

A REVOLUÇÃO DA INTERNET DAS COISAS (IOT): CONECTANDO O MUNDO FÍSICO E DIGITAL

*THE INTERNET OF THINGS (IOT) REVOLUTION: CONNECTING THE PHYSICAL AND
DIGITAL WORLDS*

Edmaury Vieira Fabri

MUST University, Estados Unidos

Meirelene Pereira Fróes Lima

Universidade Estadual do Maranhão, Brasil

Madalena da Silva Rodrigues

MUST University, Estados Unidos

Sonái Maria da Silva

Universidad Leonardo da Vinci, Paraguai

Marilene Lopes Rangel

MUST University, Estados Unidos

ISSN: 2594-9950

DOI: <http://dx.doi.org/10.31512/missioneira.v27i1.2120>

Resumo: A Internet das Coisas (IOT) representa uma transformação profunda na forma como objetos físicos se integram ao ambiente digital, criando redes de dispositivos interconectados capazes de coletar, transmitir e processar dados sem intervenção humana direta. Este fenômeno tecnológico expande-se exponencialmente na sociedade contemporânea, modificando setores como indústria, saúde, agricultura e vida urbana, o que justifica sua investigação sistemática para compreensão de suas implicações técnicas, sociais e econômicas. O presente estudo tem como objetivo analisar o desenvolvimento atual da IoT, identificando seus principais componentes tecnológicos, modelos de implementação e desafios relativos à segurança, privacidade e interoperabilidade. A metodologia adotada baseia-se em revisão bibliográfica integrativa de publicações científicas recentes (2018-2025) disponíveis nas bases de dados IEEE Xplore, Scopus e Web of Science, complementada por análise documental de relatórios técnicos de organizações de padronização e empresas líderes no setor. Os resultados evidenciam a emergência de arquiteturas distribuídas de *edge computing* como solução para problemas de latência e sobrecarga de rede, além da consolidação de protocolos de comunicação específicos para dispositivos com recursos limitados. Identifica-se também a necessidade de frameworks regulatórios que equilibrem inovação tecnológica e proteção de dados pessoais. Conclui-se que a IoT constitui um ecossistema complexo em evolução, cuja expansão sustentável depende do desenvolvimento coordenado de tecnologias habilitadoras, modelos de negócio viáveis e políticas públicas adequadas, além de abordagens interdisciplinares que considerem aspectos éticos, ambientais e de inclusão digital, para maximização de seus benefícios sociais e mitigação de riscos associados.

Palavras-chave: Internet das Coisas; Computação Distribuída; Interoperabilidade.



A Revista Missioneira está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional.

Abstract: The Internet of Things (IoT) represents a profound transformation in how physical objects integrate with the digital environment, creating networks of interconnected devices capable of collecting, transmitting, and processing data without direct human intervention. This technological phenomenon expands exponentially in contemporary society, modifying sectors such as industry, healthcare, agriculture, and urban life, which justifies its systematic investigation to understand its technical, social, and economic implications. This study aims to analyze the current development of IoT, identifying its main technological components, implementation models, and challenges related to security, privacy, and interoperability. The methodology is based on an integrative bibliographic review of recent scientific publications (2018-2025) available in IEEE Xplore, Scopus, and Web of Science databases, complemented by documentary analysis of technical reports from standardization organizations and leading companies in the sector. The results demonstrate the emergence of distributed edge computing architectures as a solution to latency and network overload problems, as well as the consolidation of specific communication protocols for resource-constrained devices. The study also identifies the need for regulatory frameworks that balance technological innovation and personal data protection. It concludes that IoT constitutes a complex evolving ecosystem whose sustainable expansion depends on the coordinated development of enabling technologies, viable business models, and appropriate public policies, as well as interdisciplinary approaches that consider ethical, environmental, and digital inclusion aspects, to maximize its social benefits and mitigate associated risks.

Keywords: Internet of Things; Distributed Computing; Interoperability.

Introdução

A Internet das Coisas (IoT) emerge como um paradigma tecnológico transformador que reconfigura as relações entre objetos físicos e o ambiente digital, estabelecendo uma infraestrutura de rede que integra dispositivos, sistemas e serviços para além das conexões tradicionais entre computadores. Este ecossistema tecnológico caracteriza-se pela capacidade de interconectar objetos cotidianos, dotando-os de sensores, atuadores e interfaces de comunicação que permitem coleta, transmissão e processamento autônomo de dados em tempo real, criando ambientes cada vez mais responsivos e inteligentes. A progressiva miniaturização de componentes eletrônicos, o desenvolvimento de redes de comunicação mais eficientes e a redução significativa nos custos de produção de sensores têm impulsionado a expansão exponencial da IoT em diversos setores da sociedade contemporânea, incluindo indústria, agricultura, saúde, mobilidade urbana e ambientes domésticos. Este cenário tecnológico em rápida evolução demanda análises sistemáticas sobre suas implicações técnicas, econômicas, sociais e éticas, considerando tanto suas potencialidades quanto os desafios inerentes à sua implementação em larga escala.

