

Análise de *Throughput* para 5G NSA com Variação dos Parâmetros RSRP e SINR

Iury S. Batalha, Dércio M. Mathe, Lívia C.S. Teles, Maykon R.P. da Silva, Gidy C.F. Navarro e Marcelo G. Costa
Email: {iury.batalha, decio.mate, livia.teles, maykon.silva, gidy.navarro, marcello.costa}@sidia.com
Sidia, *Time de Protocolo e protocolo advanced*
Manaus, Brasil

Resumo—Elevadas taxas de transmissão são requisitos primordiais para atender serviços e aplicativos que necessitam de banda larga móvel aprimorada eMBB (*enhanced mobile broadband*) e que serão oferecidos pelas redes de quinta geração (5G). Neste contexto, analisar métricas de QoS (*quality of service*), como o *throughput*, são essenciais para entender a experiência do usuário conectado à rede. Logo, este trabalho avalia o impacto de parâmetros da camada física como: SINR (*signal-interference-noise to ratio*), RSRP (*reference signal received power*) e ordem de modulação (64-QAM e 256-QAM), no *throughput*, em uma rede 5G NSA com agregação de portadora. Para tal, foram realizadas medições em laboratório que permitiram uma análise, por parâmetros estatísticos, do conjunto de dados obtidos.

Abstract—High transmission rates are primary requirements for services and applications requiring improved mobile broadband eMBB (*enhanced mobile broadband*) and offered by fifth-generation (5G) networks. In this context, analyzing service quality metrics QoS (*quality of service*), such as *throughput*, is essential to understand the user experience connected to the network. Therefore, this work evaluates the impact of parameters of the physical layer as a SINR (*signal-interference-noise to ratio*), RSRP (*reference signal received power*) and modulation (64-QAM and 256-QAM), in *Throughput*, on a 5G NSA network with carrier aggregation. Laboratory measurements were carried out to do so, which allowed an analysis of the data set obtained through statistical parameters.

Keywords—5G NSA, Quality of Service, Throughput

I. INTRODUCTION

As redes móveis passaram por mudanças significativas nos últimos anos. Às duas primeiras gerações permitiram ao usuário uma experiência resumida a serviços de voz e SMS (*short message service*). Entretanto, após o surgimento do 3G (terceira geração) e a transição para o acesso à banda larga, foi possível alcançar taxas de dados, novos serviços e o acesso à internet. Atualmente, o mundo vivencia a transição de redes de 4G (quarta geração) para redes de 5G (quinta geração), e possui como característica principal a alta taxa de dados e serviços que proporcionem uma experiência ótima ao usuário [1].

As redes 5G NR (New Radio) possibilitam o crescimento na quantidade de serviços, como, por exemplo: a telemedicina,

This work was partially supported by Samsung Eletrônica da Amazônia Ltda., under the auspice of the informatic law no 8.387/91. Iury S. Batalha, Dércio M. Mathe, Lívia C.S. Teles, Maykon R.P. da Silva, Gidy C.F. Navarro e Marcelo G. Costa fazem parte do Sidia Instituto de Ciência e Tecnologia, Manaus, Amazonas, Brasil, e-mail: iury.batalha@sidia.com. O presente trabalho foi realizado com apoio da Samsung Eletrônica da Amazônia Ltda.

realidade aumentada e controle remoto de serviços industriais [1] [2]. A chave para entregar essa diversidade de serviços é o Fatiamento de Rede (Network Slicing) [3].

O 3GPP (3rd Generation Partnership Project) padronizou o fatiamento de rede com suporte dedicado para os seguintes casos de uso: banda Larga Móvel Aprimorada (eMBB), Comunicação de Baixa Latência e Ultra-Confável (URLLC) e Comunicação Massiva entre Máquinas (mMTC). O eMBB aborda serviços relacionados com telefonia móvel, PCs e TVs, permitindo um grande volume de transferência de dados [1]–[3].

Neste contexto, o *throughput* é uma métrica de QoS relevante que afeta a percepção do usuário sobre o comportamento da rede [4]. Para avaliar a qualidade de serviço voltada ao eMBB, diversos estudos foram desenvolvidos para análises e modelagens de parâmetros de QoS como *delay*, *jitter* e *throughput*.

