

DETECÇÃO DE CHUMBO ATRAVÉS DA COLORIMETRIA COM O AUXÍLIO DO ESP32

Ana Carolina de Lima Angelo

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP),
Cubatão, SP, Brasil.

Anderson dos Santos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP),
Cubatão, SP, Brasil.

Marly Nascimento Salles Passos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP),
Cubatão, SP, Brasil.

Ana Paula Fonseca dos Santos Nedochetko

Professora Titular Doutora em Engenharia, Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), Cubatão, SP, Brasil.

Resumo: O chumbo (*Pb*) é uma das maiores fontes de intoxicação por minérios na atualidade, podendo contaminar o solo, a água e o ar, além de ocasionar diversos riscos à saúde. A necessidade da detecção deste metal em conjunto ao crescente avanço tecnológico é essencial para encontrar uma solução viável para a contaminação por chumbo. Nesse projeto foram verificados meios para detecção de chumbo na água, baseando-se na técnica de colorimetria, utilizando o *kit* de teste de água da Varify. As fitas disponíveis no *kit* mudam de cor conforme a presença ou ausência de chumbo. Um sensor de cor é conectado ao ESP32, possibilitando assim avisar o usuário quanto à presença ou não de chumbo. Foi desenvolvido um aplicativo cuja integração com o sensor de cor TCS34725, por meio do ESP32 através de IoT, possibilitou a detecção de chumbo. Desta forma, o usuário pode ser conscientizado a respeito dos malefícios deste metal e do seu descarte apropriado.

Palavras chaves: Intoxicação. Saúde. *Kit* Varify. Sensor de cor. IoT.

Abstract: Lead (*Pb*) is one of the major sources of mineral poisoning today, capable of contaminating soil, water, and air, posing various health risks. Aligning

the need for the detection of this metal with the ongoing technological advancements is essential to find a viable solution to lead contamination. In this project, methods for lead detection in water were explored, based on the colorimetry technique, using the Varify water testing kit. The strips available in the kit change color depending on the presence or absence of lead. A color sensor is connected to the ESP32, thus enabling it to alert the user about the presence or absence of lead. An application was developed, and its integration with the TCS34725 color sensor, through ESP32 using IoT, allowed for lead detection. This way, users can become aware of the harmful effects of this metal and its proper disposal.

Key words: Intoxication. Health. Kit Varify. Color Sensor. IoT.

INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos perigosos é uma preocupação fundamental, com implicações significativas para a saúde e o ambiente (Figueirêdo, 2021). O chumbo, devido à sua toxicidade e aos desafios na descontaminação em larga escala, que envolvem elevados custos e baixa eficiência operacional, exige abordagens específicas (Tomasella, 2015).

A falta de conscientização do público acerca dos produtos que contêm chumbo tem contribuído para a contaminação do solo e da água, evidenciado em tragédias como o *Love Canal* e incidentes no Brasil (Magna, 2014).

Em consonância com a Agenda Internacional 2030 das Nações Unidas, é imperativo promover a conscientização sobre o uso responsável de recursos naturais, com foco especial no chumbo, enquanto se incentiva o desenvolvimento de dispositivos de detecção (ONU, 2015).

Portanto, é essencial implementar um meio que informe a população sobre a presença do chumbo e promova a conscientização sobre sua correta disposição. De acordo com a Agenda Internacional 2030, que exorta a adoção global de uma abordagem responsável e sustentável na utilização de recursos naturais, a reflexão sobre o uso indiscriminado do chumbo adquire uma relevância inegável.

Assim, é fundamental fomentar de maneira ativa o desenvolvimento de meios que simplifiquem a detecção desse metal.

Objetivos

Este projeto almeja a concepção de meios para a detecção do chumbo, fazendo uso de técnicas como a colorimetria e sensores elétricos. Como objetivos específicos, destacam-se a elaboração de um aplicativo voltado à conscientização sobre as propriedades nocivas do chumbo e seu descarte apropriado, a fabricação de um protótipo de detecção de chumbo de acesso facilitado, a automatização de um dispositivo destinado a alertar o usuário e instruí-lo sobre o correto manejo do chumbo, bem como a avaliação da viabilidade de reprodução de um sensor de detecção desse metal.

Justificativa

O chumbo (Pb) é uma fonte grave de intoxicação ambiental, prejudicando a saúde com sintomas como dores abdominais e danos neurológicos, especialmente em crianças (Rodrigues, 2014). Em altas doses, causa envenenamento agudo com riscos à vida (Abushady, 2016). Além disso, é considerada a segunda substância mais perigosa pela Agência para Registro de Substâncias Tóxicas e Doenças, devido à sua alta toxicidade e presença comum em áreas contaminadas (Magna, 2014). Portanto, é crucial desenvolver meios de detecção para alertar sobre a presença de chumbo.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

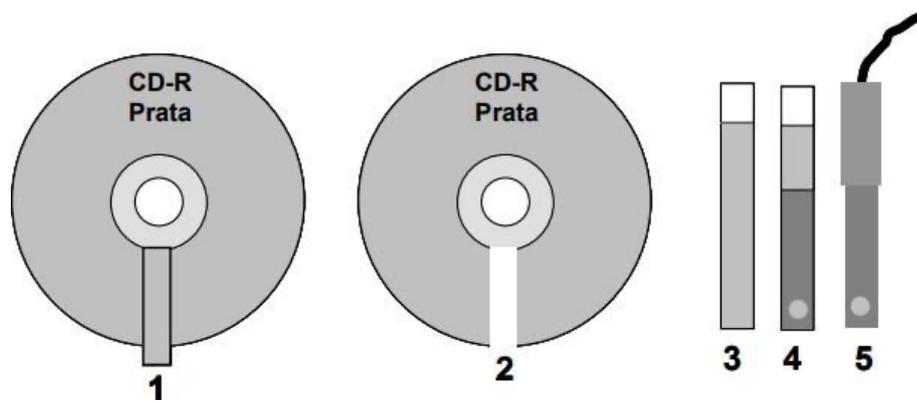
O Ministério da Saúde e o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) estabeleceram um limite máximo de 0,015 mg/L para o chumbo em águas salinas, alinhando-se com as diretrizes da OMS (Organização Mundial da Saúde) e da EPA (agência ambiental americana) (CONAMA, 1986; EPA, 2021).

