

Escalonamento de recursos em redes móveis 5G utilizando Network Slicing para os serviços URLLC e eMBB

Hudson Henrique de Souza Lopes, Maykon Renan Pereira da Silva e Flávio Geraldo Coelho Rocha

Resumo— Neste artigo, propõe-se uma solução para o problema de otimização utilizando escalonadores de recursos em redes móveis 5G. Estes escalonadores alocam largura de banda para os Equipamentos dos Usuários (UEs - *User Equipments*) dentro da área de cobertura de pequenas células - (*Small Cells*), considerando o paradigma de fatiamento de rede (NS - *Network Slicing*). A simulação é proposta para os UEs que utilizam os serviços de comunicações ultra confiáveis e de baixa latência (URLLC - *Ultra-Reliable and Low-Latency Communications*) e banda larga móvel melhorada (eMBB - *Enhanced Mobile Broadband*) com diferentes Esquemas de Modulação e Codificação (MCS - *Modulation and Coding Schemes*).

Palavras-Chave— Alocação de Recurso, Fatiamento de Rede, 5G.

Abstract— In this paper, we propose a solution to the optimization problem using a resource schedulers for 5G mobile networks. These schedulers allocate bandwidth to User Equipments (UEs) within the coverage area of Small Cells, considering the Network Slicing (NS) paradigm. The simulation is proposed for UEs using Ultra-Reliable and Low-Latency Communications (URLLC) and Enhanced Mobile Broadband (eMBB) services with different Modulation and Coding Schemes (MCS).

Keywords— Resource Allocation, Network Slicing, 5G.

I. INTRODUÇÃO

A quinta geração de comunicação móvel (5G) surgiu com o intuito de atender às diversas exigências oriundas do advento de aplicações sofisticadas como: veículo para tudo (V2X - *Vehicle to Everything*); internet das coisas (IoT - *Internet of Things*); e sistemas de controle de automação industrial. Neste contexto, para estabelecer a classificação de serviços, a União Internacional de Telecomunicações (ITU - *International Telecommunication Union*) tem caracterizado três tipos de serviços [1]:

- comunicações ultra confiáveis e de baixa latência (URLLC - *Ultra-Reliable and Low-Latency Communications*), ou seja, uma comunicação com atraso imperceptível e com elevada probabilidade de sucesso de transmissão, como aquela exigida, por exemplo, para a execução bem-sucedida de uma cirurgia remota;

Hudson Henrique de Souza Lopes, Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, e-mail: hudson_lopes@ufg.br; Maykon Renan Pereira da Silva, Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, e-mail: maykonrenan@discente.ufg.br; Flávio Geraldo Coelho Rocha, Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, e-mail: flaviogcr@ufg.br.

- banda larga móvel melhorada (eMBB - *Enhanced Mobile Broadband*), aplicações que requerem alta taxa de transmissão para obter-se um bom desempenho, por exemplo, os jogos em nuvem com realidade virtual e aumentada;
- comunicações massivas de tipo de máquina (mMTC - *Massive Machine Type Communications*), ou seja, um grande número de dispositivos conectados como nas cidade inteligente *Smart Cities*, onde os sensores são colocados em todos os lugares para coletar dados.

Essas demandas implicam em mudanças significativas na arquitetura e infraestrutura das redes de telecomunicações e o fatiamento de rede (NS - *Network Slicing*) é considerada uma tecnologia candidata para atender a estas diversas exigências [2].

