

Faixa 5 + 5 MHz para uso na segurança pública no Brasil: estudo de casos

Marcos M. Couto e Alberto G. Guimarães

Resumo—Neste trabalho realiza-se um estudo de utilização de recursos espectrais para atender às demandas de telecomunicações de agências estatais em cenários PPDR (Public Protection and Disaster Relief) no Brasil. A Resolução nº 625 da ANATEL reserva 5 + 5 MHz de espectro para uso nesses casos, porém importa saber se tal ativo espectral é suficiente para comportar a vazão usualmente requerida neste tipo de emprego. São realizadas simulações de Monte Carlo de operação de uma rede LTE, considerando uma situação de rotina e ocorrências reais de alta gravidade, obtendo-se estimativas da capacidade da rede em atender o tráfego demandado.

Palavras-Chave—Segurança Pública, Comunicação Crítica, Resolução ANATEL 625, LTE

Abstract—In this work a study is developed on the use of spectral resources to meet the telecommunications demands of state agencies in PPDR (Public Protection and Disaster Relief) scenarios in Brazil. ANATEL Resolution 625 reserves 5 + 5 MHz of spectrum for use in such cases, but it is important to know whether this spectral asset is sufficient to support the throughput usually required in this framework. Monte Carlo simulations of the operation of an LTE network are carried out, considering a routine situation and real events of high severity, and estimates of the network's capacity to meet the demanded traffic are obtained.

Keywords—Public Protection, Critical Communications, ANATEL Resolution 625, LTE

I. INTRODUÇÃO

A Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) publicou em 11/11/2013 a Resolução nº 625, que determina no seu artigo 3º a destinação das faixas de 703 MHz a 708 MHz e 758 MHz a 763 MHz ao Serviço Limitado Privado (SLP), em aplicações de segurança pública, defesa nacional e infraestrutura, em caráter primário [1]. À época, esta iniciativa seguia uma tendência global de regulamentação do espectro para redes de comunicações críticas (RCC) de “faixa larga”, aplicadas aos cenários comumente denominados de PPDR (Public Protection and Disaster Relief) [2] [3].

O uso de redes privadas sem-fio, normalmente governamentais, para emprego no cenário PPDR é de grande interesse no mundo todo. Há relevantes associações de âmbito mundial (*The Critical Communications Association* (TCCA) [4], *Association of Public-Safety Communications Officials* (APCO) [5]), que congregam a indústria de equipamentos, operadoras e pesquisadores, trabalhando em prol da padronização e desenvolvimento dessas redes. Dada a importância dessa questão, muitos países realizaram esforços para criarem

redes de comunicação crítica em âmbito nacional, garantindo a interoperabilidade entre as diversas agências e padronização de equipamentos e de procedimentos. Os casos de maior destaque são a rede norte-americana *FirstNet* [6], a britânica *ESN* [7], e a sul-coreana *Safe-Net* [8], todas baseadas na tecnologia LTE (Long Term Evolution).

As RCC possuem requisitos para aplicações e de desempenho que as diferenciam das redes comerciais [9], [10]. Serviços como PTT (*Push-to-Talk*), criação de grupos, possibilidade de comunicação direta entre terminais (sem uso de eNodeB), comunicação entre agentes e centrais de despachos, controle (priorização) e coordenação das comunicações são exemplos das demandas exigidas para essas redes, e que não são contempladas nas tecnologias usuais de redes sem fio. Em relação ao desempenho, além das características usuais “faixa larga”, i.e., alta vazão e baixa latência, as RCC devem apresentar resiliência, alta confiabilidade, segurança, cobertura fixa ampla e móvel, interoperabilidade, capacidade de suportar demandas extremas de tráfego, dentre outras características.

Estudos e planejamentos foram realizados para migração das tecnologias legadas de faixa estreita LMR/PMR (TETRA, P-25, TETRAPOL, DMR etc) para uma tecnologia considerada de “banda larga” [2], [11]–[14]. O padrão LTE foi escolhido como a base tecnológica *de facto* para esta transformação [10], [13], [15], [16] devido principalmente ao seu desempenho satisfatório para atender à demanda “faixa larga”, à sua ampla adoção global (proporcionando economia de escala e possibilidade de aproveitamento de infraestrutura das redes comerciais), e também por ser o caminho natural para a evolução da rede com adoção do 5G, 6G etc.

