

BLUETOOTH, ANÁLISE DA TECNOLOGIA SEM FIO: ANÁLISE SIMPLIFICADA DA HISTÓRIA, FUNCIONAMENTO E IMPORTÂNCIA DA TECNOLOGIA¹

NETO, Renan²

COTRIN, Rodrigo³

DEARO, Ronaldo⁴

SANTANA, DANIELA SANTOS⁵

SANTANA, LEANDRO⁶

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise crítica e abrangente da evolução, arquitetura e impacto do *Bluetooth* como tecnologia de comunicação sem fio. Fundamentado em artigos científicos, documentações oficiais e publicações especializadas, o estudo destaca como a arquitetura flexível, o baixo consumo de energia e a interoperabilidade do Bluetooth sustentam sua posição em um mercado dinâmico e competitivo. O trabalho também explora a trajetória histórica do Bluetooth, desde sua origem nos laboratórios da Ericsson em 1994 até sua declaração como padrão dominante de conectividade de curto alcance. Dados recentes reforçam essa liderança, com 4,7 bilhões de dispositivos Bluetooth enviados globalmente em 2023, correspondendo a 82% dos chips de comunicação de curto alcance fabricados naquele ano. Para validar conceitos técnicos, desenvolveu-se uma simulação no *Cisco PacketTracer* ilustrando a dinâmica das conexões Bluetooth. Além disso, o artigo compara o Bluetooth com outras tecnologias de conexão sem fio relevantes, elucidando suas vantagens em eficiência, segurança e escalabilidade frente a concorrentes como *ZigBee* e *NFC*. Conclui-se que, ao baixo custo, eficiência energética e combinação de governança colaborativa, o *Bluetooth* permanece uma solução robusta, adaptável a diferentes cenários e essencial para ambientes e sistemas cada vez mais conectados.

Palavras-chave: Bluetooth, IoT, Wireless, Interoperabilidade.

INTRODUÇÃO

Em um mundo cada vez mais interconectado, onde a comunicação sem fio se tornou um alicerce da sociedade digital, o Bluetooth se destaca por estar presente em mais de 20 bilhões de dispositivos até 2023 e com crescimento previsto para os próximos anos. Tendo seu início datado a partir de 1994, nos laboratórios da Ericsson, como uma solução proprietária para substituir interfaces seriais RS-232 BLUETOOTH SIG, 2023; HAARTSEN (2000). Apoiando a ideia, em 1998, foi fundado o *Bluetooth Special Interest Group* (SIG), consórcio inicialmente formado por Ericsson, IBM, Intel, Nokia e Toshiba, com o objetivo de padronizar e promover a tecnologia globalmente. Para esta nova tecnologia, se deu o nome

¹ Trabalho realizado no âmbito da disciplina de Redes de Computadores (SPOREDC), no terceiro semestre do curso de Bacharelado em Sistemas de Informação do Instituto Federal de São Paulo – campus São Paulo (IFSP).

² Aluno do curso de Bacharelado em Sistemas de Informação; IFSP; São Paulo; SP; renan.neto@aluno.ifsp.edu.br

³ Aluno do curso de Bacharelado em Sistemas de Informação; IFSP; São Paulo; SP; cotrin.silva@aluno.ifsp.edu.br

⁴ Aluno do curso de Bacharelado em Sistemas de Informação; IFSP; São Paulo; SP; ronaldo.dearo@aluno.ifsp.edu.br

⁵ Prof^a. Dr^a. em Engenharia Elétrica; IFSP; São Paulo; SP; daniela.santana@ifsp.edu.br

⁶ Prof. Me em Educação Profissional; IFSP; São Paulo; SP; leandro.santana@ifsp.edu.br

de *Bluetooth* devido ao rei escandinavo Harald Gormsson, apelidado de “*Bluetooth*”, reconhecido por unificar diferentes tribos, realizando uma analogia simbólica à proposta do protocolo de integrar múltiplos dispositivos e fabricantes sob um padrão comum *BLUETOOTH SIG* (2023).