O NS é uma inovação na arquitetura da rede móvel 5G e desempenhará um papel importante nas próximas gerações. O NS permite a coexistência de múltiplas redes virtuais independentes e isoladas na mesma infraestrutura física de rede. A Rede Definida por Software (SDN - *Software Defined Networking*) e a Virtualização das Funções de Rede (NFV - *Network Functions Virtualization*) são tecnologias chaves para implementar o NS e acomodar novos serviços com requisitos muito diferentes sobre a mesma infraestrutura. As fatias são estabelecidas através de um conjunto de controladores lógicos e de recursos fornecidos pelo controlador SDN. Além disso, com a SDN, o NS permite compartilhar os mesmos recursos da infraestrutura de rede entre os diferentes Equipamentos dos Usuários (UEs - *User Equipments*). Por outro lado, a NFV é desenvolvida para resolver limitações da infraestrutura, como por exemplo, a escassez de equipamentos de comunicação de uma rede. O núcleo da NFV é constituído pela virtualização das funções de rede e funcionam em máquinas virtuais em servidores comuns sem a necessidade de um *hardware* dedicado [1].

O conceito de NS é promissor para as redes móveis 5G devido às seguintes vantagens [1]: o NS suporta multiusuários através da multiplexagem de redes virtuais, o que leva ao compartilhamento da mesma infraestrutura física por vários operadores de redes virtuais; o NS pode realizar serviços diferenciados, assegurando um acordo de nível de serviço para cada tipo de serviço; o NS aumenta a adaptabilidade e flexibilidade da gestão da rede, uma vez que as fatias podem ser criadas e alteradas conforme a necessidade. Devido às propriedades do NS, o principal problema é como atribuir de forma flexível e eficiente os recursos da rede para garantir as variadas exigências de Qualidade de Serviço (QoS - *Quality*

of Service).

As demais seções deste artigo estão organizadas da seguinte forma: na seção II, mostra-se o modelo do sistema de comunicação móvel proposto no sentido *downlink*, analisa-se as funções utilidade sigmoidais parametrizadas para cada Indicador de Qualidade do Canal (CQI - *Channel Quality Indicator*), as funções representam a probabilidade de sucesso na transmissão de pacotes em função da potência alocada aos UEs pela Estações Base (BS - *Base Station*). Na seção III, discute-se sobre a formulação do problema de otimização para o escalonamento de recursos considerando as fatias de serviços eMBB e URLLC. Na seção IV, aplica-se um algoritmo baseado na métrica de justiça proporcional para alocar a potência da BS aos UEs e com os resultados encontrados, aplica-se o escalonamento de recurso utilizando o algoritmo *Round-Robin* (RR) para os UEs considerando 3 cenários diferentes baseado na técnica de NS. Na seção V, discute-se as conclusões obtidas.

II. MODELO DO SISTEMA

O modelo do sistema de comunicação móvel proposto está no sentido *downlink* e consiste em uma pequena célula - *Small Cell* com uma BS no centro e 15 UEs distribuídos em sua área de cobertura, conforme mostra a Figura 1. Todos os UE tem um CQI diferente baseado em sua distância da BS, os círculos concêntricos na Figura 1 representam os intervalos compreendidos para cada CQI, os UEs mais próximos da BS possuem um CQI com o índice mais alto enquanto os UEs mais afastados possuem um CQI com índice menor. Além disso, assumimos que os UEs distribuídos estão associados aos diferentes tipos de serviços como: eMBB e URLLC. A cada Intervalo de Tempo de Transmissão (TTI - *Transmission Time Interval*) é realizada a alocação de recurso para os UEs.

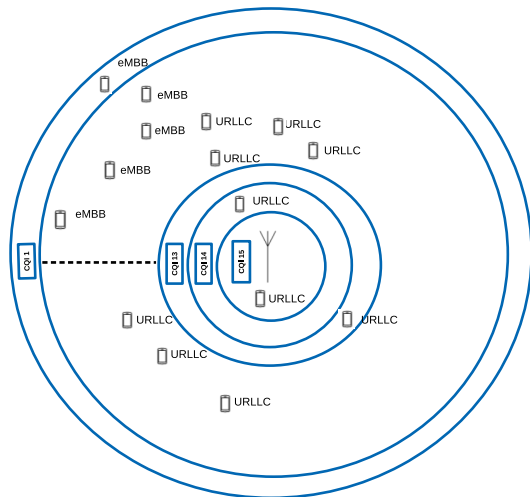


Fig. 1: Modelo do sistema de comunicação móvel

É considerada a Multiplexação por Divisão de Frequências Ortogonais (OFDM - *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) como a técnica na transmissão (LTE - *Long Term Evolution*) no enlace de descida, que permite a transmissão simultânea de diferentes pacotes de dados, atribuindo diferentes subportadoras ao usuário. No domínio do tempo, a duração