Desenvolvimento de Novos Sensores a Partir de *CD-Rs*

Richter (2004) desenvolveu sensores de ouro e prata a partir de *CD-Rs* para monitorar metais pesados em águas de chuva, incluindo a represa Guarapiranga e afluentes. Os sensores de prata mostraram características semelhantes aos eletrodos de mercúrio, tradicionalmente usados na detecção de chumbo, mas menos tóxicos. Apesar do alto custo dos equipamentos inicialmente usados, esses sensores provaram ser eficazes para diagnosticar a presença de chumbo na água, de acordo com as normas brasileiras ($20 \mu\text{g/L}$ para Pb^{2+}), destacando-se como excelentes detectores.

Tais etapas são ilustradas na figura 1. A primeira retrata a colagem da lâmina de policarbonato sobre o *CD-R*; a segunda, o *CD-R* sem a lâmina; a terceira, a lâmina de policarbonato com o filme de prata; a quarta, o eletrodo com a resina à base de nitrocelulose e a quinta já contendo o contato elétrico (Richter, 2004).

Figura 1 – Etapas envolvidas na construção do *CDtrodo* de prata



Fonte: Richter (2004)

Colorimetria

É um método amplamente utilizado em química analítica para detecção de substâncias, usando características específicas das cores para avaliar a presença de certos elementos, após reações químicas.

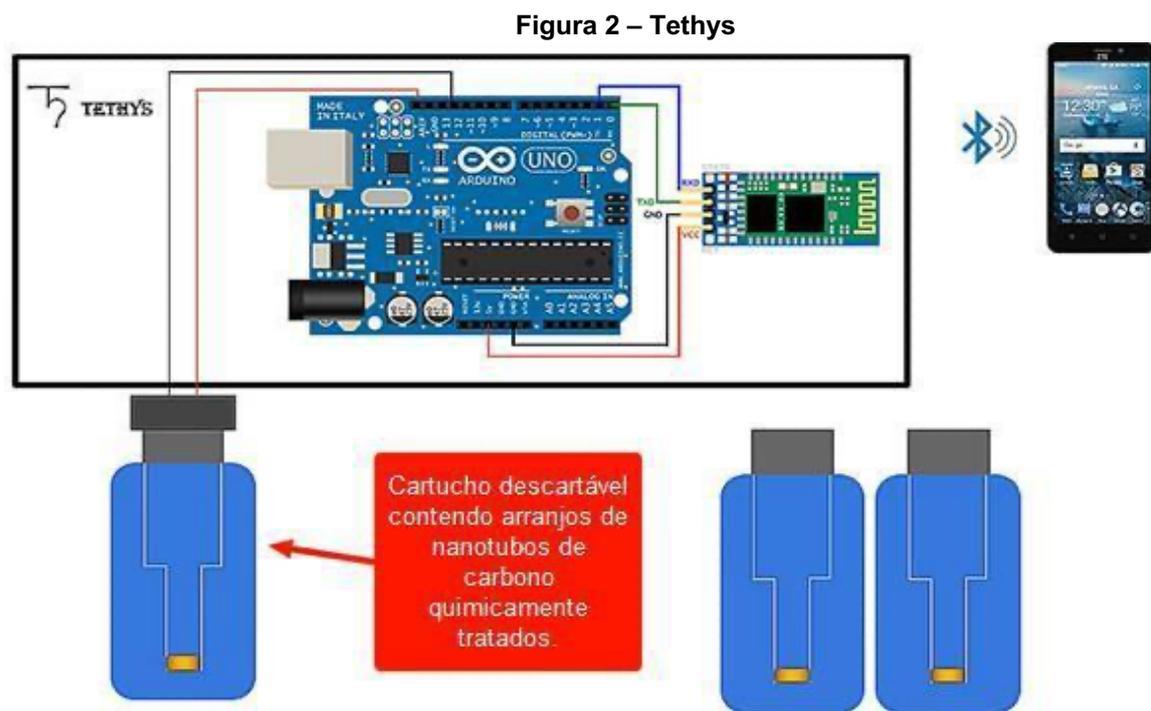
Alguns testes usando tiras binárias e outros colorimétricos em frascos, ambos mostraram promessa ao detectar concentrações de chumbo acima de 15

$\mu\text{g/L}$, especialmente quando substâncias ácidas caseiras, como suco de limão e vinagre, foram usadas para dissolver o chumbo particulado (Kriss et al, 2021).

Existem *kits* de detecção por colorimetria utilizando tiras de cores, que podem ser facilmente encontrados para venda *online* em sites como *Amazon*.

Detector de Chumbo na água de Gitanjali Rao

Gitanjali Rao foi laureada com a *Discovery Education 3M Young Scientist Challenge* por sua criação, o dispositivo "Tethys" da figura 2, um sensor de chumbo na água. Esse sensor, fundamentado em nanotubos de carbono tratados para afinidade com o chumbo, é altamente sensível a alterações no fluxo de corrente, com resultados apresentados em tempo real por meio de um aplicativo no *smartphone* do usuário (Estadão Conteúdo, 2017).



