



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ARQUITETURA, ENGENHARIA E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

FERNANDO CUCHI RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DA LATÊNCIA EM REDES 5G, 4G E WI-FI POR SERVIDORES LOCAIS
DA UFMT**

CUIABÁ – MT
MAIO, 2023

FERNANDO CUCHI RODRIGUES

**UMA AVALIAÇÃO DA LATÊNCIA EM REDES 5G, 4G E WI-FI POR SERVIDORES
LOCAIS DA UFMT**

Trabalho Final de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Mato Grosso, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador:
Prof. Dr. Saulo Roberto Sodré dos Reis

CUIABÁ – MT
MAIO, 2023

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

R696a Rodrigues, Fernando Cuchi.

Avaliação da latência em redes 5G, 4G wi-fi por servidores locais da UFMT [recurso eletrônico] / Fernando Cuchi Rodrigues. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 24 f., il. color., pdf). -- 2023.

Orientador: Saulo Roberto Sodré dos Reis.

TCC (graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Cuiabá, 2023.

Modo de acesso: World Wide Web: <https://bdm.ufmt.br>.

Inclui bibliografia.

1. 5G, Latência, Qualidade de Serviço, Qualidade de Experiência, Wi-Fi 6. I. Reis, Saulo Roberto Sodré dos, *orientador*. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

DESPACHO

Processo nº 23108.037075/2023-48

Interessado: FERNANDO CUCHI RODRIGUES

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA MONOGRAFIA:

Avaliação da Latência em Redes 4G, 5G e Wi-fi por Servidores Locais da UFMT.

ALUNO: Fernando Cuchi Rodrigues

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia da Universidade Federal de Mato Grosso, como requisito para a obtenção de grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 29 de maio de 2023.

Nota: 7,92

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Saulo Roberto Sodré dos Reis - Orientador

Prof. Msc. Alcides Teixeira da Silva - Examinador(a)

Prof. Dr. Haroldo Benedito Tadeu Zattar - Examinador(a)



Documento assinado eletronicamente por **SAULO ROBERTO SODRE DOS REIS, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 29/05/2023, às 16:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **HAROLDO BENEDITO TADEU ZATTAR**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 29/05/2023, às 16:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5826124** e o código CRC **F2F91972**.

Referência: Processo nº 23108.037075/2023-48

SEI nº 5826124

Documento assinado digitalmente
ALCIDES TEIXEIRA DA SILVA
Data: 06/06/2023 15:29:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, fonte de sabedoria e inspiração, cuja presença em nossas vidas tem sido essencial para superar os desafios e alcançar esta conquista.

À minha amada família, a quem dedicou todo seu amor e gratidão. Vocês têm sido meu apoio incondicional, incentivando a perseverar, e por isso, hoje concluo mais uma etapa de muitas por vir.

Em memória do nosso querido Rodrigo Leandro Cuchi, que infelizmente nos deixou durante a época sombria da pandemia de Covid-19. Sua partida precoce nos deixou imensamente tristes, mas sua memória e legado permanecerão vivos em nossos corações. Sua força, gentileza e amor pela vida continuam a nos inspirar a seguir em frente e a aproveitar cada oportunidade que temos, e por incentivo dele, hoje aqui estou concluindo este curso.

Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, direta ou indiretamente, e por todo o apoio e encorajamento ao longo dessa jornada.

Que este trabalho possa refletir a dedicação, esforço e aprendizado que obtive ao longo deste percurso, e que possamos compartilhar nossos conhecimentos com o mundo, honrando aqueles que estiveram ao nosso lado e nos guiaram.

Que Deus abençoe a todos.

Fernando Cuchi Rodrigues

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela possibilidade de chegar até aqui e me manter firme apesar da perda de um ente querido, e superar as dificuldades durante o curso. À minha família agradeço pelo apoio e minha eterna gratidão, e minha mãe e família pelo apoio incondicional. E ao Professor Dr. Saulo, por ter sido meu orientador e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade. Aos meus amigos, agradeço todo o tempo de amizade e apoio estudantil e emocional.

Rodrigo Leandro Cuchi (in memoriam)

Silvana Cristina Cuchi

Geraldo Cuchi

Alice Simões Carvalho Cuchi

Almir Mansano Rodrigues

Margareth Mary Simões Fortuna

João Victor Nogueira de Souza

Jeferson Lourenço Modesto

Rafael Ferreira Moreira da Silva

Gabriel Felipe Eustachio de Figueiredo e Souza

Victor Parisi Cabrera

RESUMO

As tecnologias de comunicação 4G, 5G e a tecnologia Wi-Fi 6 (802.11ax), em conjunto com a tecnologia de transmissão de dados da fibra óptica, e vários servidores de alta eficiência, possibilitam uma grande banda de internet, fácil acesso, e maior comunicação entre estes meios. De acordo com estudos e testes, a latência é um fator importante, e em média, as novas gerações obtêm um nível menor de latência, por obter uma melhor eficiência de transmissão, sendo ela comunicação móvel, ou Wi-Fi no quesito local. Estas novas tecnologias obtêm menos saltos entre servidores, que diminui a latência, e com melhora de acesso em certos casos, como: Carros autônomos, Acesso Remoto, *Cloud Gaming*, etc. Baseado nas informações anteriores, este artigo fará uma avaliação de latência comparativa, e será feita desta forma: Analisar e avaliar por meio pacotes enviados, e, através destes, avaliar a latência de cada meio, e fazer uma comparação entre eles, em um contexto local (UFMT), seja ele 4G, 5G ou o Wi-Fi. Fazer esta comparação é fundamental para mostrar os avanços e melhorias do sistema de comunicação, e uma melhor viabilização de uso, como por exemplo, mais aparelhos conectados, e por consequência um maior limite de velocidade e menor latência para aplicações de precisão, sendo ela para estudos universitários, pesquisa para aplicações tecnológicas, como automação e controle, aulas EaD (videochamadas), e etc. Como resultado das avaliações de latência, tem-se uma noção de como a rede pode afetar o usuário final no quesito de qualidade de serviço e experiência (*QoS* e *QoE*). No caso do 5G, e do do Wi-Fi 6, há uma melhora na média de velocidade, e uma melhora da média da latência em relação a suas respectivas gerações anteriores, onde foi registrado uma latência maior, e conclui-se que as redes móveis e as fixas, tem melhores resultados num contexto local, abrangendo uma menor latência e por consequência uma maior velocidade, sem travamentos e atrasos, em que melhora o acesso do usuário em ambos os casos. E para o 5G, tanto o uso interno como externo, o resultado foi satisfatório. No caso das gerações anteriores (4G e Wi-Fi), ocorre muitas flutuações de latência, perda de pacotes e por consequência uma baixa velocidade no Wi-Fi, e no caso do 4G, o sinal é instável e por consequência temos uma maior latência e menor velocidade, sendo somente viável seu uso externo, pois no interno não foi possível fazer a avaliação.

