

SUBMETIDO 28/07/2022

APROVADO 21/10/2022

PUBLICADO ON-LINE 08/11/2022

PUBLICADO 10/07/2024

EDITOR ASSOCIADO
Gilberto Reynoso Meza

DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2022id7130>

ARTIGO ORIGINAL

Gerenciamento de dispositivos IoT em ambientes industriais: mapeamento sistemático da literatura

Leandro Henrique
Batista da Silva ^[1]

Lucas Carvalho
Gonçalves Silva ^[2]

Jefferson Lucas
Ferreira da Silva ^[3]

Ricardo Pereira Lins ^[4]

Paulo Ditarso
Maciel Júnior ^{[5]*}

[1] leandro.batista@academico.ifpb.edu.br

[2] lucas.goncalves@academico.ifpb.edu.br

[3] ferreira.jefferson@academico.ifpb.edu.br

[4] ricardo.lins@academico.ifpb.edu.br

[5] paulo.maciell@ifpb.edu.br

Unidade Acadêmica de Informática,
Instituto Federal da Paraíba (IFPB), Brasil

RESUMO: O interesse em dispositivos IoT (*Internet of Things*) é cada dia maior por parte de várias verticais da Indústria, tais como automotiva, agrícola, elétrica, manufatura, saúde e cidades inteligentes, devido à flexibilidade e à facilidade que eles oferecem no monitoramento e na gestão da cadeia produtiva. Contudo, utilizar essa tecnologia habilitadora em ambientes industriais se mostrou um grande desafio, devido à heterogeneidade na diversidade tanto dos dispositivos quanto das aplicações e dos serviços disponibilizados. Portanto, gerenciá-los de forma eficiente não é uma tarefa trivial. Nesse contexto, com o crescimento da popularidade do conceito de Indústria 4.0, o número de artigos científicos que englobam o tema de gerenciamento de redes e serviços em redes IoT industriais (IIoT) vem crescendo. Várias soluções têm sido propostas nas diferentes subáreas possíveis da gerência de redes. Este trabalho tem o propósito de mapear as pesquisas relacionadas ao gerenciamento de recursos e aplicações IoT industriais, com o intuito de investigar tais soluções e identificar os direcionamentos de pesquisa, além das possíveis lacunas a serem exploradas.

Palavras-chave: gerenciamento de rede; IIoT; indústria 4.0; mapeamento sistemático.

Management of IoT devices in industrial environments: a systematic mapping of literature

ABSTRACT: The IoT devices have brought increasing interest from several industry verticals, such as the automotive and electrical sectors, agriculture, manufacturing, health, and smart cities, due to their flexibility and readiness in tracking and managing the production chain. However, the use of this enabling technology in industrial environments has proved to be a great challenge, since it implies heterogeneity in both the diversity of devices and the available

*Autor para correspondência.

applications and services. Therefore, managing them efficiently is not a trivial task. In this context, and considering the growing popularity of the Industry 4.0 concept, the number of research covering the topic of network services and management in industrial IoT networks has increasingly grown. Several solutions have been proposed in many different areas of network management. This study mapped research related to industrial IoT resource management and applications, with the aim of investigating such solutions, as well as identifying research directions and possible gaps to be explored.

Keywords: *IIoT; industry 4.0; network management; systematic mapping.*

1 Introdução

O aumento do uso de tecnologias em domínios industriais, como manufatura, energia ou logística, levou a um crescimento significativo de dados gerados nesses ambientes. A Internet das Coisas (IoT, do inglês *Internet of Things*) surgiu como uma das principais tecnologias facilitadoras, fazendo a ponte entre os mundos físico e virtual (Wiener; Zehnder; Riemer, 2020). Uma rede IIoT Industrial (IIoT, do inglês *Industrial IoT*) conecta e integra uma variedade de sistemas de controle e dispositivos de coleta de informações com sistemas corporativos, processos de negócios, análises e pessoas (IIC, 2016). Ao vislumbrar sistemas em uma IIoT, há uma vantagem de diversificidade em relação à quantidade de aplicações que podem ser oferecidas nesse contexto. Os mais variados dispositivos trocam informações e possibilitam a utilização de serviços distintos. Contudo, gerenciar de forma eficiente tamanha diversidade de recursos vem se tornando um desafio cada vez maior.

Ao longo dos anos, a gerência de redes e serviços tem se estabelecido como uma promissora área de pesquisa. Diversos trabalhos na literatura abordam uma ou mais de suas subáreas de pesquisa, proporcionando um grande acervo de soluções propostas para os mais diversos problemas encontrados. Geralmente objetivando o uso eficiente de recursos e serviços, a pesquisa nessa área é importante no contexto de IIoT, tendo em vista os recursos limitados e o controle criterioso das aplicações nesses ambientes. Entender o estado da arte e os desafios encontrados é certamente essencial para um entendimento completo dos esforços de pesquisa relacionados ao gerenciamento de redes e serviços em IIoT.

Levando em consideração o uso de IoT no ambiente industrial, este trabalho apresenta um mapeamento sistemático das pesquisas relacionadas ao gerenciamento de recursos de aplicações IIoT. Pretende-se investigar como os trabalhos acadêmicos estão distribuídos em relação aos tópicos (desafios) investigados, bem como identificar possíveis lacunas que possibilitem pesquisas futuras.

As seções seguintes estão organizadas da seguinte maneira: a seção 2 descreve o protocolo de pesquisa utilizado para realizar o mapeamento sistemático e a taxonomia utilizada para classificação dos trabalhos; a seção 3 apresenta os resultados encontrados em termos quantitativos; a seção 4 detalha os principais artigos de cada categoria; e a seção 5 finaliza este trabalho expondo as considerações finais.

2 Protocolo de pesquisa

Durante a elaboração do protocolo de pesquisa, foram definidas as seguintes etapas para o mapeamento sistemático: (i) definição da área de pesquisa, (ii) definição da expressão de busca, (iii) elaboração dos critérios de exclusão e (iv) classificação de acordo com uma taxonomia existente.

2.1 Área de pesquisa

Para a definição da área de pesquisa, foi usado como motivação o atual aumento da digitalização dos domínios industriais, bem como o crescimento do uso de tecnologias IoT como facilitadoras; alinhados ao crescente interesse pelo conceito de Indústria 4.0. Nesse contexto, a tarefa de gerenciar dispositivos e aplicações heterogêneas em uma indústria é um desafio emergente. Levando em consideração que indústrias têm maquinário e ferramentas dos mais diversificados tipos, o gerenciamento desses dispositivos se torna requisito imprescindível a uma operação eficiente e até mesmo a diversos aspectos da segurança industrial.

Portanto, foi definido como escopo do trabalho o contexto de gerenciamento de rede relacionado à IoT industrial. Vários aspectos da área de gerenciamento de redes são considerados, porém, aspectos correlatos não estão no escopo deste trabalho. Por exemplo, foram considerados trabalhos que propõem uma solução para a gerência da segurança, ao invés dos que propõem soluções próprias de segurança. Assume-se que essa área, por si só, já representaria uma perspectiva singular para ser alvo de outros estudos.

2.2 Expressão de busca

O objetivo norteador do mapeamento sistemático proposto neste trabalho é investigar como os trabalhos publicados na literatura estão dispostos em relação às subáreas da gerência de redes e serviços. Adicionalmente, busca-se identificar os desafios mais enfrentados pelos pesquisadores, além das eventuais lacunas de pesquisa em relação ao gerenciamento de dispositivos IoT. Portanto, para transcrever tal objetivo para o modelo de pesquisa das plataformas de busca utilizadas, foram consideradas as palavras principais “IIoT” e “*management*”.

A partir disso, uma expressão de busca foi elaborada com um escopo mais aberto, de forma a retornar um resultado mais amplo inicialmente e alcançar uma maior variedade de artigos sobre o tema. Para esse estudo, foi usada a expressão de busca definida a seguir:

[[All: iiot] OR [All: "internet of things industrial"] OR [All: "industrial internet of things"]] AND [All: "management"]

A expressão foi submetida em duas plataformas de pesquisa, resultando em um total de 1391 artigos selecionados:

- 349 artigos na ACM *Digital Library* (Types: *Proceeding and Periodical*);
- 1042 artigos na Elsevier *Science Direct* (Types: *Research and Review articles*).

2.3 Critérios de exclusão

Foram definidos critérios de exclusão com o intuito de filtrar apenas os artigos mais relevantes. Assume-se como fatores de relevância os artigos completos e que foram publicados na última década. Foram excluídos os artigos curtos, duplicados ou que não tinham relação direta com os temas de IIoT e gerência de redes. Logo, os critérios de exclusão utilizados foram:

- CE1: artigos que não foram publicados na última década – de 2011 a 2021;
- CE2: artigos duplicados nas duas bases;
- CE3: artigos curtos (*short, demo, review* etc.);
- CE4: artigos que citam IIoT e “*management*”, mas não abordam esses termos conjuntamente.

Após essa etapa, 298 artigos foram selecionados para serem classificados através da taxonomia descrita a seguir.

2.4 Taxonomia

Com o intuito de entender como os artigos selecionados estão dispostos em relação aos possíveis tópicos de pesquisa dentro da área de gerência de redes, buscou-se utilizar uma taxonomia que permitisse a categorização e a classificação dos trabalhos. Novamente, o objetivo é realizar uma bibliometria dos trabalhos classificados, identificando as áreas mais investigadas, as eventuais lacunas de pesquisa e os principais trabalhos publicados.

