

# Dispositivo IoT para Prevenção de Acidentes em Ambientes de Carga utilizando BLE

João V. A. Holanda<sup>1</sup>, Filipe A. Lira<sup>1</sup>, Sandro C. S. Jucá<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Área da Computação - Instituto Federal do Ceará (IFCE)  
Campus Maracanaú, CE – Brasil

{jvholanda18, filipe.al2015}@gmail.com, sandrojuca@ifce.edu.br

**Abstract.** *The present work presents the development of a device based on the Internet of Things (IoT) with a focus on detecting Bluetooth networks. Using the ESP32 microcontroller and Bluetooth Low Energy (BLE) technology, the system allows detection of the presence of people, with the aim of reducing accidents in load transport environments, such as industries and distribution centers.*

**Resumo.** *O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um dispositivo baseado em Internet das Coisas (IoT) com foco na detecção de redes Bluetooth. Utilizando o microcontrolador ESP32 e a tecnologia Bluetooth Low Energy (BLE) o sistema permite detecção de presença de pessoas, com a finalidade de reduzir acidentes em ambientes de transporte de carga, como indústrias e centros de distribuição.*

## 1. Introdução

Os ambientes de carga são de extrema importância para a troca de mercadorias. Sejam ambientes portuários, aeroportuários, galpões logísticos, centros de distribuição, etc. Nesses são feitos o armazenamento, carga, descarga dos produtos que são comercializados. A pandemia de COVID-19 potencializou o processo de adesão a compras online, segundo [Vescovi 2022]. Toda uma cadeia de serviços de logística de produtos, que já era muito forte, foi estimulada. Composta desde a preparação de um pedido de compra, a separação do produto, seguida pelo seu envio a um centro de distribuição, posteriormente a um ambiente portuário, depois ao armazenamento em galpão logístico, até a entrega efetiva ao consumidor final. Todos esses serviços, em algum ponto, são compostos por um ambiente de carga.

Tão importante quanto esses serviços, são as pessoas que fazem parte e trabalham nesses ambientes, que arriscam suas vidas ao exercerem suas funções. Como cita [Estork 2022], esses riscos que são relacionados ao transporte, pelo trânsito de vários equipamentos pesados circulando continuamente durante as operações; além do risco de contêineres e cargas suspensas, sendo movimentadas a todo instante tendo a possibilidade de ocorrer esmagamentos; quedas por trabalhos realizados em altura; risco da liberação de energia potencial armazenada em cabos e cordas tensionadas, podendo romper-se a qualquer momento e atingir trabalhadores; e por último a falta de controle dos indivíduos externos que prestam serviço a empresas, que não estão cientes das medidas necessárias para preservação da sua segurança.

Diante desse cenário, percebeu-se a oportunidade de contribuição a tais medidas, por meio da construção de um dispositivo IoT capaz de reduzir os riscos apresentados,

usando a tecnologia sem fio *Bluetooth Low Energy* (BLE) comandada através da placa microcontrolada NodeMCU ESP32 e com o auxílio de dispositivos ou acessórios que possuam a tecnologia BLE para compor o sistema de envio e recebimento do sinal para detecção de presença.

## 2. Fundamentação Teórica

O autor [Carrion 2019] define que a Internet das Coisas (do inglês *Internet of Things* ou IoT) trata-se de um ecossistema que conecta objetos físicos, através de um endereço de IP ou outra rede, para trocar, armazenar e coletar dados através de uma aplicação de *software*.

O ESP32, para [Lira et al. 2019], é um microcontrolador de baixo custo, que possui na sua placa nativamente a conectividade via BLE, no padrão 4.2, que em relação a versões anteriores, traz a melhoria da privacidade e segurança do usuário, além de um alcance mais abrangente comparado com suas versões anteriores, que será usada como meio para detectar a presença de outros dispositivos presentes em seu campo de atuação.

Ainda segundo [Lira et al. 2019] o *Bluetooth* BLE 4.2 possui o alcance de em torno de 50 metros em campo aberto, o que permite fazer uso da intensidade do seu sinal em relação ao que chega em determinado ponto, possibilitando estimar uma distância do ponto de origem por meio de sua posição dentro do raio gerado pelo *Bluetooth* BLE do dispositivo.