do *frame downlink* é de 10 ms. Este *frames* são divididos em 10 *sub-frames*, onde cada *sub-frame* representa um TTI de 1 ms.

Os recursos de rádio podem ser vistos como bidimensionais, ou seja, incluem os domínios do tempo e frequência conforme mostra a Figura 2. A largura de banda B é dividida em S subfaixas de frequência indexadas por $f = \{1, 2, \dots, S\}$ e a dimensão temporal é dividida em faixas de tempo indexadas por $t = \{1, 2, \dots, O\}$, um bloco de recurso (RB - *Resource Block*) é a atribuição mínima de recurso e consiste em 7 símbolos OFDM em caso de prefixo cíclico (CP - *Cyclic Prefix*) normal ou 6 símbolos OFDM em caso de CP estendido, o RB possui um intervalo de tempo de 0,5 ms e 12 subportadoras consecutivas totalizando uma largura de banda de 180 KHz [3]. No sistema LTE (*Long Term Evolution*) RBs são escalonados sempre em pares, chamados assim de blocos de escalonamento (SB - *Scheduling Block*), com duração de 1 ms conforme mostra a Figura 2.

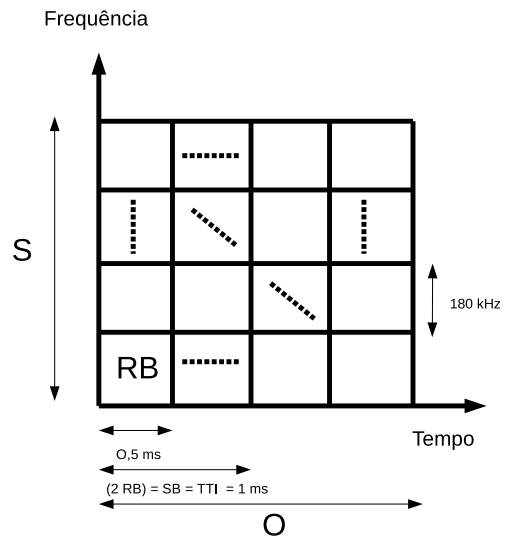


Fig. 2: Recursos de rádio nos domínios do tempo e frequência

A. Indicador de Qualidade do Canal (CQI)

CQI é o *feedback* que o UE envia para BS para indicar a taxa de dados que pode ser suportada pelo canal de *downlink*. O CQI é calculado na BS com base nos parâmetros estimados do canal e na Relação Sinal Ruído (SNR - *Signal-to-Noise Ratio*). A BS seleciona um Esquema de Modulação e Codificação (MCS - *Modulation and Coding Schemes*) apropriado com base nos valores padronizados de CQI conforme mostra a Tabela I [4].

B. Alocação de potência *downlink*

Para calcular a SNR em função da potência de transmissão denotada pela função $\Phi_i(P_{t_i})$ é utilizado o sistema hipotético proposto em [5] que é resumida pela Equação (1). Abordagens similares são feitas em [6], [7] e [8].

$$\Phi_i(P_{t_i}) = \frac{N_i G_i P_{t_i}}{G_i \theta (\sum_{i=1}^J (P_{t_i}) - P_{t_i}) + I_i} = \frac{N_i P_{t_i}}{\theta (P_{b_s} - P_{t_i}) + A_i} \quad (1)$$

TABELA I: Indicador de Qualidade do Canal CQI.