Neste contexto, considerando o cenário de implantação de RCC no Brasil por entes estaduais, municipais e federais, a questão natural que surge é a seguinte: o espectro reservado pela Resolução 625 seria suficiente para atender às demandas de tráfego de voz, dados e imagens em cenários PPDR do país usando a tecnologia LTE?

É importante ressaltar que, embora esse marco legal tenha sido estabelecido há cerca de nove anos, verifica-se até os dias atuais embates institucionais no Brasil sobre a manutenção de uma banda de largura 10 MHz em 700 MHz com destinação PPDR [17], havendo grande “pressão” para o emprego comercial desse espectro devido às suas características favoráveis de propagação. Ou seja, é possível afirmar que as características da faixa exclusiva para PPDR não é uma questão pacificada para o setor de regulação do espectro de radiofrequências no país.

Portanto, o estudo aqui realizado, e os resultados obtidos, podem apresentar subsídios técnicos para uma apropriada decisão em relação a essa questão.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma: na Seção II os cenários considerados neste trabalho para verificação do desempenho de uma RCC são descritos, na Seção III são mostrados os resultados de simulação da rede operando em LTE para os cenários e parâmetros de uma interface-rádio LTE aqui propostos, e na seção IV são apresentadas as conclusões do trabalho.

II. DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS DE APLICAÇÃO

Sob a perspectiva de uso de recursos de uma rede de comunicações para atuação PPDR, três cenários são normalmente considerados [11], [15]: 1) *atuação de rotina*, 2) *eventos públicos de grande impacto*, e 3) *desastres*. Em cada situação há uma demanda específica em termos de recursos da rede, porque aspectos como quantidade de agentes/área, tipo de aplicação (usualmente) empregada e número de acessos por terminal variam significativamente dependendo do cenário.

A seguir são descritos os cenários considerados neste trabalho para avaliação do desempenho de uma RCC. É caracterizada uma atuação típica de rotina na cidade de Niterói, e dois desastres, ocorridos em zonas urbanas e que demandaram a atuação de um grande número de agentes de segurança pública e de contenção de danos. Por questões de concisão do estudo, não é considerado um exemplo típico de atuação PPDR em evento planejado com grande aglomeração de pessoas. É possível afirmar, no entanto, que os requisitos da rede para suportar a demanda nesse cenário são de mesma magnitude das situações de atuação em desastres [11].

A. Atuação em rotina na cidade de Niterói

A região de interesse para estudo do cenário de rotina é um polígono com área de 1,55 Km², localizado no centro da cidade de Niterói. É a principal área de comércio popular da cidade e também fica próxima à estação (Araribóia) das barcas, a qual recebe um fluxo diário de milhares de pessoas em deslocamento para a cidade do Rio de Janeiro. Devido à grande circulação de pessoas e presença maciça de estabelecimentos comerciais, há um intenso patrulhamento diário por parte da Guarda Municipal e Polícia Militar.

Em informações levantadas pelos autores junto à Guarda Municipal de Niterói, é razoável considerar uma densidade de 22,58 agentes/Km² atuando nessa região, considerando nesse dado a atuação também da Polícia Militar no patrulhamento. É uma área plana, na qual as construções (na grande maioria estabelecimentos comerciais) têm perfil aproximadamente homogêneo em relação à altura, com poucas unidades com mais de 4 pavimentos.

A eNodeB fica em uma localidade utilizada por operadoras comerciais, sobre um edifício, com uma antena de altura (documentada) de 49 metros em relação ao nível da rua.

B. Desastre do Morro do Bumba (Niterói/RJ, 07/04/2010)

O Morro do Bumba se situa no bairro do Viçoso Jardim, região norte da cidade de Niterói. Em 07 de abril de 2010, após a ocorrência de fortes chuvas, ocorreu um grande deslizamento da encosta do morro, provocando a morte de 267 pessoas e

desabrigando mais de 10 mil moradores que habitavam aquele local. Nas operações de resgate, salvamento e contenção, trabalharam agentes principalmente dos bombeiros, Defesa Civil, Polícia e Força Nacional de Segurança.

Nas simulações da RCC para a região do Morro do Bumba é considerado um recorte com 0,281 Km² de área, para o qual admite-se que há o espalhamento (considerado uniforme) de uma média de 70 agentes pelas zonas afetadas e de acesso. Essa densidade de usuários segue a estimativa de [2], feita para uma ocorrência com gravidade similar.

