


TECNOLOGIA RFID UTILIZADA EM PISOS TÁTEIS DE REEE'S PARA AUXÍLIO DA MOBILIDADE DE DEFICIENTES VISUAIS EM AMBIENTES FECHADOS

RFID TECHNOLOGY APPLIED TO E-WASTE TACTILE FLOORING FOR ASSISTING VISUALLY IMPAIRED MOBILITY IN INDOOR ENVIRONMENTS

TECNOLOGÍA RFID UTILIZADA EN SUELOS TÁCTILES RAEE PARA AYUDAR A LA MOVILIDAD DE PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL EN INTERIORES

 <https://doi.org/10.56238/arev7n10-135>

Data de submissão: 15/09/2025

Data de publicação: 15/10/2025

Euslâny Ferreira Ávila de Oliveira

Mestranda em Ciências: Física dos Materiais

Instituição: Universidade Federal de Ouro Preto

E-mail: euslany@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4039449624464322>

Rodrigo Fernando Bianchi

Professor, Doutor

Instituição: Universidade Federal de Ouro Preto

E-mail: bianchi@ufop.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0345-2788>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0576192110271130>

Américo Tristão Bernardes

Professor, Doutor

Instituição: Universidade Federal de Ouro Preto

E-mail: atb@ufop.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1736-7215>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1219153096910234>

RESUMO

O presente trabalho combina sustentabilidade, acessibilidade e tecnologia de forma inovadora, abordando dois desafios contemporâneos: a inclusão de pessoas com deficiência visual e o tratamento adequado de resíduos eletroeletrônicos (REEE). Desenvolvemos um sistema de acessibilidade para pessoas com deficiência visual, composto por piso tátil confeccionado com polímero ABS reciclado, oriundo de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE), e uma bengala eletrônica equipada com leitor RFID. O objetivo do projeto é ampliar a autonomia e segurança do usuário por meio da emissão de mensagens sonoras com informações de localização, lidas a partir de etiquetas RFID embutidas nos pisos. A fim de verificar a usabilidade desse material para o fim proposto, foram realizados ensaios de compressão, abrasão, absorção de água e ataque químico, além de testes de funcionamento do sistema. Os resultados demonstram a viabilidade técnica da proposta, destacando seu potencial de aplicação em ambientes internos públicos. O sistema alia sustentabilidade, inclusão social e inovação tecnológica.

Palavras-chave: Acessibilidade. Deficiente Visual. E-Lixo. Polímero. RFID. Sustentabilidade.

ABSTRACT

This work innovatively combines sustainability, accessibility, and technology to address two contemporary challenges: the inclusion of people with visual impairments and the proper treatment of electronic waste (WEEE, or Waste Electrical and Electronic Equipment). We developed an accessibility system for visually impaired individuals, consisting of: a tactile paving system made from recycled ABS polymer sourced from electronic waste (WEEE); an electronic cane equipped with an RFID reader. The project aims to enhance user autonomy and safety by emitting audio messages with location information, read from RFID tags embedded in the flooring. To verify the material's suitability for this purpose, we conducted compression, abrasion, water absorption, and chemical resistance tests, along with system functionality evaluations. The results demonstrate the technical feasibility of the proposal and highlight its potential for application in public indoor spaces. This system integrates sustainability, social inclusion, and technological innovation, offering a practical and eco-friendly solution for urban accessibility.

Keywords: Accessibility. Visually Impaired. E-Waste. RFID. Sustainability.

RESUMEN

Este proyecto combina sostenibilidad, accesibilidad y tecnología de forma innovadora, abordando dos retos contemporáneos: la inclusión de las personas con discapacidad visual y el tratamiento adecuado de los residuos electrónicos (RAEE). Desarrollamos un sistema de accesibilidad para personas con discapacidad visual, compuesto por un suelo táctil fabricado con polímero ABS reciclado, derivado de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), y un bastón electrónico equipado con un lector RFID. El objetivo del proyecto es aumentar la autonomía y la seguridad del usuario mediante la emisión de mensajes de audio con información de ubicación, leídos desde etiquetas RFID integradas en el suelo. Para verificar la utilidad de este material para el propósito propuesto, se realizaron pruebas de compresión, abrasión, absorción de agua y ataque químico, además de pruebas funcionales del sistema. Los resultados demuestran la viabilidad técnica de la propuesta, destacando su potencial de aplicación en espacios públicos interiores. El sistema combina sostenibilidad, inclusión social e innovación tecnológica.

Palabras clave: Accesibilidad. Personas con Discapacidad Visual. Residuos Electrónicos. Polímero. RFID. Sostenibilidad.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS) [1], a deficiência visual é definida como a perda total ou parcial da visão. O Brasil tem 18,6 milhões de pessoas com deficiência, segundo estimativas feitas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)[2], com base na Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios Contínua (PNAD Contínua) de 2022. Esse número representa 8,9 % de toda a população brasileira a partir de dois anos de idade. Dentre essas deficiências, 3,1 % da população têm dificuldade para enxergar, mesmo usando óculos ou lentes de contato.

O deficiente visual tem que enfrentar diversos desafios como desviar de obstáculos, identificar o que há à frente e as rotas em que necessita ir. Para enfrentar estes desafios, o deficiente visual dispõe principalmente de bengalas para identificar os obstáculos e desníveis dos pisos táteis, sendo esses sem nenhuma interação com o usuário. Uma destas dificuldades é a autonomia ao se locomover e localizar-se, sendo que essa dificuldade torna-se ainda mais acentuada em ambientes fechados (indoor), pois, segundo Radaelli [3], aprender a se orientar na rua é mais fácil do que aprender a andar dentro de um shopping ou de uma universidade.