Índice	Potência BS			10 dBm		20 dBm		30 dBm		40 dBm	
	Modulação	Taxa de Código	Eficiência	a	b	a	b	a	b	a	b
1	QPSK	0,07	0,15	8,56	0,19	7,64	0,22	3,69	0,45	0,57	2,79
2	QPSK	0,18	0,38	14,54	0,10	12,98	0,11	6,27	0,23	0,95	1,43
3	QPSK	0,43	0,87	32,48	0,04	29,00	0,04	14,01	0,10	1,75	0,68
4	16-QAM	0,36	1,47	51,00	0,04	45,54	0,05	21,99	0,11	2,62	0,84
5	16-QAM	0,47	1,91	60,99	0,04	54,46	0,04	26,30	0,09	3,22	0,66
6	16-QAM	0,60	2,40	70,78	0,03	63,20	0,03	30,52	0,07	4,11	0,53
7	64-QAM	0,45	2,73	80,57	0,03	71,95	0,03	34,74	0,08	4,75	0,55
8	64-QAM	0,55	3,32	91,64	0,03	81,83	0,03	39,52	0,06	5,73	0,45
9	64-QAM	0,65	3,90	102,83	0,02	91,82	0,02	44,34	0,06	6,71	0,39
10	64-QAM	0,70	4,52	115,51	0,02	103,14	0,02	49,81	0,05	7,77	0,34
11	64-QAM	0,85	5,11	126,39	0,02	114,65	0,02	55,37	0,04	8,79	0,30
12	256-QAM	0,69	5,55	141,59	0,02	126,43	0,02	61,06	0,04	9,77	0,29
13	256-QAM	0,77	6,22	157,94	0,01	141,03	0,02	68,11	0,04	10,97	0,26
14	256-QAM	0,86	6,90	175,33	0,01	156,56	0,01	75,61	0,03	12,22	0,23
15	256-QAM	0,92	7,40	188,08	0,01	167,94	0,01	81,11	0,03	13,13	0,22

Os parâmetros desse sistema são:

- Pt_i é a potência de alocação para o UE_i ;
- G_i é o ganho do caminho entre a BS e o UE;
- N_i é uma constante (por exemplo, ganho de processamento);
- I_i é o ruído e a interferência entre células;
- A_i é a "goodness" do ambiente de transmissão, que é definido por $\frac{I_i}{G_i}$;
- θ é o fator de ortogonalidade;
- P_{bs} é a potência total da BS.

Considerando um pacote de 1024 bits com codificação de canal, são atribuídos os seguintes valores para os parâmetros: $P_{bs} = [10, 20, 30, 40]$, $\theta = 1$, $N_i = 16$ e $A_i = 0,7407$ [5].

Assumimos que a probabilidade de sucesso na transmissão de pacotes em uma rede sem fio pode ser representada por uma função sigmoideal da sua potência de alocação, a Equação (2) é utilizada para modelar essas funções.

$$U_i(\Phi_i(Pt_i)) = c_i \left(\frac{1}{1 + e^{-a_i(Pt_i - b_i)}} - d_i \right), \quad (2)$$

onde $c_i = 1 + \frac{1}{e^{a_i \cdot b_i}}$ e $d_i = \frac{1}{1 + e^{a_i \cdot b_i}}$.

Os parâmetros da Equação (2) foram estimados utilizando o algoritmo de Levenberg-Marquardt conforme apresentado no artigo em [8]. Os parâmetros a_i e b_i para cada CQI i são exibidos na Tabela I.

O objetivo do problema de otimização é alocar potência a todos os UEs para que tenham uma probabilidade de sucesso mínimo na transmissão de pacotes e maximize o produto das utilidades de todos os UEs, ou seja, o produto das probabilidades de sucesso na transmissão de pacotes de todos os UEs, portanto, a alocação de potência para os UEs é formulada pelo seguinte problema de otimização com duas restrições, conforme definido em [6].

$$\max_P \prod_{i=1}^Z U_i(\Phi_i(Pt_i)) \quad (3)$$

$$S.a \quad \sum_{i=1}^Z Pt_i \leq P_{bs}, \quad (4)$$

$$Pt_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, Z. \quad P_{bs} \geq 0, \quad (5)$$

onde Z é o número de UEs, P_{bs} é a potência da BS e $P = Pt_1, Pt_2, \dots, Pt_Z$ é a potência alocada aos UEs.