A eNodeB está posicionada a cerca de 100 e 500 m respectivamente da base do morro e de sua região central, e com antena a uma altura de 40 m do asfalto. Esses dados são de uma eNodeB real existente no local.

C. Desastre do Morro da Oficina (Petrópolis/RJ, 15/02/2022)

As chuvas que castigaram a cidade de Petrópolis em 15 de fevereiro de 2022 produziram um enorme impacto sobre a comunidade do Morro da Oficina, localizado no bairro Chácara Flora, atingindo cerca de 80 casas e levando à morte mais de 90 pessoas deste local. É considerada a maior tragédia da história da cidade, onde mais de 500 bombeiros atuaram nas buscas por desaparecidos e no apoio às vítimas.

A região do Morro da Oficina considerada nesta avaliação tem 0,254 km² de área e admite-se que há 248 agentes/km² com acesso à rede, distribuídos de forma homogênea no terreno. A densidade de usuários é a mesma considerada para o morro do Bumba. Assim como nos outros dois casos, a posição definida para a eNodeB e a altura da antena coincidem com os dados de um equipamento real. Neste caso a antena fica a uma distância de aproximadamente 400 metros da região central de cobertura e está nivelada em altura em relação à parte alta do morro, pois foi instalada em um terreno de topografia elevada.

III. SIMULAÇÃO E RESULTADOS

A. Descrição do simulador

Neste trabalho é utilizado o software Atoll da empresa Forsk para simulação de emprego da rede nos cenários escolhidos. É uma ferramenta computacional normalmente empregada para planejamento e otimização de cobertura celular nas tecnologias de 2G a 5G, permitindo, através de simulações estocásticas de demanda de tráfego, a obtenção de análises do grau de saturação dos recursos da rede para um dado cenário.

Os resultados de desempenho são obtidos com base em *realizações* (ou *snapshots*) do uso da rede, nas quais são produzidas (i.e. geradas aleatoriamente) a cada realização a distribuição geográfica dos usuários na região de cobertura com suas respectivas demandas de tráfego. Em função de diversos parâmetros configuráveis de rede, o software então determina os recursos alocados a cada usuário e a carga da célula resultante da soma dos acessos.

A sequência de processos básicos executados em uma realização da rede LTE no Atoll, considerando cada usuário na área de cobertura, está mostrada na Figura 1. Na conclusão da sequência mostrada, há o cálculo de vazão (etapa (5)), para transmissão no *uplink* e *downlink*, em uma dada aplicação, para um dado usuário, e os recursos consumidos considerando

todos os usuários são somados para o cômputo global da carga da célula (etapa (6)).

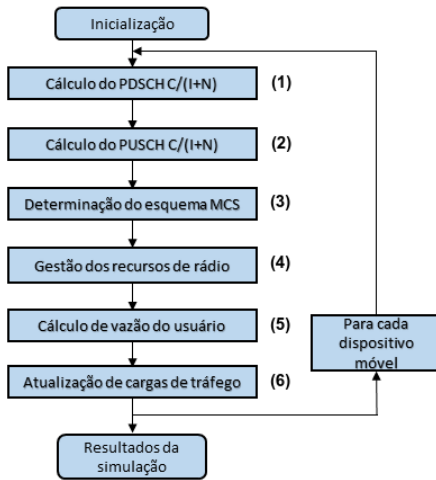


Fig. 1. Sequência de etapas na simulação da rede LTE pelo Atoll.

Em particular, a determinação do índice MCS (*Modulation and Coding Scheme*) na etapa (3) é crítico para o estudo realizado neste trabalho pois impacta diretamente na eficiência espectral do enlace, sendo portanto decisivo na definição da quantidade de recursos da rede para a largura de banda disponível. A definição desse índice, por sua vez, depende dos valores de razão portadora-(ruído+interferência) ($C/(I+N)$) do *downlink* (DL) e do *uplink* (UL), obtidos respectivamente nas etapas (1) e (2), para o conjunto de parâmetros definidos nas Tabelas I e II mostradas adiante.

B. Definição dos serviços/aplicações PPDR e suas características

É necessária a definição dos serviços/aplicações PPDR e suas respectivas características de tráfego e de prioridade (atribuída) de uso de recursos da rede. A referência usada neste trabalho, nas situações de rotina e de desastre, é a matriz LEWP/RCEG [18], também usada em outras análises de capacidade de RCC [11], [15]. Com base nesta referência, portanto, são definidos os parâmetros: Fator de Atividade no UL e no DL para aplicações de voz (PTT e VoIP), vazão média UL e DL, acessos/hora, volume de dados/transmissão UL e DL e QCI (QoS *Class Identifier*) com definição da prioridade dentro da classe correspondente.

