

# Impacto do Desvanecimento do Sinal na Qualidade de uma Comunicação VoIP

Emmanuel Tavares F. Affonso, Demóstenes Zegarra Rodríguez

**Resumo**—Nos dias de hoje, a Voz sobre IP (VoIP) é um dos serviços mais populares em comunicação de voz. No entanto, existem muitos fatores que afetam a qualidade geral de uma comunicação VoIP, porque o sinal de voz é transmitido através de canais cabeados ou sem fio, sofrendo diferentes tipos de degradações. Em canais de comunicações cabeados e sem fio, os pacotes perdidos e o desvanecimento afetam o sinal de voz. A avaliação da qualidade da voz é muito importante para garantir a satisfação dos usuários; assim, a precisão nas métricas de qualidade de voz é importante. Neste artigo, diferentes cenários de degradações com perdas de pacotes e modelos de desvanecimento são avaliados, e a qualidade do voz medida, para cada cenário, é determinada usando o ITUT-T P.862. Os resultados experimentais são usados para modelar uma métrica não intrusiva, chamada MOS<sup>P</sup>, a qual teve uma avaliação de desempenho satisfatório, atingindo um erro máximo e um PCC de 0,33 e 97,25%, respectivamente. Além disso, a métrica proposta pode ser usada em serviços de comunicações reais de voz, porque é uma métrica não intrusiva.

**Palavras-Chave**—Qualidade de Voz, VoIP, Desvanecimento, Wireless, Métricas, P.862, MOS.

**Abstract**—Nowadays, the Voice over IP (VoIP) is one of the most popular voice communication services. However, there are many impairment factors that affect the overall quality of a VoIP communication, because the voice signal is transmitted through wired or wireless channels, suffering several degradation types. In wired and wireless communication channels, the packet loss and fading affect the voice signal. The voice quality assessment is very important to guaranty the user satisfaction; therefore, the accuracy of the voice quality metrics is relevant. In this research, different degradations scenarios with packet losses and fading models are evaluated, and the voice quality index, for each scenario, is determined using ITU-T P.862. Experimental results are used to model a non-intrusive metric, named MOS<sup>P</sup>, which performance evaluation was satisfactory, reaching a maximum error and PCC of 0,33 and 97,25%, respectively. Furthermore, the proposed metric can be used in real voice communication services because is a non-intrusive metric.

**Keywords**—Voice Quality, VoIP, Fading, Wireless, P.862, MOS.

## I. INTRODUÇÃO

Com o crescimento das redes de computadores e seus serviços agregados a ela, diversas aplicações vêm surgindo, seja por facilidade de uso ou pelo custo do serviço. Nos últimos anos, um dos serviços que ganhou bastante popularidade é o de *Voice over IP* (VoIP). Esse serviço permite a realização de chamadas de voz através de uma infraestrutura de rede já existente para o transporte de dados. O sucesso

da tecnologia VoIP radica na redução de custos de tarifas em ligações telefônicas, o que torna esse serviço muito atrativo principalmente para as empresas. Além disso, as novas tecnologias de convergência de redes, como a rede IMS (*IP Multimedia Subsystem*), estão sendo implementadas nas redes de telefonia comercial. Isto faz que o futuro do serviço VoIP seja promissório. A voz humana é um sinal analógico, portanto para que possa ser transportada por meio de uma comunicação digital, primeiramente ela precisa ser digitalizada, [1]. Após este processo, o sinal digitalizado é encapsulado em pacotes para ser transportada por uma rede IP (*Internet Protocol*). Segundo [2], o conjunto de dispositivos e/ou computadores separados e independentes, mas interligados entre si, constituem uma rede; os quais podem ser também interligadas através de dispositivos *wireless* ou sem fio. Segundo [3], a comunicação *wireless* busca os modos mais eficientes de utilizar o espectro de radiofrequência (RF) para transmissão de dados, no qual um dos extremos da comunicação pode ser móvel. Existem diferentes protocolos para o transporte de dados em uma rede IP; o protocolo TCP é atualmente o mais utilizado; no entanto, as redes TCP/IP não foram projetadas para aplicações em tempo real, como sim foram as redes comutadas de telefonia, uma vez que as características de retransmissão de pacotes TCP não trariam benefícios a estas aplicações. Por outro lado, o protocolo *User Datagram Protocol* (UDP) envia os pacotes a uma taxa constante e sem a necessidade de uma confirmação de recibo do pacote no outro extremo; essas características são adequadas para as aplicações em tempo real. Porém, este modelo de rede não consegue oferecer um método de QoS (*Quality of Service*) confiável, [4] [5]. Para minimizar essa deficiência na confiabilidade nas aplicações de VoIP é utilizado o protocolo *Real-Time Transport Protocol* (RTP) [6]. O protocolo RTP apresenta mecanismos como o número sequencial dos pacotes, de maneira que perdas de pacotes possam ser detectadas pelo receptor.