O destaque da tecnologia vem de seu baixo custo, aplicação facilitada e da utilização da radiofrequência para permitir que dispositivos se comuniquem, sincronizem dados e se conectem de forma eficiente com total ausência de cabos. Deste modo, o Bluetooth expandiu-se para contextos complexos, como automação industrial, dispositivos médicos, wearables e aplicações em Internet das Coisas (IoT), consolidando-se como um dos principais facilitadores da conectividade moderna GÓMEZ et al. (2012). Sua primeira versão foi lançada em 1999, sendo seguida por atualizações significativas: a versão 2.1 introduziu pareamento simplificado com maior segurança, a 3.0 aumentou sua velocidade de transferência de dados, a 4.0 trouxe o *Bluetooth Low Energy* (BLE), crucial para dispositivos com baixa demanda de energia, e a versão 5.0 aumentou alcance e taxa de transmissão, permitindo aplicações mais robustas em ambientes urbanos e industriais SOFI, MUKHTAR (2016).

A importância do *Bluetooth* reside não apenas na sua funcionalidade técnica, mas também na sua capacidade de adaptação diante de um cenário tecnológico em constante transformação. Mesmo com o surgimento de tecnologias concorrentes como ZigBee, NFC, UWB e Wi-Fi 6, o *Bluetooth* mantém sua relevância e seu papel como elo entre dispositivos inteligentes, aliado à governança colaborativa do SIG, assegura que essa tecnologia continue sendo estratégica na construção de sistemas interoperáveis e ambientes conectados. *BLUETOOTH SIG* (2023).

Deste modo, o trabalho analisa a trajetória do Bluetooth, estrutura, seu impacto na tecnologia, simulações de funcionamento e comparações frente a atuais concorrentes. Destacando como sua combinação de baixo custo, eficiência energética e governança colaborativa pelo SIG mantém sua relevância em ecossistemas conectados.

OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal consolidar uma análise sobre o que é, evolução, arquitetura e relevância do Bluetooth como tecnologia de conectividade sem fio. Além de realizar simulações para exemplificar o funcionamento da *piconet / scatternet* e do *Bluetooth*. Para isso, estabelecem-se os objetivos específicos:

- Analisar a arquitetura e os protocolos do Bluetooth, compreendendo seu funcionamento, modos de operação e as melhorias introduzidas em suas diferentes versões;
- Avaliar a capacidade de adaptação do Bluetooth a novos cenários, como IoT e sistemas industriais, destacando suas vantagens e limitações em comparação com outras tecnologias de comunicação sem fio;
- Implementar uma simulação no Cisco Packet Tracer para demonstrar um cenário prático de uso do Bluetooth e piconet / scatternet.

Por meio desses objetivos, busca-se não apenas elucidar os aspectos técnicos e históricos do Bluetooth, mas também validar sua eficiência e aplicabilidade em ambientes controlados, contribuindo para um entendimento mais aprofundado de seu papel na conectividade global.

METODOLOGIA

Este trabalho adota uma revisão técnica abrangente, baseada em um total de três artigos científicos, documentações oficiais do Bluetooth, dois relatórios técnicos e um artigo de site especializado e utiliza de simulação no *Cisco Packet Tracer*. A revisão bibliográfica garante uma base teórica atualizada sobre a tecnologia, enquanto a simulação permite exemplificar de forma simbólica o funcionamento do Bluetooth em um ambiente controlado.

Embora o *Packet Tracer* apresente limitações, sua utilização como ferramenta complementar oferece uma representação visual e didática da comunicação Bluetooth, facilitando a compreensão de seus princípios básicos. Essa integração entre teoria e prática visa reforçar o entendimento conceitual enquanto ilustra aplicações cotidianas da tecnologia, reforçando a amplitude da tecnologia.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Iniciando em seu funcionamento, o *Bluetooth* é uma especificação industrial para *Personal Area Networks* (PANs), sendo conhecido como IEEE 802.15.1 em outros casos. Permitindo a conexão entre dispositivos como computadores, celulares, periféricos, dentre outros, utilizando de radiofrequência de curto alcance e baixo custo (BISDIKIAN, 2001).

Nesse sentido, o Bluetooth estabelece comunicação por meio de *piconets*, redes que conectam de dois a oito dispositivos, sendo um *mestre* e os demais *escravos*, porém as funções podem ser trocadas se necessário. Nessa estrutura, os escravos podem trocar dados entre si, permanecendo em modo de baixo consumo até serem acionados pelo mestre. Para ampliar o alcance, múltiplas *piconets* podem interligar-se via mestres, formando uma *scatternet* e neste caso, escravos de uma *piconet* só trocam informação com escravos de outra *piconet* através dos mestres. Essa arquitetura assegura comunicação eficiente entre diversos nós, com respostas ágeis e otimização energética, essencial para aplicações IoT e dispositivos móveis GÓMEZ; OLLER; PARADELLS.(2012).

