

# Medição de baixo custo para caracterização de canal 5G mMTC no cenário Dual-stripe

Millena M. de M. Campos, Wellerson V. de Oliveira, Vicente A. de Sousa Jr., William S. Alves, Adaildo G. D'Assunção, Mateus de O. e Mattos, Thiago A. Scher, Álvaro A. M. de Medeiros.

**Resumo**—Com a definição pelo ITU dos requisitos para os sistemas 5G por meio de uma série de documentos denominados *IMT for 2020 and beyond*, os sistemas 5G mMTC (*massive Machine Type Communications*) foram incluídos como um dos três *use cases* para próxima geração de sistemas de comunicações móveis. Para tais sistemas, a cobertura extensa (15 km) é um dos tripés de desempenho, podendo ser viabilizada ao operar em faixas de frequência em torno de centenas de MHz (700-900 MHz). Assim, caracterizar/modelar o canal em tais faixas se torna crucial para fomentar a concepção de funcionalidades para os sistemas 5G mMTC. Este artigo tem como objetivo a apresentação de um sistema de baixo custo para medições e caracterização de canal em 700 MHz. A *Universal Software Radio Peripheral (USRP)* foi usada como plataforma de *hardware* em conjunto com o software GNU Radio. O pós-processamento das medições foi realizado na plataforma de software livre R, a qual disponibiliza uma série de ferramentas estatísticas e gráficas. A caracterização em banda estreita do canal é apresentada no cenário *Dual-stripe*, definido pelo 3GPP.

**Palavras-Chave**—5G mMTC, Dual-stripe indoor, Canal, GNU Radio, USRP.

**Abstract**—With ITU's definition of requirements for 5G systems through a series of documents called *IMT for 2020 and beyond*, 5G mMTC (*massive Machine Type Communications*) systems were included as one of three use cases for next generation of mobile communications systems. For such systems, extensive coverage (15 km) is one of the performance tripods, and it can be made possible by operating in frequency bands around hundreds of MHz (700-900MHz). Thus, characterizing/modeling the channel in such bands becomes crucial to help the design of functionalities for 5G mMTC systems. This paper has as main objective the presentation of a low cost system for measurements and channel characterization at 700 MHz. *Universal Software Radio Peripheral (USRP)* is used as the hardware platform in conjunction with the GNU Radio software. The measurements post-processing is performed in the free software platform R, which provides a series of statistical and graphical tools. The narrowband characterization of the channel is presented in the *Dual-stripe* scenario, as defined by 3GPP.

**Keywords**—5G mMTC, Dual-stripe indoor, Channel, GNU Radio, USRP.

## I. INTRODUÇÃO

Recentemente, a União Internacional de Telecomunicações (ITU) lançou uma série de documentos [1] com sua visão dos requisitos para os sistemas 5G, o qual está sendo chamado de *IMT (International Mobile Telecommunications) for 2020 and beyond*. Os documentos apontam a necessidade de melhorias significativas em taxa de transmissão do sistema, cobertura, eficiência energética, escalabilidade e flexibilidade da rede. Três *use cases* estão sendo concebidos, são eles:

Os autores Millena M. de M. Campos, Wellerson V. de Oliveira, Vicente A. de Sousa Jr., William S. Alves e Adaildo G. D'Assunção são da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN. Os autores Mateus de O. e Mattos e Álvaro A. M. de Medeiros são da Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG. Thiago A. Scher é do CPqD, Campinas, SP.

