Journal of Health Informatics

J Health Inform. 2026;18:e1873
DOI: https://doi.org/10.59681/2175-4411.v18.iEspecial.2026.1873

ARTIGO COMPLETO
CBIS 2026

Solução de telementoria e acompanhamento remoto e em tempo real de procedimentos para educação médica

Telementoring solution for remote, real-time monitoring of procedures for medical education

Weber Shoity Resende Takaki[1] ✉, Huei Diana Lee[2], Newton Spolaôr[2], Alexandre Peiter Ferraz[2], Claudio Saddy Rodrigues Coy[3], Feng Chung Wu[2]

ORCID: 0000-0002-3540-5732 · 0000-0002-2189-1047 · 0000-0003-0748-3693 · 0009-0000-4641-7707 · 0000-0002-0916-4138 · 0000-0001-6032-9260

[1] Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu (PR), Brasil.
[2] Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Foz do Iguaçu (PR), Brasil.
[3] Universidade Estadual de Campinas, Campinas (SP), Brasil.

FICHA DO ARTIGO

TIPO
Artigo completo · CBIS 2026

IDENTIFICADOR
e1873

DOI
10.59681/2175-4411.v18.iEspecial.2026.1873

RECEBIDO
17/05/2026

APROVADO
20/07/2026

PROCESSO DE AVALIAÇÃO
Double Blind Review

EDITOR RESPONSÁVEL
Juliano de Souza Gaspar

ACESSO
Aberto, CC BY 4.0

AUTOR CORRESPONDENTE
Weber Shoity Resende Takaki
webertakaki@gmail.com

LICENÇA

Este é um artigo publicado em acesso aberto sob a licença Creative Commons CC BY 4.0, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o trabalho original seja corretamente citado.

CC BY 4.0

RESUMO

Objetivo: Apresentar a arquitetura e os recursos de sistema para telementoria em saúde. **Método:** A solução desenvolvida é fundamentada em uma arquitetura cliente-servidor diferenciada. Enquanto o cliente emissor compartilha um procedimento, um grupo de clientes participantes acompanham o exame. O servidor de aplicações web gerencia todos os componentes arquiteturais, incluindo o servidor de mídia e o de banco de dados. Uma avaliação experimental do sistema com transmissão segura de um vídeo em tempo real, em dois cenários distintos, foi realizada com apoio de um teste estatístico. **Resultados:** A solução foi considerada viável e estável, exibindo potencial para uso em instituições de ensino públicas e privadas. A avaliação experimental indicou que a transmissão da mídia alcançou uma taxa de quadros por segundo média próxima da ideal. Os recursos de videochamada multiponto e telestration foram considerados promissores. **Conclusão:** A solução desenvolvida atende aos requisitos estabelecidos no projeto.

Descritores: Telemedicina; Hospitais de Ensino; Tutoria.

ABSTRACT

Objective: To present the architecture and the resources of a telementoring system. **Method:** The developed solution is based on a particular client-server architecture. While the emitting client shares a procedure, a group of participating clients follows the examination. The web application server manages all architectural components, including the media and database servers. We conducted an experimental evaluation of the system for real-time secure video transmission, supported by a statistical test, across two distinct scenarios. **Results:** The solution was considered feasible and stable, showing potential for use in public and private educational institutions. The experimental evaluation indicated that media transmission achieved an average frame per second rate close to the expected value. The multipoint video call and telestration resources were considered promising. **Conclusion:** The developed solution meets the requirements defined for the project.

Keywords: Telemedicine; Teaching Hospitals; Mentoring.

CBIS 2026 XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA EM SAÚDE

Artigo apresentado no XXI Congresso Brasileiro de Informática em Saúde (CBIS 2026), realizado de 23 a 25 de setembro de 2026, em Brasília (DF), e publicado na seção CBIS 2026 do Journal of Health Informatics.

COMO CITAR ESTE ARTIGO: Takaki WSR, Lee HD, Spolaôr N, Ferraz AP, Coy CSR, Wu FC. Solução de telementoria e acompanhamento remoto e em tempo real de procedimentos para educação médica. J Health Inform 2026;18:e1873. doi: https://doi.org/10.59681/2175-4411.v18.iEspecial.2026.1873

1 INTRODUÇÃO

A formação de profissionais médicos requer o compartilhamento de conhecimentos complexos, derivados da prática integral da Medicina [1,2], que são particularmente importantes no contexto da capacitação em técnicas e procedimentos cirúrgicos. Contudo, essa prática sofre restrições em razão de limitações de espaço para o acesso de observadores, somadas à necessidade de preservar a assepsia dos ambientes cirúrgicos. Nesse contexto, a telemedicina se apresenta como uma ferramenta de grande valor para ampliar a participação e acompanhamento remoto de procedimentos por parte dos profissionais em formação [3].

A adoção da telemedicina na educação médica, no atendimento aos pacientes e em outras finalidades tem sido ampliada, particularmente após a pandemia de *corona virus disease 2019* (COVID-19), por reduzir custos e tempos com deslocamentos, por atenuar significativamente os riscos de contaminação em casos de doenças infectocontagiosas, e por melhorar o acesso aos serviços de saúde ao reduzir a ocupação da infraestrutura física de clínicas e hospitais [2,4-6]. Essa abordagem permite estender os atendimentos a regiões distantes dos centros urbanos, e favorece a colaboração entre hospitais e clínicas rurais e urbanas. Como resultado, casos agudos, como os de acidente vascular cerebral (AVC), podem ser prontamente avaliados e atendidos na origem, levando a diagnósticos mais precisos em consequência da colaboração de especialistas [5,7]. Esses e outros benefícios da telemedicina são valiosos em países de dimensões continentais, como o Brasil, e têm inspirado a elaboração de alguns programas de Saúde Digital [8].