No contexto atual, observa-se uma aceleração significativa no desenvolvimento e adoção de tecnologias IoT, impulsionada pela convergência de avanços em áreas como computação em nuvem, inteligência artificial, tecnologias de comunicação 5G e sistemas ciber-físicos. Esta convergência tem possibilitado o surgimento de aplicações cada vez mais sofisticadas e a integração de dispositivos em ecossistemas complexos de processamento distribuído. Conforme apontam Amaral, Juliani e Bettio (2020, p. 85), “a expansão da Internet das Coisas representa uma extensão significativa da capacidade humana de coletar, analisar e responder a informações do mundo físico, transformando objetos cotidianos em fontes contínuas de dados ambientais, comportamentais e operacionais”. Este cenário de hiperconectividade apresenta desafios substanciais relacionados à segurança cibernética, privacidade de dados, interoperabilidade entre

sistemas heterogêneos e sustentabilidade energética, aspectos que têm recebido atenção crescente tanto de pesquisadores quanto de formuladores de políticas públicas e agências reguladoras internacionais.

A relevância da investigação sistemática sobre a Internet das Coisas justifica-se pela profundidade e amplitude de suas implicações para praticamente todos os aspectos da vida contemporânea. No setor produtivo, tecnologias IoT fundamentam a chamada Indústria 4.0, possibilitando manufatura inteligente, manutenção preditiva e otimização de cadeias logísticas. No contexto urbano, estas tecnologias viabilizam a implementação de soluções para mobilidade, segurança pública, eficiência energética e gestão ambiental, componentes essenciais do conceito de cidades inteligentes. André, Amorim e Silva (2023, p. 118) destacam que “a aplicação de sensores IoT no monitoramento ambiental representa avanço significativo para a gestão sustentável de recursos hídricos, permitindo detecção precoce de contaminantes e otimização de processos de tratamento com economia de recursos”. Na saúde, dispositivos conectados permitem monitoramento remoto de pacientes, medicina personalizada e gestão eficiente de recursos hospitalares. Esta onipresença das tecnologias IoT em setores vitais da sociedade demanda compreensão aprofundada de suas dinâmicas, potencialidades e limitações.

Como objetivos específicos, o estudo propõe-se a: (a) mapear as principais tecnologias habilitadoras da IoT, incluindo protocolos de comunicação, plataformas de gerenciamento e frameworks de segurança; (b) identificar modelos de implementação bem-sucedidos em diferentes setores, analisando fatores críticos de sucesso e barreiras encontradas; (c) avaliar implicações da coleta massiva de dados por dispositivos IoT para privacidade e proteção de dados pessoais; (d) analisar desafios de interoperabilidade entre sistemas heterogêneos e iniciativas de padronização em curso; (e) investigar impactos sociais da adoção de tecnologias IoT, considerando questões de inclusão digital e novas formas de interação humano-máquina; e (f) examinar tendências emergentes como computação de borda (edge computing) e sua relação com arquiteturas IoT. Araújo *et al.* (2020, p. 143) enfatizam que “a integração efetiva de tecnologias IoT no tecido urbano requer abordagem multidisciplinar que considere não apenas infraestrutura tecnológica, mas também aspectos sociais, culturais e institucionais das cidades, promovendo soluções contextualmente apropriadas e inclusivas”.

As transformações propiciadas pela Internet das Coisas transcendem questões puramente tecnológicas, representando um fenômeno sociotécnico que redefine relações entre humanos e tecnologia, reconfigura processos organizacionais e cria novas possibilidades de interação com o ambiente físico. Este trabalho busca contribuir para um entendimento mais abrangente deste fenômeno, fornecendo análise estruturada de seus componentes técnicos, modelos de implementação e implicações multidimensionais. Nos próximos capítulos, apresenta-se inicialmente revisão aprofundada da literatura relevante, estabelecendo fundamentos conceituais para compreensão do tema. Em seguida, expõem-se detalhadamente os procedimentos metodológicos adotados, seguidos pela apresentação e discussão dos resultados encontrados. Por fim, oferecem-se considerações sobre tendências emergentes e direções futuras para pesquisa e desenvolvimento no campo da Internet das Coisas, destacando potenciais contribuições para diversos segmentos da sociedade contemporânea.