(i) 5G eMBB - *Enhanced Mobile Broadband*; (ii) 5G mMTC - *massive Machine Type Communications*; e (iii) 5G URLLC - *Ultra-Reliable and Low Latency Communications*. Especialmente para 5G mMTC, três grandes desafios são a duração da bateria dos dispositivos (15 anos), cobertura extensa (15 km) e a sinalização envolvida para permitir um enorme número de dispositivos conectados (bilhões). Quanto à bateria durar por volta de 15 anos, boa parte se deverá ao avanço tecnológico dos materiais envolvidos na sua construção. Contudo, reduzir a complexidade dos sistemas e desligar a interface de rádio de maneira controlada são maneiras de reduzir o consumo de bateria e aumentar sua duração. Assim, conceber soluções que tenham como alvo o consumo energético, sem comprometer o desempenho do sistema de transmissão, é vital para os sistemas 5G mMTC. Para garantir um grande número de conexões, a sinalização envolvida desde o *attach* até o uso intensivo da interface de rádio deverá ser reduzida, objetivando não sobrecarregar a rede somente com sinalização. Isso é um grande desafio perante a necessidade de manutenção da segurança e da operação automática da rede [2]. Nesse cenário, desafios tradicionais como alta capacidade e maior cobertura são encarados de forma diferente. O imenso número de terminais conectados é um grande desafio para a camada de acesso ao meio (L2) e soluções específicas para esse fim precisam ser concebidas. Finalmente, maior cobertura pode ser viabilizada ao modular o sinal em banda-passante em faixas de frequência em torno de centenas de MHz (700-900 MHz), já que taxa de transmissão não é um grande alvo para o 5G mMTC (sistema banda-estreita). Na verdade, transmitir em tais faixas pode ajudar substancialmente no gasto energético, pois são faixas menos variáveis em termos de propagação, se comparadas com portadoras em GHz. Assim, caracterizar e modelar o canal em tais faixas de frequência se torna crucial para fomentar a concepção de funcionalidades para sistemas 5G mMTC.

Por outro lado, governos em todo mundo estão realizando a liberação da faixa de espectro em UHF, resultante da migração da TV Analógica para a TV Digital. No Brasil, motivada pela necessidade de mais disponibilidade de banda para serviços móveis, a Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) publicou a Resolução nº 640, em 11 de julho de 2014 [3]. Ela regulamenta as condições de convivência entre os Serviços de Radiodifusão e de Retransmissão de Televisão do SBTVD e os Serviços de Radiocomunicação Operando na Faixa de 698 MHz a 806 MHz. Como demonstrado no relatório dos testes realizados no Centro de Comunicações e Guerra Eletrônica do Exército - CCOMGEX Anatel, de 29 de abril de 2013, não existe interferência significativa entre sistemas *Long Term Evolution (LTE)*, operando na Banda 14 do 3GPP (758-768/788-798 MHz), e o Serviço de Radiodifusão Digital (TVD). Um estudo diferente indica que

outra faixa em 700 MHz (Banda 28 do 3GPP) pode ser usada por sistemas LTE sem causar interferência significativa [4].

Assim, em atendimento aos requisitos do 5G mMTC definidos pelo ITU, dois órgãos de padronização que tiveram sistemas 4G aprovados, o IEEE e o 3GPP, estão trabalhando para evolução dos seus sistemas almejando o 5G. Exemplos dessas iniciativas são sistemas como o 3GPP LTE-M, o 3GPP NB-IoT, o IEEE 802.11ah HaLow. Além de novas técnicas de modulações e múltiplas antenas, esses sistemas incorporam em suas especificações o conceito denominado de *Overlay Network Architecture*, no jargão das redes 5G [5]. Ele consiste na utilização de estações base com capacidades e tamanhos diversos (macro, micro, pico e femtocélulas), cujas áreas de cobertura se sobrepõem para melhor servir a uma demanda heterogênea de usuários em determinada área [6].

Visando estabelecer um conjunto de princípios para simulações de cenários *indoor*, o 3GPP definiu, em [7], o cenário Dual-stripe, o qual é composto de prédios de um ou mais andares, 2xN salas por andar, separados por um corredor, chamado de *open strip* [8]. As dimensões das salas são 10m x 10m e a *open strip* também possui largura de 10m [9].

Diante dessas premissas definidas pelos órgãos de padronização do 5G, este artigo tem como objetivo a apresentação de um sistema de baixo custo para medições e caracterização de canal em 700 MHz, funcionando em ambiente *indoor* similar ao cenário Dual-stripe do 3GPP.