É importante observar que no documento [19] foram definidos valores de QCI para aplicações PPDR. Os serviços *MCPTT* (Mission Critical PTT), *MC Data*, *MC Video* e *Sinalização sensível à latência* receberam respectivamente os valores 65, 70, 67 e 69, porém o software Atoll limita a faixa de valores de 1 a 9 para definição do QCI às aplicações. Portanto, na configuração de parâmetros para a simulação feita aqui, foi necessário atribuir QCI's de 1 a 9 a esses serviços, diferindo do padronizado pelo 3GPP. Esta atribuição foi feita de forma que as características de *taxa de bits (não) assegurada* (*Guaranteed Bit-Rate* (GBR)/non-GBR), *taxa de perda e atraso de pacotes* fossem similares.

C. Configuração da rede

A Tabela I mostra as características da eNodeB, equipamento do usuário (*User Equipment-UE*) e da interface área consideradas em todas as simulações realizadas. Os valores se baseiam nas referências [16] e [20]. Na definição da UE foi considerada a categoria 4, o que está de acordo com as especificações de terminais LTE atualmente comercializados para emprego em missões críticas.

TABELA I
PARÂMETROS DE TRANSMISSÃO/RECEPÇÃO

Parâmetro	Downlink	Uplink
Faixa de transmissão FDD (MHz)	758-763	703-708
Pot. de transmissão (dBm)	52,8	23
Categoria UE	4	4
MIMO	2x2	1x2
Fig. ruído receptor (dB)	9	4
Ganho da antena Tx (dBi)	17	0
Modelo de propagação	Okumura-Hata	
Sombreamento	Lognormal	
(desvio padrão (dB))	(10, denso urbano; 8, urbano)	
Scheduler	Proportional Fair	

A Tabela II apresenta os parâmetros das células estabelecidas para os diferentes cenários.

TABELA II
PARÂMETROS DA CÉLULA NOS DIFERENTES CENÁRIOS.

Parâmetro	Rotina (Centro de Niterói)	Morro do Bumba	Morro da Oficina
Latitude eNodeB (S)	22,89378	22,89112	22,52986
Longitude eNodeB (W)	43,12211	43,08593	43,17433
Altura eNodeB (m) (acima do chão)	49	40	9
Altura UE (m)	1,5	1,5	1,5
Área de dispersão dos usuários (Km ²)	1,55	0,281	0,254
Densidade de usuários (usuários/Km ²)	22,58	249,11	248
Morfologia do terreno	Denso urbano	Urbano	Urbano

D. Resultados

O objetivo das simulações é verificar se nas condições de emprego da RCC, em cada cenário considerado, os recursos de transmissão são suficientes para o uso das aplicações PPDR com desempenho satisfatório. Foram executadas 100 realizações de uso da rede, e foram gerados dois tipos de resultados: 1) comparação da *vazão demandada* com a *vazão efetivamente entregue* pela rede, no UL e DL; e 2) histogramas de *percentual de carga de tráfego na célula*, permitindo visualizar o grau de saturação dos recursos disponíveis. Este parâmetro é definido como a razão entre a quantidade de recursos (de tempo-frequência) consumidos e a quantidade de recursos disponíveis na célula. Intuitivamente, um baixo valor significa que a rede tem capacidade suficiente para atender à demanda, por outro lado, valores próximos ou iguais a 100%, indicam uma rede congestionada ou mesmo totalmente saturada, com grande parte das aplicações não sendo atendidas.

Nas Figuras 2(a),(b) e 3(a),(b) são mostrados os gráficos comparativos de vazão e histogramas, no *uplink* e *downlink*, para a situação de rotina descrita no item II-A e faixa alocada de 5 + 5 MHz. É possível observar tanto nos gráficos de vazão, como nos histogramas, que os recursos da rede são suficientes para atender à demanda no *downlink*, mas no *uplink* a rede satura para algumas realizações e a vazão demandada nesses casos não é atendida. Como esperado, o resultado é pior para o *uplink* devido à menor potência de transmissão do UE (30 dB abaixo).