Os dispositivos que utilizam do *Bluetooth* recebem classificações de acordo com seu gasto energético e alcance, sendo divididos nos níveis: classe 1 (100 mW, com alcance de até 100 m), classe 2 (2,5 mW e alcance até 10 m) e classe 3, (1 mW e alcance de 1 m), porém estes alcances podem ter diferenças devido interferências físicas e eletromagnéticas, tal quais paredes, pessoas e outros tipos de ondas SOFI, MUKHTAR (2016).

Seguindo para a simulação no Cisco Packet Tracer, é possível elucidar o funcionamento básico do *Bluetooth*:

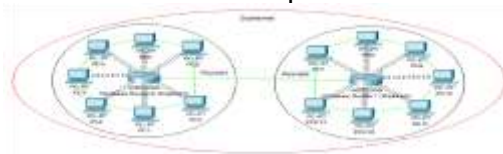
Figura 1: Dispositivos conectados via Bluetooth e envio de dados



Fonte: Os autores

Visualizando assim, na Figura 1, o funcionamento básico do bluetooth, onde um dispositivo “mestre” (neste caso o *Portable Music Player*), envia dados para um dispositivo “escravo” (o *Bluetooth Speaker*), deste modo reproduzindo o áudio enviado.

Figura 2: Conexão de Piconets para formar uma Scatternet



Fonte: Os autores

Seguindo para a Figura 2, onde de forma simbólica, demonstra o conceito de *piconet* e *scatternet*, na qual sete “escravos” estão conectados a um “mestre” formando a *piconet*, a qual se conecta a outra para formar a *scatternet*. Este cenário reflete-se em situações maiores, onde diversas *piconets* podem se conectar para formar *scatternets* maiores.

Seguindo para a arquitetura do *Bluetooth*, a mesma é composta por dois componentes principais: um *transceiver* (hardware) e uma pilha de protocolos (software). O hardware inclui elementos como o *transceiver* de rádio frequência (RF), o controlador de banda base, o processador de controle de enlace e a antena, que operam na faixa ISM de 2.4 GHz, utilizando técnicas como o *frequency hopping* (alterações pequenas de frequência) para evitar interferências. A pilha de protocolos é dividida em três grupos: protocolos de transporte (como RF, Baseband, Link Manager e L2CAP), que gerenciam conexões físicas e lógicas; protocolos de middleware (como PPP, IP, TCP e SDP), que permitem a interoperabilidade com outras tecnologias; e o grupo de aplicação, que inclui as aplicações finais que utilizam a comunicação Bluetooth. Essa arquitetura permite comunicação segura e eficiente, suportando tanto transmissões de voz (SCO) quanto de dados (ACL), com baixo consumo de energia KARDACH (2000).

A análise dos resultados evidencia a trajetória bem-sucedida do Bluetooth, desde seu desenvolvimento inicial nos laboratórios da Ericsson em 1994 até sua consolidação como principal padrão de conectividade de curto alcance. Os dados quantitativos reforçam essa hegemonia: apenas em 2023, foram enviados 4,7 bilhões de dispositivos *Bluetooth*, representando impressionantes 82% de todos os chips de comunicação de curto alcance fabricados globalmente. Essa dominância se destaca ainda mais quando comparada a tecnologias concorrentes, como Zigbee (11%) e NFC (5%) ABI Research (2023); Bluetooth SIG (2024). Essa liderança de mercado é resultado de uma evolução técnica constante, que transformou o Bluetooth de uma simples alternativa a cabos seriais em uma plataforma versátil para IoT, áudio de alta qualidade e automação industrial.

No segmento de *smart homes*, o *Bluetooth* detém uma participação de mercado de 68%, contra apenas 19% do Zigbee ABI Research (2023), com crescimento consistente desde 2021. Essa vantagem pode ser atribuída a três fatores principais: sua eficiência energética superior, com o modo BLE (*Bluetooth Low Energy*) operando em um consumo entre 0,01 e 0,5W, significativamente menor que os 0,5 a 1W do Wi-Fi Direct TechTudo (2022) e mais eficiente que o *Zigbee em modo standby*. Sua interoperabilidade nativa com bilhões de smartphones; e sua adaptabilidade a diferentes cenários de uso. O crescimento do *Bluetooth* no ambiente industrial é ainda mais notável, especialmente com a adoção do *Bluetooth Mesh*, protocolo que registrou um aumento de 142% em implantações entre 2020 e 2023 BLUETOOTH SIG (2023), superando o Zigbee em aplicações de automação predial. Essa expansão se deve à sua capacidade de suportar redes com até 32.640 nós, contrastando com as limitações de 250 a 500 nós das redes Zigbee.