Buscando a garantia dos direitos fundamentais e relevantes para essa importante parcela da população, surgiram diversas leis, como exemplo a Lei nº 13.146/2015, a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência) [4].

Nesse contexto, percebe-se uma crescente tentativa de melhorar a qualidade de vida das pessoas com deficiência. Os dispositivos eletrônicos modernos fornecem subsídios para alavancar o desenvolvimento de novas soluções alinhadas para diversas aplicações de navegação, destacando-se a orientação/interação de pessoas com deficiência visual (Calvetti, 2008) [5]. A pessoa com deficiência precisa de informações sobre o ambiente no qual ela se encontra. Contudo, pisos táteis oferecem apenas a sinalização de alerta e a sinalização direcional.

A proposta do presente projeto é apoiada em uma Tecnologia Assistiva (TA) que envolve um sistema de navegação *indoor* utilizando a tecnologia de código aberto: Radio Frequency Identification (RFID) [6], com circuito inserido na bengala eletrônica, capaz de codificar as Etiquetas (TAG's) em pisos táteis sustentáveis. A bengala possui um leitor RFID [6], um módulo MP3 e bluetooth que envia as informações de localização ao usuário. Um dos diferenciais desta abordagem é poder operar “off-line”, sem a necessidade de estar em um ambiente sempre conectado à internet, evitando assim interferências das mensagens transmitidas.

A acessibilidade é um direito fundamental assegurado pela legislação brasileira, como o Estatuto da Pessoa com Deficiência (Lei nº 13.146/2015)[4], e visa garantir condições de igualdade no uso de espaços, serviços e meios de comunicação para pessoas com deficiência que mesmo existindo

pisos táteis como ferramenta de orientação, muitos desses dispositivos carecem de recursos tecnológicos que ampliem a autonomia e a segurança do usuário.

O presente trabalho busca aliar a solução proposta para inclusão social a outro grande desafio de desenvolvimento do mundo atual, que envolve o impacto causado pela grande quantidade de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE's).

Segundo dados do Monitoramento Global de Fluxos Transfronteiriços de Resíduos Eletrônicos - 2022, E- Waste - WEEE [7], os relatórios são alarmantes. O Sul global tem sido chamado pela comunidade internacional de cemitério dos produtos de luxo do Norte global, assumindo que a maior parte desse lixo eletrônico não é reciclado - apenas 3%. O Brasil produziu, em 2019, cerca de 2 Mt de resíduo de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE's). A produção deste resíduo é crescente devido à obsolescência e ao rápido avanço tecnológico dos eletrônicos. O propósito do presente projeto é construir um protótipo de um piso tátil sustentável.

Considerando esses cenários, este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de acessibilidade baseado na integração de piso tátil com etiquetas de identificação por radiofrequência (RFID), utilizando como matéria-prima o polímero Acrilo Butadieno Estireno (ABS) reciclado, proveniente de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE) fornecido pelo Centro de Recondicionamento de Computadores (CRC) [8]. Esse sistema é complementado por uma bengala eletrônica equipada com leitor RFID e módulo sonoro, que transmite ao usuário informações de localização de forma auditiva.

Além da proposta de inovação tecnológica e inclusão social, o projeto também aborda a sustentabilidade ambiental, promovendo a reutilização de resíduos eletrônicos. Foram realizados ensaios de caracterização do material (absorção, abrasão, ataque químico e resistência à compressão), bem como testes de desempenho da bengala eletrônica e da comunicação RFID. Os resultados obtidos reforçam o potencial da solução para ambientes internos como escolas, universidades, bibliotecas e instituições públicas, favorecendo a mobilidade segura de deficientes visuais.

2 TECNOLOGIAS ASSISTIVAS PARA APOIO A DEFICIENTES VISUAIS

Acessibilidade é o termo que significa incluir a pessoa com deficiência na participação de atividades cotidianas de serviços e informações, e tem como alguns exemplos os prédios com rampas de acesso para cadeira de rodas, além de superfície tátil para o deficiente visual (BRASIL, 2000) [11]. Muitas vezes, observa-se nos equipamentos públicos, a falta de um planejamento adequado, para que pessoas com quaisquer tipos de deficiências possam sair nas ruas com segurança e autonomia.

A deficiência visual é a perda total ou redução da capacidade visual em ambos os olhos em caráter definitivo, que não pode ser melhorada ou corrigida, quer seja congênita ou adquirida, da visão. De acordo com a Portaria nº 3.128 [9], de 24 de Dezembro de 2008, considera-se pessoa com deficiência visual aquela que apresenta baixa visão ou cegueira.

Utilizada como meio de apoio e para navegação, a bengala é um recurso de orientação e mobilidade para pessoas com deficiência visual, podendo ser classificada por cores distintas de acordo com o Lei nº 14951/2024 [10], que regulamenta em todo o país o uso padronizado da bengala com as cores que convencionalmente têm sido adotadas: bengala branca indica pessoa cega, bengala verde indica pessoa com baixa visão e bengala vermelha, pessoa cega e surda.

O piso tátil é um dos meios para permitir o deslocamento seguro de pessoas com deficiência visual. Ele é definido como um revestimento com texturas, cores e formas em alto-relevo, que auxilia as pessoas com deficiência visual no acesso e locomoção em rotas a serem traçadas. Peças diferenciadas são combinadas com a composição local do piso que se destacam com o objetivo de orientar o caminho (SECCHI; LAURIA; CELLAI, 2016) [12]. A detecção da superfície de pavimentação tátil é muito importante para ajudar na mobilidade de deficientes visuais. São tipicamente conhecidos em dois modelos: o piso tátil de alerta, e o piso tátil direcional. (NBR9050/2020) [13].

