

Agendamento de Fluxos de Rede na Computação na Borda: Análise Cientométrica da Produção Científica

Alexandre A. Ferreira da Costa¹, Paulo S. Souza², Fábio D. Rossi¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha
RS 377 – KM 27 – Alegrete, RS – Brasil

²Universidade Federal do Pampa
Av. Tiarajú, 810 – Bairro Ibirapuitã – Alegrete, RS – Brasil

alexandreiffca@gmail.com, paulosilas@unipampa.edu.br

fabio.rossi@iffarroupilha.edu.br

Abstract. *The rise of mobile devices and the Internet of Things has driven demand for emerging use cases. In this context, Edge Computing emerges as a solution to balance the limited resources of mobile devices with the scalability of the cloud. Given the growth of this field and the abundance of studies in the literature, this work proposes a scientometric analysis of publications on network flow scheduling in edge infrastructures. The synthesis of this information is important not only to identify patterns and trends but also to provide an overview of the current state of research. These insights have the potential to lower the barrier to entry for new researchers, offering guidance amidst the increasing complexity of the Edge Computing field.*

Resumo. *A ascensão dos dispositivos móveis e da Internet das Coisas impulsionou a demanda por casos de uso emergentes. Nesse contexto, a Computação na Borda surge como uma solução para equilibrar os recursos limitados dos dispositivos móveis com a escalabilidade da nuvem. Diante do crescimento desse campo e da quantidade de estudos na literatura, este trabalho propõe uma análise cientométrica das publicações sobre o agendamento de fluxos de rede em infraestruturas de borda. A síntese dessas informações é importante não apenas para identificar padrões e tendências, mas também para proporcionar uma visão do estado atual da pesquisa. Esses insights têm o potencial de reduzir a barreira de entrada para novos pesquisadores, oferecendo orientações diante da crescente complexidade do campo da Computação na Borda.*

1. Introdução

Nos últimos anos, houve uma proliferação exponencial de dispositivos móveis e a ascensão da Internet das Coisas (*IoT*) [Gubbi et al. 2013]. Esse avanço tecnológico tem desencadeado casos de uso caracterizados por requisitos estritos de desempenho. Exemplos notáveis incluem serviços de vídeo *streaming*, soluções de saúde digital, jogos *online* e a integração de tecnologias em cidades inteligentes [Liu et al. 2020].

A intensificação desses casos de uso tem gerado uma reflexão sobre a localização ideal para processar os dados gerados. Em um lado do espectro, temos a nuvem, oferecendo recursos virtualmente infinitos [Buyya et al. 2011], porém, sujeitos a problemas

de tempo de resposta, como alta latência e saturação do *backhaul*. Por outro lado, os dispositivos dos usuários finais proporcionam baixíssima latência, mas possuem recursos limitados, como capacidade de processamento e autonomia de bateria.

Diante desse dilema, surge a ideia de Computação na Borda [Shi and Dustdar 2016, Satyanarayanan 2017], que visa aproximar o processamento dos usuários finais. Essa proximidade é alcançada por meio de recursos computacionais estrategicamente posicionados entre a nuvem e os dispositivos finais. Dentre as características de infraestruturas de borda, destacam-se a descentralização da infraestrutura, a limitação computacional de servidores e a utilização de infraestruturas de rede suscetíveis à instabilidade e falhas [Jiang et al. 2020, Aral and Brandic 2021].

A fragilidade inerente à rede de borda exige uma abordagem de controle refinado. A fim de assegurar que a proximidade não seja comprometida por uma utilização não otimizada dos recursos, adota-se uma estratégia baseada em *Software-Defined Networking (SDN)* [Goransson et al. 2016]. Essa abordagem proporciona visibilidade total da rede, controle holístico e refinado dos recursos. Exemplos práticos incluem o roteamento para baixa latência, o balanceamento de carga para evitar sobrecarga em pontos específicos e uma rápida recuperabilidade, tudo viabilizado pela visibilidade oferecida por *SDN*.

Diante da evolução da Computação na Borda e da crescente quantidade de pesquisas e publicações nesse campo, é fundamental entender seu estado atual para orientar novos avanços e aplicações. A análise cientométrica proposta neste trabalho visa preencher essa lacuna, oferecendo informações sobre a distribuição temporal e geográfica das publicações, as principais afiliações dos autores e os padrões de citação. Essa análise é oportuna e fornecerá subsídios para pesquisadores, acadêmicos e profissionais da área.

O restante deste documento está organizado como segue. O Capítulo 2 discute os fundamentos do trabalho, explorando os conceitos que sustentam nossa pesquisa. No Capítulo 3, são revisadas as literaturas relevantes ao tema, contextualizando nosso estudo dentro do panorama acadêmico atual. Em seguida, a metodologia da pesquisa adotada é detalhada no Capítulo 4, fornecendo informações sobre como o estudo foi conduzido e os métodos empregados. No Capítulo 5, apresentamos as descobertas resultantes da análise realizada. Por fim, no Capítulo 6, oferecemos considerações finais que destacam a importância e as possíveis implicações dos resultados obtidos.

2. Referencial Teórico

Discutiremos conceitos que delineiam a base deste trabalho, abordando a Computação em Nuvem (Subseção 2.1), Computação na Borda (Subseção 2.2) e *SDN* (Subseção 2.3), destacando a interação entre esses paradigmas e enfatizando a relevância em como as políticas de controle de fluxo, integradas às *SDNs*, desempenham um papel fundamental na otimização da comunicação em ambientes que demandam requisitos estritos de latência e largura de banda.

2.1. Computação em Nuvem

A popularização do modelo baseado em serviços no âmbito de Tecnologia da Informação (TI) reflete a consolidação da Computação em Nuvem como a principal abordagem para hospedagem de aplicações [Buyya et al. 2009]. A nuvem visa prover recursos computacionais sob demanda através da Internet, utilizando um modelo de serviços. Essa tendência

é respaldada pelas características chave da Computação em Nuvem, tais como o *on-demand self-service* e a elasticidade, que permitem a disponibilização ágil e escalonável de recursos de TI, atendendo às necessidades variáveis das organizações de forma eficiente e econômica [Armbrust et al. 2010].

Os modelos de serviço de nuvem são uma formalização preestabelecida das diferentes abordagens para fornecer serviços de Computação em Nuvem [Mell and Grance 2011]. Esses modelos incluem *Infrastructure as a Service (IaaS)*, *Platform as a Service (PaaS)* e *Software as a Service (SaaS)*, onde:

- O modelo *IaaS* é caracterizado pelo fornecimento de recursos de infraestrutura, como processamento, armazenamento e redes, permitindo que os usuários implantem e gerenciem seus próprios sistemas operacionais e aplicativos. Exemplos de provedores de *IaaS* incluem *Amazon Web Services (AWS)*, *Google Cloud Platform (GCP)* e *Microsoft Azure*. Em comparação com o modelo de *on-premises*, onde a infraestrutura e os aplicativos são mantidos localmente pela organização, o modelo *IaaS* proporciona maior flexibilidade e escalabilidade, além de reduzir os custos operacionais, uma vez que a responsabilidade pela infraestrutura e manutenção é transferida para o provedor de nuvem.
- O modelo *PaaS* é caracterizado pelo fornecimento de plataformas de desenvolvimento e execução de aplicativos, permitindo que os usuários desenvolvam, testem e implantem aplicativos sem se preocupar com a infraestrutura subjacente. Exemplos de provedores de *PaaS* incluem *Google App Engine* e *Heroku*. Em comparação com o modelo de *on-premises*, o modelo *PaaS* oferece maior agilidade e eficiência no desenvolvimento de aplicativos, além de reduzir os custos operacionais, uma vez que a responsabilidade pela infraestrutura e manutenção também é transferida para o provedor de nuvem.
- O modelo *SaaS* é caracterizado pelo fornecimento de aplicativos de *software* prontos para uso, acessíveis pela Internet, eliminando a necessidade de instalação e manutenção local. Exemplos de aplicativos *SaaS* incluem *Salesforce* e *Office 365*. Em comparação com o modelo de *on-premises*, o modelo *SaaS* oferece maior flexibilidade e escalabilidade, além de reduzir os custos operacionais, uma vez que a responsabilidade pela infraestrutura e manutenção mais uma vez é transferida para o provedor de nuvem.

Complementando a discussão teórica, a Figura 1, apresenta exemplos de cada opção de modelo de serviço incorporado no modelo de nuvem, junto das diferenças relacionadas aos recursos gerenciados pelos usuários e pelos provedores de serviço.