Fonte: Angelo, Santos, Passos (2022)

Arduino

O Arduino é uma plataforma de código aberto que permite a prototipagem eletrônica de diversos projetos. Ele consiste em uma placa única que reúne todos os componentes necessários para seu funcionamento. Desenvolvido para ser acessível e de baixo custo, o Arduino atende às necessidades de estudantes e entusiastas que desejam criar protótipos. A placa suporta a adição de sensores e módulos, oferecendo versatilidade para uma ampla variedade de projetos. O Arduino utiliza uma *Integrated Development Environment* (IDE) que se baseia na linguagem de programação orientada a objetos C++ para desenvolver o *software* que controla as ações da placa. Essa combinação de *hardware* e *software* torna o Arduino uma ferramenta poderosa para automação e controle de projetos (Arduino, 2022).

ESP32

O ESP32 é um dispositivo *Internet of Things* (Internet das coisas – IoT) com suporte *Wireless Field* (área sem fio – WiFi) e *Bluetooth* integrado, memória *flash*, baixo consumo de energia e capacidade de programação independente. Sua versatilidade o torna adequado para diversos projetos, e ele pode ser programado usando a IDE do Arduino. No contexto do trabalho, o ESP32 foi escolhido devido à sua independência de outras placas, suporte a *Wifi*, *Bluetooth* e interface *Inter-Integrated Circuit* (I2C) para conexão com sensores de cor (NXP Semiconductors, 2021).

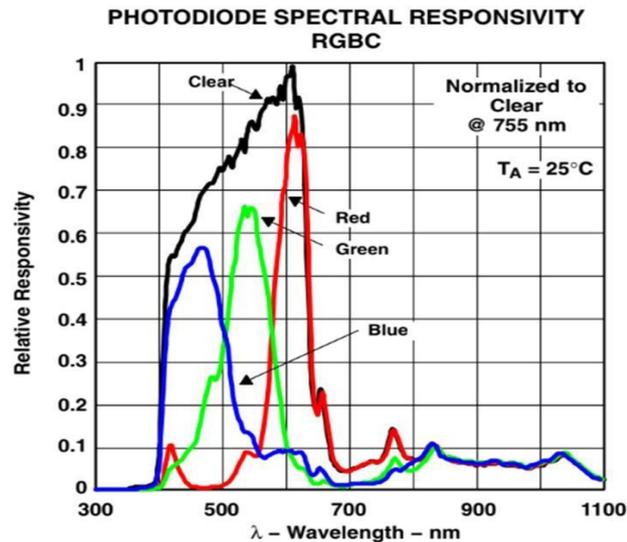
Sensor de Cor

O TCS34725 é um sensor com fotodiodos *red*, *green*, *blue* (ou seja, vermelho, verde e azul - *RGB*) e um fotodiodo *clear* (“claro”) para o branco, todos eles com filtro de infravermelho e grande sensibilidade, o que o torna um sensor adequado para condições variadas de luz e para uso em soluções coloridas (Adafruit, 2020). Com quatro conversores analógico-digitais de 16 bits, ele converte a corrente dos fotodiodos em dados digitais. Além disso, o sensor inclui registradores de dados, uma máquina de estados e utiliza a um barramento serial I2C de dois fios, de velocidade de até 400 kHz (Taos, 2012). Esse tipo de

conexão propicia uma ligação direta e fácil com microcontroladores e processadores embarcados, como Arduino e ESP32.

Segundo o próprio manual do sensor, a resposta espectral dos diodos *red*, *blue*, *green* e *clear* é a da figura 3:

Figura 3 - Resposta espectral do fotodiodo *RGBC* (*red*, *green*, *blue*, *clear*)



Fonte: TAOS (2012)

Kit de Teste de Água

“*Complete Water Test Kit*” da Varify contém kits para 17 parâmetros de teste de água, incluindo testes de chumbo, mercúrio, pH, bactérias (*Escherichia coli*) etc, como ilustrado na figura 4.

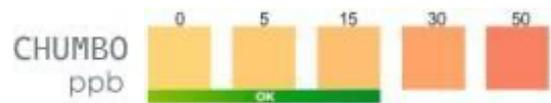
Figura 4 - Kit de teste de água da marca Varify.



Fonte: Varify (2022)

O *kit* é composto por um tubo de teste, um manual de instruções, mapa de cores, uma folha de referência dos padrões da *EPA*, uma tabela de registro para acompanhamento da água por três testes. Para cada parâmetro, existe um mapa de cor que indica a quantidade em partes por bilhão ou milhão – no caso do chumbo (*lead*), a medida é partes por bilhão (ppb), como indicado na figura 5:

Figura 5 - Mapa de cores de indicação de presença de chumbo



Fonte: Modificado de Varify (2022)

Segundo os padrões da *EPA*, o limite recomendado de chumbo em uma amostra de água é de 0,015 mg/L - o equivalente a 15 ppb. Os 30 e 50 do mapa indicam uma quantidade nociva de 30 ppb e 50 ppb (*EPA*, 2008).

Plataforma Arduino IoT Cloud

A plataforma *Arduino IoT Cloud* oferece a capacidade de desenvolver e monitorar projetos de IoT, incluindo a integração com microcontroladores *Arduino* e serviços como o *IBM Cloud Event Notifications* para alertas sobre concentrações perigosas de chumbo. No entanto, limitações como a necessidade de dispositivos específicos, como o *Arduino NANO 33 IoT*, e restrições da licença gratuita, que inclui apenas dois sensores ou LEDs, dificultaram a implementação completa do projeto. Apesar do potencial de alerta ao usuário sobre a detecção de chumbo, as limitações técnicas e licenciamento da plataforma inviabilizam seu uso completo.

