

TECNOLOGIA BLUETOOTH: UMA ANÁLISE SOBRE A VISÃO GERAL E INTRODUÇÃO AO FUTURO DO BLUETOOTH 6.0

Data de submissão: 09/10/2024

Data de aceite: 01/11/2024

Gabriel Costa Cardoso

<https://lattes.cnpq.br/3874973665614685>

Fabiann Matthaus Dantas Barbosa

<http://lattes.cnpq.br/3769505772789674>

RESUMO: Em meados dos anos 2000, a tecnologia Bluetooth surgiu como uma solução inovadora para a comunicação sem fio entre dispositivos, oferecendo praticidade e eficiência. Inicialmente com limitações de velocidade, performance e relativo alto custo energético, a tecnologia Bluetooth evoluiu grandemente após décadas de desenvolvimento e versões lançadas, resolvendo suas limitações e implementando novas funcionalidades. Dentre as inovações que surgiram, destaca-se a introdução das tecnologias Bluetooth BR/EDR, que melhoraram a taxa de transferência de dados e a eficiência energética, e o Bluetooth Low Energy, que revolucionou a forma como dispositivos de baixo consumo se conectam. Este presente trabalho busca explorar a evolução da tecnologia Bluetooth historicamente, apresentando suas principais características através das versões, aplicações e inovações esperadas para o Bluetooth 6.0, assim como discutir

impactos futuros.

PALAVRAS-CHAVE: Bluetooth, Bluetooth Classic, Bluetooth Low Energy, LE audio

ABSTRACT: In the mid-2000s, Bluetooth technology emerged as an innovative solution for wireless communication between devices, offering practicality and efficiency. Initially limited in speed, performance, and relatively high energy cost, Bluetooth technology has greatly evolved after decades of development and released versions, overcoming its limitations and implementing new functionalities. Among the innovations that emerged, the introduction of Bluetooth BR/EDR technologies stands out, which improved data transfer rates and energy efficiency, as well as Bluetooth Low Energy, which revolutionized how low-power devices connect. This paper aims to explore the historical evolution of Bluetooth technology, presenting its main characteristics through the versions, applications, and expected innovations for Bluetooth 6.0, as well as discussing future impacts.

KEYWORDS: Bluetooth, Bluetooth Classic, Bluetooth Low Energy, LE audio

1 | INTRODUÇÃO

O Bluetooth é uma tecnologia de comunicação sem fio que desempenha um papel fundamental na conectividade de dispositivos eletrônicos, permitindo a transmissão de dados e a interação sem a necessidade de cabos. Desde seu lançamento, o Bluetooth evoluiu continuamente para atender às demandas crescentes por maior velocidade, menor consumo de energia e conectividade de longo alcance. Essas melhorias resultaram no surgimento de diferentes modalidades, como o Bluetooth Clássico e o Bluetooth Low Energy (BLE), que foram otimizadas para diferentes aplicações e contextos. Mais recentemente, as expectativas para o Bluetooth 6.0 têm gerado discussões no meio acadêmico e na indústria tecnológica, sugerindo novos avanços e possibilidades para a conectividade sem fio.

O Bluetooth Clássico é amplamente utilizado em dispositivos que requerem transmissão contínua de dados, como fones de ouvido, alto-falantes e controles de jogos. Em contrapartida, o Bluetooth Low Energy foi projetado para reduzir drasticamente o consumo de energia, tornando-o ideal para dispositivos de Internet das Coisas (IoT), sensores e dispositivos vestíveis. Com a introdução do Bluetooth 5.0, as capacidades de transmissão e alcance foram ampliadas, pavimentando o caminho para a próxima geração, o Bluetooth 6.0, que promete transformações significativas no cenário de conectividade.

Este presente trabalho busca explorar a evolução dessas tecnologias, apresentando suas principais características, aplicações e inovações esperadas para o Bluetooth 6.0. Por meio de um estudo comparativo, pretende-se esclarecer como cada versão atende a diferentes necessidades e como o futuro do Bluetooth pode impactar a conectividade em diversos setores, desde dispositivos pessoais até soluções industriais e de automação inteligente.

