



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS SOBRAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO

GABRIEL VASCONCELOS SANTOS

**ESTRATÉGIAS PARA QUALIDADE DE SERVIÇO EM STREAMING DE VÍDEOS:
UM MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DA LITERATURA**

SOBRAL

2026

GABRIEL VASCONCELOS SANTOS

ESTRATÉGIAS PARA QUALIDADE DE SERVIÇO EM STREAMING DE VÍDEOS: UM
MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DA LITERATURA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia da Computação do Campus Sobral da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia da Computação.

Orientador: Prof. Dr. Evilasio Costa Junior

SOBRAL

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S235e Santos, Gabriel Vasconcelos.
ESTRATÉGIAS PARA QUALIDADE DE SERVIÇO EM STREAMING DE VÍDEOS : UM
MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DA LITERATURA / Gabriel Vasconcelos Santos. – 2026.
66 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Sobral,
Curso de Engenharia da Computação, Sobral, 2026.
Orientação: Prof. Dr. Evilasio Costa Junior.
1. Streaming de Vídeo. 2. Qualidade de Experiência. 3. Web. 4. Mobile. 5. Mapeamento. I. Título.
CDD 621.39
-

GABRIEL VASCONCELOS SANTOS

ESTRATÉGIAS PARA QUALIDADE DE SERVIÇO EM STREAMING DE VÍDEOS: UM
MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DA LITERATURA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia da Computação do Campus Sobral da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia da Computação.

Aprovada em: 29 de janeiro de 2026

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Evilasio Costa Junior (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Wendley Souza da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Tales Paiva Nogueira
Instituto de Engenharias e Desenvolvimento
Sustentável (UNILAB)

À minha família, por tornar possível chegar aqui. Mãe, seu cuidado e dedicação me deram forças para continuar em muitos momentos. Pai, sua presença foi um apoio silencioso, mas essencial, ao longo desse caminho. À Vanessa, pelo carinho e paciência que tornaram esse caminho mais fácil.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Maria Socorro Vasconcelos Santos, pelo cuidado, dedicação e apoio constantes ao longo de toda a minha trajetória, sendo presença fundamental nos momentos mais difíceis e incentivo permanente para que eu seguisse em frente.

Ao meu pai, Givaldo José dos Santos, pelos esforços e pelo apoio ao longo da minha caminhada, contribuindo de forma essencial para que eu pudesse chegar até aqui.

À minha companheira, Vanessa Oliveira Freire, pelo apoio, paciência e compreensão, especialmente nos momentos mais desafiadores nessa etapa final do curso, tornando esse percurso o mais leve e possível.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Evilasio Costa Junior, pela orientação segura, disponibilidade e contribuições fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho, bem como pelo incentivo ao longo dessa etapa acadêmica.

Aos professores Prof. Dr. Wendley Souza da Silva e Prof. Dr. Tales Paiva Nogueira, por aceitarem compor a banca avaliadora e pelas contribuições acadêmicas que enriqueceram minha formação durante a graduação.

À Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus Sobral, e a todos os professores e servidores que contribuíram, direta ou indiretamente, para minha formação acadêmica e profissional ao longo do curso.

Aos meus amigos, tanto os que estiveram presentes no dia a dia quanto aqueles que, mesmo à distância, sempre permaneceram próximos, agradeço pelo apoio, incentivo e pelos momentos de descontração que tornaram essa jornada mais leve. Sem essa rede de amizade e companheirismo, chegar até aqui teria sido muito mais difícil.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, estiveram presentes e contribuíram para que esta etapa fosse concluída.

RESUMO

Serviços de *streaming* de vídeo têm se consolidado como uma das principais formas de consumo de conteúdo digital em plataformas web e mobile. No entanto, o desenvolvimento e a manutenção desses serviços envolvem uma série de desafios técnicos, que impactam diretamente a qualidade percebida e a eficácia da entrega do conteúdo. Este trabalho tem como objetivo realizar um Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL) da literatura relacionada a aplicações e serviços de *streaming* de vídeo, com foco em identificar os principais desafios enfrentados por desenvolvedores, bem como as soluções e estratégias mais recorrentes propostas na literatura. A partir da análise de estudos primários, o trabalho busca consolidar conhecimentos sobre tecnologias utilizadas, limitações observadas, aspectos que afetam a qualidade de experiência dos usuários e abordagens empregadas para mitigar esses problemas. Os resultados obtidos indicam uma predominância de estudos voltados a ambientes móveis, com forte ênfase em técnicas de *streaming* adaptativo, avaliação de Quality of Experience (QoE) e uso de aprendizado de máquina. Além disso, destacam-se como desafios recorrentes a instabilidade das condições de rede, a mobilidade do usuário, limitações na adaptação de bitrate e dificuldades de monitoramento em cenários com tráfego criptografado, enquanto as soluções mais frequentes envolvem estratégias sensíveis à rede, mecanismos orientados à QoE e arquiteturas distribuídas baseadas em *edge computing*.

Palavras-chave: Streaming de vídeo. QoE. Aplicações web. Aplicações mobile. Mapeamento sistemático. Desafios técnicos. Estratégias.

ABSTRACT

Video streaming services have become one of the main forms of digital content consumption on web and mobile platforms. However, the development and maintenance of these services involve a range of technical challenges that directly impact the perceived quality and effectiveness of content delivery. This study aims to conduct a systematic mapping of the literature (MSL) related to video streaming applications and services, focusing on identifying the main challenges faced by developers, as well as the most recurrent solutions and strategies proposed in the literature. Based on the analysis of primary studies, this work consolidates knowledge about the technologies employed, observed limitations, factors affecting quality of experience and approaches used to mitigate these issues. The results indicate a predominance of studies focused on mobile environments, with strong emphasis on adaptive streaming techniques, QoE evaluation and the use of machine learning. The main challenges identified include network instability, user mobility, limitations in bitrate adaptation and monitoring constraints in encrypted traffic scenarios, while the most frequent solutions involve network-aware strategies, QoE-oriented mechanisms and distributed architectures based on *edge computing*.

Keywords: Video streaming. QoE. Web applications. Mobile applications. Sistematic review, Technical challenges. Strategies

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pipeline de ponta a ponta do <i>streaming</i> e suas etapas de ingestão, processamento e distribuição.	16
Figura 2 – Diagrama metodológico para o Mapeamento Sistemático da Literatura, . . .	23
Figura 3 – Fluxo de seleção dos estudos (adaptado do modelo PRISMA).	30
Figura 4 – Nuvem de palavras gerada a partir dos títulos dos estudos selecionados . . .	37
Figura 5 – Distribuição dos estudos selecionados por ano de publicação	39
Figura 6 – Distribuição dos estudos selecionados por foco da aplicação	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Strings de busca utilizadas em cada base de dados	28
Tabela 2 – Perfil dos estudos incluídos no Mapeamento Sistemático da Literatura . . .	32
Tabela 3 – Tecnologias identificadas nos estudos selecionados	42
Tabela 4 – Desafios técnicos identificados nos estudos selecionados	44
Tabela 5 – Desafios do ponto de vista do usuário identificados nos estudos selecionados	47
Tabela 6 – Abordagens e soluções identificadas nos estudos selecionados	50
Tabela 7 – Comparativo de trabalhos relacionados	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABR	Adaptive Bitrate
ACM	Association for Computing Machinery
AWS	Amazon Web Services
CDN	Content Delivery Network
CMCD	Common Media Client Data
CMSD	Common Media Server Data
DASH	Dynamic Adaptive Streaming over HTTP
HAS	HTTP Adaptive Streaming
HLS	HTTP Live Streaming
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol Secure
MEC	Multi-access Edge Computing
MOS	Mean Opinion Score
MSL	Mapeamento Sistemático da Literatura
PICOC	Population, Intervention, Comparison, Outcome, Context
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses
QoE	Quality of Experience
QoS	Quality of Service
QUIC	Quick UDP Internet Connections
UDP	User Datagram Protocol
VoD	Video on Demand
WebRTC	Web Real-Time Communication

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivo geral	14
1.2	Objetivos específicos	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	Streaming de Vídeo	15
2.2	<i>Quality of Experience</i>	16
2.3	Desafios Técnicos no Desenvolvimento de Aplicações de <i>Streaming</i>	17
2.4	Estratégias de melhoria de qualidade de serviço em <i>streaming</i>	20
3	METODOLOGIA	23
3.1	Planejamento da Revisão	23
3.2	Condução da Revisão	24
3.3	Documentação da Revisão	25
4	PLANEJAMENTO E SELEÇÃO DOS ESTUDOS	26
4.1	Justificativa e escopo da pesquisa	26
4.2	Estratégia de Busca e Fontes de Dados	27
4.3	Critérios de Inclusão, exclusão e avaliação de qualidade	28
4.4	Consolidação dos estudos e caracterização dos artigos incluídos	30
5	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	37
5.1	Visão geral da análise	37
5.2	Análise dos títulos dos estudos	37
5.3	Análise dos anos de publicação	39
5.4	Análise do foco das aplicações (Web/Mobile)	40
5.5	Questão de pesquisa Q1: Quais as principais tecnologias, arquiteturas ou estratégias utilizadas no desenvolvimento de aplicações e serviços de <i>streaming</i> de vídeo web e mobile?	41
5.6	Questão de pesquisa Q2: Quais são os principais desafios enfrentados por desenvolvedores ao construir ou manter aplicações de <i>streaming</i> de vídeo web ou mobile?	44
5.7	Questão de pesquisa Q3: Quais problemas são mais frequentemente relatados por usuários dessas aplicações?	47

5.8	Questão de pesquisa Q4: Quais abordagens têm sido propostas para lidar com os problemas dos desenvolvedores e usuários?	49
6	TRABALHOS RELACIONADOS	52
7	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	55
	REFERÊNCIAS	58
	ANEXOS	60
	ANEXO A – Protocolo de Revisão de Literatura	61

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o consumo de vídeo por meio de plataformas digitais cresceu de maneira acelerada, tornando os serviços de *streaming* parte fundamental do cotidiano de milhões de usuários. Seja por meio de conteúdos sob demanda (Video on Demand (VoD)) ou transmissões ao vivo, esses serviços oferecem acesso dinâmico, multiplataforma e em tempo real a uma ampla gama de conteúdos audiovisuais. Tal transformação foi impulsionada pelo avanço das redes móveis, pela popularização de dispositivos conectados e pela evolução das arquiteturas e protocolos de distribuição de mídia. De acordo com relatório da (CISCO, 2020), o tráfego de vídeo representou aproximadamente 80% de todo o tráfego global da Internet, evidenciando o protagonismo desse tipo de serviço no cenário atual.

Apesar das inovações, a entrega eficiente de vídeos por *streaming* ainda representa um desafio técnico significativo. A diversidade de dispositivos, as variações nas condições de rede, a mobilidade dos usuários e a instabilidade das conexões impactam diretamente a qualidade da experiência percebida. Esses fatores exigem que os sistemas se adaptem continuamente para evitar interrupções, atrasos e degradação na qualidade do vídeo. Além disso, o aumento da exigência dos usuários por qualidade em aspectos como resolução, tempo de carregamento e fluidez da reprodução pressiona os desenvolvedores a buscarem soluções que equilibrem desempenho, custo e escalabilidade, como destacam (JADHAV *et al.*, 2024) ao discutirem os desafios do *streaming* adaptativo em diferentes redes e dispositivos.

Nesse cenário, surgem questões fundamentais relacionadas à forma como esses serviços são projetados, entregues e percebidos pelos usuários. Modelos arquiteturais que utilizam computação em nuvem e na borda, estratégias como *adaptive bitrate streaming* (Adaptive Bitrate (ABR)) e mecanismos de avaliação centrados na *Quality of Experience* QoE têm sido amplamente investigados como abordagens para lidar com esses desafios, como discutido por (AGUILAR *et al.*, 2024) e (GAMA *et al.*, 2021). Em estudos mais recentes, a qualidade de experiência tem sido utilizada como métrica central para avaliar o impacto dessas soluções do ponto de vista do usuário final.

Diante desse contexto, este trabalho propõe a realização de um Mapeamento Sistemático da Literatura com foco na análise de trabalhos sobre aplicações e serviços de *streaming* de vídeo em plataformas web e mobile, visando identificar os principais desafios enfrentados por desenvolvedores e usuários, analisar os impactos desses obstáculos na qualidade da experiência fornecida e mapear as estratégias, soluções e abordagens técnicas mais recorrentes na literatura

científica.

A partir da condução do mapeamento, observou-se uma predominância de estudos voltados a ambientes móveis, com ênfase no uso de técnicas de *adaptive bitrate streaming*, avaliação de (QoE) e aplicação de métodos baseados em aprendizado de máquina. Os principais desafios identificados na literatura estão relacionados à instabilidade das condições de rede, à mobilidade do usuário, às limitações nos mecanismos de adaptação de bitrate e às dificuldades de monitoramento em cenários com tráfego criptografado. Em contrapartida, as soluções mais recorrentes envolvem estratégias sensíveis à rede, mecanismos orientados à QoE e arquiteturas distribuídas baseadas em computação em borda, indicando uma tendência à adoção de abordagens integradas para a melhoria da qualidade percebida em serviços de *streaming* de vídeo.

1.1 Objetivo geral

Realizar um Mapeamento Sistemático da Literatura com foco em aplicações e serviços de *streaming* de vídeo em plataformas web e mobile, a fim de identificar os principais desafios enfrentados por desenvolvedores e usuários, bem como as soluções, estratégias e abordagens propostas na literatura especializada.

1.2 Objetivos específicos

1. Levantar tecnologias, arquiteturas ou estratégias utilizadas no desenvolvimento de serviços de *streaming* de vídeo;
2. Identificar os principais desafios técnicos enfrentados por desenvolvedores dessas aplicações;
3. Identificar abordagens e soluções propostas na literatura para mitigar os desafios encontrados;
4. Consolidar as lições aprendidas e insights em uma visão geral que auxilie pesquisadores e profissionais da área na compreensão do panorama atual e das lacunas existentes.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção tem como objetivo apresentar os principais conceitos, tecnologias e abordagens relacionados aos serviços de *streaming* de vídeo em ambientes web e mobile. A compreensão desses fundamentos é essencial para contextualizar a análise dos estudos mapeados, permitindo identificar de forma mais precisa os desafios enfrentados por desenvolvedores, os problemas relatados pelos usuários e as estratégias propostas na literatura para melhorar a qualidade e a eficiência desses serviços. Serão abordados, portanto, aspectos como os tipos de *streaming*, os mecanismos de adaptação da qualidade, a avaliação da qualidade de experiência do usuário, os principais obstáculos técnicos e as soluções recorrentes adotadas no desenvolvimento dessas aplicações.

2.1 Streaming de Vídeo

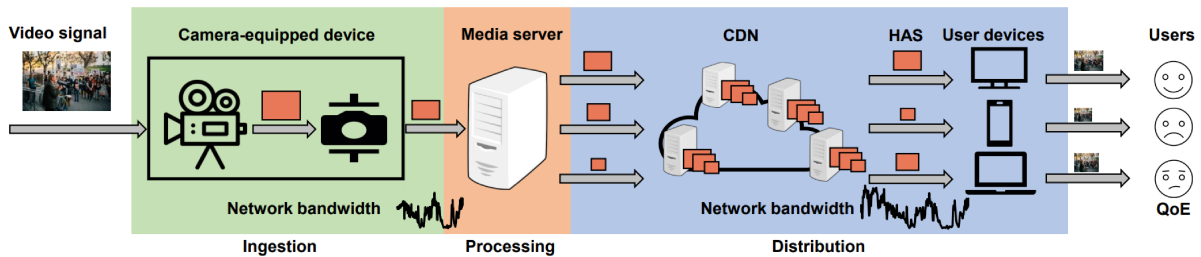
O termo *streaming* refere-se à transmissão contínua de dados multimídia pela Internet, permitindo que o conteúdo seja reproduzido simultaneamente ao seu recebimento, sem a necessidade de download completo prévio. Essa abordagem está na base de serviços como vídeo sob demanda e transmissões ao vivo, amplamente utilizados em plataformas como Netflix, YouTube e Twitch. Devido ao crescimento exponencial no consumo de vídeo online, garantir eficiência e qualidade na entrega de conteúdo tornou-se um desafio central, exigindo o uso de técnicas como o *adaptive bitrate streaming* (ABR), técnica que ajusta automaticamente a taxa de bits e a resolução do vídeo durante a reprodução conforme variações de largura de banda e desempenho da rede (JADHAV *et al.*, 2024).