A taxonomia utilizada foi definida por Santos *et al.* (2016) e está ilustrada no Quadro 1 (próxima página). Como pode ser observado, apesar de o trabalho ser de 2016, as categorias e as subcategorias levantadas são amplas o suficiente para realizar a classificação de artigos atuais. Com tal taxonomia, foi possível não apenas categorizar os trabalhos em aspectos gerais de gerência (de redes, serviços, negócios, áreas funcionais, abordagens, tecnologias e métodos); como também classificá-los em uma ou mais subcategorias possíveis. Uma característica importante do processo de classificação proposto é que um trabalho pode ser classificado em mais de uma subcategoria, dentro de uma categoria maior; ou mesmo em diferentes categorias. Por exemplo, um trabalho pode propor o provisionamento eficiente de recursos através de políticas de gerenciamento para redes sem fio, além de avaliar a solução proposta mediante simulação e/ou abordagem experimental.

Quadro 1 ►

Taxonomia da gerência de
redes e serviços.
Fonte: Santos et al. (2016)

<i>Network management</i>	<i>Management approaches</i>
<i>Ad-hoc networks</i>	<i>Centralized management</i>
<i>Wireless and mobile networks</i>	<i>Distributed management</i>
<i>IP networks</i>	<i>Autonomic and self management</i>
<i>Local area networks</i>	<i>Policy-based management</i>
<i>Optical networks</i>	<i>Federated network management</i>
<i>Sensor networks</i>	<i>Pro-active management</i>
<i>Overlay networks</i>	<i>Energy-aware network management</i>
<i>Virtual networks</i>	<i>Technologies</i>
<i>Software defined and programmable networks</i>	<i>Protocols</i>
<i>Data center networks</i>	<i>Middleware</i>
<i>Smart grids</i>	<i>Mobile agents</i>
<i>Service management</i>	<i>P2P</i>
<i>Multimedia services (e. g. voice, video)</i>	<i>Grids</i>
<i>Data services (e. g. email, web)</i>	<i>Data, information, and semantic modeling</i>
<i>Hosting (virtual machines)</i>	<i>Cloud computing</i>
<i>Grids</i>	<i>Internet of Things</i>
<i>Cloud services</i>	<i>Human-machine interaction</i>
<i>Resource provisioning and management</i>	<i>Operations and Business Support Systems (OSS/BSS)</i>
<i>QoE-centric management</i>	<i>Methods</i>
<i>Service discovery, migration and orchestration</i>	<i>Control theories</i>
<i>Business management</i>	<i>Optimization theories</i>
<i>Legal and ethical issues</i>	<i>Economic theories</i>
<i>Process management</i>	<i>Machine learning and genetic algorithms</i>
<i>Functional areas</i>	<i>Logics</i>
<i>Fault management</i>	<i>Probabilistic, stochastic processes, queuing theories</i>
<i>Configuration management</i>	<i>Simulation</i>
<i>Accounting management</i>	<i>Experimental approach</i>
<i>Performance management</i>	<i>Design</i>
<i>Security management</i>	<i>Monitoring and measurements</i>
<i>SLA management</i>	<i>Data mining and (big) data analytics</i>
<i>Event management</i>	

3 Resultados quantitativos

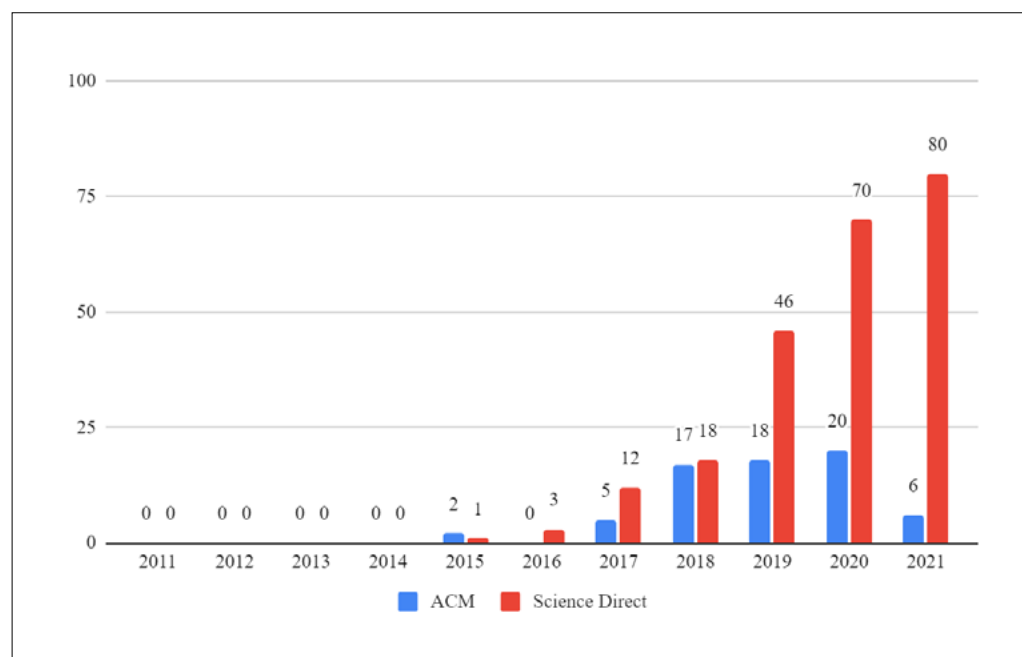
Os artigos selecionados através do protocolo de pesquisa definido na Seção 2 foram submetidos à análise e classificados por meio da taxonomia escolhida. O resultado dessa classificação é detalhado nesta seção. Para efeito de demonstrar os resultados, quando pertinente, são utilizados os termos em inglês para referência direta com a taxonomia no Quadro 1.

Primeiramente, a Figura 1 ilustra a disposição das publicações selecionadas ao longo da última década. Como pode ser verificado, houve um aumento considerável a partir das publicações iniciais, em 2015, o que mostra o crescimento da popularidade das pesquisas envolvendo tópicos de gerenciamento em redes IIoT. Levando em consideração as duas bases estudadas, houve uma taxa média de aumento no número de publicações de aproximadamente três vezes a cada dois anos. Novamente, isso demonstra o interesse cada vez maior da comunidade científica em propor soluções de gerência para ambientes IoT industriais. Portanto, pelo crescimento da quantidade de artigos que foram publicados em cada ano, mostra-se o aumento no interesse e no desenvolvimento do tema de IIoT a partir de 2015. Além disso, vale ressaltar que a seleção dos artigos foi realizada no final do ano de 2021 e que, provavelmente, algum(ns) artigo(s) ficou(aram) de fora por ter(em) sido indexado(s) nas bases após a separação dos selecionados. Não obstante, acredita-se que a análise final dos resultados não seria impactada significativamente pela ausência desses eventuais trabalhos.

Figura 1 ►

Quantidade geral de publicações por ano, em cada base.

Fonte: dados da pesquisa



Os principais veículos científicos nos quais os artigos foram publicados estão apresentados na Tabela 1. Pela predominância de artigos na base *Science Direct*, exibida na Figura 1, percebe-se que os dez veículos mais procurados são *journals* e que estão diretamente relacionados às áreas de redes de computadores, comunicação, manufatura e indústria. Esse é um resultado esperado, dado que o tema principal desta pesquisa é IIoT.

Tabela 1 ►

Os dez principais veículos de publicação.

Fonte: dados da pesquisa

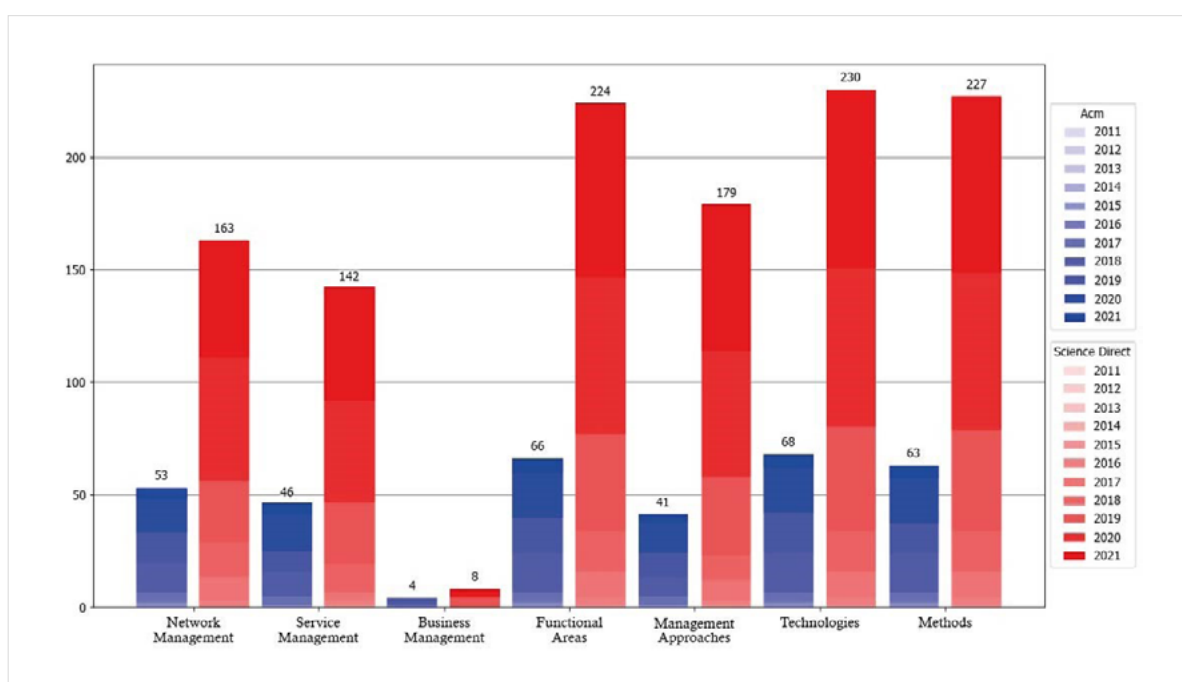
<i>Journal</i>	Quantidade
<i>Computer Communications</i>	22
<i>Procedia Manufacturing</i>	22
<i>Computer Networks</i>	17
<i>Future Generation Computer Systems</i>	16
<i>Ad Hoc Networks</i>	15
<i>Procedia Computer Science</i>	13
<i>IFAC-PapersOnLine</i>	10
<i>Journal of Network and Computer Applications</i>	9
<i>Procedia CIRP</i>	9
<i>Computers in Industry</i>	6

