessoas testadas. Os testados foram conduzidos por 5 tipos diferentes de padrões de vibração com o intuito de observar 5 características: a percepção da localização da sensação no pulso, a capacidade de gerar sensação de onda, a percepção da sensação quando vários motores estão ligados ao mesmo tempo, capacidade de utilizar a mão com a pulseira funcionando e percepção de ritmo e frequência.

posts. É acessível, intuitiva e usada por iniciantes e profissionais.

Figura 2. Usuário testando se a pulseira vibrando atrapalha na utilização da mão



Fonte: Autores, 2025

Ademais, o dispositivo foi submetido à opinião de duas profissionais de tradução e interpretação da Língua Brasileira de Sinais (Libras), em vista do contato com a comunidade surda.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes com a inteligência artificial (IA) foram satisfatórios, alcançando uma precisão de 77% na classificação correta dos áudios com os conjuntos de testes fornecidos pelo *dataset UrbanSound8K*. Entretanto, essa precisão ainda está abaixo do que seria considerado ideal para a pulseira, algo perto de 95% de acerto.

Os testes de sensações hápticas foram promissores levando às seguintes conclusões: existe uma maior sensibilidade da face palmar do pulso, leves formigamentos na mão quando a pulseira utiliza todos os motores de vibração, testados afirmaram conseguir distinguir a posição das vibrações em até 4 e 5 motores ligados ao mesmo tempo e a percepção de ritmo, afirmando alguns testados terem sentido a presença de “música” nas vibrações.

A opinião das profissionais de tradução e interpretação da Língua Brasileira de Sinais (Libras) levaram a considerar alguns detalhes. Primeiro, a adaptação do site e das classificações da IA para pessoas surdas com interpretação em libras, levando em conta o aspecto inclusivo do projeto. Além disso, a estrutura da pulseira poderia servir como identificador de pessoa com deficiência auditiva, através de símbolos, a seguinte imagem representa um esboço dessa ideia:

Figura 2. Modelo da pulseira com símbolo de identificação da pessoa surda



Fonte: Autores, 2025

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou o desenvolvimento de uma pulseira de vibrações hápticas voltada à inclusão de pessoas surdas, com o objetivo de transformar sinais sonoros do ambiente em estímulos táteis perceptíveis no pulso. Os resultados obtidos indicam que o protótipo é funcional e tem potencial de aplicação prática, especialmente em contextos urbanos, onde a percepção sonora é crucial para a segurança e autonomia de indivíduos com deficiência auditiva.

A metodologia buscou a implementação prática do dispositivo. No campo do hardware, utilizou-se uma *Raspberry Pi* conectada a micro motores de vibração e microfone. No desenvolvimento da inteligência artificial, aplicou-se uma rede neural convolucional treinada com o *dataset UrbanSound8K*, utilizando a plataforma *Google Colab* e a linguagem *Python*. Ademais, foi iniciado o desenvolvimento de um site, que visa ampliar a interação e controle do dispositivo. Os testes envolveram tanto a avaliação técnica da IA quanto a resposta sensorial de usuários em relação aos padrões vibratórios.

Entre os pontos fortes do projeto, destaca-se a proposta inovadora e socialmente relevante, com foco na acessibilidade e inclusão de pessoas com deficiência auditiva. A abordagem multidisciplinar, envolvendo robótica, IA e design de interface, confere ao projeto uma estrutura robusta e alinhada às práticas contemporâneas de desenvolvimento tecnológico. Os testes indicaram boa percepção tátil por parte dos testados e uma precisão razoável na classificação de sons, alcançando 77%.

Por outro lado, algumas limitações foram identificadas. A acurácia da IA, embora promissora, ainda não atinge níveis ideais para aplicação em tempo real com total confiabilidade. Além disso, a interface web encontra-se incompleta, o que limita, por ora, a usabilidade plena do sistema.

Conclui-se, portanto, que o projeto alcançou seus objetivos iniciais, oferecendo uma base sólida para futuras melhorias. O protótipo representa uma solução viável e inovadora para promover a inclusão sensorial de pessoas surdas, e destaca-se pelo uso eficiente de tecnologias acessíveis e de baixo custo. Com avanços na acurácia do modelo e na finalização da interface de controle, a pulseira háptica tem potencial para se consolidar como uma ferramenta assistiva relevante no contexto educacional e urbano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDRE, Ian Moura.** *Estudo, caracterização e acionamento de atuadores vibrotáteis destinado ao desenvolvimento de interfaces hápticas para pessoas com deficiência auditiva.* 2021. 77 f., il.
- BERSCH, Rita.** *Introdução à Tecnologia Assistiva.* In: Introdução à Tecnologia Assistiva. [S. l.], 2017. Disponível em: <https://iparadigma.org.br/biblioteca/introducao-a-tecnologia-assistiva/>. Acesso em: 05 jul. 2022.
- GUERRA, Camila Stéfany Diógenes.** *VibraSom: sistema embarcado de reprodução sonora por meio de vibração para pessoas com deficiência auditiva.* 2020. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Computação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Quixadá, Quixadá, 2020.
- KLAUTAU, T.** *Dispositivo de Conversão de Sinais Sonoros para Sinais Táteis Voltados a Usuários Deficientes Auditivos.* 2019. Monografia (Bacharel em Ciência da Computação), UnB (Universidade de Brasília), Brasília, Brasil.
- MANARO, C.; LARCO, L.; LOPES, T.** *I.A. embarcada classificadora de sons para deficientes auditivos.* 2021. Trabalho de conclusão de curso em engenharia de

controle e automação, Escola de Engenharia Mauá, São Caetano do Sul.

PROCHNOW, Daniel Neves. GERAÇÃO DE TATO EM AMBIENTES VIRTUAIS. 2003. Tese de Doutorado. PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL.

RIBEIRO, Lucas Medeiros. *Detecção de disparo de arma de fogo utilizando redes convolucionais*. 2022. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia da Computação, Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica, Rio Grande do Sul.

SANTOS, Alan dos; TELES, Bianca Nunes Sá; LIMA, Pablio Ryan Teixeira; ASSUNÇÃO, Claudeilson Souza; CARREGOSA, Matheus Felipe dos Santos; SOUZA, Daiane Barbosa; RIBEIRO, Sara Alves; SANTOS, Caio Henrique Almeida Ferreira; MATOS, Joicy Vitoria de; SANTANA, Levy de Matos Souza; SANTOS, Ruan Souza; VASCONCELOS, Lucas Jesus; SANTOS, Edinelson Pereira dos; CARMO, Joádila Pinto França; CARMO, Daniel do Nascimento. *ARM-ALPHA: aumentando a segurança no trânsito da pessoa surda*. In: MOSTRA NACIONAL DE ROBÓTICA – MNR 2022, Anais... Seabra - BA: IFBA, 2022.

SILVA, Akynara A.R.S. *Robótica e educação: Uma possibilidade de inserção socio-digital*. Centro de Ciências Sociais Aplicadas / Programa de Pós-Graduação em Educação, Natal, 2010, p. 16-33. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/items/c96b0a7f-6695-432c-ae-fd-bb5464a1fad9>. Acesso em: 15 jun. 2025.

URBANSOUND8K - Urban Sound Datasets. Disponível em: <https://urbansounddataset.weebly.com/urbansound8k.html>.

Observação: O material multimídia deste trabalho encontra-se disponível em: www.mnr.org.br/mostravirtual.