Segundo [Ferreira and Antunes 2022] a tecnologia *Bluetooth Low Energy* é um protocolo de rede de tecnologia que possui como característica fundamental a economia de energia, permitindo diminuir os níveis de consumo em aparelhos que não têm a necessidade de transmitir grandes volumes de dados, trazendo um consumo energético de apenas 10% quando comparado com o *Bluetooth* clássico, pois possui a capacidade de permanecer em modo de hibernação (*sleep*) na maior parte do tempo, saindo desse modo apenas para realizar conexões que duram alguns ms, com consumo energético com picos de 15 mA, mas como uma média de 1 $\mu$ A.

O BLE para [Lyatuu 2022], é uma extensão do padrão *Bluetooth* clássico, projetado especificamente para aplicações que exigem conectividade sem fio com requisitos de energia reduzidos. Foi introduzida como parte da especificação *Bluetooth* 4.0, projetada para lidar com a crescente demanda por dispositivos de baixo consumo de energia, como sensores, rastreadores, dispositivos médicos portáteis entre vários outros dispositivos de IoT. Possibilitado através de um protocolo de comunicação otimizado, que utiliza uma abordagem de "transmissão sob demanda", onde os dispositivos só se comunicam quando necessário, minimizando o tempo de atividade e o consumo de energia. Além da economia energética, observa-se seu baixo custo de implementação pelo fato de utilizar frequências de rádio não licenciadas, o que significa que os fabricantes de dispositivos não precisam pagar taxas adicionais para usar o BLE em seus produtos. Outro ponto para ressaltar é a compatibilidade do BLE que possui uma ampla variedade de dispositivos, desde smartphones e tablets até microcontroladores de baixo custo, facilitando sua integração em diferentes tipos de dispositivos.

De acordo com [Sadowski and Spachos 2018], o *Received Signal Strength Indication* (RSSI) é o parâmetro mais simples e popular utilizado em técnicas de localização.

Isso se dá pelo fato de que esse dado pode ser obtido sem nenhum incremento de processamento de hardware, podendo ser facilmente convertido para unidades de medida de distância. Acrescenta [Simões 2022] que o RSSI é uma medida da intensidade do sinal recebido por outro dispositivo, nesse contexto, *Bluetooth*, expresso em decibéis (dBm) e indica a potência do sinal em relação a uma referência. O valor de RSSI é fornecido pelo chip *Bluetooth* do dispositivo e representa a força do sinal recebido do transmissor, outro dispositivo *Bluetooth*.

Uma propriedade que [Oliveira de Paula et al. 2023] destaca é que o RSSI pode ser influenciado por alguns fatores, como a distância entre os dispositivos, obstáculos físicos, interferências de outros dispositivos ou fontes de rádio, condições do ambiente e sensibilidade do receptor Bluetooth. Por essa razão, o RSSI pode variar ainda para a mesma distância entre os dispositivos em diferentes ambientes. Ciente dessa informação, foi proposto a realização de testes para verificar qual seria o limite de condições em que a solução se mostraria capaz de operar.

Em seus trabalhos, os autores [Lira et al. 2019] se utilizam do método de cálculos de distâncias através do RSSI, e comprovam sua eficácia na medida de distâncias, sem a necessidade de grandes processamentos por parte do hardware envolvido. O autor [Teixeira 2021], aborda a utilização das tecnologias IoT na prevenção de acidentes, e em várias outras categorias, dentre as quais são normalmente utilizados os cálculos do RSSI combinados a tecnologia BLE para aferição de distância, evidenciando uma combinação adequada para essas situações, que pode ser uma iniciativa adotada para contribuir com a redução de acidentes em ambientes caóticos, com grande fluxos de pessoas e equipamentos, como os industriais, portuários ou logísticos em geral.

O conhecimento fornecido pelos autores sobre as tecnologias citadas, permite que sejam aplicadas ao projeto. A tecnologia BLE, como meio para comunicação; a placa microcontroladora ESP32, para gerenciamento e detecção de sinais *Bluetooth*; o parâmetro baseado no RSSI usado como forma de determinação de distâncias.

### **3. Materiais e Métodos**

As técnicas da metodologia de Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP), apresentada por [Santiago et al. 2023], instrui o aprendizado através da investigação e resolução de problemas, ao invés de apenas a recepção passiva de informações. Apresenta-se uma situação-problema, geralmente relacionada a questões do mundo real, e há o incentivo a explorar, investigar e encontrar soluções por meio de pesquisas, discussões em grupo, trabalho colaborativo, no qual geralmente segue-se um processo estruturado que envolve etapas. Primeiro é apresentado um problema desafiador e realista que requer uma solução. Em seguida, identifica-se o que já se sabe sobre o problema e o que precisa-se aprender para resolvê-lo. A partir daí, são formuladas questões e hipóteses, condução de pesquisas, discussões em grupo, compartilhamento de conhecimentos, e suas possíveis soluções. A partir do conhecimento da problemática, e da aplicação da ABP, foi proposto a criação do protótipo do dispositivo IoT voltado a segurança em ambientes de carga e descarga.