Os gráficos das Figuras 4(a),(b) e 5(a),(b) mostram o desempenho da rede para a tragédia no morro do Bumba, e 6(a),(b) e 7(a),(b) são os resultados obtidos para o Morro da Oficina. Nas figuras é possível observar que a rede está completamente saturada no *uplink*. No *downlink*, é possível afirmar que na grande parte das realizações a demanda de tráfego é atendida, porém a rede no Morro do Bumba apresenta um carregamento da célula um pouco maior do que no Morro da Oficina. Isto porque, neste último cenário, a posição da eNodeB é mais favorável (está situada em um terreno com cota elevada), proporcionando uma razão *portadora-(interferência+ruído)* ($C/(I+N)$) maior e por conseguinte melhor eficiência espectral do enlace.

Com a finalidade de se avaliar o impacto no desempenho da rede com o aumento da largura de faixa para a transmissão, foi simulada a condição de 10 + 10 MHz de espectro para o cenário de rotina e para o morro do Bumba. Os resultados obtidos estão nas Figuras 8(a),(b) até 11(a),(b). Como esperado, observa-se que em ambos os cenários a rede tem mais recursos para atendimento da demanda. No cenário de rotina, a ampliação do espectro traz um significativo benefício pois permite que o tráfego no *uplink* seja atendido, com exceção de algumas poucas realizações em que há um pico de demanda. Entretanto, para o cenário do morro do Bumba, ainda verifica-se um razoável déficit entre a vazão demandada e a entregue no *uplink*, embora menor do que a observada para 5 + 5 MHz. Esses resultados indicam que, mesmo dobrando a largura de banda prevista pela resolução 625, uma RCC em um cenário típico de tragédia com demanda explosiva de tráfego não comportaria com desempenho satisfatório as aplicações PPDR para o *uplink*. Essa constatação sugere que uma política de implementação de RCC no país deve considerar o compartilhamento de ativos espectrais de operadoras comerciais, quando cenários de grande gravidade ocorrerem.

IV. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi realizada uma avaliação de saturação no consumo de recursos de uma RCC que utiliza tecnologia LTE, considerando um cenário de atuação de rotina de agências PPDR, e dois cenários de desastre nos quais há uma grande e rápida convergência de usuários da rede com demanda explosiva de tráfego. São utilizados dados reais ou típicos de cenários PPDR. Os resultados obtidos por simulação indicam que o espectro reservado pela resolução 625 da ANATEL é insuficiente, principalmente para a demanda em desastres. A ampliação em 100% do espectro reduz o problema, mas os resultados indicam que ativos espectrais extras podem ser necessários nos casos de forte demanda.

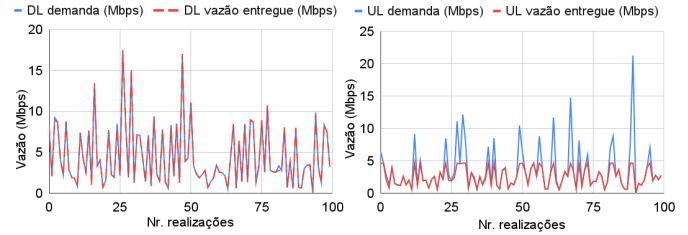


Fig. 2. Vazão demandada e entregue em rotina 5+5MHz: a) *downlink* e b) *uplink*.

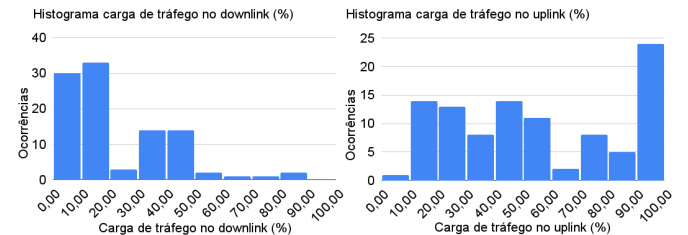


Fig. 3. Histograma da carga de tráfego em rotina 5+5MHz: a) *downlink* e b) *uplink*.

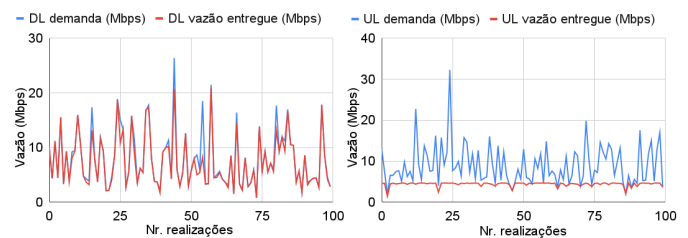


Fig. 4. Vazão demandada e entregue em Morro do Bumba 5+5MHz: a) *downlink* e b) *uplink*.