O gráfico da Figura 2 mostra a quantidade de artigos que foram classificados de acordo com cada categoria da taxonomia, separada em cada base de dados e distribuída pelos anos de publicação. Esse resultado é reflexo direto da quantidade de artigos em cada base, bem como das tendências em cada categoria. Vale lembrar que um artigo pode ser classificado em uma ou mais categorias da taxonomia. Como pode ser observado novamente na Figura 2, a grande maioria dos artigos foram publicados em eventos ou periódicos catalogados pela *Science Direct*. Uma possível explicação para essa evidência pode ser um maior número de veículos voltados à temática industrial, como visto na Tabela 1. Além disso, é possível perceber um certo equilíbrio na procura pelas diferentes categorias da gerência de redes, exceto aquela envolvendo aspectos de negócios, cujo número de publicações é baixo nas duas bases consultadas. Novamente, é possível inferir que esse baixo número de publicações esteja associado a um relacionamento não tão direto entre a área de negócios e a industrial. Destaca-se também que, como evidenciado na Figura 1, a grande maioria dos trabalhos foi publicada nos cinco últimos anos do período avaliado, independentemente de qual categoria e de forma mais proeminente na *Science Direct*.

Figura 2 ▼

Quantidade de publicações classificadas nas categorias da taxonomia.

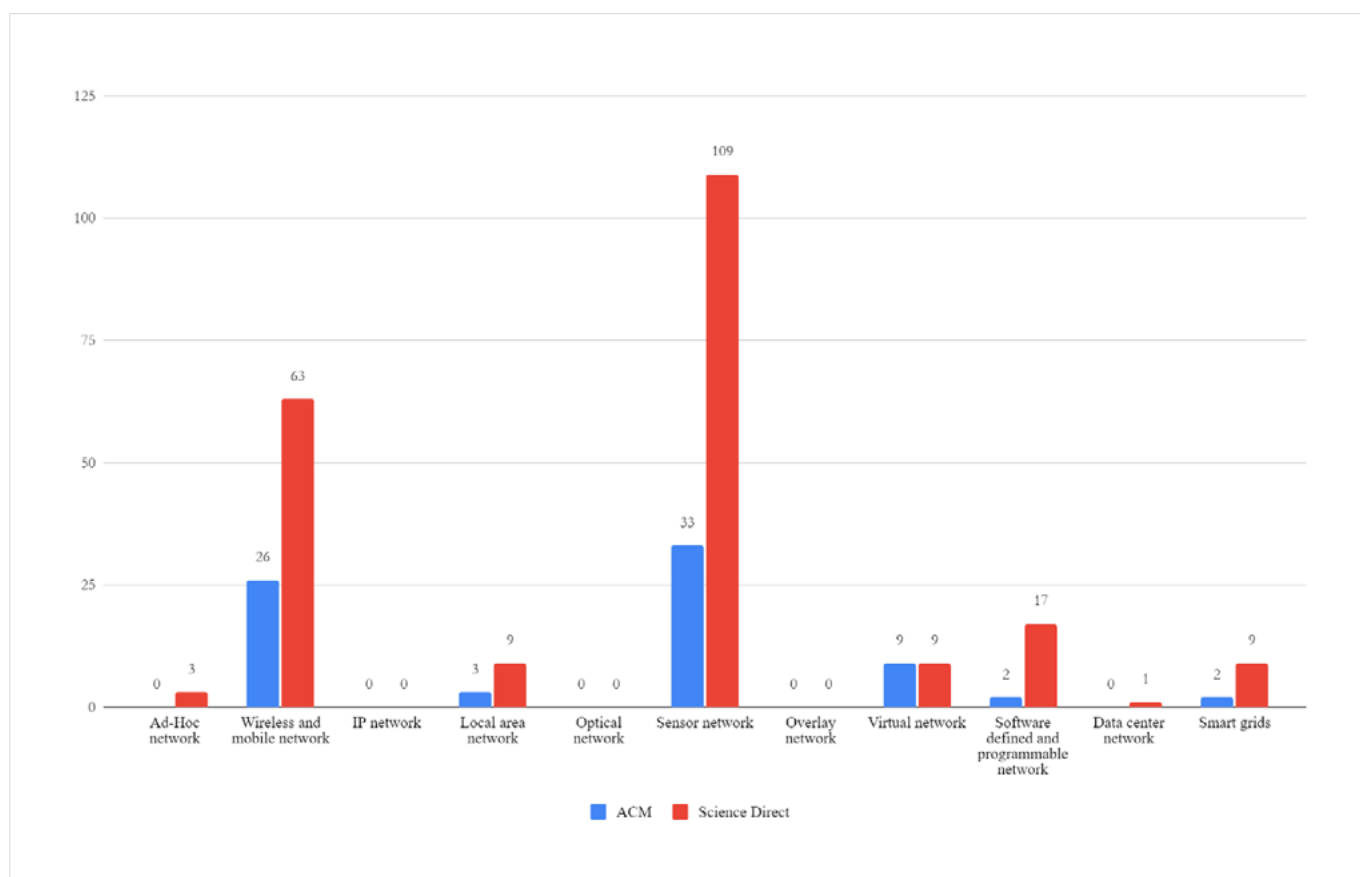
Fonte: dados da pesquisa



Com base na análise da primeira categoria de forma mais detalhada, estão expostas, na Figura 3, as quantidades de artigos que foram classificados em cada subcategoria de *network management*. Pode-se perceber uma maior concentração nas subcategorias *sensor network* e *wireless network*, como esperado, visto que são características inerentes às redes IoT. Por outro lado, as subcategorias *IP network* e *overlay network* não tiveram artigos selecionados, uma vez que estão pouco relacionadas à gerência em redes IoT. Presume-se que esse tipo de rede geralmente está localizado na última milha de transmissão ou conectado à borda, e que soluções para redes IP ou de *Overlay* consideram um ambiente fim a fim muito mais amplo, como redes de transporte. Essa tendência pode ser indicada pelas outras subcategorias, demonstrando a disposição maior dos artigos em áreas como redes *ad-hoc* (não infraestruturadas), redes locais, virtuais ou definidas por software. Há ainda poucos artigos envolvendo *data centers* e *smart grids*.

Figura 3 ▼

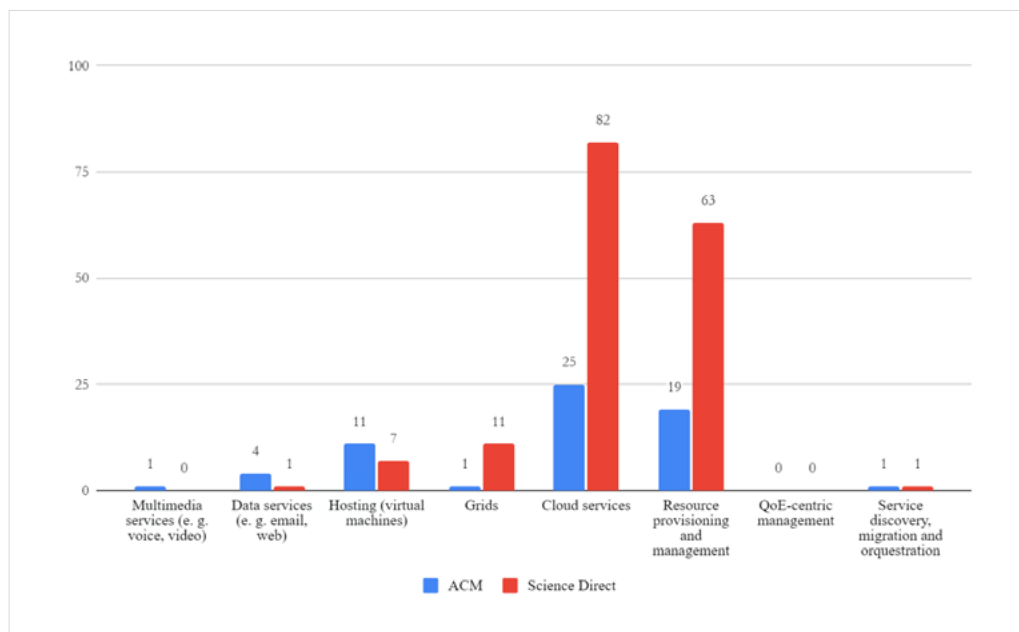
Quantidade de artigos publicados nas subcategorias de *network management*.
Fonte: dados da pesquisa