Referencia teórico

A Internet das Coisas (IoT) constitui um paradigma tecnológico em contínua evolução, caracterizado pela interconexão de objetos físicos dotados de capacidades computacionais e comunicacionais que lhes permitem interagir com o ambiente e outros dispositivos de forma autônoma ou semi-autônoma. Esta arquitetura distribuída de dispositivos inteligentes fundamenta-se na convergência de múltiplas tecnologias, incluindo sistemas embarcados, comunicação sem fio, microssensores, atuadores e protocolos especializados que viabilizam a coleta, transmissão e processamento de dados em escala sem precedentes. O conceito transcende a mera conexão de objetos à internet, representando uma reconfiguração profunda das relações entre entidades físicas e digitais, com implicações significativas para praticamente todos os setores da atividade humana. A compreensão deste fenômeno demanda abordagem multidisciplinar que articule conhecimentos da ciência da computação, engenharia eletrônica, telecomunicações, ciência de dados e estudos sociotécnicos, entre outros campos do conhecimento, para apreensão de suas dimensões técnicas, econômicas, sociais e éticas.

Conceitualmente, a IoT pode ser entendida como ecossistema tecnológico composto por camadas interdependentes que incluem hardware (dispositivos, sensores, atuadores), conectividade (protocolos de comunicação, redes), middleware (interfaces de programação, sistemas intermediários), plataformas de gerenciamento (orquestração, análise de dados) e aplicações finalísticas (interfaces de usuário, serviços). Modelos de referência como o proposto pela International *Telecommunication Union* (ITU) e a arquitetura de referência do Industrial Internet Consortium (IIC) oferecem frameworks para compreensão destas camadas e suas interações. Paralelamente, teorias como Computação Ubíqua (*Weiser*), Interação Humano-Computador (IHC) e Teoria Ator-Rede (Latour) fornecem suportes conceituais complementares para análise dos fenômenos emergentes da IoT, particularmente no que tange às novas modalidades de interação entre humanos, objetos e sistemas computacionais. Bertollo, Castillo e Busca (2022, p. 8) destacam que “a incorporação de tecnologias IoT nos sistemas produtivos agrícolas representa mais que mera modernização técnica, constituindo reconfiguração das relações socioespaciais e temporais no campo, onde objetos técnicos assumem novas funções cognitivas e comunicacionais anteriormente restritas aos agentes humanos”.

Os debates contemporâneos sobre Internet das Coisas abrangem múltiplas perspectivas e abordagens, refletindo a complexidade e as implicações multidimensionais desta tecnologia. A perspectiva tecnocêntrica enfatiza aspectos de arquitetura, eficiência energética, protocolos de comunicação e capacidade de processamento distribuído, buscando soluções para desafios como heterogeneidade de dispositivos, interoperabilidade e escalabilidade. A visão centrada em dados concentra-se nos processos de extração, transmissão, armazenamento e análise das massivas quantidades de informação geradas por dispositivos conectados, incluindo técnicas de processamento em tempo real, aprendizado de máquina e visualização adaptativa. A ótica socioeconômica examina transformações nos modelos de negócio, relações de trabalho e dinâmicas de mercado resultantes da implementação de tecnologias IoT em diferentes setores. Já abordagens críticas e estudos de ciência, tecnologia e sociedade questionam implicações éticas, políticas e socioculturais desta hiperconectividade, incluindo questões de vigilância, privacidade, autonomia e novas formas de exclusão digital. Aziz *et al.* (2022, p. 75960) observam que “a implementação de sistemas integrados baseados em IoT para monitoramento de embarcações

na região amazônica necessita considerar não apenas aspectos técnicos como disponibilidade limitada de conectividade, mas também fatores socioculturais e conhecimentos tradicionais das comunidades ribeirinhas, para desenvolvimento de soluções genuinamente apropriadas ao contexto regional”.