Em [5] [6] é explorado métricas de QoS visando avaliar a qualidade de rede e experiência de usuário. Em [7] foram feitas simulações utilizando o paradigma de *network slicing* em um cenário envolvendo IoT (*internet of things*), bem como análise de *performance* de *throughput* em redes 4G LTE (*long term evolution*) e 5G em ambiente urbano e rural utilizando algoritmos de *machine learning* para prever o *throughput* em cenários de rede 4G e 5G. Em [8] é apresentado estudos relacionados a algoritmos de aprendizado de máquina aplicados em cenários que envolvem Redes Definidas por Software SDN (*software defined networking*). Em [9] é analisado a variação de *throughput* com o aumento do RSRP, RSRQ (*reference signal received quality*) e CQI (Channel Quality Indicator). Em [10] foram examinadas métricas de RF para avaliar o *throughput* de alta mobilidade. Em [11] são usadas as geo-localizações para compreender a associação dos seguintes fatores *path loss*, *cell load* e *shadowing* com *throughput*. Em [12] é apresentada uma abordagem visando melhorar o rendimento das redes 5G em métricas de QoS baseado nos seguintes parâmetros: modulação e espaçamento do supportadora.

O estudo em [13] avalia links 5G com UAVs (*unmanned aerial vehicles*) de baixa altura em cenários suburbanos através de simulações ao nível do sistema. Os autores observaram que a perda de desempenho em relação à distância pode ser insignificante em cenários onde o nível de sinal é superior na SNR (*signal-to-noise ratio*), maior que 0 dB. No entanto, o desempenho tende a diminuições para valores de SNR

inferiores. Além disso, os autores também observaram que o atraso de feedback afetará tanto a rendimento médio quanto a latência de transmissão de ponta a ponta.

Esse trabalho avalia a *performance* de redes 5G NSA por meio do *throughput* em relação a parâmetros de RSRP e SINR. Os principais objetivos são:

- Avaliar a *performance* do *throughput* em 5G-NSA nas bandas B7 para LTE e N78 para 5G;
- Avaliar a relação do RSRP e SINR com *throughput* para as modulações 64-QAM e 256-QAM;
- Definir um limiar de RSRP e SINR para o uso de uma configuração de rede com as modulações 64-QAM e 256-QAM.

II. Setup e METODOLOGIA

O *setup* de medições visa avaliar o *throughput* na tecnologia 5G-NSA para a combinação de bandas (B7 + N78). Para tanto, foram definidos parâmetros de célula 5G NSA, como mostra a tabela I. Os parâmetros considerados neste trabalho estão relacionados com a quantidade de bits que serão transmitidos no intervalo de medição, o principal parâmetro da célula que será utilizado para avaliar o comportamento do *throughput* é a modulação.

A. Setup

O *setup* de medições, visto na 1, possibilita fixar e variar alguns parâmetros da célula, o equipamento e o software que viabiliza o controle de células 5G NR é o Anritsu MT8000A e SSSR (*smart studio new radio*), para as células 4G com o EPC (*evolved packet core*) são utilizados o Anritsu MD8475B e MX847570B, respectivamente. Além disso, outro equipamento utilizado para as medições é a *shieldbox* MA8161A, responsável pelo cancelamento de interferências e viabiliza a comunicação radiada, o que possibilita apenas o *attach* no DuT (*device under test*) criado pelo MT8000A. Para possibilitar o tráfego de dados entre o DuT e a célula é necessário um servidor de dados, como mostra a Figura 1, este servidor cria um tráfego de dados por meio do *software* Iperf e do estabelecimento da conexão default de dados entre o DuT e o core da rede (EPS) criada pelo MT8000.

A configuração da rede 5G NSA utilizada que estabelece a comunicação de controle e de dados entre o DuT e o EPC é feito por meio da *option* 3x. Essa configuração estabelece comunicação simultânea com o core da rede por meio das duas células, LTE e NR. A sinalização de controle é estabelecida por meio da eNodeB para evitar problemas de sincronismo.

