



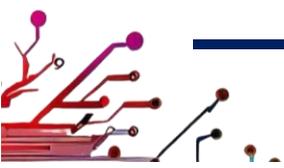
## **Análise de Sensibilidade dos Benefícios Econômicos no Uso da Faixa de 6 GHz para Sistemas Não-Licenciados**

AGOSTINHO LINHARES

<https://ipedigital.tech>

LEONARDO EULER DE MORAIS

Julho de 2025





## SUMÁRIO EXECUTIVO

A Anatel definiu os requisitos técnicos e operacionais que permitem o uso da faixa de 5.925 – 7.125 MHz para sistemas não-licenciados (ex. WiFi6e e WiFi7) no início de 2021. Essa decisão da Agência considerou os resultados do estudo “Avaliação do valor econômico do uso não licenciado na faixa de 6 GHz no Brasil”, de agosto de 2020, da *Dynamic Spectrum Alliance (DSA)*. Posteriormente, esse estudo foi atualizado em 2024. Nesse interim, foi publicado estudo da GSMA, “Brazil Market Insight – The 6 GHz Band”, e elaborado estudo do Instituto de Pesquisa para Economia Digital – IPE Digital, “Uso da Faixa de Radiofrequências de 6GHz para Sistemas IMT (5G e Futuros Sistemas 6G) Maximizará os Benefícios Econômico-Sociais para o Brasil”.

Considera-se no Relatório da DSA que o limite prático da velocidade média do WiFi na faixa de 5 GHz em um cenário de alta demanda de tráfego seria de 150 Mbps (sem o uso da faixa de 6 GHz). Ocorre que os equipamentos mais novos permitem picos de velocidades mais de 10X superiores a 150 Mbps. Esse trabalho também considera que duplicar a velocidade média da internet no Brasil teria um impacto no PIB de 0,73% e que esse efeito seria linear. Isto é, se dobrasse a velocidade média de 150 Mbps para 300 Mbps ocasionaria um impacto direto no PIB de 0,73%, e esse impacto na economia seria igual caso a velocidade média variasse de 1 Gbps para 2 Gbps. Há outros trabalhos que consideram que o impacto no PIB por duplicar a velocidade seria de 0,3% e que o efeito não seria linear.

Cumpra mencionar também que a metodologia apresentada no mesmo trabalho sugere que o impacto agregado na economia de 2021-2024 teria sido 12 bilhões de dólares. Isto é, tal estudo estima que a decisão da Anatel em 2020/2021 já teria impactado a economia brasileira em mais de 60 bilhões de reais (período de 2021 - 2024). O mesmo relatório considera que o impacto no PIB em 2024, somente devido à redução no congestionamento pelo uso da faixa de 6 GHz, teria tido o impacto de 2,495 bilhões de dólares (entre 12,5 e 15 bilhões de reais, a depender da taxa de câmbio). Olhando em retrospectiva, a estimativa não se confirmou.

Não se confirmou também a estimativa de tráfego WiFi fluindo por redes na faixa de 6 GHz. O relatório da DSA considera que o *offload* de dados na faixa de 6 GHz seria de 30% em 2024. A realidade mostra que na capital do país, Brasília, cidade de alto poder aquisitivo e alto nível de instrução de seus moradores, o *offload* de dados na faixa de 6 GHz ainda é inferior a 1%. Assim, é razoável pressupor que em termos de Brasil, o *offload* em 6 GHz seria ainda menor. Por isso, para o Brasil de 2024, considerar o *offload* em 6 GHz como correspondendo a 30% dos dados, se estaria errando em mais de 30 vezes essa estimativa.





Resumidamente, **as tabelas abaixo apresentam as estimativas de impacto no PIB pela redução do congestionamento do WiFi e consequente aumento de velocidade** (valores em bilhões de dólares):

#### Com 1.200 MHz para WiFi em 6GHz

	2024	2025	2024 - 2034
<b>DSA 2024</b>	2,495	3,974	182,438
<b>Análise de Sensibilidade 1</b>	0,035	0,186	40,4
<b>Análise de Sensibilidade 2</b>	0,014	0,077	16,6

#### Com 500 MHz para WiFi em 6GHz

	2024	2025	2024 - 2034
<b>DSA 2024</b>	2,495	3,477	95,12
<b>Análise de Sensibilidade 3</b>	0,035	0,186	31,1
<b>Análise de Sensibilidade 4</b>	0,014	0,077	12,78

Percebe-se que as análises de sensibilidade indicam valores muito menores do que os estimados originalmente. **Analisando especificamente o impacto no PIB pela redução do congestionamento WiFi e aumento de velocidade, enquanto o Relatório da DSA indica que se deixaria de agregar a economia US\$ 87,3 bilhões pela modificação na destinação da faixa de 6/7 GHz, o presente trabalho analisa que este valor poderá ser na realidade inferior a US\$ 4 bilhões para o período 2024 – 2034.** Por outro lado, outros estudos indicam que o impacto econômico do uso da faixa de 6/7 GHz por sistemas 5,5G/6G gerará dezenas de bilhões de dólares na economia, de tal forma que a solução que trará o maior benefício econômico-financeiro é o uso combinado dos 1.200 MHz da referida faixa de radiofrequências pelos dois sistemas, isto é, parte para o WiFi (500 MHz) e parte para sistemas 5.5G/6G (700 MHz).

O presente trabalho propõe uma análise de sensibilidade em algumas considerações (*assumptions*) adotadas no estudo atualizado da DSA. Destaca-se que não se está desafiando o ótimo trabalho dessa respeitada Associação, mas se está trazendo elementos para o bem do debate, ainda mais que o ciclo de estudo analisado é de 2024 – 2034, de tal forma que já há elementos para avaliar se as estimativas de 2024 se concretizaram ou não. Ademais, o presente estudo se baseia em medições práticas disponíveis abertamente para mostrar velocidades reais, levando em consideração a evolução da tecnologia WiFi na faixa de 5GHz, não apenas do lado dos roteadores, mas também do lado dos equipamentos dos usuários (ex. smartphones, tablets e Laptops). Os resultados deste trabalho indicam que a decisão da Anatel de modificar a destinação da faixa de 6.425 – 7.125 MHz tomada ao fim de dezembro de 2024 é a melhor opção para o Brasil.





---

# Análise de Sensibilidade dos Benefícios Econômicos no Uso da Faixa de 6 GHz para Sistemas Não-Licenciados

## 1. Introdução

Durante a última Conferência Mundial de Radiocomunicações (WRC-23), que findou em 15 dezembro de 2023, a Administração Brasileira atuou para identificar a faixa de 6.425 – 7.125 MHz para IMT (*International Mobile Telecommunications*) e foi bem-sucedida. Destaca-se que quando se trata de sistemas IMT em 6/7 GHz, está-se considerando tanto o IMT-2020 (equivalente aos sistemas 5G), quanto o IMT-2030 (equivalente aos futuros sistemas 6G). O 3GPP já havia padronizado o uso da referida faixa para sistemas licenciados 5G, no Release 17 da tecnologia NR (*New Radio*), ainda em 2022. Tal faixa recebeu a nomenclatura de “banda n104”.

Anteriormente, em fevereiro de 2021, a Anatel tinha definido os requisitos técnicos e operacionais que permitiriam o uso da faixa de 5.925 – 7.125 MHz, para “Sistema de Acesso Sem-Fio em Banda Larga para Redes Locais”, conhecido internacionalmente como “WAS/RLAN – Wireless Access System, including Radio Local Access Network”, sendo o WiFi6e a tecnologia mais conhecida nessa faixa de radiofrequências. Em outras palavras, a Anatel destinou toda a faixa de 6 GHz para o WiFi6e.

Essa decisão da Agência considerou os resultados do estudo<sup>1</sup> “Avaliação do valor econômico do uso não licenciado na faixa de 6 GHz no Brasil”, de agosto de 2020. Posteriormente, esse estudo publicado pela *Dynamic Spectrum Alliance (DSA)* foi atualizado, constando como sendo de abril de 2024<sup>2</sup>. Nesse interim, foi publicado estudo da GSMA,

---

<sup>1</sup> <https://dynamicspectrumalliance.org/wp-content/uploads/2020/11/1-DSA-Valor-Economico-Uso-Nao-Licenciado-6-GHz-Brasil-1.pdf>

<sup>2</sup> <https://dynamicspectrumalliance.org/2024/Assessingtheeconomicvalue6GHzBandBrazil2021-2034.pdf>



---

“Brazil Market Insight – The 6 GHz Band”, e elaborado estudo<sup>3</sup> do Instituto de Pesquisa para Economia Digital – IPE Digital, “Uso da Faixa de Radiofrequências de 6GHz para Sistemas IMT (5G e Futuros Sistemas 6G) Maximizará os Benefícios Econômico-Sociais para o Brasil”.

Posteriormente, em dezembro de 2024, a Anatel aprovou o novo Plano de Atribuição, Destinação e Distribuição de Frequências no Brasil (PDFF), modificando a destinação da faixa de radiofrequências de 6.425 – 7.125 MHz, para incluir o Serviço Móvel Pessoal (SMP), além de indicar que sua licitação ocorrerá em 2026<sup>4</sup>.

**O presente trabalho propõe, respeitosamente, uma análise de sensibilidade em algumas considerações (*assumptions*) adotadas no último estudo da DSA para o Brasil. Vale ressaltar que o objetivo do trabalho em tela não conforma mera contestação dos apontamentos dessa respeitada Associação. De outra sorte, busca-se contribuir com elementos que enriqueçam o debate, sobretudo considerando que o ciclo de estudos em análise abrange o período de 2024 a 2034. Nesse contexto, já se dispõe de subsídios para avaliar em que medida as projeções para o ano de 2024 se confirmaram. Ademais, o presente estudo se baseia em medições práticas disponíveis abertamente para mostrar velocidades reais, levando em consideração a evolução da tecnologia WiFi na faixa de 5GHz, não apenas do lado dos roteadores, mas também do lado dos equipamentos dos usuários (ex. smartphones, tablets e Laptops).**



As seções 2 – 5 focam nos aspectos da tecnologia WiFi e suas evoluções, além do estudo de 2024 da DSA, enquanto as seções 6 e 7 acrescenta a análise de sensibilidade do impacto econômico em relação ao estudo da DSA.

## 2. Comentários Iniciais sobre Aspectos Técnicos e Econômicos

Há vários trabalhos disponíveis na internet que apresentam o desempenho de roteadores WiFi de diferentes tecnologias em diferentes faixas de frequências.