A Figura 4, a seguir, representa a quantidade de artigos que foi classificada em cada subcategoria de *service management*. Pode-se observar uma concentração maior de artigos nas subcategorias de *cloud services* e *resource provisioning and management*. Acredita-se que esse comportamento se deve, principalmente, às novas tendências referentes à Indústria 4.0, com foco na integração de tecnologias de borda (*edge computing*) e na nuvem (*cloud computing*), além do desafio de provisionar recursos IoT escassos de maneira eficiente. Também é fácil compreender o baixo número de publicações envolvendo outras subcategorias mais relacionadas com a interação homem-máquina, como, por exemplo, *multimedia*, *hosting* e *QoE-centric*. No geral, redes IoT em ambientes industriais são utilizadas para uma comunicação máquina-máquina, realizando monitoramento e sensoriamento do ambiente, possibilitando a tomada de decisões de forma autônoma.

Figura 4 ►

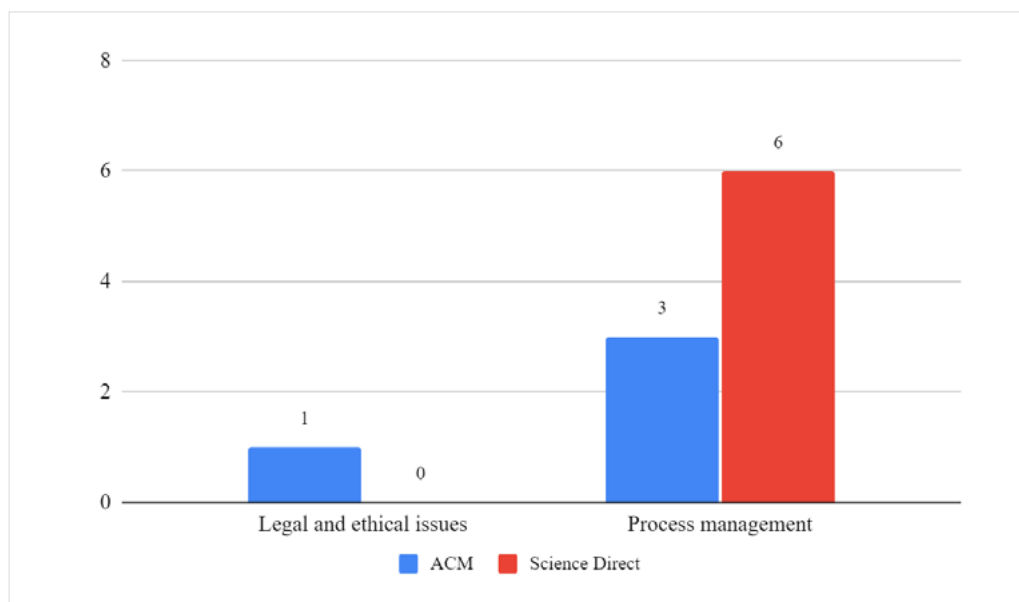
Quantidade de artigos publicados nas subcategorias de *service management*.
Fonte: dados da pesquisa



Apesar de poucos trabalhos, a Figura 5 apresenta a quantidade de artigos que foi classificada em cada subcategoria de *business management*. Tal comprovação pode representar uma grande lacuna de pesquisa, tendo em vista que a faceta de negócios é pouco explorada pelos pesquisadores quando se considera o gerenciamento de IoT industrial. A quase totalidade dos artigos encontrados trata da gerência de processos em tais ambientes, com apenas um trabalho abordando questões éticas ou legais.

Figura 5 ►

Quantidade de artigos publicados nas subcategorias de *business management*.
Fonte: dados da pesquisa



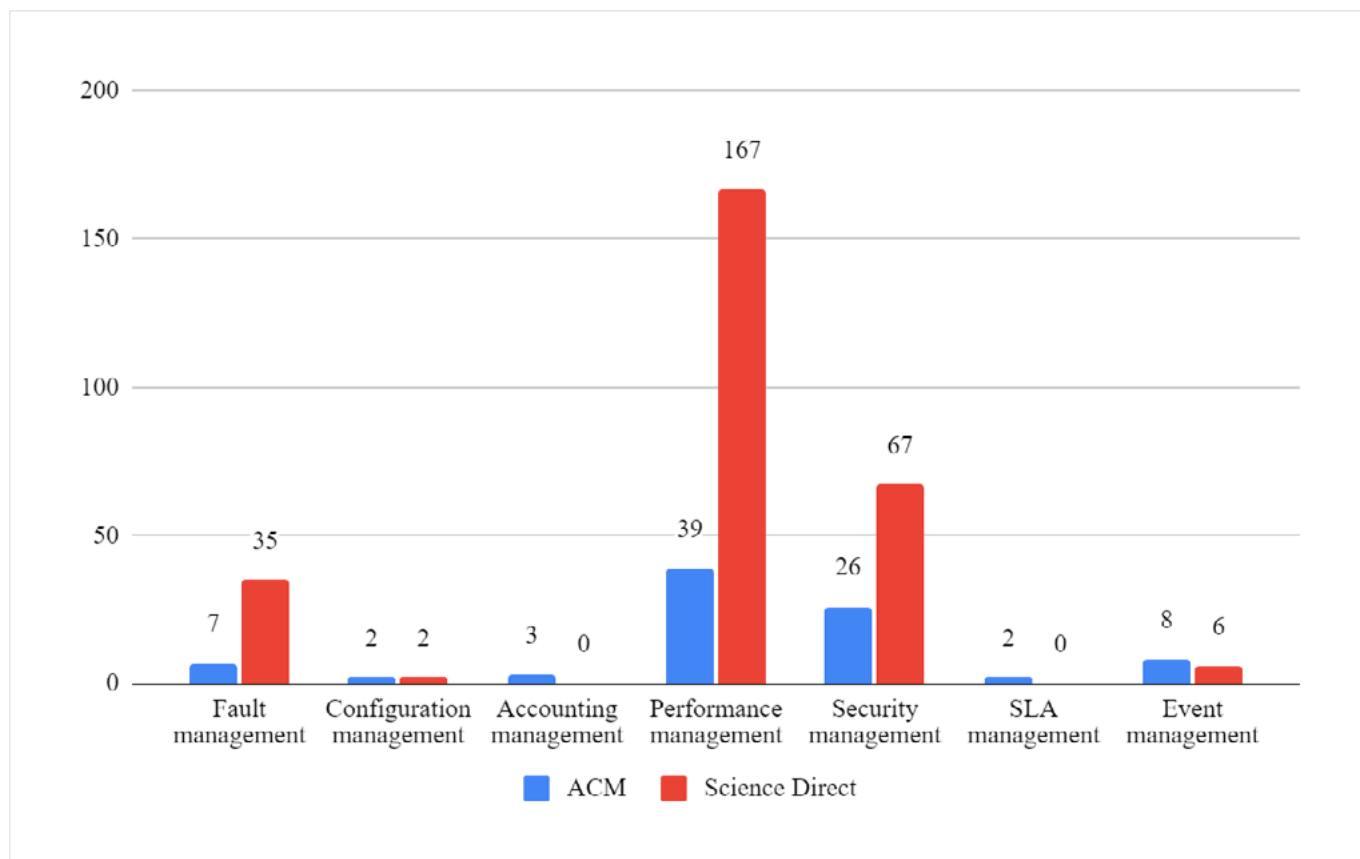
Com relação às áreas funcionais, a maioria dos trabalhos selecionados se concentra na gerência de desempenho, de segurança ou de falhas, como ilustra a Figura 6. Se por um lado a busca por desempenho e/ou correção de falhas indica uma tendência de otimização no provisionamento das tecnologias utilizadas, por outro lado, o gerenciamento de segurança está atrelado à popularidade da

Figura 6 ▼

Quantidade de artigos publicados nas subcategorias de *functional areas*.

Fonte: dados da pesquisa

tecnologia de *blockchain* encontrada em vários trabalhos. Acredita-se que a natureza auto-organizável e o funcionamento *best-effort* de algumas redes IoT explicam a baixa quantidade de artigos envolvendo a gerência de configuração, de contabilidade, de SLA (*Service Level Agreement*) e de eventos.



O resultado mostrado na Figura 7 (próxima página) apresenta indícios da afirmação anterior, detalhando a quantidade de artigos que foi classificada em cada subcategoria de *management approaches*. Observa-se um foco no gerenciamento autônomo e autogerenciável em ambientes distribuídos de IoT industrial. Tal concentração se dá também pelo fato de a maioria dos artigos desenvolver e priorizar o uso de algoritmos, que igualmente se conecta ao gerenciamento de desempenho, visto que esses algoritmos tendem a focar a otimização de tarefas. No entanto, as subcategorias de gerenciamento proativo, baseado em políticas e federado em rede são lacunas interessantes de pesquisa, uma vez que podem ser vistas como abordagens complementares à gerência autônoma de redes IoT industriais. Nos próximos anos, vislumbra-se um aumento significativo no número de artigos envolvendo essas subáreas.