Explorando a relação intrínseca entre a virtualização e a Computação em Nuvem, destacamos a significativa implementação das propriedades dinâmicas do modelo de nuvem por meio dessas tecnologias. A ideia central da virtualização consiste em desacoplar os componentes de *hardware* dos componentes de *software* [Xing and Zhan 2012], alcançando isso por meio de sistemas especializados que gerenciam eficientemente os recursos computacionais. Em linhas gerais, as tecnologias de virtualização possibilitam a criação de ambientes computacionais isolados em nível de *software*. Essa abordagem oferece flexibilidade e escalabilidade, permitindo que recursos físicos sejam compartilhados e alocados dinamicamente conforme a demanda, sem a necessidade de configurações específicas de *hardware*. A virtualização torna possível a execução de múltiplos sistemas

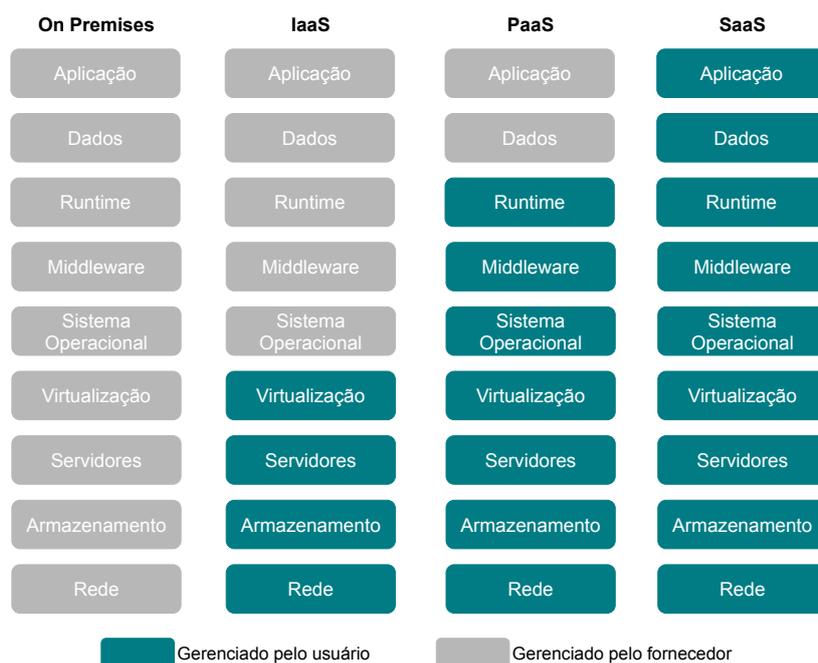


Figura 1. Modelo de serviços de Computação em Nuvem.

operacionais e aplicativos em uma única infraestrutura física, promovendo a eficiência na utilização de recursos e facilitando a implementação ágil de serviços na nuvem. O desacoplamento entre *hardware* e *software* proporcionado pela virtualização é essencial para otimizar a alocação de recursos, melhorar a eficiência operacional e viabilizar a oferta de serviços de nuvem altamente flexíveis e adaptáveis às demandas variáveis dos usuários.

As principais tecnologias de virtualização, Máquinas Virtuais (VMs) e *Containers*, desempenham papéis distintos na implementação de ambientes virtualizados na Computação em Nuvem. VMs, em um conceito de alto nível, representam a virtualização de sistemas operacionais completos, sendo gerenciadas por um *hypervisor* que virtualiza os recursos físicos do *hardware* [Barham et al. 2003].

Uma vantagem significativa das VMs é o alto nível de isolamento proporcionado, permitindo a execução de diferentes sistemas operacionais e aplicativos de forma independente. No entanto, essa abordagem também apresenta desvantagens, destacando-se o *overhead* associado à virtualização completa de sistemas operacionais, o qual pode resultar em uma utilização menos eficiente dos recursos físicos. Por outro lado, os *Containers*, em um conceito de alto nível, representam uma forma mais leve de virtualização, encapsulando apenas o aplicativo e suas dependências, compartilhando o mesmo *kernel* do sistema operacional hospedeiro [Xavier et al. 2013]. *Container runtimes*, como *Docker*, desempenham um papel crucial nesse contexto, facilitando a criação, execução e gerenciamento de *Containers*.

Uma das principais vantagens dos *Containers* é a velocidade de provisionamento, pois podem ser iniciados em questão de segundos, tornando-os ideais para ambientes dinâmicos e escaláveis. Contudo, a abordagem de *Containers* apresenta um nível de isolamento mais reduzido em comparação com VMs, o que pode representar uma preocupação em termos de segurança, especialmente em cenários nos quais é necessária uma separação

mais robusta entre diferentes cargas de trabalho. Assim, a escolha entre VMs e *Containers* na implementação de ambientes virtualizados depende das características específicas de cada aplicação e dos requisitos de isolamento e eficiência operacional desejados.

A operação de infraestruturas de nuvem, especialmente em larga escala, demanda atenção para garantir sua eficiência e disponibilidade. Essas infraestruturas, devido à necessidade de lidar com enormes volumes de dados e tráfego, requerem cuidado em termos de manutenção, englobando aspectos como refrigeração, suprimento de energia ininterrupta e gestão eficaz de recursos. Para atender a essas demandas, as empresas adotam a centralização por meio de instalações especializadas denominadas *data centers*. Os *data centers*, nesse contexto, funcionam como o núcleo vital para o armazenamento, processamento e distribuição de dados em larga escala. Suas características gerais destacam-se pela concentração de servidores, armazenamento e demais infraestruturas em um único local, proporcionando eficiência operacional, facilitando a manutenção centralizada e otimizando o uso de recursos. A centralização em *data centers* garante a confiabilidade e a escalabilidade necessárias para sustentar as demandas crescentes das infraestruturas de nuvem, permitindo, assim, a entrega consistente e eficaz de serviços na era da Computação em Nuvem.

2.2. Computação na Borda

A popularização de aplicações com requisitos estritos de desempenho, impulsionada pelo avanço de *IoT* e pelo uso generalizado de dispositivos móveis, tem desafiado as limitações do modelo de nuvem. A centralização dos recursos de computação em *data centers* remotos resulta em latências significativas devido ao número de saltos necessários para a comunicação entre as fontes de dados e os centros de dados em nuvem. Essa latência conflita com as demandas de tempo real dessas aplicações, impactando negativamente a experiência do usuário. Além disso, as limitações de largura de banda de entrada e saída nos *data centers* em nuvem reduzem o desempenho geral da rede [Satyanarayanan et al. 2019a]. Diante desses desafios, o conceito emergente de Computação na Borda surge como uma alternativa promissora [Satyanarayanan et al. 2009].

A Computação na Borda (em inglês: *Edge Computing*), envolve a distribuição de dispositivos de computação em rede próximos aos dispositivos finais, superando as limitações de latência e largura de banda associadas à Computação em Nuvem centralizada. Além disso, a Computação na Borda permite que as aplicações sejam executadas mesmo quando a conexão com a nuvem é interrompida, garantindo a continuidade do serviço. Essa abordagem descentralizada oferece a promessa de atender aos requisitos de desempenho das aplicações, proporcionando uma experiência mais ágil e responsiva para os usuários finais [Satyanarayanan 2017].

A interconexão entre os recursos de Computação em Nuvem, os dispositivos de borda e os dispositivos finais, Figura 2, forma um modelo de computação em três camadas [Satyanarayanan et al. 2019b]. Nos *data centers* em nuvem (Camada 1), a escalabilidade de computação e armazenamento é virtualmente infinita, com uma infraestrutura de rede estável e mecanismos de segurança robustos. As instalações de borda (Camada 2) estão distribuídas próximas às fontes de dados, oferecendo menor latência em comparação com a Camada 1, embora com escalabilidade limitada devido a restrições de

espaço, refrigeração e fornecimento de energia. Por fim, a Camada 3 abriga os produtores e consumidores de dados, como dispositivos móveis e sensores *IoT*. A coordenação entre esses recursos permite que as aplicações sejam executadas mais próximas dos dispositivos finais, reduzindo a latência e melhorando a eficiência do sistema.