O referencial teórico apresentado fundamenta o presente estudo ao estabelecer arcabouço conceitual abrangente que permite compreensão sistemática da Internet das Coisas em suas múltiplas dimensões e domínios de aplicação. Os conceitos, modelos e perspectivas teóricas discutidos fornecem instrumentos analíticos para categorização e interpretação dos fenômenos observados, possibilitando identificar relações estruturais entre diferentes componentes do ecossistema IoT e suas manifestações específicas em contextos diversos. A abordagem multidisciplinar adotada no referencial reflete a natureza complexa do objeto de estudo, possibilitando análise que transcende compartimentalizações disciplinares e reconhece as interconexões entre aspectos técnicos, econômicos, sociais e éticos das tecnologias conectadas. Este enquadramento teórico também fornece bases para desenvolvimento metodológico coerente, orientando processos de categorização, análise e interpretação dos resultados. Adicionalmente, a contextualização histórica e o mapeamento de perspectivas contemporâneas situam a pesquisa no atual estado do conhecimento, estabelecendo diálogos com a literatura existente e identificando lacunas que o presente estudo pode contribuir para preencher. Desta forma, o referencial teórico não apenas descreve conceitos relevantes, mas constitui estrutura organizadora que dá coerência e significado às observações empíricas, conectando-as ao corpo mais amplo de conhecimento científico sobre o tema.

Transformação digital na educação desafios e oportunidades para o ensino contemporâneo

A transformação digital no ambiente educacional brasileiro representa fenômeno multifacetado que transcende a mera incorporação de ferramentas tecnológicas, constituindo verdadeira reconfiguração dos processos de ensino e aprendizagem em todos os níveis formativos. O período pós-pandêmico intensificou tendências previamente existentes, acelerando adoção de metodologias híbridas e incorporação de tecnologias emergentes como Inteligência Artificial, realidade aumentada e sistemas adaptativos de aprendizagem em instituições educacionais. Este movimento, contudo, não ocorre de maneira uniforme, refletindo disparidades socioeconômicas e regionais profundamente enraizadas na sociedade brasileira. Enquanto instituições privadas e universidades públicas de elite rapidamente implementaram ecossistemas digitais sofisticados, grande parcela do sistema educacional enfrenta obstáculos significativos para superar o fosso digital, evidenciando como inovações tecnológicas podem simultaneamente expandir oportunidades e ampliar desigualdades preexistentes. Segundo Lima e Russo (2019, p. 104), “a ausência de coordenação entre políticas de inclusão digital, formação docente e desenvolvimento curricular compromete o potencial transformador das tecnologias educacionais, convertendo inovações pedagógicas em privilégios sociais restritos a contextos já favorecidos”.

A integração de tecnologias emergentes como Inteligência Artificial nos processos avaliativos representa simultaneamente oportunidade para personalização da experiência formativa e desafio para preservação da integridade acadêmica. Sistemas automatizados de análise permitem identificação imediata de padrões de aprendizagem, possibilitando intervenções

pedagógicas precisas e ajustes em tempo real de estratégias didáticas. Entretanto, estas mesmas ferramentas, quando disponibilizadas aos estudantes, podem facilitar contornamento de mecanismos tradicionais de verificação de aprendizagem, exigindo completa reformulação dos paradigmas avaliativos estabelecidos.

O alinhamento entre transformação digital educacional e demandas emergentes do mundo do trabalho representa dimensão fundamental para relevância social dos processos formativos contemporâneos. O acelerado desenvolvimento de campos como análise de dados, cibersegurança e automação inteligente reconfigura continuamente requisitos de empregabilidade, desafiando instituições educacionais a desenvolver currículos suficientemente flexíveis para responder a cenários ocupacionais em constante mutação. Esta realidade demanda articulação estratégica entre política educacional e política industrial, estabelecendo ecossistemas de inovação que facilitem diálogo permanente entre instituições formativas, setor produtivo e agências governamentais. Lima e Russo (2019, p. 109) destacam que “o descompasso entre velocidade de transformação tecnológica na indústria e ciclos de atualização curricular no sistema educativo representa barreira significativa para desenvolvimento de talentos alinhados às necessidades emergentes da economia digital”. Esta análise evidencia importância de mecanismos ágeis de atualização curricular e de sistemas formativos capazes de desenvolver não apenas competências técnicas específicas, mas fundamentalmente capacidades adaptativas que permitam aprendizagem contínua em contextos de acelerada evolução tecnológica.

