

Brincando do 3G ao 6G: Uma Demonstração de Latência e Vazão com Jogos Físicos

Beatriz Vitória Pereira Moura
b232076@dac.unicamp.br

Lucas Guedes Janune
l206532@dac.unicamp.br

Christian Esteve Rothenberg
chesteve@unicamp.br

Departamento de Engenharia de Computação e Automação (DCA)
Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC)
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

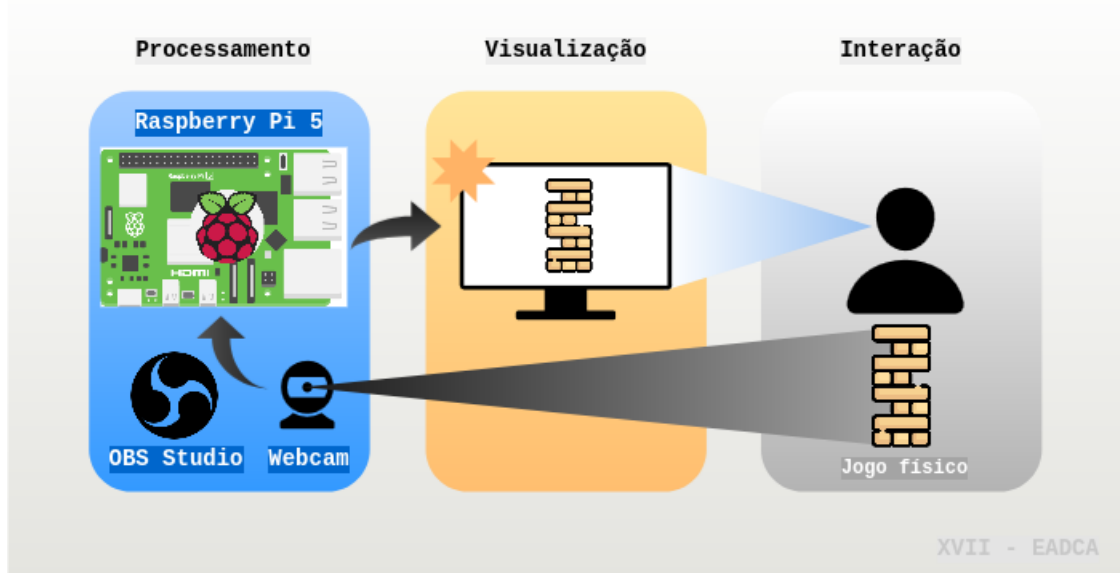


Figura 1: Diagrama arquitetural da demonstração de latência e vazão com jogos físicos.

Resumo

A disseminação das vantagens da tecnologia da rede 5G, como a otimização da vazão (*throughput*) e a redução de latência, comumente é realizada com jargões técnicos, dificultando o entendimento do público geral. Por isso, o projeto propõe uma demonstração com jogos físicos com o objetivo de simular os impactos de redes 4G e 5G por meio da experiência multisensorial do usuário. A abordagem utiliza jogos populares como Jogo do Arame, Jenga e Operando, que exigem precisão e coordenação motora fina para envolver o jogador via streaming de vídeo e feedbacks auditivos e táteis. O feed de vídeo é processado num Raspberry Pi 5 com o software *OBS Studio*, simulando condições de latência e vazão com filtros de atraso e perfis de bitrate e resolução de imagem. Aplicou-se uma metodologia de experimentação qualitativa e quantitativa, promovendo resultados de tempo de jogada, taxa de sucesso e experiência do usuário (QoE). Então, o projeto validou que

a alta latência inviabiliza tarefas de precisão e a baixa vazão dificulta o julgamento, dada a perda de detalhes visuais, reforçando as melhorias propostas na tecnologia 5G de forma lúdica, eficaz e pedagógica.