App Inventor 2

O *MIT App Inventor*, um ambiente de programação visual em nuvem, se

destaca por sua acessibilidade, permitindo que uma ampla gama de usuários crie aplicativos móveis (MIT, 2021). Essa plataforma será empregada na concepção de um aplicativo que automatiza a detecção de presença do chumbo, promovendo práticas adequadas de descarte e emitindo alertas quando o sensor identificar riscos.

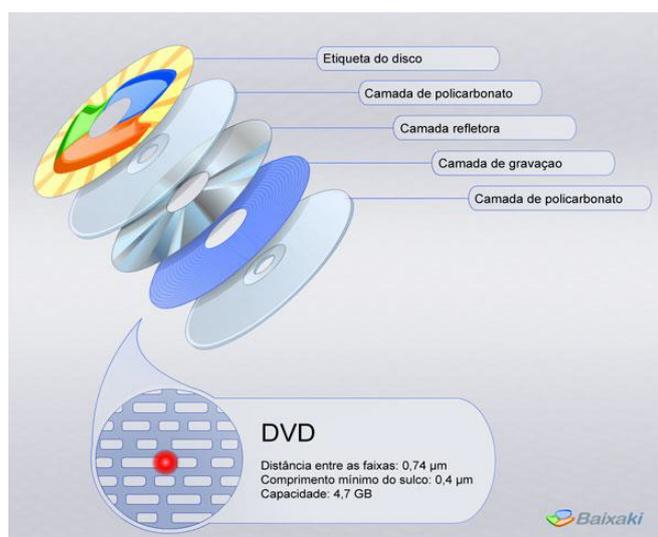
METODOLOGIA

Os próximos tópicos delineiam as fases envolvidas na proposta de criação de um dispositivo com detecção por sensor elétrico e na concepção do dispositivo de detecção de chumbo utilizando a abordagem da colorimetria, bem como a criação do aplicativo educativo que visa informar os usuários sobre os perigos associados ao chumbo.

Confecção do sensor elétrico a partir de DVD-R

Como apontado anteriormente, Richter (2004) descreve o passo a passo sobre a construção de um sensor com CD-R, a partir disto foi confeccionado um eletrodo de 3 cm de comprimento utilizando um *Digital Versatile Disc* (Disco Versátil Digital - DVD-R) - utilizado por ter uma constituição semelhante. Na figura 6 temos a estruturação de um DVD-R.

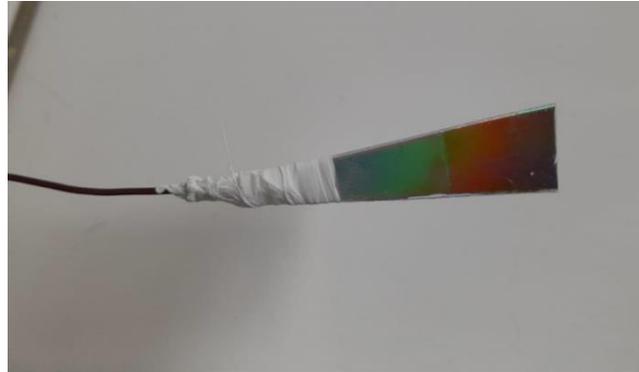
Figura 6 – Composição de um DVD



Fonte: Tecmundo (2011)

Na figura 7 está o eletrodo confeccionado.

Figura 7 – Estada final do eletrodo



Fonte: Angelo, Santos, Passos (2022)

Algumas dificuldades foram encontradas ao utilizar o DVD-R: ao separar as camadas, a maior parte da camada de prata ficou presa na camada superior de policarbonato, deixando o filme gravável exposto, inutilizando esta área do disco para a confecção do eletrodo, como na figura 8.

Figura 8 – Separação das camadas do DVD-R



Fonte: Angelo, Santos, Passos (2022)

Este processo foi interrompido devido à falta de equipamento, em específico o potenciostato – equipamento de alto custo – que é necessário no experimento para a detecção de chumbo com o eletrodo de prata.

Proposta de dispositivo com sensor elétrico

A detecção elétrica envolveu a implementação de um sensor elétrico com o dispositivo com 3 LEDs (verde, amarelo e vermelho) para indicar a concentração de chumbo na água, com a luz verde representando baixa concentração. Embora não tenha sido possível continuar com o desenvolvimento do sensor elétrico de chumbo usando o eletrodo de prata, utilizou-se um LDR para simular sua resposta à corrente elétrica. O LDR não foi mergulhado na amostra, mas sua medição de luminosidade exemplifica a reação do dispositivo à presença de chumbo.

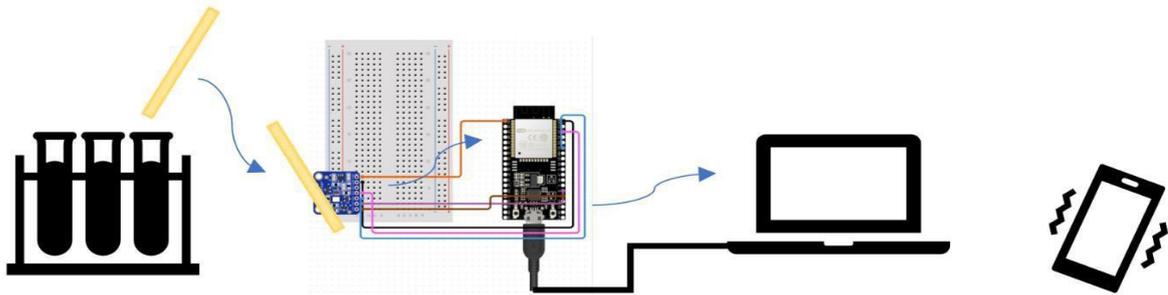
Detecção com a técnica da colorimetria

A seguir, foram delineadas as fases envolvidas no desenvolvimento do meio de detecção de chumbo utilizando a abordagem da colorimetria, bem como no desenvolvimento do aplicativo voltado à conscientização dos usuários sobre os danos causados pelo chumbo.