Alguns estudos de caracterização de canal na faixa de 700 MHz foram realizados em outras regiões do Brasil [10]–[12]. Em [10] e [11], os autores usam equipamentos de bancada para realizar medições e modelar canal em cenários urbanos, rurais e *inTunnel*. Modulação OFDM, alta potência e custo elevado são características marcantes dos dois trabalhos. Em [12], equipamentos de rádio definido por software foram usados para modelar a propagação na faixa de 700 MHz. Contudo, o cenário Dual-stripe não foi caracterizado, bem como a análise estatística apresentada é simples e a coleta de dados foi menos extensa que a apresentada neste artigo.

Este artigo está organizado como a seguir. A Seção II apresenta a metodologia de medição, incluindo as especificações do transmissor e do receptor usado nos experimentos. Por sua vez, a Seção III detalha os processos de calibração e validação do *setup* de medição, enquanto que a Seção IV apresenta e discute os resultados obtidos. A Seção V relata as considerações finais e trabalhos futuros.

## II. METODOLOGIA DE MEDIÇÃO

Um sistema de comunicação foi montado com a plataforma de Rádio Definido por Software (RDS) chamada de *Universal Software Radio Peripheral* (USRP) N210, da fabricante *Ettus Research*. Transmissor, receptor e a metodologia de coleta de dados são apresentadas nessa seção.

### A. Transmissor

A transmissão consiste em uma portadora de potência constante gerada e emitida pela plataforma RDS através de uma antena omnidirecional, como ilustrado na Fig. 1.

A portadora foi gerada no programa GNU Radio, uma plataforma de software gratuita e de código aberto, que dispõe de blocos funcionais para implementação de RDS.



Fig. 1. Diagrama de blocos do transmissor.

Como mostrado na Fig. 2, o transmissor é composto pelo: (i) bloco *Signal Source*, responsável pela geração de uma portadora senoidal de 1 kHz; (ii) *Throttle*, acelerador de fluxo para cadenciar o uso do processador do computador pelo GNU Radio; e (iii) bloco *UHD: USRP Sink*, responsável pela comunicação com a USRP N210. Neste, são definidos parâmetros como frequência central da portadora e ganho. Um bloco acessório, mas importante, é o *WX GUI Slider*, responsável por controlar o ganho do sinal gerado.

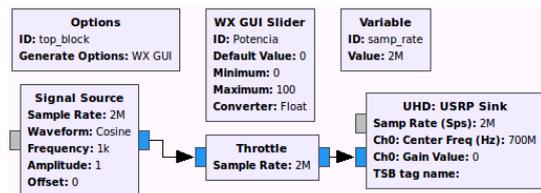


Fig. 2. Transmissor implementado no GNU Radio.

O GNU Radio, instalado em um computador Sony Vayo Core i3, se comunica com a USRP por meio de conexão Gigabit Ethernet. O sinal de rádio é gerado pela USRP, que é composta por um *hardware* programável, portas de comunicação e uma placa de RF. A placa de RF utilizada nos experimentos foi a WBX 50-2200MHz Rx/Tx. O sinal foi radiado por uma antena RH799 que, para o funcionamento omnidirecional, necessitou de algumas adaptações. Um plano terra foi projetado e construído bem como foi necessária a alteração do comprimento da antena em função da frequência da portadora (ver Fig. 3).



Fig. 3. Antena RH799 com plano terra usada no transmissor.

### B. Receptor

A recepção do sinal utilizou uma antena omnidirecional MA 760 da fabricante Rohde & Schwarz, conectada a uma segunda USRP, como ilustrado na Fig. 4. A implementação de *software* foi realizada utilizando blocos do GNU Radio, mas algumas edições foram realizadas diretamente em código Python, dispensando a interface de blocos do GNU Radio Companion. O sistema de recepção foi montado em um carrinho adaptado, dando mobilidade para o deslocamento entre os pontos de medição, como mostrado na Fig. 6(a).