Figura 7 ►

Quantidade de artigos publicados nas subcategorias de *management approaches*.

Fonte: dados da pesquisa

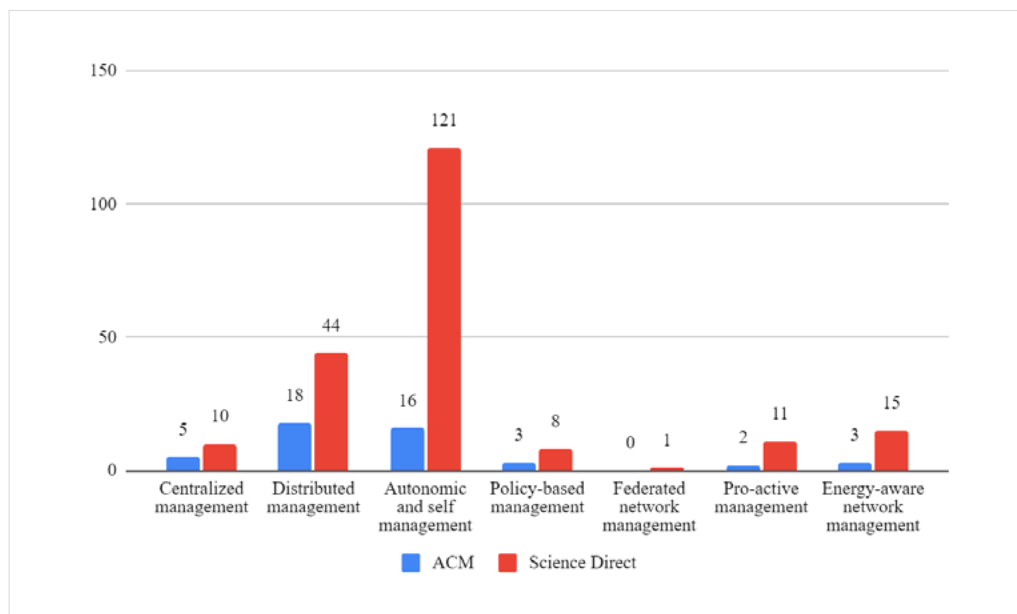


Figura 8 ▼

Quantidade de artigos publicados nas subcategorias de *technologies*.

Fonte: dados da pesquisa

Na Figura 8, as quantidades de artigos que foram classificadas em cada subcategoria de *technologies* são apresentadas. Como esperado, a tecnologia de IoT está presente em 100% dos artigos selecionados nas duas bases. Além disso, é possível destacar a interação com a tecnologia de nuvem presente em 99 artigos, ratificando a tendência pela gerência de serviços de nuvem indicada na Figura 4. Observa-se, ainda, uma quantidade relativamente expressiva de trabalhos que propõem protocolos específicos para o ambiente investigado, com 58 artigos.

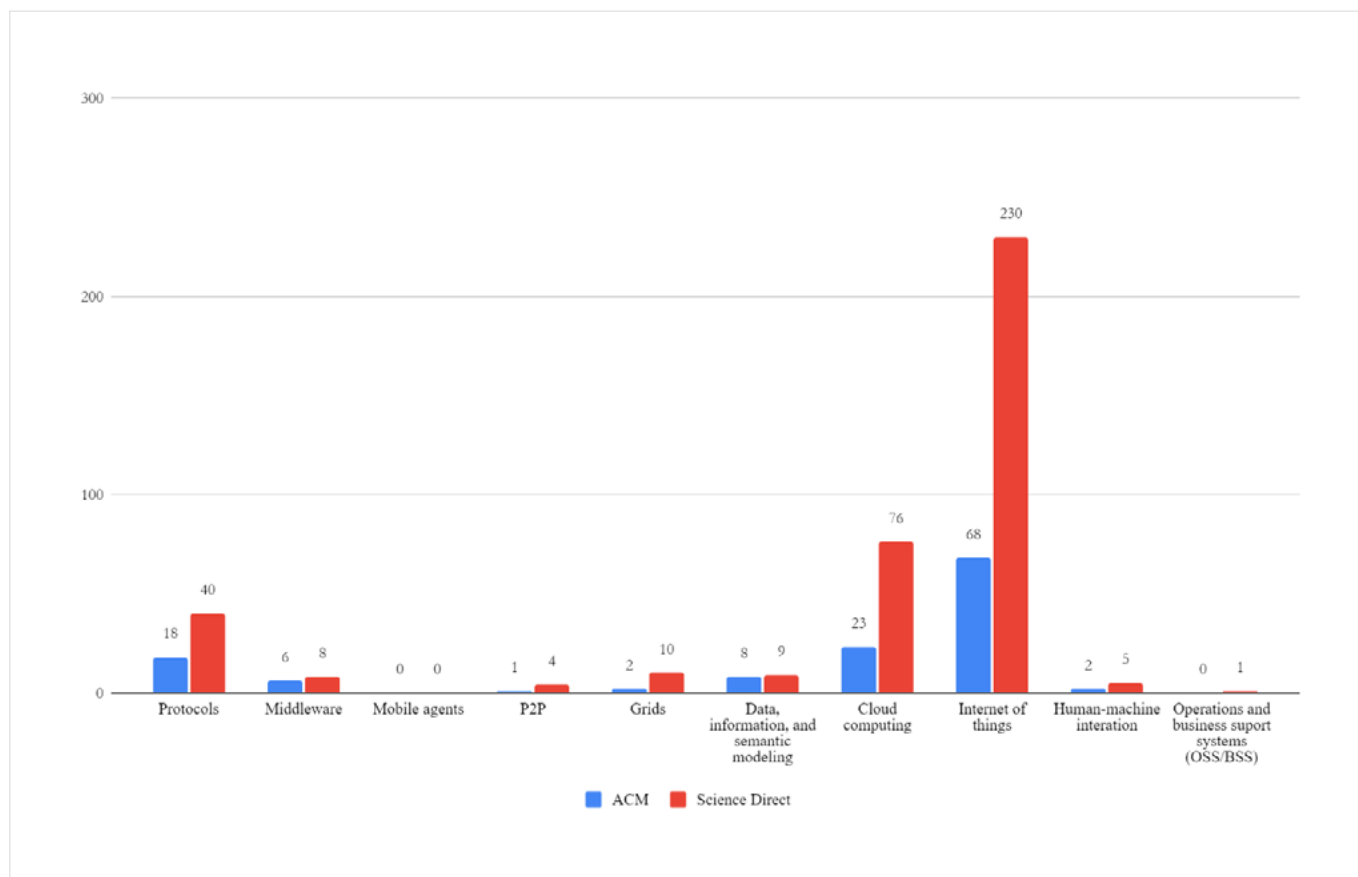
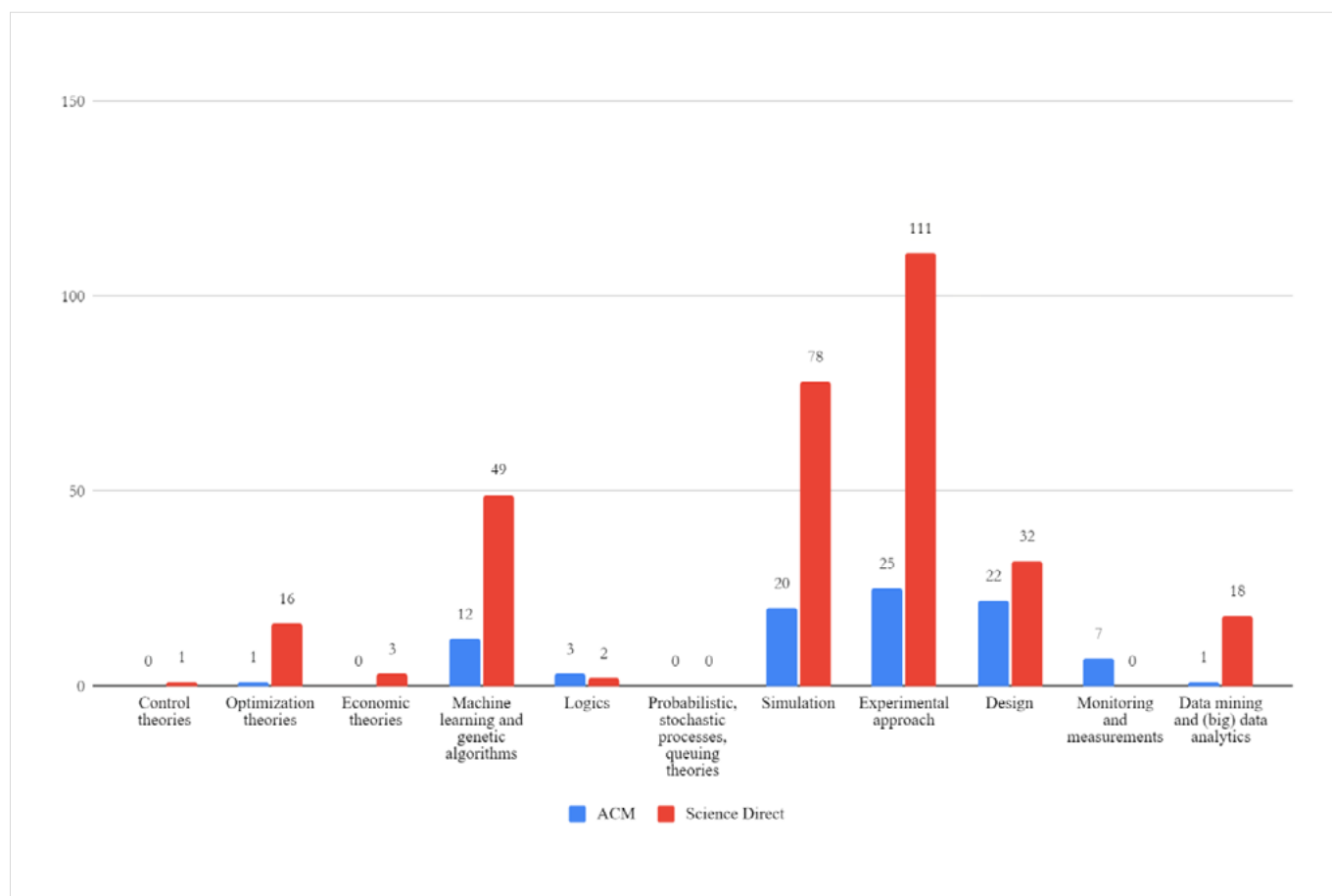