Dispositivo com a técnica da Colorimetria

Neste projeto, empregou-se *strips* Varify para detectar chumbo por meio da colorimetria. Utilizou-se um sensor de cor TCS347255 conectado ao ESP32 Devkit V1, para comunicar os resultados ao usuário. As portas I2C do sensor foram conectadas ao ESP32, permitindo a leitura das cores sob diferentes condições de iluminação. Realizaram-se testes com diversas amostras de água, incluindo água de torneira, produtos cotidianos com possíveis concentrações de chumbo, água destilada e uma solução aquosa de chumbo. As fitas foram imersas nas amostras por alguns segundos, e os valores RGB foram coletados para identificar a presença de chumbo, conforme figura 9. Os resultados preliminares permitiram estabelecer um intervalo de valores RGB que indica a presença ou ausência de chumbo nas fitas.

Figura 9 – Representação do roteiro

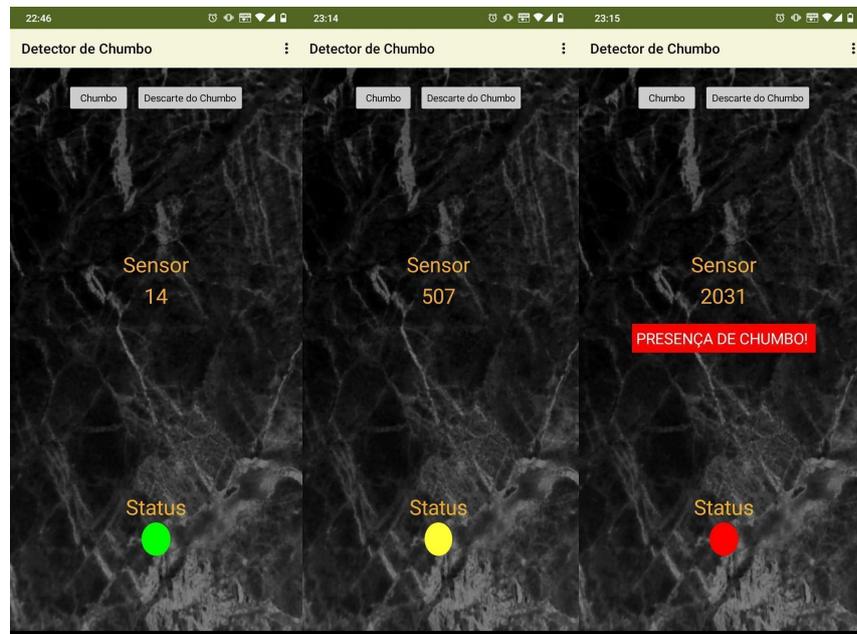


Fonte: Angelo, Santos, Passos (2022)

Aplicativo

O aplicativo foi desenvolvido na plataforma App Inventor e possui funcionalidades abrangentes, como o monitoramento do status do sensor de chumbo, alertas ao usuário em caso de níveis excessivos, informações detalhadas sobre o chumbo e orientações sobre o descarte adequado de materiais contaminados. Na tela inicial há indicadores visuais do valor do sensor e *status* de perigo, representados por *LEDs* verdes, amarelos e vermelhos, refletindo a intensidade da contaminação, demonstrado na Figura 10.

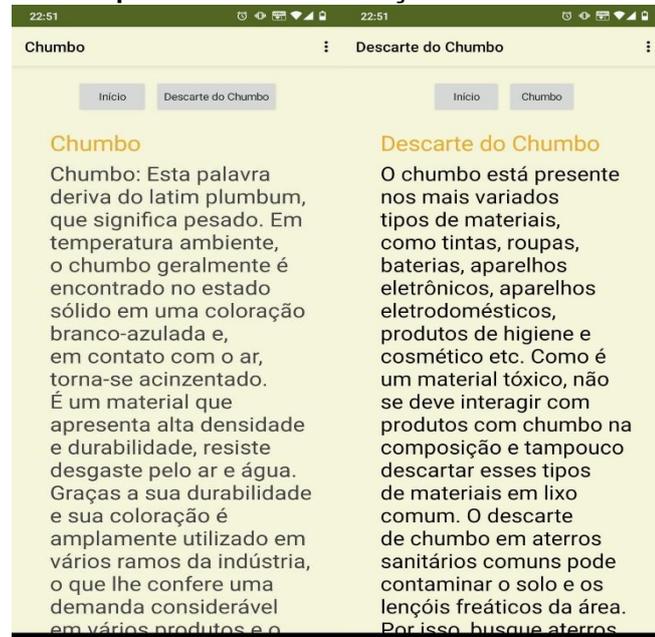
Figura 10 – Tela do aplicativo com o *status* da detecção nas 3 situações possíveis



Fonte: Angelo, Santos, Passos (2022)

Além disso, o aplicativo oferece acesso a informações detalhadas sobre o chumbo e diretrizes de descarte apropriado por meio de um menu de fácil navegação, conforme a figura 11.