De antemão, é importante ter em mente que a tecnologia WiFi6 é padronizada pelo *Institute of Electrical and Electronic Engineers - IEEE* sob a nomenclatura IEEE 802.11ax. O

---

<sup>3</sup> [https://assets.zyrosite.com/Aq2B6zbGq3CZbVkd/otimizacao\\_6ghz-m5Kw6aaZLouEelGw.pdf](https://assets.zyrosite.com/Aq2B6zbGq3CZbVkd/otimizacao_6ghz-m5Kw6aaZLouEelGw.pdf)

<sup>4</sup> <https://teletime.com.br/14/01/2025/leilao-da-faixa-de-6-ghz-em-2026-embaralha-planos-ate-da-anatel/>



WiFi6e é uma espécie de subconjunto, em que o padrão 802.11ax opera na faixa de 6GHz. Assim, se pode ter um roteador WiFi6e que implementará o padrão 802.11ax na faixa de 6GHz, assim como seguirá o mesmo padrão 802.11ax na faixa de 5 GHz (além de implementar o padrão 802.11ac, que operará a depender do equipamento dos usuários) e 2,4 GHz (além de implementar o padrão 802.11n, que operará a depender do equipamento dos usuários). E nesse caso, esse roteador moderno, possui tipicamente velocidades de processamento maior e apresentará desempenho superior quando comparado com roteadores legados que utilizam, p.ex., somente o padrão 802.11ac na faixa de 5GHz. Da mesma forma, se pode ter um roteador WiFi6 que opera na faixa de 5GHz (e não opera em 6 GHz).

Adicionalmente, qualquer avaliação temporal de longo prazo deve também levar em conta a evolução dentro da própria tecnologia, assim como a evolução dos equipamentos de usuários. Como será mostrado adiante, diferentes equipamentos de cliente (ex. Laptop de 2021 x Laptop de 2023, de mesma marca) podem ter desempenhos bem diferentes, mantidas as demais condições constantes (*ceteris paribus*). Logo, você pode ter um cenário em que roteador se conecta com um laptop mais antigo com velocidade máxima, p.ex., da ordem de 600 Mbps, e se fizer o mesmo teste, mas com um laptop novo, poderá atingir quase o dobro dessa velocidade<sup>5</sup>.

**Do ponto de vista econômico, um aspecto muito relevante é se a relação entre o acréscimo na velocidade da banda larga e o impacto econômico seria linear (ex. constante quando se duplica a velocidade) ou não-linear. Outro aspecto importante é o real impacto na economia desse acréscimo (ex.: dobrar a velocidade de  $y$  para  $2y$  Mbps implicaria em um impacto de  $x\%$  na economia de um determinado país). O trabalho da DSA considerou que duplicar a velocidade média da internet no Brasil teria um impacto no PIB (Produto Interno Bruto) de 0,73% e que esse efeito seria linear. Isto é, se dobrasse a velocidade média de 150 Mbps para 300 Mbps ocasionaria um impacto direto no PIB de 0,73%, e esse impacto na economia seria igual caso a velocidade média variasse de 1Gbps para 2Gbps. Há outros trabalhos<sup>6</sup> que consideram que o impacto no PIB por duplicar a velocidade seria bem menor, por exemplo, 0,3%.**

Ademais, outros trabalhos consideram também que o modelo não-linear, do tipo “U invertido”, seria mais adequado para modelar o efeito do acréscimo de velocidade média no PIB de um país, isto é, a variação do resultado econômico do acréscimo na velocidade média

<sup>5</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=58IRA7rfONo&t=16s>

<sup>6</sup> KONGAUT, Chatchai e BOHLIN, Erik. *Impact of broadband speed on economic outputs: An empirical study of OECD countries. Economics and Business Review*, Vol. 3(17), No. 2, 2017: 12 – 32.





da internet é crescente até certo ponto, mas diminui após superá-lo. P.ex., estudo do Dr. Pantelis Koutrompis<sup>7</sup> indicou que para os países da OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico), no período de 2002 a 2016, o ponto de máximo da curva “U invertido” foi de 9,8 Mbps. Ele também destaca que esse limite de velocidade varia entre países e ao longo do tempo, pois isso envolve a capacidade da economia em transformar a qualidade da infraestrutura em resultados econômicos.

Essa característica de retornos marginais decrescentes é muito comum na economia. Imagine que em uma casa se tenha a velocidade média de download de 50 Mbps. Isso é suficiente para navegar pela internet, assistir filme em ultra alta definição (4K), e assistir aulas on-line, tudo isso em paralelo. Porém, ter um *link* com velocidade média de 150 Mbps pode trazer novas possibilidades, como jogos on-line, múltiplas televisões assistindo filmes em 4K, e até aplicações de realidade virtual. Na prática, o benefício associado em multiplicar em 3X a velocidade média de *download*, quando se varia de 50 Mbps para 150 Mbps, é superior ao caso em que se varia a velocidade média de 150 Mbps para 450 Mbps, que é superior ao cenário em que se varia a velocidade média de 450 Mbps para 1.350 Mbps. Isto é o que se chama de utilidade marginal decrescente.

Outro ponto que merece cautela é evitar contagens duplas. P.ex., aplicações de realidade aumentada e de realidade virtual (AR/VR) dependem de velocidades altas. Logo, aumentar a velocidade é um habilitador para permitir AR/VR, e essas novas aplicações pelo acréscimo de velocidade geram um impacto no PIB. Aumentar a velocidade sem ter novas aplicações e usos poderia impactar pouco no PIB<sup>8</sup>. Assim, aumentar a velocidade média cria um ambiente para viabilizar novas aplicações, logo existe correlação entre esses eventos, consequentemente é um trabalho adicional conseguir avaliar o impacto individual desses eventos, sem incorrer em dupla contagem.

Por fim, merece destaque o fato que, principalmente, nessa fase inicial da tecnologia WiFi6e, ter 500 MHz ou 1200 MHz altera muito pouco (para não afirmar que não altera) as questões práticas de desempenho ou aplicações. Imagine uma avenida longa com várias faixas para carros. Ter um carro somente ao longo de toda a avenida, ou 10 carros, ou 100 carros, não alterará, na prática, o desempenho de cada carro individualmente, pois a avenida ainda estará livre o suficiente para que cada carro trafegue na velocidade máxima da via. Da

<sup>7</sup> KOUNTRUMPIS, Pantelis. *The economic impact of broadband: evidence from OECD countries*. 2018. Elaborado a pedido da OFCOM (Reino Unido).

<sup>8</sup> O PIB é a soma do consumo familiar (CF), gastos do governo (GG), investimentos privados (IP) e resultado da balança comercial (BC).  $PIB = CF + GG + IP + BC$ . Aumentar a velocidade implica em investimentos, logo já impacta o PIB. Porém, o efeito multiplicador sem novas aplicações ou usos pode ser pequeno.





mesma forma ocorrerá com os sistemas WiFi6e, sendo que a tecnologia WiFi nasceu para fazer uso compartilhado e eficiente da faixa de radiofrequências, além do mais, tipicamente, os roteadores estão ativos (com alguma transmissão) por um pequeno percentual do tempo na média.

### 3. Avanços do WiFi 6, WiFi 7 e WiFi 8

Os padrões WiFi 6 e WiFi 7 trazem evoluções muito importantes em relação ao WiFi 5. Um detalhe muito importante é que ambas as tecnologias também operaram nas faixas de 2,4 GHz e 5 GHz. Logo, qualquer trabalho que considere o uso do WiFi à longo prazo deverá também considerar o impacto dessas novas tecnologias em faixas já utilizadas pelas tecnologias legadas (ex. WiFi 5). E, evidentemente, o padrão WiFi 8 trará evoluções em relação aos predecessores.

#### 3.1. Avanços do Padrão IEEE 802.11ax (em relação ao 802.11ac)

O padrão 802.11ax traz uma série de avanços em relação ao padrão 802.11ac proporcionando melhorias na qualidade de serviço e redução de latência através de técnicas avançadas de alocação de recursos. Algumas dessas características são:

- **MU-MIMO (Multi-User Multiple Input Multiple Output) Aprimorado:** enquanto o 802.11ac permite o MU-MIMO somente no *downlink*, o 802.11ax estende essa técnica para o *uplink* também, viabilizando a transmissão simultânea ao roteador de múltiplos dispositivos, aumentando a eficiência da rede.

- **OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access):** permite que um único canal seja dividido em canais menores, possibilitando a transmissão simultânea de dados para múltiplos dispositivos. Enquanto o padrão 802.11ac considera que todos os recursos espectrais de uma camada MIMO estão alocados para um único usuário, em determinado instante de tempo, o 802.11ax particiona esses recursos, melhorando a eficiência e reduzindo a latência, principalmente em ambientes com muitos dispositivos conectados.





- **BSS (Basic Service Set) Coloring:** introduz uma técnica de "colorização" para diferenciar redes concorrentes, mitigando interferências, de tal forma a reduzir as colisões de sinal e melhorar o desempenho em ambientes densos, como apartamentos e áreas urbanas.

- **Maior Eficiência Espectral:** o 802.11ax melhora a eficiência espectral permitindo a transmissão de mais dados dentro do mesmo espectro de frequências. Enquanto este novo padrão permite modulação de 1024 QAM, o padrão anterior permitia somente 256 QAM. Com isso, o novo padrão oferece melhor desempenho e velocidade, especialmente em locais com alta densidade de usuários.

### 3.2. Avanços do Padrão IEEE 802.11be – WiFi 7 – sobre o WiFi6

O WiFi 7, padrão IEEE 802.11be, também conhecido com EHS (extreme high throughput), já foi aprovado no IEEE e já há no mercado roteadores WiFi 7 sendo vendidos.

O WiFi 7 permitirá uma modulação de ordem mais alta (4.096 QAM), mais camadas MIMO (16 *spatial streams*, contra 8 do WiFi 6), além de uma portadora mais larga, de 320 MHz. Todavia, essas três características são evoluções em relação a técnicas já conhecidas.

Destaca-se a seguir outras duas características que flexibilizarão o uso do espectro de radiofrequências, reduzirão interferências e aumentarão o *throughput*.

- **MLO (Multi-Link Operation):** a operação MLO permite que os dispositivos utilizem múltiplos canais simultaneamente em diferentes faixas de frequências (ex. agregação de canais em 2,4 GHz, 5 GHz e 6 GHz). Isso melhorará a resiliência e a eficiência da rede, minimizando a latência e otimizando o uso de espectro.

- **MRU (Multiple Resource Unit):** o RU (*Resource Unit*) é uma unidade de alocação de canal que surgiu com o OFDMA introduzido no padrão 802.11ax. No 802.11ax, um usuário pode ser consignado somente um único RU. No 802.11be, isso será estendido para permitir a alocação de múltiplos RU's para um único usuário<sup>9</sup>. Outra característica importante do WiFi 7 que atua conjuntamente com o MRU é o *puncturing*<sup>10</sup> que permite a transmissão de RU's não contíguos para evitar interferências em subcanais.