A sinalização tátil de alerta consiste em um conjunto de relevos troncocônicos dispostos uniformemente sobre um material com lados iguais. É utilizada para indicar obstáculos à frente, rebaixamentos de calçadas, início e término de escadas fixas, escadas rolantes e rampas, e desníveis. Cada um dos relevos pode ter uma altura mínima e máxima dependendo da aplicação ou finalidade. A distância horizontal entre os centros de relevo e a distância diagonal também são especificados, com valores mínimos e máximos visando isonomia. Já o piso tátil direcional é a sinalização tátil utilizada para indicar a direção de um percurso ou a distribuição espacial dos diferentes elementos de um edifício. Na forma visual indicativa de direção, utilizando recursos como linha guia. A sinalização tátil direcional deve ser utilizada em áreas de circulação indicando o caminho a ser percorrido.

Frequentemente, os pisos táteis utilizados em ambientes *indoor* são feitos de materiais plásticos. Volta-se, portanto, a atenção para a possibilidade de reciclagem de materiais e equipamentos para prover a matéria-prima necessária para a produção desses artefatos.

Os plásticos usualmente utilizados na composição dos equipamentos eletroeletrônicos são: o polipropileno (PP), poliestireno (PS), polietileno (PE), Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno (ABS), poliamida (PA) e o poliuretano (PUR). Em maior percentual estão o PS e ABS, pela resistência e custo dada a aplicação.

O Governo Federal iniciou em 2009 o Programa Computadores para Inclusão, buscando, entre outras ações, formar uma rede de Centros de Recondicionamento de Computadores. O Ministério das Comunicações (MCom) é responsável por esse programa desde 2010.

Essa iniciativa baseia-se na Lei nº 12.305/2010 [14], que estabeleceu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, com objetivo de redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos e, também, no Decreto 10.240/2020 [15], que estabelece normas para a implantação do sistema de logística reversa, que faz o recolhimento e separação desses materiais poliméricos de EEE's, e o tratamento adequado dos eletrônicos que não possuem mais condições de uso (o chamado lixo eletrônico), sendo a última parte de todo o trabalho dos CRCs.

A reciclagem destes resíduos é fundamental para evitar a contaminação ambiental. A gestão adequada dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos é crucial para minimizar os impactos ambientais negativos associados a esses materiais tóxicos e promover uma economia mais circular e sustentável.

Esses resíduos sólidos descartados são coletados pelos CRCs e em seguida catalogados. Os equipamentos são desmontados e suas partes e peças separados por tipos de resíduos, que posteriormente são enviados para reciclagem para serem transformados em nova matéria prima. Uma parte desses materiais são transformados em filamentos de ABS para uso em impressora 3D, sendo a matéria prima utilizada para a confecção do protótipo do piso tátil desse projeto.

Posteriormente, o Programa Computadores para Inclusão foi instituído por força da Lei 14.479/22 [16], que “institui a Política Nacional de Desfazimento e Recondicionamento de Equipamentos.

Os recursos de Tecnologias Assistivas disponíveis para garantir à pessoa com deficiência igualdade de oportunidades diante dos desafios da vida, têm sua base estabelecida na Lei Brasileira de Inclusão, 13.146 de julho de 2015 [6], “destinada a assegurar e a promover, em condições de igualdade, o exercício dos direitos e das liberdades fundamentais por pessoa com deficiência, visando à sua inclusão social e cidadania.”

A lei considera “pessoa com deficiência aquela que tem impedimento de longo prazo de natureza física, mental, intelectual ou sensorial, o qual, em interação com uma ou mais barreiras, pode obstruir sua participação plena e efetiva na sociedade em igualdade de condições com as demais pessoas.”

A tecnologia RFID vem sendo estudada como uma ferramenta imprescindível para acessibilidade, uma tecnologia assistiva eficaz para apoiar serviços voltados às pessoas com deficiência, visando proporcionar a elas autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social.

Diversos usos de RFID para suporte às pessoas com deficiência podem ser encontrados na literatura. Esses diversos sistemas utilizam etiquetas colocadas no ambiente e que podem ser lidas por leitores adequados. As informações são transmitidas por meio de comunicação Bluetooth ou via celular, como é o caso de sistema desenvolvido na Universidade de Ciência e Tecnologia da China (BIN et al, 2007) [17]. Um celular possui um aplicativo desenvolvido especificamente para ele. O aplicativo transforma os códigos das etiquetas em informações audíveis, repassadas ao deficiente pelo fone de ouvido conectado ao celular.

Outro projeto de tecnologia assistiva para deficientes visuais foi desenvolvido por um grupo de pesquisadores da Universidade de Roma (D'ATRI et al, 2007)[18]. Os autores do trabalho instalaram diversas etiquetas de RFID pelo trajeto, de forma a mapear o percurso e fornecer informações sobre mudanças de rota e obstáculos como desníveis ou escadas. Já Teixeira (2010) [19] busca cobrir tanto ambientes *indoor*, quanto ambientes *outdoor*, no entanto, não aborda detalhes quanto a navegação e como ela deve ocorrer.