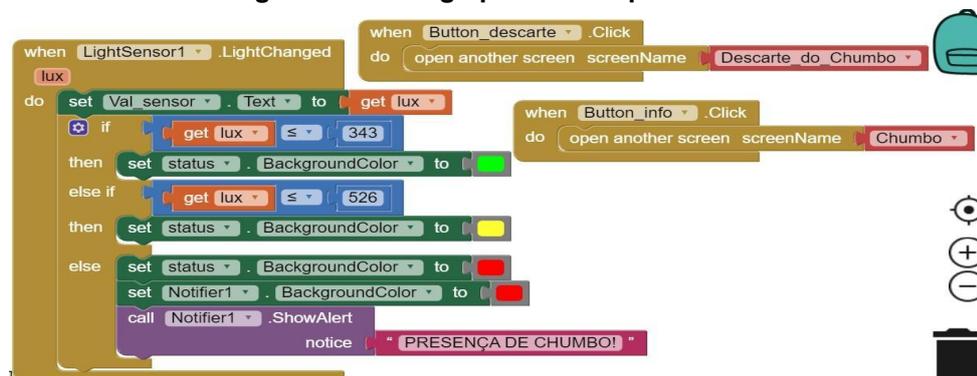
Figura 11 – Telas do aplicativo com informações sobre o chumbo e seu descarte



Fonte: Angelo, Santos, Passos (2022)

O desenvolvimento do aplicativo foi facilitado pelo uso de programação em blocos no *App Inventor*, eliminando a necessidade de código complexo. Na figura 12, parte do código utilizado pode ser observado.

Figura 12 – Código parcial do aplicativo



Fonte: Angelo, Santos, Passos (2022)

RESULTADOS

A pesquisa de Gitanjali Rao e os avanços de Richter destacam a promissora viabilidade de conceber sensores elétricos capazes de identificar a presença de chumbo na água (Estadão Conteúdo, 2017; Richter, 2004). Neste contexto, este artigo analisou os resultados obtidos tanto na investigação científica quanto nos esforços para desenvolver um dispositivo detector de chumbo.

Dispositivo com a colorimetria

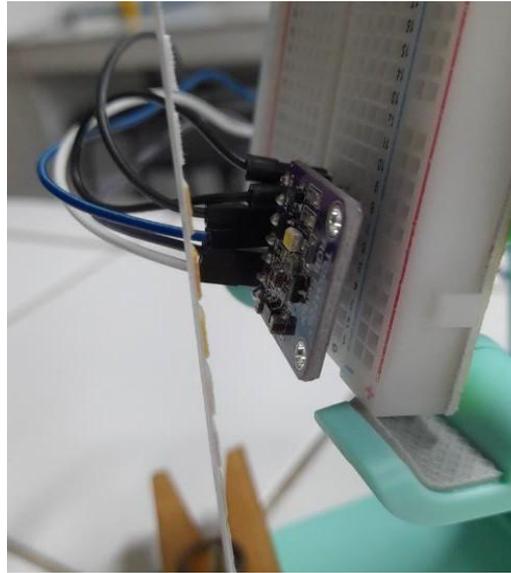
O dispositivo foi desenvolvido utilizando fitas Varify e três amostras com água bi-desmineralizada e solução para baterias, sendo a amostra 1 constituída apenas por a água bi-desmineralizada, a amostra 2 composta por 50% de água bi-desmineralizada e 50% de solução para baterias e a amostra 3 contendo apenas a solução para baterias. As fitas foram imersas nas amostras, cada qual em frasco adequado, avaliadas visualmente as mudanças de cor demonstradas na figura 13, baseado no mapa de cores estabelecido pelo fabricante do *kit*, que é ilustrado na figura 5 e aferidas por meio do sensor, conforme figura 14.

Figura 13 – Resultado das *Strips* após teste nas amostras



Fonte: Angelo, Santos, Passos (2022)

Figura 14 – Fita em frente ao sensor



Fonte: Angelo, Santos, Passos (2022)

Os resultados obtidos estão indicados na Tabela 1, o valor da cor Vermelha, Verde e Azul é mensurado pela temperatura de cor e a Claridade em lumens.

Tabela 1 – Resultados obtidos nos testes com as amostras

Amostra	Vermelha	Verde	Azul	Claridade
1	21449	18932	12690	21504
2	21504	15436	11069	21504
3	18929	11002	10708	21504

Fonte: Angelo, Santos, Passos (2022)

Sabendo-se que amostra 1 não possuía qualquer valor de concentração de chumbo e que a solução de bateria, a amostra 3, – encontrava-se um aviso no rótulo, alertando sobre a abrangência de concentração nociva de chumbo no conteúdo do frasco – continha valor maior que o limite estabelecido pela EPA, em conjunto com o mapa de cor do *Kit*, foi possível comprovar este fato. Portanto, foi possível verificar pela coloração da fita e comparando os valores lidos pelo sensor, que a amostra 2 continha valor de concentração de chumbo, mas dentro do limite de 0,015mg/L ou 15 ppb.

A partir dos resultados, os intervalos que representam a presença de chumbo foram definidos e estão indicados na Tabela 2.

Tabela 2 – Definição de valores RGB para presença de chumbo

Cor	Intervalo	Chumbo
Vermelho	Menor que 20000 e maior que 18000.	> 15 ppb.
Verde	Menor que 12500 e maior que 10500.	> 15 ppb.
Azul	Menor que 11000 e maior que 9000.	> 15 ppb.