Nesse cenário, a telementoria, caracterizada como a orientação ou tutoria realizada por especialistas a distância, quando aplicada ao treinamento de procedimentos e técnicas cirúrgicas, tem-se mostrado tão eficaz quanto a mentoria presencial [9]. Consequentemente, instituições de saúde de vanguarda têm aderido a essa tecnologia. Afinal, por meio de transmissões por vídeo dos procedimentos cirúrgicos com supervisão do professor e colaboradores, mais estudantes podem participar de todo o processo, desde o diagnóstico até a cirurgia. Além disso, a telementoria promove a discussão posterior dos casos [3], podendo enriquecer aulas na área da saúde.

Nesse sentido, o recurso de *telestration*, uma tecnologia que permite realizar anotações ou desenhos à mão livre em vídeos, com finalidade didática ou de análise, apresenta-se como ferramenta de comunicação adicional capaz de aumentar a precisão das instruções emitidas pelos especialistas aos profissionais em treinamento [9].

Há, no entanto, requisitos mínimos de desempenho, segurança e usabilidade que precisam ser observados. Nesse cenário, a infraestrutura de comunicação de dados é frequentemente apontada como elemento-chave nas soluções de telemedicina, de modo que deficiências nesse elemento podem restringir a viabilidade das soluções [8]. Um dos principais desafios tecnológicos refere-se à qualidade do meio de comunicação entre os profissionais participantes, em particular quando estes utilizam redes compartilhadas e tecnologias de comunicação sem fio. Além da largura de banda efetiva mínima para o compartilhamento de áudio e vídeo, a latência da rede e a variação do atraso conhecido como *jitter* são parâmetros críticos em aplicações de videoconferência multiponto, as quais envolvem múltiplos pontos de acesso [10]. Nesse sentido, o advento da tecnologia 5G de comunicação de dados e dos satélites de baixa órbita conhecidos como *low Earth orbit* (LEO) tem contribuído com a superação dos desafios mencionados. De fato, essas ferramentas apresentam desempenho equivalente às redes que utilizam meios físicos de comunicação, como fibras ópticas e cabos metálicos. Tanto 5G quanto LEO já foram avaliados e obtiveram resultados satisfatórios em aplicações de telemedicina, mantendo a mobilidade dos participantes e o alcance geográfico sem perda de desempenho [11].

Diferentes aplicações que utilizam a Internet como canal de comunicação de dados requerem diferentes protocolos. Esses protocolos estabelecem padrões e regras que devem ser seguidas por todos os dispositivos que desejam fazer uso da aplicação, garantindo que o serviço possa ser acessado. Dentre esses protocolos de nível de aplicação destaca-se o *web real-time communication* (WebRTC) [12]. WebRTC é considerado o mais adequado para aplicações que requerem baixa latência, como em videochamadas e videoconferências na área da saúde [13], pois suporta mecanismos de adaptação dinâmica à largura de banda disponível e ocultação de erros, além de incorporar criptografia para garantir a integridade e a privacidade dos dados. Essas características tornam esse protocolo apropriado a cenários que envolvem a comunicação por redes heterogêneas e públicas como a Internet. Além disso, a capacidade de estabelecer conexões *peer-to-peer* é ideal para videochamadas multiponto envolvendo participantes situados em redes distintas protegidas por *firewalls* e por endereços *internet protocol* (IP) traduzidos, como ocorre em várias aplicações de telemedicina, pois suporta mecanismos de travessia de *network address translation* (NAT) [3].

Considerando esse cenário, o Laboratório de Bioinformática (LABI) da Universidade Estadual do Oeste do Paraná tem desenvolvido tecnologias para acompanhamento remoto e em tempo real de procedimentos médicos com o objetivo de auxiliar nas atividades de ensino e na colaboração entre profissionais da área da saúde [14-16]. Essas pesquisas resultaram na formulação de uma proposta de trabalho

para desenvolvimento e aplicação, em caráter de prova de conceito, de um sistema de telemedicina no Hospital Universitário do Oeste do Paraná (HUOP). A proposta intitulada "*Uso de tecnologia da informação em transmissão, acompanhamento e construção de bases de dados de procedimentos médicos para o aprimoramento de conhecimentos e habilidades de profissionais na área da saúde com ênfase na Medicina*" foi submetida à Secretaria de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior (SETI), no âmbito da Chamada Pública SETI/Fundo Paraná – CP nº 01/2023, tendo sido um dos projetos contemplados na chamada.

Portanto, este trabalho tem por objetivo apresentar a arquitetura e os recursos de comunicação multiponto por áudio e vídeo, e de *telestration* do sistema proposto, cuja finalidade é contribuir com a educação médica por meio do acompanhamento remoto e em tempo real de procedimentos médicos. A solução desenvolvida é ainda avaliada experimentalmente com apoio de um teste estatístico.