Palavras-Chave — 5G, Latência, Throughput, Jogos Interativos, Comunicação Científica

1. Introdução

O surgimento e a popularização da Internet, o *Big Data*, a virtualização e outras tecnologias (IA, *Edge Computing*, etc) interligadas à diversificação dos modelos de negócios tecnológicos promoveram uma migração das diversas arquiteturas de software para *cloud computing* e projetos de tempo real. Assim, aplicações complexas e plataformas de nuvem fomentaram uma demanda acentuada por otimização do fluxo de dados de entradas e saídas dos usuários considerando o processamento massivo de informações. É nesse contexto

que os projetos de tempo real, como *cloud gaming*, telerrobótica, sistemas de monitoramento e até mesmo procedimentos cirúrgicos remotos disseminaram conceitos de performance das redes 4G e 5G.[5] [6]

Diante desse cenário, as tecnologias das redes 5G (estado da arte) e 6G (pesquisa e desenvolvimento) são exploradas como infraestruturas capazes de revolucionar o desempenho dos sistemas e *apps* que conhecemos hoje. Contudo, um dos principais desafios é divulgar cientificamente os benefícios e os conceitos abstratos de latência e vazão em formatos usuais, compreensíveis e familiares ao público em geral mantendo a sua relevância técnica.

Nesse sentido, este projeto é uma forma de contrapor essa lacuna existente na comunicação. Assim, o objetivo principal é construir uma demonstração interativa que possibilite experienciar os impactos de desempenho das redes 4G e 5G simuladas. Por isso, a abordagem adota a utilização de jogos físicos e infantis de precisão, habilidade e coordenação motora fina, que produzem *feedbacks* visuais e auditivos imediatos. Em razão da popularidade dos jogos escolhidos, a experiência é livre para públicos de todas as idades e de ramos de atuação além da área *tech*.

2. Métodos

A demonstração desenvolvida consiste na interação do usuário com um dos três jogos físicos (Jogo do Arame, Jenga ou Operando), onde a percepção visual das ações é mediada por uma transmissão de vídeo num monitor. Pretende-se então ilustrar como a performance de rede favorece ou desfavorece a execução das tarefas em tempo real.

Para montagem do ambiente experimental, foram estabelecidos perfis e cenas com parâmetros de filtro de latência, vazão (*bitrate* (*Kbs/s*) e *resolução*) e perda de pacotes configuráveis no *open-source* OBS Studio, simulando as condições das redes 4G e 5G. Nesse sentido, a figura 1 exibe o diagrama arquitetural do projeto.

O dispositivo central de processamento utilizado é um microcomputador de placa única, o Raspberry Pi 5, cujo sistema operacional Raspberry OS baseado em kernel Linux é prático, leve para o desenvolvimento de

demonstrações e disponibilizado para **download** gratuito no site oficial da plataforma. [3] [4] Além disso, conectou-se uma *webcam* com resolução máxima de 1028 pixels e 30FPS (frames por segundo) ao Rasp Pi 5 para alcançar uma boa representação visual do mundo real.

Com base na ilustração, os quadros da captura da webcam são processados no Rasp 5, onde os efeitos de latência e vazão são aplicados de acordo com a pré-configuração do OBS Studio. Esse fluxo permite que o usuário tenha experiências diversificadas durante as jogadas, relacionadas ao nível de dificuldade, habilidades desenvolvidas e tempo de reação aos eventos de cada jogo.

Durante os testes de demonstração, a pré-configuração do OBS Studio foi ajustada para possibilitar a análise em 4 cenários, 2 cenários de variação de latência e 2 cenários de variação de vazão, descritos na tabela 1

Tabela 1: Cenários de Latência e de Vazão

# Cenário	# Parâmetro	Característica	Rede Simulada	OBS Studio
1	Latência	Referência	5G	10 ms 1080p @ 4000 Kbs
2	Latência	Alta latência	4G	100 ms 1080p @ 4000 Kbs
3	Vazão	Referência	5G	10 ms 720p @ 4000 Kbs
4	Vazão	Baixa vazão	4G	10 ms 720p @ 600 Kbs

Para tratar o ambiente de estudo, a utilização do cronômetro e a criação de uma taxa de sucesso das jogadas foram determinantes para a extração dos resultados como tempo de execução da jogada, instante da primeira falha e completude da proposta de cada jogo.