2 | METODOLOGIA

O presente trabalho adotou uma metodologia baseada em revisão bibliográfica e pesquisa exploratória, com o objetivo de realizar um estudo preliminar sobre a tecnologia Bluetooth, abordando os principais conceitos de Bluetooth Classic, Bluetooth Low Energy e as perspectivas futuras da tecnologia a partir da versão 6.0. A pesquisa teve como objetivo identificar os avanços das diferentes versões de Bluetooth ao longo de seu desenvolvimento, aplicações práticas e inovações tecnológicas prometidas pela versão 6.0.

Utilizando as palavras-chaves “*Bluetooth*”, “*Bluetooth Classic*”, “*Bluetooth Low Energy*” e “*LE Audio*”, a partir do *google scholar*, foi possível identificar cerca de cinco trabalhos científicos relevantes e de referência para o presente trabalho, além de outros trabalhos correlatos, que serviram de base para o aprofundamento teórico e a escrita do presente trabalho.

Foram estabelecidas 4 etapas para análise exploratória dos artigos recolhidos:

1. Investigação e seleção: Envolveu a identificação dos artigos mais relevantes e de referência a partir das palavras-chave definidas. O critério de inclusão baseou-se na atualidade das publicações, priorizando aquelas dos últimos cinco anos;
2. Análise e especificação: Após a seleção, foi realizada uma leitura crítica de cada artigo, identificando os principais conceitos e contribuições teóricas. Esta etapa permitiu categorizar as publicações de acordo com as versões do Bluetooth discutidas, separando os que tratavam do Bluetooth Classic e do BLE.
3. Análise exploratória: Nessa fase, aprofundou-se a compreensão dos principais pontos de inovação de cada tecnologia, comparando desempenho, consumo energético e aplicações práticas, entendendo o impacto das inovações do Bluetooth em diferentes setores, como dispositivos vestíveis, automotivos e médicos. Foram elaboradas tabelas informativas, com base em artigos identificados, sobre as versões de Bluetooth.
4. Análise dos resultados e especificação das contribuições: Por fim, realizou-se uma síntese das informações obtidas, destacando as contribuições de cada trabalho e suas inter-relações. As conclusões foram embasadas nas análises e nas lacunas identificadas, apontando oportunidades para futuras pesquisas.

Também foram utilizados documentos e relatórios publicados pelo grupo Bluetooth Sig, entidade responsável pelo desenvolvimento e manutenção da tecnologia Bluetooth, como fonte complementar. Foram adquiridas informações sobre a tecnologia Bluetooth BR/EDR, Bluetooth Low Energy e Bluetooth 6.0, que contribuíram significativamente para o embasamento teórico e forneceram dados quanto a versões antigas e mais recentes de Bluetooth.

3 | RESULTADOS

3.1 Bluetooth

A tecnologia Bluetooth, oficialmente lançada em 1999, é uma tecnologia disruptiva que vem evoluindo significativamente desde seu lançamento. Ao longo de sua trajetória lançou diversas versões com evoluções expressivas de eficiência energética, desempenho e conectividade, que estabelecem a tecnologia como uma das principais e mais eficientes tecnologias de conexão sem fio. Destaque para as versões 4.0 e 5.0 que, respectivamente, introduziram Bluetooth Low Energy, criando dispositivos de baixo custo energético, e aumento de alcance e velocidade de transmissão.

O mercado de tecnologia Bluetooth vem apresentando um considerável crescimento em 2024, projetando aproximadamente USD 29,1 bilhões até 2028, com uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) de 8,48% entre 2023 e 2028. É considerável o aumento da demanda por dispositivos com tecnologia Bluetooth em busca de soluções inteligentes aplicáveis à Internet das Coisas (IOT), automação industrial e residências

inteligentes, assim como outros setores de mercado, e a procura pelo consumidor direto por conexões sem fio em seus dispositivos de uso diário, como smartphones e relógios inteligentes. (TECHNAVIO, 2024; MORDOR INTELLIGENCE, 2024).