Palavras-chave: 5G, Latência, Qualidade de Serviço, Qualidade de Experiência, Wi-Fi 6

ABSTRACT

The 4G, 5G communication technologies, and Wi-Fi 6 (802.11ax) technology, combined with fiber optic data transmission technology and various high-efficiency servers, enable high internet bandwidth, easy access, and improved communication across them. According to studies and tests, latency is an important factor, and on average, the newer generations achieve lower latency due to improved transmission efficiency, whether it is mobile communication or local Wi-Fi. These new technologies have fewer hops between servers, reducing latency, and improving access in certain cases such as autonomous vehicles, remote access, cloud gaming, etc. Based on the previous information, this article will provide a comparative latency evaluation using sent packets to assess the latency of each and make a comparison among them in a local context (UFMT), whether it is 4G, 5G, or Wi-Fi. This comparison is essential to demonstrate the advancements and improvements in the communication system and better enable its use, such as connecting more devices, increasing the speed limit, and reducing latency for precision applications, including university studies, technological research, automation and control, online classes (video calls), etc. As a result of the latency evaluations, an understanding of how the network can affect the end-user in terms of quality of service and experience (QoS and QoE). In the case of 5G and Wi-Fi 6, there is an improvement in average speed and a decrease in average latency compared to their respective previous generations, which exhibited higher latency. It can be concluded that both mobile and fixed networks yield better results in a local context, encompassing lower latency and consequently higher speed, without freezing or delays, thereby improving user access in both cases. For 5G, both internal and external usage yielded satisfactory results. In the case of previous generations (4G and Wi-Fi), there are frequent latency fluctuations, packet loss, and consequently lower Wi-Fi speed. In the case of 4G, the signal is unstable, resulting in higher latency and lower speed, making external usage viable only as it was not possible to evaluate internal usage.

Keywords: 5G, Latency, Quality of Service, Quality of Experience, Wi-Fi 6.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1 - Junção de parâmetros de qualidade para uma otimização da latência	17
Figura 2- Roteador Xiaomi AX3000.....	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Indicador de latências médias mundiais experimentada por usuários (1999 até 2020) de acordo com Xah Lee.....	18
Tabela 2 - Índices de latências médias das Redes Wi-Fi 5 e 6, do Servidor da UFMT.....	21
Tabela 3 - Índices de latências médias das Redes 4G e 5G, do Servidor da UFMT.....	22

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IoT	Internet das coisas
P2P	Peer to Peer
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MU-MIMO	Multi User Multiple Input Multiple Output
Wi-Fi	Wireless Fidelity
NCP	Protocolo de controle de internet
TCP	Protocolo de controle de transmissão
IP	Protocolo de internet
QoS	Qualidade de Serviço
QoE	Qualidade de Experiência
QoTP	Qualidade de Performance
QoC	Qualidade de Controle
LAN	Rede de área local
WLAN	Rede de área local sem fio
OFDM	Multiplexação por divisões ortogonais
SDN	Rede definida por software
CAT5e	Cabo de categoria 5 melhorado

LISTA DE SÍMBOLOS

Mbps	Megabits por segundo
Kbps	Kilobits por segundo
ms	Milisegundos
kB	Kilobytes
MHz	Mega Hertz
GHz	Giga Hertz

SUMÁRIO

I. INTRODUÇÃO	30
II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	31
III. AVALIAÇÃO DA LATÊNCIA NA UFMT	19
IV. CONCLUSÕES	22

AVALIAÇÃO DA LATÊNCIA EM REDES 5G, 4G E WI-FI POR SERVIDORES LOCAIS DA UFMT

Fernando Cuchi Rodrigues

UFMT, Departamento de Engenharia Elétrica, Cuiabá - MT, fernando-cuchi@hotmail.com

Saulo Roberto Sodré dos Reis

UFMT, Departamento de Engenharia Elétrica, Cuiabá - MT, saulo.reis@ufmt.br

Resumo - As tecnologias de comunicação 5G, 4G e a tecnologia Wi-Fi 6 (802.11ax), em conjunto com a tecnologia de transmissão de dados da fibra óptica, e vários servidores de alta eficiência, possibilitam uma grande banda de internet, fácil acesso, e maior comunicação entre estes meios. De acordo com estudos e testes, a latência é um fator importante, e em média, as novas gerações obtêm um nível menor de latência, por obter uma melhor eficiência de transmissão, sendo ela comunicação móvel, ou Wi-Fi no quesito local. Estas novas tecnologias obtêm menos saltos entre servidores, que diminui a latência, e com melhora de acesso em certos casos, como: Carros autônomos, Acesso Remoto, Cloud Gaming, etc. Baseado nas informações anteriores, este artigo fará uma avaliação de latência comparativa, e será feita desta forma: Analisar e avaliar por meio pacotes enviados, e, através destes, avaliar a latência de cada meio, e fazer uma comparação entre eles, em um contexto local (UFMT), seja ele 4G, 5G ou o Wi-Fi. Fazer esta comparação é fundamental para mostrar os avanços e melhorias do sistema de comunicação, e uma melhor viabilização de uso, como por exemplo, mais aparelhos conectados, e por consequência um maior limite de velocidade e menor latência para aplicações de precisão, sendo ela para estudos universitários, pesquisa para aplicações tecnológicas, como automação e controle, aulas EaD (videochamadas), e etc. Como resultado das avaliações de latência, tem-se uma noção de como a rede pode afetar o usuário final no quesito de qualidade de serviço e experiência (QoS e QoE). No caso do 5G, e do do Wi-Fi 6, há uma melhora na média de velocidade, e uma melhora da média da latência em relação a suas respectivas gerações anteriores, onde foi registrado uma latência maior, e conclui-se que as redes móveis e as fixas, tem melhores resultados num contexto local, abrangendo uma menor latência e por consequência uma maior velocidade, sem travamentos e atrasos, em que melhora o acesso do usuário em ambos os casos. E para o 5G, tanto o uso interno como externo, o resultado foi satisfatório. No caso das gerações anteriores (4G e Wi-Fi), ocorre muitas flutuações de latência, perda de pacotes e por consequência uma baixa velocidade no Wi-Fi, e no caso do 4G, o sinal é instável e por consequência temos uma maior latência e menor velocidade, sendo somente viável seu uso externo, pois no interno não foi possível fazer a avaliação.

Palavras-chave: Latência, 5G, Wi-Fi 6, Qualidade de Serviço, Qualidade de Experiência.

EVALUATION OF LATENCY IN 5G, 4G, AND WI-FI NETWORKS BY LOCAL SERVERS OF UFMT

Abstract - The 4G, 5G communication technologies, and Wi-Fi 6 (802.11ax) technology, combined with fiber optic data transmission technology and various high-efficiency servers, enable high internet bandwidth, easy access, and improved communication across them. According to studies and tests, latency is an important factor, and on average, the newer generations achieve lower latency due to improved transmission efficiency, whether it is mobile communication or local Wi-Fi. These new technologies have fewer hops between servers, reducing latency, and improving access in certain cases, such as autonomous vehicles, remote access, cloud gaming, and so on. Based on the previous information, this article will provide a comparative latency evaluation using sent packets to measure the latency of each, and make a comparison among them in a local context (UFMT), whether it is 4G, 5G, or Wi-Fi. This comparison is essential to demonstrate the advancements and improvements in the communication system, and better enable its use, such as connecting more devices, increasing the speed, and reducing latency for precision applications, including university studies, technological research, automation and control, online classes (video calls), etc. As a result of the latency evaluations, an understanding of how the network can affect the end-user in terms of quality of service and experience (QoS and QoE). In the case of 5G and Wi-Fi 6, there is an improvement in average speed and a decrease in average latency compared to their respective previous generations, which had higher latency. It can be concluded that, both mobile and fixed networks yield better results in a local context, encompassing lower latency and consequently higher speed, without freezing or delays, thereby improving user access in both cases. For 5G, both internal and external usage yielded satisfactory results. In the case of previous generations (4G and Wi-Fi), there are frequent latency fluctuations, packet loss, and consequently lower Wi-Fi speed. In the case of 4G, the signal is unstable, resulting in higher latency and lower speed, making only external usage viable, as it was not possible to evaluate internal usage.

Keywords: 5G, Quality of Experience, Quality of Service, Latency, Wi-Fi 6.

I. INTRODUÇÃO

A história da computação, depende fundamentalmente da telecomunicação, que deu início a rede de computadores e, logo após a evolução das redes, foi criado um método de comunicações sem fio, a telecomunicação, de onde surgiram as redes móveis e o Wi-Fi. Na rede de computadores, há uma solicitação, onde há o envio de dados pelo cliente, e uma resposta do servidor, e dentro deste tempo, chama-se latência. A partir deste momento em diante, foi possível a comunicação entre usuários por e-mail, ou instantânea, através do UNIX, que foi a pioneira da rede de computadores nos anos 70, onde a latência começou a tomar uma certa notoriedade, pois a internet começou a se popularizar, e a latência teria que acompanhar esta transição.