Na Universidade da Flórida, EUA, um grupo de pesquisadores propôs um sistema de etiquetas de alta frequência instaladas sob o pavimento das salas, corredores e passeios dos edifícios (FARIA et al, 2010) [20]. Estas etiquetas contêm informação sobre a latitude e longitude referente àquele local, não sendo necessária uma base de dados ou acesso a um servidor remoto.

Já um grupo de pesquisadores da Universidade de Minnesota desenvolveu um dispositivo que identifica o destino a partir de um sinal de infravermelho (LEGGE et al, 2013) [21]. O dispositivo consiste na integração entre hardware e software, com a finalidade de interpretar sinais codificados digitalmente em formato de imagem de infravermelho, amplamente distribuídos por todo edifício. O leitor de sinal portátil é baseado em uma câmera infravermelha. A premissa de se alinhar o leitor com o sinal em infravermelho, proveniente da imagem, traz ao deficiente visual a necessidade em ter um treinamento adequado para a utilização do leitor e padronização do local e altura onde a imagem será fixada.

Um projeto desenvolvido por pesquisadores e engenheiros da Universidade da Malásia (ANUAR et al, 2013) [22], segue as premissas de interação entre o piso tátil e o deficiente visual. O dispositivo desenvolvido utiliza um Arduino como microcontrolador e um circuito integrado para sintetizar a voz e criar a interface entre o utilizador e o equipamento. As etiquetas instaladas no piso informam ao sistema a posição ponto a ponto do usuário, o circuito traz informação ao usuário com frases como “siga em frente”, “vire à direita”, “vire à esquerda”. A aplicação possui a limitação de fornecer apenas informações de deslocamento.

Outro projeto é desenvolvido pela RFID Centre, um laboratório de pesquisa voltado unicamente ao desenvolvimento e aperfeiçoamento da tecnologia RFID (RFID CENTRE, 2014) [6]. O sistema desenvolvido pelo laboratório foi intitulado de TAGMOBILE, este sistema tem como função a localização e monitoramento das etiquetas RFID associadas a objetos e pessoas. O sistema, por meios de leitores instalados em cada ambiente de um edifício, cria uma triangulação que permite identificar as etiquetas. Diferente dos outros sistemas, o TAGMOBILE consiste em leitores fixos, o que se deslocam as etiquetas que devem estar junto ao usuário.

Por último, no projeto de Meireles (2015) [23] é proposto o desenvolvimento de um sistema responsável pelo apoio à orientação/navegação do deficiente visual gerando avisos sobre o mundo que o rodeia.

Uma revisão dos trabalhos mais recentes e dos novos desafios sobre o problema podem ser encontrados em Khan e colaboradores (2022) [24].

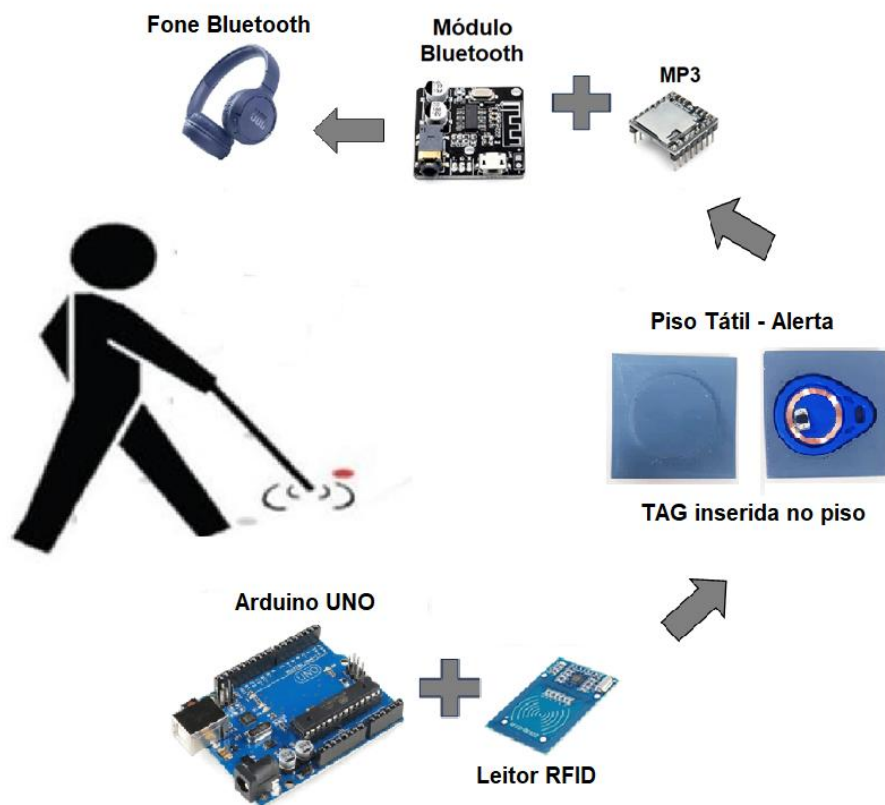
3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho teve caráter experimental e exploratório, envolvendo o desenvolvimento de um sistema físico-eletrônico composto por piso tátil inteligente fabricado com material reciclado e por uma bengala eletrônica com sistema de leitura de etiquetas RFID. As etapas metodológicas englobaram a seleção e tratamento dos materiais, modelagem e fabricação de protótipos, montagem eletrônica e realização de ensaios laboratoriais.