O desenvolvimento deste trabalho foi realizado em três etapas. Na primeira, foi proposto o levantamento de trabalhos correlatos a área, juntamente com a definição da solução e de experimentos, bem como as métricas a serem avaliadas durante a realização

de testes. A etapa seguinte foi destinada a prototipação e construção do hardware, seguida de sua programação. Por último foi destinada a realização e avaliação dos testes definidos na primeira etapa.

Após o levantamento dos trabalhos, foi definida a utilização do microcontrolador ESP32, por possuir uma configuração de hardware extremamente poderosa, uma vasta quantidade de auxiliares nativos, como é o caso do BLE, possibilitando a interação com diversos dispositivos *Bluetooth*, em paralelo a um baixo consumo energético, além de apresentar baixo custo financeiro. O ESP32, também dispõe da tecnologia *Wi-Fi*, porém esse meio para conexão de dispositivos já é bastante usado na comunicação em ambientes logísticos, como diz [Cruz 2017], fato esse que poderia sobrecarregar a rede, ou causar interferências. Diante desses possíveis problemas, optou-se pela utilização do BLE. Outro equipamento usado foi a pulseira inteligente Xiaomi Smartband Mi Band 6, representada na Figura 4(a), o dispositivo utilizado para realização do teste de comunicação com o microcontrolador ESP32. A Smartband 6 pode ser substituída por um smartphone com a tecnologia *Bluetooth* BLE 4.0, também existe a possibilidade do uso de uma tag BLE, acoplada a um acessório já utilizado em ambientes de trabalho como, capacete, crachá ou colete.

Concluída a seleção de todos os equipamentos, partiu-se para a definição dos experimentos juntamente a suas métricas. Os contextos dos testes buscavam simular ambientes de levantamento e transição de cargas e avaliar o desempenho da comunicação, entre o dispositivo IoT e a pulseira inteligente, baseado na qualidade do sinal diante uma distância limite e a presença, ou ausência, de obstruções.

A construção do protótipo funcional se deu com base no esquema mostrado na Figura 1. Para emissão sonora foi conectado, através da *GPIO 15*, uma sirene (*buzzer*) ao ESP32, e para emissão luminosa foi aproveitada a lâmpada de LED nativa da placa. A porta serial foi usada para alimentação e transferência do código de *firmware*, conectada a um computador através de um cabo usb.

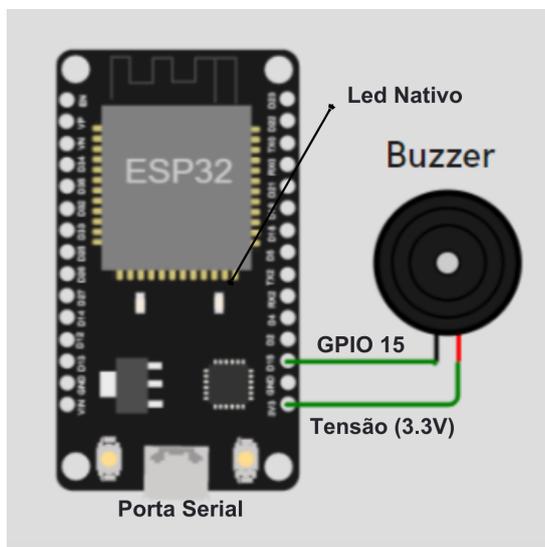


Figura 1. Esquemático do projeto.

Posteriormente a construção do protótipo, foi realizada a codificação, compilação e gravação do *firmware* através da plataforma Arduino IDE, que seguiu a sequência de eventos abstraídos na Figura 2. Inicialmente, no código, são definidas algumas informações iniciais, como o estado inicial dos pinos correspondentes ao LED, e ao *buzzer*; o intervalo de tempo, em milissegundos, de execução da função de busca de sinais *Bluetooth*; o valor de intensidade RSSI que representará a distância que deverá ser evitada. Após essa preparação, é executada repetidamente uma função de busca de dispositivos *Bluetooth* nas proximidades com uma duração que foi definida em 1000 milissegundos. Caso não encontre nenhum dispositivo, executa a função de busca novamente. Caso encontre, executa uma função para identificar a intensidade do RSSI, caso a intensidade seja maior que a definida, significa que o dispositivo encontrado não está a uma distância segura, portanto o ESP32 acionará simultaneamente os pinos correspondentes aos emissores de alerta. Em seguida, fazendo a verificação novamente, se o dispositivo *Bluetooth* permanecer encontrado, os alertas continuam ativos, caso contrário a função de busca de dispositivos é executada novamente. Se a intensidade do RSSI encontrado for menor que a definida, significa que o dispositivo está a uma distância segura, portanto os emissores de luz e de som, devem permanecer desligados e será efetuada a função de busca novamente.