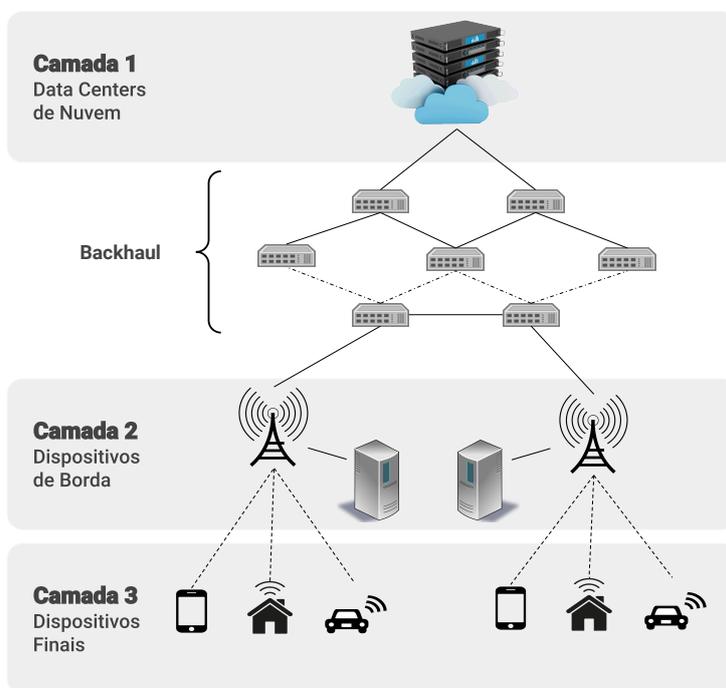


Figura 2. Interação entre recursos de nuvem, de borda e dispositivos finais.

Na borda, os recursos computacionais são distribuídos geograficamente, permitindo que o processamento de dados ocorra mais próximo das fontes de dados, reduzindo a latência e melhorando a eficiência da rede. No entanto, os recursos computacionais na borda são limitados em comparação com ambientes de nuvem, resultando em capacidades de processamento e largura de banda mais restritas. Além disso, a rede na borda é geralmente menos robusta do que a infraestrutura de rede estável de *data centers* em nuvem. Em contraste, os *data centers* em nuvem oferecem recursos computacionais centralizados e escaláveis, com uma infraestrutura de rede robusta e segura. Os recursos na nuvem são geralmente mais poderosos e podem ser facilmente escalados para atender às demandas de processamento e armazenamento. No entanto, as limitações da borda requerem uma gestão mais detalhada dos recursos computacionais, levando em consideração as restrições de espaço, refrigeração e fornecimento de energia, bem como a necessidade de garantir a robustez da rede em locais remotos. A gerência fina dos recursos computacionais na borda é essencial para garantir a eficiência e a segurança do sistema.

Além das abordagens tradicionais de Computação na Borda, também existe o conceito de Computação em Névoa (em inglês: *Fog Computing*), que expande a Computação na Borda ao adicionar uma camada intermediária entre os dispositivos de borda e os *data centers* em nuvem. Enquanto a Computação na Borda processa dados diretamente em dispositivos de borda próximos à fonte de origem, a Computação em Névoa estende essa capacidade ao distribuir recursos de processamento e armazenamento em nós intermediários, conhecidos como pontos de presença de *fog*, localizados em lo-

cais estratégicos. No entanto, neste estudo, optamos por tratar Computação na Borda e Computação em Névoa como conceitos semelhantes, uma vez que ambos compartilham o objetivo de processar dados próximos à fonte e são considerados por alguns autores como implementações alternativas do mesmo conceito geral [Dolui and Datta 2017]. Portanto, ao longo deste trabalho, não faremos distinção entre Computação na Borda e Computação em Névoa, concentrando-nos em examinar as estratégias de agendamento de fluxos em ambientes de borda, independentemente da terminologia utilizada.

2.3. Redes Definidas por Software

As infraestruturas de rede tradicionais apresentam limitações significativas devido ao design estático e predefinido das funcionalidades dos componentes de rede, muitas vezes configurados de acordo com as preferências dos fornecedores, resultando em dispositivos opacos e de difícil gerenciamento. Além disso, a impossibilidade de adaptação *on-the-fly* das políticas de gerência de recursos conforme as necessidades dinâmicas do ambiente é uma consequência direta da natureza “caixa preta” desses dispositivos, dificultando a flexibilidade e a eficiência operacional.

Com a adoção das *SDNs*, ocorre o desacoplamento entre o plano de dados e o plano de controle (Figura 3). Anteriormente, ambos estavam intimamente integrados aos dispositivos de encaminhamento, enquanto, com a adoção do *SDN*, os dispositivos de encaminhamento passam a se concentrar exclusivamente no encaminhamento de dados. As decisões de gerência de recursos, anteriormente realizadas localmente, são transferidas para entidades externas denominadas controladores, por meio das interfaces *Southbound* e *Northbound*, permitindo uma abordagem mais dinâmica e centralizada para a administração da rede [Goransson et al. 2016].

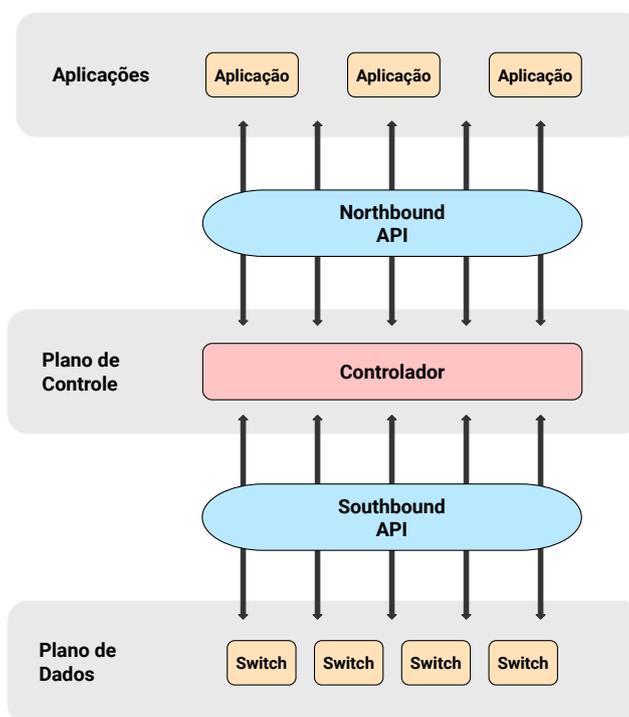


Figura 3. Arquitetura da tecnologia SDN.

A camada controladora desempenha um papel fundamental na arquitetura *SDN*, sendo responsável por fornecer serviços que viabilizam um plano de controle distribuído e promovem os conceitos de gerenciamento de estado e centralização. Além disso, as *SDNs* oferecem possibilidades de otimização de recursos por meio de políticas otimizadas de controle de fluxo.

O controle de fluxos, que envolve a seleção e encaminhamento de pacotes de dados, é essencial para garantir a Qualidade de Serviço (QoS) para diferentes tipos de tráfego. Em cenários onde aplicações possuem requisitos estritos de latência e largura de banda, as políticas de controle de fluxo podem otimizar a comunicação, garantindo a alocação justa e eficiente dos recursos de rede, como a largura de banda disponível e o espaço de *buffer*, para diferentes classes de serviço. Essas políticas visam assegurar a justa distribuição dos recursos, além de proteger a rede contra comportamentos não conformes, garantindo que usuários bem-comportados não sejam prejudicados por usuários que excedem suas taxas de dados acordadas.

O conceito de *SDN* emergiu como uma solução inovadora para superar as limitações de infraestruturas de rede tradicionais. A capacidade de desacoplar o plano de dados do plano de controle proporciona uma flexibilidade sem precedentes [Jain et al. 2013], permitindo que os operadores de TI configurem e ajustem dinamicamente políticas de gerenciamento de rede de acordo com as necessidades específicas da borda. Essa configurabilidade avançada de redes que operam sob o modelo de *SDN* possibilita a aplicação de políticas otimizadas de controle de fluxos e outras estratégias de gerenciamento de rede, melhorando significativamente o desempenho e a eficiência operacional da infraestrutura como um todo. Como resultado, as *SDNs* apresentam um grande potencial para infraestruturas de borda, fornecendo uma base sólida para a evolução e inovação contínuas no campo da Computação na Borda.

3. Trabalhos Relacionados

Esta seção apresenta e compara alguns artigos que apresentam análises de literatura em assuntos relacionados ao tema-alvo deste trabalho.

Alguns trabalhos abordam os novos paradigmas da Computação na Borda e orquestração *IoT* com *SDN* e borda. Enquanto Tang et al. [Tang et al. 2023] destacam a importância da integração entre computação e rede na Convergência de Computação e Rede (CNC), enfatizando a necessidade de estratégias inteligentes de agendamento para lidar com os desafios de recursos heterogêneos, otimização de múltiplos objetivos e tarefas diversas, Rafique et al. [Rafique et al. 2020] discutem a mudança dos modelos de computação centralizada para a Computação na Borda distribuída. Essa transição busca atender aos requisitos de serviços sensíveis à latência e contextuais das aplicações *IoT*. Além disso, são apresentadas análises detalhadas sobre a orquestração de *IoT* com *SDN* e borda, destacando requisitos-chave, esforços de padronização, estudos de caso e classificação de avanços em *SDIoT-Edge Computing* com base em múltiplos parâmetros de desempenho. Vulnerabilidades de segurança e privacidade são abordadas, e direções para pesquisas futuras são fornecidas.