De acordo com [7] e [8], as variações em atrasos (*jitter*), perda de pacotes, afetam a qualidade do sinal transmitido. Essas perdas de pacotes estão ligadas ao descarte dos pacotes por roteadores e/ou *switch* congestionados, e também por problemas no meio físico de transporte. Em redes sem fio, que é o foco do presente estudo, novos problemas são encontrados. Eles estão associados às variações da frequência de transmissão, obstáculos, agentes refletoras, entre outros. Neste trabalho, dois modelos de desvanecimento de canal de RF são utilizados, os desvanecimentos de Rayleigh e de Rician. Nestes modelos, o sinal se dispersa por diversos obstáculos e no receptor chegam diversas amplitudes e variações em frequência do sinal. O parâmetro *Doppler* está associado a

Emmanuel Tavares F. Affonso e Demóstenes Zegarra Rodríguez, Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, Brasil. Emails: emmanuelcomp@gmail.com, demostenes.zegarra@dcc.ufla.br

estes modelos de desvanecimento [9], o qual esta relacionado à variação da frequência do canal de RF, onde o emissor, receptor ou ambos estão em movimento.

Neste trabalho, serão utilizados arquivos de áudios pertencentes à base de dados da recomendação ITU-T P.862 [10]. Neles serão simulados diversos cenários de degradações, obtendo-se diferentes arquivos de voz degradados, os quais são avaliados. Testes foram feitos, primeiramente, aplicando taxas de perda de pacotes ou PLR (*Packet Loss Rate*). Em seguida, foram aplicados os modelos de desvanecimento ou *fading*, alternando entre os modelos Rayleigh e Rician, com diferentes valores do parâmetro *Doppler*, simulando assim diferentes cenários *wireless*. A avaliação objetiva dos arquivos de áudio foi realizada por meio das metodologias normalizadas nas recomendações da ITU-T (*International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector*)[11].

Na seção subsequente serão apresentados os métodos de avaliação de qualidade de voz. Na Seção III, são tratados os fatores de degradação na qualidade do sinal de voz. Na Seção IV, o modelo proposto é apresentado. Na Seção V, a metodologia e os testes são descritos. Em seguida, os resultados alcançados e, por último, a conclusão.

## II. AVALIAÇÃO DE QUALIDADE DE VOZ

Os métodos para avaliação de qualidade de voz, segundo as recomendações da ITU-T, são divididos, de uma forma geral, em intrusivos e não intrusivos. Nos métodos intrusivos existe uma necessidade de uma comparação entre o sinal de voz emitida e a que chegou ao receptor, ou seja, o sinal de referência é necessário. Nos métodos não intrusivos há necessidade apenas do sinal de interesse para ser avaliado. Por sua vez, eles podem ter dois tipos de avaliação, objetivas e subjetivas. No método subjetivo depende simplesmente das opiniões de usuários para pontuar a qualidade da voz percebida. Já no método objetivo existe a necessidade de um algoritmo para avaliar a qualidade, seja comparando dois sinais ou analisando as características intrínsecas de apenas o sinal de interesse. A Fig. 1 ilustra a classificação dos métodos de avaliação de qualidade de voz.



Fig. 1. Classificação dos Métodos de Avaliação Qualidade de Voz.

É importante destacar que nos últimos anos, alguns estudos mostram que as avaliações subjetivas podem ser realizadas de uma forma remota. Este método de avaliação é denominado de *crowdsourcing*, no qual usuários localizados em qualquer parte do mundo e cadastrados em plataformas que oferecem este serviço, realizam diversas tarefas, como a avaliação da qualidade de imagens, vídeos ou áudios, recebendo uma

compensação monetária por cada tarefa corretamente concluída. A vantagem deste método é o menor tempo na execução das avaliações, comparado com os métodos tradicionais que são realizados em laboratórios. Esta metodologia de avaliação foi utilizada no presente trabalho para testes de validação da métrica proposta.