TABELA I
SETUP CONFIGURATION AND 5G-NSA CELL

Parameters	5G-NSA
Bandwidth	20 MHz / 100 MHz
Modulation scheme	64-QAM / 256-QAM
Bands	B7A-N78A
Subportadora	15KHz / 30 KHz
Duplexação	FDD / TDD
Esquema de transmissão	SISO - TM1

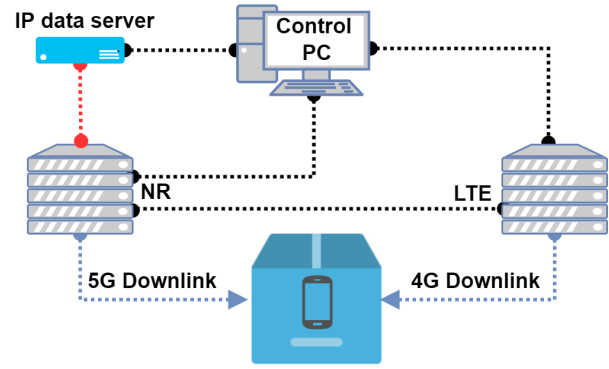


Fig. 1. Measurement setup

B. Metodologia

Para obter as amostras foi definida uma metodologia de medição que consiste em volume de dados coletados para validação estatística, tratamento dados, estabilidade do *setup* e definir os cenários para variação dos resultados. Neste contexto, foram realizadas duas campanhas de medições: a primeira campanha definida é a modulação 64-QAM na célula 5G NR, 100 MHz de largura de banda, 30KHz de espaçamento de subportadora, 150 Blocos de Recurso RB (*resources blocks*) alocados e SISO (*Single-input single-output*). Para a outra campanha de medições define-se 256-QAM para modulação, 100 MHz de largura de banda, 30KHz de espaçamento de subportadora e 150 RB para a alocação de recurso voltados a célula NR. A banda B7, LTE âncora, definimos a máxima configuração para ambos os *setups* com boa qualidade de sinal e o máximo de alocação de recursos. Essas configurações pretendem determinar a influência do *throughput* apenas para a célula NR, por meio de variações de modulação, RSRP e SINR.

Para a captura dos dados, definimos um range de SINR e RSRP para as células LTE e NR para capturar apenas as variações do *throughput* indexadas as condições de canal determinada. Assim, conseguimos obter a influência dual banda dos canais e analisar essa influência em QoS.

III. ANALISE DOS RESULTADOS

Conforme a campanha de medições e os dados obtidos, podemos determinar algumas análises sobre a métrica de QoS (*throughput*). Mesmo com valores de RSRP e SINR com pouca variação, a variabilidade de *bits* transmitido por segundo apresentou elevado desvio padrão. Este comportamento se repete mesmo com boas condições de canal. Outro ponto relevante é que as modulações 64-QAM e 256-QAM apresentam picos de *throughput* IP similares, embora ocorra diferença no *throughput* MAC com a mesma alocação de recursos no valor de 150 *resources blocks*.

Este trabalho avalia apenas o *throughput* IP, tendo em vista que esta métrica é o real valor de transferência de *bits* observadas pelo usuário. A tabela III apresenta as métricas estatísticas relacionadas às medições voltadas para a variação de modulação e RSRP e SINR.

A figura 2 apresenta as medições para a modulação de 64-QAM. No eixo abscissas temos os valores de RSRP associados

TABELA II
DADOS DAS CAMPANHAS DE MEDIÇÕES.

64QAM	256QAM	64QAM	256QAM	64QAM	256QAM
RSRP		SINR		Throughput	
-91	-91	25	26	103.10	106.54
-97	-94	24	25	102.31	100.42
-100	-97	23	24	105.38	103.02
-103	-98	22	24	98.67	106.66
-106	-100	21	22/23	96.48	103.15
-110	-103	19	21	57.22	0.140
-112	-	17	-	42.85	-
-114	-	18	-	41.53	-
-116	-	14	-	0.250	-

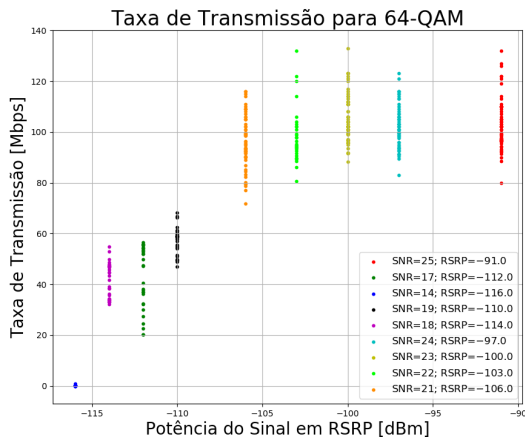


Fig. 2. *Throughput* indexado ao RSRP para a modulação de 64-QAM.