A **Figura 1** ilustra a proposta de desenvolvimento de uma Tecnologia Assistiva (TA) da bengala eletrônica, contendo um circuito com microprocessador que estará com o deficiente visual. Essa bengala comunicará com o piso tátil de alerta sustentável constituído por material polimérico de REEE's. Em sua maior parte de - Acrilo Butadieno Estireno (ABS) fornecido pelo Centro de Recondicionamento de Computadores (CRC). Gama-DF

O deficiente visual aproxima a bengala no piso que terá TAG's de RFID com a codificação prévia de informações básicas de pontos de interesse. Essas informações de localização serão repassadas ao usuário por mensagem sonora no fone de ouvido.

Figura 1- Esquema de comunicação entre bengala inteligente e o piso tátil de REEE.



Fonte: Autores.

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Polímero de Ree (ABS)

O polímero utilizado foi o ABS, obtido a partir da trituração de carcaças de monitores, teclados e gabinetes de computadores descartados. Os resíduos foram fornecidos por um Centro de Recondicionamento de Computadores (CRC).

O ABS foi processado por extrusora termoplástica e transformado em filamento com diâmetro de 1,75 mm, adequado para impressão 3D.

3.1.2 Componentes Eletrônicos

Os principais componentes da bengala eletrônica foram:

- **Arduino UNO R3** – Microcontrolador responsável pelo controle do sistema;
- **Leitor RFID RC522** – Dispositivo que realiza a leitura das TAGs instaladas no piso;
- **TAGs RFID** passivas (13,56 MHz) – Embutidas nos pisos, contendo os códigos com informações de localização;
- **Módulo DFPlayer Mini MP3** – Responsável pela reprodução de mensagens sonoras;
- **Módulo Bluetooth HC-05** – Para comunicação com fones de ouvido sem fio;

- **Bateria recarregável 9V** – Fonte de alimentação da bengala;
- **Fone de ouvido sem fio** – Para a audição das informações emitidas.

O circuito foi montado inicialmente em uma protoboard e posteriormente fixado no interior da bengala.

3.1.3 Software

A programação foi realizada na plataforma **Arduino IDE**, utilizando bibliotecas específicas para RFID (MFRC522), reprodução de áudio (DFPlayer_Mini_Mp3) e comunicação bluetooth.

3.2 FABRICAÇÃO DO PISO TÁTIL

A modelagem do piso foi realizada em formato STL. A impressão 3D foi feita em uma impressora FDM com bico de 0,4 mm, temperatura do bico de 200 °C e da mesa de 50 °C.

O protótipo foi impresso projetado com rebaixos internos para o encaixe das TAGs RFID, protegidas com tampa plástica. O design seguiu os padrões dimensionais da NBR 9050 [13] para pisos táteis de alerta e direcionais. O processo utilizado para a produção do protótipo no presente trabalho seguiu as seguintes etapas:

- **Etapas 1** - O CRC em parceria com o Ministério das Comunicações, realiza a coleta e recolhimento de REEE provenientes de E-lixo. Esses materiais são classificados por seu tipo polimérico.
- **Etapas 2** - Após a separação do E-lixo da Etapa 1, os resíduos são triturados/moídos e colocados separados em bags para um novo destino desse material, contribuindo com a economia reversa e a Lei de Resíduos Sólidos [14]. O material dessa imagem especificamente é o polímero ABS.
- **Etapas 3** - Os grânulos de plástico reciclado foram utilizados na produção de pisos táteis. Pode utilizar processos de moldagem por injeção ou extrusão para criar o piso. Com o resíduo de ABS triturado da Etapa 2, dentro de uma das finalidades desse material, é feito um filamento utilizado em impressora 3D Creality Ender [25], fornecido para esse projeto para ser a matéria prima sustentável do piso tátil.
- **Etapas 4** - O Protótipo do piso tátil sustentável foi confeccionado em impressora 3D Creality Ender-7, no laboratório técnico do departamento de Física do ICEB da UFOP com o filamento de ABS da Etapa 3, fornecido pelo CRC. A **Figura 2**. Ilustra a proposta de desenvolvimento do piso tátil de material reciclado, reaproveitado de REEE.

Figura 2: Etapas para obtenção do piso tátil.



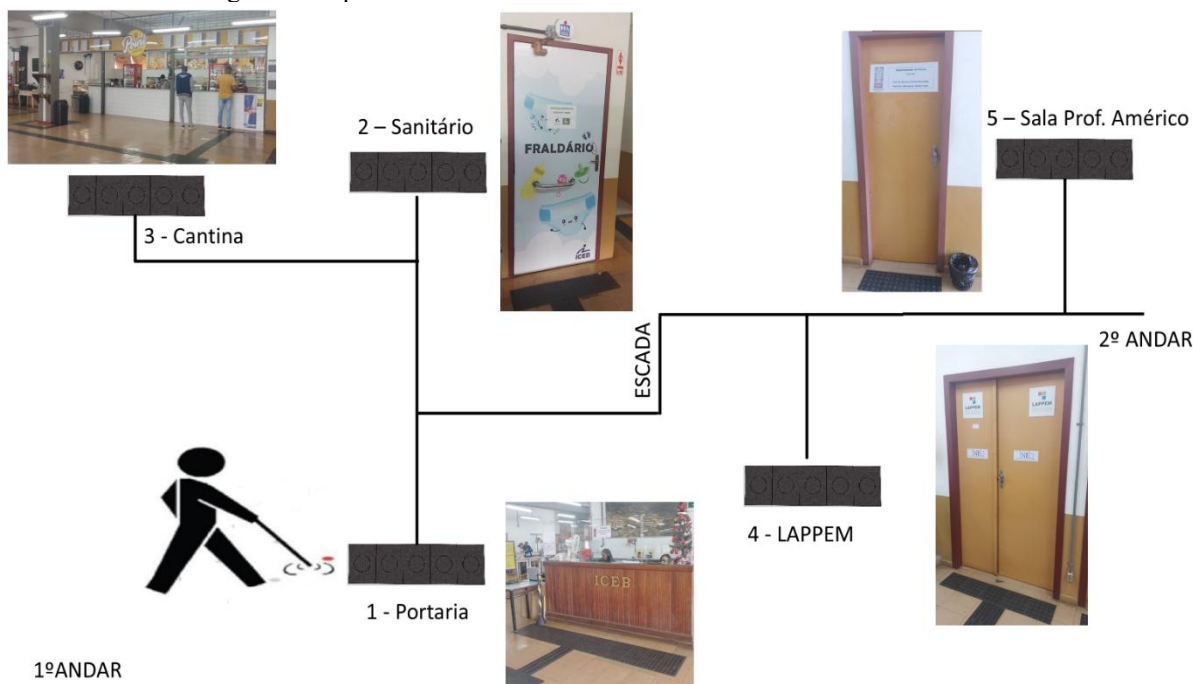
Fonte: Autores.