No princípio dos anos 70, os computadores eram altamente centralizados, sendo escasso e de uso restrito e de grandes proporções. Após um tempo, a partir dos anos 80 o seu uso passou a ser pessoal, e foi cedido o acesso e muitas pessoas passaram a se conectar a internet, chamado rede de computadores [1].

O acesso à internet se dá através de uma conexão via cabo até um servidor local mais próximo, que tem o nome de cliente-servidor, onde o usuário navega na Web, onde o servidor dá os acessos ao seu banco de dados, podendo ser desde o mesmo local (prédio, quarteirão, cidade) até outro país, sendo possível que apenas um servidor possa atender centenas ou milhares de usuários. Há também uma conexão direta entre usuário-usuário, que se chama P2P, em que são trocadas informações, como vídeos e músicas [1].

Com o rápido desenvolvimento das tecnologias de computação e comunicação, nossa sociedade e indústria tornaram-se cada vez mais inteligentes e, ou seja, smart society e indústria 4.0 (também denominada sociedade inteligente e fábrica inteligente). Entre várias tecnologias, a IoT é fundamental para conectar vários dispositivos heterogêneos da sociedade/fábrica inteligente, pois são usadas de forma a melhorar a qualidade de vida das pessoas, a eficiência dos serviços públicos e privados. Essa abordagem utiliza esta tecnologia, em que, são soluções digitais para conectar pessoas, dispositivos e sistemas, com o objetivo de melhorar a tomada de decisões, a gestão de recursos [2].

Alguns exemplos de aplicação de uma Smart Society incluem cidades inteligentes (smart cities), onde a tecnologia é usada para gerir o trânsito, o transporte público, a iluminação pública, a segurança e a gestão de resíduos, entre outros aspectos. Além disso, a Smart Society pode ser aplicada em diversos setores, como saúde, educação, indústria, agricultura, entre outros [2].

A maioria das redes móveis existentes projetadas para comunicações humanas, a IoT procura conectar grandes números de dispositivos sem ou com pouca intervenção humana. As aplicações das redes IoT incluem controle, identificação inteligente, localização, rastreamento e monitoramento etc. Para a heterogeneidade de vários

aplicativos e dispositivos em redes IoT, os requisitos técnicos para redes, são vários e um deles seria a latência.[3]

Seguindo a definição dada por Tanenbaum [1], a latência é o tempo de atraso que ocorre quando um pacote de dados é enviado de um dispositivo para outro, levando em consideração o tempo de transmissão e processamento. Temos que levar em consideração também o atraso na latência, que pode ser influenciado por diversos fatores, como o tipo de conexão de rede, a distância entre os dispositivos, a qualidade da rede e a carga de tráfego da rede.

A latência tem uma importância fundamental no papel de transmissão e processamento de dados, onde pode-se alcançar níveis muito parecidos com o P2P atualmente. O P2P é uma arquitetura de rede que permite a troca direta de arquivos e informações entre dispositivos, sem a necessidade de um servidor centralizado. Na arquitetura P2P, cada dispositivo conectado à rede atua como um cliente e um servidor ao mesmo tempo, permitindo que os usuários compartilhem e recebam dados diretamente uns dos outros, e por consequência reduz a latência, O P2P obtinha-se a menor latência, pois reduz-se o número de saltos [4], porém atualmente não é mais necessário este método, pois de acordo com Tanenbaum [1], as próprias redes de comunicação superaram em termos de tecnologia, em que a latência é baixa, além de oferecer melhor segurança de dados ao usuário.

Como o P2P não é o mais utilizado atualmente, e corresponde somente entre 2% à 5% da internet atual, logo o desafio da latência atual é fornecer uma baixa latência utilizando-se de servidores locais, onde há o maior tráfego de dados. Como dito no início deste artigo, a latência necessita estar baixa para as aplicações IoT atuais, e o estudo da latência baseia-se no tempo total entre envio e retorno destes dados, que acontece num dado tempo, e o que dita este número é o QoS. É a performance no qual a rede executa uma tarefa, ou seja, a transferência do dado, onde este dado pode ser reduzido/controlado através de otimizações, como a compressão. Ela facilita a transmissão, pois compacta os dados, onde é possível realizar a comunicação e controle com menor latência [5].

Sabendo disto, outras medidas de performance são avaliadas, que são subdivisões do QoS, como o QoE, que seria a qualidade de experiência, e QoT, que é a qualidade de tarefas, onde pode ser associada como por exemplo dirigir um automóvel presencialmente, e compará-lo com a dirigibilidade deste, utilizando-se da internet. Já o QoT avalia a precisão com que esta tarefa é realizada em comparação com a local, como por exemplo seguir uma trajetória enviada a um carro autônomo e fazê-lo idêntico ao comandado [6].

Há programas que medem esta latência e a velocidade, bem como todos estes parâmetros mencionados acima, como o Paessler, que monitoram uma dada rede, e disponibiliza dados sobre ela, onde várias empresas de controle e automação utilizam o programa para medir a latência em aplicações IoT, e monitorar a eficiência deste, onde mostra

no formato de otimização [7]. Temos um exemplo de um artigo [8], que monitora o IoT com um programa similar, porém utilizam a ferramenta para inteligência artificial, onde a latência é monitorada, e mostra os impactos causados pela latência na inteligência artificial de um servidor, onde é explicado que a latência alta pode causar problemas como atraso, e perda de dados, afetando a realização de tarefas do sistema.

Na figura 1, é demonstrado que todos os meios de avaliar a qualidade, e tem como consequência uma otimização conjunta para diminuir a latência, onde no artigo do Sachs [6], é dado como exemplo a realização de tarefas como uma cirurgia à distância, onde os conjuntos de qualidade se organizam de forma a deixar a latência menor possível para a realização de uma cirurgia.

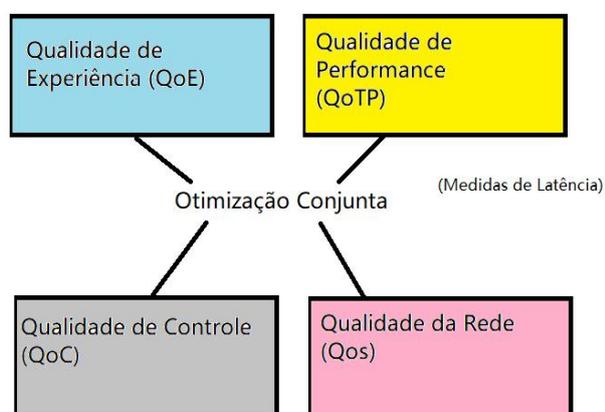


Figura 1: Junção de parâmetros de Qualidade para uma otimização da latência. (Adaptação do artigo: J. Sachs, “Adaptive 5G Low-Latency Communication for Tactile Internet Services”)

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A latência nas primeiras redes de computadores (entre 1990 e 2000), era significativamente maior do que a latência atualmente encontrada em redes modernas. Isso se deve, em grande parte, ao fato de que as primeiras redes eram baseadas em tecnologias de comunicação mais lentas e menos eficientes, onde o protocolo de comunicação era no início NCP e depois, TCP/IP, onde em sua criação, foi feita para comunicação de pesquisas entre universidades, criada pelo ministério da defesa dos Estados Unidos, de acordo com Tanenbaum [1].