Em síntese, os resultados confirmam que o Bluetooth resolveu de maneira única o chamado "três lema da IoT", equilibrando consumo energético, custo e interoperabilidade. Sua arquitetura aberta e atualizações iterativas permitiram sua dominância em segmentos variados, como *smart homes*, áudio premium e automação industrial – um feito inédito entre os padrões concorrentes. Embora desafios tecnológicos e competitivos persistam, sua trajetória ascendente sugere que o *Bluetooth* deve manter sua posição como padrão hegemônico de conectividade de curto alcance no futuro previsível, desde que continue a evoluir em áreas críticas, como segurança e gestão de espectro.

CONCLUSÃO

O *Bluetooth* consolida-se como tecnologia indispensável no ecossistema digital, combinando facilidade de implementação, custo competitivo e escalabilidade de forma sem precedentes. Apesar de desafios como congestão no espectro de 2.4 GHz e vulnerabilidades em versões antigas e necessidade de eficiência energética maior na IoT industrial, sua evolução governada pelo Bluetooth SIG, superou limitações com inovações como Bluetooth Low Energy, geolocalização por Direction Finding e redes mesh industriais.

No futuro, o Bluetooth destaca-se em três frentes: integração com IA para autogerenciamento, criptografia pós-quântica e sinergia com *Ultra-Wideband* para comunicações de alta precisão. Seu impacto é visível ao dominar o mercado de chips de comunicação próxima, impulsionando *wearables*, automação residencial e oferecendo reduções de custo vantajosas.

Da era das *piconets* às redes de baixa latência para realidade aumentada, o Bluetooth supera concorrentes como *Wi-Fi 6* e *Zigbee* ao resolver os três lemas da conectividade: eficiência energética, acessibilidade e interoperabilidade. Na era da Indústria 4.0, reafirma-se como alicerce tecnológico para a próxima década de inovações.

REFERÊNCIAS

ABI RESEARCH. **Wireless connectivity market data**. 2023. Disponível em: (sem URL informada). Acesso em: 01 jun. 2025.

BISDIKIAN, Chatschik. **An overview of the bluetooth wireless technology**. IEEE Communications Magazine, v. 39, n. 12, p. 86-94, 2001.

BLUETOOTH SIG. **Bluetooth SIG website**. Disponível em: <https://www.bluetooth.com/>. Acesso em: 10 mai. 2025.

GÓMEZ, Carles; OLLER, Joaquim; PARADELLS, Josep. **Overview and evaluation of Bluetooth Low Energy: An emerging low-power wireless technology**. Sensors, v. 12, n. 9, p. 11734–11753, 2012. Acesso em: 01 jun. 2025.

HAARTSEN, Jaap. **Bluetooth: The universal radio interface for ad hoc, wireless connectivity**. Ericsson Review, n. 3, p. 110–117, 2000. Acesso em: 01 jun. 2025.

KARDACH, James. **Bluetooth Architecture Overview**. Mobile Computing Group, Intel Corporation, 2000. Acesso em: 01 jun. 2025.

LAMIM, Jonathan. **Bluetooth 5.3, 5.2, 5.1 e 5.0: entenda as diferenças entre versões**. TechTudo, 08 ago. 2023. Disponível em: <https://www.techtudo.com.br/guia/2023/08/bluetooth-53-52-51-e-50-entenda-as-diferencas-entre-versoes-edinfoeletro.ghtml>. Acesso em: 08 jun. 2025.

MCKINSEY & COMPANY. **The Internet of Things: sizing up the opportunity**. McKinsey & Company. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/semiconductors/our-insights/the-internet-of-things-sizing-up-the-opportunity>. Acesso em: 01 jun. 2025.

SOFI, Mukhtar Ahmad. **Bluetooth protocol in Internet of Things (IoT), security challenges and a comparison with Wi-Fi protocol: a review**. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), v. 5, n. 11, p. 461–467, nov. 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/311086845>. Acesso em: 01 jun. 2025.