3.3 CONSTRUÇÃO DA BENGALA ELETRÔNICA

Nesse estudo, a bengala, ainda como protótipo e no caráter de prova de conceito, trará os componentes eletrônicos em sua parte externa. O leitor RFID foi instalado na extremidade inferior da bengala, voltado para o piso. A ativação do sistema ocorre quando encontra o relevo do piso com a TAG codificada com pontos estratégicos. Conforme demonstrado na **Figura 3**, foram utilizados como pontos de testes alguns escolhidos no Instituto de Ciências Exatas e Biológicas (ICEB) da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

As TAGs RFID instaladas no piso possuem códigos únicos associados a mensagens de áudio gravadas previamente no cartão microSD do módulo MP3. Quando a bengala se aproxima da TAG, o leitor envia o código para o Arduino, que aciona a reprodução da mensagem correspondente e envia no fone de ouvido do usuário por Bluetooth.

Figura 3: Esquema de funcionamento do Sistema no ICEB - 1º e 2º andar.



Fonte: Autores

3.4 ENSAIOS E TESTES

Com a finalidade de avaliar as características do material e das TAG's criadas, a fim de analisar sua resistência mecânica (dado que esse material será submetido a esforços derivados de pisoteamento ou outros stresses de carga), bem como sua resistência à agressão química (dado que esse material será limpo periodicamente utilizando-se substâncias químicas como detergentes e sanitizantes), foram realizados os seguintes ensaios:

- **Ensaio de Compressão** – Segundo ASTM D695 [26], para verificar a resistência mecânica do piso;
- **Teste de Absorção de Água** – Conforme ASTM D570 [27], com imersão por 24 horas;
- **Ensaio de Abrasão** – Baseado na ASTM G65 [28], para simular o desgaste por uso;
- **Ataque Químico** – Seguindo ASTM D543 [29], com exposição a soluções de hipoclorito de sódio (2%), cera líquida e detergente neutro por 7 dias;
- **Teste de Funcionamento do Sistema RFID** – Realizado, com uso do protótipo do piso e circuito da bengala eletrônica, ao aproximar o leitor RFID e obter a informação de localização codificada, sem interferências.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A proposta deste trabalho envolveu não apenas a concepção e fabricação de um piso tátil com tecnologia RFID, mas também a avaliação experimental da viabilidade técnica dos materiais e da funcionalidade do sistema eletrônico assistivo. Os ensaios realizados permitiram uma análise detalhada da resistência mecânica, durabilidade, resistência química e eficácia de leitura RFID. A seguir, os principais resultados são apresentados.

4.1 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

O ensaio de compressão foi realizado conforme a norma ASTM D695 [26], utilizando corpos de prova cilíndricos impressos com o mesmo filamento reciclado usado no piso. Os resultados apontaram uma resistência média à compressão de 40 MPa, de acordo com dados coletados e fornecidos por GABRIEL (2020)[30], valor considerado adequado para aplicações em ambientes internos com tráfego leve a moderado, como corredores, salas de aula e recepções.

Este resultado demonstra que o ABS reciclado, mesmo após reprocessamento, manteve propriedades estruturais compatíveis com as exigências do uso como piso modular.

4.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA

A absorção de água foi avaliada pela norma ASTM D570 [27], submetendo os corpos de prova a imersão em água a 23 °C por 24 horas. A variação de massa registrada foi de 1,2 %, indicando que o material possui características hidrofóbicas, o que o torna apropriado para locais sujeitos à umidade ambiental, desde que não empoçados.

4.3 ENSAIO DE ABRASÃO

O ensaio de abrasão, realizado de forma adaptada segundo GABRIEL (2020) [30], consistiu em atritar repetidamente um corpo de borracha sobre o piso sob carga leve, simulando o movimento de pessoas com bengala ou calçados. Os resultados indicaram baixo desgaste superficial, confirmando a durabilidade do piso para uso prolongado em ambientes internos.

4.4 ATAQUE QUÍMICO

Para verificar a resistência do material à ação de produtos de limpeza comuns, foram aplicadas soluções de hipoclorito de sódio a 2 %, cera líquida e detergente neutro sobre o piso por um período de 7 dias, conforme a norma ASTM D543 [29]. Não foram observadas alterações de cor, textura ou perda de massa, evidenciando a resistência química do ABS reciclado à agentes de limpeza doméstica.