Dentre os principais tipos de *streaming*, destacam-se o vídeo sob demanda (VoD) e o *streaming* ao vivo. O VoD permite que os usuários escolham e reproduzam conteúdos a qualquer momento, como ocorre em serviços como YouTube, Netflix e Amazon Prime Video. Já o *streaming* ao vivo envolve a transmissão em tempo real de eventos, como é o caso do Twitch, Facebook Live e YouTube Live, exigindo requisitos mais rigorosos de tempo de resposta e estabilidade de rede.

Conforme discutido por Peroni e Gorinsky (2024), o processo de *streaming* envolve uma cadeia de etapas que compõem um pipeline de ponta a ponta. A Figura 1 ilustra esse fluxo, que pode ser dividido em três grandes fases: ingestão, processamento e distribuição.

1. Na fase de ingestão, o conteúdo é capturado por dispositivos com câmera e transmitido,

Figura 1 – Pipeline de ponta a ponta do *streaming* e suas etapas de ingestão, processamento e distribuição.



Fonte: adaptado de (PERONI; GORINSKY, 2024)

por meio da rede, até um servidor de mídia. A qualidade da rede nesse momento impacta a capacidade de enviar os dados sem perdas ou atrasos.

2. Em seguida, na etapa de processamento, o servidor realiza tarefas como codificação, segmentação e empacotamento do vídeo. O conteúdo é preparado para distribuição em múltiplas resoluções e taxas de bits, possibilitando sua adaptação a diferentes condições de rede e dispositivos do usuário.
3. Por fim, ocorre a distribuição, geralmente feita por meio de redes de distribuição de conteúdo (Content Delivery Network (CDN)), que consistem em infraestruturas distribuídas geograficamente responsáveis por replicar e armazenar o vídeo em servidores posicionados próximos ao usuário final, reduzindo a latência, o congestionamento da rede e aumentando a escalabilidade da entrega do conteúdo. O uso de técnicas de *HTTP Adaptive Streaming (HAS)*, nas quais o vídeo é dividido em pequenos segmentos disponibilizados em diferentes qualidades, permite que o dispositivo cliente escolha, em tempo real, a versão mais adequada a ser reproduzida conforme as condições atuais da rede.
4. A qualidade da experiência percebida pelo usuário dependerá de diversos fatores em cada uma dessas etapas, incluindo a largura de banda disponível, a eficiência da codificação e a estratégia de entrega adotada.

2.2 *Quality of Experience*

A qualidade da experiência refere-se à percepção subjetiva que o usuário final tem sobre um serviço ou aplicação. No contexto do *streaming* de vídeo, essa percepção envolve não apenas aspectos técnicos, como resolução e fluidez da imagem, mas também fatores psicológicos, contextuais e individuais, como expectativas, ambiente de uso e tipo de conteúdo consumido.

Segundo Chen *et al.* (2014), a QoE pode ser definida como a qualidade percebida de

um serviço a partir da perspectiva do usuário, sendo influenciada por métricas tradicionais de desempenho da rede (Quality of Service (QoS)), como latência, tempo de entrega de pacotes e taxa de perdas, mas não determinada exclusivamente por elas. Os autores destacam que “a relação entre qualidade de experiência e qualidade de serviço é complexa e não linear, variando de acordo com o contexto da aplicação e o perfil do usuário”.

A avaliação da qualidade da experiência pode ser realizada por meio de dois métodos principais:

- **Métodos subjetivos:** envolvem diretamente a participação de usuários, geralmente por meio de questionários ou escalas como o Mean Opinion Score (MOS), nas quais os usuários atribuem notas à qualidade percebida do vídeo;
- **Métodos objetivos:** buscam estimar a QoE com base em modelos computacionais, utilizando métricas técnicas da aplicação ou da rede para inferir o nível de satisfação do usuário.

No caso específico de serviços de vídeo sob demanda ou transmissões ao vivo, a QoE é influenciada por diversos fatores técnicos, tais como o tempo de início da reprodução, a frequência de travamentos (*buffering*), as oscilações na qualidade do vídeo (variações de *bitrate*), resolução, taxa de quadros (*frame rate*) e atrasos na reprodução. Esses elementos exercem impacto significativo na percepção de qualidade dos usuários e na fluidez da experiência (MUX, 2024).

Devido à crescente importância dos serviços de vídeo online, o conceito de *Quality of Experience* tornou-se fundamental para orientar o desenvolvimento e a otimização de plataformas que priorizam a satisfação do usuário. A correta medição e monitoramento dessa qualidade percebida permite que desenvolvedores e operadoras de rede tomem decisões mais informadas sobre aspectos como codificação, distribuição e adaptação do conteúdo, contribuindo para uma entrega de serviço mais competitiva e satisfatória para o usuário final (MUX, 2024).

2.3 Desafios Técnicos no Desenvolvimento de Aplicações de *Streaming*

O desenvolvimento de aplicações e serviços de *streaming* de vídeo envolve uma série de desafios técnicos que impactam diretamente na escalabilidade, eficiência e qualidade da entrega do conteúdo. Esses desafios tornam-se ainda mais relevantes à medida que cresce o número de usuários, a diversidade de dispositivos e a complexidade dos ambientes de rede.

Um dos principais obstáculos é a escalabilidade das soluções. Com o aumento da

procura por vídeo sob demanda e transmissões ao vivo, as plataformas precisam ser capazes de atender um grande número de usuários simultaneamente, sem comprometer a qualidade da experiência. Arquiteturas baseadas em computação em nuvem e redes de distribuição de conteúdo, como as CDN, têm sido adotadas para mitigar esse problema. No entanto, a distribuição de tráfego em ambientes altamente dinâmicos ainda requer mecanismos eficientes de orquestração e alocação de recursos. Gama *et al.* (2021) destacam que, embora a nuvem resolva parte do problema, ela introduz novas limitações, como latência elevada e congestionamento na rede central, o que reforça a necessidade de soluções distribuídas baseadas em computação de borda (*edge computing*), modelo no qual parte do processamento e armazenamento é deslocado para servidores localizados próximos ao usuário final, reduzindo atrasos de comunicação e sobrecarga em servidores centrais.

Outro desafio recorrente no desenvolvimento de aplicações de *streaming* de vídeo é a compatibilidade entre dispositivos. As plataformas precisam operar de forma eficiente em uma ampla variedade de equipamentos — incluindo *smartphones*, *tablets*, *smart TVs*, navegadores e consoles —, cada um com diferentes capacidades de processamento, resolução de tela e protocolos de transmissão. Essa heterogeneidade impõe a necessidade de soluções altamente adaptáveis, que sejam capazes de ajustar o conteúdo e o processamento às limitações específicas de cada dispositivo.

Esse problema se torna ainda mais evidente em cenários que envolvem processamento intensivo no lado do cliente, como no caso do *streaming* com aprimoramento por redes neurais. Jin *et al.* (2024) destacam que dispositivos móveis modernos ainda enfrentam sérias limitações para executar tarefas como super-resolução de vídeo em tempo real, devido à restrição de recursos computacionais. Mesmo *smartphones* topo de linha não são capazes de manter taxas de quadros consistentes durante o uso dessas técnicas, o que evidencia a complexidade de garantir compatibilidade e desempenho em diferentes dispositivos.

A adaptação às condições variáveis da rede é outro ponto crítico no desenvolvimento de serviços de *streaming* de vídeo. Em ambientes instáveis, como redes móveis ou conexões sem fio com alta concorrência, a largura de banda disponível pode oscilar abruptamente, comprometendo a continuidade da reprodução e a qualidade percebida pelo usuário. Nesses contextos, o sistema precisa lidar com limitações imprevisíveis de transmissão, que impactam diretamente o tempo de carregamento, a resolução do vídeo e a ocorrência de travamentos.

Esse tipo de instabilidade representa um dos principais obstáculos para garantir

uma experiência fluida e satisfatória. Como observado por Jadhav *et al.* (2024), a variação nas condições da rede continua sendo um dos fatores mais difíceis de prever e controlar no fornecimento de conteúdo multimídia, afetando diretamente a consistência e a responsividade dos serviços de *streaming*.

A latência é mais um dos desafios básicos no desenvolvimento de aplicações de *streaming* de vídeo, especialmente naquelas que exigem interatividade em tempo real, como transmissões ao vivo, chamadas por vídeo e jogos em nuvem. Diferente do vídeo sob demanda, onde pequenas demoras são toleráveis, nessas aplicações até mesmo atrasos de poucos milissegundos podem comprometer a fluidez da interação e a percepção de naturalidade por parte dos usuários.

Um fator importante que contribui para a latência é o chamado *jitter delay*, que corresponde à variação no tempo de chegada dos pacotes de dados, exigindo o uso de *buffers* para reorganização das informações antes da reprodução. Quando não gerenciado adequadamente, esse atraso adicional pode se acumular e comprometer seriamente a responsividade da aplicação. Zhao *et al.* (2020) observam que, mesmo em redes com boa qualidade, o comportamento conservador dos *buffers* pode prolongar desnecessariamente o tempo de resposta percebido pelo usuário, dificultando a manutenção de uma experiência interativa fluida.

Além dos aspectos relacionados à infraestrutura e desempenho, o desenvolvimento de serviços de *streaming* também enfrenta desafios relevantes nas áreas de segurança e privacidade. A necessidade de proteger o conteúdo contra acesso não autorizado, pirataria e manipulação maliciosa exige a adoção de mecanismos robustos de criptografia e autenticação de usuários. No entanto, essas medidas de proteção, especialmente quando implementadas por meio de protocolos como Hypertext Transfer Protocol Secure (HTTPS), responsável pela transmissão segura de dados por meio de criptografia, e Quick UDP Internet Connections (QUIC), protocolo moderno baseado em User Datagram Protocol (UDP) que combina transporte e segurança, permitindo menor latência e recuperação mais eficiente de perdas de pacotes, acabam criando obstáculos adicionais para a análise de desempenho e qualidade do serviço.

O uso de criptografia de ponta a ponta impede que intermediários na rede — como *proxies* ou sistemas de monitoramento — tenham acesso aos fluxos de dados, dificultando a extração de métricas relevantes para avaliação da experiência do usuário. Como apontam (JADHAV *et al.*, 2024), essa limitação compromete o diagnóstico de falhas e a detecção de degradação da qualidade em tempo real, tornando mais difícil a implementação de mecanismos

adaptativos e preventivos no lado do servidor ou da rede.

Esse conflito entre garantir a privacidade dos usuários e manter a capacidade de observação e otimização do serviço representa um dos dilemas atuais mais importantes no desenvolvimento de plataformas de *streaming* seguras e eficientes.

Esses desafios evidenciam a complexidade técnica do desenvolvimento de soluções de *streaming* de vídeo, exigindo a integração de múltiplas áreas do conhecimento — desde redes e infraestrutura até aprendizado de máquina e design centrado no usuário — para garantir uma entrega de conteúdo eficiente, segura e com boa qualidade de experiência.

2.4 Estratégias de melhoria de qualidade de serviço em *streaming*

Diante dos desafios técnicos enfrentados no desenvolvimento de serviços de *streaming* de vídeo, diversas estratégias vêm sendo exploradas pela literatura para mitigar seus impactos e garantir uma entrega eficiente, segura e de alta qualidade. Esta seção apresenta as principais abordagens adotadas para lidar com os problemas de escalabilidade, compatibilidade entre dispositivos, adaptação às condições de rede, latência e segurança.

- **Escalabilidade.** Para lidar com a crescente demanda por vídeos sob demanda e transmissões ao vivo, a arquitetura das plataformas de *streaming* tem migrado progressivamente de modelos centralizados para abordagens distribuídas. A adoção de computação em nuvem associada a redes de entrega de conteúdo permite escalar horizontalmente os serviços, alocando recursos sob demanda e aproximando o conteúdo do usuário final. Gama *et al.* (2021) destacam o uso de redes em múltiplos níveis (*multi-tier edge-cloud*) como uma solução eficaz para reduzir a sobrecarga da rede central e melhorar a capacidade de resposta do sistema em cenários dinâmicos e de grande escala.
- **Compatibilidade entre dispositivos.** Para garantir desempenho consistente em dispositivos com diferentes capacidades de processamento e suporte a formatos, os serviços de *streaming* adotam estratégias como a transcodificação adaptativa e o empacotamento em múltiplos formatos e resoluções. Além disso, é comum o uso de detecção automática de capacidade do dispositivo para ajustar, em tempo de execução, o *bitrate*, a resolução e até mesmo o tipo de codificação. Jin *et al.* (2024) discutem o uso de estratégias colaborativas com suporte a redes neurais que, mesmo em dispositivos móveis com restrições de hardware, conseguem adaptar o processamento local em cooperação com servidores na nuvem.

- **Adaptação às condições da rede.** A oscilação na largura de banda é tratada principalmente por meio de algoritmos de *adaptive bitrate streaming*, como o ABR, que ajustam a qualidade do vídeo entregue conforme as condições de rede observadas em tempo real. Protocolos como Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (DASH) e HTTP Live Streaming (HLS), padrões amplamente utilizados que segmentam o vídeo em partes de curta duração disponibilizadas em múltiplas qualidades, permitindo adaptação dinâmica durante a reprodução, são amplamente utilizados nesse contexto. Em Jadhav *et al.* (2024), por exemplo, os autores destacam a utilização de infraestrutura em Amazon Web Services (AWS) combinada com técnicas de adaptação de taxa de bits para oferecer transmissões mais resilientes e responsivas, mesmo em cenários com variação constante na qualidade da conexão.
- **Latência.** A redução da latência em aplicações interativas tem sido abordada por meio da otimização dos *buffers* de *jitter* e pela melhoria no controle de congestionamento. Em especial, estratégias de adaptação dinâmica dos parâmetros de *buffer* têm se mostrado eficazes para reduzir o atraso de reprodução sem comprometer a fluidez. Além disso, (ZHAO *et al.*, 2020) propõem um modelo de ajuste adaptativo para *buffers* em *Web Real-Time Communication (WebRTC)*, que acelera a recuperação do *jitter delay* e melhora a responsividade da transmissão em redes instáveis.
- **Segurança e monitoramento.** A adoção de criptografia de ponta a ponta, embora essencial para proteger o conteúdo, impõe desafios ao monitoramento e diagnóstico do serviço. Para contornar esse problema, Jadhav *et al.* (2024) sugerem mecanismos de inferência de qualidade baseados em características observáveis fora da camada de aplicação, como variações no tráfego e nos padrões de consumo, possibilitando a avaliação da qualidade de experiência mesmo em fluxos criptografados.
- **Coleta e troca padronizada de dados de mídia.** Abordagens recentes na infraestrutura de *streaming* buscam aprimorar a troca de informações entre clientes e servidores para permitir decisões mais eficientes na entrega de conteúdo. Nesse contexto, o padrão Common Media Client Data (CMCD) permite que aplicações clientes enviem ao servidor informações sobre o estado da reprodução, como nível de *buffer* e taxa de bits utilizada, auxiliando CDNs e provedores na análise de desempenho e na otimização da entrega de mídia. Complementarmente, o padrão Common Media Server Data (CMSD) permite que servidores retornem informações úteis aos clientes durante a entrega dos segmentos de

vídeo, favorecendo ajustes mais adequados às condições de rede e contribuindo para a melhoria da qualidade de serviço e da experiência do usuário, conforme discutido em estudos recentes sobre otimização da entrega de mídia (JADHAV *et al.*, 2024).