O problema de otimização tem duas restrições que são discutidas a seguir: em (4) a BS precisa alocar potência a todos os UEs, mantendo-se dentro de sua disponibilidade de potência. Em (5) é assegurado que seja alocada potência a todos os UEs, ou seja, quando $P_{bs} \neq 0$, $Pt_i > 0$ para todos os UEs, atendendo a um critério mínimo de probabilidade de sucesso para todos os usuários da rede móvel. O caso em que $Pt_i = 0$ é apenas quando $P_{bs} = 0$.

III. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

A taxa de bits para o UE i operando na sub-banda f no $slot$ de tempo t pode ser definida como:

$$T_{t,f}^i = B \cdot \sigma \cdot E(\Phi_i(Pt_i)), \quad (6)$$

onde B é a largura de banda de um SB, σ é o intervalo de tempo de transmissão de cada $slot$ e $E(\Phi_i(Pt_i))$ é a eficiência espectral do CQI selecionado conforme a Tabela I. Durante o escalonamento, cada SB é atribuído a um único UE. Denotamos $x_{t,f}^i$ uma variável de atribuição binária que é 1 se o SB(t, f) for atribuído ao UE i , caso contrário, é 0 quando o SB não é atribuído a nenhum UE. Então, a variável de decisão é definida como:

$$x_{t,f}^i = \begin{cases} 1, & \text{se o SB foi alocado para o UE } i \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

A taxa de bits para o UE i é definido por D_i e é calculada como:

$$D_i = \sum_{t=1}^O \sum_{f=1}^S x_{t,f}^i \cdot T_{t,f}^i. \quad (7)$$

Neste trabalho, assumimos a presença de ambos os serviços para os usuários na rede: eMBB e URLLC, o conjunto $\Omega_1 = \{1, 2, \dots, G\}$ e $\Omega_2 = \{1, 2, \dots, H\}$ representam, respectivamente, os conjuntos de usuários associados aos serviços eMBB e URLLC. A função objetivo é a soma das taxas de bits de todos os UEs e é dada por:

$$T = \sum_{i \in \Omega_1} D_i + \sum_{i \in \Omega_2} D_i. \quad (8)$$

A fim de simplificar o problema, são utilizadas duas funções de aproximação para a eficiência espectral (ou seja, funções contínuas diferenciáveis) para os serviços eMBB e URLLC que podem ser expressas como [3]:

$$E_{\Omega_1}(\Phi_i(Pt_i)_{t,f}^i, \tau_{\Omega_1}) = \log_2\left(1 + \frac{\Phi_i(Pt_i)_{t,f}^i}{\Gamma_{\Omega_1}}\right), \quad (9)$$

$$E_{\Omega_2}(\Phi_i(Pt_i)_{t,f}^i, \tau_{\Omega_2}) = \log_2\left(1 + \frac{\Phi_i(Pt_i)_{t,f}^i}{\Gamma_{\Omega_2}}\right), \quad (10)$$

onde $\Gamma_{\Omega_1} = \frac{-\ln(5\tau_{\Omega_1})}{1,5}$ e $\Gamma_{\Omega_2} = \frac{-\ln(5\tau_{\Omega_2})}{1,5}$ representam os intervalos da SNR, $\tau_{\Omega_1} = 10^{-1}$ e $\tau_{\Omega_2} = 10^{-3}$ representam a taxa de erro de bloco alvo para os UEs dos serviços de eMBB e URLLC, respectivamente [9].