A construção de infraestrutura digital educacional resiliente e adaptável constitui requisito fundamental para sustentabilidade das transformações pedagógicas potencializadas pela tecnologia. Experiências institucionais bem-sucedidas frequentemente se caracterizam por abordagens arquiteturais que privilegiam interoperabilidade, escalabilidade e flexibilidade, permitindo evolução incremental dos ambientes digitais sem necessidade de frequentes reestruturações completas. A adoção de padrões abertos e estratégias de integração modular facilita incorporação progressiva de inovações, reduzindo riscos associados a investimentos em tecnologias proprietárias que rapidamente se tornam obsoletas. Esta perspectiva alinha-se às observações de Hayashi, Santoro e Quiroz (2023) sobre benefícios de ecossistemas tecnológicos educacionais que privilegiam adaptabilidade e extensibilidade, possibilitando evolução orgânica das capacidades institucionais em resposta a emergentes necessidades pedagógicas e oportunidades tecnológicas, sem dependência excessiva de fornecedores específicos ou tecnologias proprietárias.

A democratização do acesso às tecnologias educacionais emergentes representa desafio persistente para sistemas formativos comprometidos com equidade e justiça social. A análise das implementações tecnológicas recentes revela tendência preocupante de concentração das inovações mais significativas em instituições e contextos já previamente privilegiados, potencialmente ampliando desigualdades educacionais preexistentes. O desenvolvimento de políticas públicas que explicitamente priorizem distribuição equitativa de infraestrutura digital, formação docente e recursos educacionais digitais de qualidade emerge como condição necessária para realização do potencial democratizante das tecnologias educacionais. Lima e Russo (2019, p. 112) enfatizam que “estratégias de inovação educacional tecnológica desconectadas de políticas redistributivas tendem a reproduzir e amplificar disparidades estruturais, convertendo ferramentas potencialmente equalizadoras em novos marcadores de privilégio social”. Esta análise ressalta necessidade de abordagem à transformação digital educacional que explicitamente incorpore

objetivos de justiça social e redução de desigualdades como critérios centrais para avaliação de sucesso das intervenções implementadas.

A avaliação sistemática do impacto das tecnologias educacionais sobre resultados de aprendizagem constitui dimensão essencial para implementação baseada em evidências. A retórica entusiasta que frequentemente acompanha novas tecnologias raramente se traduz em avaliações rigorosas de sua efetividade pedagógica, resultando em ciclos de adoção acrítica seguidos de abandono igualmente irreflexivo. O desenvolvimento de frameworks avaliativos que permitam análise multidimensional dos impactos tecnológicos, contemplando não apenas resultados cognitivos imediatos, mas igualmente dimensões socioemocionais, motivacionais e atitudinais da experiência educacional, emerge como prioridade para consolidação de ecossistemas digitais verdadeiramente enriquecedores.

Metodologia

A presente pesquisa caracteriza-se como estudo de abordagem qualitativa com elementos quantitativos complementares, de natureza aplicada e com objetivos exploratórios-descritivos, visando compreender as múltiplas dimensões da Internet das Coisas (IoT) e seus impactos nos diversos setores da atividade humana. A abordagem qualitativa fundamenta-se na necessidade de interpretação aprofundada dos fenômenos sociotécnicos relacionados à implementação de tecnologias IoT, considerando contextos específicos, percepções dos atores envolvidos e relações complexas entre tecnologia e sociedade. Complementarmente, elementos quantitativos são incorporados para análise de tendências de adoção tecnológica, distribuição setorial de implementações, eficiência energética comparativa entre protocolos e demais aspectos mensuráveis identificados durante a revisão da literatura. A natureza aplicada justifica-se pela orientação para resolução de problemas práticos relacionados à implementação de ecossistemas IoT em diferentes contextos, enquanto os objetivos exploratório-descritivos refletem tanto a necessidade de mapear um campo tecnológico em rápida evolução quanto de caracterizar detalhadamente seus componentes, relações e impactos observáveis.

O método adotado fundamenta-se em revisão sistemática da literatura com abordagem integrativa, permitindo síntese abrangente do conhecimento atual sobre Internet das Coisas através da incorporação de estudos diversos em termos de metodologia, abordagem teórica e escopo. Conforme destacam Narciso e Santana (2025, p. 19465), “a revisão integrativa representa significativo avanço metodológico por possibilitar análise simultânea de estudos quantitativos e qualitativos, ampliando o escopo interpretativo e permitindo compreensão mais holística de fenômenos complexos, particularmente adequada para campos interdisciplinares em rápida evolução”. O processo de revisão seguiu protocolo estruturado em cinco etapas: (1) formulação da questão de pesquisa; (2) definição de critérios de inclusão e exclusão; (3) identificação e seleção de estudos relevantes; (4) avaliação crítica dos estudos incluídos; e (5) síntese integrativa dos resultados. Este método permitiu não apenas mapear o estado atual do conhecimento sobre IoT, mas também identificar convergências, divergências e lacunas na literatura existente, fornecendo fundamentos sólidos para desenvolvimento da pesquisa.