2 TRABALHOS RELACIONADOS

A percepção de estudantes de medicina quanto ao emprego da telemedicina no exercício profissional foi avaliada por Altinisik *et al.* [17]. Os autores avaliaram a percepção de estudantes do terceiro ano de graduação em medicina antes e após participarem de programa de estágio *online*, no qual as consultas eram realizadas via telemedicina, e observaram uma predisposição positiva dos estudantes ao emprego da telemedicina na prática futura. Os estudantes apontaram a efetividade no levantamento do histórico do paciente, e a flexibilidade de tempo e de localidade dos atendimentos como vantagens das teleconsultas. Apesar das vantagens, consideraram inviável realizar o diagnóstico e o tratamento sem o exame físico, manifestando preocupação com a possibilidade de pacientes serem mal diagnosticados.

Abdalgadir *et al.* [18] avaliaram a efetividade da telementoria assíncrona no treinamento em fundamentos da cirurgia laparoscópica, tendo observado o desenvolvimento de habilidades técnicas, maior eficiência no gerenciamento do tempo, e melhor identificação e correção de erros no grupo avaliado. Os autores concluem que a telementoria assíncrona é uma estratégia promissora para aprimorar o treinamento cirúrgico baseado em proficiência.

Chepkoech *et al.* [9] apresentaram uma revisão sistemática de literatura para avaliar o contexto atual dos sistemas de telementoria em cirurgias nos países de baixa e média renda, bem como as tecnologias e os desafios relacionados a esses sistemas. Nessa revisão, os autores destacaram três ferramentas de telementoria, uma delas com recursos de *telestration* (SurgTime). Essa ferramenta foi aplicada no treinamento em cirurgia ortopédica por artroscopia, tendo contribuído para maior eficiência e precisão cirúrgica, e para o aperfeiçoamento e aceleração na aquisição das habilidades por parte dos profissionais.

Monteiro *et al.* [19] relataram o desenvolvimento, implementação e avaliação de uma plataforma de telementoria em tempo real para cirurgia cardíaca. A solução implementada permitiu aos mentores remotos a observação da sala de cirurgia, a partir de diferentes ângulos, além da visão do procedimento na perspectiva do cirurgião e dos sinais fisiológicos dos pacientes, em um mesmo painel de controle. No estudo foram consideradas 50 cirurgias mentoradas por intermédio da plataforma, tendo sido a experiência considerada satisfatória e promotora de aprendizado por todos os profissionais da equipe que recebeu a mentoria.

3 MÉTODOS

Nesta seção são apresentados os materiais e métodos adotados neste trabalho.

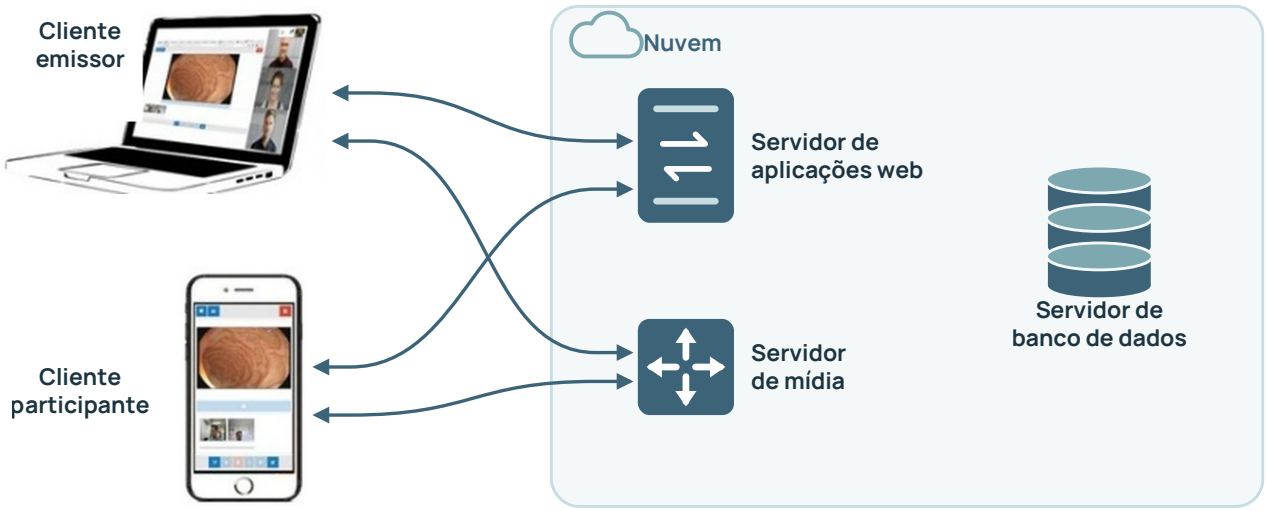
3.1 Requisitos, arquitetura e materiais

O Sistema de Monitoramento Médico, Acompanhamento Remoto de Procedimentos e Telementoria (SMMAR-T Mentor) [16] foi elaborado a partir de seis requisitos:

1. Compatibilidade com diferentes tipos de dispositivos, abarcando dispositivos móveis (*tablets* e *smartphones*) e computadores pessoais para ampliar o acesso à solução;
2. Adoção de arquitetura web, dispensando a instalação de software específico e favorecendo a compatibilidade entre sistemas operacionais diferentes;
3. Promoção da interação e colaboração multiponto em tempo real, com suporte a anotações em vídeo e em imagens capturadas (*telestration*) por diferentes participantes;
4. Confidencialidade e integridade dos dados, o que é primordial em aplicações clínicas;
5. Armazenamento automático e centralizado dos conteúdos transmitidos e compartilhados;
6. Adoção de tecnologias e softwares livres, visando a redução de custos de implantação e operação para instituições públicas e privadas.