com a SINR e no eixo ordenada os valores de *throughput*. Nota-se que em até -106 dBm e SNR de 21 dB temos valores transmissão de *bits* por volta de 100 Mb/s, essa região é definida como "região estável", onde é garantido elevado valor de transmissão de *bits* na camada IP, essa região são para valores maiores ou igual a -106 dBm para RSRP e 21 dB de SINR. Outra região definida possui um range de -114 dBm e 18 dB de SINR até -110 dBm até 19 dB de SNR, temos uma região de transição, onde a taxa de *bits* transmitido fica em média 45 Mb/s, notando uma diferença de 65 Mb/s da zona estável para a zona de transição. Essa perda está relacionada a qualidade do canal que faz com que ocorra maior interferência inter simbólica e consequentemente, mais perdas de *bits*.

Por fim, temos a zona crítica onde o canal já está degradado e acaba interferindo significativamente na quantidade de *bits* transmitido, saindo da escala de megabits para kilobits, esta região é definida como ponto de partida em -116 dBm de RSRP e SINR 14. Esta situação indica que a mudança de modulação pode ser interessante, saindo de 64-QAM para 16 QAM e assim ter maior alcance de enlace com menores valores de perda no *throughput*.

Para a análise da modulação de 256-QAM, a figura 3 apresenta o comportamento dos dados baseado na mesma análise da modulação de 64-QAM. Para 256-QAM, possuímos apenas duas zonas, essas zonas são bem definidas e distintas devido à robustez da modulação para a transmissão de dados,

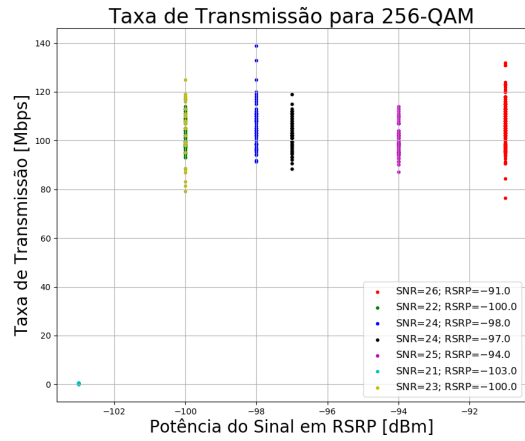


Fig. 3. *Throughput* indexado ao RSRP para a modulação de 256-QAM.

embora esteja seja mais suscetível a erros de *bits* por meio da interferência intersimbólica. Para valores maiores ou iguais de RSRP de -100 dBm e 22dB de SNR, obtemos elevado valor de *throughput*, podendo atingir picos de 139 Mb/s. Para valores menores que -102 dBm e 21 dB de SNR a modulação perde sua eficiência devido o canal está em condições inferiores, neste contexto, mudar a modulação para 64-QAM garante qualidade de serviço e maior alcance.

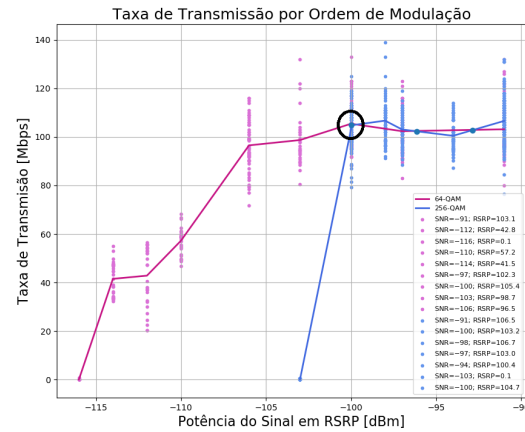


Fig. 4. Comparação entre a modulação 64-QAM e 256-QAM

Outra análise relevante está relacionado com a saturação da modulação conforme as condições de canal. Como as medições foram conduzidas com a modulação fixa, é possível analisar o ponto específico onde ocorre a degradação do *throughput*. A figura 4 apresenta o ponto de inflexão entre os dados medidos de *throughput* para a modulação 64-QAM e 256-QAM, indicado por um círculo, visto na figura 4. Em -100 dBm a modulação 256-QAM chega ao seu limite, caindo de Mb/s para kbps, neste instante a mudança de modulação garante a qualidade de serviço.