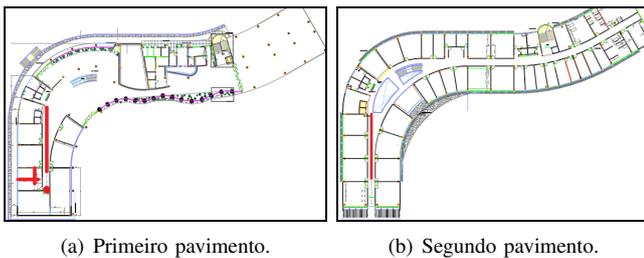


Fig. 4. Diagrama de blocos do receptor.

### C. Medições e coleta de dados

As medições foram realizadas no Complexo Tecnológico de Engenharia (CTEC) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). O prédio do CTEC contém 4 pavimentos compostos por salas, laboratórios, auditórios e dispõe de um sistema de vedação estrutural variado, além de conter um fosso central, comum em shoppings, caracterizado como um cenário *indoor* diversificado, mas similar ao cenário *Dual-stripe* definido pelo 3GPP [7]–[9].

A primeira e segunda campanha de medições foram realizadas no primeiro pavimento, como mostrado na Fig. 5(a). O transmissor, que permaneceu imóvel para as três campanhas, está identificado por um círculo vermelho. O receptor foi deslocado seguindo as linhas vermelhas da Fig. 5(a). A primeira campanha de medições foi feita no corredor, com linha de visada entre transmissor e receptor (*Line Of Sight* - LOS). A segunda campanha foi na sala próxima ao transmissor sem linha de visada (*Non LOS* - NLOS), enquanto a terceira campanha de medição foi no corredor do segundo pavimento do prédio, mostrado de forma similar na Fig. 5(b).



(a) Primeiro pavimento.

(b) Segundo pavimento.

Fig. 5. Planta do CTEC/UFRN (Fonte: UFRN).

De acordo com [13], para caracterização do sinal no receptor é necessário um espaçamento máximo entre medições de um quarto de comprimento de onda. Para a frequência escolhida de 700 MHz, utilizou-se um espaçamento de 10 cm, totalizando 20 m de rota por campanha. Afim de se obter uma análise estatisticamente confiável e conseguir uma função de distribuição acumulada (FDA) com boa precisão, realizou-se 100 campanhas de medições em cada rota, um total de 20.000 amostras.

## III. CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO

Para obter confiabilidade nos experimentos, são essenciais a calibração dos equipamentos e a validação dos dados coletados, principalmente com a utilização de plataformas de RDS. Essa Seção detalha esses dois processos.

### A. Calibração

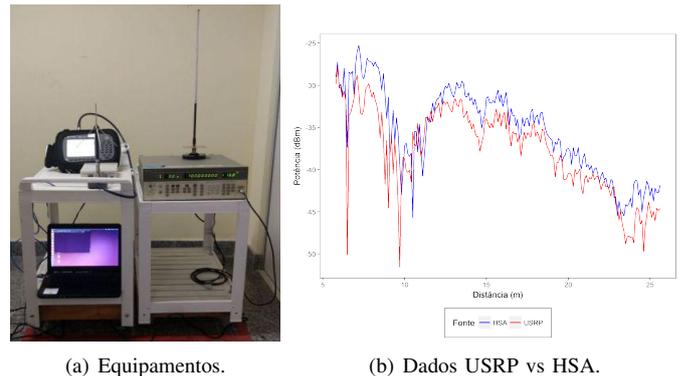
A caracterização de *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR) das antenas de transmissão e recepção foi realizada pelo *Network Analyzer E5071C* e obtidas perdas de retorno para 700 MHz -22.450 dB e -19.177 dB, respectivamente.

O *Power meter N1913A* e o *Power sensor N8481A* foram usados para medir a atenuação dos conectores, os quais foram contabilizados na análise dos dados coletados.

A faixa linear de operação do transmissor foi definida analisando sua resposta de potência no *Handheld Spectrum Analyzer (HSA) N9342C* via cabo. De forma similar, foi determinada a resposta do receptor com o *Signal Generator 8657B*. Os dois sistemas foram utilizados na faixa linear de -70 até 0 dBm. Todos os equipamentos utilizados nos testes estavam calibrados.