Os benefícios da tecnologia Bluetooth abrangem diversas aplicações e públicos, desde o setor corporativo até o consumidor final, assim, mantendo-se firme como tecnologia central ao se tratar de conexão sem fio moderna. Com o futuro lançamento da versão 6.0 espera-se que a tecnologia continue a crescer, expandindo o escopo, aumentando seu desempenho e atendendo as necessidades globais por melhores tecnologias sem fio.

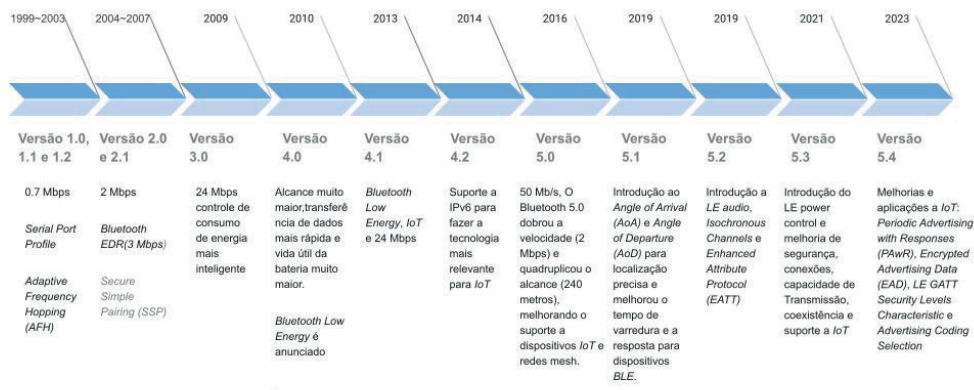


Figura 1 - Breve história da tecnologia *Bluetooth* e de suas versões

3.2 Bluetooth Classic

Bluetooth Classic, também conhecido como Bluetooth BR/EDR (Basic Rate/Enhanced Data Rate), é uma especificação de Bluetooth desenvolvido para ser possível estabelecer conexão com equipamentos eletrônicos em geral aptos. Grandemente utilizado para fones de ouvidos, alto-falantes e smartphones para transferência de dados.

Bluetooth BR/EDR em três versões gerais de Bluetooth:

3.2.1 Bluetooth versão 1.0 (1.0, 1.1 e 1.2)

Bluetooth versão 1.0 (1.0, 1.1 e 1.2), lançado entre 1999 até 2003, é a primeira versão de Bluetooth a estabelecer conexão de comunicação sem fio entre dispositivos eletrônicos. Entre as suas principais características, a taxa de transferência era de até 0.7 Mbps e com alcance máximo de 10 metros. Na versão 1.0 também foi introduzido os primeiros perfis Bluetooth, que estabelecem conexão entre dispositivos e como interagem

entre si.

3.2.2 Bluetooth versão 2.0 (2.0 e 2.1)

Introduzido de 2004 até 2007, a versão 2.0 (2.0 e 2.1) introduziu uma das principais funcionalidades da tecnologia Bluetooth, a funcionalidade *Enhanced Data Rate* (EDR), que permitia transmissões de dados até três vezes mais rápidas que as versões anteriores, atingindo incríveis 3 Mbps. Além da introdução de *Enhanced Data Rate* (EDR), houve uma melhora expressiva na eficiência energética, interoperabilidade e segurança. Novos perfis foram adicionados. Especialmente benéfico para soluções que exigem grande banda larga.

3.2.3 Bluetooth versão 3.0

Introduzido em 2009, a versão 3.0 trouxe grandes melhorias se comparado a versão 1.0 e 2.0. A principal feature introduzida foi o conceito de *Bluetooth High Speed*, que aumentou a taxa de transferência, chegando a até 24 Mbps. Outras funcionalidades e melhorias introduzidas foram: Melhor eficiência energética, se comparado às versões anteriores. Criação de um processo de emparelhamento mais eficaz e rápido. Foi estabelecido compatibilidade com as versões anteriores de Bluetooth.