Fonte: Angelo, Santos, Passos (2022)

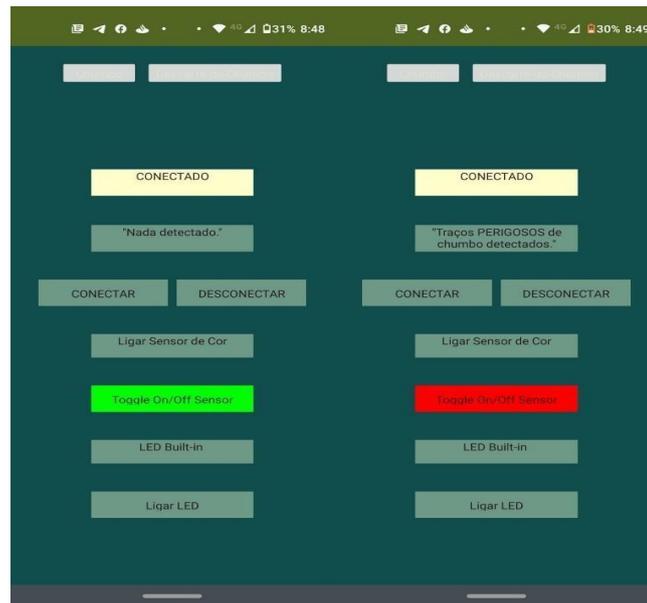
O sensor possui um *LED* branco, sendo, possível ligar e desligar com um comando no próprio aplicativo, e, além disso, possui a capacidade de mensurar temperatura de cor e lumens. Entretanto, foi necessário adaptar o sensor de cor às condições de iluminação – com o *LED* desligado, os valores de cor dos três canais foram ínfimos, mesmo que havendo luz considerável no ambiente.

Adaptações de cálculo também foram importantes, como a inclusão de um filtro reduzindo ruídos e do acréscimo de um fator de ganho, de forma a mensurar os valores corretos de luz a diversas distâncias do sensor e a diferentes condições de luz. Portanto, o método utilizado neste trabalho foi simplesmente colocar os objetos a serem medidos encostados no sensor de cor com o *LED* ligado, assim padronizando as medidas obtidas.

Aplicativo

A versão final do aplicativo com a integração com o sensor de cor foi realizada e conectada ao ESP32 via *Bluetooth*. A interface do aplicativo foi modificada, para acrescentar mais opções e informações ao usuário e para possuir um visual mais agradável. A conexão foi realizada selecionando o dispositivo desejado e poderia ser desfeita a qualquer momento. Em “Detectar”, foi apresentado o *status* do sensor, sendo “Nada detectado” para ausência de valor de contração chumbo nociva e “Traços PERIGOSOS de chumbo detectados” para presença de valor de contração chumbo nociva, conforme ilustrado na figura 15.

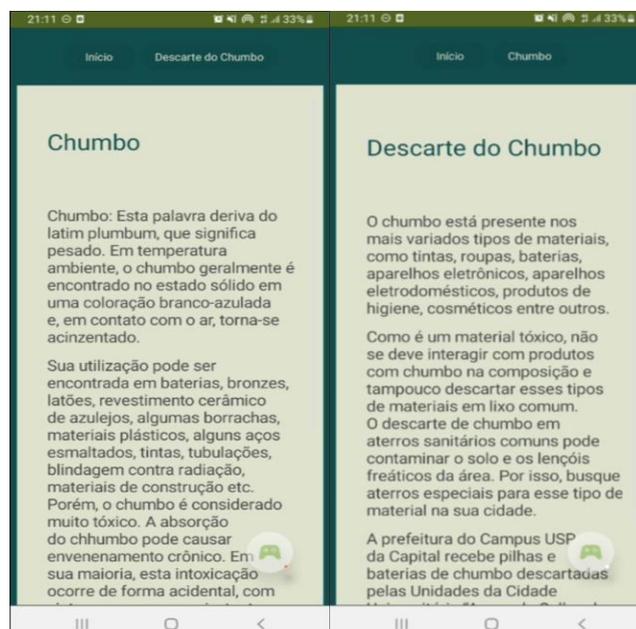
Figura 15– Status seguro e alerta de chumbo no aplicativo



Fonte: Angelo, Santos, Passos (2022)

As telas “Chumbo” e “Descarte do Chumbo” foram estruturadas, conforme figura 16.

Figura 16 – Versão final das telas do aplicativo



Fonte: Angelo, Santos, Passos (2022)

Ao fim, o aplicativo foi publicado no *site MIT App Inventor 2* e se encontra

disponível para consulta (*App Inventor 2*, 2022)

CONCLUSÃO

Os objetivos deste projeto foram plenamente alcançados, pois a detecção de chumbo foi realizada e foi desenvolvido um aplicativo que conscientiza a população a respeito da periculosidade do chumbo e seu descarte apropriado.

Este projeto abordou os riscos associados ao chumbo para a saúde humana e o ambiente, reconhecendo a necessidade de um dispositivo de detecção deste metal na água. Foram apresentadas técnicas para desenvolver sensores de detecção de chumbo, incluindo a adaptação do CDtrodo (sensor elétrico) a partir de DVDs para esse fim. Porém, como o DVD possui uma camada a mais de policarbonato do que o CD, a utilização da maior parte do material tornou-se inviável, visto que houve uma redução significativa da camada útil a ser empregada durante a remoção do policarbonato. E a detecção por colorimetria, utilizando *strips* da Varify e o sensor de cor TCS34725, que transmitiu os dados para o celular do usuário através do ESP32, via *bluetooth*, foi bem-sucedida. Foi desenvolvido um aplicativo contendo um alerta de presença ou ausência de chumbo para o usuário, que usa o sensor de cor para detectar as cores correspondentes à presença tóxica de chumbo, indicadas no teste de água Varify. A partir dos testes com a água bi-desmineralizada e com a solução de bateria foi verificado que o aplicativo reage apropriadamente.