<sup>9</sup> <https://dl.cdn-anritsu.com/zh-tw/test-measurement/files/Brochures-Datasheets-Catalogs/White-Paper/wi-fi-7-er1100.pdf>

<sup>10</sup> <https://community.arubanetworks.com/blogs/gregory-weaver1/2024/04/22/hpe-aruba-networkings-integration-of-wi-fi-7-techn>





### 3.3. Avanços do Padrão IEEE 802.11be – WiFi 7 – sobre o WiFi6

O Wi-Fi 8 aprimorará ainda mais o desempenho com novos recursos, aumentando a estabilidade das conexões, consequentemente aumentando a velocidade efetiva, com menor latência e melhor desempenho do que as versões anteriores do Wi-Fi. Comparado com a operação MAC/PHY do WiFi 7, o 802.11bn permitirá pelo menos um modo de operação capaz de aumentar o *throughput* em 25% e reduzir a latência em 25% para o 95º percentil da distribuição de latência, além de reduzir a perda de pacotes (*MPDU – MAC Protocol Data Unit*) em 25% e melhorar a potência STA e AP com compatibilidade retroativa. Espera-se que o Wi-Fi 8 ofereça uma gama de novos recursos, incluindo coordenação e transmissão de múltiplos APs, suporte para frequências de ondas milimétricas (mmWave) e aprimoramentos de baixa latência. Espera-se que a padronização do WiFi 8 seja concluída até 2029<sup>11</sup>.

## 4. Resultados de Medições de Velocidade de Roteadores WiFi6 em 5GHz, WiFi6e em 5GHz e 6GHz, e WiFi7 em 5GHz e 6GHz

O Relatório da DSA (DSA, 2024) faz algumas considerações que merecem análises mais pormenorizadas. Nessa seção será avaliado apenas um elemento técnico, que se destaca e que tem grande impacto nos números finais de impacto na economia. Considera-se nesse Relatório que o limite prático da velocidade média do WiFi na faixa de 5 GHz seria de 150 Mbps (sem o uso da faixa de 6 GHz). Ocorre que os equipamentos mais novos permitem picos de velocidades mais de 10X superiores a 150 Mbps. Evidentemente, quando se considera a velocidade média, deve-se levar em conta que nem todos os terminais estarão muito perto do roteador WiFi e que o possível uso intensivo da faixa de 5 GHz pode degradar a experiência do usuário. Por outro lado, equipamentos WiFi na faixa de 5 GHz podem operar com potências superiores em relação a equipamentos na faixa de 6 GHz, além de seus sinais possuírem perda de propagação inferiores, de tal forma que em distância de poucas dezenas de metros podem apresentar velocidades superiores às de equipamentos de mesma tecnologia na faixa de 6 GHz.

De posse dessas considerações, apresenta-se na sequência números de testes reais com diferentes equipamentos em diferentes cenários.

<sup>11</sup> <https://www.comtelitalia.it/en/innovation-in-indoor-wi-fi-connectivity-eng/>





#### 4.1. Avanços do Padrão IEEE 802.11be – WiFi 7 – sobre o WiFi6

O primeiro teste<sup>12</sup> compara os resultados de testes realizados com *Laptop* e com *smartphone* com um roteador WiFi6e. Nesse ambiente de testes se avaliou o desempenho com portadora de 80 MHz em 5 GHz, 160 MHz em 5GHz e em 6 GHz. O teste em 5 GHz e 80 MHz de largura de faixa buscava simular se a seleção dinâmica de frequência (DFS) interrompia a conexão. O teste em 5 GHz e 160 MHz de largura de faixa simulava um cenário em que a faixa de 5 GHz estaria ficando congestionada devido ao alto número de dispositivos WiFi6. Por fim, o teste de 160 MHz e 6 GHz simulava uma faixa “limpa” para dispositivos WiFi6e. A Fig. 1 apresenta o ambiente de testes e a Fig.2 apresenta os cenários testados.

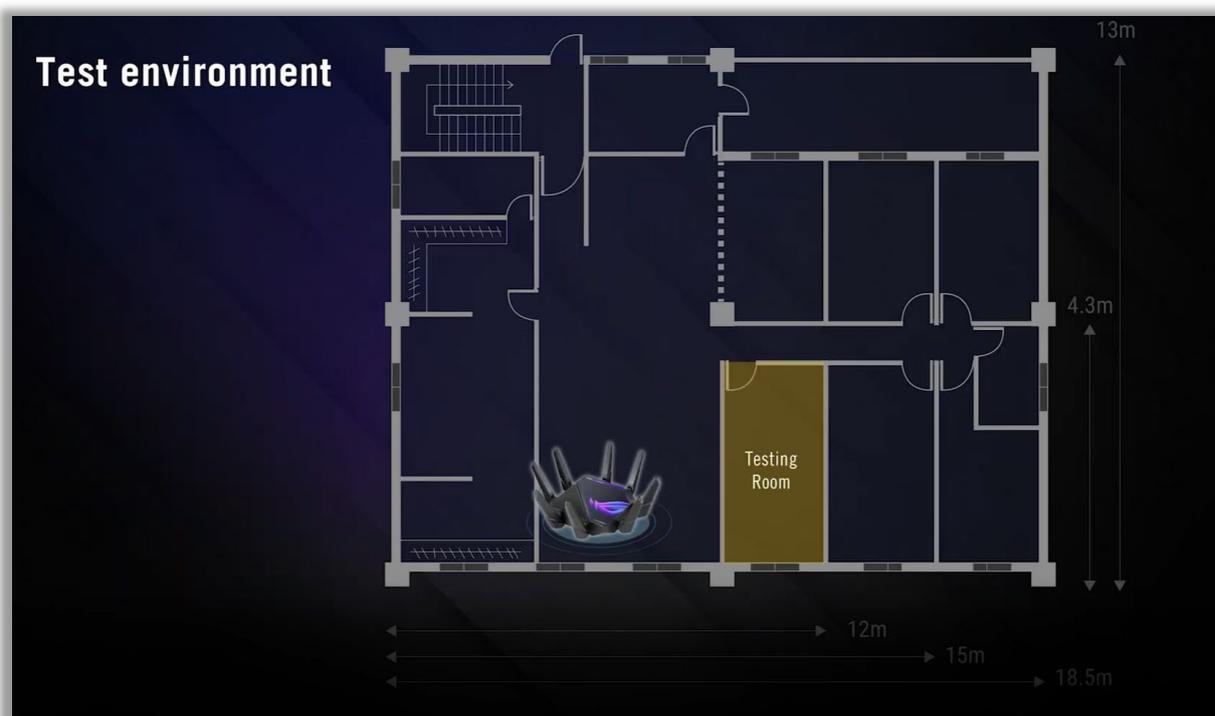


Fig. 1 – Ambiente de testes

Fonte: [Vídeo no YouTube - How fast is your WiFi 6E laptop and phone? – WiFi 6 vs. WiFi 6E Speed Comparison Test | ROG](#)

A Tab. I apresenta os resultados do primeiro teste.

<sup>12</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=u88X3g2uSmc>





**Tab. I - Resultados do Teste 1. Resultados em Mbps.**

	5GHz/80MHz	5GHz/160MHz	6GHz/160MHz
Laptop	974,28	1.398,95	1.835,56
Smartphone	979	1.592	1.841
Média	976,64	1.495,475	1.838,28

## Test environment

Client: Laptop with Intel AX211, integrated WiFi 6E mobile devices  
Firmware version: 3.0.0.4.388.21617  
Software: Speedtest\*

\*Speed testing server operated at same location; results of tests not affected by an internet service provider.

Test topology	
GT-AXE16000 (router) <b>5GHz</b> bandwidth set to <b>80MHz</b>	To simulate where dynamic frequency selection interrupts your connection
GT-AXE16000 (router) <b>5GHz</b> bandwidth set to <b>160MHz</b>	To simulate a scenario where the 160MHz channels on the 5GHz band are becoming overwhelmed due to the high number of WiFi 6 devices.
GT-AXE16000 (router) <b>6GHz</b> bandwidth set to <b>160MHz</b>	To simulate clean band of 6GHz for WiFi 6E devices.

**Fig. 2 – Cenários de testes**

Fonte: Vídeo no YouTube - *How fast is your WiFi 6E laptop and phone? – WiFi 6 vs. WiFi 6E Speed Comparison Test | ROG*

Assim, nesse primeiro teste, o padrão 802.11ax conseguiu velocidades expressivas tanto em 5 GHz, quanto em 6 GHz, e mesmo com portadora de 80 MHz, alcançou quase 1 Gbps.





O segundo teste<sup>13</sup> apresenta uma combinação maior de cenários e distâncias entre roteador e dispositivos. Esse teste foi realizado em uma casa real, que possui térreo e porão, conforme indicado na Fig.3.



**Fig. 3 – Casa em que foram realizados o teste 2.**

**Fonte: Vídeo no YouTube. *WiFi 6 vs 6E vs 7 Explained: Real-World Speed Testing!***

Nesse segundo teste, se avaliou diferentes roteadores (WiFi 6, WiFi 6e e WiFi 7), em diferentes ambientes da casa, com paredes e lajes entre os dispositivos. Adicionalmente, se fez testes com o terminal em ambiente externo. Nesse ponto, se vê com cautela o resultado porque a regulamentação não permite o uso de terminais do usuário (*low-power indoor - LPI*) em ambientes *outdoor* na faixa de 6 GHz (e em parte da faixa de 5 GHz). O que também não quer dizer que eventualmente um usuário final não venha a utilizar dessa forma.

A Tab. II apresenta os resultados para três roteadores, operando nas faixas de 5 GHz e 6 GHz, quando disponível, com medições em 7 ambientes diferentes.

Interessante notar que em diferentes ocasiões a medição em 6 GHz não apresentou resultado por falta de cobertura do WiFi6e. Isso não ocorreu quando se operou em 5 GHz.

<sup>13</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=FUG8XhHmQ1Q>





Comparando os resultados do roteador WiFi6e em 5 GHz e em 6 GHz, já excluindo os cenários de terminais *outdoor*, tem-se a média de velocidade de 874 Mbps e 835 Mbps, respectivamente (o desempenho do WiFi6e em 5 GHz, na média, foi superior). Por outro lado, o roteador WiFi 6 operando em 5 GHz apresentou a velocidade média de 599 Mbps. Isto é, o mesmo terminal do usuário teve desempenho bem diferente quando utilizou a mesma faixa de 5 GHz, mas com roteador “legado” (somente WiFi6).

**Tab. II - Resultados do Teste 2. Resultados em Mbps.**

Local / Tipo de Roteador	WiFi6 - 5GHz	WiFi6e - 5GHz	WiFi6e - 6GHz	WiFi7 - 5GHz	WiFi 7 - 6GHz
Jardim frontal	17	36	Sem sinal	72	Sem sinal
Acima do roteador	705	1099	1096	1157	1123
Sala de estar (a 3m do roteador)	663	1159	1162	1108	1040
Porão (Sala de Cinema)	620	904	855	1125	1041
Porão - Sofá	569	802	657	242	171
Porão - quarto	439	407	408	90	Sem sinal
Jardim nos Fundos – Sala de Jogos	97	127	Sem sinal	82	Sem sinal

O terceiro teste<sup>14</sup> é também muito interessante, pois se variou o roteador (WiFi 6 x WiFi 6e) e o laptop. A principal contribuição desse último teste foi mostrar como o terminal do usuário impacta na própria experiência do usuário, pois os roteadores foram testados com um laptop de 2021 e outro laptop de 2023, de mesma marca, e os resultados foram bem diferentes, como mostram as Tab. III e IV.