4.5 TESTE DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA RFID

Os testes de campo com o sistema RFID foram realizados em um ambiente simulado, com instalação de cinco pisos contendo TAGs em sequência. A bengala eletrônica, ao passar sobre cada piso, foi capaz de realizar a leitura da TAG e emitir a mensagem de áudio correspondente com tempo médio de resposta inferior a 1 segundo.

A taxa de leitura bem-sucedida foi de 98% em distâncias de até 2 cm entre o leitor e a TAG, com variações aceitáveis conforme o ângulo de aproximação. O uso de fones de ouvido garantiu discrição e clareza na comunicação.

Tabela 1 – Resultados dos Ensaios

Ensaio	Norma Técnica	Resultado Obtido	Conclusão Técnica
Compressão	ASTM D695	40 MPa	Resistência adequada
Absorção de água	ASTM D570	1,2 %	Material hidrofóbico
Abrasão	ASTM G65	Baixo desgaste	Alta durabilidade
Ataque químico	ASTM D543	Sem alteração visível	Boa resistência química
Leitura RFID	-	98 % de leituras bem-sucedidas	Alta eficiência funcional

Fonte: Autores.

4.6 ANÁLISE

Os resultados obtidos demonstram a viabilidade técnica do sistema proposto, tanto em relação à estrutura física do piso quanto ao desempenho eletrônico da bengala. A combinação de ABS reciclado com RFID proporcionou uma tecnologia econômica e ecologicamente correta e de baixo custo, com o tempo de resposta ágil e a leitura precisa das TAGs indicam que o sistema pode ser facilmente escalado para aplicação em instituições públicas e privadas.

Além disso, a proposta se destaca por sua aplicação inclusiva e sustentável, promovendo a reutilização de resíduos eletrônicos, o que contribui para a redução do impacto ambiental e estimula práticas de economia circular.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho demonstrou a viabilidade do desenvolvimento de uma Tecnologia Assistiva (TA) O piso de polímero ABS de REEE possui capacidade de suportar exposição química enquanto preserva sua resistência mecânica o torna uma opção viável para reutilização em diversas aplicações, especialmente no desenvolvimento da sustentabilidade é uma prioridade para redução de resíduos e

redução do impacto ambiental, promovendo uma abordagem mais sustentável no tratamento de resíduos eletrônicos alinhando-se à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

O piso tátil sustentável combinado com a bengala eletrônica representa um marco na integração de tecnologia de sustentabilidade e acessibilidade.

Os testes realizados confirmaram que o material reciclado apresenta resistência mecânica, durabilidade e resistência química compatíveis com os requisitos para uso interno comparado com as características e propriedades dos polímeros de acordo com CALLISTER (2008)[30].

A integração da tecnologia RFID permitiu expandir as funcionalidades do piso tátil tradicional, proporcionando ao usuário informações adicionais de forma sonora e personalizada. A bengala eletrônica, por sua vez, apresentou desempenho eficiente, com leitura precisa das TAGs e comunicação clara com o usuário.

O uso do ABS reciclado permite um custo extremamente acessível, tornando o piso tátil mais viável economicamente em comparação com alternativas tradicionais. Essa iniciativa incentiva a economia circular ao transformar resíduos em recursos valiosos para novas aplicações, diminuindo a necessidade de extração de matérias-primas virgens e reduzindo a pegada ambiental associada à produção industrial.

O piso tátil não apenas melhora a mobilidade e a segurança de pessoas com deficiência visual, mas também promove a gestão responsável de resíduos sólidos e a economia circular. Ao combinar inovação, baixo custo e alinhamento com as metas globais de desenvolvimento sustentável, este projeto reforça que é possível transformar desafios ambientais e sociais em oportunidades para criar um futuro mais inclusivo, ecológico e economicamente viável. Portanto a bengala eletrônica apresenta-se como uma solução inovadora e eficiente, ampliando a acessibilidade e a independência dos deficientes visuais

O projeto destaca-se por seu baixo custo de produção, reprodutibilidade e potencial de aplicação em ambientes públicos e educacionais. Além disso, representa uma importante contribuição para a conscientização quanto à reutilização de resíduos eletrônicos, promovendo a economia circular e práticas sustentáveis.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração de Thiago Silva pelo apoio na impressão das TAGs e a Rodolfo Leocádio pelo apoio na configuração do Arduino. Euslâny Ferreira Ávila de Oliveira agradece pela

Bolsa de Mestrado recebida da CAPES, no âmbito do PPG em Ciências: Física dos Materiais. Este projeto é parcialmente financiado por Fapemig, CNPq e CAPES.