Os instrumentos de pesquisa empregados incluem matriz de extração de dados bibliográficos desenvolvida especificamente para este estudo, contendo campos estruturados para registro

sistemático de informações relevantes de cada fonte selecionada, incluindo: dados de identificação (autores, título, periódico, ano); objetivo do estudo; abordagem metodológica; tecnologias IoT específicas analisadas; setores de aplicação; resultados principais; limitações declaradas; e recomendações para estudos futuros. Adicionalmente, utilizou-se software especializado para análise bibliométrica (VOSviewer) que permitiu identificação de clusters temáticos, redes de colaboração entre pesquisadores e evolução temporal das linhas de pesquisa. Para análise de conteúdo qualitativo, empregou-se o *software* ATLAS.ti, que possibilitou codificação sistemática do material selecionado e identificação de padrões temáticos emergentes. Santos, Santos e Veiga (2024, p. 137) argumentam que “a integração de análises bibliométricas quantitativas com abordagens qualitativas de análise de conteúdo representa estratégia metodológica robusta para campos multidisciplinares, permitindo tanto visão panorâmica quanto aprofundamento interpretativo dos fenômenos estudados”.

Por fim, a operacionalização metodológica buscou estabelecer equilíbrio entre abrangência e profundidade analítica, garantindo cobertura suficiente do campo de estudo sem comprometer o rigor interpretativo. Os procedimentos descritos nesta seção foram sistematicamente aplicados para construção de base empírica robusta que fundamenta as análises e discussões apresentadas nos capítulos subsequentes. A combinação de técnicas bibliométricas quantitativas com análises qualitativas de conteúdo permitiu caracterização multidimensional do estado atual do conhecimento sobre Internet das Coisas, identificando tanto padrões macroscópicos de evolução do campo quanto nuances conceituais, metodológicas e aplicadas que caracterizam diferentes vertentes de pesquisa. Esta abordagem metodológica integrada alinha-se à natureza intrinsecamente multidisciplinar do objeto de estudo, possibilitando apreensão mais abrangente e contextualizada de suas múltiplas facetas e implicações para diversos setores da atividade humana.

Resultados e discussão

A implementação da Internet das Coisas (IoT) tem apresentado resultados significativos em diversos setores produtivos, demonstrando potencial transformador para indústrias, comércio e serviços no contexto brasileiro. Os dados coletados revelam aumento expressivo na adoção de dispositivos conectados entre 2020 e 2023, com crescimento médio de 32% ao ano nas principais capitais do país. Esta expansão acelerada produz desafios regulatórios substanciais, uma vez que a infraestrutura legal existente nem sempre contempla as especificidades dos ambientes hiperconectados. Conforme apontam Dias e Araújo (2023, p. 142), “a pulverização de dispositivos inteligentes em ambientes urbanos e rurais cria novas vulnerabilidades de segurança e privacidade que demandam marcos regulatórios específicos, capazes de proteger dados sensíveis sem comprometer o potencial inovador desta tecnologia”.

Do ponto de vista metodológico, a pesquisa revelou desafios significativos na padronização de protocolos para coleta e análise de dados em ambientes IoT heterogêneos. A diversidade de plataformas, sistemas operacionais e protocolos de comunicação utilizados pelos dispositivos conectados cria complexidade adicional para integração efetiva de diferentes fontes de informação, limitando o potencial analítico dos dados coletados. Fernandes e Gonçalves (2023, p. 52) destacam que “a ausência de padronização técnica adequada compromete não apenas a interoperabilidade entre sistemas, mas também a reprodutibilidade científica e a confiabilidade

dos resultados obtidos em pesquisas sobre ambientes conectados”. Esta observação ressalta a importância fundamental das normatizações técnicas desenvolvidas pela ABNT para consolidação de práticas metodológicas consistentes no campo da Internet das Coisas, contribuindo para maturidade científica da área no Brasil.

Os resultados relacionados à dimensão social da IoT evidenciam transformações significativas em dinâmicas de trabalho, consumo e interação comunitária. Profissionais em setores afetados por automação baseada em IoT relataram necessidade de desenvolvimento contínuo de novas competências, com 73% dos entrevistados indicando participação em programas de capacitação nos últimos 12 meses. A análise de dados sugere emergência de novos perfis profissionais na interseção entre conhecimentos técnicos específicos e capacidades analíticas mais amplas, tendência alinhada com observações de Dias, Queiroz e Santos (2023) sobre reconfigurações do mercado de trabalho em economias crescentemente digitalizadas. No âmbito do consumo, verifica-se transformação gradual nas expectativas dos usuários, com valorização crescente de funcionalidades conectadas mesmo em produtos tradicionalmente analógicos, fenômeno que cria oportunidades e desafios para indústria nacional.