A arquitetura do sistema está apoiada em cinco componentes, descritos a seguir e ilustrados na Figura 1:

Figura 1. Componentes da arquitetura do sistema desenvolvido



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

1. Cliente emissor: único responsável pelo compartilhamento do exame ou procedimento;
2. Servidor de aplicações web: elemento para controle e coordenação dos demais componentes;
3. Servidor de banco de dados: responsável pelo armazenamento dos dados gerenciados pelo sistema;
4. Servidor de mídia: intermediário da transferência dos fluxos de áudio e vídeo entre participantes;
5. Cliente participante: representante de múltiplos espectadores ou colaboradores remotos.

As ferramentas de software aplicadas na implementação dos componentes arquiteturais foram:

- Servidor de aplicações: Glassfish Server Open Source Edition, versão 4.1.1 [20];
- Servidor de mídia: Kurento Media Server, versão 6.18.0 [21];
- Servidor de banco de dados: MySQL Community Server, versão 5.7 [20];
- Linguagens de programação: Java versão 8 e JavaScript versão ES6 [22];

Os protocolos de rede utilizados na comunicação entre os clientes e os servidores de aplicação e de mídia foram os seguintes:

- *Hypertext Transfer Protocol Secure* (HTTPS) [10]: protocolo para transferência de hipertexto com criptografia, utilizado no transporte dos dados entre o servidor de aplicações e os clientes;
- WebSocket seguro [23]: protocolo para comunicação bidirecional de tempo real com criptografia, utilizado na troca de mensagens de controle entre clientes e o servidor de aplicações;
- WebRTC [12]: protocolo utilizado para conexão e transferência criptografada dos fluxos de áudio e vídeo entre os clientes e o servidor de mídia.

Vídeos simulados foram transmitidos para avaliação da solução, como detalhado na próxima seção. Convém ressaltar que não há necessidade de aprovação de comitê de ética neste trabalho porque o vídeo não se refere a um exame médico real e não permite a identificação de pessoas.

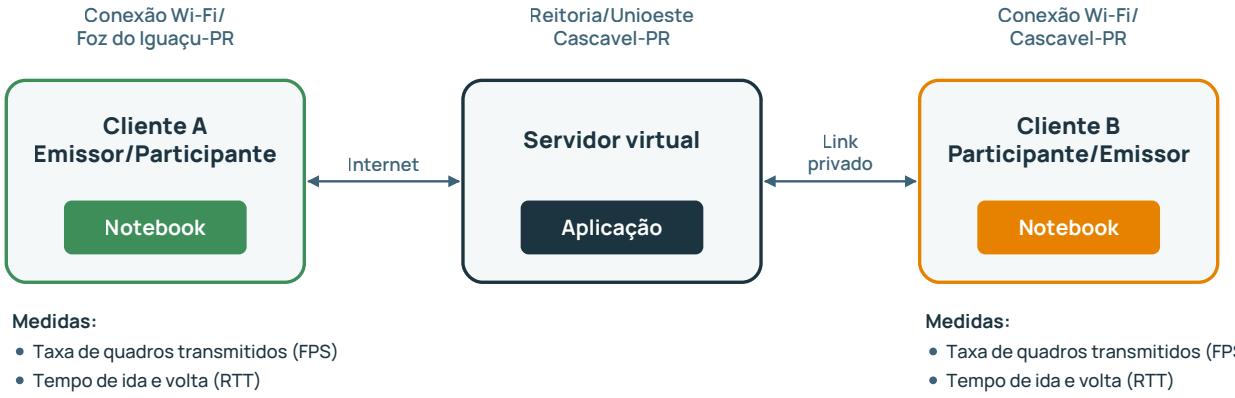
Os equipamentos utilizados nos experimentos estão listados a seguir:

- Cliente A: *notebook* marca Dell modelo XPS 13, equipado com processador Intel Core Ultra 7, 32GB de memória RAM;
- Cliente B: *notebook* marca Lenovo modelo Thinkpad T16v Gen2, equipado com processador Intel Core Ultra, 32GB de memória RAM;
- Servidor virtual: máquina virtual de arquitetura Intel X86 com dois núcleos Xeon, e 8GB de memória RAM;
- Servidor estação de trabalho: computador do tipo *workstation* marca Dell modelo Precision 3680, com processador Intel Core i5, e 64 GB de memória RAM.

3.2 Avaliação experimental

Um experimento de transmissão envolvendo dois clientes da solução desenvolvida, localizados em cidades distintas, foi realizado em dois cenários diferentes. O primeiro (C1) representa a execução da aplicação em máquina virtual no *datacenter* da Reitoria, enquanto o segundo (C2) corresponde ao uso da solução em uma estação de trabalho (*workstation*) localizada no LABI. A configuração de cada cenário está ilustrada nas Figuras 2 e 3, considerando medidas descritas na sequência.