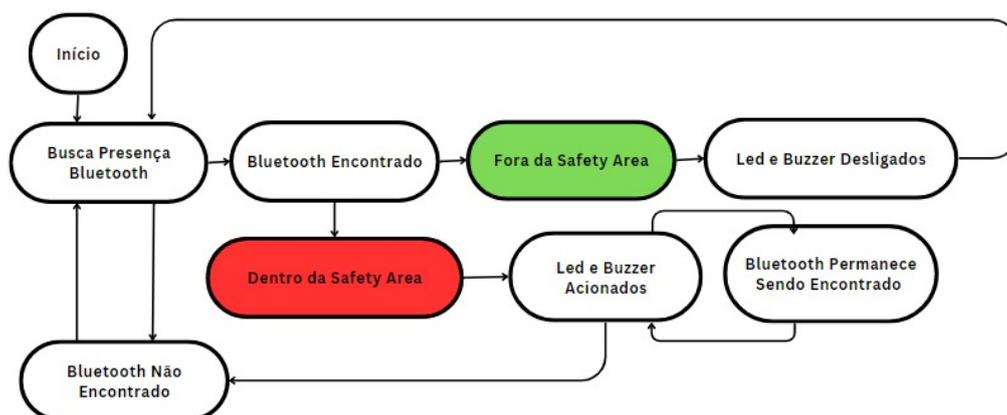


Figura 2. Sequência de eventos do Código. Após o início permanece-se em loop.

#### 4. Resultados

Nesta seção será apresentada uma visão geral do protótipo final e os resultados preliminares alcançados durante a realização dos testes. Em ambientes de carga, como centros de distribuição e indústrias, o dispositivo IoT proposto, pode ser acoplado a um veículo, seja ele um guindaste, caminhão ou empilhadeira, bem como em regiões que se deseje promover uma maior segurança aos funcionários. O funcionamento do sistema se dá pela capacidade de reconhecer a interferência de um campo de atuação de outro dispositivo BLE em uma amplitude de área considerada como “*safety area*”, sendo definida conforme a situação em que esteja aplicada, referente distância de separação entre o veículo e o indivíduo, através do RSSI. A Figura 3 ilustra o funcionamento do sistema. No Cenário 1, enquanto o funcionário, que dispõe de uma pulseira inteligente, estiver fora do raio de risco, não será emitido nenhum alerta. Ao entrar na zona de risco, representado no Cenário 2, será detectada sua presença por meio da identificação do sinal do BLE e o dispositivo IoT portanto emitirá, um alerta.

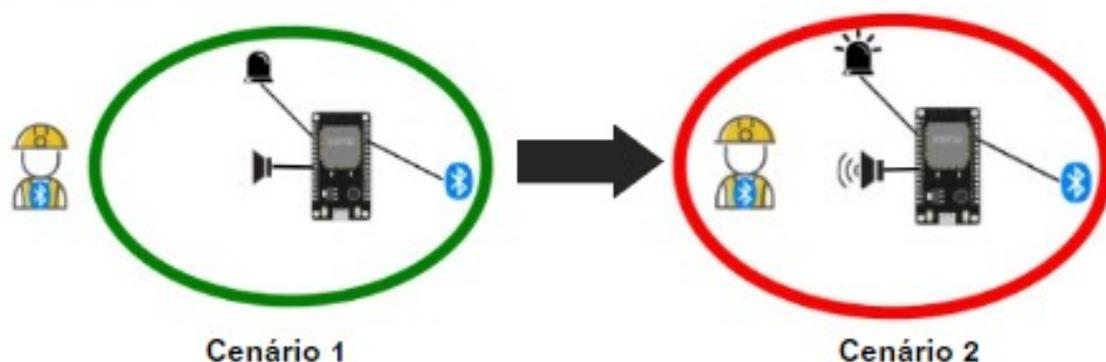


Figura 3. Esquema de funcionamento do dispositivo.