Especificação de bluetooth	v1.1	v2.0+EDR	v2.2+EDR	v3.0+HS
Ano	2002	2004	2007	2009
<i>Basic rate</i>	YES	YES	YES	YES
<i>Enhanced Data Rate</i>	NO	YES	YES	YES
<i>High Speed (HS)</i>	NO	NO	NO	YES
<i>Low Power (LE)</i>	NO	NO	NO	NO

Tabela 1 - Características gerais das versões 1.0, 2.0 e 3.0 (Adaptado de 25 Years of Bluetooth Technology, 2019)

3.3 Bluetooth Low Energy

O Bluetooth Low Energy (BLE), introduzido na versão 4.0, surgiu como uma tecnologia voltada para aplicações que exigem baixo consumo de energia e alta eficiência na transmissão de dados. Diferente do Bluetooth clássico, o Bluetooth Low Energy foi projetado para permitir que dispositivos operem por longos períodos utilizando baterias de baixa capacidade, o que o torna ideal para sensores, dispositivos vestíveis (wearables) e aplicações de Internet das Coisas (Internet of Things - IoT).

Nos dias de hoje, Bluetooth Low Energy é uma importante solução em diferentes setores, como automação residencial, dispositivos vestíveis e aplicações industriais. Estimativas apontam que o mercado global de dispositivos Bluetooth crescerá a uma taxa

anual de 13,1%, passando de 52,93 bilhões de dólares em 2024 para 98,24 bilhões de dólares até 2029 (GLOBENEWSWIRE, 2024). Esse crescimento se deve à crescente demanda por dispositivos eficientes energeticamente e à capacidade do BLE de prover comunicação sem fio de baixo consumo energético, facilitando o uso em serviços de rastreamento de ativos, navegação interna e marketing de proximidade (ENCSTORE, 2024).

3.3.1 Bluetooth versão 4.0 (4.0, 4.1 e 4.2)

Introduzido entre 2010 e 2014, a versão 4.0 introduziu Bluetooth Low Energy, que foi um marco significativo para a tecnologia Bluetooth. Bluetooth Low Energy foi projetado para ser possível estabelecer conexão entre dispositivos com baixíssimo consumo energético. Foi de grande importância para aplicações e soluções na área da saúde, automação residencial e dispositivos vestíveis, como relógios inteligentes e *hearing aid*.

A versão 4.0 conseguiu aprimorar tempo de conexão, aumento na velocidade de conexão mesmo com baixo consumo energético, aprimorou alcance para até 60 metros e compatibilidade entre dispositivos, além de ser possível estabelecer conexão com as versões anteriores.

3.3.2 Bluetooth versão 5.0 (5.0, 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4)

Introduzido inicialmente em 2016 e tendo seu desenvolvimento até 2023, a versão 5.0 foi a versão que mais lançou atualizações/versões. A versão 5.0 trouxe um aumento expressivo de desempenho e novas funcionalidades.

As principais melhorias na versão 5.0 (5.0, 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4) se deram a partir na melhora de distância, transmissão de dados e quantidade de dispositivos suportados ao mesmo tempo. Assim como melhoria na localização através das features Angle of Arrival (AoA) e Angle of Departure (AoD). Como foco em áudio foi adicionado Multi-Stream Audio, feature que tem como objetivo de permitir suporte a vários fluxos de áudio simultaneamente.

Estabelecimento do *Enhanced Attribute Protocol (EATT)*, que melhora a comunicação entre dispositivos e possibilita a transferência de dados de forma mais eficiente. Introdução de um controle de potência chamado Power Control. Destaca-se também a criação do conceito de LE audio e o codec LC3.