### B. Validação

Para validação dos dados, foram feitas algumas rotinas de medições nos cenários propostos utilizando o conjunto de equipamentos mostrados na Fig. 6(a). O sistema de transmissão foi composto pelo *Signal Generator 8657B* e a antena RH799. O sinal captado pela antena MA 760 foi compartilhado entre a USRP e o *Handheld Spectrum Analyzer N9342C*, de forma a legitimar os dados recebidos pelo receptor de baixo custo apresentado neste trabalho. A potência obtida em uma das campanhas de medição está mostrada na Fig. 6(b). A não ser por uma diferença atribuída ao tempo de sincronismo no processamento das amostras coletadas por cada receptor, a USRP, por ser uma plataforma geral de processamento, mostrou um bom desempenho perante um equipamento calibrado, validando as medições.



(a) Equipamentos.

(b) Dados USRP vs HSA.

Fig. 6. Sistema de validação de dados.

## IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A modelagem discutida neste trabalho aborda as três manifestações clássicas do canal: perda de percurso, sombreamento e desvanecimento de pequena escala. A Fig. 7 mostra os três fenômenos no sinal medido no primeiro pavimento, nela é possível distinguir: (i) **Perda de Percurso**: atenuação do sinal modelada de maneira determinística em função da distância entre o transmissor e receptor, e caracterizada por uma reta em escala logarítmica de inclinação  $n$  (variação de larga escala); (ii) **Sombreamento**: flutuação lenta do sinal, modelado por uma variável aleatória com distribuição Lognormal de média zero e desvio padrão  $\sigma$  (variação de larga escala); e (iii) **Desvanecimento de pequena escala**: variações rápidas no sinal, associadas aos multipercursos (espalhadores locais). É modelado estatisticamente encontrando-se a distribuição (e seus parâmetros) que melhor se adequa aos dados medidos.

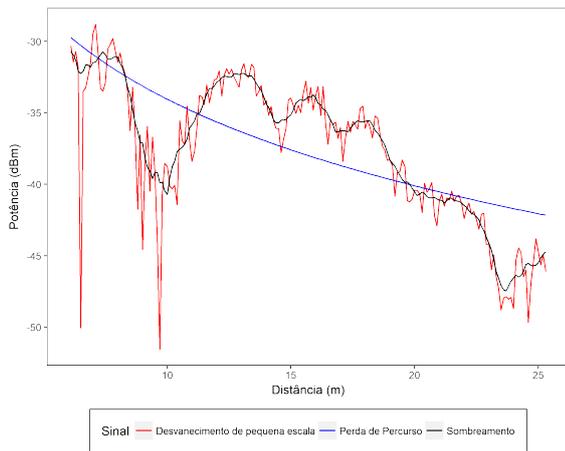


Fig. 7. Efeitos clássicos do canal (medição no primeiro pavimento).

### A. Tratamento dos dados

O tratamento e análise dos dados coletados pela USRP foram realizados no R [14], com a ajuda do **fitdistrplus** [15], um pacote adicional com estimadores, FDAs e testes de aderência. Os fenômenos de larga e pequena escalas foram distinguidos por um filtro de média móvel. Para separar os efeitos de perda de percurso e sombreamento, utilizou-se uma regressão linear para traçar a reta que melhor aproxima os pontos resultantes da média móvel. Esta reta é a perda de percurso e a variação em torno desta é o sombreamento.

### B. Perda de percurso e sombreamento

Para as 100 campanhas, cada uma com 200 pontos, utilizou-se um filtro com janela móvel de valor 7, separando o desvanecimento de larga escala do desvanecimento de pequena escala. O resultado desse processo são vetores com os desvanecimentos. A perda de percurso foi caracterizada para as campanhas realizadas em cada corredor (primeiro e segundo pavimento), em seguida é feito a média desses valores para cada ponto, com isso, foi aplicado um algoritmo de regressão linear para obter o coeficiente de inclinação da reta. Não caracterizou-se a perda de percurso na sala, pois o caminho percorrido não foi em linha reta.