Essas estratégias refletem a evolução contínua das tecnologias de *streaming* e a busca por soluções que conciliem desempenho técnico, compatibilidade, segurança e boa experiência do usuário.

3 METODOLOGIA

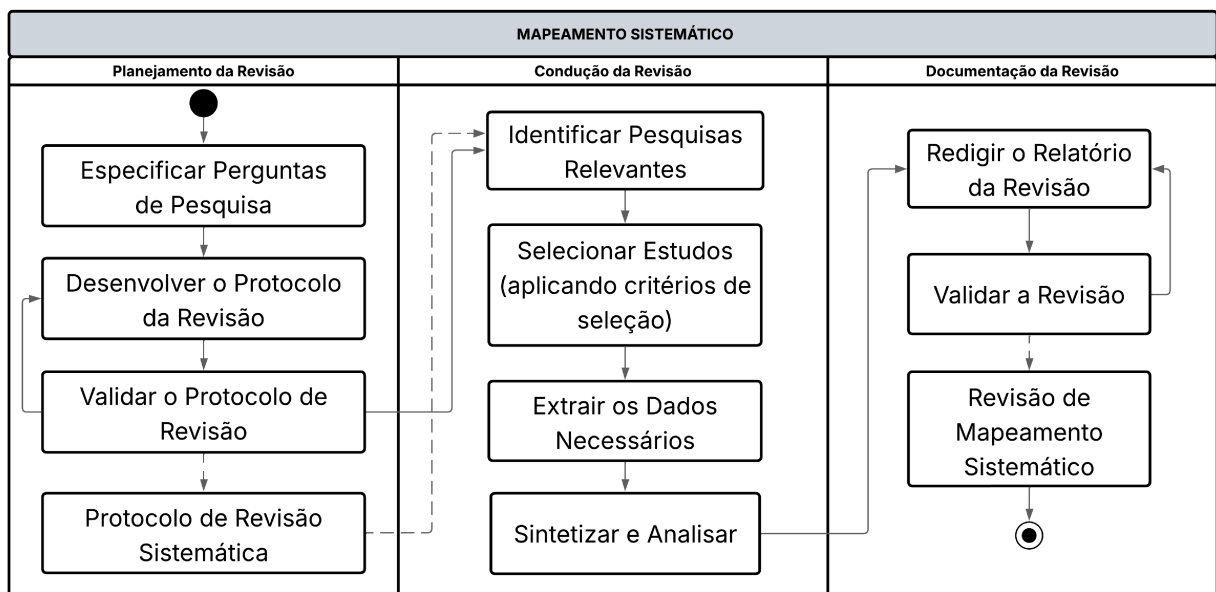
Este trabalho segue o método de MSL, conforme as diretrizes propostas por (KITCHENHAM *et al.*, 2009), que apresenta um processo estruturado e amplamente consolidado para a condução de revisões de literatura na área de Engenharia de Software. O objetivo do mapeamento é fornecer uma visão abrangente da literatura sobre aplicações e serviços de *streaming* de vídeo, com foco na identificação de desafios técnicos e das soluções mais recorrentes apresentadas.

O processo é conduzido em três etapas principais: Planejamento, Condução e Documentação da Revisão. A Figura 2 ilustra o fluxo geral dessas etapas, bem como as atividades associadas a cada uma delas, alinhando-se ao processo formal recomendado por (KITCHENHAM *et al.*, 2009).

3.1 Planejamento da Revisão

A fim de orientar todas as etapas do processo, é elaborado um protocolo formal estruturado e detalhado (Anexo A), conforme ilustrado na Figura 2. Esse protocolo tem como principal objetivo garantir que a revisão seja conduzida de maneira transparente, padronizada e reprodutível, conforme recomendado por (KITCHENHAM *et al.*, 2009). Além disso, o protocolo assegura que as etapas metodológicas estejam alinhadas aos objetivos definidos para o estudo,

Figura 2 – Diagrama metodológico para o Mapeamento Sistemático da Literatura,



Fonte: adaptado de (KITCHENHAM *et al.*, 2009)

sendo assim a Figura 2 pode ser traduzida em quatro etapas principais:

- **Justificativa e escopo da pesquisa:** Apresenta a motivação para a realização do MSL, delimitando o foco do estudo, o contexto investigado e os limites temáticos e conceituais da pesquisa;
- **Estratégias de busca e seleção das fontes de dados:** Define as bases de dados científicas selecionadas e as *strings* de busca que, neste estudo, são definidas com base no modelo Population, Intervention, Comparison, Outcome, Context (PICOC), recomendado por (KITCHENHAM *et al.*, 2009), que separa a construção dos termos-chave em cinco pontos: *Population, Intervention, Comparison, Outcome e Context*;
- **CrITÉrios de inclusão, exclusão e avaliação de qualidade:** Estabelece critérios objetivos para determinar quais estudos são incluídos ou excluídos do mapeamento, considerando aspectos como relevância temática, rigor metodológico e completude das informações;
- **Procedimentos de extração e análise dos dados:** Descreve o processo de extração das informações relevantes dos estudos selecionados, bem como as técnicas de síntese e análise aplicadas para consolidar e interpretar os resultados.

Antes do início da coleta de dados, o protocolo de revisão pode ser submetido à validação por um especialista, a fim de assegurar sua consistência, clareza e aderência às boas práticas metodológicas estabelecidas na literatura. Essa etapa é importante para garantir que as estratégias de busca, os critérios de seleção e os procedimentos de extração estejam claramente definidos e alinhados aos objetivos do estudo, aumentando a confiabilidade e a reprodutibilidade do processo.

3.2 Condução da Revisão

Com o protocolo validado, inicia-se a segunda etapa do processo metodológico descrito na Figura 2, que consiste na execução do MSL conforme o plano estabelecido.

A identificação dos estudos visa recuperar, de forma estruturada e sistemática, a maior quantidade possível de pesquisas relevantes à temática investigada. Para isso, realizam-se buscas em bases de dados científicas reconhecidas e amplamente utilizadas na área de Computação e Engenharia, como ACM Digital Library, ScienceDirect e Scopus.

As estratégias de busca são elaboradas com base nas perguntas de pesquisa previamente definidas, e as *strings* de busca são construídas utilizando combinações dos termos-chave identificados por meio do modelo PICOC. Essa abordagem garante abrangência e consistência

ao processo, assegurando que o conjunto de estudos recuperados represente adequadamente o estado atual da pesquisa sobre o tema.

A seleção dos estudos ocorre de forma sistemática, seguindo as diretrizes do protocolo da pesquisa, buscando garantir que apenas estudos alinhados ao escopo do mapeamento sejam incluídos. O processo ocorre em três etapas sequenciais:

- Triagem inicial por título e resumo;
- Leitura parcial dos estudos potencialmente relevantes, com foco no resumo, introdução e resultados;
- Leitura completa dos estudos pré-selecionados para confirmação de sua adequação;

A extração dos dados é realizada de forma estruturada, conforme o plano previamente definido no protocolo, com o objetivo de coletar as informações necessárias para responder às perguntas de pesquisa e alcançar os objetivos do estudo. Os dados extraídos incluem características gerais dos estudos, tecnologias e arquiteturas abordadas, desafios técnicos identificados, soluções propostas e aspectos relacionados à QoE.

Após a extração, os dados são organizados e categorizados, possibilitando uma análise estruturada e eficiente dos resultados.

3.3 Documentação da Revisão

A última etapa do processo consiste na sistematização e divulgação dos resultados obtidos por meio do MSL.

Os resultados são consolidados na forma de um Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), o qual apresenta de maneira detalhada os dados coletados, as análises realizadas e a discussão dos resultados. O relatório também inclui as limitações do estudo e as recomendações para pesquisas futuras.

4 PLANEJAMENTO E SELEÇÃO DOS ESTUDOS

Este capítulo descreve a execução do MSL, detalhando as etapas de planejamento operacional, definição do protocolo, elaboração das estratégias de busca e o processo de seleção dos estudos primários. Também são apresentados dados quantitativos referentes ao volume inicial de publicações identificadas e ao refinamento progressivo do conjunto de estudos, de acordo com os critérios de inclusão e exclusão estabelecidos.

Os procedimentos descritos neste capítulo definem a base de estudos utilizada na etapa de análise, cujos resultados são discutidos no capítulo seguinte.

4.1 Justificativa e escopo da pesquisa

O MSL foi conduzido com o apoio da ferramenta Parsif.al¹, uma plataforma especializada no gerenciamento e organização de revisões e mapeamentos sistemáticos. Por meio dessa ferramenta, foi possível estruturar e documentar de forma padronizada todas as etapas do processo, desde o planejamento inicial até a seleção e análise dos estudos. No primeiro momento, foram definidos o título e a descrição do mapeamento:

- **Título:** Estratégias para qualidade de serviço em *streaming* de vídeo: um mapeamento sistemático da literatura;
- **Descrição:** Análise da literatura relacionada a aplicações e serviços de *streaming* de vídeo, com foco em identificar os principais desafios enfrentados por desenvolvedores, bem como as soluções e estratégias mais recorrentes propostas na literatura;

As perguntas de pesquisa também foram formalizadas, visando responder a aspectos como tecnologias utilizadas, desafios enfrentados, problemas relatados por usuários e soluções recorrentes presentes na literatura:

- **Q1:** Quais as principais tecnologias, arquiteturas ou estratégias utilizadas no desenvolvimento de aplicações e serviços de *streaming* de vídeo web e mobile?;
- **Q2:** Quais são os principais desafios enfrentados por desenvolvedores ao construir ou manter aplicações de *streaming* de vídeo web ou mobile?;
- **Q3:** Quais problemas são mais frequentemente relatados por usuários dessas aplicações?;
- **Q4:** Quais abordagens têm sido propostas para lidar com os problemas dos desenvolvedores e usuários?;

¹ <<https://parsif.al>>

A Q1 busca compreender o panorama tecnológico atual, identificando as soluções e práticas adotadas no desenvolvimento de serviços de *streaming*. Q2 e Q3 tratam dos desafios enfrentados, tanto do ponto de vista dos desenvolvedores quanto dos usuários finais. Por fim, a Q4 visa mapear as abordagens e estratégias propostas na literatura para mitigar esses problemas, oferecendo uma visão consolidada do conhecimento disponível e das lacunas existentes.

4.2 Estratégia de Busca e Fontes de Dados

As buscas por estudos primários foram realizadas nas seguintes bases de dados: **Association for Computing Machinery (ACM) Digital Library**, **ScienceDirect** e **Scopus**, selecionadas por sua relevância, qualidade e pelo volume de publicações nas áreas de Computação e Engenharia.

Além da definição das bases, os termos de busca foram construídos com base no modelo PICOC, conforme recomendado por (KITCHENHAM *et al.*, 2009), o qual fornece uma estrutura sistemática para elaborar *strings* de busca. O preenchimento dos cinco elementos do modelo para este estudo ficou estabelecido da seguinte forma:

- **Population:** Aplicações e serviços de *streaming* de vídeo, serviços de vídeo sob demanda (VoD), *live streaming*;
- **Intervention:** Análises comparativas, estudos de caso, avaliações e investigações relacionadas à experiência do usuário;
- **Comparison:** Não aplicável ao escopo deste mapeamento, considerando sua natureza exploratória;
- **Outcome:** Desafios técnicos, limitações, *insights*, *feedbacks*, arquiteturas e estratégias relatadas;
- **Context:** Ambiente de desenvolvimento Web, Mobile ou ambos.

Uma *string* de busca genérica foi inicialmente elaborada com base na combinação dos termos-chave definidos pelo modelo PICOC, abrangendo conceitos relacionados a serviços de vídeo sob demanda, *streaming* de vídeo, experiência do usuário, desafios técnicos, limitações, arquiteturas, estratégias e plataformas web ou mobile. No entanto, considerando as particularidades e restrições de cada base de dados, essa *string* genérica precisou ser adaptada de forma específica para cada fonte consultada, respeitando as diferenças nos mecanismos de busca, operadores lógicos e filtros disponíveis.

Cabe destacar que, embora todas as expressões tenham sido derivadas de uma mesma

Tabela 1 – Strings de busca utilizadas em cada base de dados

Base de Dados	String de Busca
Genérica	((application OR service) AND (streaming AND video)) AND (analysis OR comparison OR evaluation OR compared OR evaluated) AND (challenges OR insights) AND (web OR mobile)
Scopus	TITLE-ABS-KEY (("video streaming"OR "video-on-demand"OR "VoD") AND ("evaluation"OR "case study"OR "analysis"OR "user experience") AND ("challenges"OR "issues"OR "problems"OR "limitations"OR "feedback"OR "architecture"OR "strategy") AND ("web"OR "mobile"OR "mobile application"OR "Android"OR "iOS")) AND PUBYEAR > 2019 AND PUBYEAR < 2026 AND (LIMIT-TO(SUBJAREA,"COMP") OR LIMIT-TO(SUBJAREA,"ENGI")) AND (LIMIT-TO(LANGUAGE,"Portuguese") OR LIMIT-TO(LANGUAGE,"English")) AND (LIMIT-TO(DOCTYPE,"cp") OR LIMIT-TO(DOCTYPE,"ar"))
ACM Digital Library	("video streaming"OR "video-on-demand"OR "VoD") AND ("evaluation"OR "case study"OR "analysis"OR "user experience") AND ("challenges"OR "issues"OR "problems"OR "limitations"OR "feedback"OR "architecture"OR "strategy") AND ("web"OR "mobile"OR "mobile application"OR "Android"OR "iOS")
ScienceDirect	("video streaming"OR VoD) AND ("user experience"OR "case study") AND ("challenges"OR "problems"OR "architecture") AND ("mobile application"OR "web application")

Fonte: Elaborado pelo autor.

string genérica, pequenas variações foram necessárias devido às diferenças existentes entre os mecanismos de busca das bases consultadas. Algumas plataformas oferecem campos específicos para pesquisa em título, resumo e palavras-chave, enquanto outras realizam buscas apenas em texto completo ou possuem operadores e filtros distintos. Além disso, certas bases impõem limitações quanto ao tamanho das expressões de busca ou ao número de operadores lógicos suportados, exigindo simplificações ou ajustes na composição das consultas. Dessa forma, as adaptações realizadas tiveram como objetivo manter a equivalência semântica das buscas, preservando o escopo da pesquisa e garantindo a recuperação de estudos relevantes em cada base de dados. As expressões finais utilizadas em cada base de dados estão detalhadas na Tabela 1.

4.3 Critérios de Inclusão, exclusão e avaliação de qualidade

Com o objetivo de garantir a relevância, a atualidade e a qualidade metodológica dos estudos selecionados, foram estabelecidos critérios objetivos de inclusão e exclusão para o processo de seleção dos artigos. Esses critérios orientaram a triagem dos estudos de forma padronizada, assegurando que apenas publicações alinhadas ao escopo e aos objetivos da pesquisa fossem consideradas.

Critérios de Inclusão

1. Artigos da área de Computação, Engenharia ou áreas afins;
2. Artigos que abordem desafios, limitações, estratégias ou aspectos relacionados a serviços de *streaming* de vídeo.