Especificação de bluetooth	v4.0 + LE	v4.1	v4.2	v5.0
Ano	2010	2013	2014	2016
<i>Basic rate</i>	YES	YES	YES	YES
<i>Enhanced Data Rate</i>	YES	YES	YES	YES
<i>High Speed (HS)</i>	YES	YES	YES	YES
<i>Low Power (LE)</i>	YES	YES	YES	YES

Tabela 2 - Características gerais das versões 4.0 e 5.0 (Adaptado de 25 Years of Bluetooth Technology, 2019)

3.3.3 Bluetooth Mesh

Desenvolvido a partir de *Bluetooth Low Energy*, *Bluetooth Mesh* é uma recente tecnologia com foco em Internet das Coisas (*IOT*) e que representa uma solução inteligente devido ao conceito de conexão *many-to-many* (*muitos para muitos*). Criado com o objetivo de permitir conexões seguras e padronizadas para muitos dispositivos simultaneamente, possibilita a criação de conexões e troca de informações com dezenas de milhares de dispositivos, cada um com a capacidade de comunicação com qualquer outro dispositivo na rede.

Sendo um conceito relativamente novo e que ainda está em evolução, Bluetooth Mesh tem como principal característica a comunicação em malha, que permite os dispositivos conectados comunicarem entre si, assim como a escalabilidade, baixo consumo de energia e segurança.

	Bluetooth Classic	Bluetooth Low Energy
<i>Frequency band</i>	2.4GHz ISM Band (2.402 – 2.480 GHz Utilized)	2.4GHz ISM Band (2.402 – 2.480 GHz Utilized)
<i>Channels</i>	79 channels with 1 MHz spacing	40 channels with 2 MHz spacing (3 advertising channels/37 data channels)
<i>Channel Usage</i>	Frequency-Hopping Spread Spectrum (FHSS)	Frequency-Hopping Spread Spectrum (FHSS)
<i>Modulation</i>	GFSK, $\pi/4$ DQPSK, 8DPSK	GFSK
<i>Data Rate</i>	EDR PHY (8DPSK): 3 Mb/s EDR PHY ($\pi/4$ DQPSK): 2 Mb/s BR PHY (GFSK): 1 Mb/s	LE 2M PHY: 2 Mb/s LE 1M PHY: 1 Mb/s LE Coded PHY (S=2): 500 Kb/s LE Coded PHY (S=8): 125 Kb/s
<i>Tx Power</i>	≤ 100 mW (+20 dBm)	≤ 100 mW (+20 dBm)
<i>Rx Sensitivity</i>	≤ -70 dBm	LE 2M PHY: ≤ -70 dBm LE 1M PHY: ≤ -70 dBm LE Coded PHY (S=2): ≤ -75 dBm LE Coded PHY (S=8): ≤ -82 dBm

<i>Data Transports</i>	<i>Asynchronous Connection-oriented Synchronous Connection-oriented</i>	<i>Asynchronous Connection-oriented Isochronous Connection-oriented Asynchronous Connectionless Synchronous Connectionless Isochronous Connectionless</i>
<i>Communication Topologies</i>	<i>Point-to-Point (including piconet)</i>	<i>Point-to-Point (including piconet) Broadcast Mesh</i>
<i>Positioning Features</i>	<i>None</i>	<i>Presence: Advertising Direction: Direction Finding (AoA/AoD) Distance: RSSI, Channel Sounding</i>

Tabela 3 - Comparação das Tecnologias Bluetooth Classic e Bluetooth Low Energy (Adaptado de BLUETOOTH SIG, 2024).

3.4 Bluetooth 6.0 - Visão geral

Lançado em 2024, a versão 6.0 de Bluetooth traz um crescimento considerável de performance e funcionalidades voltadas para streaming de áudio, redes de dispositivos e serviços de localização. As novas features proporcionam uma melhor experiência para o usuário e ampliam o escopo de funcionalidades para grandes empresas.