Figura 9 ▼
Quantidade de artigos publicados nas subcategorias de *methods*.
Fonte: dados da pesquisa

A Figura 9, por sua vez, apresenta a quantidade de artigos que foi classificada em cada subcategoria de *methods*. Nesse gráfico, nota-se que trabalhos envolvendo simulação e abordagens experimentais se destacam como métodos prioritários utilizados. Entretanto, vale ressaltar que técnicas de *machine learning* estão se tornando populares e estão presentes em 61 artigos, representando aproximadamente 20% do total de trabalhos nessa subcategoria. Além disso, uma quantidade significativa de artigos trata das teorias de controle e otimização, além da subcategoria de projetos, uma vez que são técnicas comuns em ambientes industriais.



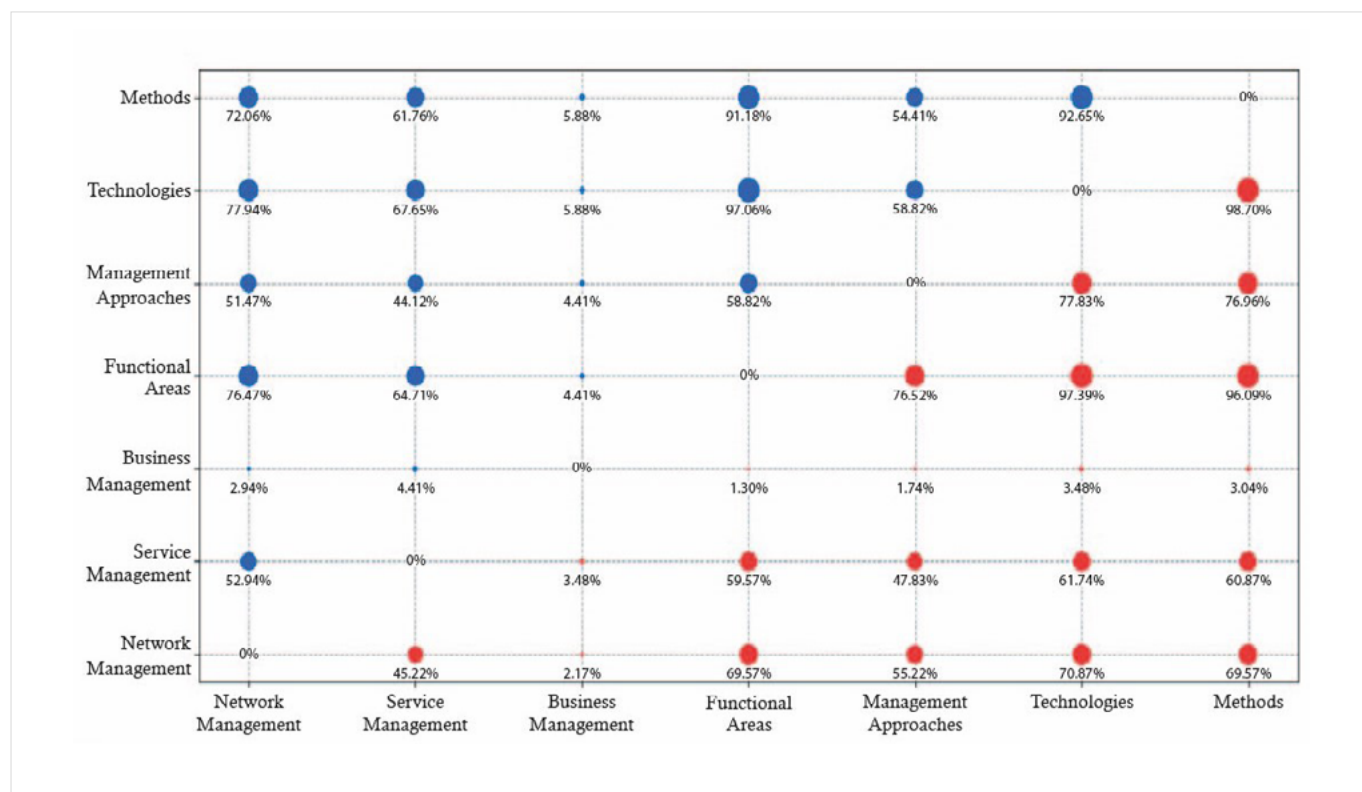
Por fim, o gráfico da Figura 10 apresenta uma correlação par a par entre todas as categorias. Portanto, é possível identificar o percentual de artigos correlacionados de acordo com cada categoria da taxonomia para as duas bases de dados. Em azul, está o percentual relacionado à base da ACM (diagonal superior) e, em vermelho, à base da *Science Direct* (diagonal inferior). Em primeiro lugar, como já indicado anteriormente, verifica-se a baixa correlação dos trabalhos na área de gerência de negócios com as demais categorias, independentemente da base. Destaca-se também a forte correlação entre as categorias de métodos, tecnologias e áreas funcionais nos artigos encontrados nas duas bases, nas quais é comum encontrar trabalhos que avaliam o desempenho ou a segurança de soluções IoT por meio de simulação ou experimentação. Adicionalmente, percebe-se uma correlação alta entre as categorias que envolvem gerência de redes (*network management*), abordagens de gerência (*management approaches*) e gerência de serviços (*service management*) com todas as demais categorias. Isso se explica pela grande quantidade de artigos que abordam características inerentes ao ambiente IIoT, como redes sem fio ou de sensores,

Figura 10 ▼

Análise da correlação par a par entre as categorias da taxonomia.

Fonte: dados da pesquisa

serviços de nuvem ou alocação de recursos, através de uma gerência distribuída ou autônoma. O entendimento de como esses trabalhos estão correlacionados pode ser importante para novos pesquisadores que buscam áreas futuras ou temas evidentes de pesquisa.



4 Resumo dos artigos mais citados

Como forma de complementar a análise bibliométrica apresentada na seção anterior, os três artigos mais citados em cada uma das categorias descritas na taxonomia são resumidos a seguir. O objetivo é exemplificar uma amostra dos trabalhos de cada categoria, por meio de artigos referendados pela comunidade científica. Dados de citações representam os valores encontrados à época da busca.

4.1 Network management

Em Hossain e Muhammad (2016), citado por 485 trabalhos, os autores afirmam que a junção das tecnologias IoT no setor da saúde, juntamente com o crescimento das necessidades desses dispositivos por parte dos pacientes, gera uma necessidade de uma infraestrutura de monitoramento de saúde em tempo real para analisar os dados de saúde dos pacientes e reduzir mortes evitáveis. Assim, o artigo apresenta uma estrutura de monitoramento habilitada para HealthIoT (*Healthcare Industrial IoT*), em que o Eletrocardiograma e outros dados de saúde são adquiridos por dispositivos móveis e sensores e enviados para a nuvem para que profissionais de saúde acessem.

No artigo de Cheng *et al.* (2018), citado por 221 trabalhos, os autores alegam que as tecnologias 3G e 4G não conseguem atender as demandas que surgem com o crescimento da fabricação inteligente baseada em sistemas de fabricação ciberfísica (CPMS). No entanto, a futura tecnologia de transmissão sem fio 5G tem um potencial significativo para promover a IIoT e o CPMS. Nesse contexto, o artigo propõe uma arquitetura IIoT baseada em 5G e descreve os métodos de implementação de diferentes cenários avançados de fabricação e tecnologias de fabricação sob as circunstâncias dos três modos de aplicação típicos de 5G: *enhanced Mobile BroadBand* (eMBB), *massive Machine Type Communications* (mMTC) e *Ultra Reliable Low Latency Communications* (URLLC).