Assim, a taxa de sucesso foi definida baseada na contagem de falhas perceptíveis durante a jogada:

- Score = 0: $falhas \geq 9$
- Score = 1: $1 \leq falhas \leq 5$
- Score = 2: $6 \leq falhas \leq 8$

Os percentuais de sucesso dos experimentos de um cenário foram determinados com as jogadas que obtiveram *score* de pelo menos 1.

3. Impactos da Pesquisa

O impacto positivo central deste trabalho é conectar a sociedade à ciência. A escolha dos materiais colaborou para a construção de uma ferramenta educacional que promove a compreensão e a acessibilidade em relação aos conceitos técnicos de latência e vazão. Além disso, ao permitir que os usuários desfrutem da experiência de frustração e satisfação em cenários complexos e fluidos, a demonstração quantifica o desconforto tecnológico e comunica de forma eficaz o valor prático do 5G para aplicações em tempo real.

Os resultados da demonstração são influenciados por fatores humanos, tais como o refinamento das habilidades do jogador ou até mesmo a memorização das atividades. O reconhecimento dessas limitações pode ser explorado futuramente para aprimoramento do projeto. Já do ponto de vista de replicação, adotou-se um *setup* experimental que pode ser adaptado para montagens de baixo custo, reduzindo significativamente a barreira tecnológica de reprodução no ambiente escolar ou em outras instalações.

4. Resultados e Discussão

Durante os experimentos do cenário de latência, os resultados dos gráficos 2 e 3 evidenciam um aumento no tempo médio de jogada com o incremento do atraso. O resultado era esperado devido à dificuldade de realizar movimentos para completar o percurso do jogo do arame ou remover peças do Jenga, uma vez que a visualização dos acontecimentos, causas e consequências estavam diretamente atrelados ao atraso perceptível. Além disso, os resultados do tempo médio e do primeiro instante de falha no cenário de referência (5G) sugerem que existem outros fatores de influência, como o refinamento da estratégia do jogador e a memorização do percurso.

Já nos cenários de vazão, os resultados de sucesso, tempo médio e instante da primeira falha foram coerentes para as redes 4G e 5G, confira na figura 4. A perda dos detalhes visuais finos dificultou o julgamento preciso do jogador no perfil da rede 4G. Em relação ao tempo médio por experimento, a degradação da imagem desacelerou o ritmo das jogadas no caso do 4G mesmo com filtro de baixa latência, fornecendo uma vantagem ao jogador no cenário de referência (5G). No aspecto geral, a taxa de sucesso dos experimentos foi

totalmente suscetível a variações de filtro de atraso. No caso dos experimentos de latência para a rede 4G simulada, os resultados ainda não descrevem um comportamento determinante devido à variabilidade nas habilidades do jogador ao longo das repetições das jogadas. Sendo assim, para os próximos passos será importante analisar a correlação entre a taxa de sucesso e as habilidades do jogador.



Figura 2: Taxa de sucesso das jogadas do cenário de latência.

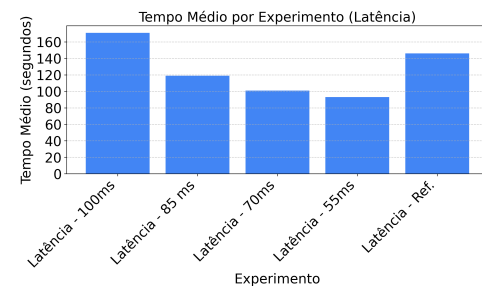


Figura 3: Duração média das jogadas no cenário de latência.

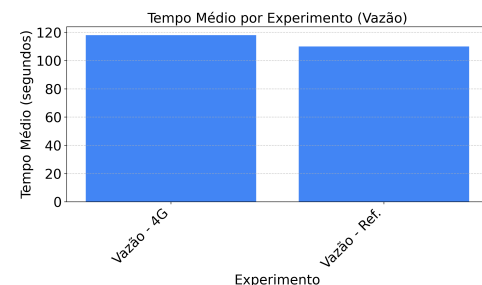


Figura 4: Duração média das jogadas no cenário de vazão.