As principais funcionalidades adicionadas são:

- Bluetooth Channel Sounding – “Uma das características mais notáveis do Bluetooth 6.0 é a adição de channel sounding, que permite a medição de distância bidirecional entre dois dispositivos Bluetooth LE. Esta atualização está prestes a revolucionar a precisão de medição de distância e alcance” (SILICON LABS, 2024).
- Decision-Based Advertising Filtering and Monitoring Advertisers – “Essas funcionalidades melhoram a eficiência da varredura de um dispositivo Bluetooth. Enquanto a filtragem baseada em decisão ajuda a melhorar a eficiência, reduzindo o tempo gasto na varredura de pacotes de dados, o monitoramento de anunciantes utiliza a interface do controlador de host (HCI) para rastrear quando os dispositivos entram e saem da área de cobertura” (SILICON LABS, 2024).
- ISOAL Enhancement – “Aumenta a confiabilidade na transmissão de dados e reduz a latência que vem com a geração de PDUs (Protocol Data Units) estruturados” (SILICON LABS, 2024).
- LL Extended Feature Set – “Esse recurso permite que os dispositivos troquem características da camada de enlace que suportam” (SILICON LABS, 2024).
- Frame Space Update – “Permite um espaçamento negociável entre fluxos isócronos e eventos de conexão, otimizando o throughput de dados” (SILICON LABS, 2024).

Bluetooth 6.0 e os novos recursos adicionados, especialmente Bluetooth Channel Sounding, tem como objetivo principal a melhora de localização e reconhecimento de

proximidade.

4 | DISCUSSÃO - BLUETOOTH 6.0 E O FUTURO

O Bluetooth 6.0 avança de significativa, aprimorando cenários Bluetooth de conectividade, localização e reconhecimento de proximidade. Espera-se que, com as inovações introduzidas pelo Bluetooth 6.0, o desempenho em cenários de longa distância, transmissão de dados e redução de latência melhorem consideravelmente. Também é esperado grande aprimoramento no desempenho das redes mesh, tecnologia relativamente recente, permitindo que a tecnologia se torne mais robusta e confiável.

Em meio ao grande desenvolvimento esperado da versão 6.0 de Bluetooth, as novas funcionalidades prometem novas soluções e melhor eficiência em diversas áreas, como Internet das Coisas (IoT), sensores e dispositivos vestíveis, beneficiando diferentes públicos, de consumidores finais até grandes empresas.

Bluetooth 6.0, com suas novas tecnologias e funcionalidades, promete um futuro promissor. O Bluetooth 6.0 não aprimora sobre localização e reconhecimento de proximidade, mas como consequência cria um novo caminho para tecnologias mais fluidas, conectadas e inteligentes, melhorando o estilo de vida do público consumidor de tecnologias Bluetooth.

5 | CONCLUSÃO

Este estudo tem como objetivo analisar brevemente a história, as diferentes versões e as perspectivas futuras da tecnologia Bluetooth, com especial destaque para a versão 6.0. A proposta é proporcionar uma visão global e promover o debate sobre o progresso contínuo desta tecnologia inovadora.

Examinando a trajetória do Bluetooth, é possível reconhecer sua importância como tecnologia revolucionária no contexto dos dispositivos móveis. Além disso, o Bluetooth desempenha um papel fundamental na Internet das Coisas (IoT), na automação industrial e na automação industrial. A capacidade do Bluetooth de conectar dispositivos de maneira eficiente e sem fio transformou a maneira como interagimos com a tecnologia todos os dias.

A avaliação das versões do Bluetooth e das tendências emergentes proporciona uma melhor compreensão das inovações esperadas. Isto provoca discussões sobre o impacto da tecnologia no futuro das comunicações sem fio. À medida que avançamos para um mundo cada vez mais conectado, é essencial pensar em como as atualizações do Bluetooth, especialmente a versão 6.0, podem afetar não apenas a forma como os dispositivos se comunicam, mas também como essas interações moldam a nossa vida diária.