REFERÊNCIAS

- [1] BRASIL. Ministério da Saúde. OMS alerta sobre quantidade de pessoas com a visão prejudicada. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/noticias/2023/fevereiro/oms-alerta-que-285-milhoes-de-pessoas-no-mundo-tem-a-visao-prejudicada>. Acesso em: 13 mar. 2023.
- [2] IBGE. Censo 2010 – Pessoas com Deficiência. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/20551-pessoas-com-deficiencia.html>. Acesso em: 22 fev. 2024.
- [3] RADAELLI, Lucas. Sistemas de navegação indoor para cegos. 2017. Disponível em: <http://www.saudevisual.com.br/pessoas/visao-de-lucas/1749-indoor>. Acesso em: ago. 2022.
- [4] BRASIL. Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015. Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência). Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/113146.htm. Acesso em: 2 dez. 2022.
- [5] CALVETTI, Patrick Ücker; SILVEIRA, Milene Selbach. Considerações sobre apresentação de informações de contexto em interfaces com o usuário. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE FATORES HUMANOS EM SISTEMAS COMPUTACIONAIS (IHC), 8., 2008, Porto Alegre. Anais[...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2008. p. 80-87.
- [6] RFID CENTRE INDOOR RFID TRACKING. Disponível em: http://rfidc.com/docs/indoor_rfid_tracking.htm. Acesso em: 20 nov. 2021.
- [7] E-Waste - WEEE Arquivo de The Global E-Waste Monitor. Disponível em: <https://greeneletron.org.br/blog/tag/the-global-e-waste-monitor/>. Acesso em: 2 jan. 2023.
- [8] CRC – Centro de Recondicionamento de Computadores – Programando o Futuro. Disponível em: <https://www.programandoofuturo.org.br/polo-de-economia-circular/>. Acesso em: jun. 2022.
- [9] BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 3.128, de 24 de dezembro de 2008. Redes Estaduais de Atenção à Pessoa com Deficiência Visual. Brasília, 2008. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2008/prt3128_24_12_2008.html. Acesso em: dez. 2022.
- [10] BRASIL. Lei nº 14.951, de 12 de janeiro de 2024. Dispõe sobre a coloração da bengala para identificação de pessoas com deficiência visual. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/L14951.htm. Acesso em: 2 jan. 2023.
- [11] BRASIL. Lei nº 10.098, de 19 de dezembro de 2000. Estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas com deficiência ou com mobilidade reduzida. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/110098.htm.
- [12] SECCHI, S.; LAURIA, A.; CELLAI, G. Acoustic wayfinding: A method to measure the acoustic contrast of different paving materials for blind people. *Applied Ergonomics*, v. 58, p. 435–445, 2017.

- [13] ABNT. NBR 9050:2020. Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Disponível em: https://www.caurn.gov.br/wp-content/uploads/2020/08/ABNT-NBR-9050-15-Acessibilidade-emenda-1_-03-08-2020.pdf. Acesso em: jun. 2022.
- [14] BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: jun. 2022.
- [15] BRASIL. Decreto nº 10.240, de 12 de fevereiro de 2020. Regulamenta o sistema de logística reversa de resíduos eletroeletrônicos. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Decreto/D10240.htm. Acesso em: jan. 2022.
- [16] BRASIL. Lei nº 14.479, de 1º de setembro de 2022. Institui a Política Nacional de Desfazimento e Recondicionamento de Equipamentos Eletroeletrônicos. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/Lei/L14479.htm. Acesso em: jan. 2023.
- [17] BIN, D.; HAITAO, Y.; LI, J.; XIAONING, Z. The Research on Blind Navigation System Based on RFID. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON WIRELESS COMMUNICATIONS, NETWORKING AND MOBILE COMPUTING (WiCom), 2007. Proceedings[...]. IEEE, 2007.
- [18] D'ATRI, E.; CARLO, M. M.; EMANUELE, P.; D'ATRI, A. A system to aid blind people in the mobility: A usability test and its results. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS, 2., 2007. Proceedings[...]. 2007.
- [19] TEIXEIRA, Vitor Manuel Martinho. Sistema de localização híbrido para apoio à navegação de cegos no Campus Utad. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal, 2010.
- [20] FARIA, J.; LOPES, S.; FERNANDES, H.; MARTINS, P. Electronic white cane for blind people navigation assistance. In: WORLD AUTOMATION CONGRESS, 2010. Proceedings[...]. 2010. p. 1-7.
- [21] LEGGE, G. E.; BECKMANN, P. J.; TJAN, B. S.; HAVEY, G. Indoor Navigation by People with Visual Impairment Using a Digital Sign System. PLoS ONE, v. 8, n. 10, 2013. DOI: 10.1371/journal.pone.0076783.
- [22] ANUAR, M. K.; AHMAD, Z. S.; CHAN, X. Z.; TAKASHI, Y. Exploratory Study on Navigation System for Visually Impaired Person. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, v. 7, n. 14, p. 211-217, dez. 2013.
- [23] MEIRELES, Artur Manuel Guedes. Auxílio na Orientação de Invisuais Usando a Tecnologia RFID. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal, 2015.
- [24] KHAN, D., CHENG, Z., UCHIYAMA, H., ALI, S., ASSHAD, M., KIYOKAWA, K., Recent advances in vision-based indoor navigation: A systematic literature review, Computers & Graphics, v. 104, p. 24-45, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2022.03.005>.

[25] IMPRESSORA 3D ENDER-7. Disponível em: <https://3dfila.com.br/produto/impressora-3d-ender-7/>. Acesso em: dez. 2023.

[26] ASTM INTERNATIONAL. ASTM D695-15: Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics. West Conshohocken, 2015.

[27] ASTM INTERNATIONAL. ASTM D570-98: Standard Test Method for Water Absorption of Plastics. West Conshohocken, 2010.

[28] ASTM INTERNATIONAL. ASTM G65-16: Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus. West Conshohocken, 2016.

[29] ASTM INTERNATIONAL. ASTM D543-21: Standard Practices for Evaluating the Resistance of Plastics to Chemical Reagents. West Conshohocken, 2021. Disponível em: <https://www.astm.org/d0543-21.html>. Acesso em: jul. 2023.

[30] GABRIEL, Luiz Tadeu. Caracterização de bloco intertravado manufaturado a partir de resíduo de eletroeletrônicos com análise dos procedimentos e metodologia metrológica dos ensaios. Ouro Preto: [s.n.], 2020.

[31] CALLISTER, William D. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.