Outros estudos exploram diferentes aspectos da Computação na Borda, *SDNs* e *IoT*. Mamane et al. [Mamane et al. 2022] analisam o estado da arte da alocação de recursos de rádio em redes 5G e futuras, oferecendo uma visão da literatura existente e

destacando trabalhos futuros. Luo et al. [Luo et al. 2021] abordam o agendamento de recursos na Computação na Borda, discutindo arquiteturas, modelos unificados, técnicas de agendamento e desafios futuros. Vijayalayan et al. [Vijayalayan et al. 2013] apresentam esquemas de agendamento distribuído para redes *mesh* sem fio, enquanto Wang et al. [Wang et al. 2019] exploram como a *SDN* pode aprimorar a Computação na Borda, destacando desafios e pesquisas futuras.

Jazaeri et al. [Jazaeri et al. 2021] fornecem uma revisão sistemática de questões, desafios e soluções na Computação na Borda em redes *SDN-IoT*, destacando a interdependência entre *SDN* e *IoT*. A pesquisa explora como esses dois desenvolvimentos na rede se relacionam e propõe soluções para melhorar a eficiência na prestação de serviços *IoT* nesse contexto. O estudo oferece uma visão das questões atuais, desafios e direções futuras para pesquisas eficazes em serviços *IoT* no paradigma *SDIoT-Edge*.

Taleb et al. [Taleb et al. 2017] apresentam uma pesquisa sobre o *Multi-access Edge Computing (MEC)* e se concentram nas principais tecnologias facilitadoras fundamentais. Elabora a orquestração do *MEC* considerando tanto serviços individuais quanto uma rede de plataformas *MEC* que suportam a mobilidade, fornecendo *insights* sobre as diferentes opções de implantação de orquestração. Além disso, analisam a arquitetura de referência do *MEC* e os principais cenários de implantação, os quais oferecem suporte multilocação para desenvolvedores de aplicações, provedores de conteúdo e terceiros. O estudo também aprofunda os desafios de pesquisa em aberto, fornecendo uma visão do cenário atual e das oportunidades futuras de pesquisa.

Durante esta revisão, foram abordadas diversas pesquisas sobre Computação na Borda. No entanto, é importante ressaltar que nenhuma delas se compara à singularidade e abordagem apresentadas em nosso estudo, como apresentado na Tabela 1. Enquanto os estudos anteriores se concentram exclusivamente em redes com fio ou sem fio, nosso estudo considera ambas as redes, reconhecendo a importância de abordar esses dois contextos de forma integrada. Além disso, ao contrário dos estudos que tratam do agendamento de forma generalizada, nosso foco está especificamente no agendamento de fluxos de rede na Computação na Borda. Por fim, nosso estudo se diferencia ao adotar uma abordagem quantitativa, fornecendo uma análise baseada em métricas para uma compreensão mais precisa e detalhada do campo.

Tabela 1. Comparação do escopo da revisão e estudos anteriores.

Trabalho	Paradigma	Tipo de Rede		Foco	Análise Cientométrica
		Sem Fio	Cabeada		
[Tang et al. 2023]	Genérico	✓	✗	Scheduling (Geral)	✗
[Mamane et al. 2022]	Computação na Borda	✓	✗	Scheduling (Geral)	✗
[Luo et al. 2021]	Computação na Borda	✓	✗	Scheduling (Geral)	✗
[Vijayalayan et al. 2013]	Genérico	✓	✗	Scheduling (Geral)	✗
[Wang et al. 2019]	Computação na Borda	✗	✓	Geral	✗
[Rafique et al. 2020]	Genérico	✓	✗	Geral	✗
[Jazaeri et al. 2021]	Computação na Borda	✓	✗	Geral	✗
[Taleb et al. 2017]	Computação na Borda	✓	✗	Geral	✗
Este Trabalho	Computação na Borda	✓	✓	Scheduling (Fluxos)	✓

4. Metodologia

Apresentamos a metodologia de pesquisa adotada para conduzir esta investigação. A metodologia inclui um conjunto de atividades destinadas a guiar a pesquisa, analisar quantitativamente o estado atual do conhecimento e sintetizar as descobertas existentes. Em seguida, fornecemos uma descrição das etapas-chave envolvidas no processo:

1. **Definição do Escopo do Trabalho:** Esta etapa envolveu a análise de revisões existentes, a definição das perguntas de pesquisa, a formulação da *string* de busca, os critérios de inclusão e exclusão, bem como a seleção das bases de busca.
2. **Levantamento Bibliográfico:** Foram realizadas atividades de seleção de artigos com base nos filtros definidos na etapa anterior.
3. **Realização de Estudo Cientométrico:** Foi conduzida uma análise dos dados bibliométricos dos estudos selecionados, incluindo citações, co-ocorrência de palavras-chave, entre outros.

Na etapa de Definição do Escopo do Trabalho, inicialmente realizamos uma análise das revisões existentes, detalhadas na Seção 3 deste artigo. Posteriormente, definimos as perguntas de pesquisa conforme mostrado na Tabela 2, e desenvolvemos a *string* de busca conforme ilustrado na Figura 4.

Tabela 2. Lista de questões de pesquisa abordadas neste estudo.

Identificador	Questão de Pesquisa
QP1	Quantos artigos no tópico abordado foram publicados entre 2017 e 2023?
QP2	Quais os países que estão mais engajados nessas pesquisas e quais os padrões de autorias?
QP3	Quais as instituições que estão mais empenhadas nessas pesquisas?

("Flow Management" OR "Flow Shaping" OR "Flow Control OR Flow Scheduling" OR "Traffic Management" OR "Traffic Shaping" OR "Traffic Control" OR "Traffic Scheduling" OR "Bandwidth Management" OR "Bandwidth Shaping" OR "Bandwidth Control" OR "Bandwidth Scheduling" OR "Congestion Management" OR "Congestion Shaping" OR "Congestion Control" OR "Congestion Scheduling") AND ("Edge Computing" OR "Fog Computing")

Figura 4. String de busca usada para recuperar trabalhos.

Durante esse processo, estabelecemos critérios de inclusão e exclusão que eliminaram documentos não enquadrados como artigos de pesquisa regulares, incluindo capítulos de livros, relatórios técnicos e patentes. Duplicatas do mesmo artigo também foram excluídas para evitar redundâncias. Além disso, foram excluídos estudos que não apresentavam uma validação explícita das soluções propostas, assegurando a qualidade e confiabilidade dos resultados considerados. Finalmente, foram excluídos documentos cujo foco principal não estava centrado no gerenciamento de fluxos na borda, garantindo

uma seleção precisa e alinhada aos objetivos específicos desta investigação. E selecionamos a base de busca, neste caso, a *Scopus*, para recuperar trabalhos de pesquisa.

Na etapa de Levantamento Bibliográfico, procedemos com a seleção de artigos com base nos filtros estabelecidos na fase anterior. Os dados selecionados foram exportados e organizados em uma planilha do *Google Sheets* para análise e manipulação.

Na etapa de Realização de Estudo Cientométrico, conduzimos uma análise dos dados bibliométricos dos estudos selecionados, abrangendo citações, referências, ocorrência de palavras-chave e outros parâmetros relevantes. Esses resultados são detalhados na seção subsequente e contribuem para responder às questões de pesquisa formuladas anteriormente.

5. Estudo Cientométrico

Exploraremos os aspectos quantitativos relacionados aos estudos examinados. Investigaremos a distribuição dos artigos publicados ao longo do tempo e em diferentes regiões geográficas, além de examinar a afiliação dos autores para compreender o contexto institucional das pesquisas. Também analisaremos o número de citações e referências em cada estudo, fornecendo *insights* sobre sua relevância e impacto. Além disso, investigaremos a forma de publicação dos artigos, considerando diferentes tipos de periódicos e conferências. Essa análise quantitativa nos permitirá obter uma compreensão da literatura existente sobre o tema em questão, incluindo aspectos como as principais palavras-chave e os artigos mais influentes.

5.1. Artigos Publicados

Entre os anos de 2017 e 2023, foram identificados 43 artigos, abrangendo o escopo desta pesquisa sobre o agendamento de fluxos na Computação na Borda. Esses números respondem à (QP1). A Figura 5 ilustra a distribuição anual desses artigos, oferecendo uma visão concisa da evolução temporal das contribuições.