Por fim, para obter o sombreamento, subtraímos os valores obtidos do desvanecimento de larga escala para cada uma das 100 campanhas. Utilizou-se então a função **fitdist** para estimar o desvio padrão da distribuição referente ao sombreamento. Enquanto as Figs. 7 e 8 mostram os efeitos para o primeiro e o segundo pavimentos, respectivamente, o Tabela I mostra o coeficiente de perda de percurso (inclinação  $n$ ) e o desvio padrão do sombreamento ( $\sigma$ ). O coeficiente de perda de percurso próximo de 2 demonstra o efeitos da propagação LOS e do confinamento da onda nos corredores do prédio, inclusive ao considerar o segundo pavimento.

TABELA I

Pavimento	Perda de Percurso (inclinação $n$ )	Sombreamento ( $\sigma$ )
Primeiro	2.01	3.04
Segundo	1.94	3.8

### C. Desvanecimento de pequena escala

O desvanecimento de pequena escala é modelado ao identificar uma função densidade de probabilidade (e seus

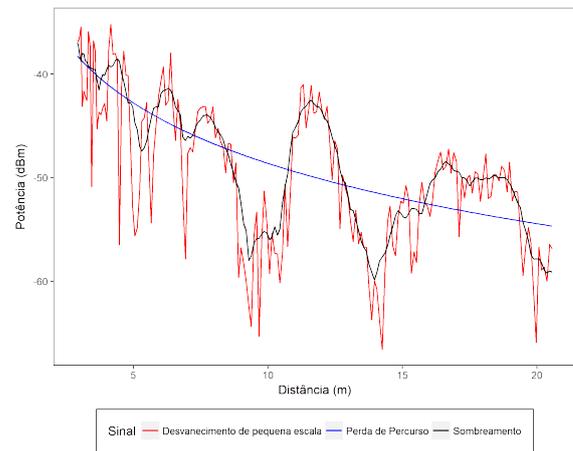


Fig. 8. Efeitos clássicos do canal (medição no segundo pavimento).

parâmetros) que mais se adequa aos dados medidos. Algumas distribuições são clássicas nesse tipo de modelagem, entre elas [16]: **a) Rayleigh:** se ajusta muito bem a sinais compostos primordialmente por multipercursos e NLOS; **b) Rice:** se ajusta a sinais em propagação LOS. É caracterizada por um parâmetro  $k$  que representa a razão entre a potência LOS e a potência NLOS; **c) Nakagami:** pode representar bem casos de um sinal formado por *clusters* de multipercursos. Seu parâmetro  $m$  representa o número de *clusters* de multipercursos que formam o sinal; **d) Weibull:** representa um canal também com preponderância de multipercursos, entretanto seu parâmetro  $\alpha$  está relacionado com a não-linearidade do canal.

Geralmente, o erro percentual médio ( $\varepsilon$ ) é usado para a comparação quantitativa entre distribuições [16]:

$$\varepsilon = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|y_i - x_i|}{x_i},$$

sendo  $x_i$  o valor medido, e  $y_i$  o valor teórico obtido pela distribuição a ser testada. Nesse trabalho, além de  $\varepsilon$ , também é feito um teste estatístico não-paramétrico chamado teste de Kolmogorov-Smirnov (teste KS). Ele é um teste de hipóteses cuja hipótese nula é a de que os dados provêm de uma determinada distribuição. Seu valor é definido como a máxima diferença entre a FDA empírica dos dados medidos e a FDA de uma determinada distribuição.

Os parâmetros de cada distribuição foram estimados utilizando as amostras de desvanecimento de pequena escala obtidas do filtro de média móvel, criando um único vetor, e aplicando a função **fitdist** disponível no pacote **fitdistrplus** pelo método de maximização da função de verossimilhança, a partir deles, foram calculados o  $\varepsilon$ , o teste de KS e as FDAs. A Tabela II mostra os valores dos testes (quanto menor mais aderente a distribuição) e os parâmetros estimados para cada distribuição nas três campanhas.