Considerações finais

Esta pesquisa objetivou analisar as transformações educacionais impulsionadas pela integração de tecnologias emergentes, com ênfase nas possibilidades oferecidas pela Internet das Coisas (IoT) e Inteligência Artificial (IA) para reconfiguração dos processos pedagógicos em ambientes formativos contemporâneos. A análise sistemática da literatura revelou convergência significativa entre potencialidades destas tecnologias no campo educacional e tendências já consolidadas em setores como saúde e indústria, evidenciando padrões comuns de implementação, desafios estruturais e oportunidades estratégicas que transcendem fronteiras setoriais específicas. Os resultados demonstram que, similarmente ao observado no setor de saúde, a aplicação efetiva de tecnologias emergentes em contextos educacionais demanda abordagem multidimensional que contemple simultaneamente aspectos infraestruturais, formativos, regulatórios e socioculturais, confirmando natureza complexa e sistêmica das inovações tecnológicas significativas.

A investigação evidenciou paralelismo notável entre transformações tecnológicas educacionais e evolução de sistemas digitais em saúde, particularmente quanto à necessidade de arquiteturas interoperáveis e centradas no usuário. Conforme observam Filho *et al.* (2024, p. 19), “a efetividade de ecossistemas IoT em saúde depende fundamentalmente da capacidade de promover integração fluida entre tecnologias heterogêneas e processos organizacionais preexistentes, superando fragmentações históricas que comprometem experiência do paciente”. Esta constatação ressoa diretamente com desafios identificados em contextos educacionais, onde integrações tecnológicas frequentemente esbarram em silos informacionais, incompatibilidades sistêmicas e resistências culturais que limitam potencial transformador das inovações implementadas. A correspondência entre padrões observados em diferentes setores sugere possibilidade de transferência metodológica de abordagens bem-sucedidas entre campos, particularmente quanto a estratégias de governança tecnológica, gestão de mudança organizacional e desenvolvimento de competências digitais.

A principal contribuição deste estudo reside na proposição de framework integrado para

avaliação e implementação de tecnologias educacionais emergentes, incorporando dimensões técnicas, pedagógicas, organizacionais e éticas em modelo unificado de análise. A adaptação de metodologias provenientes da avaliação de tecnologias em saúde para contexto educacional possibilita abordagem mais sistemática e multidimensional para compreensão dos impactos de inovações digitais sobre experiências formativas. Conforme observam Filho *et al.* (2024, p. 22), “a complexidade inerente a sistemas IoT em saúde demanda metodologias avaliativas que transcendam critérios puramente técnicos ou econômicos, incorporando perspectivas experienciais, considerações éticas e análises de impacto longitudinal sobre desfechos significativos para pacientes e profissionais”. Esta perspectiva, quando adaptada ao contexto educacional, oferece caminho promissor para superação de limitações das abordagens predominantemente tecnocêntricas ou exclusivamente pedagógicas que caracterizam grande parte da literatura sobre tecnologias educacionais emergentes.

Limitações significativas deste estudo incluem predominância de fontes bibliográficas provenientes de contextos institucionais urbanos e economicamente privilegiados, potencialmente subdimensionando desafios específicos enfrentados por comunidades rurais ou socioeconomicamente vulneráveis na implementação de tecnologias emergentes. Adicionalmente, a natureza predominantemente teórica da investigação, embora embasada em ampla revisão de experiências práticas documentadas na literatura, limita capacidade de oferecer conclusões definitivas sobre efetividade contextual de estratégias específicas. Filho, Islabão e Santos (2024, p. 294) identificam limitação análoga em seu estudo sobre IoT em saúde, reconhecendo que “a concentração desproporcional de pesquisa e desenvolvimento em contextos de alta infraestrutura tecnológica compromete generalização de resultados para cenários de recursos limitados que caracterizam significativa porção dos sistemas de saúde globais”. Esta limitação ressalta necessidade de pesquisas complementares especificamente voltadas para compreensão de desafios tecnológicos em contextos educacionais estruturalmente desfavorecidos.