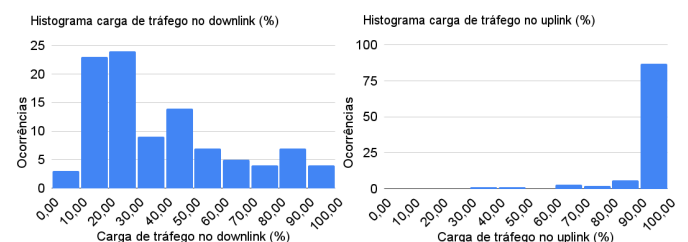


Fig. 5. Histograma da carga de tráfego em Morro do Bumba 5+5MHz: a) *downlink* e b) *uplink*.

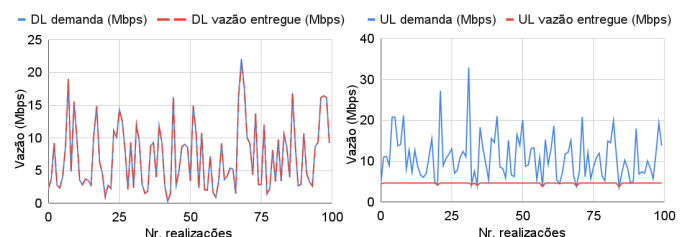


Fig. 6. Vazão demandada e entregue em Morro da Oficina 5+5MHz: a) *downlink* e b) *uplink*.

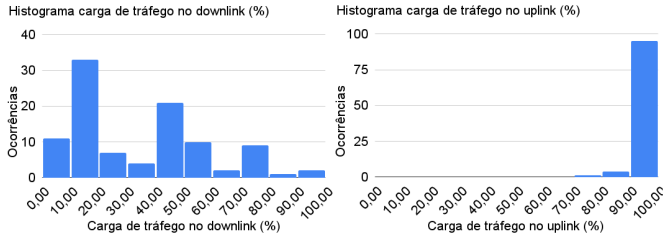


Fig. 7. Histograma da carga de tráfego em Morro da Oficina 5+5MHz: a) *downlink* e b) *uplink*.

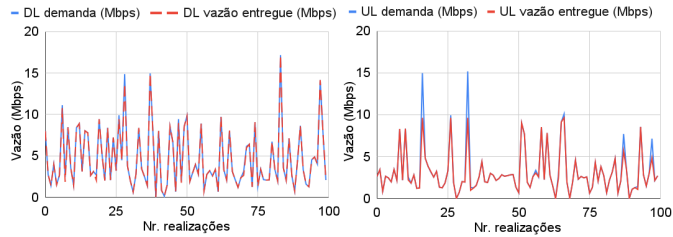


Fig. 8. Vazão demandada e entregue em rotina 10+10MHz: a) *downlink* e b) *uplink*.

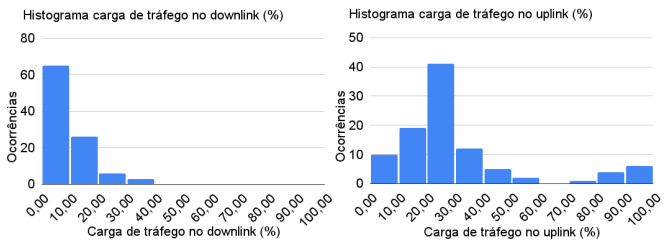


Fig. 9. Histograma da carga de tráfego em rotina 10+10MHz: a) *downlink* e b) *uplink*.

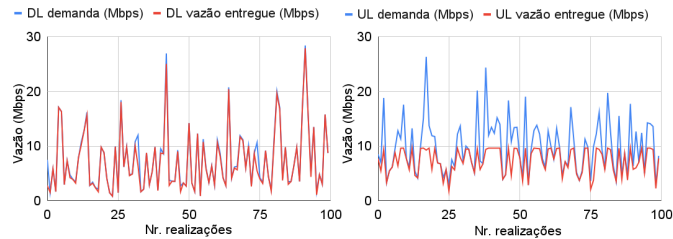


Fig. 10. Vazão demandada e entregue em Morro do Bumba 10+10MHz: a) *downlink* e b) *uplink*.