Critérios de Exclusão

1. Artigos publicados há mais de cinco anos (ou seja, fora do intervalo de 2020 a 2025);
2. Artigos não publicados em inglês ou português;
3. Artigos dos quais não foi possível obter acesso;
4. Artigos duplicados identificados entre as bases de dados;
5. Artigos classificados como *short papers* (Trabalhos com 6 ou menos páginas), por apresentarem extensão e profundidade limitadas.

Com os critérios de inclusão e exclusão devidamente estabelecidos, iniciou-se a etapa de busca nas bases de dados selecionadas, utilizando as respectivas *strings* de busca previamente definidas. A busca inicial resultou em um total de 857 trabalhos identificados:

- 244 trabalhos na **ACM Digital Library**;
- 244 trabalhos na **ScienceDirect**;
- 369 trabalhos na **Scopus**.

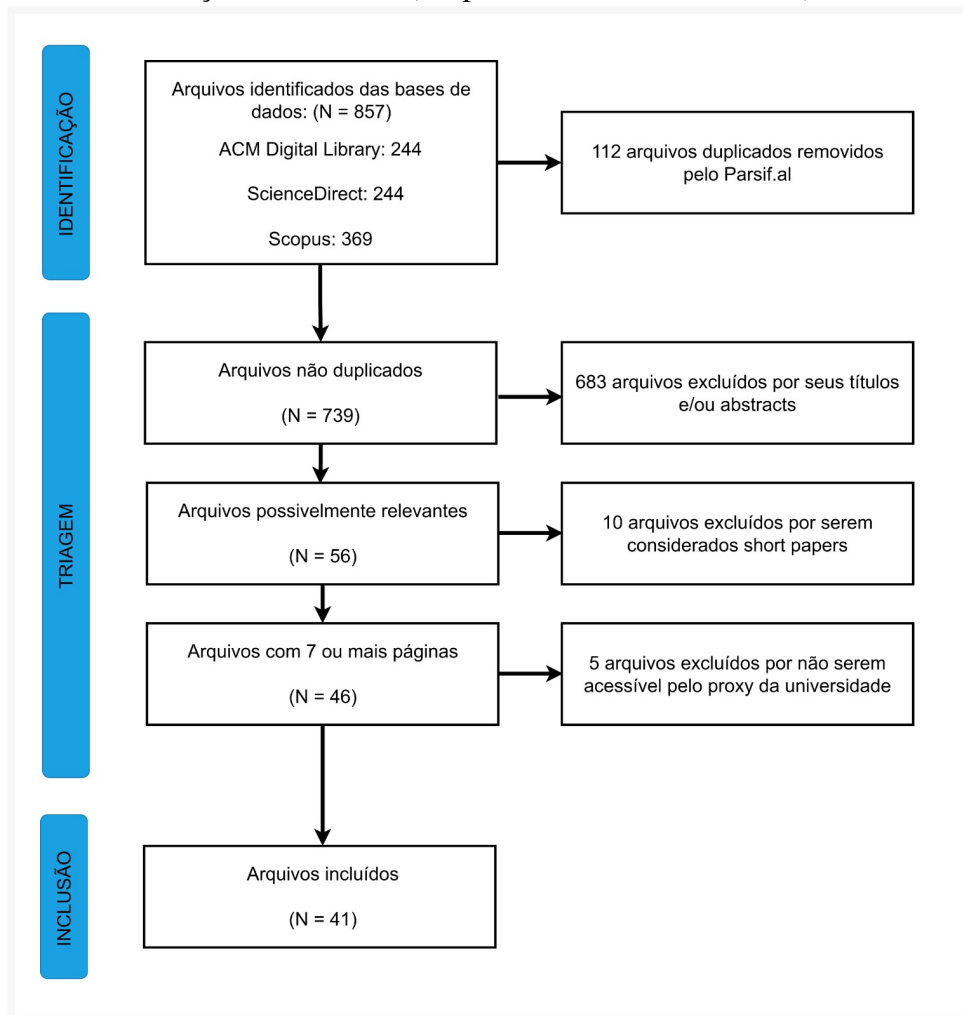
A própria ferramenta Parsif.al, utilizada para o gerenciamento do MSL, realizou a identificação e remoção automática de 118 artigos duplicados entre as bases, resultando em um total de 739 trabalhos únicos para a etapa de triagem.

Na sequência, foi conduzida a avaliação preliminar dos trabalhos por meio da leitura dos títulos e resumos (*abstracts*), com o objetivo de filtrar apenas os estudos mais alinhados aos objetivos do mapeamento. Essa etapa de triagem foi realizada em múltiplas rodadas, de forma progressivamente mais criteriosa. A cada nova rodada, os estudos eram analisados com maior rigor, buscando eliminar trabalhos que tratassem o tema de maneira excessivamente superficial ou excessivamente específica, ao ponto de não contribuírem efetivamente para os objetivos do mapeamento. Ao final dessa etapa, o número de estudos foi reduzido para 56 trabalhos considerados potencialmente relevantes.

Entre os 56 trabalhos, 10 foram descartados por se enquadrarem na categoria de *short papers*, ou seja, artigos com extensão reduzida e conteúdo limitado, conforme os critérios previamente definidos.

Dos 46 trabalhos restantes, 41 puderam ser acessados na íntegra por meio do proxy

Figura 3 – Fluxo de seleção dos estudos (adaptado do modelo PRISMA).



Fonte: Elaborado pelo autor.

institucional da universidade, estando aptos para leitura completa e análise final. Os demais não foram incluídos devido à impossibilidade de acesso ao conteúdo completo.

O fluxo completo desse processo de seleção dos estudos está representado na Figura 3, seguindo o modelo Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) adaptado ao contexto do mapeamento.

Alguns artigos, embora tenham sido descartados durante o processo de seleção do MSL, ainda foram úteis para a construção deste trabalho, como foi o caso de (AGUILAR *et al.*, 2024) e (ZHAO *et al.*, 2020), que tiveram informações pertinentes para a construção da Seção 2.

4.4 Consolidação dos estudos e caracterização dos artigos incluídos

Após a conclusão da leitura integral dos 41 artigos previamente selecionados, foi realizada uma avaliação final de aderência ao escopo do MSL. Nessa etapa, um artigo foi excluído

por não atender aos objetivos estabelecidos neste estudo.

O artigo removido foi “Factors Affecting Customer Loyalty Moderated by Switching Cost on the Customer Satisfaction of Digital Streaming Services” (ANISA; TJHIN, 2023), uma vez que, apesar de tratar de serviços de *streaming*, seu enfoque está restrito a aspectos de marketing, satisfação do cliente e fidelização, não abordando tecnologias, desafios técnicos ou soluções relacionadas ao desenvolvimento de aplicações de *streaming* de vídeo, que constituem o foco central desta pesquisa.

Dessa forma, o conjunto final de estudos analisados neste mapeamento sistemático da literatura é composto por 40 artigos, os quais tiveram seus dados extraídos e utilizados na etapa de análise.

Com o objetivo de fornecer uma visão geral do conjunto de estudos selecionados, foi elaborada uma tabela apresentando o perfil dos estudos incluídos, contendo informações básicas de cada artigo, incluindo um identificador numérico (ID), atribuído de acordo com a ordem de leitura, o título do artigo, os autores, o foco do trabalho (Mobile, Web ou Mobile e Web) e o ano de publicação.

A Tabela 2 apresenta esse perfil dos estudos incluídos no mapeamento, permitindo uma compreensão inicial da literatura analisada e servindo como base para a análise detalhada dos dados apresentada no capítulo seguinte.

O perfil dos estudos selecionados permite delinear um panorama geral da literatura analisada, evidenciando a atualidade das pesquisas incluídas e a diversidade de abordagens investigadas no contexto do *streaming* de vídeo. Essas informações fornecem a base necessária para as análises descritivas e comparativas desenvolvidas no capítulo seguinte, nas quais são discutidas, de forma mais aprofundada, as tecnologias, os desafios e as soluções recorrentes identificadas nos estudos.

Tabela 2 – Perfil dos estudos incluídos no Mapeamento Sistemático da Literatura

ID	Título do Artigo	Autores	Foco	Ano
4	Convolutional Neural Networks for Continuous QoE Prediction in Video Streaming Services	Tho Nguyen Duc, Chanh Tran Minh, Tan Phan Xuan, Eiji Kamioka	Mobile e Web	2020
5	A Framework for In-Network QoE Monitoring of Encrypted Video Streaming	Irena Orsolic, Lea Skorin-Kapov	Mobile e Web	2020
8	Distributed Adaptive Video Streaming using Inter-Server Data Distribution and Agent-based Adaptive Load Balancing	Madhuparna Bhowmik, Arpitha Raghunandan, Bhawana Rudra	Web	2020
9	Efficient Pull-based Mobile Video Streaming leveraging In-Network Functions	Kazuhisa Matsuzono, Hitoshi Asaeda, Indukala Naladala, Thierry Turletti	Mobile	2020
13	A Context-aware adaptive algorithm for ambient intelligence DASH at mobile edge computing	Jinsul Kim, Yonggwan Won, Changwoo Yoon, Jin-Young Kim, Sangho Park, JaeCheol Ryou, Linh Van Ma	Mobile e Web	2020
16	Edge Computing Assisted Adaptive Streaming Scheme for Mobile Networks	Minsu Kim, Kwangsue Chung	Mobile	2020
17	Optimizing Live Layered Video Multicasting over LTE with Mobile Edge Computing	Ren-Hung Hwang, Chih-Yu Wang, Jenq-Neng Hwang, Yu-Ren Lin, Wei-Yu Chen	Mobile	2020
26	MNO-OTT Collaborative Video Streaming in 5G: The Zero-rated QoE Approach for Quality and Resource Management	Arslan Ahmad; Luigi Atzori	Mobile	2020
27	Modeling QoE for Buffered Video Streaming in Interference-Limited Cellular Networks	Philipp Schulz; Henrik Klessig; Meryem Simsek; Gerhard Fettweis	Mobile	2020

Continuação na próxima página

ID	Título do Artigo	Autores	Foco	Ano
28	NEMO: Enabling Neural-enhanced Video Streaming on Commodity Mobile Devices	Hyunho Yeo, Chan Ju Chong, Youngmok Jung, Juncheol Ye, and Dongsu Han	Mobile	2020
33	Traffic-Aware Rate Adaptation for Improving Time-Varying QoE Factors in Mobile Video Streaming	Ailing Xiao; Xiaofu Huang; Sheng Wu; Haoting Chen; Li Ma	Mobile	2020
34	CSI: Inferring Mobile ABR Video Adaptation Behavior under HTTPS and QUIC	Shichang Xu; Subhabrata Sen; Z. Morley Mao	Mobile	2020
36	Dissecting the performance of YouTube video streaming in mobile networks	Anika Schwind; Cise Midoglu; Özgü Alay; Carsten Griwodz; Florian Wamser	Mobile	2020
1	Video Streaming Analysis in Multi-tier Edge-Cloud Networks	Eduardo S. Gama, Lucas Otávio N. de Araújo, Roger Im-mich, Luiz F. Bittencourt	Mobile e Web	2021
6	Case for 5G-Aware Video Streaming Applications	Eman Ramadan, Arvind Narayanan, Udhaya Kumar Dayalan, Rostand A. K. Fezeu, Feng Qian, Zhi-Li Zhang	Mobile	2021
12	Data Diet Pills: In-network Video Quality Control System for Traffic Usage Reduction	Anan Sawabe, Takanori Iwai, Akihiro Nakao	Mobile e Web	2021
14	A Deep Graph Reinforcement Learning Model for Improving User Experience in Live Video Streaming	Stefanos Antaris, Dimitrios Rafailidis, Sarunas Girdzijauskas	Web	2021
18	QoE-aware Video Streaming over Integrated Space and Terrestrial 5G Networks	Satish Kumar, Ning Wang, Yogaratnam Rahulan, Barry Evans	Mobile	2021

Continuação na próxima página

ID	Título do Artigo	Autores	Foco	Ano
20	Intelligent Live Video Streaming for Object Detection	Mingkang Chen, Jingtao Sun, Kento Aida, Renato J. Figueiredo, Yun-Jung Ku, Kensworth Subratie	Mobile	2021
29	Post-Streaming Wastage Analysis – A Data Wastage Aware Framework in Mobile Video Streaming	Guanghui Zhang; Ke Liu; Haibo Hu; Vaneet Aggarwal; Jack Y. B. Lee	Mobile	2021
32	Temporal Reasoning Guided QoE Evaluation for Mobile Live Video Broadcasting	Pengfei Chen; Leida Li; Jinjian Wu; Yabin Zhang; Weisi Lin	Mobile	2021
21	VSIM: Improving QoE Fairness for Video Streaming in Mobile Environments	Yali Yuan, Weijun Wang, Yuhan Wang, Sripriya S. Adhatarao, Bangbang Ren, Kai Zheng, Xiaoming Fu	Mobile	2022
25	GreenABR: Energy-Aware Adaptive Bitrate Streaming with Deep Reinforcement Learning	Bekir Oguzhan Turkkan; Ting Dai; Adithya Raman; Tevfik Kosar; Changyou Chen; Muhammed Fatih Bulut; Jaroslaw Zola; Daby Sow	Mobile	2022
31	Vues: Practical Mobile Volumetric Video Streaming Through Multiview Transcoding	Yu Liu; Bo Han; Feng Qian; Arvind Narayanan; Zhi-Li Zhang	Mobile	2022
38	Video Streaming Adaptive QoS Routing with Resource Reservation (VQoSRR) Model for SDN Networks	Majda Omer Elbasheer; Abdulaziz Aldegheishem; Nabil Alrajeh; Jaime Lloret	Mobile	2022
19	Semantic-based Adaptation of Quality of Experience in Web Multimedia Streams	Giuseppe Loseto, Floriano Scioscia, Michele Ruta, Filippo Gramegna, Ivano Bilenchi	Mobile e Web	2023
23	SkipStreaming: Pinpointing User-Perceived Redundancy in Correlated Web Video Streaming through the Lens of Scenes	Wei Liu, Xinlei Yang, Zhenhua Li, and Feng Qian	Mobile e Web	2023

ID	Título do Artigo	Autores	Foco	Ano
24	Reparo: QoE-Aware Live Video Streaming in low-rate Networks by Intelligent Frame Recovery	Fulin Wang, Qing Li, Wanxin Shi, Gareth Tyson, Yong Jiang, Lianbo Ma, Peng Zhang, Yulong Lan, Zhicheng Li	Mobile	2023
30	QoE-aware traffic monitoring based on user behavior in video streaming services	Fatima Laiche; Asma Ben Letaifa; Taoufik Aguil	Web	2023
35	HALP: Heuristic Aided Learned Preference Eviction Policy for YouTube Content Delivery Network	Zhenyu Song; Kevin Chen; Nikhil Sarda; Deniz Altınbüken; Eugene Brevdo; Jimmy Coleman; Xiao Ju; Pawel Jurczyk; Richard Schooler; Ramki Gummadi	Web	2023
39	QoE Evaluation in Adaptive Streaming: Enhanced MDT with Deep Learning	Hakan Gokcesu; Ozgur Ercetin; Gokhan Kalem; Salih Ergut	Mobile	2023
40	A holistic survey of multipath wireless video streaming	Samira Afzal; Vanessa Testoni; Christian Esteve Rothenberg; Prakash Kola; Imed Bouazizi	Mobile	2023
2	Efficient Media Delivery: AWS Cloud and the Art of Adaptive Bitrate Streaming	Yash Jadhav, Ounkar Jagtap, Shantanu Kadam, Nataasha Raul	Mobile e Web	2024
3	OASIS: Collaborative Neural-Enhanced Mobile Video Streaming	Shuwei Jin, Ruiyang Zhu, Ahmad Hassan, Xiao Zhu, Xu-miao Zhang, Z. Morley Mao, Feng Qian, Zhi-Li Zhang	Mobile	2024
7	MATURE: Multistage Throughput Prediction for Adaptive Video Streaming in Cellular Networks	Killian Nolan, Darijo Raca, Gregory Provan, Ahmed Zahran	Mobile	2024
10	Objective QoE Prediction for Video Streaming Services: A Novel Full-Reference Methodology	Adrián Pérez Aguilar, Mattia Lecci, Almudena Díaz Zayas, Hua Wang	Mobile	2024

Continuação na próxima página

ID	Título do Artigo	Autores	Foco	Ano
11	On the benefits and caveats of exploiting Quality on Demand Network APIs for video streaming	Tuan Tran, Dylan Gageot, Christoph Neumann, Guillaume Bichot, Abderrahmen Tlili, Karim Boutiba, Adlen Ksentini	Mobile	2024
15	A novel mixture of ensemble learning experts for the assessment of the quality of experience	Radhia Elwerghemmi, Dorra Zaibi, Riadh Ksantini, Ridha Bouallegue	Mobile	2024
22	MEC-enabled resource allocation in Internet of Vehicles	Yijing Xiao, Junhui Zhao, Qingmiao Zhang, Yuwen Huang, Haoyu Quan, Lisheng Fan	Web	2024
37	Evaluation of Uplink Video Streaming QoE in 4G and 5G Cellular Networks Using Real-World Measurements	Darius Chmieliauskas; Šarūnas Paulikas	Mobile	2025

selecionados, permitindo visualizar de forma sintética os termos mais recorrentes na literatura analisada. O tamanho relativo das palavras reflete sua frequência de ocorrência, facilitando a identificação dos temas predominantes nos trabalhos incluídos no mapeamento.