**Tab. III - Resultados do Teste 3 em um Laptop de 2021. Resultados em Mbps.**

	Roteador antigo (WiFi 6 em 5 GHz)	Roteador novo (WiFi 6e em 5 GHz)
Laptop 2021	705	841

<sup>14</sup> WiFi 6 vs WiFi 6E Real World Test - What you NEED to Know!  
<https://www.youtube.com/watch?v=58IRA7rfONo>





**Tab. IV - Resultados do Teste 3 em um Laptop de 2023. Resultados em Mbps.**

	Roteador antigo (WiFi 6 em 5 GHz)	Roteador novo (WiFi 6e em 5 GHz)
Laptop 2023	1099	1096

Percebe-se como o dispositivo do usuário é importante para sua melhor experiência. A mudança do laptop, mantido o roteador, aumentou a velocidade em 55,8%.

Há outros testes<sup>15</sup> comparativos disponíveis na Internet mostrando experiências dos usuários, mas com combinação limitada de cenários. A subseção seguinte apresentará, até onde é do conhecimento dos autores deste trabalho, o teste mais completo em um mesmo ambiente real (e controlado), com variações de baixo a alto tráfego de dados, em que o cenário de alto congestionamento parece ser um teste extremo, que representará uma exceção de eventos.

#### **4.2. Campanha de Testes Realizado em Ambiente Controlado (Hotel) para Aferir o Desempenho do WiFi em Diferentes Cenários de Tráfego**

O relatório<sup>16</sup> "Testes de conectividade Wi-Fi interna - Comtel, Lazise (Itália), 21 de fevereiro a 15 de março de 2024" avalia o desempenho das tecnologias Wi-Fi mais recentes nas faixas de 2,4 GHz, 5 GHz e 6 GHz (nos primeiros 500 MHz). O estudo foi realizado em um hotel em Lazise, Itália, com o objetivo de replicar cenários de conectividade Wi-Fi interna em ambientes urbanos densos e residências isoladas.

O principal objetivo foi avaliar a capacidade dos pontos de acesso (APs) Wi-Fi de manter um alto rendimento em cenários de forte interferência entre eles, bem como sua eficiência no tratamento do tráfego de dados sob pesada carga de rede, tanto nas direções de *uplink* quanto de *downlink*.

**Para simular ambientes desafiadores, foram instalados 44 pontos de acesso Wi-Fi e 86 estações Wi-Fi (laptops) em 42 quartos de hotel. A configuração incluiu um "apartamento alvo" de quatro quartos no meio do segundo andar, sujeito aos mais altos níveis de interferência provenientes de apartamentos localizados no 1º, 2º e 3º andares. Para garantir**

<sup>15</sup> <https://www.excentis.com/blog/we-tested-wi-fi-6-versus-wi-fi-6e-here-are-the-results/>

<sup>16</sup> <https://www.comtelitalia.it/en/innovation-in-indoor-wi-fi-connectivity-eng/>





que os resultados refletissem o desempenho da interface aérea Wi-Fi, a rede fixa foi equipada com uma rede local (LAN) cabeado de 100 Gbps, com conectividade Ethernet de 10 Gbps para cada AP.

### **Resultados:**

Cenário de Residência Isolada: *Throughput* total<sup>17</sup> no "apartamento alvo" (4 quartos sem interferência externa) excedeu 1 Gbps em todos os cenários.

- 1 AP servindo 2 estações: 1,5 Gbps.
- 1 AP servindo 8 estações: 1,1 Gbps (desafios de cobertura).
- 4 APs servindo 8 estações: 6,3 Gbps.
- 2 e 3 APs servindo 8 estações: 1,7 Gbps e 4,1 Gbps, respectivamente.

Cenário de Apartamento Urbano Denso: Diminuição gradual do *throughput* total com aumento da interferência externa, mas sempre acima de 1 Gbps.

- 4 APs no apartamento alvo com interferência de 40 APs e 78 estações externas: 4,5 Gbps.
- 2 e 3 APs no apartamento alvo com interferência externa: 1,7 Gbps e 2,4 Gbps, respectivamente.

### **Insights Chave:**

**A principal limitação das redes Wi-Fi é a cobertura, que pode ser efetivamente resolvida com a densificação de APs.**

**A densificação de APs melhora significativamente a capacidade e a cobertura em ambientes de alta interferência.**

**O uso das faixas de 2,4 GHz, 5 GHz e 6 GHz (primeiros 500 MHz) permite atingir níveis de *throughput* superiores a 1 Gbps.**

<sup>17</sup> O *throughput* total é a soma dos resultados do *throughput* em 6 GHz, com canal de 160 MHz, com o resultado em 5GHz, com canal de 80 MHz.





## 5. Justificativa para se Realizar uma Análise de Sensibilidade no Relatório da DSA

A seguir, alguns pontos do relatório da DSA “Assessing the economic value of 6 GHz band in Brazil – April 2024” são apresentados, com enfoque na Seção 2.2.2.1 “Contribution to GDP by reducing Wi-Fi congestion”. Na sequência, se discute alguns parâmetros e se propõe valores alternativos, com avaliação de seu impacto na expectativa de PIB.

### 5.1. Relatório DSA

A Tab. V apresenta a transcrição da Tabela 2-12 do relatório da DSA, com a inclusão das fórmulas para melhor entendimento como cada parâmetro se relaciona com os demais. Na sequência, são apresentadas as demais tabelas relevantes da referida fonte de pesquisa para a presente avaliação. A partir da análise desses dados, são apresentadas outras tabelas e explicações mais pormenorizadas.

**Tab. V – Brasil: Estimativa das conexões banda larga fixa afetadas pela decisão de 6 GHz (2024-2034)**

	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
(1) Residências que têm conexões acima de 150 Mbps	61,08%	72,68%	84,28%	94,83%	96,19%	97,16%	97,86%	98,37%	98,75%	99,03%	99,24%
(2) Parcela do tráfego doméstico que passa por WiFi (%)	84,50%	84,50%	84,50%	84,50%	84,50%	84,50%	84,50%	84,50%	84,50%	84,50%	84,50%
(3) Percentual do tráfego total WiFi na faixa de 6 GHz (%)	30%	37,50%	45%	52,50%	60%	67,50%	75%	80%	85%	90%	95%
(4) Parcela de tráfego afetado devido ao 6 GHz (%)	15,48%	23,03%	32,05%	42,07%	48,77%	55,42%	62,02%	66,50%	70,93%	75,31%	79,67%
Obs.: (4) = (1) x (2) x (3)											





**Tab. VI: Brasil: Estimativa de Velocidade banda larga fixa em conexões afetadas pela decisão de 6 GHz**

	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
(5) Velocidade do WiFi em conexões acima de 150 Mbps (sem 6 GHz) (Mbps)	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
(6) Velocidade do WiFi em conexões acima de 150 Mbps (com 6 GHz) (Mbps)	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
(7) Aumento de velocidade devido ao 6 GHz (Mbps)	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850
Obs.: (7) = (6) - (5)											

**Tab. VII: Brasil: Aumento de velocidade resultante da destinação de 6 GHz**

	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
(9) Velocidade média sem o 6 GHz (Mbps)	359,11	399,69	426,11	438,49	459,36	473,59	481,48	497,62	509,89	517,86	521,71
(10) Velocidade média com o 6 GHz (Mbps)	413,3	491,81	570,33	648,84	727,57	806,09	884,6	963,12	1041,85	1120,36	1198,88
(11) Diferença	15,09%	23,05%	33,84%	47,97%	58,39%	70,21%	83,73%	93,55%	104,33%	116,35%	129,80%
Obs.1: (11) = ((10)/(9) - 1) x 100%											
Obs.2: (10) = (9) + (4) x (7)											

Em relação a Tab.VII, cumpre complementá-la com a Tab.VII.1, esclarecendo que a estimativa da DSA em termos de velocidade média sem o 6 GHz considera estudos internos e uma extrapolação, a partir dos dados decorrentes do período da pandemia da COVID-19<sup>18</sup>. Analisando os dados dessa tabela, pode-se inferir que ele considera dados do tráfego de internet que flui pela rede cabeada, que corresponde a 15,5% do tráfego total, e a parte do tráfego de internet que flui pela rede WiFi, que corresponde a 84,5% do tráfego total. Dessa forma, pode-se estimar que a velocidade média considerada para o tráfego da rede cabeada é de:

**Equação 1: Estimativa da velocidade média da rede cabeada**

$$V_{m\u00e9dia\_cabeada} = (V_{m\u00e9dia\_sem\_6GHz} - 0,845 \cdot V_{WiFi\_sem\_6GHz}) / 0,155$$

<sup>18</sup> Ver Gráfico 2-2 do Relatório da DSA (a partir do mês de dezembro de 2019)





Os mesmos valores da velocidade média da rede cabeada também serão utilizados na análise de sensibilidade, a ser apresentado em seções posteriores, e são apresentados na Tab.VII.1, a seguir:

**Tab. VII.1: Resultado do Exercício para Calcular a Velocidade Média Considerada na Rede Cabeada**

	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Velocidade Média na Rede Cabeada (Mbps)	1.499,1	1.760,9	1.931,4	2.011,2	2.145,9	2.237,7	2.288,6	2.392,7	2.471,9	2.523,3	2.548,1

Na sequência, se continua a apresentação das tabelas relevantes do estudo da DSA.

**Tab. VIII: Brasil: Estimativa do impacto econômico pela redução do congestionamento de WiFi**

	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
(12) Impacto no PIB pela duplicação de velocidade	0,73%	0,73%	0,73%	0,73%	0,73%	0,73%	0,73%	0,73%	0,73%	0,73%	0,73%
(13) Aumento do PIB (%)	0,11%	0,17%	0,25%	0,35%	0,43%	0,51%	0,61%	0,68%	0,76%	0,85%	0,95%
(14) PIB Brasil em bilhões US\$	2.265	2.362	2.477	2.632	2.774	2.924	3.082	3.249	3.425	3.610	3.805
(15) Impacto (bilhões de US\$)	2,495	3,974	6,119	9,218	11,826	14,988	18,84	22,187	26,081	30,658	36,051
Obs.1: (13) = (11) x (12)											
Obs.2: (15) = (13) x (14)											

Na estimativa da DSA, somente pela redução do congestionamento do WiFi, e consequente aumento de velocidade, a contribuição total para o PIB da destinação da faixa de 6 GHz entre 2024 e 2034 alcançaria US\$ 182,44 bilhões. Somente em 2024, a destinação da faixa de 6 GHz para WiFi já teria impactado o PIB brasileiro em US\$2,495 bilhões, e o agregado de 2021-2024 teria tido o impacto de mais de US\$ 9 bilhões de dólares.





## 5.2. Qual Velocidade do WiFi Melhor Representa a Tecnologia Atual e suas Evoluções?

A questão da velocidade do WiFi estar limitado, para efeito de cálculos, a 150 Mbps não parece condizer com resultados mais atuais de equipamentos mais modernos. De fato, há um estudo<sup>19</sup> (State of WiFi Reporting by Assia) que coletou dados de **maio de 2020 a fevereiro de 2021**, que indica que a mediana na Europa na faixa de 5 GHz foi de 170 Mbps. O mesmo estudo indica que a mediana nos EUA superou 200 Mbps. Em ambos os casos foram utilizados equipamentos IEEE 802.11ac (WiFi 5), com portadoras com largura de faixa de 80 MHz.