REFERÊNCIAS

1. **GLOBENEWSWIRE.** Global Bluetooth Devices Market Analysis Report 2024-2029. Disponível em: <https://www.globenewswire.com>. Acesso em: 01 out. 2024.
2. **ENCSTORE.** Bluetooth Low Energy (BLE): Trends and Challenges in 2024. Disponível em: <https://www.encstore.com>. Acesso em: 01 out. 2024.
3. **BLUETOOTH SIG.** Bluetooth technology overview. Disponível em: <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/>. Acesso em: 02 out. 2024.
4. **Core Specification 5.3 – Bluetooth® Technology Website.** Disponível em: <https://www.bluetooth.com/specifications/specs/core-specification-5-3/>. Acesso em: 04 out. 2024.
5. **BLUETOOTH SPECIAL INTEREST GROUP.** Bluetooth® Core Specification version 6.0 Feature Overview. Disponível em: <https://www.bluetooth.com>. Acesso em: 08 out. 2024.
6. **BLUETOOTH SPECIAL INTEREST GROUP.** Bluetooth Channel Sounding: A Technical Overview. Disponível em: <https://www.bluetooth.com>. Acesso em: 08 out. 2024.
7. **HE, N.** Guide on Different Bluetooth Versions: From 1.0 to 6.0 and Beyond. Disponível em: <https://www.mokosmart.com/guide-on-different-bluetooth-versions/>. Acesso em: 04 out. 2024.
8. **What is Bluetooth® mesh?** Disponível em: <https://support.bluetooth.com/hc/en-us/articles/360049491971-What-is-Bluetooth-mesh>. Acesso em: 08 out. 2024.
9. **SILICON LABS.** The new and improved Bluetooth 6.0. Disponível em: <https://www.silabs.com/blog/the-new-and-improved-bluetooth-6-0>. Acesso em: 08 out. 2024.
10. **Introducing Bluetooth Mesh Networking.** Disponível em: <https://www.bluetooth.com/blog/introducing-bluetooth-mesh-networking/>. Acesso em: 08 out. 2024.
11. **The Bluetooth® Mesh Primer | Bluetooth® Technology Website.** Disponível em: <https://www.bluetooth.com/bluetooth-mesh-primer/>. Acesso em: 08 out. 2024.
12. **BLUETOOTH SPECIAL INTEREST GROUP.** Bluetooth 1.0 Overview. Disponível em: Bluetooth 1.0. Acesso em: 08 out. 2024.
13. **BLUETOOTH SIG.** Bluetooth Core Specification Version 3.0. Disponível em: Bluetooth SIG. Acesso em: 08 out. 2024.
14. **BLUETOOTH SPECIAL INTEREST GROUP (SIG).** Bluetooth 5.0. Disponível em: Bluetooth SIG. Acesso em: 08 out. 2024.
15. **WANG, Jian; LIANG, Hui.** Bluetooth 5.2 technology and application. International Journal of Advanced Network, Monitoring and Controls, v. 6, n. 2, p. 32-36, 2021. Disponível em: DOI: 10.21307/ijanmc-2021-014.
16. **LIU, Chendong; ZHANG, Yilin; ZHOU, Huanyu.** A comprehensive study of Bluetooth Low Energy. Journal of Physics: Conference Series, v. 2093, p. 1-8, 2021. Disponível em: DOI: 10.1088/1742-6596/2093/1/012021.

17. AL-SHAREEDA, Mahmood A.; SAARE, Murtaja Ali; MANICKAM, Selvakumar; KARUPPAYAH, Shankar. Bluetooth low energy for internet of things: review, challenges, and open issues. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, v. 31, n. 2, p. 1182-1189, 2023. Disponível em: DOI: 10.11591/ijeecs.v31.i2.pp1182-1189.

18. ZEDADALLY, Sherali; SIDDIQUI, Farhan; BAIG, Zubair. 25 Years of Bluetooth Technology. Future Internet, v. 11, n. 194, p. 1-24, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-5903/11/9/194>. Acesso em: 04 out. 2024.