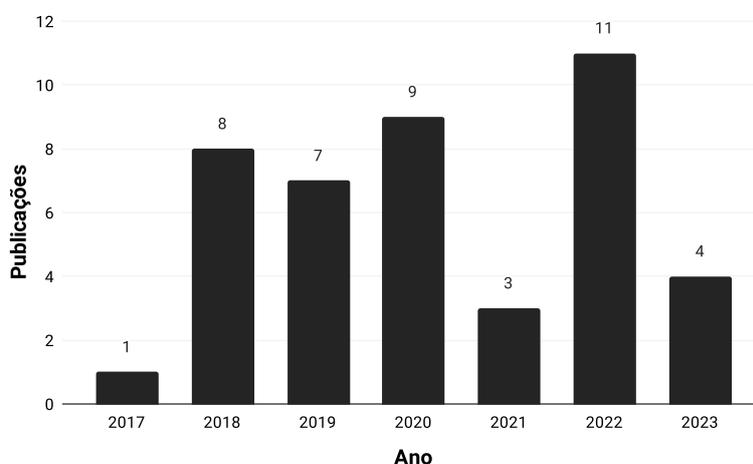


Figura 5. Número de publicações ao longo do tempo.

5.2. Distribuição Geográfica dos Trabalhos

Com o intuito de aprofundar a compreensão dos padrões de contribuição, analisamos de maneira mais detalhada a distribuição das publicações por país e os padrões de autoria. Conforme apresentado na Tabela 3 (R.: *Rank*), a maioria das pesquisas sobre o agendamento de fluxos na Computação na Borda é conduzida por pesquisadores chineses (38,73%) e do Reino Unido (8,09%).

Dado que esses números, por si só, não proporcionam uma análise completa da relevância das contribuições por país, também elaboramos uma classificação de países contribuintes para as publicações que são citadas por pelo menos 18 outras publicações. Os valores na extremidade direita da Tabela 3 indicam que a maioria dos autores da China (45,24%) e da Índia (11,90%) contribuíram com publicações amplamente reconhecidas.

Tabela 3. Países contribuintes (Esquerda: Top 10 países contribuintes; Direita: Publicações citadas pelo menos 18 vezes.

R.	País	%	Gasto P&D (bi USD)	R.	País	%	Gasto P&D (bi USD)
1	China	38,73	514.798	1	China	45,24	514.798
2	Reino Unido	8,09	51.702	2	Índia	11,90	58.691
3	Coréia do Sul	6,94	100.055	3	Alemanha	9,52	131.932
4	Índia	6,36	58.691	3	Coréia do Sul	9,52	100.055
5	Egito	5,78	6,2	5	Reino Unido	7,14	51.702
6	Austrália	5,20	23,3	6	Portugal	4,76	3,6
6	Paquistão	5,20	2,4	7	Japão	2,38	172.614
8	Estados Unidos	2,89	612.714	7	Austria	2,38	14.945
8	Taiwan	2,89	42.945	7	Estados Unidos	2,38	612.714
10	Alemanha	2,31	131.932	7	Austrália	2,38	23,3

Os números de investimento em pesquisa e desenvolvimento (P&D) para os países citados foram obtidos de diferentes fontes reconhecidas. Para a China, Reino Unido, Estados Unidos, Japão, Alemanha, Coreia do Sul, Taiwan e Áustria, os dados foram extraídos da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), especificamente do indicador de Gastos Internos Brutos em P&D (*Gross domestic spending on R&D*), referentes ao ano de 2019, enquanto para Portugal os dados sobre gastos internos brutos em P&D também foram provenientes da OCDE, porém referentes ao ano de 2014¹. No caso da Índia, o investimento em P&D como percentual do Produto Interno Bruto (GDP) é baseado em dados de 2018². Para a Austrália, os números foram obtidos do *Australian Bureau of Statistics*, relacionados ao Gasto Bruto em P&D em 2014³. Para o Egito e o Paquistão, os números de investimento em P&D como percentual do GDP correspondem a dados de 2013⁴.

¹Disponível em: <<https://data.oecd.org/rd/gross-domestic-spending-on-r-d.htm>>. Acesso em: 26/04/2024

²Disponível em: <<https://data.worldbank.org/indicator/GB.XPD.RSDV.GD.ZS?locations=IN>>. Acesso em: 26/04/2024.

³Disponível em: <<https://www.abs.gov.au/ausstats/abs@.nsf/Previousproducts/8104.0Main%20Features42013-14>>. Acesso em: 26/04/2024.

⁴Disponível em: <<http://data.worldbank.org/indicator/GB.XPD.RSDV.GD.ZS>>. Acesso em: 26/04/2024.

Ao investigar a correlação entre o investimento em P&D, realizado por esses países, e o número de artigos científicos publicados sobre o tema, observa-se uma correlação moderada entre o montante investido e o volume de publicações, conforme evidenciado na Figura 6a. Ao analisar o investimento em P&D e sua possível correlação com as publicações mais citadas, observamos através da Figura 6b outra correlação moderada entre esses indicadores. Esses resultados sugerem que o simples investimento financeiro em P&D por parte destes países não garantiu automaticamente um aumento no número de publicações nem necessariamente a produção de publicações de maior impacto ou relevância no contexto deste trabalho.

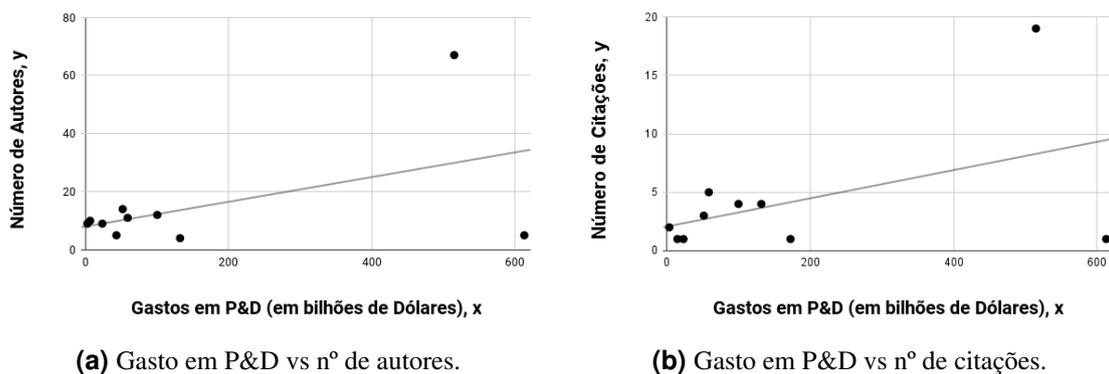


Figura 6. Investimento em P&D e produção científica dos países.

No que diz respeito à autoria das publicações, a média de autores por publicação nos últimos sete anos está retratada na Figura 7. A distribuição da autoria revela que, para mais da metade das publicações, o número de coautores varia entre dois e quatro. Juntamente com a percentagem relativamente significativa de publicações com cinco ou mais autores, a distribuição evidencia que a colaboração pode apresentar algumas vantagens sobre a pesquisa realizada por investigadores individuais. A natureza interdisciplinar da investigação em Computação em Nuvem pode ser apontada como uma das razões primárias para o predomínio dos trabalhos conjuntos.

5.3. Afiliação dos autores

A análise da distribuição institucional dos pesquisadores envolvidos nos estudos revisados é fundamental para compreender o panorama da pesquisa em gerenciamento de fluxos na Computação na Borda. Esta análise nos permite identificar padrões de colaboração entre instituições e países, destacar centros de pesquisa líderes neste campo e até mesmo revelar áreas geográficas emergentes de interesse. Entender a afiliação dos autores fornece contexto sobre o ambiente institucional em que o trabalho foi realizado, o que pode influenciar na interpretação dos resultados e na avaliação da credibilidade e relevância do estudo. Por exemplo, pesquisas conduzidas em instituições de renome ou em parceria com empresas reconhecidas podem ser vistas como mais confiáveis ou impactantes. Esta análise detalhada da afiliação dos autores enriquece nossa compreensão da rede de colaboração, do contexto institucional e da qualidade da pesquisa realizada neste campo promissor, e pode ser observada na Tabela 4.

Isso revela os principais centros de pesquisa envolvidos na investigação sobre gerenciamento de fluxos na Computação na Borda, destacando a dominância da China na

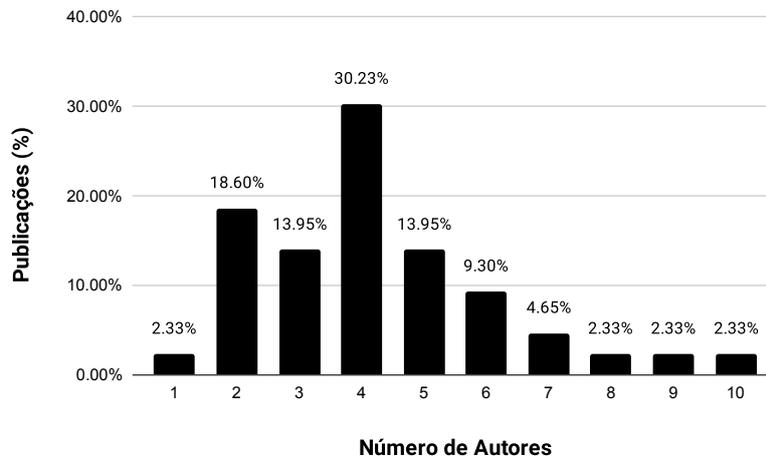


Figura 7. Distribuição da autoria.