Figura 2. Cenário C1 de execução dos experimentos com aplicação hospedada em servidor virtual



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Figura 3. Cenário C2 de execução dos experimentos com aplicação hospedada em workstation



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

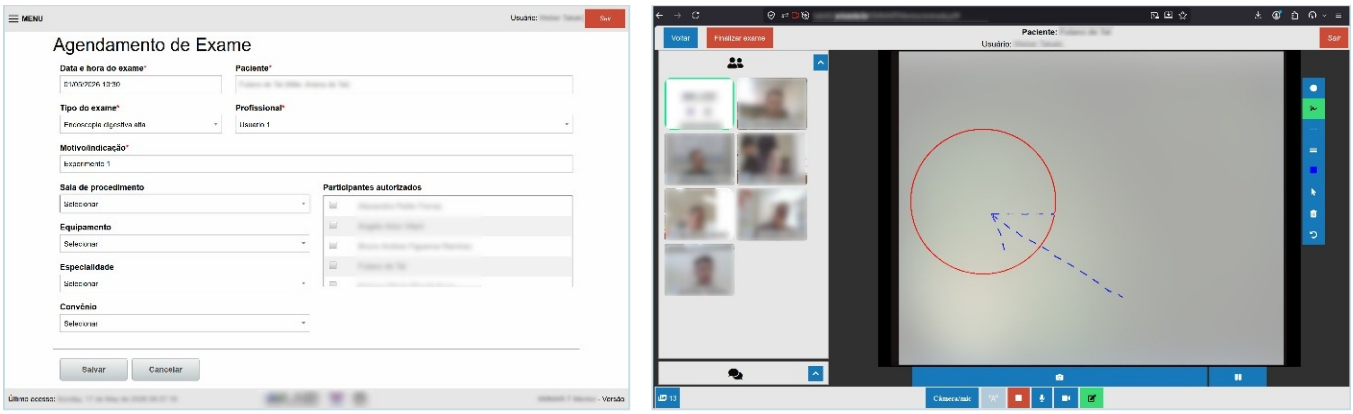
As funções de emissor e participante (receptor) foram executadas por ambos os clientes, em ambos os cenários, a fim de simular um contexto real em que emissor e servidor estão geograficamente distantes. Tanto em C1 quanto em C2, o desempenho foi monitorado no cliente emissor a partir (1) da taxa de quadros transmitida por segundo (*frames per second*, FPS) e (2) do tempo de ida e volta (*round trip time*, RTT) da rede. Cada transmissão teve duração de cinco minutos, tendo o vídeo sido ajustado para a resolução de 1024x768.

Os dados coletados foram agrupados por cenário e por cliente emissor, resultando em quatro grupos de dados por medida. Cada grupo somou 300 amostras, pois as medidas foram coletadas em intervalos de 1 segundo. Os grupos correspondentes a cada medida foram comparados estatisticamente entre si.

4 RESULTADOS

O sistema desenvolvido integra funcionalidades de gerenciamento seguro de dados de pacientes, profissionais e exames, com recursos de comunicação criptografada e colaboração em tempo real por áudio, vídeo e texto. Durante a transmissão de um exame/procedimento na solução é possível, em tempo real, (1) capturar quadros do vídeo para uso posterior e (2) realizar marcações visuais diretamente sobre o vídeo compartilhado ou sobre imagens adquiridas. Essas marcações podem ser efetuadas por qualquer participante previamente autorizado a acompanhar o procedimento, assim que ele requerer o uso da ferramenta de *telestration*. Convém ressaltar que o acesso para acompanhamento dos exames é restrito às pessoas autorizadas pelo profissional responsável, e todas as alterações de dados realizadas no sistema são registradas para fins de auditoria. Nas Figuras 4a e 4b são ilustradas, respectivamente, a tela de agendamento de um exame e a tela de transmissão de um exame contendo um vídeo fictício, com múltiplos participantes e a ferramenta de *telestration* ativada pelo participante responsável, obtida em um teste preliminar.

Figura 4. Telas do sistema



(a) Tela de agendamento de exame

(b) Tela de transmissão de exame com telestrator ativo

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Tabela 1. Resultados do experimento

Cenário de execução	FPS médio (DP)	RTT médio (s) (DP)
C1 – Emissor A	23,30 (2,35)	0,06 (0,02)
C1 – Emissor B	21,17 (1,46)	0,02 (0,02)
C2 – Emissor A	21,97 (1,74)	0,11 (0,14)
C2 – Emissor B	21,23 (1,50)	0,07 (0,02)

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Os resultados da avaliação experimental de transmissão do vídeo simulado estão sintetizados na Tabela 1. A primeira coluna da tabela indica o cenário de execução examinado e qual cliente exerceu a função de emissor. A segunda e terceira colunas apresentam o valor médio e o desvio-padrão (DP), respectivamente, para a taxa de quadros e para o tempo de ida e volta RTT da rede, medidos durante o experimento.

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk, não tendo apresentado distribuição normal. Em seguida foram submetidos ao teste de Kruskal-Wallis, com nível de significância de 0,05. Houve diferença estatisticamente significativa na comparação geral, tanto para a medida de FPS quanto para o RTT.

5 DISCUSSÃO

A solução desenvolvida é inovadora e tem potencial para uso em instituições de ensino públicas e privadas, como detalhado no registro de software correspondente a uma versão preliminar da aplicação, o qual foi obtido junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) [16].