Nos testes realizados, a ferramenta ITU-T P.862 foi utilizada para determinar a qualidade do arquivo de voz analisado; como resultado dessa avaliação se obtém um índice MOS (*Mean Opinion Score*) [12] e [13]. O algoritmo PESQ (*Perceptual Assessment of Speech Quality*) descrito na recomendação ITU-T P.862 compara a versão original com uma degradada do sinal de voz e determina um valor MOS. O PESQ, segundo [10], possui uma boa performance em diversos fatores como distorções de erros, codificações de canal, perda de pacotes, efeito de variação de atraso, dentre outros. O valor máximo de MOS atingindo pelos testes objetivos da Rec. ITU-T P.862 é de 4,5. Nota-se na Fig. 2 que o valor mínimo desejável seria de 4,0 e o mínimo aceitável para uma conversação seria 3,6.

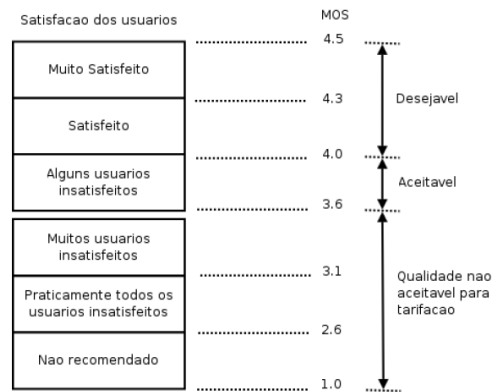


Fig. 2. Escala de Índices MOS utilizado pela Recomendação ITU-T P.862.

## III. FATORES DE DEGRADAÇÃO

Nas redes cabeadas, a degradação da qualidade de uma transmissão de voz está geralmente relacionada a fatores físicos. Geralmente estão relacionados ao meio de transporte (cabos), conectores com defeito, equipamentos sobrecarregados ou danificados. Esses problemas podem gerar perda de pacotes, atrasos e variações de atrasos.

Nos sistemas *wireless*, diferente das redes cabeadas, são encontrados outros fatores degradantes, prejudicando a qualidade final da transmissão da voz. O desvanecimento ou *fading*, [14] [15] [16] [17], pode ocorrer por diversos fatores, como dificuldade de contornar objetos no caminho do sinal, múltiplos percursos formados por refletores das ondas, afastamento, dentre outros. Um dos parâmetros mais relevantes nos modelos de desvanecimento é o efeito *Doppler*. O *Doppler*; segundo [18][19], acontece em sistemas móveis, devido ao deslocamento do receptor e/ou emissor, ocorrendo uma variação da frequência do sinal recebido. Esta alteração pode ser calculada conforme (1).

$$f' = f \left( \frac{V \pm V_o}{V \pm V_s} \right) \quad (1)$$

Onde:  $f'$  é a frequência esperada,  $f$  a frequência emitida,  $v$  a constante da velocidade do som,  $V_o$  a velocidade do receptor e  $V_s$  a velocidade do emissor. A velocidade do emissor ou receptor, segundo (1) pode ser positiva (+) ou negativa (-), de acordo com a direção de deslocamento. O efeito *Doppler* é representado de acordo com a Fig. 3, o que ilustra que o lado para onde está havendo o deslocamento o comprimento de onda é menor e a frequência aumenta, e o lado oposto a onda é maior e a frequência diminui.



Fig. 3. Efeito *Doppler*.

Os serviços de comunicações móveis geralmente são utilizados em locais que possuem muitos obstáculos ao seu redor, como nas cidades, inclusive ao interior dos prédios. Nestes lugares, a grande dificuldade de se transmitir um sinal se dá pelo fato de que geralmente o receptor está rodeado por edificações e não existe uma comunicação direta com o transmissor. Nestes casos, a comunicação se estabelece por espelhamento das ondas ou por difração sobre e ao redor dos objetos, [3]. Quando não existe linha de visada entre o emissor e receptor, onde o sinal se espalha entre os diversos obstáculos que os cercam, o sinal chega ao seu destino com diversas amplitudes e fases diferentes, originando a propagação conhecida como modelo de canal de desvanecimento Rayleigh. Já no modelo Rician, existe uma linha de visada direta entre emissor e receptor, porém diferentes fases e amplitudes do sinal também chegam ao seu destino.