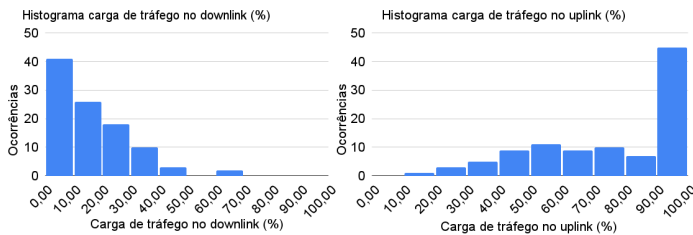


Fig. 11. Histograma da carga de tráfego em Morro do Bumba 10+10MHz: a) *downlink* e b) *uplink*.

REFERÊNCIAS

- [1] Agencia Nacional de Telecomunicacoes, “Resolução nº 625,” Novembro 2013, Disponível em: <http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2013/644-resolucao625>.
- [2] Federal Communications Commission, “The public safety nationwide interoperable broadband network: A new model for capacity, performance and cost,” Tech. Rep., Junho 2010, Disponível em: <https://transition.fcc.gov/pshs/docs/releases/DOC-298799A1.pdf>.
- [3] International Telecommunication Union, “Resolution ITU-R 646 (rev.wrc-15),” 2016, Disponível em: <https://www.itu.int/oth/R0A0600001A/en>.
- [4] TCCA, “TETRA and Critical Communications Association,” Home-page: <https://tcca.info/>.
- [5] APCO, “The Association of Public-Safety Communications Officials,” Home page: <https://www.apcointl.org/>.
- [6] FirstNet, “First Responder Network Authority of the United States,” 2022, Home page: <https://www.firstnet.com/>.
- [7] GOV.UK, “Emergency Services Network,” Home page: <https://www.gov.uk/government/publications/the-emergency-services-mobile-communications-programme/emergency-services-network>.
- [8] Ministry of the Interior and Safety of South Korea, “Disaster and safety communications network (Korea Safe-net),” Home-page: <https://www.mois.go.kr/eng/sub/a03/bestPractices7/screen.do>.
- [9] International Telecommunication Union, “Report ITU-R M.2033,” 2013, Disponível em: <https://www.itu.int/net/ITU-R/terrestrial/res647/docs/M-2033.pdf>.
- [10] M. Ulema, *Fundamentals of Public Safety Networks and Critical Communications Systems: Technologies, Deployment, and Management*, Wiley, 2019.
- [11] Electronic Communications Committee, “User requirements and spectrum needs for future european broadband PPDR systems (wide area networks),” Tech. Rep., Maio 2013, Disponível em: <https://docdb.cept.org/download/764>.
- [12] International Telecommunication Union, “Report ITU-R M.2291-1: The use of international mobile telecommunications (IMT) for broadband public protection and disaster relief (PPDR) applications,” Tech. Rep., 2016, Disponível em: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2291-1-2016-PDF-E.pdf.
- [13] D. Carrión, L. Juan-Llacer, and J-V. Rodríguez, “Radio planning considerations in TETRA to LTE migration for PPDR systems: A radioelectric coverage case study,” *Applied Sciences*, vol. 9, pp. 250, 01 2019.
- [14] C. Shen, M. Yun, A. Arora, and H.-Ah Choi, “Efficient mobile base station placement for first responders in public safety networks,” in *Advances in Information and Communication*. 2020, pp. 634–644, Springer International Publishing.
- [15] R. Ferrús, “LTE: the technology driver for future public safety communications,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 51, pp. 154–161, 01 2013.
- [16] R. Rouil, W. Garey, C. Gentile, N. Gollmie, and P. Schwinghammer, “Increasing public safety broadband network resiliency through traffic control,” *Elsevier Digital Communications and Networks*, vol. 4, pp. 48–57, 2018.
- [17] TeleSintese, “Proposta da ANATEL traz embate entre Exército e PETROBRAS por faixa de 700 MHz,” Janeiro 2022, Disponível em: <https://www.telesintese.com.br/proposta-da-anatel-traz-embate-entre-exercito-e-petrobras-por-faixa-de-700-mhz/>.
- [18] Electronic Communications Committee, “LEWP-RCEG Matrix,” Maio 2013, Disponível em: <https://docdb.cept.org/download/766>.
- [19] 3GPP, “3GPP TS 23.203,” Tech. Rep., 2014.
- [20] HUAWEI, “Long Term Evolution (LTE) radio access network planning guide,” 2011.