A arquitetura do sistema foi considerada viável e estável. Afinal, foi possível realizar a integração dos componentes centrais (servidores de aplicação, de mídia e de banco de dados) sem perdas de desempenho observáveis no experimento piloto de transmissão de vídeo, mesmo sendo executados em ambiente único, seja em um servidor virtual ou em computador do tipo *workstation*. A separação dos componentes facilita a implantação em ambientes de produção já estabelecidos, pois permite que cada componente seja alocado em computadores físicos ou virtualizados, adequando-se à infraestrutura de execução disponível [24]. Ademais, esse arranjo permite que a solução escale à medida que a demanda por desempenho se eleve, o que tende a ocorrer à medida que o sistema seja usado por mais profissionais e instituições de ensino. Convém ressaltar que um teste preliminar com videochamada multiponto e *telestration* durante a transmissão de um vídeo (Figura 4b) levou a resultado considerado satisfatório, indicando que a implementação dos recursos correspondentes é promissora.

A escolha do protocolo WebRTC para os componentes clientes da arquitetura mostrou-se adequada, em razão de ser uma tecnologia disponível em diferentes plataformas e sistemas operacionais, desde computadores pessoais até dispositivos móveis como *tablets* e *smartphones*, sendo implementada por navegadores de Internet e bibliotecas para desenvolvimento de aplicações nativas [12]. Por ser uma tecnologia *peer-to-peer*, WebRTC permite que dispositivos cliente, conectados em redes privativas, iniciem chamadas de vídeo com segurança sem a necessidade de configurações ou permissões de rede específicas. Essa característica é importante, pois alguns cenários de uso da solução para educação em saúde podem envolver profissionais que precisam transmitir procedimentos

para aulas com segurança e sem barreiras tecnológicas inerentes a ajustes de rede. Apesar de ser um protocolo voltado para a comunicação direta entre pares, sua aplicação não está restrita a esse contexto, o que sugere a flexibilidade da solução desenvolvida para variados cenários práticos de ensino. Por exemplo, em uma potencial aplicação do sistema, um professor transmite um vídeo de um exame realizado neste momento por um colaborador. Acompanha esse exame uma grande turma de estudantes de um curso na área da saúde, atuando como um grupo de clientes de uma tradicional arquitetura cliente-servidor.

Por sua vez, a adoção do servidor de mídia permite a realização de videochamadas multiponto, envolvendo vários participantes. O teste preliminar constatou essa característica, focando em vídeo devido à complexidade dessa mídia em uma comunicação em tempo real. No futuro, uma avaliação experimental mais completa do recurso de comunicação multiponto será planejada e conduzida. Ainda no contexto de chamadas multiponto, o controle dos fluxos de áudio e vídeo é plenamente suportado a partir do protocolo *JavaScript Object Notation-Remote Procedure Call* (JSON-RPC), que viabiliza a execução de procedimentos remotos no servidor de mídia, a partir de mensagens emitidas pela aplicação central.

Durante a transmissão dos exames, os clientes se comunicam em tempo real por um canal bidirecional suportado pelo protocolo WebSocket, o qual permite o envio e o recebimento de mensagens de controle originadas pelo cliente ou pelo servidor. Essa comunicação de mão dupla é necessária, pois as ações realizadas por cada participante podem ser distribuídas aos demais participantes por intermédio da aplicação central.

Do ponto de vista da usabilidade, durante o teste preliminar e o experimento piloto realizado não foram observadas falhas, interrupções, nem travamentos na comunicação audiovisual. Os resultados objetivos da avaliação experimental (Tabela 1) indicaram desempenho estável, com valores de RTT abaixo do limite de 200ms esperado para aplicações de tempo real [9], e taxa de quadros adequada. Convém ressaltar que o *codec* de vídeo utilizado e a taxa de quadros são determinados dinamicamente a partir das capacidades de cada participante. No nosso experimento, o *codec* selecionado foi o VP8 [25], e a taxa de quadros almejada foi de 24 FPS. A resolução do vídeo do exame foi fixada em 1024x768 em razão das dimensões do vídeo fictício que foi utilizado no experimento, que apresentava proporção 4:3.

Os testes estatísticos apresentaram diferença entre os grupos. Essa diferença pode estar relacionada a flutuações momentâneas na conexão de rede dos emissores ou dos servidores.

Do ponto de vista científico e tecnológico, as características da aplicação e o desempenho observado no experimento indicam que a ferramenta é apta para a aplicação em educação médica. Esse achado vai ao encontro do observado em estudos diversos, os quais têm demonstrado a viabilidade de ferramentas de colaboração a distância para educação em saúde.

Alinhado com Altinisik *et al.* [17], este trabalho foi motivado pelas vantagens específicas da telemedicina, bem como pelo potencial de ampliação do acesso à assistência médica de qualidade e da qualificação profissional no contexto da educação em saúde. No âmbito do treinamento em fundamentos da cirurgia laparoscópica, Abdalgadir *et al.* [18] consideraram promissores os resultados da telementoria assíncrona. O presente trabalho vai além ao proporcionar telementoria síncrona para enriquecer ambientes de colaboração e ensino. Chepkoech *et al.* [9] identificaram recentemente diversas tecnologias e sistemas de telemedicina, com foco em países de baixa e média renda, entre elas uma solução para telementoria com recursos de *telestration* integrados, denominada SurgTime. Nessa solução as funções de transmissão são integradas em um equipamento personalizado (*SurgTime Tower*), enquanto no presente trabalho não há restrição, *a priori*, quanto ao equipamento transmissor, podendo ser um computador pessoal, *tablet* ou *smartphone*. Neste caso, as limitações serão determinadas por fatores como o tipo de procedimento a ser compartilhado, a forma de captura do vídeo, e a capacidade de processamento do próprio dispositivo. Os autores mencionam outras tecnologias inovadoras, porém de alto custo ou aplicação específica, diferentes da proposta deste trabalho. No Brasil foi implementada com sucesso a plataforma TAC (Telemonitoramento do Ato Cirúrgico), cuja avaliação é apresentada por Monteiro *et al.* [19]**.** Por sua vez, o presente trabalho teve como intuito ampliar os recursos de comunicação entre mentores e mentorados, e aumentar a precisão das instruções dadas pelos especialistas, localizados a distância, a partir de marcações visuais realizadas sobre as imagens ou vídeos do procedimento. Além disso, diferente de [19], a solução desenvolvida pela equipe do LABI objetiva integrar-se a cenários e ambientes preexistentes com mais flexibilidade e menos necessidade de intervenção no espaço físico.