Por exemplo, as primeiras redes de computadores, como a ARPANET nos anos 70, que foi a precursora da internet moderna, utilizavam linhas telefônicas para a transmissão de dados, o que limitava a largura de banda e aumentava significativamente a latência. Além disso, a infraestrutura de rede era menos desenvolvida, com menos switches disponíveis, o que levava a um maior tempo de processamento dos pacotes de dados.

Após a internet se popularizar no mundo, onde sua comunicação tornou-se mais eficiente, a LAN foi a precursora nos anos 90 de acordo com o livro de Rede de

Computadores [1], e após certo tempo, houve o aumento da velocidade e diminuição da latência, que em média era de 400ms. Foram introduzidos melhores e mais avançados computadores pessoais, onde tornou-se possível compartilhar músicas e vídeos.

Em 1997, foi introduzido o IEEE 802.11, que seria o Wi-Fi 0 (WLAN), uma nova forma de conexão com a internet sem fio, que revolucionou o meio de transmissões de dados sem fio, onde surgem programas e novos métodos de interação com o homem/máquina, onde foi possível controlar remotamente certos dispositivos, e uma maior independência de controles, sendo possível a conexão sem a utilização de cabos [9], sendo a precursora principal do IoT. O protocolo do Wi-Fi 0 utilizado é o mesmo da conexão LAN, sendo a ethernet, somente tendo como mudança o acesso, variando de 2.4GHz a 5GHz de frequência, onde é acessado a internet sem utilizar cabos, onde foi criado pontos de acesso controlados por um acesso pessoal, com nome e senha. O acesso em massa foi aplicado após a criação do trademark criado com a logo Wi-Fi, onde passou a ser vendido para uso pessoal. A maior venda desta tecnologia após o lançamento foi em 1999, pela Apple, com sua série de Laptops com conectividade sem fio, chamada AirPort [10]. Após um ano a IBM inseriu a nova tecnologia em seus laptops ThinkPad 1300.

O Wi-Fi 0, utiliza a frequência de 2,4GHz, com uma banda de 22MHz, com velocidades de pico entre 1Mbps e 2Mbps, com modulação DSSS e FHSS. O alcance máximo com obstáculo era de 20m e sem obstáculo, 100m, de acordo com a IEEE 802.11. Após o lançamento do Wi-Fi 1, conhecido como IEEE 802.11b, foi melhorada para 11Mbps em 1999, e em 2003, para 54Mb/s com o uso do OFDM, sendo um importante passo para o aumento da velocidade final, pois o uso do Wi-Fi aumentou exponencialmente, e vários usuários ao mesmo tempo, e reduziu a latência, pois ao transferir mais dados, menor era o tempo de envio, de acordo com o IEEE 802.11a [11]. Por mais que a velocidade dos modems seja para alta velocidade de transferência, em 1999, a velocidade média da internet era de 280Kbps, e em 2003, a velocidade média era de 800KBps e uma latência de 240ms, de acordo com os testes feitos por Xah Lee [12].

Resumidamente, conforme a evolução do Wi-Fi, foi-se agregando novas formas de modulações, maior largura de banda, maior número de canais, e uma maior frequência, menor consumo de energia, e uma maior velocidade da internet e menor ficou sua latência por consequência, de acordo com a evolução do IEEE 802.11, até a atualidade, o IEEE 802.11ax. De acordo com os estudos de velocidade e latência de Xah Lee [12], a latência nas redes de computadores nos anos 2000 até 2020, vem decaindo conforme o tempo, um estudo feito ano a ano, desde 2006 até 2020, onde todos os estudos foram feitos acompanhando a evolução da latência e velocidade.

TABELA I

Indicador de latências médias experimentadas por usuários Americanos (1999 até 2020) de acordo com Xah Lee (Website), com base no Google Analytics (Fonte)

Ano	Latência Média da Internet
1999	400-600ms
2005	150-200ms
2010	100-150ms
2015	60-100ms
2020	30-100ms

A internet cabeada e o Wi-Fi são utilizados em conjunto, um sendo dependente da outra, e evolui conforme a necessidade, como por exemplo, a nova tecnologia da Fibra Óptica ao invés do tradicional cabo Coaxial, está sendo substituído progressivamente em todo o Brasil, por ter maior largura de banda, mais resistente, imune a interferência eletromagnética, que tem menor perda de dados, e pelo sinal óptico ser mais rápido que os sinais elétricos, onde contribui para uma grande redução da latência em geral de acordo com estudos e testes de Karanov [13], e ainda suporta não só a internet, como a própria TV e telefone. Além disso, em caso de estar em um local isolado, o satélite é uma boa opção para este caso, onde a velocidade é praticamente a mesma, somente com uma alteração na latência, devido somente a distância física entre o satélite em órbita, de acordo com dados da StarLink [14].

A tecnologia 3G foi o início da era digital da telecomunicação, onde não só oferece conversas por voz, mas sim o envio de e-mails, chamadas de vídeo, streaming de vídeo e músicas. Um dos principais avanços foi o aumento de números de usuários simultaneamente sem o impacto significativo na velocidade. A tecnologia 3G também introduziu um uso mais eficiente dos recursos da rede, como o espectro de rádio. Isso permitiu que as operadoras móveis fornecessem mais serviços para mais usuários usando menos recursos, bem como um aumento da cobertura de sinal, de acordo com Stuber [15].

Na tecnologia 4G, temos uma comunicação móvel baseada no IP, que não estava presente na tecnologia anterior onde temos a convergência de redes cabeadas de computadores, onde a fiabilidade tem um grande aumento, principalmente no quesito QoS [16], onde essa rede móvel utiliza o MIMO, onde pode aumentar a eficiência espectral (ou seja, a taxa de bits por hertz de largura de banda) e a capacidade da rede sem fio, tornando possível enviar e receber mais dados em um determinado período de tempo, de acordo com Goldsmith [17], onde tem um aumento na velocidade e também um maior número de usos simultâneos, e por consequência uma menor latência. No geral, a tecnologia 4G melhorou a experiência do usuário em comunicações móveis, fornecendo velocidades de dados mais rápidas, melhor confiabilidade de rede, maior capacidade de rede e melhor desempenho de aplicativos móveis. Isso possibilitou novas formas de comunicação e nos permitiu ficar conectados uns com os outros de maneira mais fácil e conveniente [17].

As telecomunicações móveis dependem fundamentalmente da estrutura de transmissão de internet, onde passam a operar de forma conjunta, de acordo com a justificativa anterior, porém com redução da latência com o novo 5G, que consegue trabalhar numa maior frequência, e com novas modulações como o MU-MIMO, onde nesta tecnologia, cada antena transmite dados para diferentes dispositivos ao mesmo tempo, aumentando a eficiência da rede e reduzindo a latência, por consequência reduzindo a espera dos usuários, onde envia com maior rapidez as informações, de acordo com Goldsmith [17].

O 5G possui a melhora em todos os atributos da geração anterior, 4G, e rede oferece latência mais baixa do que as gerações anteriores de redes móveis. Isso significa que, os dados podem ser transmitidos mais rapidamente entre os dispositivos, o que é particularmente importante para aplicativos que exigem comunicação em tempo real, como jogos online, realidade virtual e aumentada e veículos autônomos, e larga escala de utilização, sendo 1 milhão de pessoas por km² [17].

Como por exemplo, um celular com 5G, envia um comando para um computador com WiFi 6, que opera uma máquina, seria diferente a latência se fosse enviado de um celular com 4G com um WiFi 5, por exemplo. São diferenças de milissegundos, porém realizam a tarefa em menor tempo e com maior precisão de acordo com o artigo de Sachs [6].