Quando o campo de atuação do BLE do dispositivo acoplado ao indivíduo é detectado pelo dispositivo IoT, um alerta é disparado ao piloto do veículo, para sinalizar que naquele perímetro existe uma pessoa, portanto deve tomar cautela, parar a operação ou seguir um protocolo pré-definido. Assim, será possível reduzir a possibilidade de sinistros ou acidentes. Essa tecnologia prevê situações em que simples detectores de presença não seriam suficientes, devido a não identificação de indivíduos que estejam atrás de obstáculos, vantagem que esse dispositivo proporciona. A Figura 4(b) mostra o protótipo, composto pelo ESP32 com BLE integrado para detectar o sinal da pulseira inteligente e uma sirene (*buzzer*) para emissão de alerta sonoro.

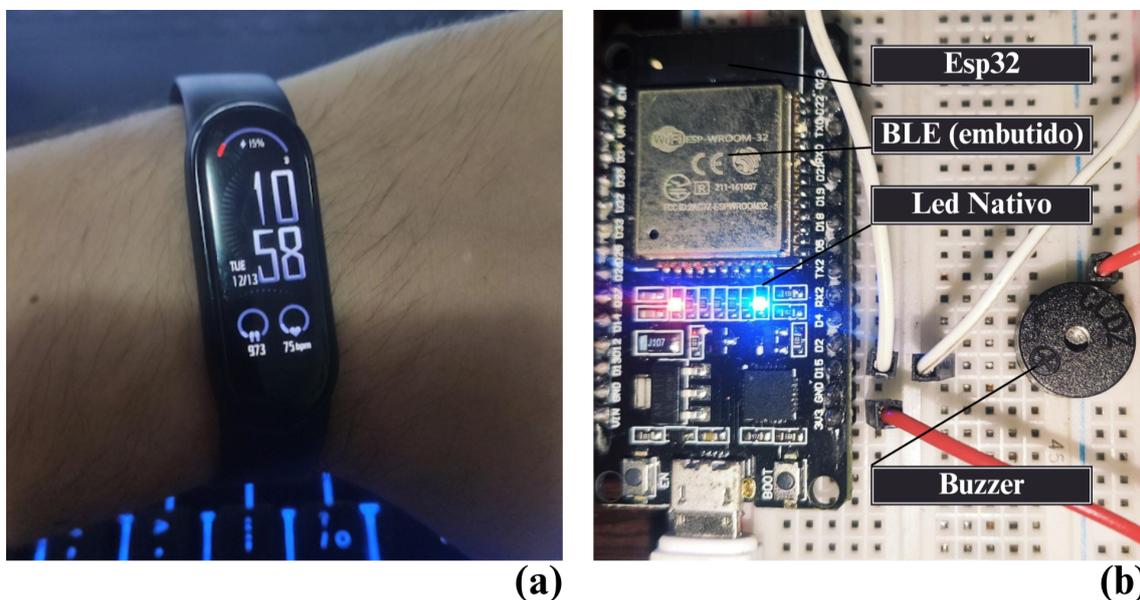


Figura 4. (a) Pulseira Xiaomi Mi Smart Band 6, usada nos testes, e (b) Protótipo do hardware concluído.

Fora do ambiente de desenvolvimento foi simulado um contexto similar ao descrito anteriormente, e controlado, para realização de um experimento piloto. O protótipo foi acoplado a parte interna de um veículo e foram avaliadas algumas características. A Tabela 1 mostra a síntese do que foi observado.

**Tabela 1. Desempenho de detecção do dispositivo em diferentes condições de distância e obstáculos, avaliando a qualidade do sinal.**

Distância	Obstrução	Qualidade do Sinal
< 40 m	-	Sinal estável e detectável
> 40 m	-	Sinal instável
< 40 m	Parede de Tijolos (15cm)	Sinal estável e detectável
< 30 m	Container metálico(6m x 2m x 2m)	Sinal estável e detectável
> 30 m	Container metálico(6m x 2m x 2m)	Sinal instável

O alcance foi o primeiro fator avaliado, baseado na relação já citada entre o RSSI e o comprimento em metros. Percebeu-se que o limite do sinal estável, possível de ser detectado, encontra-se na faixa dos quarenta metros. Acima dessa distância os valores variam, não sendo possível, nem seguro, utilizar esse alcance como *safety area*, o que comprometeria os objetivos.