Tabela 4. Principais instituições de pesquisa.

R.	Instituição	País	Pesquisadores
1	Hong Kong Polytechnic University	China	8
2	Newcastle University	Reino Unido	6
3	Menoufia University	Egito	5
3	Nanjing University	China	5
3	National University of Defense Technology	China	5
3	National Yang Ming Chiao Tung University	Taiwan	5

área, seguida pelo Reino Unido, conforme já evidenciado na subseção 5.2. Em destaque, a Hong Kong Polytechnic University, da China, lidera com o maior número de pesquisadores contribuindo para este campo. Em seguida, a Newcastle University, do Reino Unido, também se destaca como uma instituição relevante. O terceiro lugar é compartilhado pela Nanjing University e pela National University of Defense Technology, ambas chinesas, além da National Yang Ming Chiao Tung University, de Taiwan, e da Menoufia University, do Egito, todas elas com um igual número de colaboradores. Esses dados destacam a diversidade geográfica das instituições envolvidas e fornecem *insights* sobre os principais *players* na pesquisa em gerenciamento de fluxos na Computação na Borda.

5.4. Citações e Referências

A seguir, exploramos os padrões de referências em publicações com uma bibliografia substancial (Figura 8). Cada barra representa a relação entre o número total de publicações e a média de referências dessas publicações, divididas em segmentos ao longo do eixo x que representam o número mínimo de citações. Por exemplo, uma publicação citada por 100 ou mais publicações possui, em média, 31 referências.

Observamos que, em geral, as publicações mantiveram uma média de referências bastante consistente em todas as faixas de citações consideradas. Entretanto, notamos uma exceção significativa nos trabalhos que possuem entre 10 e 24 citações, onde a média de referências foi notavelmente mais elevada, com destaque para um artigo em particular que apresentou um número substancialmente maior de referências em comparação com

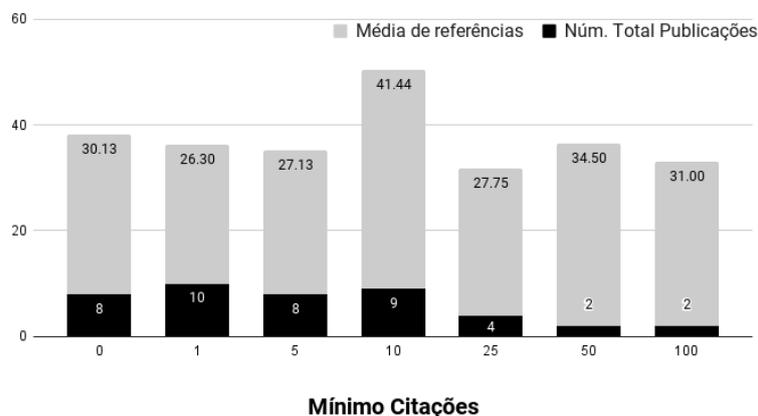


Figura 8. Número de citações e de referências.

os demais. A abrangência de uma revisão bibliográfica substancial é reconhecida como um critério fundamental para pesquisas de alta qualidade [Straub et al. 1994]. Embora essas conclusões se baseiem em evidências empíricas robustas, deve-se considerar que as restrições frequentes de espaço em periódicos podem impactar o número máximo de páginas por publicação, influenciando, assim, o número de referências.

5.5. Forma de Publicação

A escolha do meio de publicação muitas vezes desempenha um papel crucial na visibilidade e no impacto de um artigo. Dessa forma, é relevante examinar as preferências dos pesquisadores quanto ao tipo de veículo utilizado para comunicar suas ideias e descobertas à comunidade científica. Com a especificação do tipo de documento para todos os artigos de agendamento de fluxos na Computação na Borda analisados, torna-se possível explorar a distribuição dos tipos de documentos em um determinado campo de pesquisa. De acordo com a Figura 9, a maioria dos artigos sobre o assunto, 62.79%, é preferencialmente publicada por meio de revistas científicas.

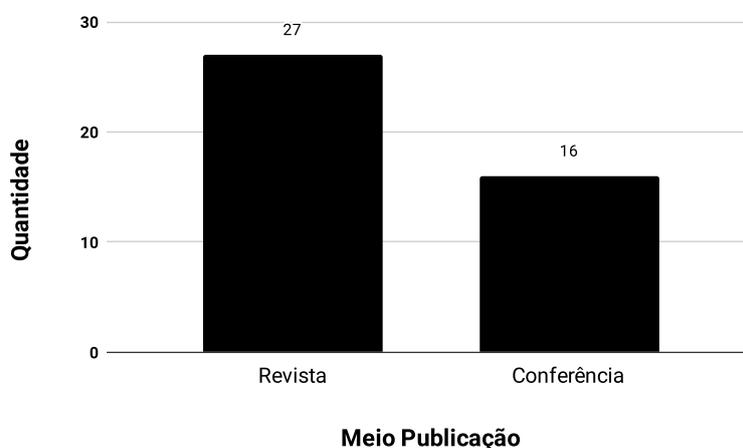


Figura 9. Meios de publicação.

A preferência dos pesquisadores por publicar em revistas em vez de conferências pode ser atribuída principalmente ao prestígio associado à publicação em revistas de alto impacto e aos requisitos institucionais que valorizam esse tipo de publicação. Publicar em revistas renomadas dentro de uma área acadêmica específica é reconhecido como um indicador de excelência e contribuição significativa para o campo [Freyne et al. 2010]. Tais publicações tendem a ter um público mais amplo e uma maior influência na comunidade científica, o que pode aumentar a visibilidade e a reputação dos pesquisadores. Além disso, muitas instituições acadêmicas e programas de pesquisa consideram as publicações em revistas de renome como um critério para avaliar o progresso e o mérito dos pesquisadores, influenciando diretamente oportunidades de financiamento, promoções e reconhecimento profissional.

5.6. Revistas e Conferências mais Relevantes

Neste momento, analisamos os padrões de citações em conferências e periódicos relevantes na área de estudo. Utilizando um método de contagem direta, investigamos como as citações estão distribuídas entre diferentes fontes acadêmicas, visando distinguir claramente entre o impacto da pesquisa e a produtividade. Concentramo-nos em identificar as conferências e periódicos que recebem um maior número de citações, proporcionando uma visão sobre os locais onde a pesquisa nesta área é mais influente e reconhecida pela comunidade científica. A Tabela 5 compreende os resultados da apuração.

Tabela 5. Revistas e conferências mais influentes.

R.	Local de Publicação	Forma	Citações
1	IEEE Internet of Things Journal	Revista	133
1	IEEE Transactions on Industrial Informatics	Revista	133
3	IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems	Revista	80
4	IEEE Journal on Selected Areas in Communications	Revista	68
5	Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing	Revista	42
6	IEEE International Conference on Communications	Conferência	40
7	Sensors (Switzerland)	Revista	36
8	International Symposium on Wireless Communication Systems	Conferência	31
9	Wireless Communications and Mobile Computing	Revista	24
10	IEEE/ACM Transactions on Networking	Revista	20

5.7. Palavras-chave mais Utilizadas

As palavras-chave desempenham um papel crucial na representação e categorização do conteúdo abordado em um artigo científico. Elas servem como uma ferramenta eficaz para encapsular os principais temas e aspectos relacionados a uma área específica de pesquisa. A análise das palavras-chave oferece *insights* sobre a evolução e os tópicos emergentes dentro de um determinado campo ao longo do tempo. Além disso, ao investigar as coocorrências entre as palavras-chave, é possível identificar conexões e relações entre diferentes aspectos do estudo.

Durante a análise dos dados, foram identificadas 147 palavras-chave exclusivas nos campos de palavras-chave do autor e de índice dos artigos originais analisados. É relevante observar que nem sempre os autores fornecem palavras-chave para seus artigos. Em casos em que as palavras-chave estão ausentes, profissionais especializados em

indexação atribuem palavras-chave com base em tesouros específicos. Isso revela que, para 85,11% das publicações analisadas, as palavras-chave foram especificadas pelos autores. Em contraste, 14,89% das publicações foram identificadas com palavras-chave atribuídas pela Scopus ou não receberam nenhuma atribuição de palavras-chave. Quando as palavras-chave dos autores não estão disponíveis, as palavras-chave do índice são utilizadas para análise de palavras-chave comuns e agrupamentos.