A avaliação da latência em redes de computadores e rede de telecomunicações, é uma medida crucial na garantia da qualidade de serviço (QoS) em aplicações em tempo real, como videoconferências, jogos online e telemedicina, seja num computador ou em um celular. A latência é definida como o tempo que um pacote de dados leva para viajar de um ponto de origem a um ponto de destino na rede. A avaliação da latência permite verificar se a rede está entregando os dados dentro do prazo necessário para que as aplicações funcionem corretamente e ofereçam uma experiência satisfatória para o usuário, de acordo com o ITU [19] e as redes mais eficientes seriam na atualidade, o 5G e o Wi-Fi 6, para aplicações de telemedicina, jogos online e em indústrias, de acordo com Rhode and Schwarz [18].

Um estudo realizado por Zeliang [19], destaca a importância da avaliação da latência em redes de borda (do inglês *edge networks*), que são utilizadas para fornecer serviços de computação em nuvem. O estudo propõe um método para avaliar a latência em vários tipos de rede e demonstra a sua aplicação em um ambiente de telemedicina, onde o estudo é realizado na própria rede de internet, em rede de borda e na nuvem. Sendo a nuvem com a menor latência, pois se trata de um servidor local, já a rede de borda tem uma maior distância física entre os servidores, porém com um número reduzido de saltos possíveis para reduzir ao máximo a perda de dados.

Outro estudo realizado por Parvaz, [20] enfatiza a importância da avaliação da latência em redes 5G, que são projetadas para suportar aplicações em tempo real com altas

taxas de transmissão de dados. O estudo propõe uma técnica de avaliação da latência em redes 5G e demonstra a sua eficácia em um ambiente de jogos online, onde em servidores locais demonstram uma latência muito baixa, com alta velocidade e atendem aos requisitos para aplicações de resposta ultra rápida, com aplicações em *smart grids* e telemedicina, onde requerem baixa latência.

Além disso, a avaliação da latência também é importante em ambientes de nuvem híbrida, que combinam recursos de nuvem pública e privada. Um estudo realizado por Wei Jen [21] destaca a importância da avaliação da latência em ambientes de nuvem híbrida e propõe uma técnica para avaliar a latência entre a nuvem pública e a privada, onde num servidor local pode-se alternar entre estes servidores, e evitar tráfego de dados para reduzir a latência final ao usuário e melhorar o QoS.

A avaliação da latência em redes de computadores é uma medida crucial na garantia da QoS em aplicações em tempo real. É importante realizar avaliações periódicas da latência para identificar possíveis gargalos na rede e tomar medidas para corrigi-los. A avaliação da latência em redes de computadores e telecomunicação é de extrema importância para garantir a qualidade de serviço e a eficiência da comunicação entre dispositivos conectados à rede, de acordo com o Serviço de Qualidade de Telecomunicações do ITU [22].

Ao avaliar a latência, é possível também identificar gargalos e problemas de desempenho que podem afetar negativamente a comunicação entre dispositivos. A latência excessiva pode levar a atrasos na entrega de dados, perda de pacotes e baixa qualidade de vídeo e áudio em aplicações de streaming. Além disso, a avaliação da latência é importante para garantir a qualidade de experiência (QoE) do usuário final. Por exemplo, em jogos online, a latência baixa é crucial para garantir que as ações do jogador sejam registradas com precisão e sem atrasos. Por essas razões, a avaliação da latência é uma tarefa crítica na administração de redes de computadores, permitindo aos administradores de rede identificar e solucionar problemas de desempenho antes que eles afetem a qualidade da comunicação entre dispositivos, presente no artigo do Jiang [23].

III. AVALIAÇÃO DA LATÊNCIA NA UFMT

A avaliação de redes de computadores e de telecomunicações, é uma prática crítica na atualidade, e deve ser reiterado, uma vez que as redes são essenciais para o funcionamento de muitas organizações e serviços. A avaliação é importante para garantir que a rede está funcionando de forma eficiente, segura e confiável, além de identificar e corrigir possíveis problemas. A alta latência, por exemplo, pode interferir na qualidade de uma chamada de vídeo, onde há perda de qualidade de imagem, atrasos na voz, e travamentos, o mesmo pode se dizer de jogos, e no caso de empresas e indústrias, pode-se ter grande prejuízo, onde pode afetar controles remotos de máquinas, ou até mesmo prejuízo na bolsa de valores [24].

Além disso, um relatório da empresa de pesquisa Markets and Markets [24], sugere que o mercado global de avaliação de rede deve crescer a uma taxa composta de crescimento anual de 9,4% entre 2022 e 2027, impulsionado pela crescente demanda por soluções de avaliação de rede avançadas em todo o mundo.

A principal função da avaliação das redes seria no caso, a decisão de investimento em infraestrutura de rede, com base nos dados adquiridos de velocidade, os provedores de internet podem determinar onde é necessário investir em novos equipamentos de rede ou até mesmo ampliar a capacidade da rede já existente.

De acordo com um estudo da IDC [25], a avaliação regular da rede pode ajudar as empresas a melhorar a eficiência operacional, aumentar a produtividade e reduzir os custos operacionais. A IDC também descobriu que as empresas que realizam avaliações regulares da rede são mais propensas a implementar soluções de rede avançadas, como software de gerenciamento de rede e soluções de segurança, e uma avaliação detalhada da rede de internet permite que as empresas identifiquem e corrijam possíveis gargalos que possam estar afetando a velocidade, o desempenho e a confiabilidade da conexão. Ao resolver esses gargalos, as empresas podem melhorar a eficiência de suas operações diárias, evitando atrasos e interrupções desnecessárias.

De acordo com o mesmo estudo da IDC [25], ao identificar padrões de uso de rede e entender como seus recursos estão sendo alocados, as empresas podem otimizar a alocação de recursos, como largura de banda e capacidade de armazenamento, para melhor atender às necessidades operacionais. Isso pode resultar em uma utilização mais eficiente dos recursos e redução de custos.

Suporte à inovação e adoção de novas tecnologias: Uma rede de internet robusta e eficiente é fundamental para a adoção de novas tecnologias, como computação em nuvem, Internet das Coisas (IoT) e inteligência artificial. A avaliação regular da rede pode ajudar as empresas a identificar requisitos adicionais de infraestrutura e ajustar sua rede existente para suportar essas tecnologias emergentes. Isso permite que as empresas inovem e se mantenham competitivas em um ambiente empresarial em constante evolução [26].

Portanto, a avaliação regular da rede pode ser uma parte crucial do processo de tomada de decisão de investimento em infraestrutura de rede, pois pode ajudar a identificar áreas onde a infraestrutura precisa ser atualizada ou melhorada, bem como fornecer metas claras para o desempenho da rede e estimar os custos associados à implementação de melhorias na rede.

O Prompt de Comando do Windows é uma interface de linha de comando utilizada para realizar tarefas administrativas e executar comandos no sistema operacional Windows. Ele permite que os usuários executem tarefas que

normalmente não são acessíveis através da interface gráfica do usuário, como gerenciamento de arquivos, configuração do sistema e solução de problemas.

O método para se avaliar a latência em qualquer tipo de rede, sendo ela o Wi-Fi, 4G ou 5G, seria utilizar o prompt de comando do windows, em que é uma ferramenta de linha de comando que tem sido um recurso central nos sistemas operacionais Windows desde a sua introdução com o Windows NT em 1993. Com o Prompt de Comando, os usuários do Windows obtiveram uma forma mais eficiente de interagir com o sistema operacional. Ele fornece uma interface de linha de comando que permite aos usuários executar comandos de sistema operacional e scripts por meio de um prompt de texto simplificado.

A partir de certos comandos, o ping é usado para verificar a conectividade entre um computador local e um host remoto na rede que foi requerido. Ele envia pacotes de dados para o host remoto e aguarda a resposta. O ping pode ser usado para verificar se um host remoto está online, para medir a latência da rede ou para identificar problemas de conexão, se caso a resposta for demorada ou perdida.