Wu *et al.* (2017), citado por 185 trabalhos, constata a necessidade do desenvolvimento de máquinas inteligentes que auxiliem o processo industrial, com tecnologias de detecção acessíveis e inteligência orientada por dados. Além disso, o artigo em destaque menciona que os sistemas de monitoramento e as abordagens de prognóstico existentes não são capazes de coletar grandes volumes de dados em tempo real ou construir modelos preditivos em larga escala. O objetivo do artigo é apresentar uma nova estrutura computacional que permite sensoriamento remoto em tempo real, monitoramento e computação escalável de alto desempenho para diagnóstico e prognóstico em ambientes de manufatura, utilizando redes de sensores sem fio, computação em nuvem e aprendizado de máquina.

4.2 Service management

Em Velandia *et al.* (2016), citado por 106 trabalhos, os autores investigam a viabilidade de implantação de um sistema RFID (*Radio Frequency Identification*) para a fabricação e a montagem de virabrequins, dado que houve um aumento nas demandas por rastreamento em nível de item usando tecnologia de identificação por radiofrequência. A solução proposta envolve a fixação de parafusos com funcionalidade RFID embutida, encaixando um leitor de antena em um pórtico suspenso que abrange a linha de produção, objetivando a leitura e a gravação dos dados de produção nas etiquetas.

Citado por 102 trabalhos, Kumar *et al.* (2021) propõem o uso de Veículos ou Drones Aéreos Não Tripulados (VANT) no contexto da pandemia de COVID-19. O estudo investiga os sistemas baseados em drones e propõe uma arquitetura para lidar com situações de pandemia em diferentes aspectos, usando cenários em tempo real e baseados em simulação. A arquitetura proposta utiliza sensores vestíveis para registrar as observações em *Body Area Networks* (BANs), através de um mecanismo de busca de dados com abordagem *push-pull*.

No artigo de Singh, Jeong e Park (2020), citado por 81 trabalhos, os autores contextualizam os desafios da infraestrutura orientada à IoT no que diz respeito aos sistemas ciberfísicos, mais especificamente, desafios como segurança, privacidade, centralização, latência de comunicação e escalabilidade em tais ambientes. Dessa forma, o artigo propõe uma infraestrutura orientada à IoT baseada em *deep learning* para uma cidade inteligente segura, na qual uma *blockchain* fornece um ambiente distribuído na fase de comunicação dos sistemas ciberfísicos e uma Rede Definida por Software (SDN, do inglês *Software Defined Network*) estabelece os protocolos para o encaminhamento de dados na rede.

4.3 Business management

Geest, Tekinerdogan e Catal (2021), citado por 28 trabalhos, argumentam que diferentes negócios exigem diferentes tipos de armazéns inteligentes. Nesse contexto, o artigo projeta uma arquitetura de referência para o desenvolvimento de armazéns inteligentes na Indústria 4.0, aplicando uma abordagem de design de arquitetura orientada a domínio e apresentando um modelo genérico de processos de negócios para armazéns, sejam tradicionais ou inteligentes.

Plaga *et al.* (2019), citado por 25 trabalhos, realizam uma breve análise sobre as infraestruturas de comunicação industrial bem estabelecidas e como essas podem se beneficiar de estruturas descentralizadas. Em seguida, os autores propõem uma nova arquitetura de modelo de automação industrial descentralizada baseada em nuvem. Para atender os requisitos de segurança industrial IoT P2P (*Peer-to-Peer*), são apresentados os blocos de construção derivados da arquitetura proposta.

Sun, Wang e Zhang (2021), citado por 11 trabalhos, destacam que, com o desenvolvimento da Internet das Coisas, as redes são obrigadas a garantir os requisitos diferenciais de Qualidade de Serviço (QoS) dos diversos fluxos de dados de vários serviços, e, para separar a lógica de controle dos planos de dados das redes, uma SDN é proposta. Adicionalmente, o artigo investiga o problema de roteamento inteligente em SDNs, aproveitando um novo método de classificação de fluxo de dados. A partir da combinação de uma variedade de algoritmos de aprendizado de máquina, um método de classificação é proposto a fim de identificar a categoria do fluxo de dados e garantir os requisitos de QoS.

4.4 Functional areas

Em Civerchia *et al.* (2017), citado por 162 trabalhos, os autores apresentam uma solução de monitoramento visando aumentar a eficiência operacional em uma nova geração de fábricas inteligentes. Uma solução avançada de IoT Industrial (IIoT) é projetada para possibilitar um monitoramento pervasivo de máquinas industriais por meio de dispositivos sensores IoT alimentados por bateria, permitindo, assim, o desenvolvimento de aplicações avançadas de manutenção preditiva no cenário considerado. Para validar seu desempenho, o sistema foi instalado e depois colocado em operação em uma usina elétrica.

Ren *et al.* (2019), citado por 94 trabalhos, enfatizam a importância da previsão de vida útil remanescente (RUL) como uma área de aplicação essencial em uma IIoT. Adicionalmente, contextualizam que os métodos tradicionais baseados em dados e os métodos de extração de características dependem do conhecimento prévio e são separados dos modelos RUL. Para superar tais desvantagens, o artigo propõe uma nova rede de aprendizado profundo.

Ray, Dash e De (2019), citado por 80 trabalhos, apresentam uma classificação taxonômica e revisam os aspectos industriais que podem se beneficiar tanto do cenário de IoT quanto da computação de borda, além de detalhar cada um dos componentes taxonômicos. O artigo também apresenta dois casos de uso que empregam o paradigma *edge*-IoT em conjunto para resolver problemas de vida urbana inteligente. Por fim, os autores propõem uma nova arquitetura baseada em *edge*-IoT para *e-healthcare*.

4.5 Management approaches

Wang *et al.* (2020), citado por 79 trabalhos, abordam a dificuldade de implementação de uma comunicação confiável em sistemas IIoT, pelo fato de esta acontecer em um ambiente aberto, distribuído e heterogêneo. Dessa forma, o artigo propõe o uso de uma *blockchain* como solução para construção de um sistema à prova de adulteração, bem como para melhorias na produtividade e na eficiência devido aos contratos inteligentes, permitindo que as máquinas se autogerenciem. Um esquema de reputação é também proposto para encorajar os diferentes tipos de nós a participarem por meio de uma colaboração comportada em rede. Uma abordagem de incentivo baseada em crédito é utilizada.

Liu *et al.* (2020) descrevem o conceito do gerenciamento do ciclo de vida do produto (PLM, do inglês *Product Lifecycle Management*) como a base em sistemas autônomos e centralizados fornecidos por desenvolvedores de software. Além disso, os autores mencionam a dificuldade de atender as demandas da Indústria 4.0, que são os requisitos de abertura, interoperabilidade e descentralização. Para enfrentar esses desafios, o artigo propõe uma estrutura de PLM industrial baseada em uma *blockchain*, para facilitar a troca de dados e o compartilhamento de serviços no ciclo de vida do produto.

Vimal *et al.* (2020), citado por 71 trabalhos, abordam a questão do paradigma de computação em borda móvel (MEC) e como as redes móveis implantam e oferecem uma abordagem multiperspectiva para vários paradigmas de alocação de recursos. Nesse contexto, o artigo aplica as técnicas de Aprendizado por Reforço e algoritmos de Otimização de Colônias de Formigas Multiobjetivo (MOACO, do inglês *Multi Objective Ant Colony Optimization*), para lidar com a alocação precisa de recursos entre os usuários finais por meio das tabelas de mapeamento de custos e alocação ótima no MEC.

4.6 Technologies

Em Rathee *et al.* (2019), citado por 67 trabalhos, os autores utilizam o paradigma de *Communicating Things Network* (CTN), que é uma rede de dispositivos físicos capazes de extrair e compartilhar dados, cujo objetivo é aumentar a produtividade e fornecer informação em tempo real de maneira eficiente. Entretanto, desafios de segurança surgem a partir desse paradigma, e, para resolvê-los, o artigo propõe uma estrutura de IoT industrial híbrida segura, usando uma *blockchain* para armazenar os dados extraídos de dispositivos IoT. Os registros extraídos são armazenados para manter a transparência entre vários usuários localizados em diferentes locais.

Kabugo *et al.* (2020), citado por 64 trabalhos, propõem uma plataforma de análise de dados de processos, construída em torno do conceito de indústria 4.0, utilizando algoritmos de aprendizado de máquina; além de ferramentas de *big data* com um estudo de caso para demonstração de aplicabilidade industrial. O objetivo é mitigar a escassez das informações sobre a implementação da análise de dados no contexto da Indústria 4.0 e IIoT.

Bumblauskas *et al.* (2017), citado por 64 trabalhos, fornecem um projeto arquitetônico e a estrutura conceitual para um sistema de suporte à decisão de manutenção inteligente, que propõe um modelo analítico preditivo a ser aplicado em indústrias de manufatura e serviços. O artigo advoga que, devido à rápida transformação

para análise de *big data* e tomada de decisões de manutenção preditiva advindas de dados corporativos, um projeto como esse é altamente desejável. Uma empresa da Fortune 500 é utilizada como estudo de caso.