IV. CONCLUSÃO

Este estudo visou analisar o comportamento de *throughput* para as modulações de 64-QAM e 256-QAM, por meio da variação da qualidade do sinal observadas por meio das métricas de camada física (RSRP e SINR). Os resultados obtidos apontam que a máxima vazão de dados está relacionada a boas condições de canal. No entanto, o estudo aponta um limiar de qualidade para as métricas de canal que vão garantir maior vazão de *bits*. Para a modulação de 64-QAM valores acima de -106 dBm e SINR de 21 dB, garantem o máximo de transferência de dados para essa modulação e com as configurações usadas no *setup* de medida. Para a modulação de 256-QAM esses limiares diferem, onde para RSRP o valor mínimo é -100 dBm e 22 dB de SINR.

O estudo também aponta zonas de qualidade, a modulação de 64-QAM apresenta três zonas, sendo elas representadas pela perda de eficiência da modulação ao cair a qualidade do sinal, resultando em mais perdas de pacote, e indicando a mudança na alteração de modulação a fim de garantir maior eficiência em QoS. A 256-QAM apresenta duas zonas em que a eficiência da modulação cai de forma brusca ao sair do limiar de qualidade apontado nos resultados. Em comparação às duas modulações estudadas neste trabalho, é perceptível o quanto a 64-QAM é mais resistente ao canal, embora a 256-QAM possua maior transmissão de *bits*.

Para trabalhos futuros, pretende testar novas condições de canal e o uso de *power delay profile* (PDP), configurações de célula com MIMO até 4x4 e modos de transmissão com diversidade e multiplexação espacial, propor modelos de regressão, e por fim aumentar o número de bandas utilizadas na América latina para 5G, NSA e SA.

REFERÊNCIAS

- [1] M. Agiwal, A. Roy, and N. Saxena, "Next generation 5g wireless networks: A comprehensive survey," *IEEE Communications Surveys Tutorials*, vol. 18, no. 3, pp. 1617–1655, 2016.
- [2] J. Yao, S. S. Kanhere, and M. Hassan, "Improving qos in high-speed mobility using bandwidth maps," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 11, no. 4, pp. 603–617, 2012.
- [3] X. Foukas, G. Patounas, A. Elmokashfi, and M. K. Marina, "Network slicing in 5g: Survey and challenges," *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 5, pp. 94–100, 2017.
- [4] Y. Chen, K. Wu, and Q. Zhang, "From qos to qoe: A tutorial on video quality assessment," *IEEE Communications Surveys Tutorials*, vol. 17, no. 2, pp. 1126–1165, 2015.
- [5] M. Fiedler, T. Hossfeld, and P. Tran-Gia, "A generic quantitative relationship between quality of experience and quality of service," *IEEE Network*, vol. 24, no. 2, pp. 36–41, 2010.
- [6] K. Mitra, A. Zaslavsky, and C. Åhlund, "Context-aware qoe modelling, measurement, and prediction in mobile computing systems," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 14, no. 5, pp. 920–936, 2015.
- [7] D. Minovski, N. Ögren, C. Åhlund, and K. Mitra, "Throughput prediction using machine learning in lte and 5g networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, pp. 1–1, 2021.
- [8] C. Yue, R. Jin, K. Suh, Y. Qin, B. Wang, and W. Wei, "Linkforecast: Cellular link bandwidth prediction in lte networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 17, no. 7, pp. 1582–1594, 2018.
- [9] —, "Linkforecast: Cellular link bandwidth prediction in lte networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 17, no. 7, pp. 1582–1594, 2018.
- [10] F. Jomrich, A. Herzberger, T. Meuser, B. Richerzhagen, R. Steinmetz, and C. Wille, "Cellular bandwidth prediction for highly automated driving - evaluation of machine learning approaches based on real-world data," in *VEHITS*, 2018.
- [11] J. Yao, S. S. Kanhere, and M. Hassan, "Improving qos in high-speed mobility using bandwidth maps," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 11, no. 4, pp. 603–617, 2012.
- [12] A. Matarneh and M. Almahadeen, "Performance assesment of throughput in 5g system," *Jordanian Journal of Computers and Information Technology*, vol. 06, p. 1, 09 2020.
- [13] Z. Huang, J. Rodríguez-Piñeiro, T. Domínguez-Bolaño, X. Yin, J. Lee, and D. Matolak, "Performance of 5g terrestrial network deployments for serving uav communications," pp. 1–5, 2020.