A taxa de bit para cada SB pode ser reescrita como:

$$r_{t,f}^i = B \cdot \sigma \cdot E_{\omega}(\Phi_i(Pt_i), \tau_{\omega}), \quad \omega \in \{\Omega_1, \Omega_2\} \quad (11)$$

Usando a Equação (11), a função objetivo para a soma de taxa de todos os UEs pode ser formulada como:

$$V = \sum_{i \in \Omega_1} \sum_{t=1}^O \sum_{f=1}^S x_{t,f}^i \cdot r_{t,f}^i + \sum_{i \in \Omega_2} \sum_{t=1}^O \sum_{f=1}^S x_{t,f}^i \cdot r_{t,f}^i. \quad (12)$$

O problema de otimização é formulado como:

$$\max_{x_{t,f}^i} V \quad (13)$$

$$S.a \quad x_{t,f}^i \in \{0, 1\}, \quad (14)$$

$$\sum_{i \in \Omega_1} \sum_{i \in \Omega_2} x_{t,f}^i = 1, \quad \forall t, f \quad (15)$$

$$\sum_{f=1}^S \sum_{t=yO+1}^{yO+O} x_{t,f}^i \geq 1, \quad y = 0, 1, 2, \dots; \quad i \in \Omega_2 \quad (16)$$

O principal objetivo do problema de otimização proposto em [3] é maximizar a soma das taxas de bits dos UEs associados aos serviços eMBB e URLLC através da realização de uma atribuição dinâmica de SBs sujeitos às seguintes restrições: a restrição (14) possui uma variável inteira binária, sendo assim, o problema é não convexo; a restrição (15) assegura que um SB pode ser atribuído a um único UE que pertence a um serviço em um *slot* de tempo (ou seja, restrição de

ortogonalidade); a próxima restrição (16) garante o requisito de latência aos UEs do serviço URLLC. Quando o UE do serviço URLLC é escalonado (ou seja, $i \in \Omega_2$), o UE deve receber pelo menos um SB para cada N *slots* de tempo para manter o requisito de latência do UE [3].

IV. RESULTADO E DISCUSSÕES

As simulações realizadas neste trabalho utilizaram o *software* Matlab versão R2018a com as seguintes configurações de *hardware*: processador AMD V160 de 2,40 GHz; 8 GB de RAM sem placa de vídeo dedicada. O cenário da rede de telefonia móvel foi realizado com uma *Small Cell* com a BS localizada no centro. O conjunto completo de parâmetros das simulações é fornecidos na Tabela II.

TABELA II: Parâmetros da Simulação

Parâmetros	Valores
Potência de Transmissão da BS em dBm	10, 20, 30, 40
Frequência da Portadora	3,5 GHz
Intervalo de Tempo de Transmissão	1 ms
Número de Símbolos OFDM por TTI	7
SBs por TTI	100
Tempo de Simulação	1000 TTI
Largura de Banda de cada SB	180 KHz
Largura de Banda por portadora	20 MHz
UEs eMBB	5
UEs URLLC	10
UEs Total (UEs eMBB e URLLC)	15

Para realizar alocação de potência da BS para os UEs ativos na célula foram utilizados os algoritmos: Compartilhamento Igualitário (CI) onde a potência da BS é alocada igualmente para todos os UEs [3]; e o Algoritmo Distribuído (AD) conforme em [7]. Para realizar a alocação de potência pelo algoritmo AD são utilizadas as funções utilidades da Equação (2) parametrizadas para cada CQI conforme a Tabela I, o algoritmo tem como objetivo maximizar o problema de otimização da Equação (3) para encontrar a potência que deve ser alocada para cada UE conforme demonstrando no artigo em [7], a Tabela III mostra para diferentes potências da BS os valores das SNR em dB para o canal codificado.

TABELA III: Indicador de Qualidade do Canal CQI.