O comando tracert (também conhecido como traceroute em outros sistemas operacionais) é usado para rastrear a rota que os pacotes de dados estão seguindo de um computador local até um host remoto. Ele mostra o número de saltos que os pacotes de dados levam para chegar ao destino, bem como o tempo de resposta de cada salto. O tracert pode ajudar a identificar problemas de rede, como roteadores com defeito ou congestionamento de tráfego.

O comando pathping combina as funções do ping e do tracert. Ele envia pacotes de dados para o host remoto e rastreia a rota que os pacotes estão seguindo. Além disso, ele mede a latência da rede e fornece estatísticas de perda de pacotes em cada salto. O pathping pode ser usado para identificar problemas de rede mais complexos, como rotas de rede ineficientes ou problemas de conectividade intermitente.

Além disso, o Prompt de Comando do Windows suporta a execução de scripts de lote (batch), que permitem que os usuários executem uma série de comandos em sequência para automatizar tarefas repetitivas [27].

Uma das várias vantagens do prompt de comando em relação a outros softwares mais pesados, é o acesso mais rápido, em que pode se acessar facilmente, sem abrir um programa específico, e também um controle mais preciso, com tarefas mais complexas com mais facilidade do que em programas com interface gráficas, que demandam mais do computador que está em uso, como a CPU, GPU e memória RAM. Além de que, pode-se automatizar todo o processo, através de sripts ou com o próprio comando, economizando tempo e aumenta a eficiência computador/usuário, além de executá-los em lote, além de não interferir no resultado final.

A avaliação será feita com o prompt de comando, onde será usado o tracert para a avaliação de latência em cada

salto, e o pathping para observar os ip's por onde estes pacotes de dados estão "passando", e o próprio ping que será definido o tamanho do pacote de dados e o número de vezes que será enviado.

Serão realizados testes de latência em diferentes locais para mostrar a diferença entre eles. Para isso, vamos utilizar uma ferramenta de teste de latência, como o "ping", que envia um pequeno pacote de dados para o destino e mede o tempo de resposta, e neste caso enviaremos pacotes com tamanhos de 0,5kB, 3kB, 15kB e 35kB, respectivamente, enviados 100 vezes cada.

Começando pelos locais mais próximos, realizaremos testes da latência em uma rede local. Esse teste geralmente resulta em latências extremamente baixas, na ordem de milissegundos. Isso ocorre porque os dados não precisam viajar longas distâncias para chegar ao destino, já que ambos estão conectados à mesma rede. Neste caso, um ping será feito no próprio servidor da UFMT, onde os dados serão enviados

Em seguida, testaremos a latência em um servidor localizado na mesma cidade e em outra cidade. Nesse caso, a latência será um pouco maior, já que os dados precisam percorrer uma distância maior para chegar ao destino. Dependendo da distância, a latência pode variar de dezenas a centenas de milissegundos.

Gargalos de tráfego são pontos de congestionamento em uma rede de computadores que limitam a taxa de transferência de dados e afetam negativamente o desempenho da rede. Esses gargalos podem ocorrer em diversos locais da rede, como no roteador, switch, servidor, entre outros dispositivos.

Segundo Tanenbaum [1], os gargalos de tráfego podem ser causados por diversos fatores, como o aumento do tráfego na rede, a baixa capacidade de processamento dos dispositivos, a falta de banda larga, a interferência eletromagnética, entre outros.

De acordo com DeCusatis [28], destaca que os gargalos de tráfego podem ser ocasionados por erros de projeto e implementação da rede, como a utilização de equipamentos inadequados ou a configuração inadequada dos mesmos.

Para solucionar os gargalos de tráfego, é necessário identificar a causa do problema e tomar as medidas necessárias para resolvê-lo, como a atualização do equipamento, a reconfiguração da rede, a implantação de tecnologias de compressão de dados, entre outras medidas.

Para testar a latência em uma escala ainda maior, vamos considerar um servidor localizado em outro país. Aqui, a latência pode ser significativamente mais alta, já que os dados precisam percorrer longas distâncias através de diferentes redes e possíveis gargalos de tráfego. Nesse caso, a latência pode variar de algumas centenas a alguns milhares de milissegundos.

É importante ressaltar que a latência pode variar significativamente dependendo de vários fatores, como a qualidade da rede, a distância percorrida, a quantidade de tráfego na rede e a capacidade do servidor de processar as solicitações. Por isso, a avaliação de latência é importante, e realizá-los em diferentes locais para entender melhor a qualidade da rede e a experiência do usuário em diferentes situações.

Existem várias pesquisas que abordam a avaliação de latência em grandes distâncias e sua influência na qualidade de experiência do usuário. Um estudo realizado por Sharat [29], avaliou a latência em jogos online e mostrou que a latência média influencia diretamente na percepção de qualidade de experiência do usuário. Além disso, o estudo mostrou que o uso de servidores de borda pode reduzir significativamente a latência e melhorar a experiência do usuário.

Outro estudo realizado por Rishi Kapoor [30], e colaboradores, apresentou uma nova arquitetura de rede chamada Chronos, que foi projetada para reduzir a latência em grandes distâncias. A arquitetura Chronos utiliza técnicas como o encaminhamento direto de pacotes e a eliminação de filas em roteadores para reduzir a latência. Os resultados do estudo mostraram que a arquitetura Chronos pode melhorar significativamente a qualidade de experiência do usuário em aplicações que exigem baixa latência.

Após os testes feitos pode-se salientar que a latência é um fator crítico que afeta diretamente a qualidade e a experiência do usuário em aplicativos e serviços on-line. Realizar testes de latência em diferentes locais é fundamental para entender melhor a qualidade da rede e garantir uma experiência satisfatória para o usuário. É importante também estar ciente de que a latência pode variar significativamente dependendo de vários fatores, pois é necessário avaliar constantemente a rede e ajustar as configurações para garantir a melhor experiência possível para o usuário.

Um estudo de latência em redes de comunicação é uma medida importante para determinar a eficiência e qualidade do serviço de internet em determinada região. No estado de Mato Grosso, as cidades de Cuiabá e Sinop têm se destacado como importantes centros urbanos, e por isso, a avaliação da latência nessas cidades é de grande importância para entender como as redes de comunicação estão se desenvolvendo na região.

Em Cuiabá, a latência média é de cerca de 10ms, o que é considerado uma boa qualidade de conexão. A cidade tem investido em infraestrutura de telecomunicações e tem atraído empresas provedoras de internet para a região, o que tem ajudado a melhorar a qualidade do serviço de internet. Além disso, a cidade tem um grande polo universitário, o que impulsiona a demanda por conexões de alta velocidade e qualidade.

Já em Sinop, a latência média é um pouco mais alta, em torno de 60ms. A cidade tem crescido bastante nos últimos anos e tem atraído muitas empresas, mas ainda enfrenta desafios em relação à infraestrutura de telecomunicações. No entanto, as empresas provedoras de internet têm trabalhado para melhorar a qualidade do serviço e oferecer conexões mais rápidas e estáveis para a população.

É importante salientar que a latência pode variar de acordo com o tipo de conexão utilizada, a distância entre o dispositivo e o servidor de destino, o tipo de tráfego que está sendo transmitido e outros fatores. Por isso, é importante realizar testes regulares de latência para monitorar a qualidade da conexão de internet em uma região.

Em resumo, a latência é uma medida importante para avaliar a qualidade da conexão de internet em uma região.

TABELA II
Latências Médias (em milissegundos) para redes Wi-Fi 5 e Wi-Fi 6 a partir do Servidor da UFMT

Tipo de Rede	Tamanho do Pacote (kB)	Latência Média(ms)	Perdas(%)
802.11ac	0.5	55	1
802.11ac	3	55	1
802.11ac	15	57	0
802.11ac	35	60	3
802.11ax	0.5	52	0
802.11ax	3	52	0
802.11ax	15	53	0
802.11ax	35	55	1

As latências médias da tabela II, foram feitas no servidor da UFMT, localizado no bloco de engenharia elétrica, onde temos acesso a fibra óptica, e a média geral foi calculada através da média geral de latência do servidor geral da UFMT (MT), Titânia em Cuiabá (MT), Domina Net em Sinop (MT), IST Informática em Brasília (DF), Coordenadoria de Assistência Técnica Integral em Campinas (SP), Hivelocity em Tampa (Estados Unidos) e La Nacion em Buenos Aires (Argentina).