As FDAs das distribuições tradicionais e dos dados coletados são mostradas nas Figs. 9, 10 e 11. Nelas se verifica que os dados das tabelas (teste KS e  $\varepsilon$ ) corroboram com o resultado qualitativo da observação dos gráficos.

## V. CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

Esse trabalho apresentou uma solução de baixo custo para medição e caracterização de canal em ambientes indoor na frequência de 700 MHz. Para validar as medições realizadas,

TABELA II

CARACTERIZAÇÃO DO DESVANECIMENTO DE PEQUENA ESCALA.

Campanha 1: Corredor do pavimento Térreo.			
{Distribuição}	{Teste KS}	{Erro $\varepsilon$ }	{Parâmetro estimado}
Rice	0.1010	0.0394	17.670
Rayleigh	0.3925	0.5656	-
Weibull	0.0920	0.0386	7.052
Nakagami	0.1342	0.0531	7.632
Campanha 2: Sala do pavimento Térreo.			
Rice	0.0318	0.0269	2.700
Rayleigh	0.1627	0.2011	-
Weibull	0.0356	0.0270	2.987
Nakagami	0.0597	0.0412	1.782
Campanha 3: Corredor do segundo pavimento.			
Rice	0.0437	0.0299	4.114
Rayleigh	0.1904	0.2995	-
Weibull	0.0391	0.0270	3.587
Nakagami	0.0730	0.0464	2.399

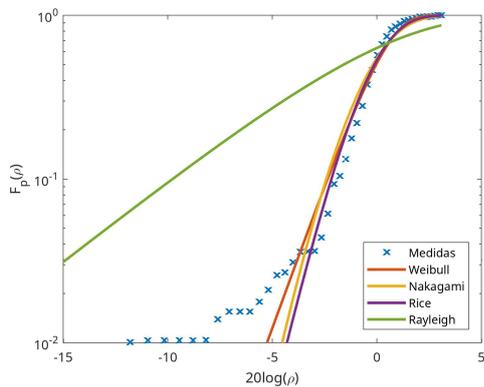


Fig. 9. FDA da Campanha 1: Corredor do primeiro pavimento.

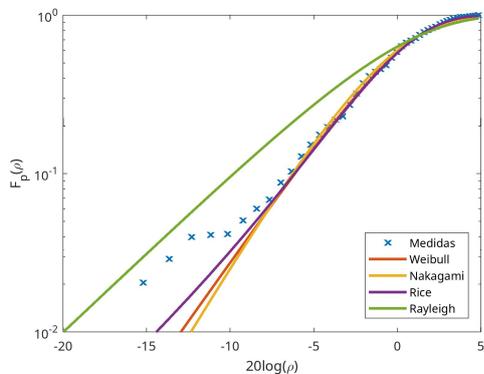


Fig. 10. FDA da Campanha 2: Sala do primeiro pavimento.

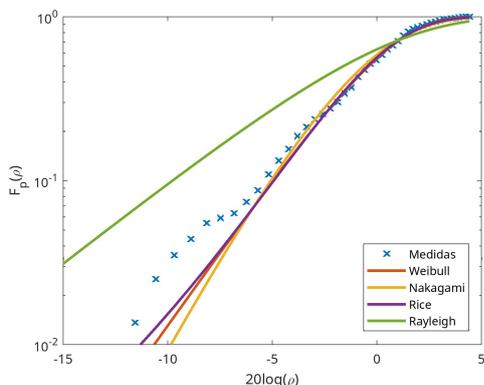


Fig. 11. FDA da Campanha 3: Corredor do segundo pavimento.

os dados da USRP foram comparados com os do HSA. Os resultados provenientes das amostras medidas foram caracterizados pelos três elementos que compõem o sinal: Perda de percurso, somreamento e desvanecimento rápido.