Conforme indicado no doc. Doc. SE45(22)034<sup>20</sup> submetido à reunião do Grupo de Trabalho “ECC SE 45 - WAS/RLANs in the frequency band 5925 – 7125 MHz”, o relatório da Assia descreve os dados de velocidade (*throughput*) conforme medidos durante períodos sem congestionamento na rede interna (ou seja, sem tráfego concorrente dentro da rede Wi-Fi medida), mas incluindo interferência de outras redes. Os dados são coletados ao longo do dia pelo ponto de acesso injetando tráfego para todos os clientes e, em seguida, coletando as estatísticas. A métrica representa a velocidade que estaria disponível nos links Wi-Fi no ambiente em questão.

A Fig. 4 apresenta a Função Distribuição Acumulada (CDF, do inglês *cumulative distribution function*) das velocidades na faixa de 2,4 GHz e 5 GHz, em que se percebe que um pequeno percentual de casos ultrapassou 100 Mbps quando operando em 2,4 GHz e 400 Mbps quando operando em 5 GHz. É importante analisar a Fig.4 combinada com a Fig. 5, em que esta última indica que a velocidade máxima está bem abaixo da taxa de transmissão (*transmit rate*). O Doc. SE45(22)034 apresenta uma estimativa simplificada do valor típico baseado nessas duas figuras:

<sup>19</sup> <https://dynamicspectrumalliance.org/wp-content/uploads/2021/06/ASSIA-DSA-Summit-Presentation-v7.8.pdf>

<sup>20</sup> [https://cept.org/Documents/se-45/72541/se45-22-034\\_rf-activity-factor](https://cept.org/Documents/se-45/72541/se45-22-034_rf-activity-factor)





Para a faixa de 2,4 GHz: razão de 50 Mbps de velocidade média / 65%  $\approx$  77 Mbps de taxa de transmissão.

Para a faixa de 5 GHz: razão de 170 Mbps de velocidade média / 45%  $\approx$  378 Mbps de taxa de transmissão.

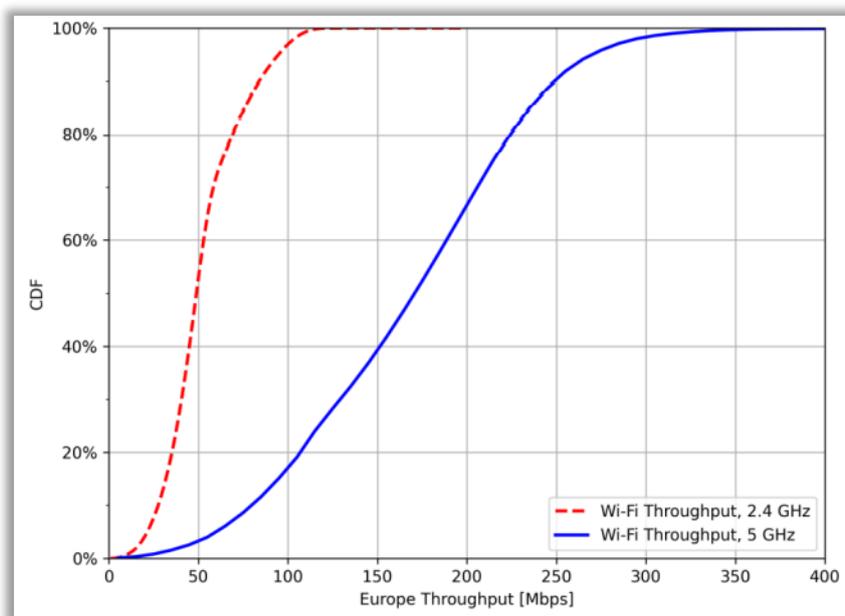


Fig. 4 –CDF da velocidade do WiFi na Europa (reproduzido do Relatório da Assia).

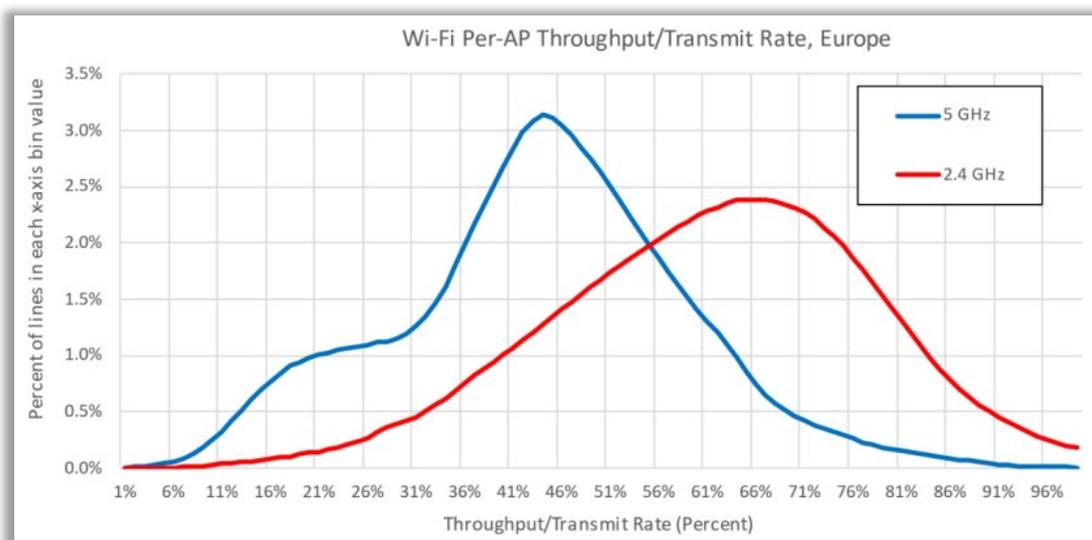


Fig. 5 –Histograma da velocidade do WiFi na Europa x taxa de transmissão (reproduzido do Relatório da Assia).





Observa-se que a **taxa de transmissão máxima para enlaces no padrão IEEE 802.11ac com canais de 160 MHz** é de:

- 867 Mbps para 1 MIMO<sup>21</sup> *stream* (fluxo de dados);
- 1,7 Gbps para 2 MIMO *streams*;
- 2,3 Gbps para 3 MIMO *streams*.

A **velocidade máxima para enlaces no padrão IEEE 802.11ax com canais de 160 MHz** é de:

- 1,2 Gbps para 1 MIMO *stream*;
- 2,4 Gbps para 2 MIMO *streams*;
- 3,6 Gbps para 3 MIMO *streams*.

Ocorre que equipamentos mais antigos possuem tipicamente velocidades mais baixas, seja pela capacidade de processamento, seja pelo número de *streams* (ordem do MIMO). Como mostrado na Seção 4, Laptop de mesma marca, topo de linha, mas produzidos em anos diferentes possuem o desempenho WiFi muito diferente. Então é um equívoco considerar que a velocidade estará limitada ao longo dos anos como se a tecnologia não fosse evoluir. Inclusive, com tecnologias mais eficientes, se atuará para reduzir o nível de interferência, pois quanto mais eficiente a transmissão, menor será o fator de atividade (FA<sup>22</sup>), que tipicamente é considerado como sendo da ordem de 2% (por usuário na hora de maior movimento). Isto é, aproximadamente, o ponto de acesso estaria transmitindo apenas 2% do tempo.

Ademais, a operação em algumas subfaixas do 5 GHz permite uma potência maior do que a permitida na operação em 6 GHz. P.ex., a regulamentação nacional permite a potência equivalente isotropicamente radiada (EIRP, do inglês *Equivalent Isotropically Radiated Power*) de até 4W (ou 36 dBm) na faixa de 5.150 – 5.250 MHz, e de 1W (ou de 30 dBm) na faixa de 5.250 – 5.350 MHz, mesmo limite de EIRP da faixa de 5.425 – 5.725 MHz. Por outro lado, a operação na faixa de 6 GHz permite a densidade espectral de potência EIRP de 5 dBm/MHz, limitado a EIRP de 30 dBm, que ocorreria quando tivesse uma portadora de 320 MHz. Vale

---

<sup>21</sup> MIMO (do inglês, *Multiple-Input Multiple-Output*) é um método utilizado em comunicações sem-fio que utiliza múltiplas antenas transmissoras e receptoras para aumentar a capacidade de transmissão de dados.

<sup>22</sup> O fator de atividade (FA), também conhecido como ciclo de trabalho (DC, do inglês *duty cycle*), denota a porcentagem de tempo que um dispositivo WAS/RLAN realmente transmite um sinal de radiofrequências. O FA tem relação direta com a velocidade do *link*.





mencionar que também é possível a operação na faixa de 5.725-5.850 MHz e o limite de potência na saída do transmissor é de 30 dBm, de tal forma que para calcular a EIRP ainda deve-se considerar o ganho da antena (e eventuais perdas de conexão com a antena).

Assim, comparando portadoras típicas de 40 MHz, 80 MHz e de 160 MHz, tem-se as seguintes EIRP máxima, considerando a maior potência em comum das subfaixas em 5 GHz x faixa de 6 GHz, conforme a regulamentação nacional (ver tabelas IX e X).

**Tab. IX: Limite de Potência nas Faixas de 5 GHz e de 6 GHz (para o Ponto de Acesso)**

Operação	EIRP em 5 GHz	EIRP em 6 GHz	EIRP_5GHz/EIRP_6GHz
40 MHz	30 dBm	21 dBm	8
80 MHz	30 dBm	24 dBm	4
160 MHz	30 dBm	27 dBm	2

**Tab. X: Limite de Potência nas Faixas de 5 GHz e de 6 GHz (para o Equipamento Cliente)**

Operação	EIRP em 5 GHz	EIRP em 6 GHz	EIRP_5GHz/EIRP_6GHz
40 MHz	30 dBm	15 dBm	32
80 MHz	30 dBm	18 dBm	16
160 MHz	30 dBm	21 dBm	8

Dessa forma, percebe-se que a regulamentação permite uma operação com maior potência na faixa de 5 GHz, quando comparado com a faixa de 6 GHz. Adicionalmente, a atenuação do sinal devido a perda no espaço livre é maior na faixa de 6 GHz, assim como a perda em obstáculos, como paredes. Por isso, é comum ter uma velocidade maior em 5 GHz quando comparado com 6 GHz, quando o ponto de acesso e terminal do usuário não estão no mesmo ambiente, desde que avaliados os mesmos equipamentos. Por outro lado, a potência das interferências mútuas entre sistemas operando na faixa de 5 GHz tende a ser maior também, tanto devido o maior número de dispositivos, quanto devido o maior alcance.