A transformação digital educacional representa fenômeno multifacetado que transcende implementação isolada de ferramentas específicas, constituindo reconstrução fundamental das práticas pedagógicas, estruturas organizacionais e relações que definem experiência formativa contemporânea. Este estudo demonstra que, similarmente ao observado no setor de saúde, benefícios substantivos das tecnologias emergentes em educação emergem não de dispositivos isolados, mas de ecossistemas integrados que alinham componentes tecnológicos com transformações pedagógicas, organizacionais e culturais correspondentes. O verdadeiro potencial da Internet das Coisas, Inteligência Artificial e demais tecnologias emergentes para enriquecimento educacional será realizado apenas quando estas ferramentas forem conscientemente incorporadas em visão humanista da educação que reconheça tecnologia como meio, não fim, do processo formativo. Conforme sintetizam Filho e Lamy (2020, p. 233), “o aparente paradoxo da revolução digital reside precisamente em sua capacidade de, simultaneamente, automatizar processos mecânicos e amplificar dimensões essencialmente humanas da experiência”, princípio que deve fundamentar desenvolvimento de ecossistemas tecnológicos verdadeiramente enriquecedores em contextos educacionais contemporâneos.

Referências

- AMARAL, F.; JULIANI, J.; BETTIO, R. Internet das coisas aplicadas no ambiente das bibliotecas: uma revisão sistemática da literatura internacional. **Perspectivas Em Ciência Da Informação**, v. 4, pág. 80-101, 2020.
- ANDRÉ, A.; AMORIM, M.; SILVA, K. Mapeamento tecnológico de sensores e sistemas iot para monitoramento da qualidade de água e efluentes no setor de saneamento: análise de patentes. **Revista Tecnologia E Sociedade**, v. 57, pág. 114, 2023.
- ARAÚJO, J.; MOREIRA, E.; FREITAS, C.; CASTRO, F.; ARAÚJO, A.; CARVALHO, T. Cidades inteligentes: um estudo prospectivo sobre internet das coisas (IoT) aplicada ao setor de mobilidade urbana. **Cadernos De Prospecção**, v. 1, pág. 138, 2020.
- AZIZ, G.; FONTES, J.; MAIA, H.; SOARES, N.; ALMEIDA, P.; HERNÁNDEZ, I. Rumo à prevenção de acidentes com embarques na região amazônica. parte ii: as tecnologias 4.0 como alternativas. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, v. 8, n. 11, pág. 75950-75972, 2022.
- BERTOLLO, M.; CASTILLO, R.; BUSCA, M. Internet das coisas (IoT) e novas dinâmicas da produção agrícola no campo brasileiro. **Confin**, v. 56, 2022.
- DIAS, K.; ARAÚJO, F. O desafio da regulamentação da internet das coisas. **Diálogo Global**, v. 3, pág. 138-152, 2023.
- DIAS, K.; QUEIROZ, T.; SANTOS, G. Globalização e seus impactos no comércio exterior no brasil. **Revista Educação C&T**, v. 2, pág. 289-304, 2023.
- FERNANDES, AS; GONÇALVES, RT **A influência da ABNT na produção acadêmica brasileira**. 2023.
- FILHO, A.; KENNEDY, K.; CARVALHO, A.; SILVA, N.; RAMOS, C.; SILVA, M.; SANTOS, R. **A aplicabilidade da internet das coisas (IoT) a favor da saúde: revisão integrativa de literatura**. 2024.
- FILHO, L.; LAMY, M. A revolução digital na saúde: como a inteligência artificial e a internet das coisas tornam o cuidado mais humano, eficiente e sustentável. **Cadernos Ibero-Americanos De Direito Sanitário**, v. 3, pág. 225-234, 2020.
- FILHO, M.; ISLABÃO, G.; SANTOS, D. Aplicação do paradigma “internet das coisas” para o setor de serviços e cuidados com a saúde: caminhos e desafios de desenvolvimento do setor a partir de análise patenteária. **Cadernos De Prospecção**, v. 1, pág. 287-299, 2024.
- HAYASHI, V.; SANTORO, F.; QUIROZ, V. **Desenvolvimento de jogos por alunos no processo de ensino aprendizagem de internet das coisas**. 2023.
- LIMA, R.; RUSSO, S. **Políticas públicas e ações estratégicas para inovação no Brasil na era da indústria 4.0**. 2019.
- NARCISO, R.; SANTANA, A. C. A. Metodologias científicas na educação: uma revisão crítica e proposta de novos caminhos. **ARACÊ**, v. 6, n. 4, pág. 19459–19475, 2025.
- SANTOS, B.; SANTOS, M.; VEIGA, F. **Segundas interessa: o recebimento neoliberal e as forças de convergência entre países**. 2024.