Os testes foram feitos com envio de pacote de diferentes tamanhos, e em horários variados, com um roteador Xiaomi AX3000, que dispõe de 3 bandas de frequência, 2.4GHz, 5GHz e 6GHz, e diretamente conectado com cabos CAT 5e.



Figura 2: Roteador Xiaomi AX3000

TABELA III
Latências Médias(em milissegundos) para redes 4G e 5G a partir do Servidor da UFMT

Redes Móveis	Tamanho do Pacote (kB)	Latência Média(ms)	Perdas(%)
4G 2100MHz	0,5	73	0
4G 2100MHz	3	80	0
4G 2100MHz	15	87	1
4G 2100MHz	35	90	2
5G 3500MHz	0,5	59	0
5G 3500MHz	3	59	0
5G 3500MHz	15	62	0
5G 3500MHz	35	63	1

As latências médias da tabela III, foram feitas no Instituto de Linguagem da UFMT, localizado no bloco de Letras, onde temos acesso as redes 4G e 5G da operadora VIVO, e a média geral foi calculada através da média geral de latência do servidor geral da UFMT (MT), Titânia em Cuiabá (MT), Domina Net em Sinop (MT), IST Informática em Brasília (DF), Coordenadoria de Assistência Técnica Integral em Campinas (SP), Hivelocity em Tampa (Estados Unidos) e La Nacion em Buenos Aires (Argentina).

Adicionalmente, nos testes a menor latência obtida foi do 5G, na casa de 2ms, e no Wi-Fi 6, a menor latência obtida foi de 4ms, testado no Prompt de Comando, onde que um dos pacotes enviados, obteve uma latência menor entre todas as outras, porém sendo a média deste teste de 8ms, e para o Wi-Fi 6, de 5ms, isto se deve ao fato do 5G estar em expansão na cidade de Cuiabá-MT, onde algumas antenas foram recém-instaladas, e sofres algumas oscilações de velocidade e latência.

IV. CONCLUSÕES

As redes 5G e o WiFi 6 são tecnologias de última geração que prometem velocidades de conexão mais rápidas e latências menores do que as redes anteriores.

No caso da rede 5G, a tecnologia é capaz de oferecer latências na ordem de milissegundos, o que é extremamente baixo e ideal para aplicativos que requerem tempo de resposta rápido, como jogos em tempo real e realidade virtual, e de acordo com o artigo de Eze [31], a tecnologia 5G deve passar por avaliações e testes ao ser implementada, o que reitera a necessidade da avaliação de latência.

De acordo com o estudo de Parvaz [20], a rede 5G oferece uma latência significativamente menor do que a rede 4G. Isso ocorre porque o 5G foi projetado para ser uma rede mais avançada e eficiente, com tempos de resposta mais rápidos. O 5G tem uma latência média de cerca de 30ms mais rápida que o 4G. Essa diferença de latência é fundamental para aplicativos que exigem tempo real e comunicações em tempo real, como jogos online, chamadas de vídeo, telemedicina e carros autônomos, e também confirma a avaliação feita neste artigo.

Em resumo, a rede 5G é uma rede mais rápida, eficiente e avançada do que a rede 4G, oferecendo tempos de resposta mais rápidos e menor latência, o que é crucial para as aplicações modernas que exigem comunicações em tempo real.

Já o WiFi 6, de acordo com o artigo de George [32], embora possa não ser tão ágil quanto o 5G, também é capaz de oferecer latências muito baixas, o que o torna adequado para aplicativos de tempo real, como jogos online e videoconferência, e mantém uma latência média menor em maiores distâncias do que a rede 5G, ou seja, em redes de borda, e também é citado aplicações específicas na área, como setores públicos, saúde, empresas de manufatura, bancos e educação, e também cita vantagens em relação as outras gerações de Wi-Fi.

No entanto, deve-se notar que a latência em ambas as tecnologias pode variar dependendo de fatores como a distância do dispositivo à antena, a quantidade de interferência na rede e a qualidade da conexão do dispositivo, e se a rede no local está em fase de implementação. Em geral, ambas as tecnologias são capazes de oferecer latências muito baixas e, portanto, são adequadas para aplicativos que exigem tempo de resposta rápido, ou seja, deve-se projetar uma rede para poder utilizá-la plenamente.

Estas tecnologias de rede sem fio podem ter um impacto significativo no desempenho da conectividade no campus universitário. Ambas as tecnologias sem fio oferecem velocidades mais rápidas e maior capacidade de dados, o que pode ser extremamente benéfico para universidades que precisam lidar com grande quantidade de tráfego de rede.

Por sua vez, o WiFi 6 oferece maior capacidade de rede e maior eficiência energética, permitindo que mais dispositivos se conectem simultaneamente à rede sem comprometer a velocidade ou qualidade do sinal em comparação as redes atuais na UFMT. Isso é especialmente importante em campus universitários, onde muitos estudantes, professores e funcionários precisam se conectar à rede ao mesmo tempo.

Em resumo, tanto o Wi-Fi 6 [31], quanto o 5G [33], têm o potencial de melhorar significativamente a conectividade no campus universitário, oferecendo maior capacidade de rede e melhor eficiência energética. Com essas tecnologias, as universidades podem melhorar a experiência de seus alunos e funcionários, bem como melhorar as capacidades de pesquisa e educação em geral.

Com o Wi-Fi 6 e o 5G, os estudantes e professores podem desfrutar de velocidades de Internet muito mais rápidas em seus dispositivos móveis, laptops e tablets. Isso facilita o acesso a recursos online, como bibliotecas digitais, vídeos educacionais e materiais de aprendizagem interativos.

Com a capacidade de alta velocidade e baixa latência destes meios, é possível fornecer experiências imersivas [34] de realidade virtual e aumentada no campus universitário. Isso pode incluir visitas virtuais a locais históricos, laboratórios virtuais, simulações práticas, visita EaD de campus, sem a necessidade de locomoção até o local.

Os professores podem usar as redes para criar salas de aula digitais interativas. Por exemplo, eles podem transmitir palestras ao vivo de alta qualidade para estudantes que não podem comparecer pessoalmente, realizar pesquisas em tempo real durante as aulas, fazer uso de quadros brancos digitais compartilhados e facilitar a colaboração em grupo por meio de ferramentas online, tudo isto sem travamentos ou lentidão.

As tecnologias podem ser usadas para melhorar a segurança do campus universitário. Câmeras de segurança podem ser conectadas a redes Wi-Fi 6 de alta velocidade para monitoramento em tempo real, permitindo a detecção rápida e o rastreamento de atividades suspeitas. Além disso, sensores IoT podem ser implantados para monitorar condições ambientais, como qualidade do ar e consumo e geração de energia [35], com placas solares presente no campus da UFMT Cuiabá.

Os estudantes e funcionários do campus podem acessar informações em tempo real sobre eventos, atualizações do campus, transporte público, horários de aulas, cardápios do refeitório e muito mais. Isso pode ser feito por meio de aplicativos móveis personalizados ou painéis informativos interativos espalhados pelo campus (futura aplicação).