Outro parâmetro importante é a média do “Esquema de Modulação e Codificação” (MCS<sup>23</sup>, do inglês *Modulation and Coding Scheme*). O Doc. SE45(23)044R2<sup>24</sup> apresenta

<sup>23</sup> A tabela completa de MCS está disponível em <https://mcsindex.com/>

<sup>24</sup> [https://cept.org/Documents/se-45/78566/se45-23-044r1\\_measured-vs-simulated-rf-activity-factor-for-wi-fi-6e-devices](https://cept.org/Documents/se-45/78566/se45-23-044r1_measured-vs-simulated-rf-activity-factor-for-wi-fi-6e-devices)





resultados de medições do mundo real para equipamentos do padrão 802.11ac. Baseado nessas medições, esse documento propõe:

- Dados sobre medições de “indicador de intensidade do sinal recebido” (RSSI, do inglês *Received Signal Strength Indication*) residenciais demonstram que o RSSI mediano (na Europa) está na faixa de -51 dBm a -63 dBm. Mesmo assumindo um RSSI médio de clientes na extremidade inferior, -63 dBm em um canal de 80 MHz, o MCS provavelmente seria MCS9 e atingiria um fator de atividade de RF de 1,09%. Em um canal de 160 MHz, isso seria 0,84%.
- Dado que a largura de banda média para o estudo é de 148 MHz, o fator de atividade de RF recomendado para um AP LPI (*Low-power indoor*) na Europa seria de 0,88% com base em uma média ponderada para canais de 80 MHz e 160 MHz

Com base nas informações acima, depreende-se que o MCS médio é pelo menos o MCS 9, e, atualmente, é muito comum equipamento de usuários virem com MIMO 2x2, de tal forma que é razoável estimar a seguinte velocidade para um sistema **802.11ax operando em 5 GHz**:

#### **Considerando MCS 9, com intervalo de guarda de 0,8 $\mu$ s e canal de 80 MHz**

Taxa de transmissão: 960,8 Mbps

**Velocidade estimada:  $0,45 \times 960,8 \text{ Mbps} = 432,36 \text{ Mbps}$**

**Para o padrão 802.11ac**, temos os seguintes valores:

MCS 9, com intervalo de guarda de 0,4  $\mu$ s, canal de 80 MHz:

Taxa de transmissão: 866,7 Mbps

**Velocidade estimada:  $0,45 \times 866,7 \text{ Mbps} = 390 \text{ Mbps}$**

As Tab.XI e Tab.XII sumarizam a taxa de transmissão e a velocidade média estimada para os padrões 802.11ax e 802.11ac, considerando também um ambiente que devido interferências de sistemas adjacentes, o sinal tenha degradado e seja necessário se comunicar em taxas equivalentes ao MCS 8 ou MCS 7. Para estimar os cenários com 3 *streams* e 4 *streams* basta multiplicar os resultados por 1,5 e por 2, respectivamente.





Tab. XI – Taxa de Transmissão para os Padrões 802.11ac e 802.11ax (em Mbps) – 2 streams

BW	MCS 9		MCS 8		MCS 7	
	802.11ac	802.11ax	802.11ac	802.11ax	802.11ac	802.11ax
80 MHz	866,7	960,8	780	864,7	650	720,6
160 MHz	1733,3	1921,6	1560	1729,4	1300	1441,2

Tab.XII – Velocidade Média Estimada para os Padrões 802.11ac e 802.11ax (em Mbps) – 2 streams

BW	MCS 9		MCS 8		MCS 7	
	802.11ac	802.11ax	802.11ac	802.11ax	802.11ac	802.11ax
80 MHz	390,015	432,36	351	389,115	292,5	324,27
160 MHz	779,985	864,72	702	778,23	585	648,54

Tendo apresentado valores medidos na Europa (em 2020/2021) e teóricos, apresenta-se a seguir informações disponíveis no sítio da Anatel, em que é possível verificar a evolução da velocidade de *download* de diferentes operadoras de Serviço de Comunicação Multimídia. P.ex., na faixa de 5 GHz, em Brasília, a operadora Tim ultrapassou a velocidade média de 300 Mbps em novembro de 2024, com um crescimento de mais de 63 Mbps em 12 meses (dezembro de 2023 a novembro de 2024), conforme apresentado na Fig.6.

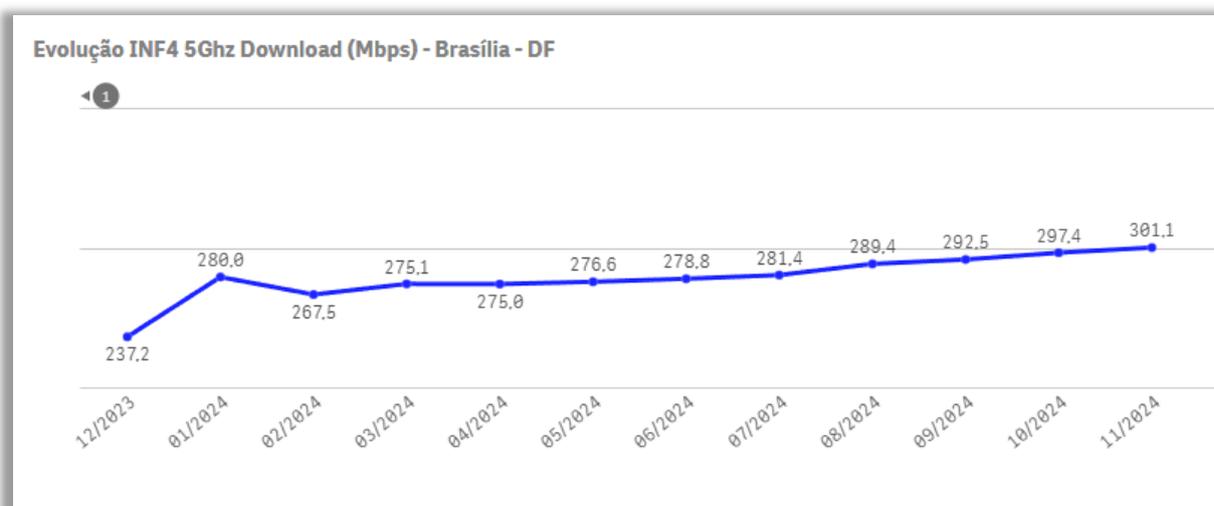


Fig.6 – Evolução da velocidade WiFi em 5 GHz da Operadora Tim.





Dessa forma, considerando que uma das grandes operadoras alcançou tal velocidade e evolução em um ano, se utilizará como referência de velocidade média do WiFi<sup>25</sup> para o final de 2024, 300 Mbps, com evoluções de 50 Mbps por ano até 2026, reduzindo o aumento de velocidade para 25 Mbps por ano a partir de 2027. Isso considera uma atualização de equipamentos, em que ocorrerá migração de equipamentos somente 802.11ac para 802.11ax (que podem operar tanto em 6 GHz, quanto em 5 GHz), e no futuro, 802.11be, além de terminais de usuários, que poderão implementar MIMO 2x2, 3x3 ou até ordens superiores de MIMO, assim como realizar a agregação de portadoras em 2,4 GHz e 5 GHz previsto a partir do WiFi 7 (MLO – Multi-Link Operation).

### 5.3. Impacto no PIB

O Relatório da DSA considerou que o impacto no PIB devido a duplicação da velocidade média de acesso à Internet seria de 0,73%. Essa conclusão partiu de análise econométrica com dados de 49 países em que em algum momento do tempo teve velocidade média superior a 40 Mbps na série temporal entre 2008 e 2019.

De forma alguma se questiona o modelamento econométrico que apresentou esse número, ainda mais que foi um estudo liderado por um dos economistas mais respeitados no mundo, amplamente referenciado em diversos estudos econométricos aplicados ao setor de telecomunicações.

Todavia, como já mencionado anteriormente, alguns pontos merecem destaque, e são suficientes para a realização uma análise de sensibilidade:

- o formato de Curva U-Invertido para a relação entre velocidade da banda-larga e impacto no PIB, conseqüentemente a intensidade do impacto no PIB devido ao aumento da velocidade;
- tráfego que efetivamente está passando atualmente na faixa de 6 GHz, e a partir daí realizar a predição de sua evolução;
- velocidade média real alcançável na faixa de 5 GHz (combinada ou não com 2,4 GHz), considerando a evolução tecnológica.

<sup>25</sup> Para conexões acima de **150** Mbps convém se conectar com a faixa de 5 GHz (ou 6 GHz), por isso será utilizada sua velocidade média como referência. Se considera que a conexão em 2,4 GHz se daria em casos de limitação de equipamento do usuário ou distância deste até o ponto de acesso, de tal forma, que mesmo pontos de acesso compatíveis com WiFi6e se conectariam na faixa de 2,4 GHz, e não em 6 GHz ou 5 GHz.





A questão da Curva U-invertido sinaliza não apenas que não há garantias de que o efeito na economia continue constante ao longo dos anos, mas mais importante, após ter sido atingido um valor máximo, após este ponto, a tendência será de queda desse impacto. Por isso, está-se considerando o resultado do estudo de Chatchai Kongaut e Erik Bohlin, referenciado na Nota de Rodapé 6, que indicou o valor de 0,3% de impacto no PIB pela duplicação de velocidade média.

#### **5.4. O ano de 2024 terminou. Quanto do tráfego WiFi fluiu pela faixa de 6 GHz?**

Durante o Painel Telebrasil 2024, a GSMA apresentou o resultado de seu estudo que respondeu a pergunta sobre quanto do tráfego WiFi fluiu pela faixa de 6 GHz. Com base em medições da Ookla, foi indicado que menos de 1%<sup>26</sup> do tráfego WiFi fluiu pela faixa de 6 GHz em Brasília. Considerando que Brasília possui alto poder aquisitivo e que sua população gosta de novas tecnologias, é razoável considerar que este valor de 1% é um limite superior quando se extrapola para o Brasil como um todo para o ano de 2024.

Dito isso, na análise de sensibilidade se manteve a projeção da DSA que em 2034 95% do tráfego fluirá pelo 6 GHz, realizando-se uma interpolação começando em 1% em 2024, indo para 5% em 2025, e a partir daí subindo 10% por ano. A título comparativo, o Relatório da DSA estimou que em 2024 30% do tráfego WiFi fluiria por equipamentos operando na faixa de 6 GHz.

Ademais, no momento que existe uma migração do tráfego para a faixa de 6 GHz, é de se destacar a expectativa na melhoria do desempenho de sistemas operando na faixa de 5 GHz, justamente devido a redução em seu congestionamento. Isso, inclusive facilitará a agregação de portadoras operando em 6 GHz, 5 GHz e 2,4 GHz (MLO – *Multi-Link Operation*).

---

<sup>26</sup> [Painel 1 - Painel GSMA: perspectivas para uso de espectro no Brasil](#)





## 6. Análise de Sensibilidade Comparando Ter 1.200 MHz para WiFi em 6 GHz ou não Ter WiFi em 6 GHz

A seguir, são apresentadas duas análises de sensibilidade. A primeira, com ajustes nas velocidades médias de acesso à Internet, mantendo o impacto no PIB pela duplicação dessa velocidade. A segunda, variando também o impacto no PIB.

### 6.1. Análise de Sensibilidade Variando Apenas as Referências às Velocidades Médias

A Tab. XIII tem como base a Tab.V, em que foram ajustados os valores do tráfego na faixa de 6 GHz, com base na justificativa da Seção 5.4.