Quanto à distribuição média do número de palavras-chave por publicação, observa-se que é comum o uso de quatro a cinco palavras-chave para representar o tema central de um artigo. Essa prática não se limita à Computação na Borda, já que editores geralmente estabelecem um número mínimo e/ou máximo de palavras-chave por publicação. Para mitigar a variabilidade nos termos das palavras-chave, editores frequentemente fornecem uma lista predefinida de palavras-chave padronizadas que são relevantes para um periódico ou conferência específica.

Na Tabela 6 são apresentadas as palavras-chave utilizadas com maior frequência. Os resultados da revisão destacam as áreas-chave de investigação nas pesquisas recentes. Evidentemente, os estudos concentram-se principalmente na Computação na Borda e suas aplicações, como IoTs e Computação em Nuvem. A análise revela um foco significativo na otimização de recursos e no agendamento de tarefas, visando melhorar a eficiência e a QoS. Além disso, questões relacionadas a eficiência energética emergem como preocupações fundamentais. A conexão entre esses temas e outros campos de pesquisa, como SDN e tecnologias 5G, sugere uma abordagem integrada e interdisciplinar para resolver os desafios da Computação na Borda.

Tabela 6. Palavras-chave mais utilizadas.

R.	Palavra-Chave	f	R.	Palavra-Chave	f
1	edge computing	12	16	traffic scheduling	3
2	internet of things	8	18	lyapunov optimization	2
3	SDN	6	18	software defined networking	2
3	fog computing	6	18	collaborative edge computing	2
5	internet of things (IoT)	5	18	software defined networking (sdn)	2
6	task scheduling	4	18	bandwidth allocation	2
6	QoS	4	18	openflow	2
8	MEC	3	18	congestion control	2
8	multi-access edge computing	3	18	data center networks	2
8	resource allocation	3	18	network resource management	2
8	computation offloading	3	18	software-defined networking	2
8	5G	3	18	traffic management	2
8	cloud	3	18	IoT	2
8	mobile edge computing	3	18	energy efficiency	2
8	network flow scheduling	3	18	fairness	2
8	quality of service	3			

5.8. Trabalhos mais Influentes

Na sequência, exploramos os artigos identificados em nossa revisão que receberam um número significativo de citações, fornecendo uma análise do impacto alcançado por essas contribuições na literatura científica. Para avaliar a relevância e influência desses estu-

dos, utilizamos índices baseados em citações individuais, considerando tanto citações de periódicos quanto de conferências. A Tabela 7 retrata estes estudos.

Tabela 7. Publicações mais citadas.

R	Referência	Título	Citações
1	[Ning et al. 2019]	Joint Computation Offloading, Power Allocation, and Channel Assignment for 5G-Enabled Traffic Management Systems	123
2	[Sahni et al. 2019]	Data-aware task allocation for achieving low latency in collaborative edge computing	122
3	[Sahni et al. 2021]	Multi-Hop Multi-Task Partial Computation Offloading in Collaborative Edge Computing	80
4	[Ge et al. 2018]	QoE-Assured 4K HTTP live streaming via transient segment holding at mobile edge	68
5	[Diro et al. 2018]	Differential flow space allocation scheme in SDN based fog computing for IoT applications	42
6	[Aujla et al. 2018]	An Ensembled Scheme for QoS-Aware Traffic Flow Management in Software Defined Networks	40
7	[Hong et al. 2018]	QCon: QoS-aware network resource management for fog computing	36
8	[Nasimi et al. 2018]	Edge-Assisted Congestion Control Mechanism for 5G Network Using Software-Defined Networking	31
9	[Zhang et al. 2022]	Adaptive Configuration Selection and Bandwidth Allocation for Edge-Based Video Analytics	20
10	[Sun et al. 2018]	Efficient algorithm for traffic engineering in Cloud-of-Things and edge computing	18

Durante a análise dos trabalhos mais citados, percebemos certas similaridades em relação às soluções propostas. Em linhas gerais, é possível dividir tais artigos em três grupos de contribuições:

- **Gerenciamento de tarefas e *offloading* de computação em Computação na Borda colaborativa:** Alguns artigos abordam a alocação de tarefas e o *offloading* de computação em contextos de Computação na Borda colaborativa. Sahni et al. [Sahni et al. 2019] propõe uma alocação de tarefas consciente de dados para minimizar a latência na Computação na Borda colaborativa, enquanto Sahni et al. [Sahni et al. 2021] explora o *offloading* parcial de computação multi-salto e agendamento de fluxo de rede em Computação na Borda colaborativa.
- **Gerenciamento de recursos de rede em Computação em Névoa e SDN para suportar aplicações *IoT*:** Outros trabalhos discutem o gerenciamento de recursos de rede em Computação em Névoa e SDN para suportar aplicações *IoT*. Diro et al. [Diro et al. 2018] propõe um esquema de alocação diferencial de espaço de fluxo para aplicações heterogêneas de *IoT* em Computação em Névoa com SDN, Hong et al. [Hong et al. 2018] apresentam um *framework* para gerenciamento de recursos de rede em Computação em Névoa, e Ning et al. [Ning et al. 2019] et al. abordam o *offloading* de computação, alocação de energia e atribuição de canais para sistemas de gerenciamento de tráfego habilitados para 5G.
- **Controle de congestionamento e alocação de largura de banda em Computação na Borda para melhorar a *QoS* em tempo real:** Outras abordagens se destacam por tratarem do controle de congestionamento e da alocação de largura de banda em Computação na Borda para melhorar a *QoS* em tempo

real. Nasimi et al. [Nasimi et al. 2018] apresentam um mecanismo de controle de congestionamento em Computação na Borda para gerenciar o tráfego de dados em tempo real, Zang et al. [Zhang et al. 2022] abordam a seleção de configuração e alocação de largura de banda para otimizar a análise de vídeo em tempo real na borda e Ning et al. [Ning et al. 2019] abordam o *offloading* de computação, alocação de energia e atribuição de canais para sistemas de gerenciamento de tráfego habilitados para 5G.

Além disso, as pesquisas restantes também apresentam contribuições importantes para o gerenciamento de tráfego e Computação na Borda, como o esquema de gerenciamento de fluxos de vídeo em 4K via HTTP proposto por Ge et al. [Ge et al. 2018], a abordagem combinada proposta por Aujla et al. [Aujla et al. 2018] para gerenciar o fluxo de tráfego de forma eficiente e garantir a QoS em SDNs, e o esquema proposto por Sun et al. [Sun et al. 2018] para otimizar o gerenciamento de tráfego em redes de vários domínios, incluindo Computação na Borda.

6. Considerações Finais

A crescente atenção direcionada à Computação na Borda, destacada pela sua promessa de benefícios como redução da latência, melhorando a eficiência da rede e possibilitando aplicações de tempo real, como veículos autônomos e saúde digital, nos motiva e impulsiona na busca por soluções inovadoras para desafios em ascensão. A Computação na Borda herda várias tendências da Computação em Nuvem, como a virtualização da infraestrutura de rede visando maior flexibilidade e desempenho através políticas de gerência de recursos como agendamento de fluxos.

Este trabalho apresentou uma análise cientométrica sobre o agendamento de fluxos de rede em infraestruturas de borda. O objetivo principal do trabalho foi analisar de forma quantitativa a evolução e as características desta área em constante desenvolvimento, englobando os aspectos estatísticos dos artigos examinados. Detalhamos aspectos como a distribuição temporal dos artigos, investigamos a afiliação dos autores para compreendermos o contexto institucional das pesquisas, e analisamos questões bibliométricas como o número de citações e referências em cada trabalho. Acredita-se que a análise realizada permita-nos obter uma compreensão holística de aspectos quantitativos da literatura existente sobre o tema-alvo.

A análise cientométrica deste estudo revelou que a pesquisa passada e atual sobre Computação em Nuvem é predominantemente conduzida no domínio da Ciência da Computação, com uma forte ênfase em revistas científicas como veículo de transmissão do conhecimento. Além disso, os resultados da análise de palavras-chave destacam que o foco histórico e contemporâneo da investigação em Computação em Nuvem tem sido predominantemente centrado na tecnologia em si. Esses achados oferecem uma oportunidade valiosa para o campo, fornecendo uma base sólida para (re)definição e orientação futura. A compreensão desses padrões e tendências é necessária para as novas gerações de acadêmicos, que podem se beneficiar da identificação das principais afiliações contribuintes, autores e publicações influentes para obter uma visão direcionada do campo. Assim, os resultados deste estudo não apenas ajudam a elucidar padrões e tendências, mas também oferecem um guia para atividades de pesquisa individuais, ampliando as redes de pesquisa e orientando a escolha de meios de publicação apropriados para a disseminação eficaz do conhecimento.