Potência BS	10 dBm	20 dBm	30 dBm	40 dBm
CQI	SNR(dB)	SNR(dB)	SNR(dB)	SNR(dB)
1	-29,65	-20,11	-12,64	-9,00
2	-25,71	-16,17	-8,70	-5,07
3	-22,05	-12,51	-5,04	-1,48
4	-16,77	-7,23	0,23	3,32
5	-15,65	-6,11	1,35	4,14
6	-14,65	-5,11	2,18	4,78
7	-9,84	-0,30	6,94	9,46
8	-8,99	0,54	7,60	9,88
9	-8,29	1,24	8,23	9,92
10	-7,65	1,88	8,74	9,96
11	-7,12	2,41	9,12	9,98
12	-1,99	7,54	14,18	14,53
13	-1,49	8,04	14,27	14,54
14	-1,04	8,49	14,35	14,61
15	-0,74	8,79	14,59	14,64

A cada TTI foram atribuídos CQIs diferentes aos UEs representando o deslocamento pela célula. A Figura 3 mostra a soma da taxa de bits considerando os três cenários diferentes e para o escalonamento da largura de banda é utilizado o algoritmo *Round-Robin*, este algoritmo consiste em atribuir os recursos em partes iguais e de forma circular, manipulando todo o processo sem prioridades. Por isso, esse escalonador tende a realizar uma distribuição homogênea dos recursos disponíveis e caracteriza-se por apresentar um bom índice de justiça entre os UEs [10].

Também observamos na Figura 3 os seguintes resultados para os três cenários diferentes: a soma das taxas de bits é superior quando todos os UEs ativos na célula estão associados com a fatia de serviços eMBB; em contraste com o primeiro cenário, a soma das taxas de bits é inferior quando todos os UEs ativos estão associados a fatia de serviço URLLC; e a soma das taxas de bits dos UEs total ativos na célula que estão associados aos dois tipos de serviços é menor do que a de todos os UEs eMBB e maior que a dos UEs URLLC.

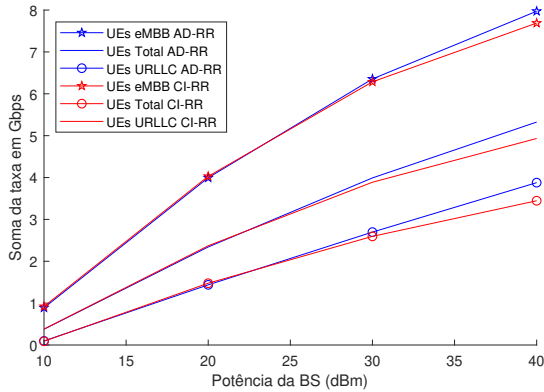


Fig. 3: Soma da taxa de bits considerando 3 cenários diferentes para diferentes potências da BS

Na Figura 4 mostramos a soma das taxas de bits dos UEs considerando o requisito de latência dos UEs URLLC. Nos resultados, a soma das taxas de bits dos UEs Total é maximizada no momento de alta latência quando tanto os UEs eMBB como os UEs URLLC estão ativos na célula. Estes resultados ocorrem devido à atribuição de menor número de SB aos UEs URLLC e maior número de SB para os UEs eMBB no tempo de latência elevada dos UEs URLLC.

V. CONCLUSÕES

Neste artigo, foram apresentadas as combinações de duas técnicas para alocação de recursos em redes móveis 5G, o cenário foi baseado na técnica de fatiamento de rede (NS - *Network Slicing*) para as duas fatias de serviços eMBB e URLLC, os UEs utilizam os mesmos recursos de rádio e a mesma potência de transmissão da BS. A nossa contribuição consiste em utilizar uma modelagem matemática que relaciona a probabilidade de sucesso no envio de pacotes em função da potência que é alocada para cada CQI, e em seguida, utilizar a combinação dos métodos de alocação de potência com o de alocação de largura de banda no cenário de NS.