Observa-se uma forte predominância dos termos *video* e *streaming*, que aparecem como os conceitos centrais nos títulos analisados. Esse resultado é esperado, considerando o escopo do mapeamento, e confirma que os estudos selecionados estão alinhados ao tema principal da pesquisa.

Além disso, destacam-se termos como *networks* e *mobile*, indicando que grande parte das pesquisas aborda cenários caracterizados por redes heterogêneas e, especialmente, ambientes móveis. Esse resultado evidencia a preocupação recorrente da literatura com os desafios impostos por variações de largura de banda, mobilidade e instabilidade de conexão, fatores críticos para aplicações de transmissão de vídeo.

Outro termo recorrente é QoE, reforçando o papel da experiência do usuário como elemento central na avaliação de serviços de *streaming* de vídeo. Esse destaque demonstra uma tendência da literatura em complementar métricas puramente técnicas de desempenho com indicadores relacionados à percepção de qualidade pelo usuário final.

Também se observa a presença de termos associados a mecanismos de adaptação e controle de transmissão, bem como conceitos ligados a aprendizado de máquina e inteligência computacional, indicando o interesse crescente em abordagens capazes de ajustar dinamicamente a qualidade do vídeo e otimizar o uso de recursos diante das variações das condições de rede e das limitações de dispositivos móveis.

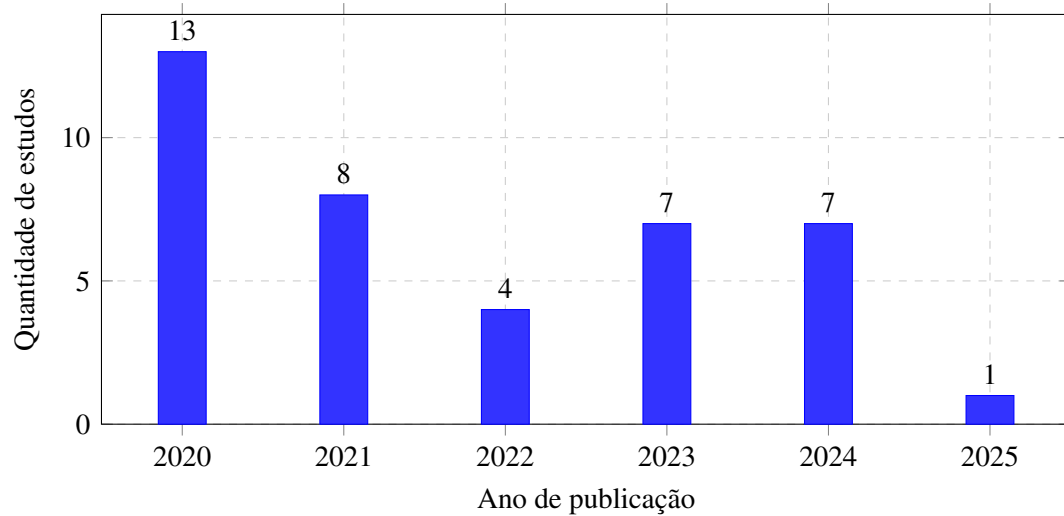
Adicionalmente, os termos mais frequentes observados nos títulos apresentam correspondência direta com as *strings* de busca utilizadas (Tabela 1), reforçando a adequação das estratégias adotadas para a recuperação de trabalhos alinhados ao escopo do mapeamento.

De forma geral, a análise dos títulos indica que os estudos selecionados concentram-se principalmente em desafios relacionados à adaptação da qualidade do vídeo, ao desempenho em redes móveis e à avaliação da experiência do usuário, constituindo a base para as análises detalhadas apresentadas nas próximas seções, nas quais são discutidas as tecnologias empregadas, os desafios técnicos e do ponto de vista do usuário, bem como as soluções e abordagens propostas na literatura.

5.3 Análise dos anos de publicação

A análise dos anos de publicação dos estudos incluídos no mapeamento permite compreender a evolução temporal da produção científica relacionada a aplicações e serviços de *streaming* de vídeo. Essa análise foi realizada com base nos dados apresentados no gráfico da Figura 5, construído a partir das informações consolidadas na Tabela 2.

Figura 5 – Distribuição dos estudos selecionados por ano de publicação



Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se, a partir da visualização gráfica, que os estudos analisados concentram-se majoritariamente no período entre 2020 e 2024, evidenciando a atualidade do tema. O ano de 2020 apresenta o maior número de publicações, seguido pelos anos de 2023 e 2024, que também demonstram volumes expressivos. Esse comportamento indica o interesse contínuo da comunidade científica em investigar desafios e estratégias relacionados à qualidade de serviço e à qualidade de experiência em *streaming* de vídeo.

Esse período coincide com o início da pandemia da COVID-19, declarada em 2020, quando medidas de isolamento social e *lockdown* foram adotadas em diversos países. Nesse contexto, observou-se uma mudança significativa nos hábitos de consumo digital, com aumento expressivo no acesso a conteúdos audiovisuais pela internet. Levantamentos de mercado indicaram que o consumo de vídeos e serviços de *streaming* tornou-se uma das principais atividades online durante o período de isolamento, o que pode ter contribuído tanto para a expansão do uso dessas plataformas quanto para o aumento do interesse científico em tecnologias voltadas ao *streaming* de vídeo (JULIÃO, 2020).

Ressalta-se ainda que os anos de 2020 e 2021, em conjunto, concentram 21 dos 40

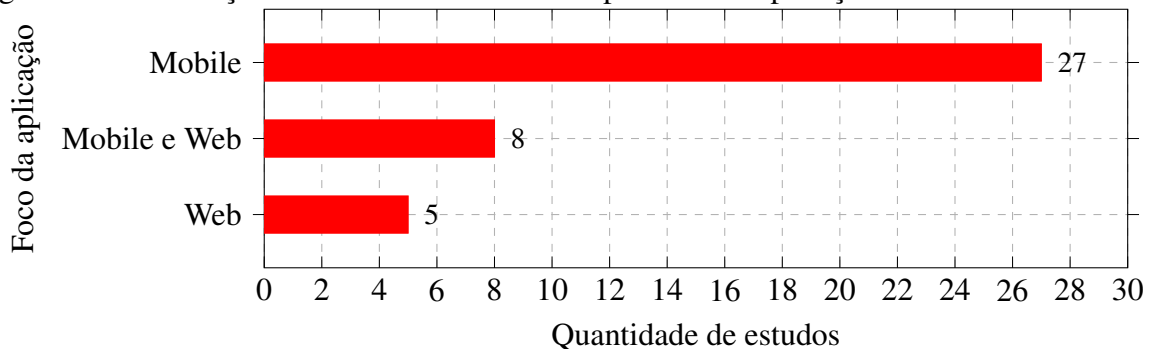
estudos selecionados, o que corresponde a aproximadamente 52,5% do corpus do mapeamento. Esse dado reforça a concentração das publicações nos primeiros anos do período analisado e evidencia a influência de fatores contextuais sobre a produção científica na área.

Nos anos subsequentes, observa-se, a partir do gráfico, uma distribuição relativamente equilibrada das publicações, especialmente entre 2023 e 2024, indicando a consolidação do tema e a continuidade das pesquisas. Esse comportamento sugere a maturação da área e o avanço dos estudos em contextos como redes móveis, aplicações interativas e novas infraestruturas, incluindo redes 5G e computação em borda. De forma geral, a distribuição temporal dos estudos reforça a relevância e a contemporaneidade do escopo adotado neste mapeamento, refletindo o estado recente da literatura.

5.4 Análise do foco das aplicações (Web/Mobile)

A análise do foco das aplicações investigadas nos estudos (Web, Mobile ou ambos) permite compreender em quais ambientes a literatura recente tem concentrado seus esforços. Essa análise foi realizada com base nos dados apresentados no gráfico da Figura 6, construído a partir da consolidação dos 40 artigos incluídos no mapeamento.

Figura 6 – Distribuição dos estudos selecionados por foco da aplicação



Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se, a partir da visualização gráfica, uma clara predominância de estudos voltados ao contexto *mobile*, que correspondem a 27 dos 40 estudos analisados (67,5%). Em comparação, um número menor de trabalhos investiga exclusivamente aplicações web, enquanto uma parcela intermediária considera simultaneamente os contextos web e mobile. Essa distribuição evidencia que os desafios associados ao *streaming* de vídeo são investigados com maior ênfase em cenários caracterizados por redes móveis e condições mais variáveis.

A predominância de estudos com foco em aplicações móveis pode ser explicada pelo

fato de que o ambiente mobile impõe desafios adicionais em relação ao contexto web tradicional. Em redes móveis, as condições de conectividade são altamente dinâmicas, variando em função de fatores como mobilidade do usuário, intensidade do sinal, congestionamento da rede e heterogeneidade das infraestruturas. Estudos como o de (SCHWIND *et al.*, 2020) destacam que o desempenho de serviços de *streaming* de vídeo em redes móveis depende fortemente dessas condições variáveis, tornando o cenário mobile intrinsecamente mais complexo. Nesse contexto, soluções projetadas para lidar com as limitações e instabilidades das redes móveis tendem, de forma geral, a serem aplicáveis também a ambientes web fixos, que apresentam maior estabilidade de rede.

Além dos desafios técnicos inerentes às redes móveis, a predominância de estudos com foco em aplicações mobile também pode ser associada ao papel central que os dispositivos móveis desempenham no consumo de conteúdo audiovisual atualmente. Conforme destacado por (TURKKAN *et al.*, 2022), o *streaming* de vídeo já representa a maior parcela do tráfego da Internet, sendo que o consumo de vídeo em dispositivos móveis correspondia a 59% do tráfego móvel global em 2017, com projeções de alcançar aproximadamente 79% até 2022. Esse cenário reforça a relevância de investigar soluções voltadas ao contexto mobile, uma vez que melhorias nesse ambiente impactam diretamente uma parcela significativa dos usuários e do tráfego de *streaming*.

Dessa forma, a ênfase no contexto mobile observada neste mapeamento, evidenciada pela distribuição apresentada no gráfico, reflete tanto a complexidade técnica desse ambiente quanto sua relevância prática no cenário atual de consumo de serviços de *streaming* de vídeo.

5.5 Questão de pesquisa Q1: Quais as principais tecnologias, arquiteturas ou estratégias utilizadas no desenvolvimento de aplicações e serviços de *streaming* de vídeo web e mobile?

Esta seção apresenta a análise das principais tecnologias, arquiteturas e estratégias abordadas nos estudos incluídos no MSL, de modo a responder à pergunta de pesquisa Q1, que investiga quais abordagens têm sido utilizadas no desenvolvimento de aplicações e serviços de *streaming* de vídeo web e mobile. A análise foi realizada a partir da classificação manual dos 40 artigos selecionados, considerando apenas as tecnologias que desempenham papel central nas propostas, avaliações ou arquiteturas discutidas.

Os identificadores (IDs) apresentados na Tabela 3 correspondem aos estudos listados

Tabela 3 – Tecnologias identificadas nos estudos selecionados

Tecnologia	IDs dos artigos	Total
Quality of Service (QoS) e Quality of Experience (QoE)	2; 3; 5; 6; 7; 9; 10; 11; 12; 14; 15; 16; 17; 20; 21; 22; 23; 24; 25; 26; 27; 28; 29; 30; 31; 32; 33; 34; 35; 36; 37; 38; 39; 40	34
Streaming Adaptativo (ABR / DASH / HLS)	1; 4; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 16; 18; 19; 21; 23; 24; 27; 28; 33; 35; 37	19
Machine Learning / Deep Learning	1; 2; 3; 5; 7; 9; 15; 16; 17; 18; 19; 23; 24; 25; 29; 30; 36; 37; 40	19
Redes Móveis (3G / 4G / 5G)	4; 6; 8; 10; 14; 15; 19; 20; 21; 22; 24; 26; 27; 29; 31; 36; 37; 40	18
Protocolos de Transporte e Aplicação (TCP / QUIC / HTTP)	1; 3; 4; 8; 10; 14; 32; 34	8
Edge Computing / Fog Computing / MEC	1; 12; 18; 20; 27; 30; 39; 40	8
Content Delivery Networks (CDNs)	2; 11; 13; 17; 26; 39	6
Softwarização de Redes (SDN / NFV / Network Slicing)	38	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

na Tabela 2. A inclusão desses IDs tem como objetivo garantir a rastreabilidade entre os artigos analisados e as categorias tecnológicas adotadas, permitindo verificar quais estudos fundamentam cada grupo de tecnologias identificado no mapeamento. Ressalta-se que um mesmo artigo pode abordar mais de uma tecnologia, motivo pelo qual a soma das ocorrências é superior ao número total de estudos analisados.

Observa-se que as categorias *Quality of Service (QoS)* e *Quality of Experience (QoE)*, assim como *Streaming Adaptativo (ABR/ DASH/ HLS)*, são as mais recorrentes, aparecendo em 34 e 19 estudos, respectivamente. Esse resultado evidencia que a literatura recente tem direcionado esforços a estratégias voltadas à avaliação da qualidade percebida pelo usuário e à adaptação dinâmica da qualidade do vídeo frente às variações das condições de rede. Estudos empíricos mostram que métricas de QoE e mecanismos de adaptação são fundamentais para compreender e mitigar impactos de instabilidade de rede sobre a experiência do usuário, especialmente em ambientes reais de uso (SCHWIND *et al.*, 2020). Além disso, modelos baseados em aprendizado profundo têm sido empregados para estimar a QoE de forma contínua e automatizada, demonstrando ganhos de precisão em relação a abordagens tradicionais (DUC *et al.*, 2020).

A presença expressiva de trabalhos que utilizam *Machine Learning* e *Deep Learning*, identificados em 19 artigos, indica uma tendência da literatura em adotar abordagens orientadas a dados como estratégia para lidar com a complexidade do *streaming* de vídeo em ambientes

dinâmicos. Técnicas de aprendizado têm sido utilizadas principalmente para adaptação de bitrate e tomada de decisão em cenários de rede variável, permitindo ajustes mais precisos e responsivos às condições observadas. Soluções baseadas em aprendizado por reforço demonstram, por exemplo, melhorias tanto na eficiência energética quanto na experiência do usuário durante o *streaming* adaptativo (TURKKAN *et al.*, 2022).