Outro ponto verificado, foi a obstrução que possíveis barreiras poderiam causar ao sinal. O primeiro obstáculo testado foi uma parede de tijolos com espessura aproximada de quinze centímetros. Não foi aferido nenhuma variação de intensidade de sinal se comparado com a mesma distância de detecção sem a parede. O segundo obstáculo testado, foi um container metálico com as dimensões aproximadas de seis metros de comprimento, dois metros de largura, e dois metros de altura. Foi notado uma redução da estabilidade do sinal a partir dos trinta metros de distância, limitando a *safety area* a esse alcance, nessa situação.

Um detalhe a ser pontuado, é a ordem de grandeza dos recursos financeiros envolvidos na solução. No que se refere aos custos materiais, o ESP32 pode ser encontrado na faixa de preço entre vinte reais e sessenta e cinco reais, além de uma *tag* BLE que por sua vez, seu preço varia aproximadamente entre dois reais e duzentos reais, com todos esses valores atualizados até a submissão deste trabalho. Trata-se de uma solução de baixo custo, o que favorece sua adoção e implementação em escala.

## **5. Considerações Finais**

O protótipo do dispositivo IoT construído atende ao que foi projetado, sendo capaz de identificar a presença de outros dispositivos *Bluetooth*, em uma determinada distância, e emitir um alerta. Para próximos passos, serão realizados testes em ambientes não controlados para verificar também o desempenho do dispositivo, além de incrementos e melhorias como, adição de uma tela, para possibilitar o cadastro dos dispositivos a serem identificados, e a listagem dos dispositivos cadastrados, além da geração de relatórios para monitoramento online e em tempo real do sistema. O projeto apresentado é resultado de TCC em Ciência da Computação e está relacionado a *CNMPS - Computer Networks, Mobility and Pervasive Systems* (Redes de Computadores, Mobilidade e Sistemas Ubíquos) que pode contribuir com a segurança e preservação de vidas em ambientes de transporte e movimentação de cargas.

## Referências

- Carrion, Patrícia e Quaresma, M. (2019). Internet da coisas (iot): Definições e aplicabilidade aos usuários finais. *Human Factors in Design*, 8(15):049–066.
- Cruz, D. R. (2017). Wi-fi em ambientes hostis em uma empresa alpha. In *Trabalho de Conclusão de Curso Especialização em Gestão da Tecnologia da Informação e Comunicação*. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Estork, N. A. d. N. (2022). Uso de simulador virtual 3d de máquina tipo reach stacker aplicado à análise de acidentes de um porto real. In *Trabalho de Conclusão de Curso Engenharia Elétrica*. Instituto Federal Santa Catarina.
- Ferreira, B. M. B. and Antunes, W. P. C. (2022). Estudo e desenvolvimento de gateways e beacons ble para rastreamento de pessoas em ambientes fechados. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, 8(4):1329–1342.
- Lira, F. A., Junior, F. L., do Nascimento, E. J., Juca, S. C., and Júnior, J. N. (2019). Localizador de objetos em curtas distâncias baseado em bluetooth ble com monitoramento iot via mqtt. In *Anais da VII Escola Regional de Computação Aplicada à Saúde*, pages 109–114. SBC.
- Lyatuu, C. A. (2022). An analysis of bluetooth 5 in comparison to bluetooth 4.2 uma análise do bluetooth 5 em comparação com o bluetooth. *Europub Journal of Education Research, Portugal*, 3 n.1:112–120.
- Oliveira de Paula, G. H. et al. (2023). Avaliação e projeto de localização indoor utilizando bluetooth. In *Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Joinville, Engenharia Mecatrônica*. Universidade Federal de Santa Catarina.
- Sadowski, S. and Spachos, P. (2018). Rssi-based indoor localization with the internet of things. *IEEE access*, 6:30149–30161.
- Santiago, C. P., Menezes, J. W. M., and de Aquino, F. J. A. (2023). Proposta e avaliação de uma metodologia de aprendizagem baseada em projetos em disciplinas de engenharia de software através de uma sequência didática. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 31:31–59.
- Simões, W. C. (2022). Posicionamento indoor através de rssi e snr. In *Centro de Estudos e Sistemas Avançados de Recife - CESAR*, pages 9:560–573.
- Teixeira, Í. T. T. (2021). Método de avaliação de risco de acidentes industriais baseado em iot. In *Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Gestão de Redes de Telecomunicações*. PUC Campinas.
- Vescovi (2022). Uma revisão de escopo sobre o comportamento do consumidor no comércio eletrônico durante a pandemia do covid-19. *XLVI Encontro da ANPAD*.