**Tab. XIII: Brasil: Ajustando o Percentual do Tráfego WiFi na Faixa de 6GHz da Tabela V (Estimativa das conexões banda larga fixa afetadas pela decisão de 6 GHz (2024-20234))**

	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
(1) Residências que têm conexões acima de 150 Mbps	61,08%	72,68%	84,28%	94,83%	96,19%	97,16%	97,86%	98,37%	98,75%	99,03%	99,24%
(2) Parcela do tráfego doméstico que passa por WiFi (%)	84,50%	84,50%	84,50%	84,50%	84,50%	84,50%	84,50%	84,50%	84,50%	84,50%	84,50%
(3) Percentual do tráfego total WiFi na faixa de 6 GHz (%)	1%	5%	15%	25%	35%	45%	55%	65%	75%	85%	95%
(4) Parcela de tráfego afetado devido ao 6 GHz (%)	0,52%	3,07%	10,68%	20,03%	28,45%	36,95%	45,48%	54,03%	62,58%	71,13%	79,67%
Obs.: (4) = (1) x (2) x (3)											

A Tab. XIV tem como base a Tab.VI, em que foram considerados valores de velocidade do WiFi para Conexões acima de 150 Mbps (sem 6 GHz), com base na justificativa das Seções 4.1, 4.2 e 5.2.





**Tab. XIV: Ajustando a Velocidade WiFi (sem 6 GHz) da Tab.VI (Brasil: Aumento de velocidade resultante da destinação de 6 GHz)**

	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
(5) Velocidade do WiFi em conexões acima de 150 Mbps (sem 6 GHz) (Mbps)	300	350	400	425	450	475	500	525	550	575	600
(6) Velocidade do WiFi em conexões acima de 150 Mbps (com 6 GHz) (Mbps)	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
(7) Aumento de velocidade devido ao 6 GHz (Mbps)	200	200	200	225	250	275	300	325	350	375	400
Obs.: (7) = (6) - (5)											

A Tab. XV tem como base a Tab.VII, no qual os valores de velocidade média sem a faixa de 6 GHz foram calculadas a partir da equação associada a Tab.VII.1. A razoabilidade desses valores tem o suporte das Seções 4.1, 4.2 e 5.2.

**Tab. XV: Ajustando a Estimativa Média sem o 6 GHz da Tab.IX (Brasil: Aumento de velocidade resultante da destinação de 6 GHz)**

	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
(9) Velocidade média sem o 6 GHz (Mbps)	485,86	568,69	637,36	670,87	712,86	748,22	777,23	814,50	847,89	876,99	901,96
(10) Velocidade média com o 6 GHz (Mbps)	486,89	574,83	658,72	715,94	783,98	849,81	913,67	990,09	1.066,93	1.143,72	1.220,62
(11) Diferença	0,21%	1,08%	3,35%	6,72%	9,98%	13,58%	17,55%	21,56%	25,83%	30,41%	35,33%
Obs.1: (11) = ((10)/(9) - 1) x 100%											
Obs.2: (10) = (9) + (4) x (7)											

A Tab. XVI tem como base a Tab.IX, em que se manteve a estimativa de impacto no PIB de 0,73% pela duplicação da velocidade média, e as variações na demais linhas são consequências dos ajustes apresentados nas tabelas XIII, XIV e XV.





**Tab. XVI: Resultado da Análise de Sensibilidade do Impacto Econômico pela Redução do Congestionamento de WiFi**

	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
(12) Impacto no PIB pela duplicação de velocidade	0,73%	0,73%	0,73%	0,73%	0,73%	0,73%	0,73%	0,73%	0,73%	0,73%	0,73%
(13) Aumento do PIB (%)	0,0016%	0,008%	0,024%	0,049%	0,073%	0,099%	0,128%	0,157%	0,189%	0,222%	0,258%
(14) PIB Brasil em bilhões US\$	2.265	2.362	2.477	2.632	2.774	2.924	3.082	3.249	3.425	3.610	3.805
(15) Impacto (bilhões de US\$)	0,035	0,186	0,606	1,291	2,020	2,898	3,95	5,113	6,459	8,015	9,813
Obs.1: (13) = (11) x (12)											
Obs.2: (15) = (13) x (14)											

Esta análise de sensibilidade indica que a contribuição total ao PIB brasileiro devido a redução no congestionamento do WiFi associada a destinação de toda a faixa de 6 GHz para equipamentos WAS/RLAN seria de US\$ 40,4 bilhões para o período de 2024-2034.

Interessante notar que o Relatório da DSA de 2020 (ver Nota de Rodapé 1) indica que: “a contribuição total para o PIB da alocação da banda 6 GHz entre 2021 e 2030 alcançará US\$ 27,60 bilhões”. De certa forma, a presente análise de sensibilidade apresenta um valor mais próximo em relação ao que tinha sido originalmente estimado, observado o diferimento do período e que no trabalho original era um período de 10 anos e não de 11.

## 6.2. Análise de Sensibilidade Variando Também o Impacto no PIB

A Tab. XVII apresenta o resultado da análise de sensibilidade, variando além dos parâmetros apresentados na Seção 6.1, o impacto no PIB pela duplicação de velocidade média. Assim, as tabelas XIII, XIV e XV continuam válidas para a presente análise.

**Tab. XVII: Resultado da análise de sensibilidade do impacto econômico pela redução do congestionamento WiFi, com ajuste do impacto econômico do aumento de velocidade**

	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
(12) Impacto no PIB pela duplicação de velocidade	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%
(13) Aumento do PIB (%)	0,0006%	0,0032%	0,010%	0,020%	0,030%	0,041%	0,053%	0,065%	0,078%	0,091%	0,106%
(14) PIB Brasil em bilhões US\$	2.265	2.362	2.477	2.632	2.774	2.924	3.082	3.249	3.425	3.610	3.805
(15) Impacto (bilhões de US\$)	0,014	0,077	0,249	0,531	0,830	1,191	1,623	2,101	2,654	3,294	4,033
Obs.1: (13) = (11) x (12)											
Obs.2: (15) = (13) x (14)											





Esta análise de sensibilidade indica que a contribuição total ao PIB brasileiro devido a redução no congestionamento do WiFi associada a destinação de toda a faixa de 6 GHz para equipamentos WAS/RLAN seria de US\$ 16,6 bilhões para o período de 2024-2034.

### 6.3. Resumo da Análise de Sensibilidade para o Cenário em que é Destinado 1200 MHz em 6 GHz para o WiFi

A Tab. XVIII apresenta o resumo dos resultados do estudo da DSA, comparando as análises das seções 6.1 (Análise de Sensibilidade 1) e 6.2 (Análise de Sensibilidade 1), para o cenário em que toda a faixa de 1200 MHz em 6 GHz é destinado para o WiFi.

Tab. XVIII: Resultado da análise de sensibilidade do impacto econômico pela redução do congestionamento WiFi (Valores em bilhões de dólares)

	2024	2025	2024 - 2034
DSA 2024	2,495	3,974	182,438
Análise de Sensibilidade 1	0,035	0,186	40,4
Análise de Sensibilidade 2	0,014	0,077	16,6

Do conjunto de Tabelas V a IX e XIII a XVIII, assim como das seções anteriores, depreendem-se algumas conclusões importantes:

- A estimativa de impacto no PIB pela duplicação de velocidade média é diretamente proporcional ao resultado. Isto é, se fosse considerado o valor de 0,45% ao invés de 0,3%, o resultado final do estudo de sensibilidade aumentaria em 50%.

- O aumento de velocidade do WiFi tem impacto direto no aumento do PIB, mas não é diretamente proporcional. Para efeito de cálculo o que interessa é a diferença de velocidade com o 6 GHz disponível e sem o 6 GHz, e quanto essa diferença impacta percentualmente na velocidade média de acesso à Internet.

- Considerando as evoluções dentro da tecnologia WiFi, que refletem em melhores desempenhos tanto do ponto de acesso quanto dos equipamentos de usuários, não é razoável considerar a velocidade de 150 Mbps como média do WiFi, ainda mais quando se considera os próximos anos.

- O aumento de tráfego WiFi implica em uma maior interferência entre sistemas WiFi, consequentemente gerando uma degradação de desempenho. Até o momento, essa degradação não impede valores médios superiores a 300 Mbps.





- A evolução tecnológica faz com que os sistemas sejam mais eficientes e que tenham mecanismos adicionais para mitigar possíveis interferências.

- O desempenho do padrão 802.11ax na faixa de 5GHz pode ser superior ao desempenho do mesmo padrão na faixa de 6GHz, principalmente quando o ponto de acesso e equipamento do usuário estão em ambientes diferentes.

- As principais vantagens do 802.11ax em 6GHz em relação ao 5GHz é que não existem equipamentos WiFi legados nessa faixa e seu uso é menor (atualmente, quase nulo no Brasil), conseqüentemente, sem qualquer tipo de congestionamento.

- Os sistemas WiFi foram criados para operar em ambientes com vários usuários, implementando técnicas de acesso ao meio que buscam evitar colisões e que identificam se alguma transmissão está ocorrendo, a fim de aguardar um período e transmitir no canal livre.

Por fim, cumpre avaliar que a “seleção dinâmica de frequências” (do inglês, *Dynamic Frequency Selection – DFS*) implementada em pontos de acesso que operam em partes da faixa de 5 GHz pode impactar o desempenho do sistema. Porém, o potencial impacto é maior na Europa do que no Brasil<sup>27</sup>.

## 7. Análise de Sensibilidade Comparando ter 1.200 MHz ou 500 MHz para WiFi em 6 GHz em Termos de Redução de Congestionamento

Para realizar a análise de sensibilidade comparando ter 1.200 MHz ou 500 MHz para WiFi em 6 GHz em termos de redução de congestionamento, primeiro faz-se necessário calcular o impacto econômico pelo aumento da velocidade média. Dado os estudos apresentados nas seções 4.1, 4.2 (em especial) e 5.2, parece ser bem razoável alcançar velocidades de Gbps com 500 MHz na faixa de 6 GHz. Considerando uma abordagem conservadora, se considerará que a velocidade do WiFi em conexões acima de 150 Mbps (com o 6 GHz) alcançará o equivalente da velocidade em um canal de 160 MHz, com MCS 9, ou seja, 864,72 Mbps.