As *Redes Móveis* (3G / 4G / 5G) aparecem em 18 estudos, refletindo a relevância desse contexto para a pesquisa em *streaming* de vídeo. Ambientes móveis impõem desafios adicionais relacionados à variabilidade do canal sem fio, mobilidade do usuário e instabilidade da conectividade. Análises de desempenho em redes móveis mostram que essas características impactam diretamente métricas como taxa de *rebuffering*, latência e qualidade percebida, justificando a forte atenção da literatura a esse cenário (SCHWIND *et al.*, 2020). Esse resultado é coerente com a predominância de aplicações móveis observada na análise do foco das aplicações apresentada na Seção 5.4.

Tecnologias associadas à *Edge Computing*, *Fog Computing* e *ME*, assim como aos *Protocolos de Transporte e Aplicação* (TCP / QUIC/ HTTP), aparecem com menor frequência, mas indicam um interesse crescente em arquiteturas distribuídas e no impacto da infraestrutura de rede sobre a qualidade do *streaming*. Estudos que exploram arquiteturas edge-cloud demonstram que a aproximação do processamento ao usuário final pode reduzir latência e melhorar a QoE, especialmente em cenários com alta demanda e heterogeneidade de rede (GAMA *et al.*, 2021).

Por outro lado, tecnologias relacionadas à *Softwarização de Redes* (SDN / NFV / Network Slicing) e a *Content Delivery Networks* (CDNs) aparecem de forma limitada nos estudos analisados. Esse resultado sugere que, apesar do potencial dessas abordagens para controle de tráfego e gerenciamento de recursos, seu uso como elemento central em soluções de *streaming* de vídeo ainda é pouco explorado na literatura recente, configurando uma possível lacuna para investigações futuras.

De forma geral, a análise desta seção evidencia que a literatura tem priorizado, no desenvolvimento de aplicações e serviços de *streaming* de vídeo web e mobile, o uso combinado de tecnologias e estratégias voltadas à adaptação dinâmica da qualidade, à avaliação da experiência do usuário e à aplicação de técnicas inteligentes. Essas abordagens são frequentemente apoiadas por arquiteturas e soluções de infraestrutura projetadas para lidar com a heterogeneidade, a variabilidade e as limitações impostas pelos ambientes de rede.

5.6 Questão de pesquisa Q2: Quais são os principais desafios enfrentados por desenvolvedores ao construir ou manter aplicações de *streaming* de vídeo web ou mobile?

A partir da análise sistemática dos 40 artigos selecionados, previamente classificados conforme os desafios técnicos abordados, foi possível identificar um conjunto recorrente de limitações enfrentadas por desenvolvedores durante a construção e a manutenção de aplicações e serviços de *streaming* de vídeo, especialmente em cenários móveis, ao vivo e de grande escala. Os identificadores dos artigos utilizados nesta seção são derivados diretamente da tabela de classificação apresentada anteriormente, garantindo rastreabilidade entre os estudos analisados e os desafios discutidos. Nesse contexto, esta seção busca responder à Questão de Pesquisa Q2, ao analisar quais desafios têm sido mais recorrentes e relevantes na literatura recente.

Tabela 4 – Desafios técnicos identificados nos estudos selecionados

Desafio técnico	IDs dos artigos	Total
Mobilidade do usuário e mudança de célula (handover)	1; 2; 4; 5; 6; 7; 10; 13; 15; 17; 21; 22; 26; 27; 28; 29; 31; 36; 40	19
Modelagem, previsão e estimação de QoE	1; 2; 10; 11; 12; 15; 16; 18; 19; 20; 23; 24; 28; 31; 38; 39	16
Instabilidade da rede (variação de largura de banda / throughput)	1; 3; 9; 12; 13; 17; 18; 21; 24; 25; 29; 31; 33; 37; 38	15
Adaptação inadequada de bitrate / instabilidade de ABR	3; 4; 5; 6; 9; 10; 16; 20; 21; 24; 28; 31; 39; 40	14
Monitoramento limitado devido a HTTPS / QUIC	2; 7; 8; 10; 11; 14; 17; 19; 20; 23; 25; 33; 37	13
Sobrecarga computacional e custo do uso de ML	1; 4; 6; 14; 15; 16; 21; 23; 26; 30; 34; 35; 40	13
Latência end-to-end (atraso de inicialização e latência em live streaming)	1; 2; 3; 9; 10; 12; 16; 18; 24; 29; 32; 39	12
Consumo de energia em ambientes móveis	6; 8; 14; 25; 30; 35; 40	7
Escalabilidade do sistema e restrições de tempo real	2; 7; 8; 26; 27; 30	6
Heterogeneidade de dispositivos e redes	3; 9; 12; 18; 31; 32	6

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 4 apresenta uma visão consolidada dos desafios mais recorrentes na literatura recente. Os resultados indicam que o desenvolvimento e a operação de aplicações de *streaming* são fortemente influenciados pela variabilidade do ambiente de rede e por desafios relacionados à QoE, com destaque para a mobilidade do usuário. Outros aspectos, como adaptação de bitrate, limitações de monitoramento e custos computacionais de abordagens baseadas em aprendizado de máquina, reforçam a natureza interdependente dos desafios enfrentados nesse

domínio.

Entre os desafios identificados, a instabilidade da rede se apresenta como um fator estrutural, especialmente em redes móveis, onde flutuações de *throughput*, interferência e congestionamento são frequentes. Estudos empíricos conduzidos em redes móveis reais, como os apresentados por Schwind *et al.* (2020), demonstram de forma consistente que essas variações impactam diretamente métricas perceptuais, como *rebuffering* e oscilações de qualidade, afetando a experiência do usuário ao longo da sessão de *streaming*. Essa evidência também ajuda a explicar por que a instabilidade de rede tende a aparecer associada a outros desafios, como decisões de adaptação e variações de latência percebida.

Associada à instabilidade da rede, a latência fim a fim surge como um desafio crítico, particularmente em aplicações de transmissão ao vivo e cenários interativos. Embora mecanismos de *buffering* sejam amplamente empregados para mitigar interrupções, observa-se que tais estratégias introduzem um aumento significativo no atraso percebido pelo usuário. Em transmissões ao vivo, esse compromisso entre estabilidade e responsividade se torna especialmente relevante, reforçando o trade-off entre fluidez e interatividade discutido na literatura.

No contexto do *streaming* adaptativo, a adaptação inadequada de bitrate aparece como um desafio recorrente, indicando que os mecanismos de ABR, apesar de amplamente adotados, ainda apresentam limitações práticas relevantes. Conforme discutido no *survey* de Afzal *et al.* (2023), decisões subótimas de bitrate, frequentemente baseadas em estimativas imprecisas de *throughput*, podem resultar em oscilações excessivas de qualidade e degradação da experiência do usuário, evidenciando que a sensibilidade dos algoritmos de ABR a erros de previsão da capacidade da rede permanece um problema em aberto.

Outro desafio relevante identificado na literatura é a limitação do monitoramento do tráfego de *streaming* em função do uso disseminado de protocolos criptografados, como HTTPS e QUIC. Conforme discutido por Duc *et al.* (2020), a impossibilidade de inspeção profunda de pacotes reduz significativamente a visibilidade sobre métricas tradicionais de QoS, motivando a adoção de abordagens indiretas baseadas em inferência e aprendizado de máquina para estimar a experiência do usuário. Esse cenário indica que, à medida que a criptografia se consolida como padrão, tende a crescer a dependência de modelos de inferência e de métricas indiretas, ampliando a importância de mecanismos robustos de validação e generalização.

A mobilidade do usuário, identificada como o desafio mais frequente na Tabela 4, intensifica de forma significativa os demais problemas analisados. Avaliações empíricas conduzidas

em redes móveis mostram que mudanças frequentes de célula, eventos de *handover* e variações abruptas de capacidade ampliam os efeitos da instabilidade de rede e da latência, tornando o *streaming* particularmente desafiador em cenários altamente dinâmicos, como evidenciado por Chmieliauskas e Paulikas (2025). Assim, a mobilidade atua como um fator multiplicador de complexidade, pois afeta simultaneamente *throughput*, latência e estabilidade das decisões de adaptação.

Esse cenário é ainda mais complexo quando considerada a heterogeneidade de dispositivos e redes, que impõe restrições adicionais relacionadas a capacidades de hardware, resoluções de tela e condições de acesso. Como consequência, soluções generalistas tendem a apresentar desempenho limitado, reforçando a necessidade de mecanismos adaptativos sensíveis ao contexto do usuário e às condições de execução.

Por fim, observa-se que a adoção crescente de aprendizado de máquina para otimização de ABR, predição de QoE e melhoria perceptual do vídeo introduz novos trade-offs técnicos. Conforme discutido por Liu *et al.* (2022), embora essas abordagens apresentem ganhos expressivos de desempenho, modelos mais complexos podem comprometer a autonomia da bateria em dispositivos móveis e aumentar o custo de processamento, exigindo estratégias que combinem processamento local com *offloading* para ambientes de borda ou nuvem. Esse resultado é coerente com o fato de que a sobrecarga computacional e o consumo de energia aparecem como desafios relevantes na Tabela 4, indicando que melhorias de qualidade frequentemente vêm acompanhadas de custos de execução.

Em síntese, a análise dos estudos indica que os principais desafios enfrentados por desenvolvedores no desenvolvimento e na manutenção de aplicações de *streaming* de vídeo web e mobile estão fortemente associados à mobilidade do usuário, à variabilidade das condições de rede, às limitações dos mecanismos de adaptação e à complexidade de modelar e estimar a qualidade de experiência. Ademais, a adoção crescente de técnicas de aprendizado de máquina e arquiteturas distribuídas impõe novos compromissos entre desempenho, custo computacional e eficiência energética, indicando a necessidade de abordagens holísticas para ambientes dinâmicos.

5.7 Questão de pesquisa Q3: Quais problemas são mais frequentemente relatados por usuários dessas aplicações?

Os problemas percebidos pelos usuários finais de aplicações e serviços de *streaming* de vídeo constituem a manifestação direta, do ponto de vista perceptual, das limitações técnicas e arquiteturas discutidas na Seção 5.6. Questões como interrupções na reprodução, atrasos no início do vídeo, degradação da qualidade visual e inconsistência da experiência refletem, para o usuário final, os efeitos combinados de fatores como instabilidade da rede, mobilidade do usuário, latência fim a fim e decisões inadequadas de adaptação de bitrate. Dessa forma, a análise apresentada nesta seção complementa a discussão técnica ao traduzir esses desafios em impactos concretos sobre a qualidade de experiência.

Tabela 5 – Desafios do ponto de vista do usuário identificados nos estudos selecionados

Desafio de usuário	IDs dos artigos	Total
Interrupções no consumo de vídeo	3; 5; 6; 9; 11; 12; 14; 15; 19; 20; 21; 22; 26; 27; 31; 32; 33; 38; 39	19
Experiência inconsistente entre sessões ou dispositivos	7; 9; 11; 13; 17; 19; 21; 24; 27; 31; 34; 35	12
Insatisfação geral com a experiência de vídeo	1; 2; 8; 10; 25; 28; 29; 30; 34; 35; 36; 37	12
Qualidade visual insatisfatória	3; 4; 15; 18; 23; 26; 33; 36; 38; 40	10
Demora para iniciar o vídeo	5; 6; 7; 12; 20; 22; 32; 39	8
Consumo excessivo de recursos do dispositivo	4; 14; 16; 23; 24; 28; 37; 40	8

Esta seção analisa os principais problemas relatados pelos usuários finais durante o consumo de vídeo, a partir da síntese dos 40 estudos selecionados no Mapeamento Sistemático da Literatura. Diferentemente da Seção 5.6, que aborda os desafios sob a ótica técnica e arquitetural, o foco aqui recai sobre os efeitos percebidos diretamente pelos usuários, conforme relatados ou inferidos nos estudos analisados. Assim, esta análise busca responder à Questão de Pesquisa Q3, identificando quais problemas são mais frequentemente reportados no uso de aplicações de *streaming* de vídeo web e mobile.

A Tabela 5 apresenta uma visão consolidada dos desafios do ponto de vista do usuário, indicando a frequência com que cada problema é reportado na literatura e os estudos que os fundamentam. Observa-se que os problemas mais recorrentes estão associados à fluidez da reprodução e à consistência da experiência, indicando que a percepção do usuário tende a ser fortemente influenciada pela estabilidade e previsibilidade do serviço.

O problema mais frequente identificado corresponde às interrupções no consumo de vídeo, presente em 19 dos 40 estudos analisados. Esse desafio engloba eventos como *buffering*, travamentos, pausas inesperadas e congelamentos de imagem após o início da reprodução. Estudos indicam que tais interrupções representam o fator mais prejudicial à QoE, sendo percebidas de forma mais negativa do que variações temporárias de qualidade visual Loseto *et al.* (2023). Embora tecnicamente associadas a desafios como instabilidade da rede, mobilidade do usuário e decisões inadequadas de adaptação, essas interrupções tendem a ser percebidas de forma unificada pelo usuário final, resultando em uma experiência fragmentada e frustrante (XIAO *et al.*, 2020).

A demora para iniciar o vídeo, identificada em oito estudos, constitui outro problema relevante sob a ótica do usuário. Esse desafio ocorre no intervalo entre a ação inicial do usuário e a exibição do primeiro *frame* do vídeo. Trabalhos empíricos mostram que atrasos elevados no tempo de inicialização impactam negativamente a percepção inicial da experiência e podem levar ao abandono precoce da sessão, especialmente em cenários móveis, nos quais a tolerância a tempos de espera prolongados é reduzida (XIAO *et al.*, 2020).

A qualidade visual insatisfatória foi identificada em dez estudos e está associada a situações em que o vídeo é reproduzido sem interrupções relevantes, mas apresenta resolução inferior à esperada, artefatos de compressão ou oscilações frequentes de qualidade. Avaliações subjetivas indicam que, mesmo na ausência de eventos de *stalling*, decisões imprecisas de adaptação podem comprometer a qualidade percebida, afetando negativamente a satisfação do usuário (AGUILAR *et al.*, 2024).

Outro problema recorrente refere-se à experiência inconsistente entre diferentes sessões ou dispositivos, observada em 12 estudos. Esse desafio reflete a falta de previsibilidade do serviço, que pode apresentar bom desempenho em um determinado contexto, mas degradar significativamente em outro. A heterogeneidade de dispositivos, condições de rede e cenários de uso contribui diretamente para essa inconsistência perceptual, comprometendo a confiança do usuário no serviço Loseto *et al.* (2023), Gama *et al.* (2021).

O consumo excessivo de recursos do dispositivo também se destaca como um problema relevante, aparecendo em oito estudos. Esse desafio inclui alto consumo de dados móveis, drenagem acelerada da bateria, uso intenso de CPU ou GPU e aquecimento do dispositivo durante a reprodução do vídeo. Estudos recentes apontam que técnicas avançadas de adaptação e aprendizado de máquina, embora eficazes para melhorar a QoE, frequentemente introduzem custos

computacionais e energéticos perceptíveis, especialmente em dispositivos móveis (TURKKAN *et al.*, 2022; LIU *et al.*, 2022).

Por fim, a insatisfação geral com a experiência de vídeo foi identificada em 12 estudos, sobretudo em trabalhos baseados em avaliações subjetivas ou modelagem de QoE. Nesses casos, a percepção negativa do usuário não é atribuída a um único problema isolado, mas à combinação de múltiplos fatores técnicos e contextuais, reforçando o caráter multidimensional da experiência em serviços de *streaming* de vídeo.