O desvanecimento de pequena escala foi caracterizado utilizando uma medida já bastante explorada na literatura, o erro percentual médio. Adicionalmente, um teste estatístico não-paramétrico (teste de KS) foi aplicado. No primeiro pavimento, as distribuições de Rice e Weibull apresentaram boa aderência, provavelmente em virtude da propagação LOS e do efeito de tunelamento do sinal que pode implicar em não-linearidades do canal. No segundo pavimento (NLOS), a distribuição de Weibull apresentou melhor aderência. Neste caso, além do corredor (túnel) há um fosso no final do percurso que possivelmente gera uma não-linearidade na soma das ondas recebidas. Na sala, houve predominância da distribuição de Rice, pois o transmissor estava mais próximo do receptor (na porta da sala).

Este trabalho abre algumas possibilidades de projetos futuros. A medição em frequências diferentes, buscando faixas do espectro alocadas para outros serviços. Além disso, medições em outros locais podem ser realizadas, buscando caracterizar diferentes tipos de ambientes. Outra possível melhoria é a inclusão de novas distribuições, além das clássicas apresentadas nesse trabalho, e a inclusão de novas ferramentas estatísticas para tratamento dos dados coletados.

## REFERÊNCIAS

- [1] ITU-R, "Recommendation ITU-R M.2083-0: IMT vision - framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond," ITU, Tech. Rep., 2015.
- [2] E. Dahlman, S. Parkvall, and J. Sköld, *4G LTE-Advanced Pro and The Road to 5G (Third Edition)*. Academic Press, 2016.
- [3] ANATEL, "Resolução nº 640, de 11 de julho de 2014," 2014.
- [4] C. V. R. Ron, M. P. C. de Almeida, and L. H. F. G. Silva, "Projeto de testes de coexistência entre o sistema brasileiro de televisão digital e o LTE na faixa de 700 MHz (banda 28 3GPP)," Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica, Tech. Rep., 2014.
- [5] ITU-R, "Report ITU-R M.2376-0 - technical feasibility of IMT in bands above 6 GHz," ITU, Tech. Rep., 2015.
- [6] J. Wannstrom and K. Mallinson. (2014) Hetnet / small cells. [Online]. Available: <http://www.3gpp.org/hetnet>
- [7] 3GPP, "3GPP R4-092042: Simulation assumptions and parameters for FDD HeNB RF requirements," 3GPP, Tech. Rep., 2009.
- [8] A. Barbieri, A. Damnjanovic, T. Ji, J. Montojo, Y. Wei, and D. Malladi, "LTE femtocells: System design and performance analysis," *Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, 2011.
- [9] M. Arif, I. M. Yameen, , and M. A. Martin, "Femtocell suburban deployment in LTE networks," *International Journal of Information and Electronics Engineering*, 2013.
- [10] L. H. Gonsioroski, M. P. C. de Almeida, and E. a. P. V. G. Castellanos, "Preliminary results of channel characterization at 700MHz band in urban and rural regions," *ITS*, 2014.
- [11] L. H. Gonsioroski, P. V. G. Castellanos, and M. P. C. de Almeida, "Preliminary results of the characterization of an intunnel radio channel at 700 MHz," *International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC)*, 2015.
- [12] M. C. Corrêa, L. M. Eckhardt, and T. A. Scher, "Plataforma baseada em SDR para medição de canais 4G indoor na faixa de 700 MHz," *MOMAG*, 2016.
- [13] M. Y. D., *Foundations of Mobile Radio Engineering*, 1993.
- [14] R Core Team, *R: A Language and Environment for Statistical Computing*, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2017. [Online]. Available: <https://www.R-project.org/>
- [15] M. L. Delignette-Muller and C. Dutang, "fitdistrplus: An R package for fitting distributions," *Journal of Statistical Software*, vol. 64, no. 4, pp. 1–34, 2015. [Online]. Available: <http://www.jstatsoft.org/v64/i04/>
- [16] H. B. Tercius, "Distribuições generalizadas de desvanecimento de curto prazo: medições de campo e validações," 2008.