Como pesquisa futura, pretendemos conduzir uma revisão sistemática sobre o tema do agendamento de fluxos de rede em infraestruturas de borda. Essa revisão será importante para complementar a análise apresentada neste estudo, permitindo uma compreensão detalhada das tendências, desafios em aberto e avanços recentes na área. A revisão sistemática fornecerá uma visão mais holística da literatura existente, destacando as principais contribuições, metodologias utilizadas e resultados alcançados em estudos anteriores, com base em critérios qualitativos, tais como foco investigativo, estratégias propostas, cenários-alvo, metodologias de avaliação, métricas avaliadas, entre outros. Deste modo, esperamos contribuir para o avanço da área, fornecendo *insights* para pesquisadores, acadêmicos e profissionais envolvidos no desenvolvimento e na implementação de soluções inovadoras para os desafios em ascensão na Computação na Borda.

Referências

- Aral, A. and Brandic, I. (2021). Learning spatiotemporal failure dependencies for resilient edge computing services. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 32(7):1578–1590.
- Armbrust, M., Fox, A., Griffith, R., Joseph, A. D., Katz, R., Konwinski, A., Lee, G., Patterson, D., Rabkin, A., Stoica, I., and Zaharia, M. (2010). A view of cloud computing. *Commun. ACM*, 53(4):50–58.
- Aujla, G. S., Chaudhary, R., Kumar, N., Kumar, R., and Rodrigues, J. J. P. C. (2018). An ensembled scheme for qos-aware traffic flow management in software defined networks. *2018 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pages 1–7.
- Barham, P., Dragovic, B., Fraser, K., Hand, S., Harris, T., Ho, A., Neugebauer, R., Pratt, I., and Warfield, A. (2003). Xen and the art of virtualization. In *Proceedings of the Nineteenth ACM Symposium on Operating Systems Principles, SOSP '03*, page 164–177, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- Buyya, R., Broberg, J., and Goscinski, A. (2011). *Cloud computing: Principles and paradigms*, volume 87. John Wiley & Sons.
- Buyya, R., Yeo, C. S., Venugopal, S., Broberg, J., and Brandic, I. (2009). Cloud computing and emerging it platforms: Vision, hype, and reality for delivering computing as the 5th utility. *Future Generation Computer Systems*, 25(6):599–616.
- Diro, A. A., Reda, H. T., and Chilamkurti, N. (2018). Differential flow space allocation scheme in sdn based fog computing for iot applications. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*.
- Dolui, K. and Datta, S. K. (2017). Comparison of edge computing implementations: Fog computing, cloudlet and mobile edge computing. In *Global Internet of Things Summit*, pages 1–6. IEEE.
- Freyne, J., Coyle, L., Smyth, B., and Cunningham, P. (2010). Relative status of journal and conference publications in computer science. *Commun. ACM*, 53(11):124–132.
- Ge, C., Wang, N., Chai, W. K., and Hellwagner, H. (2018). Qoe-assured 4k http live streaming via transient segment holding at mobile edge. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 36(8):1816–1830.

- Goransson, P., Black, C., and Culver, T. (2016). *Software Defined Networks: A Comprehensive Approach*, volume 2. Morgan Kaufmann.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., and Palaniswami, M. (2013). Internet of things (iot): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7):1645–1660.
- Hong, C.-H., Lee, K., Kang, M., and Yoo, C. (2018). qcon: Qos-aware network resource management for fog computing. *Sensors*, 18(10).
- Jain, S., Kumar, A., Mandal, S., Ong, J., Poutievski, L., Singh, A., Venkata, S., Wanderer, J., Zhou, J., Zhu, M., Zolla, J., Hözl, U., Stuart, S., and Vahdat, A. (2013). B4: experience with a globally-deployed software defined wan. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, 43(4):3–14.
- Jazaeri, S. S., Jabbehdari, S., Asghari, P., and Haj Seyyed Javadi, H. (2021). Edge computing in sdn-iot networks: a systematic review of issues, challenges and solutions. *Cluster Computing*, 24:3187–3228.
- Jiang, C., Fan, T., Gao, H., Shi, W., Liu, L., Cérin, C., and Wan, J. (2020). Energy aware edge computing: A survey. *Comput. Commun.*, 151(C):556–580.
- Liu, Y., Peng, M., Shou, G., Chen, Y., and Chen, S. (2020). Toward edge intelligence: Multiaccess edge computing for 5g and internet of things. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(8):6722–6747.
- Luo, Q., Hu, S., Li, C., Li, G., and Shi, W. (2021). Resource scheduling in edge computing: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 23(4):2131–2165.
- Mamane, A., Fattah, M., El Ghazi, M., El Bekkali, M., Balboul, Y., and Mazer, S. (2022). Scheduling algorithms for 5g networks and beyond: Classification and survey. *IEEE Access*, 10:51643–51661.
- Mell, P. and Grance, T. (2011). *The nist definition of cloud computing*, volume 800. NIST Special Publication.
- Nasimi, M., Habibi, M. A., Han, B., and Schotten, H. D. (2018). Edge-assisted congestion control mechanism for 5g network using software-defined networking. *15th International Symposium on Wireless Communication Systems*, pages 1–5.
- Ning, Z., Wang, X., Rodrigues, J. J. P. C., and Xia, F. (2019). Joint computation offloading, power allocation, and channel assignment for 5g-enabled traffic management systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(5):3058–3067.
- Rafique, W., Qi, L., Yaqoob, I., Imran, M., Rasool, R. U., and Dou, W. (2020). Complementing iot services through software defined networking and edge computing: A comprehensive survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22(3):1761–1804.
- Sahni, Y., Cao, J., and Yang, L. (2019). Data-aware task allocation for achieving low latency in collaborative edge computing. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(2):3512–3524.
- Sahni, Y., Cao, J., Yang, L., and Ji, Y. (2021). Multi-hop multi-task partial computation offloading in collaborative edge computing. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 32(5):1133–1145.

- Satyanarayanan, M. (2017). The emergence of edge computing. *Computer*, 50(1):30–39.
- Satyanarayanan, M., Bahl, P., Caceres, R., and Davies, N. (2009). The case for vm-based cloudlets in mobile computing. *IEEE Pervasive Computing*, 8(4):14–23.
- Satyanarayanan, M., Gao, W., and Lucia, B. (2019a). The computing landscape of the 21st century. In *Proceedings of the 20th International Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, HotMobile '19*, page 45–50, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- Satyanarayanan, M., Klas, G., Silva, M., and Mangiante, S. (2019b). The seminal role of edge-native applications. In *2019 IEEE International Conference on Edge Computing (EDGE)*, pages 33–40.
- Shi, W. and Dustdar, S. (2016). The promise of edge computing. *Computer*, 49(5):78–81.
- Straub, D. W., Soon, , and Evaristo, R. (1994). Normative standards for is research. *SIGMIS Database*, 25(1):21–34.
- Sun, J., Sun, S., Li, K., Liao, D., Sangaiah, A. K., and Chang, V. (2018). Efficient algorithm for traffic engineering in cloud-of-things and edge computing. *Computers & Electrical Engineering*, 69:610–627.
- Taleb, T., Samdanis, K., Mada, B., Flinck, H., Dutta, S., and Sabella, D. (2017). On multi-access edge computing: A survey of the emerging 5g network edge cloud architecture and orchestration. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(3):1657–1681.
- Tang, S., Yu, Y., Wang, H., Wang, G., Chen, W., Xu, Z., Guo, S., and Gao, W. (2023). A survey on scheduling techniques in computing and network convergence. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 26(1):160–195.
- Vijayalayan, K. S., Harwood, A., and Karunasekera, S. (2013). Distributed scheduling schemes for wireless mesh networks: A survey. *ACM Computing Surveys*, 46(1):1–34.
- Wang, A., Zha, Z., Guo, Y., and Chen, S. (2019). Software-defined networking enhanced edge computing: A network-centric survey. *Proceedings of the IEEE*, 107(8):1500–1519.
- Xavier, M. G., Neves, M. V., Rossi, F. D., Ferreto, T. C., Lange, T., and De Rose, C. A. F. (2013). Performance evaluation of container-based virtualization for high performance computing environments. In *2013 21st Euromicro International Conference on Parallel, Distributed, and Network-Based Processing*, pages 233–240.
- Xing, Y. and Zhan, Y. (2012). *Virtualization and Cloud Computing*. Springer Berlin Heidelberg.
- Zhang, S., Wang, C., Jin, Y., Wu, J., Qian, Z., Xiao, M., and Lu, S. (2022). Adaptive configuration selection and bandwidth allocation for edge-based video analytics. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 30(1):285–298.