4.7 Methods

Em Majeed *et al.* (2021), citado por 64 trabalhos, são ressaltados os benefícios de uma manufatura aditiva (MA), como economia de energia e produção ambientalmente mais limpa, devido à redução no consumo de materiais e recursos. A partir disso, o artigo unifica as técnicas de fabricação inteligente, fabricação sustentável e fabricação aditiva para formar a fabricação aditiva sustentável e inteligente (SSAM) e, com isso, propõe uma estrutura de manufatura aditiva inteligente e sustentável orientada por *big data* (BD-SSAM) que ajuda os líderes do setor de MA a tomar decisões para estágio de início de vida do ciclo de vida do produto.

Garrido-Hidalgo *et al.* (2019), citado por 55 trabalhos, abordam a problemática do aumento no número de produtos que são devolvidos aos varejistas pelos clientes, tornando-se necessário gerenciar os fluxos de materiais e informações no domínio da cadeia de suprimentos (*supply chain*). Nesse contexto, o artigo propõe uma solução fim a fim para *Reverse Supply Chain Management* (R-SCM), baseada na cooperação entre diferentes padrões de comunicação IoT, permitindo o monitoramento de inventário de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) por meio de sensores embarcados. Os dados são armazenados em nuvem.

Naeem *et al.* (2020), citado por 54 trabalhos, citam os desafios de segurança presentes nos dispositivos IIoT, uma vez que *malwares*, comumente usados em computadores convencionais ligados à internet, agora são uma ameaça a tais dispositivos. Os métodos de identificação de *malware* de última geração não são os melhores em termos de complexidade computacional. Portanto, o artigo projeta uma arquitetura para detectar ataques de *malware* nas IIoTs, e, para uma análise aprofundada, é proposta uma metodologia baseada na visualização de imagens coloridas e rede neural de convolução profunda.

5 Conclusão

Este trabalho apresentou um mapeamento sistemático de literatura com o intuito de investigar as pesquisas relacionadas ao gerenciamento de recursos e aplicações IIoT. Com este estudo, foi possível mapear as principais subáreas de pesquisa, as soluções propostas pelos autores que foram mais citadas e identificar as lacunas possíveis de serem exploradas em trabalhos futuros. Conclui-se que o interesse de pesquisa em gerência de redes e serviços no ambiente IoT industrial está cada vez mais evidente, devido ao crescente número de publicações disponíveis na última década. Além disso, foi possível perceber uma concentração de trabalhos em algumas subáreas da grande área da gerência de redes e a correlação destas nas pesquisas realizadas. Acredita-se que a contribuição maior deste mapeamento é possibilitar o entendimento e o direcionamento de pesquisadores no desenvolvimento de novos estudos que podem avançar o estado da arte.

Financiamento

Esta pesquisa foi financiada com recursos da Chamada Interconecta 02/2022 PRPIPG/IFPB e do Edital nº 27/2021 PIBITI/CNPq PRPIPG/IFPB.

Conflito de interesses

Os autores expressam a inexistência de conflito de interesses.

Referências

BUMBLAUSKAS, D.; GEMMILL, D.; IGOU, A.; ANZENGRUBER, J. Smart Maintenance Decision Support Systems (SMDSS) based on corporate big data analytics. **Expert Systems with Applications**, v. 90, p. 303-317, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.08.025>.

CHENG, J.; CHEN, W.; TAO, F.; LIN, C. Industrial IoT in 5G environment towards smart manufacturing. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 10, p. 10-19, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jii.2018.04.001>.

CIVERCHIA, F.; BOCCHINO, S.; SALVADORI, C.; ROSSI, E.; MAGGIANI, L.; PETRACCA, M. Industrial Internet of Things monitoring solution for advanced predictive maintenance applications. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 7, p. 4-12, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.02.003>.

GARRIDO-HIDALGO, C.; OLIVARES, T.; RAMIREZ, F. J.; RODA-SANCHEZ, L. An end-to-end Internet of Things solution for Reverse Supply Chain Management in Industry 4.0. **Computers in Industry**, v. 112, 103127, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.103127>.

GEEST, M. V.; TEKINERDOGAN, B.; CATAL, C. Design of a reference architecture for developing smart warehouses in industry 4.0. **Computers in Industry**, v. 124, 103343, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103343>.

HOSSAIN, M. S.; MUHAMMAD, G. Cloud-assisted Industrial Internet of Things (IIoT): enabled framework for health monitoring. **Computer Networks**, v. 101, p. 192-202, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2016.01.009>.

IIC – INDUSTRIAL INTERNET CONSORTIUM. **Industrial Internet of Things Volume G4: Security Framework**. Needham, MA, USA: The Object Management Group, 2016. Disponível em: https://www.iiconsortium.org/pdf/IIC_PUB_G4_V1.00_PB.pdf. Acesso em: 8 nov. 2022.

KABUGO, J. C.; JÄMSÄ-JOUNELA, S.; SCHIEMANN, R.; BINDER, C. Industry 4.0 based process data analytics platform: A waste-to-energy plant case study. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, v. 115, 105508, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.105508>.

- KUMAR, A.; SHARMA, K.; SINGH, H.; NAUGRIYA, S. G.; GILL, S. S.; BUYYA, R. A drone-based networked system and methods for combating coronavirus disease (COVID-19) pandemic. **Future Generation Computer Systems**, v. 115, p. 1-19, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.future.2020.08.046>.
- LIU, X. L.; WANG, W. M.; GUO, H.; BARENJI, A. V.; LI, Z.; HUANG, G. Q. Industrial blockchain based framework for product lifecycle management in industry 4.0. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 63, 101897, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.101897>.
- MAJEED, A.; ZHANG, Y.; REN, S.; LV, J.; PENG, T.; WAQAR, S.; YIN, E. A big data-driven framework for sustainable and smart additive manufacturing. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 67, 102026, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2020.102026>.
- NAEEM, H.; ULLAH, F.; NAEEM, M. R.; KHALID, S.; VASAN, D.; JABBAR, S.; SAEED, S. Malware detection in industrial Internet of Things based on hybrid image visualization and deep learning model. **Ad Hoc Networks**, v. 105, 102154, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2020.102154>.
- PLAGA, S.; WIEDERMANN, N.; ANTON, S. D.; TATSCHNER, S.; SCHOTTEN, H.; NEWE, T. Securing future decentralised industrial IoT infrastructures: Challenges and free open source solutions. **Future Generation Computer Systems**, v. 93, p. 596-608, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.11.008>.
- RATHEE, G.; SHARMA, A.; KUMAR, R.; IQBAL, R. A secure communicating things network framework for industrial IoT using blockchain technology. **Ad Hoc Networks**, v. 94, 101933, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2019.101933>.
- RAY, P. P.; DASH, D.; DE, D. Edge computing for Internet of Things: a survey, e-healthcare case study and future direction. **Journal of Network and Computer Applications**, v. 140, p. 1-22, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2019.05.005>.
- REN, L.; CHENG, X.; WANG, X.; CUI, J.; ZHANG, L. Multi-scale dense gate recurrent unit networks for bearing remaining useful life prediction. **Future Generation Computer Systems**, v. 94, p. 601-609, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.12.009>.
- SANTOS, C. R. P.; FAMAHEY, J.; SCHÖNWÄLDER, J.; GRANVILLE, L. Z.; PRAS, A.; TURCK, F. Taxonomy for the network and service management research field. **Journal of Network and Systems Management**, v. 24, p. 764-787, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10922-015-9363-7>.
- SINGH, S. K.; JEONG, Y.; PARK, J. H. A deep learning-based IoT-oriented infrastructure for secure smart city. **Sustainable Cities and Society**, v. 60, 102252, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102252>.
- SUN, W.; WANG, Z.; ZHANG, G. A. QoS-guaranteed intelligent routing mechanism in software-defined networks. **Computer Networks**, v. 185, 107709, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107709>.
- VELANDIA, D. M. S.; KAUR, N.; WHITTOW, W. G.; CONWAY, P. P.; WEST, A. A. Towards industrial internet of things: crankshaft monitoring, traceability and tracking

using RFID. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 41, p. 66-77, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2016.02.004>.

VIMAL, S.; KHARI, M.; DEY, N.; CRESPO, R. G.; ROBINSON, Y. H. Enhanced resource allocation in mobile edge computing using reinforcement learning based MOACO algorithm for IIOT. **Computer Communications**, v. 151, p. 355-364, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.01.018>.

WANG, E. K.; LIANG, Z.; CHEN, C.; KUMARI, S.; KHAN, M. K. PoRX: A reputation incentive scheme for blockchain consensus of IIoT. **Future Generation Computer Systems**, v. 102, p. 140-151, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.08.005>.

WIENER, P.; ZEHNDER, P.; RIEMER, D. Managing geo-distributed stream processing pipelines for the IIoT with StreamPipes edge extensions. *In*: ACM INTERNATIONAL CONFERENCE ON DISTRIBUTED AND EVENT-BASED SYSTEMS (DEBS '20), 14., 2020, Montreal. **Proceedings** [...]. New York: Association for Computing Machinery, 2020. p. 165-176. DOI: <https://doi.org/10.1145/3401025.3401764>.

WU, D.; LIU, S.; ZHANG, L.; TERPENNY, J.; GAO, R. X.; KURFESS, T.; GUZZO, J. A. A fog computing-based framework for process monitoring and prognosis in cyber-manufacturing. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 43, p. 25-34, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2017.02.011>.