Desse modo, observa-se uma contribuição crescente de tecnologias da informação e comunicação para as áreas da saúde, apesar dos desafios relativos à segurança, privacidade e integridade dos dados. Estes aspectos são críticos para o contexto da saúde e precisam ser considerados em primeiro lugar. Convém ressaltar que, embora o foco deste trabalho tenha sido em educação em saúde, a solução desenvolvida exibe potencial para aplicações em outros domínios com atenção a pacientes.

Uma limitação do presente trabalho é a ausência de uma avaliação da solução em cenários reais de educação em saúde. Essa questão será tratada em trabalhos futuros, inclusive no âmbito do projeto realizado conjuntamente ao HUOP. No futuro também será implementada uma configuração para anonimização automática de dados sensíveis de exames empregados para ensino. Essa anonimização será ativada quando desejado, por exemplo, pelo professor ou pelo profissional responsável pelo procedimento.

6 CONCLUSÃO

A solução apresentada atende aos requisitos e arquitetura estabelecidos no projeto, fornecendo recursos de comunicação multiponto por áudio e vídeo, e de *telestration*, tendo potencial para contribuir positivamente com a educação médica por meio do acompanhamento remoto e em tempo real de procedimentos médicos. Assim, espera-se apoiar a inclusão das tecnologias de informação e comunicação no ensino em saúde.

Contribuição dos autores. Os autores contribuíram igualmente em todas as etapas de construção do artigo: concepção e delineamento do estudo; coleta, análise e interpretação dos dados; redação e revisão crítica do manuscrito; e aprovação da versão final.

Agradecimentos. Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Computação da Unioeste pela disponibilização de um computador de alto desempenho adquirido no Projeto CAPES & Fundação Araucária, Programa de Redução de Assimetrias na Pós-Graduação, edital 29/2025. Ao Programa de Pós-graduação em Ciências Aplicadas à Saúde da Unioeste pela colaboração nesta pesquisa.

Financiamento. Os autores reconhecem o apoio da SETI/Fundo Paraná (https://www.seti.pr.gov.br) por bolsas de pesquisa cedidas no projeto 49/2024 a alguns autores.

Disponibilidade de dados e materiais. Os dados que sustentam as conclusões deste estudo estão disponíveis mediante solicitação ao autor correspondente.

Conflitos de interesse. Os autores declararam não possuir conflitos de interesse.

Declaração de uso de IA. Os autores declararam que não foram utilizadas ferramentas de Inteligência Artificial nas etapas de construção e avaliação do sistema, de redação e correção do texto em português. A ferramenta Grammarly foi utilizada na verificação gramatical do abstract.

REFERÊNCIAS

1. Conde JG, De S, Hall RW, Johansen E, Meglan D, Peng GC. Telehealth innovations in health education and training. Telemed J E Health. 2010;16(1):103-6. doi: https://doi.org/10.1089/tmj.2009.0152
2. Samuel A, Durning SJ. From Crisis to Opportunity: Reinventing Medical Education After COVID-19. Perspect Med Educ. 2025;14(1):371-82. doi: https://doi.org/10.5334/pme.1672
3. Su Y, Wu M, Wang W, Chen Z, Huang C. Video-based remote consultation for telemedicine. In: Video Health Monitoring in Hospitals. [s.l.]: Elsevier; 2026. p. 301-24. doi: https://doi.org/10.1016/b978-0-443-26586-0.00015-6
4. Bouabida K, Lebouché B, Pomey MP. Telehealth and COVID-19 Pandemic: An Overview of the Telehealth Use, Advantages, Challenges, and Opportunities during COVID-19 Pandemic. Healthcare (Basel). 2022;10(11):2293. doi: https://doi.org/10.3390/healthcare10112293
5. Mensah B, Goldstein LB. The Impact of Telehealth on Access to Healthcare in Rural Communities. Int J Clin Rep Stud. 2025;4(4). Disponível em: https://www.clinicsearchonline.org/article/the-impact-of-telehealth-on-access-to-healthcare-in-rural-communities
6. MacAskill W, Gill P, Woloszczuk C, Alam K, Wallis K, McGrail MR, et al. A systematic review of the scope and impact of rural primary healthcare innovations using digital health technology. BMJ Open. 2026;16(1):e097874. doi: https://doi.org/10.1136/bmjopen-2024-097874
7. Murle D, Puri C. Telemedicine is Transforming Rural Healthcare Access. In: 2025 2nd International Conference on Electronic Circuits and Signaling Technologies (ICECST). [s.l.]: IEEE; 2025. p. 1144-50. doi: https://doi.org/10.1109/icecst66106.2025.11307574
8. Brasil. Ministério da Saúde. Telessaúde [Internet]. Brasília: Ministério da Saúde; 2026. [citado 2026 Mai 17]. Disponível em: https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/seidigi/sus-digital/telessaude.
9. Chepkoech M, Malila B, Mwangama J. Telementoring for surgical training in low-resource settings: a systematic review of current systems and the emerging role of 5G, AI, and XR. J Robot Surg. 2025;19(1):525. doi: https://doi.org/10.1007/s11701-025-02703-9
10. Tanenbaum AS, Feamster N, Wetherall DJ. Computer networks. 6. ed. Hoboken: Pearson Education; 2021.
11. Padi D, Nyapom K, Scheid PL. Deployment of Low-Latency Satellite Technology for Telemedicine: A Backhaul Solution for Improving Rural Health Care Connectivity in Developing Countries. Telemed J E Health. 2026;32(4):339-52. doi: https://doi.org/10.1177/15305627251409990
12. w3.org [Internet]. Web Real-Time Communications Working Group; c2026 [citado 2026 Mai 15]. Disponível em: https://www.w3.org/groups/wg/webrtc/. Inglês.