De forma geral, a análise dos estudos indica que os problemas mais frequentemente relatados pelos usuários de aplicações de *streaming* de vídeo web e mobile concentram-se em um conjunto recorrente de impactos perceptuais, como interrupções na reprodução, atrasos no início do vídeo, degradação da qualidade visual, inconsistência da experiência entre sessões ou dispositivos e consumo excessivo de recursos do dispositivo. Esses resultados evidenciam que, apesar da diversidade de desafios técnicos subjacentes, a experiência do usuário tende a ser afetada por um número limitado de problemas perceptíveis, reforçando a importância de alinhar decisões técnicas e arquiteturais às expectativas e limitações reais dos usuários finais.

5.8 Questão de pesquisa Q4: Quais abordagens têm sido propostas para lidar com os problemas dos desenvolvedores e usuários?

Esta seção analisa as principais abordagens e soluções propostas na literatura para mitigar os problemas enfrentados por desenvolvedores e usuários de aplicações de *streaming* de vídeo. A análise foi conduzida a partir da classificação dos 40 artigos incluídos no Mapeamento Sistemático da Literatura, considerando as abordagens explicitamente apresentadas como soluções para os desafios técnicos e perceptuais discutidos nas seções anteriores.

A Tabela 6 apresenta uma visão consolidada das estratégias adotadas nos estudos analisados, indicando que as soluções propostas tendem a atuar diretamente sobre os fatores responsáveis pela degradação da experiência de *streaming*, como variabilidade das condições de rede, limitações dos mecanismos de adaptação, dificuldades de monitoramento e impacto sobre a experiência do usuário. Observa-se ainda que uma mesma tecnologia pode assumir papéis distintos na literatura, atuando ora como componente de infraestrutura, ora como elemento central de uma solução, a depender do contexto de aplicação.

Tabela 6 – Abordagens e soluções identificadas nos estudos selecionados

Soluções e Abordagens	IDs dos artigos	Total
Adaptação Sensível à Rede	3; 5; 6; 7; 8; 9; 11; 13; 15; 20; 21; 25; 26; 27; 31; 34; 36; 37; 38	19
Monitoramento e Predição de QoE	4; 5; 12; 14; 15; 16; 17; 19; 21; 25; 26; 29; 30; 31; 32; 33; 37; 39	18
Adaptação de Bitrate (ABR / Adaptive Streaming)	2; 3; 6; 11; 16; 21; 24; 25; 27; 29; 31; 33; 34	13
Machine Learning / Deep Learning aplicado ao Streaming	4; 5; 6; 10; 12; 13; 15; 17; 25; 28; 32; 35; 39	13
Edge Computing / MEC para Streaming de Vídeo	1; 5; 13; 17; 18; 20; 26; 30; 37	9
Caching e Distribuição de Conteúdo (CDN)	1; 9; 28; 35	4

A abordagem mais recorrente identificada corresponde à adaptação sensível à rede, presente em 19 dos 40 estudos analisados. Essas propostas ajustam o comportamento do *streaming* com base em informações explícitas da rede, como largura de banda disponível, latência, *jitter*, perdas de pacotes e níveis de congestionamento. Tal abordagem está diretamente relacionada aos desafios técnicos mais frequentes, especialmente instabilidade da rede e mobilidade do usuário, e busca reduzir problemas percebidos pelos usuários, como interrupções na reprodução e inconsistência da experiência. Estudos empíricos demonstram que a incorporação de métricas de rede em tempo real permite decisões de adaptação mais estáveis e alinhadas às variações do ambiente Schwind *et al.* (2020).

Outra abordagem amplamente explorada é o monitoramento e a predição da qualidade de experiência, identificada em 18 estudos. Nesses trabalhos, a experiência percebida pelo usuário é tratada como métrica central, orientando decisões de adaptação e controle do *streaming*. As soluções incluem modelos objetivos e subjetivos de QoE, bem como abordagens preditivas que utilizam métricas técnicas e contextuais para estimar a satisfação do usuário ao longo da sessão (AGUILAR *et al.*, 2024). Embora apresentem ganhos significativos na correlação com a percepção humana, essas abordagens enfrentam desafios relacionados à generalização dos modelos e à limitação de observabilidade em cenários de tráfego criptografado (ORSOLIC; SKORIN-KAPOV, 2020).

As soluções baseadas em adaptação de bitrate (ABR) aparecem em 13 estudos e concentram-se na seleção dinâmica da taxa de bits do vídeo durante a reprodução. Essas abordagens buscam equilibrar qualidade visual, estabilidade do *playback* e ocorrência de interrupções, utilizando informações como nível de *buffer*, estimativas de *throughput* ou combinações desses

fatores. Trabalhos recentes evidenciam avanços na incorporação de aspectos adicionais, como eficiência energética e predição multiestágio de vazão (TURKKAN *et al.*, 2022), embora os algoritmos ABR ainda apresentem sensibilidade a erros de estimativa em ambientes altamente dinâmicos.

O uso de técnicas de *Machine Learning* e *Deep Learning* é identificado em 13 estudos como mecanismo de suporte a diferentes abordagens de *streaming*. Essas técnicas são empregadas principalmente para predição de condições de rede, estimação de QoE, tomada de decisão em algoritmos ABR e otimização de recursos. De modo geral, o aprendizado de máquina não é apresentado como solução isolada, mas como elemento habilitador de estratégias adaptativas mais sofisticadas Antaris *et al.* (2021).

As abordagens baseadas em *Edge Computing* e *Multi-access Edge Computing (MEC)*, identificadas em nove estudos, exploram a descentralização do processamento e da tomada de decisão para nós mais próximos do usuário final. Essas soluções visam reduzir a latência fim a fim, melhorar a escalabilidade do sistema e responder de forma mais ágil às variações das condições de rede, sendo particularmente relevantes em cenários de *streaming* interativo e aplicações sensíveis à latência (LIU *et al.*, 2022; GAMA *et al.*, 2021).

Por fim, as abordagens centradas em *caching* e distribuição de conteúdo (CDN) aparecem de forma menos recorrente, sendo identificadas em apenas quatro estudos. Esses trabalhos exploram políticas de cache, seleção de servidores e topologia da CDN como mecanismos para reduzir latência, congestionamento e carga na rede. Apesar da baixa incidência, os resultados indicam que estratégias inteligentes de cache podem impactar positivamente a QoE, especialmente em cenários de alta demanda Song *et al.* (2023).

De forma geral, a análise evidencia que as soluções propostas na literatura tendem a adotar abordagens integradas, combinando múltiplas estratégias para lidar simultaneamente com desafios técnicos e problemas perceptuais. As propostas mais recorrentes articulam adaptação sensível à rede, mecanismos orientados à qualidade de experiência, algoritmos de adaptação de bitrate e técnicas de aprendizado de máquina, frequentemente apoiadas por arquiteturas distribuídas baseadas em *edge computing*. Esse conjunto de abordagens reflete a complexidade do *streaming* de vídeo moderno e a necessidade de soluções capazes de atender, de forma conjunta, às demandas de desenvolvedores e usuários em ambientes dinâmicos e heterogêneos.

6 TRABALHOS RELACIONADOS

A Qualidade de Experiência tem sido amplamente adotada como métrica central na avaliação de serviços de *streaming* de vídeo, por considerar diretamente a percepção do usuário final em relação à qualidade do serviço prestado. Nesse contexto, diversos trabalhos da literatura investigam os fatores que influenciam a QoE, bem como estratégias para sua avaliação e otimização em sistemas de *streaming* adaptativo sobre HTTP.

Um dos estudos mais abrangentes sobre o tema é apresentado por Seufert *et al.* (2014), que realiza uma análise detalhada da QoE em *HTTP Adaptive Streaming*. Os autores organizam os fatores de influência em categorias relacionadas à rede, ao cliente, ao conteúdo e ao contexto do usuário, além de discutirem modelos de avaliação subjetiva e objetiva. Apesar da abrangência, o estudo concentra-se principalmente na caracterização desses fatores, não explorando em profundidade mecanismos práticos de adaptação ou estratégias de implementação em cenários altamente dinâmicos, como redes móveis e ambientes com suporte a *edge computing*.

No que se refere às técnicas de adaptação de taxa de bits, Kua *et al.* (2017) realizam uma revisão sistemática das abordagens propostas para *streaming* dinâmico sobre HTTP. Os autores classificam os algoritmos em métodos baseados em *throughput*, baseados em buffer e híbridos, destacando vantagens e limitações de cada categoria. O estudo evidencia que abordagens puramente baseadas em *throughput* tendem a apresentar instabilidade em ambientes com alta variabilidade de rede, enquanto métodos baseados em buffer oferecem maior robustez, porém com menor capacidade de antecipação de degradações iminentes.

De forma complementar, o *survey* apresentado por Bentaleb *et al.* (2018) amplia essa análise ao incluir algoritmos sensíveis à QoE e abordagens baseadas em aprendizado de máquina. Os autores discutem como métricas de QoE podem ser incorporadas ao processo de adaptação e analisam técnicas baseadas em aprendizado por reforço profundo para tomada de decisão em ambientes complexos. Embora esses métodos apresentem avanços significativos, o estudo aponta limitações relacionadas ao custo computacional, à complexidade de treinamento e à dificuldade de generalização para cenários reais com restrições de recursos.

No contexto da medição e avaliação da QoE, o trabalho apresentado por Juluri *et al.* (2015) oferece uma análise abrangente dos métodos utilizados em serviços de vídeo sob demanda. Os autores discutem métricas objetivas e subjetivas, bem como metodologias de coleta de dados baseadas em medições ativas, passivas e abordagens de crowdsourcing. Apesar de seu foco em vídeo sob demanda, muitas das métricas e metodologias apresentadas são aplicáveis

a cenários de *streaming* adaptativo. No entanto, o estudo não aborda de forma aprofundada a integração dessas métricas com mecanismos de adaptação em tempo real ou sua aplicação em ambientes móveis altamente dinâmicos.

De maneira geral, os trabalhos analisados demonstram que a literatura apresenta uma base consolidada no que diz respeito à caracterização da QoE, às estratégias de adaptação de taxa de bits e à avaliação da experiência do usuário em serviços de *streaming* de vídeo. Entretanto, observa-se que esses aspectos são frequentemente tratados de forma isolada, seja com foco predominante na definição e medição de métricas de QoE (JULURI *et al.*, 2015; SEUFERT *et al.*, 2014), seja com ênfase na proposição e avaliação de algoritmos de adaptação específicos (KUA *et al.*, 2017; BENTALEB *et al.*, 2018). Essa fragmentação dificulta uma visão integrada dos fatores técnicos e perceptuais que impactam a experiência do usuário em cenários reais, caracterizados por alta variabilidade de rede e heterogeneidade de dispositivos.

Diferentemente dos trabalhos relacionados apresentados, o presente estudo tem como objetivo analisar de forma integrada as abordagens existentes para *streaming* adaptativo de vídeo, considerando simultaneamente tecnologias, estratégias de adaptação e aspectos relacionados à QoE. Tal objetivo está diretamente alinhado às Questões de Pesquisa definidas no Mapeamento Sistemático da Literatura, que investigam quais tecnologias e arquiteturas têm sido empregadas, quais métricas de QoE são consideradas relevantes e de que maneira técnicas de aprendizado de máquina, bem como infraestruturas como *edge computing* e MEC, têm sido exploradas para aprimorar a experiência do usuário em ambientes predominantemente móveis.

Ao organizar, classificar e analisar criticamente os estudos selecionados a partir dessas Questões de Pesquisa, este trabalho busca identificar tendências, lacunas e desafios ainda em aberto na literatura. Dessa forma, a pesquisa complementa os *surveys* consolidados da área (JULURI *et al.*, 2015; SEUFERT *et al.*, 2014; KUA *et al.*, 2017; BENTALEB *et al.*, 2018), oferecendo uma visão estruturada e orientada às Questões de Pesquisa sobre o estado da arte em *streaming* adaptativo de vídeo com foco em QoE.

A Tabela 7 apresenta um comparativo entre os principais trabalhos relacionados identificados na literatura e o presente estudo. As colunas da tabela sintetizam informações referentes à metodologia adotada, ao objeto de estudo e às principais contribuições de cada trabalho, enquanto as linhas correspondem aos estudos analisados. Essa comparação permite evidenciar as diferenças de escopo e abordagem entre os trabalhos existentes, bem como destacar a contribuição do presente estudo no contexto da pesquisa em *streaming* adaptativo de vídeo

com foco em Qualidade de Experiência.

Tabela 7 – Comparativo de trabalhos relacionados

Trabalho	Metodologia	Objeto de estudo	Resultados / contribuições
Presente estudo	Mapeamento sistemático	Aplicações e serviços de <i>streaming</i> de vídeo em plataformas web e mobile	Síntese integrada do estado da arte em <i>streaming</i> de vídeo com foco em QoE
Seufert <i>et al.</i> (2014)	Survey	QoE em HTTP Adaptive Streaming	Classificação dos fatores de influência e métricas de QoE em streaming adaptativo
Juluri <i>et al.</i> (2015)	Survey	Medição da QoE em serviços de vídeo sob demanda	Levantamento de métricas e metodologias para medição da QoE em VoD
Kua <i>et al.</i> (2017)	Revisão sistemática	Algoritmos de adaptação de taxa de bits (ABR)	Classificação e análise de algoritmos de adaptação de taxa de bits
Bentaleb <i>et al.</i> (2018)	Survey	Streaming adaptativo sensível à QoE	Análise de algoritmos de adaptação sensíveis à QoE

Fonte: Próprio autor.

7 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho realizou um Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL) com foco em aplicações e serviços de *streaming* de vídeo em plataformas web e mobile, com o objetivo de identificar tecnologias recorrentes, desafios técnicos e do ponto de vista do usuário, bem como as principais abordagens propostas para mitigá-los. A partir da execução do protocolo metodológico e do processo de seleção, foi consolidado um conjunto final de 40 estudos primários publicados entre os anos de 2020 e 2025, os quais fundamentaram as análises conduzidas ao longo deste trabalho.

No que se refere à primeira questão de pesquisa (Q1), relacionada às tecnologias, arquiteturas e estratégias adotadas, os resultados indicam que a literatura recente concentra-se principalmente em mecanismos de *streaming adaptativo*, como ABR, DASH e HLS, aliados a técnicas de avaliação e monitoramento de QoE. Observou-se também um crescimento significativo do uso de técnicas de *Machine Learning* e *Deep Learning*, aplicadas à predição de *throughput*, à tomada de decisão em algoritmos de adaptação de bitrate e à estimação da QoE. Além disso, destaca-se a presença recorrente de estudos voltados a redes móveis (3G/4G/5G) e arquiteturas baseadas em *edge computing* e MEC, refletindo a necessidade de lidar com ambientes dinâmicos e sensíveis à latência.

Em relação à segunda questão de pesquisa (Q2), que trata dos desafios enfrentados por desenvolvedores, os estudos analisados evidenciam como principais dificuldades a instabilidade das condições de rede, caracterizada por variações de banda e *throughput*, a mobilidade do usuário e os desafios associados a *handovers*, bem como limitações dos algoritmos de adaptação de bitrate, como oscilações frequentes e decisões subótimas. Soma-se a isso a latência fim a fim, especialmente crítica em cenários de transmissão ao vivo. Adicionalmente, emergem desafios transversais relevantes, como a limitação de observabilidade e monitoramento em virtude do uso crescente de tráfego criptografado (HTTPS e QUIC), além da sobrecarga computacional e do consumo energético associados à aplicação de modelos de aprendizado de máquina, principalmente em dispositivos móveis.