Qualitativamente, o método QoE, estabelecido para avaliação da experiência do usuário em aplicações de *cloud gaming* [1] [2], validou o impacto do 5G em tarefas que exigem alta precisão e coordenação

motora fina. De acordo com o gráfico 5, a clareza percebida da imagem e a facilidade de julgamento apresentaram quedas quando avaliadas no cenário de 4G e o nível de frustração teve um contraste ainda maior. Por outro lado, a experiência com o 5G foi satisfatória considerando os aspectos e limitações do setup experimental. Por consequência, os resultados auxiliaram a quantificar a dissonância cognitiva em cenários críticos e reforçar a fluidez dos cenários de 5G.

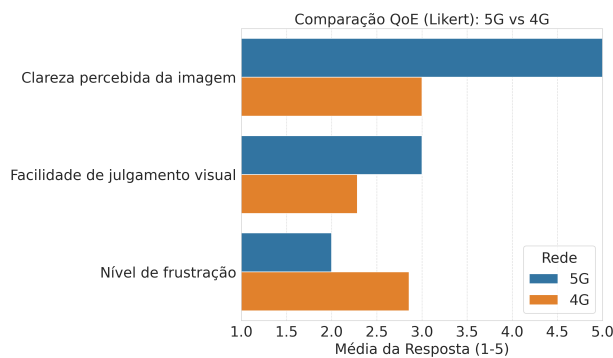


Figura 5: Comparação QoE (Likert): 5G vs 4G.

5. Conclusão

O desenvolvimento da demonstração a partir de jogos físicos simples se mostrou uma ferramenta pedagógica enriquecedora, pois promove uma compreensão intuitiva e imersiva dos conceitos de latência e vazão das redes 4G e 5G popularizadas na era digital. A organização dos experimentos e a replicação das jogadas validaram a hipótese de que é possível demonstrar conceitos de latência e de vazão **throughput** das redes 4G e 5G exibindo os impactos no desempenho de tarefas de precisão motora final de maneira mensurável.

Conclui-se em escala prática que a latência da rede pode inviabilizar o controle motor fino para tarefas gamificadas, com resultados críticos em casos de atraso elevado. De natureza similar, os cenários de baixa vazão intensificam a perda de detalhes visuais e dificultam o julgamento preciso do jogador. Sendo assim, o projeto atingiu os objetivos propostos com uma abordagem que combina conceitos de redes e reforça a experiência do usuário como fator de percepção do salto tecnológico promovido pelo 5G, especialmente no aspecto de interações precisas em tempo real.

Agradecimentos

Finalmente, os agradecimentos pelas contribuições neste projeto e viabilização do seu desenvolvimento são destinados ao professor e orientador Dr. Christian Esteve Rothenberg, ao laboratório de pesquisa SMARTNESS e à Fundação de Desenvolvimento da Unicamp (FUNCAMP), que forneceram auxílio contínuo durante o período de elaboração da prova de conceito.

Referências

- [1] Tobias Hossfeld. Itu-t standardization activities targeting gaming quality of experience – acm sigmm records. *ACM SIGMM Records*, Mar 2021. Acessado em: 13 de nov. de 2025.
- [2] Asif Ali Laghari et al. Quality of experience (qoe) in cloud gaming models: A review. *Multiagent and Grid Systems*, 15(3):289–304, Oct 2019.
- [3] Raspberry Pi. Raspberry pi documentation - raspberry pi os. www.raspberrypi.com, 2023.
- [4] Raspberry Pi Foundation. Raspberry pi os – raspberry pi documentation.
- [5] M. Suznjevic, I. Slivar, and L. Skorin-Kapov. Analysis and qoe evaluation of cloud gaming service adaptation under different network conditions: The case of nvidia geforce now. In *2016 Eighth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX)*, pages 1–6, Lisboa, Portugal, 2016.
- [6] Qi Zhang et al. Towards 5g enabled tactile robotic telesurgery, Mar 2018. arXiv:1803.03586 [cs].