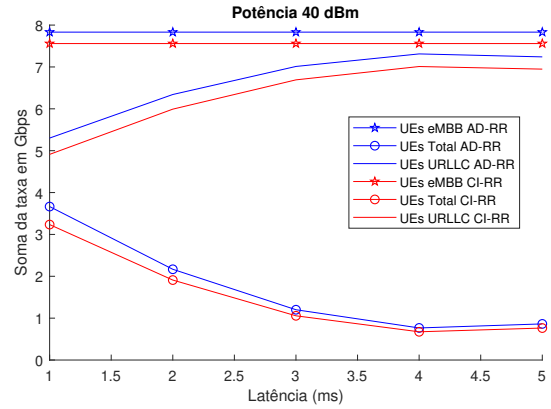


Fig. 4: Soma da taxa de bits considerando latências diferentes para os UEs URLLC

O problema de otimização na alocação de recursos de rádio em NS foi formulado como um problema de programação não linear inteira mista. A cada TTI os UEs eMBB e URLLC recebem um CQI diferente representando um deslocamento dentro da rede móvel, os resultados das simulações mostraram que, atribuindo dinamicamente os SBs aos UEs a soma da taxa de bits total de todos os UEs (UEs Total) é superior aos UEs URLLC e inferior aos UEs eMBB. Além disso, observamos que o método que combina a alocação de potência igualitária e o algoritmo *Round-Robin* (RR) apresenta resultado inferior ao método que combina a alocação de potência baseada em justiça proporcional e o algoritmo RR.

REFERÊNCIAS

- [1] Song, F., Li, J., Ma, C., Zhang, Y., Shi, L., Jayakody, D. N. K., et al. (2020). Dynamic Virtual Resource Allocation for 5G and Beyond Network Slicing, *IEEE Open Journal of Vehicular Technology*, 1, 215-226.
- [2] Feng, L., Zi, Y., Li, W., Zhou, F., Yu, P., Kadoch, M., et al. (2020). Dynamic Resource Allocation With RAN Slicing and Scheduling for uRLLC and eMBB Hybrid Services, *IEEE Access*, 8, 34538-34551.
- [3] Korrai, P. K., Lagunas, E., Sharma, S. K., Chatzinotas, S., Ottersten, B., et al. (2019). Slicing Based Resource Allocation for Multiplexing of eMBB and URLLC Services in 5G Wireless Networks, *2019 IEEE 24th International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD)*, 1-5.
- [4] 3rd Generation Partnership Project (3GPP). (2015). Technical Specification (TS) 36.213 Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA). *Physical layer procedures*, Version 12.7.0.
- [5] Lee, J., Mazumdar, R. R., & Shroff, N. B. (2005). Downlink power allocation for multi-class wireless systems, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 13(4), 854-867.
- [6] Abdel-Hadi, A., Khawar, A., & Clancy, C. T. (2015). Optimal downlink power allocation in cellular networks, *Physical Communication*, 17, 1-14.
- [7] Wang, Y., Abdel-Hadi, A., & Clancy, C. T. (2016). Optimal power allocation for LTE users with different modulations, *2016 Annual IEEE Systems Conference (SysCon)*, 1-5.
- [8] LOPES, H. H. S., & ROCHA, F.G. C. (2020). Aplicação do Algoritmo de Levenberg Marquardt para Modelagem na Alocação de Potência para Usuários LTE na Faixa de 3.5 GHz com Diferentes CQI, *VIII Escola Regional de Informática ERI-GO*.
- [9] Hossain, E., Rasti, M., & Le, L. B. (2017). Radio Resource Management in Wireless Networks: An Engineering Approach, *Cambridge University Press*, Cambridge.
- [10] Souza, D.F., Abrahão, D.C., Vieira, F.H.T. & Borges, V.C.M. (2018). O Impacto de Escalonadores de Recursos e Modulações no Desempenho do Downlink de Redes 5G Baseadas em LTE, *Revista de Sistemas de Informação da FSMA*, 21, p 59-73.