---

<sup>27</sup> No Brasil, radares meteorológicos utilizados em aeroportos operam tipicamente na faixa de 2700 – 2900 MHz, e não em 5 GHz, como ocorre na Europa. Inclusive, há diversos casos registrados no velho continente de interferência prejudicial entre equipamentos de radiação restrita nesses radares. Mais informações sobre o DFS na [Recomendação ITU-R M.1652-1](#)





**Tab. XIX: Ajustando a Estimativa da Velocidade de Banda Larga Fixa tendo 500MHz na Faixa de 6 GHz**

	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
(5) Velocidade do WiFi em conexões acima de 150 Mbps (sem 6 GHz) (Mbps)	300	350	400	425	450	475	500	525	550	575	600
(6) Velocidade do WiFi em conexões acima de 150 Mbps (com 6 GHz) (Mbps)	500	550	600	650	700	727,45	754,91	782,36	809,81	837,27	864,72
(7) Aumento de velocidade devido ao 6 GHz (Mbps)	200	200	200	225	250	252,45	254,9	257,36	259,81	262,27	264,72
Obs.: (7) = (6) - (5)											

**Tab. XX: Estimativa de Aumento da Velocidade Média com 500MHz em 6 GHz (ver Tab.VII)**

	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
(8) Impacto na velocidade	1,03	6,14	21,36	45,07	71,12	93,27	115,93	139,05	162,60	186,55	210,89
(9) Velocidade média sem o 6 GHz (Mbps)	485,86	568,69	637,36	670,87	712,86	748,22	777,23	814,50	847,89	876,99	901,96
(10) Velocidade média com o 6 GHz (Mbps)	486,89	574,83	658,72	715,94	783,98	841,48	893,16	953,55	1.010,49	1.063,53	1.112,85
(11) Diferença	0,21%	1,08%	3,35%	6,72%	9,98%	12,47%	14,92%	17,07%	19,18%	21,27%	23,38%
Obs.1: (11) = ((10)/(9) - 1) x 100%											
Obs.2: (10) = (9) + (4) x (7)											
Obs.3: (8) = (10) - (9)											

Ademais, até 2028 prevê-se que 35% do tráfego do WiFi estaria fluindo na faixa de 6 GHz. Ora, 500 MHz na faixa de 6 GHz, corresponde a  $500 / 1.200 = 41,67\%$  do total da faixa em discussão. Por isso, não se prevê impacto perceptível na velocidade média da internet nos próximos anos por termos menos espectro disponível a faixa de 6 GHz. Para o ano 2034, estimou-se a velocidade média equivalente a um canal de 160 MHz, em MCS 9, isto é, 864,72 Mbps. Entre 2029 e 2033 se fez interpolação entre as velocidades do WiFi previstas para 2028 e 2034.





**Tab. XXI: Resultado da Análise de Sensibilidade (III) do Impacto Econômico pela Redução do Congestionamento de WiFi, dado 500 MHz para o WiFi na Faixa de 6 GHz**

	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
(12) Impacto no PIB pela duplicação de velocidade	0,73%	0,73%	0,73%	0,73%	0,73%	0,73%	0,73%	0,73%	0,73%	0,73%	0,73%
(13) Aumento do PIB (%)	0,0016%	0,008%	0,024%	0,049%	0,073%	0,091%	0,109%	0,125%	0,140%	0,155%	0,171%
(14) PIB Brasil em bilhões US\$	2.265	2.362	2.477	2.632	2.774	2.924	3.082	3.249	3.425	3.610	3.805
(15) Impacto (bilhões de US\$)	0,035	0,186	0,606	1,291	2,020	2,661	3,356	4,049	4,795	5,606	6,494
Obs.1: (13) = (11) x (12)											
Obs.2: (15) = (13) x (14)											

A Tab. XXII apresenta o resultado da análise de sensibilidade, variando além dos parâmetros apresentados na Tab.XXI, o impacto no PIB pela duplicação de velocidade média.

**Tab. XXII: Resultado da Análise de Sensibilidade (IV) do Impacto Econômico pela Redução do Congestionamento de WiFi, dado 500 MHz para o WiFi na Faixa de 6 GHz**

	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
(12) Impacto no PIB pela duplicação de velocidade	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%
(13) Aumento do PIB (%)	0,0006%	0,0032%	0,010%	0,020%	0,030%	0,037%	0,045%	0,051%	0,058%	0,064%	0,070%
(14) PIB Brasil em bilhões US\$	2.265	2.362	2.477	2.632	2.774	2.924	3.082	3.249	3.425	3.610	3.805
(15) Impacto (bilhões de US\$)	0,014	0,077	0,249	0,531	0,830	1,093	1,379	1,664	1,970	2,304	2,669
Obs.1: (13) = (11) x (12)											
Obs.2: (15) = (13) x (14)											

A Tab. XXIII apresenta o resumo dos resultados do estudo da DSA, comparando as análises de sensibilidade 3 e 4 para o cenário em que um bloco de 500 MHz em 6 GHz é destinado para o WiFi.

**Tab. XXIII: Resultado da Análise de Sensibilidade do Impacto Econômico pela Redução do Congestionamento de WiFi (valores em bilhões de dólares) com 500 MHz em 6 GHz**

	2024	2025	2024 - 2034
<b>DSA 2024</b>	2,495	3,477	95,12
<b>Análise de Sensibilidade 3</b>	0,035	0,186	31,1
<b>Análise de Sensibilidade 4</b>	0,014	0,077	12,78





## 8. Outros Vetores que Impactariam o PIB

O Relatório da DSA avalia também outros vetores, além do aumento da velocidade residencial da internet pela redução do congestionamento WiFi, relacionados a implementação do WiFi6E que impactariam o PIB, quais sejam:

- **Aumento da cobertura banda-larga e aumento na capacidade de compra;**
- **Utilização ampla de Internet das Coisas**
- **Redução do Custo Empresarial da Comunicação Sem-Fio;**
- **Utilização de Soluções AR/VR (Realidade Aumentada e Realidade Virtual);**
- **Aumento na utilização de WiFi Municipal;**
- **Utilização de Pontos de Acesso WiFi Livre;**
- **Alinhamento da decisão de uso do espectro com outras economias avançadas;**
- **Aumento na capacidade de off-loading de tráfego;**
- **Dispositivos WiFi e Equipamentos.**

A seguir, discorre-se sucintamente sobre dois dos vetores mais importantes: IoT e AR/VR.

Em relação a “**utilização ampla de IoT**” o estudo em questão considerou que o impacto no PIB desse vetor seria de US\$ 47,69 bilhões (entre 2024 – 2034) se destinada toda a faixa de 1.200 MHz. Porém, se destinado “somente” 500 MHz, o impacto seria 58,3% menor, diretamente proporcional<sup>28</sup> a faixa destinada, ou seja, o total de US\$ 19,87 bilhões. Da mesma forma, o excedente do produtor cairia de US\$ 61,09 bilhões para US\$ 25,46 bilhões. Ora, para esse tipo de problema não parece ser razoável aplicar uma regra de proporcionalidade direta em função da quantidade de espectro disponível, seja sobre os efeitos diretos ou indiretos na economia. O equipamento será o mesmo, o que mudará é a configuração (via *software*) para o Brasil e demais países que adotarem 500 MHz para WiFi em 6 GHz. Ademais, aplicações IoT tipicamente demandam baixa capacidade, ou quando demandam capacidades relativamente mais altas (ex.: Câmeras de Alta-Resolução) precisam de taxas de transmissão bem inferiores ao que a tecnologia pode oferecer. Assim, não obstante a essencialidade das aplicações IoT, a parte mais sensível desse vetor é ter a tecnologia no padrão 802.11ax disponível, mais do que a quantidade de espectro disponível, se 1200 MHz ou 500 MHz, justamente devido as características de uso dos dispositivos, das características estatísticas do seu tráfego e do padrão de reuso das radiofrequências.

---

<sup>28</sup>  $700\text{MHz}/1200\text{ MHz} = 58,3\%$





A lógica utilizada para avaliar o impacto de uma destinação de 500 MHz e não 1.200 MHz em aplicações AR/VR foi a mesma. Descontar diretamente 58,3% da estimativa do cenário de toda a faixa para o WiFi. Então, se passou de um impacto no PIB de US\$ 186,94 bilhões para US\$ 77,89 bilhões, e de US\$ 26,62 bilhões para US\$ 11,09 bilhões no excedente do produtor, somente devido à redução na quantidade de espectro disponível. Porém, pelo mesmo motivo apresentado no parágrafo anterior, outras metodologias poderiam refletir melhor o efeito marginal de ter mais espectro além dos 500 MHz destinados para o WiFi em 6 GHz.

Cada um dos demais vetores tem suas explicações e seguem um padrão lógico e racional, porém, também susceptíveis a análises de sensibilidade.

## 9. Considerações Finais

A Seção 4 deste trabalho mostrou que **é possível ter velocidades superiores a 1 Gbps utilizando equipamentos WiFi na faixa de 5GHz, e que em determinados cenários a velocidade de um roteador WiFi6e pode ser superior operando em 5GHz, em relação a velocidade de quando se opera em 6GHz. Isso é essencial para garantir velocidades médias superiores a 150 Mbps, que foi a referência do Relatório da DSA para caso não tivesse a operação em 6 GHz.**

Outro ponto importante que foi mostrado é o impacto de utilizar dispositivos do usuário mais modernos. No caso analisado **foi obtido velocidade 55,8% superior simplesmente por utilizar um determinado Laptop de 2023, em relação ao equivalente de sua versão de 2021.**

**Os testes também mostraram situações em que a cobertura de um equipamento operando na faixa em 6 GHz foi inferior em relação a sua operação em 5 GHz.** Isso ocorre porque a potência em 5 GHz pode ser superior em relação à operação em 6 GHz, assim como atenuação em 5 GHz é menor do que em 6 GHz.

**Nas Seções 5 e 6, se mostrou que a metodologia apresentada no trabalho da DSA sugere que o impacto agregado na economia brasileira no período de 2021-2024, devido a decisão da Anatel de ter o 6 GHz destinado ao uso não-licenciado teria sido 12 bilhões de dólares. Olhando em retrospectiva, essas cifras não representam a realidade.**

Esses números, combinado com outros trabalhos econômicos que apresentam a expectativa de impacto bem inferior aos 0,73% no PIB pela duplicação da velocidade média, incentivaram a realização de uma análise de sensibilidade dos benefícios econômicos do uso da faixa de 6 GHz para sistemas não-licenciados.





---

**Ajustando a velocidade média de transmissão e mantendo o impacto no PIB de 0,73% pela duplicação da velocidade média, a análise de sensibilidade indicou que a contribuição total ao PIB brasileiro devido a destinação de toda a faixa de 6 GHz para equipamentos WAS/RLAN, e redução no congestionamento da rede WiFi, seria de US\$ 40,4 bilhões para o período de 2024-2034, frente aos US\$ 182,4 bilhões proposto no estudo original.**

**Adicionalmente, ajustando o impacto no PIB para 0,3% pela duplicação da velocidade média, a análise de sensibilidade indicou que o impacto no PIB para o período de 2024-2034 seria de US\$ 16,6 bilhões, isto é, menor que 1 décimo do valor estimado originalmente.**

Além disso, se realizou análise de sensibilidade considerado a destinação de 500 MHz, situação em que os novos números indicam impacto bem menor em relação ao originalmente proposto.

Por fim, discorreu-se sobre os demais vetores impactados pelos sistemas WiFi em 6 GHz, em se observou que outras metodologias podem refletir melhor o impacto entre ter 500 MHz ou 1200 MHz na faixa de 6 GHz, ao invés de estimar um impacto teórico em função do todo (1200 MHz), e a partir daí descontar o valor econômico em dólares da mesma percentagem descontada em MHz, isto é, 58,33% a menos por utilizar 500 MHz e não 1200 MHz.