Os laboratórios universitários podem se beneficiar das velocidades rápidas e da baixa latência para realizar pesquisas avançadas. Por exemplo, experimentos que exigem grandes quantidades de dados podem ser executados de forma mais eficiente, permitindo análises em tempo real e colaboração remota com outros pesquisadores em todo o mundo, como por exemplo o artigo de estudo universitário de Syafrudin [36], onde há vários sensores IoT que precisam de acesso remoto por várias pessoas, e uma grande quantidade de dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Tanenbaun, N. Feamster, D. Wetherall. Rede de Computadores, 6. ed. Pearson; Porto Alegre : Bookman (2021).
- [2] L. Atzori, A. Iera, G. Morabito. "The Internet of Things: A survey". Elsevier (2010).
- [3] A. Goldsmith, *Wireless Communications*, Cambridge University Press, Illustrated. edição 1 (2005).
- [4] A. Tanenbaun, M. V. S. Steen, *Distributed Systems: - Concepts and Design*. 4ª Edição (2005).
- [5] J. Kurose, K. Ross. *Computer networking: a top-down approach* Addison-Wesley, 6 Edição, (2013).
- [6] J. Sachs, L. A. A. Andersson, J. Araújo, C. Curescu, J. Lundsjö, G. Rune, E. Steinbach, G. Wikström. "Adaptive 5G Low-Latency Communication for Tactile Internet Services". DOI: 10.1109/JPROC.2018.2864587.
- [7] "Paessler IoT Solutions for monitoring your IoT" <https://www.paessler.com/iot> Acessado dia 30 de março de 2023.
- [8] L. M-Agama, P. Shiguihara. "Analysis of Internet Service Latency and its Impact on Internet of Things (IoT) Applications"; DOI: 10.1109/EIRCON56026.2022.9934102.
- [9] "The technical name for WiFi is IEEE 802.11 & it provides wireless communications within a wireless local area network, often to an access point or wireless router/hotspot." <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/wifi-ieee-802-11/what-is-wifi.php> Acessado dia 5 de Abril de 2023.
- [10] "About Your AirPort Card" (Manual). https://support.apple.com/MANUALS/0/MA434/en_US/AboutYourAirPortCard.PDF Acessado dia 5 de Abril de 2023.
- [11] "A brief history of Wi-Fi" <https://www.economist.com/technology-quarterly/2004/06/12/a-brief-history-of-wi-fi> Acessado dia 5 de Abril de 2023.
- [12] X. Lee. "Internet Speed Growth Rate" <http://xahlee.info/comp/bandwidth.html> Data: 30/12/2006. Última Modificação: 11/07/2020; Acessado dia 5 de Abril de 2023.
- [13] B. Karanov, V. Oliari, M. Chagnon, G. Liga, A. Alvarado, V. Aref, D. Lavery, P. Bayvel, L. Schmalen; "End-to-End Learning in Optical Fiber Communications: Experimental Demonstration and Future Trends". DOI: 10.1109/ECOC48923.2020.9333265.
- [14] *Internet Starlink Technology*, Acessado dia 30 de março de 2023 <https://www.starlink.com/technology>
- [15] G. Stuber, "Principle of Mobile Communications", Springer; 4 edição (2017).
- [16] "Webinar: ITU standards to measure IP performance and 4G voice quality; SG12 - Performance, quality of

- service (QoS) and quality of experience (QoE)"; <https://www.itu.int/en/ITU-T/studygroups/2022-2024/12/Pages/default.aspx>
- [17] A. Goldsmith, "Wireless Communications", Cambridge University Press; Illustrated edição 1 (2005).
- [18] J. Berger, "QoS and QoE in 5G networks Evolving applications and Measurements", QSDG Workshop, Singapore, 19-21 Agosto de 2019. Dr. Jens Berger Rhode & Schwarz https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/qos/201908/Documents/Jens_Berger_Presentation_1.pdf
- [19] Z. Luo, X. Ding, N. Hou, J. Wan "A Deep-Learning-Based Collaborative Edge-Cloud Telemedicine System for Retinopathy of Prematurity" DOI: 10.3390/s23010276.
- [20] I. Parvez ,A. Rahmati, I. Guvenc ,A. I. Sarwat, H. Dai; "A Survey on Low Latency Towards 5G: RAN, Core Network and Caching Solutions" DOI: 10.1109/COMST.2018.2841349.
- [21] W. Wang, Y. Chang, W. Lo, Y. Lee "Adaptive scheduling for parallel tasks with QoS satisfaction for hybrid cloud environments"; DOI: 10.1007/s11227-013-0890-2.
- [22] ITU-T Rec. E.802 "Quality of telecommunication services: concepts, models, objectives and dependability planning – Terms and definitions related to the quality of telecommunication services" vol. 02, pp. 6-30, 2018.
- [23] X. Jiang, H. Shokri-Ghadikolaei, G. Fodor, E. Modiano, Z. Pang, M. Zorzi, C. Fischione; "Low-Latency Networking: Where Latency Lurks and How to Tame It". DOI: 10.1109/JPROC.2018.2863960.
- [24] MarketsandMarkets. (2022). *Network Assessment Market by Component (Solutions and Services), Type (Wireless Network Assessment and Wired Network Assessment), Deployment Mode, Organization Size, Vertical (Telecom, IT, BFSI, Healthcare), and Region - Global Forecast to 2027*. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/network-engineering-services-market-56168897.html> Acessado dia 2 de Maio de 2023.
- [25] IDC, Market Perspective. J. Cooke, C. Kanaracus, D. McCarthy "Performance Accountability and Edge Decision Making with Couchbase" (2021) DOI: IDC#US48195221
- [26] *Implement Industry 4.0 in Your Manufacturing Operations* <https://www.idc.com/prodserv/insights/manufacturing/checklists?modal=checklist-implement-industry-40-in-your-manufacturing-operations> Acessado dia 2 de Maio de 2023.
- [27] Windows Server is the platform for building an infrastructure of connected applications, networks, and web services, from the workgroup to the data center. <https://learn.microsoft.com/en-us/windows-server/> Acessado dia 5 de Maio de 2023.
- [28] C. DeCusatis, *Handbook of Fiber Optic Data Communication: A Practical Guide to Optical Networking*. Academic Press. 4 edição - Agosto, 2013.
- [29] S. C. Madanapalli, H. Habibi, V. Sivaraman "Know thy lag: In-network gameplay detection and latency monitoring" DOI:10.1007/978-3-030-98785-5_17 (2022).
- [30] R. Kapoor, G. Porter, M. Tewari, G. M. Voelker, A. Vahdat. "Chronos: predictable low latency for data center applications". DOI: 10.1145/2391229.2391238
- [31] K. G. Eze, M. N. O. Sadiku, S. M. Musa "5G Wireless Technology: A Primer" International Journal of Scientific Engineering and Technology ISSN : 2277-1581 Volume N. 7, Issue No. 7, pp. 62-64
- [32] E. Mozaffariahrar, F. Theoleyre, and M. Menth "A Survey of Wi-Fi 6: Technologies, Advances, and Challenges" (MDPI Journal) DOI: 10.3390/fi14100293
- [33] *What is 5G and why does it matter?* © 2023 Verizon <https://www.verizon.com/about/our-company/5g/what-5g> Acessado dia 12 de Maio de 2023
- [34] H. Zhang, A. Elmokashfi, P. Mohapatra "WiFi and Multiple Interfaces: Adequate for Virtual Reality?" IEEE DOI: 10.1109/PADSW.2018.8644610
- [35] G. Hu, Z. Yi, L. Lu, Y. Huang, Y. Zhai, J. Liu, B. Yang "Self-powered 5G NB-IoT system for remote monitoring applications" Elsevier, 2021 DOI: 10.1016/j.nanoen.2021.106140
- [36] M. Syafrudin, G. Alfian, N. L. Fitriyani, J. Rhee "Performance Analysis of IoT-Based Sensor, Big Data Processing, and Machine Learning Model for Real-Time Monitoring System in Automotive Manufacturing" MDPI, 2018 DOI: 10.3390/s18092946