O projeto também sugere uma melhoria, a inclusão de uma função de mapeamento para localizar pontos de descarte apropriado de chumbo. Este projeto serve como um guia para o desenvolvimento de dispositivos de detecção de chumbo e destaca a importância contínua da pesquisa nesta área.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de São Paulo – Campus Cubatão e ao professor Dr. Arnaldo de Carvalho Jr. pela revisão do artigo para a disciplina de Metodologia do Trabalho Científico, do curso de Engenharia de Controle e Automação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABUSHADY, M.M., FATHY, H.A., FATHY, G.A., FATAH, S.A., ALI, A., ABBAS M.A. **Blood lead levels in a group of children: the potential risk factors and health problems.** J Pediatr (Rio J). 2017;93:619-24. Acesso em: 15 mar 2022.

ADAFRUIT. **Adafruit_TCS34725/examples/tcs34725/**. Repositório GitHub. 2020. Disponível em: <https://github.com/adafruit/Adafruit_TCS34725/tree/master/examples/tcs34725>. Acesso em: 04 jul 2022.

ANGELO, A. C. de L.; SANTOS, A. dos; PASSOS, M. N. S. **Detecção de chumbo através da colorimetria com o auxílio do ESP32.** 2022 72 f. TCC (Engenharia de Controle e Automação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Cubatão, 2022.

APP INVENTOR. **Detector de Chumbo. MIT App Inventor.** Disponível em: <<https://gallery.appinventor.MIT.edu/?galleryid=1ec56aeb-215f-48b1-8143-f075ff3fa111>>. Acesso em: 04 jul 2022.

ARDUINO. **Using the Serial Monitor tool. Arduino Documentation.** 2022. Acesso em: 30 jun 2022.

CONAMA. **Resolução CONAMA nº 20, de 18 de junho de 1986.** Disponível em <https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legiSLAcao/Portaria/1986/res_conama_20_1986_revvd_classificacaoaguas_altrd_res_conama_274_2000_revvd_357_2005.pdf>. Acesso em: 12 mai 2022.

EPA. **Lead and Copper Rule.** 2021. Disponível em: <<https://www.EPA.gov/dwreginfo/lead-and-copper-rule>>. Acesso em: 20 mai 2022.

EPA (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). 2008. Disponível em: <<https://www.EPA.gov/lead/lead-test-kits>>. Acesso em: 13 mar 2022.

ESTADÃO CONTEÚDO. **Americana de 11 anos vence prêmio com sensor que detecta chumbo na água.** Globo. 2017. Disponível em: <<https://epocanegocios.globo.com/Tecnologia/noticia/2017/11/americana-de-11-anos-vence-premio-com-sensor-que-detecta-chumbo-na-agua.html>>. Acesso em: 07 abr 2022 às 23h.

FIGUEIRÊDO, S. S. M. *et al.* (2021) **Panorama das indústrias galvânicas de Juazeiro do Norte, Ceará: com ênfase nos teores de metais-traço nos efluentes e resíduos sólidos.** Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190063>. Acesso em: 13 mar 2022.

KRISS, R., PIEPER, K. J., PARKS, J., EDWARDS, M. A. **Challenges of Detecting Lead in Drinking Water Using at-Home Test Kits**. Environmental Science Technology. Vol. 55, pgs. 1964–1972. 2021. Acesso em: 13 mar 2022.

MAGNA, G. A. M. *et al.* (2014) **Avaliação da exposição ao Pb e Cd em crianças de 0 a 17 anos por consumo de alimentos vegetais cultivados em solos contaminados no município de Santo Amaro (BA)**. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019010000430>>. Acesso em: 13 mar 2022.

NXP SEMICONDUCTORS. **I2C-bus specification and user manual**. Manual. 2021. Acesso em: 30 jun 2022.

ONU - Organização das Nações Unidas. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável Preâmbulo**. 2015. Disponível em: <<https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>>. Acesso em: 10 jul 2022.

RICHTER, E. D. **Desenvolvimento de novos sensores a partir de CD-Rs para análise voltamétrica e de métodos de eletroforese capilar para monitoramento de íons em águas**. 2004. Tese (Doutorado em Química Analítica) - Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Acesso em: 07 abr 2022

RODRIGUES, O. M., ALMEIDA, C. G., PEREIRA, V. A., & CAPELLINI, V. L. (setembro de 2014). **Avaliação do desempenho escolar de crianças contaminadas por chumbo**. Revista Quadrimestral da Associação Brasileira de Psicologia Escolar e Educacional, 537-546. Acesso em: 20 mar 2022.

TAOS – TEXAS ADVANCED OPTOELECTRONIC SOLUTIONS. **TCS34725 COLOR LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER with IR FILTER**. Manual. 2012. Acesso em: 13 mai 2022.

TECMUNDO. (2011) **Como são feitos os discos de CDs, DVDs e Blu-rays**. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/DVD/8778-como-sao-feitos-os-discos-de-CDs-DVDs-e-blu-rays-.htm>>. Acesso em: 30 jun 2022.

TOMASELLA, R. C. *et al.* (2015) **Avaliação do potencial de compostos naturais (argila, turfa e carvão) na remoção de chumbo e toxicidade de um efluente industrial**. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020000125291>>. Acesso em: 13 mar 2022.

VARIFY. **Water Testing Kits That Give Back!** Disponível em: <<https://Varifytest.com/>>. Acesso em: 13 mai 2022.