No que diz respeito à terceira questão de pesquisa (Q3), relacionada aos problemas percebidos pelos usuários finais, os resultados mostram que diversos desafios técnicos convergem para um conjunto reduzido de problemas perceptíveis. Entre eles, destacam-se interrupções na reprodução de vídeo (*buffering* ou *stalling*), atrasos no início da reprodução (*startup delay*), degradação da qualidade visual e inconsistência na experiência entre diferentes sessões e disposi-

tivos. Também foram identificados impactos práticos relevantes, como consumo excessivo de dados e bateria, aquecimento do dispositivo e uma percepção geral de insatisfação com o serviço, reforçando o caráter multidimensional da QoE.

Por fim, ao responder à quarta questão de pesquisa (Q4), observou-se que a literatura tende a propor soluções baseadas em estratégias combinadas. As abordagens mais recorrentes envolvem adaptação sensível às condições de rede (*network-aware streaming*), monitoramento e predição da QoE, aprimoramentos em algoritmos de adaptação de bitrate e o uso de técnicas de aprendizado de máquina como mecanismos habilitadores para decisões mais responsivas. Arquiteturas baseadas em *edge computing* e MEC aparecem como alternativas promissoras para redução de latência e aumento da capacidade de reação do sistema, enquanto abordagens centradas em CDN e mecanismos de *caching*, embora relevantes para escalabilidade e proximidade do conteúdo, surgem com menor incidência como foco central das soluções propostas.

De forma geral, os resultados do mapeamento evidenciam que não existe uma solução única capaz de resolver todos os problemas associados ao *streaming* de vídeo. As melhorias mais consistentes dependem de uma abordagem holística, que integre aspectos de rede, arquitetura de sistemas, contexto de uso e percepção do usuário. Nesse sentido, este trabalho contribui ao organizar e sintetizar evidências recentes sobre o tema, oferecendo um panorama estruturado que pode apoiar tanto pesquisadores quanto profissionais interessados no projeto, avaliação e otimização de serviços de *streaming* de vídeo com foco na qualidade percebida.

Apesar das contribuições apresentadas, este estudo possui limitações. As buscas foram realizadas em um conjunto específico de bases de dados e sob restrições temporais e linguísticas, o que pode ter levado à exclusão de trabalhos relevantes fora do recorte adotado. Além disso, embora o processo de seleção tenha seguido critérios bem definidos, decisões tomadas durante as etapas de triagem e leitura completa podem introduzir algum nível de viés. Por se tratar de um mapeamento sistemático, os resultados obtidos possuem caráter de síntese e categorização, não substituindo análises experimentais profundas ou comparações quantitativas diretas entre técnicas.

Como direções para trabalhos futuros, destaca-se a necessidade de estudos empíricos conduzidos em cenários reais, especialmente em ambientes móveis e transmissões ao vivo, considerando simultaneamente mobilidade, variabilidade de rede e diferentes perfis de usuários. Também se mostra relevante avançar em métodos de inferência e monitoramento de QoE em tráfego criptografado, bem como investigar algoritmos de adaptação de bitrate sob uma

perspectiva de otimização multiobjetivo, incorporando critérios como consumo energético, custo computacional e uso de dados. Ademais, há espaço para aprofundar aspectos práticos da aplicação de arquiteturas edge e MEC, incluindo orquestração, escalabilidade e viabilidade operacional, assim como para explorar de forma mais ampla o uso de CDNs e estratégias de caching inteligentes orientadas à QoE. Por fim, a padronização de métricas e protocolos experimentais pode contribuir significativamente para facilitar a comparação entre estudos e impulsionar a evolução da área.

REFERÊNCIAS

- AFZAL, S.; TESTONI, V.; ROTHENBERG, C. E.; KOLAN, P.; BOUAZIZI, I. A holistic survey of multipath wireless video streaming. **Journal of Network and Computer Applications**, Elsevier, v. 212, p. 103581, 2023.
- AGUILAR, A. P.; LECCI, M.; ZAYAS, A. D.; MADUEÑO, G. C.; WANG, H. An empirical study of qoe estimation for video streaming services using crowdsourcing. In: IEEE. **2024 IEEE 35th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)**. [S.l.], 2024. p. 1–6.
- ANISA, N.; TJHIN, V. U. Factors affecting customer loyalty moderated by switching cost on the customer satisfaction of digital streaming services. **Journal of System and Management Sciences**, v. 13, n. 1, p. 1–20, 2023.
- ANTARIS, S.; RAFAILIDIS, D.; GIDZIJAUSKAS, S. A deep graph reinforcement learning model for improving user experience in live video streaming. In: IEEE. **2021 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)**. [S.l.], 2021. p. 1787–1796.
- BENTALEB, A.; TAANI, B.; BEGEN, A. C.; TIMMERER, C.; ZIMMERMANN, R. A survey on bitrate adaptation schemes for streaming media over http. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, IEEE, v. 21, n. 1, p. 562–585, 2018.
- CHEN, Y.; WU, K.; ZHANG, Q. From qos to qoe: A tutorial on video quality assessment. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, IEEE, v. 17, n. 2, p. 1126–1165, 2014.
- CHMIELIAUSKAS, D.; PAULIKAS, Š. Evaluation of uplink video streaming qoe in 4g and 5g cellular networks using real-world measurements. **IEEE Access**, IEEE, 2025.
- CISCO. **Cisco Annual Internet Report (2018–2023) White Paper**. 2020. Acesso em: 20 jun. 2025. Disponível em: <<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>>.
- DUC, T. N.; MINH, C. T.; XUAN, T. P.; KAMIOKA, E. Convolutional neural networks for continuous qoe prediction in video streaming services. **IEEE Access**, IEEE, v. 8, p. 116268–116278, 2020.
- GAMA, E. S.; ARAÚJO, L. O. N. D.; IMMICH, R.; BITTENCOURT, L. F. Video streaming analysis in multi-tier edge-cloud networks. In: IEEE. **2021 8th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud)**. [S.l.], 2021. p. 19–25.
- JADHAV, Y.; JAGTAP, O.; KADAM, S.; RAUL, N. Efficient media delivery: Aws cloud and the art of adaptive bitrate streaming. In: IEEE. **2024 International Conference on Emerging Innovations and Advanced Computing (INNOCOMP)**. [S.l.], 2024. p. 602–608.
- JIN, S.; ZHU, R.; HASSAN, A.; ZHU, X.; ZHANG, X.; MAO, Z. M.; QIAN, F.; ZHANG, Z.-L. Oasis: Collaborative neural-enhanced mobile video streaming. In: **Proceedings of the 15th ACM Multimedia Systems Conference**. [S.l.: s.n.], 2024. p. 45–55.
- JULIÃO, H. **Consumo de vídeo é principal atividade na Internet durante pandemia, diz pesquisa**. 2020. Disponível em: <<https://teletime.com.br/20/08/2020/consumo-de-video-e-principal-atividade-na-internet-durante-pandemia-diz-pesquisa/>>.

- JULURI, P.; TAMARAPALLI, V.; MEDHI, D. Measurement of quality of experience of video-on-demand services: A survey. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, IEEE, v. 18, n. 1, p. 401–418, 2015.
- KITCHENHAM, B.; BRERETON, O. P.; BUDGEN, D.; TURNER, M.; BAILEY, J.; LINKMAN, S. Systematic literature reviews in software engineering—a systematic literature review. **Information and software technology**, Elsevier, v. 51, n. 1, p. 7–15, 2009.
- KUA, J.; ARMITAGE, G.; BRANCH, P. A survey of rate adaptation techniques for dynamic adaptive streaming over http. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, IEEE, v. 19, n. 3, p. 1842–1866, 2017.
- LIU, Y.; HAN, B.; QIAN, F.; NARAYANAN, A.; ZHANG, Z.-L. Vues: Practical mobile volumetric video streaming through multiview transcoding. In: **Proceedings of the 28th Annual International Conference on Mobile Computing And Networking**. [S.l.: s.n.], 2022. p. 514–527.
- LOSETO, G.; SCIOSCIA, F.; RUTA, M.; GRAMEGNA, F.; BILENCI, I. Semantic-based adaptation of quality of experience in web multimedia streams. In: **Proceedings of the 38th ACM/SIGAPP Symposium on Applied Computing**. [S.l.: s.n.], 2023. p. 1821–1830.
- MUX. **Quality of Experience (QoE) in Video Streaming**. 2024. <<https://www.mux.com/articles/qoe>>. Acesso em: 20 jun. 2025.
- ORSOLIC, I.; SKORIN-KAPOV, L. A framework for in-network qoe monitoring of encrypted video streaming. **IEEE access**, IEEE, v. 8, p. 74691–74706, 2020.
- PERONI, L.; GORINSKY, S. An end-to-end pipeline perspective on video streaming in best-effort networks: a survey and tutorial. **ACM Computing Surveys**, ACM New York, NY, 2024.
- SCHWIND, A.; MIDOGLU, C.; ALAY, Ö.; GRIWODZ, C.; WAMSER, F. Dissecting the performance of youtube video streaming in mobile networks. **International Journal of Network Management**, Wiley Online Library, v. 30, n. 3, p. e2058, 2020.
- SEUFERT, M.; EGGER, S.; SLANINA, M.; ZINNER, T.; HOSSFELD, T.; TRAN-GIA, P. A survey on quality of experience of http adaptive streaming. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, IEEE, v. 17, n. 1, p. 469–492, 2014.
- SONG, Z.; CHEN, K.; SARDA, N.; ALTINBÜKEN, D.; BREVDO, E.; COLEMAN, J.; JU, X.; JURCZYK, P.; SCHOOLER, R.; GUMMADI, R. {HALP}: Heuristic aided learned preference eviction policy for {YouTube} content delivery network. In: **20th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI 23)**. [S.l.: s.n.], 2023. p. 1149–1163.
- TURKKAN, B. O.; DAI, T.; RAMAN, A.; KOSAR, T.; CHEN, C.; BULUT, M. F.; ZOLA, J.; SOW, D. Greenabr: Energy-aware adaptive bitrate streaming with deep reinforcement learning. In: **Proceedings of the 13th ACM Multimedia Systems Conference**. [S.l.: s.n.], 2022. p. 150–163.
- XIAO, A.; HUANG, X.; WU, S.; CHEN, H.; MA, L. Traffic-aware rate adaptation for improving time-varying qoe factors in mobile video streaming. **IEEE Transactions on Network Science and Engineering**, IEEE, v. 7, n. 4, p. 2392–2405, 2020.

ZHAO, Y.; ZHOU, A.; CHEN, X. Reducing latency in interactive live video chat using dynamic reduction factor. In: IEEE. **2020 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)**. [S.l.], 2020. p. 1–6.

ANEXO A – PROTOCOLO DE REVISÃO DE LITERATURA

A seguir, encontra-se o protocolo de revisão da literatura extraído diretamente da ferramenta Parsif.al.

Mapeamento sistemático de Streamings de vídeo Web e Mobile

Gabriel Vasconcelos Santos, Evilasio Costa Junior

Este mapeamento sistemático tem como foco a análise da literatura científica relacionada a aplicações e serviços de streaming de vídeo, tanto em plataformas web quanto mobile. Busca-se identificar os principais desafios enfrentados por desenvolvedores e usuários, compreender os impactos desses problemas na experiência e na qualidade dos serviços oferecidos, e investigar soluções propostas ou adotadas na prática.

Planning

Identificar os principais desafios e problemas enfrentados por desenvolvedores usuários de serviços e aplicações de streaming de vídeo em plataformas web e mobile, e encontrar soluções viáveis para tais problemas.

PICOC

- **Population:** Aplicações e serviços de streaming de vídeo, serviços de vídeo sob demanda (VoD), live streaming
- **Intervention:** análise comparativa, avaliações, estudos de caso, experiência de usuário
- **Comparison:**
- **Outcome:** desafios, limitações, insights, feedback, arquiteturas, estratégias
- **Context:** Web, Mobile

Research Questions

1. Quais as principais tecnologias, arquiteturas ou estratégias utilizadas no desenvolvimento de aplicações e serviços de streaming de vídeo web e mobile?
2. Quais são os principais desafios enfrentados por desenvolvedores ao construir ou manter aplicações de streaming de vídeo web ou mobile?
3. Quais problemas são mais frequentemente relatados por usuários dessas aplicações?
4. Quais abordagens têm sido propostas para lidar com os problemas dos desenvolvedores e usuários?

Keywords and Synonyms

Keyword

Synonyms

Search String

((application or service) and (streaming and video))

and (analysis or comparison or evaluation or compared or evaluated)

and (Challenges or insights) and (web or mobile)

SCOPUS:

("video streaming" OR "video-on-demand" OR "VoD" OR "live streaming" OR "multimedia streaming" OR "streaming service" OR "streaming application")

AND ("evaluation" OR "case study" OR "analysis" OR "user experience")

AND ("challenges" OR "issues" OR "problems" OR "limitations" OR "feedback" OR "architecture" OR "strategy")

AND ("web" OR "mobile" OR "mobile application" OR "Android" OR "iOS")

TITLE-ABS-KEY(("video streaming" OR "video-on-demand" OR "VoD" OR "live streaming" OR "multimedia streaming")

AND ("evaluation" OR "case study" OR "analysis" OR "user experience")

AND ("challenges" OR "issues" OR "problems" OR "limitations" OR "feedback" OR "architecture" OR "strategy")

AND ("web" OR "mobile" OR "mobile application" OR "Android" OR "iOS"))

AND PUBYEAR > 2019 AND PUBYEAR < 2026

AND (LIMIT-TO (SUBJAREA,"COMP") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"ENGI"))

AND (LIMIT-TO (LANGUAGE,"Portuguese") OR LIMIT-TO (LANGUAGE,"English"))

TITLE-ABS-KEY (("video streaming" OR "video-on-demand" OR "VoD")

AND ("evaluation" OR "case study" OR "analysis" OR "user experience")

AND ("challenges" OR "issues" OR "problems" OR "limitations" OR "feedback" OR "architecture" OR "strategy")

AND ("web" OR "mobile" OR "mobile application" OR "Android" OR "iOS"))

AND PUBYEAR > 2019 AND PUBYEAR < 2026

AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "COMP") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI"))

AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "Portuguese") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "English"))

AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "cp") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar"))

ACM DIGITAL LIBRARY:

("video streaming" OR "video-on-demand")

AND ("case study" OR "user experience" OR "evaluation")

AND ("challenges" OR "limitations" OR "feedback")

AND ("mobile application" OR "Android" OR "iOS")

("video streaming" OR "video-on-demand" OR "VoD")

AND ("evaluation" OR "case study" OR "analysis" OR "user experience")

AND ("challenges" OR "issues" OR "problems" OR "limitations" OR "feedback" OR "architecture" OR "strategy")

AND ("web" OR "mobile" OR "mobile application" OR "Android" OR "iOS")

SCIENCE DIRECT:

("video streaming" OR VoD)

AND ("user experience" OR "case study")

AND ("problems" OR "architecture")

AND ("mobile application" OR Android OR iOS)

("video streaming" OR VoD)

AND ("user experience" OR "case study")

AND ("challenges" OR "problems" OR "architecture")

AND ("mobile application" OR "web application")

Sources

- ACM Digital Library (<http://portal.acm.org>)
- Science@Direct (<http://www.sciencedirect.com>)
- Scopus (<http://www.scopus.com>)

Selection Criteria

Inclusion Criteria:

- Artigos da área de computação, engenharia e afins
- Artigos que apresentem: desafios, limitações, insights, feedback, arquiteturas, estratégias
- Artigos sobre streaming de vídeo

Exclusion Criteria:

- Artigos com mais de 5 anos
- Artigos duplicados
- Artigos que não estão disponíveis para acesso usando o proxy da universidade
- Artigos que não sejam inglês ou português
- Revisões de literatura
- Short papers

Conducting

Imported Studies

- **ACM Digital Library:** 244
- **Science@Direct:** 244
- **Scopus:** 369