13. Bilong JRN, Ba M, Omoyen EN, Ouya S. Towards the Integration of Asterisk With LiveKit for Bridging Traditional SIP Telephony and Modern WebRTC Platforms. In: 2025 2nd International Conference on Electronic Circuits and Signaling Technologies (ICECST). [s.l.]: IEEE; 2025. p. 803-8. doi: https://doi.org/10.1109/icecst66106.2025.11307585

14. Coy CS, Lee HD, Fagundes JJ, Ayrizono ML, Spolaôr N, Leal RF, Machado RB, Voltolini RF, Wu FC, inventores. S2TR. Programa de Computador BR 5120140003248. 2014.

15. Coy CS, Lee HD, Fagundes JJ, Ensina LA, Ayrizono ML, Lichnow MR, Fontana M, Fonteque Júnior M, Spolaôr N, Marques Filho PC, Leal RF, Takaki WS, Wu FC, inventores. SITGD. Programa de Computador BR 5120150015320. 2015.

16. Coy CS, Lee HD, Ensina LA, Spolaôr N, Takaki WS, Wu FC, inventores. Sistema de Monitoramento Médico, Acompanhamento Remoto de Procedimentos e Telementoria - SMMAR-T Mentor. Programa de computador BR 5120220020220. 2022.

17. Altınışık G, Karaca O, Suner A, Taşbakan MS, Sertöz R. The outcomes of a telemedicine-based introductory clinical clerkship: an innovative educational model. BMC Med Educ. 2026;26(1):247. doi: https://doi.org/10.1186/s12909-025-08444-5

18. Abdalgadir M, Soliman D, Shaher Y, Nelson A, Worrell S, Ditillo M, et al. Asynchronous tele-mentoring in proficiency-based training for the fundamentals of laparoscopic surgery (FLS): a use of smartphones and deliberate practice. Surg Endosc. 2026;40(2):1674-9. doi: https://doi.org/10.1007/s00464-025-12488-5

19. Monteiro R, Rabello G, Meneghini B, Guido MC, Caneo LF, Tanamati C, et al. Bridging surgical gaps in congenital heart disease: results from 50 remote telementored procedures using a new national digital platform in Brazil. Front Cardiovasc Med. 2025;12:1702387. doi: https://doi.org/10.3389/fcvm.2025.1702387

20. Vasiliev Y. Beginning Database-Driven Application Development in Java™ EE. Berkeley, CA: Apress; 2008. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4302-0964-5

21. Kurento [Internet]. What's Kurento; c2026 [citado 2026 Mai 16]. Disponível em: https://kurento.naevatec.com/whats-kurento. Inglês.

22. Flanagan D. JavaScript: the definitive guide. 7th ed. Sebastopol (CA): O'Reilly; 2020.

23. Fette I, Melnikov A. The WebSocket Protocol. [s.l.]: RFC Editor; 2011. doi: https://doi.org/10.17487/rfc6455

24. Sommerville I. Engenharia de software. Tradução de Luiz Cláudio Queiroz. 10. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil; 2018. 768 p. Disponível em: https://www.bvirtual.com.br/NossoAcervo/Publicacao/engenharia-de-software-168127

25. Adobe [Internet]. VP8 files; c2026 [citado 2026 Mai 17]. Disponível em: https://www.adobe.com/creativecloud/file-types/video/codec/vp8.html. Inglês.

NOTAS EDITORIAIS

O Journal of Health Informatics é uma publicação científica mantida pela Sociedade Brasileira de Informática em Saúde, associação científica sem fins lucrativos dedicada ao desenvolvimento da Informática em Saúde e da Saúde Digital no Brasil. O processo editorial é conduzido com independência científica, sem interferência institucional, comercial ou de patrocinadores, e segue as boas práticas internacionais de ética em publicação científica.

Este artigo foi avaliado por pares, em sistema duplo-cego, por especialistas da área. A equipe editorial usou ferramentas de inteligência artificial, com supervisão humana, na triagem inicial, na conferência do texto, das referências e dos números e, quando necessário, no redesenho de figuras, quadros e tabelas, aprovado pelos autores na prova. As ferramentas e as salvaguardas estão na Política de uso de inteligência artificial da revista. As decisões editoriais foram tomadas por pessoas.

SBIS Sociedade Brasileira de Informática em Saúde