#### IV. MODELO PROPOSTO PARA AVALIAÇÃO DE QUALIDADE DE VOZ

Um cenário de testes foi projetado para a simulação de uma transmissão de sinal voz, o qual será degradado em duas etapas, uma etapa de degradação na rede cabeada e a outra na rede sem fio. A Fig. 4 ilustra a organização do cenário de teste. Na primeira etapa, a transmissão sofre perdas de pacotes, com diferentes taxas de perda; esta simulação foi repetida dez vezes para cada arquivo, calculando-se em seguida o índice MOS para cada arquivo degradado, finalmente um valor médio desses índices MOS foi calculado para cada cenário onde uma determinada taxa de perda de pacotes foi simulada. Os arquivos degradados, com o índice MOS que mais se aproximam de suas respectivas médias, foram separados, e eles foram utilizados na seguinte etapa. Na segunda etapa, o sinal de voz passa por um modelo de desvanecimento de canal *wireless*, onde as modelos Rayleigh e Rician foram aplicadas, variando também o valor do parâmetro *Doppler*. Dessa forma, diferentes valores de PLR foram combinados com diferentes valores de *Doppler* obtendo-se diferentes cenários. Com os resultados obtidos, uma métrica pode ser modelada.

Para a realização da primeira etapa, com perda de pacotes, a ferramenta Wav2rtp foi utilizada para simular essas taxas de perda de pacotes, o qual é um *software opensource* disponível em [20]. Esta ferramenta também foi testada em outras



Fig. 4. Cenário utilizado para realização dos experimentos.

pesquisas [21]. Segundo sua comunidade de desenvolvimento, o Wav2rtp é uma aplicação desenvolvida para fins de estudos na simulação de cenários de transferência de áudio. É capaz de converter um arquivo *.wav* em um fluxo de dados RTP, gerando um novo arquivo degradado. Além de perda de pacote, ele é capaz de simular também atrasos na entrega.

Na segunda etapa, a ferramenta MATLAB foi utilizada na simulação de canais de desvanecimento Rayleigh e Rician. Ela é capaz de gerar um sinal de voz degradado, aplicando taxas de *Doppler*, com uma saída coerente com fenômenos do mundo real em comunicações *wireless* [22].

As Figuras 5 e 6 apresentam alguns resultados preliminares de degradações aplicadas separadamente utilizando as técnicas descritas, variando os valores de *Doppler* para *Fading* e o percentual de perda de pacotes.

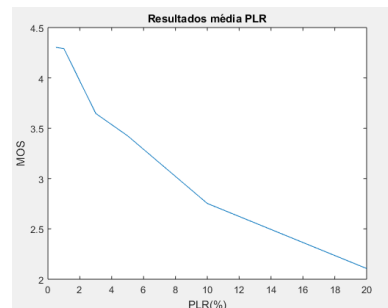


Fig. 5. Resultado das degradações com PLR.

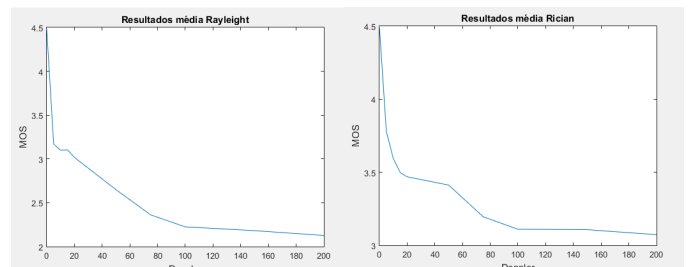


Fig. 6. Resultado das degradações com Rayleigh e Rician.

Considerando os resultados MOS obtidos para cada combinação de: modelo de fading, valor *Doppler* e PLR foi possível determinar um sistema de equações. Baseado em modelos de [23], uma métrica, denominada  $MOS^P$ , foi definida para alcançar os valores esperados, conforme (2).

$$MOS^P = \alpha A + \beta B + \gamma C + \Omega D \quad (2)$$

Onde,  $A$  e  $B$  representam os modelos de desvanecimento de Rayleigh e Rician, respectivamente;  $C$  representa o valor de *Doppler*,  $D$  o valor do PLR, as incógnitas  $\alpha, \beta, \gamma$  e  $\Omega$  representam o pesos de degradação dos parâmetros associados.

A fim de minimizar mais ainda a margem de erro da métrica proposta, a função exponencial foi tomada como modelo, a qual é representada por:

$$MOS^P = \mu * exp(-(\alpha A + \beta B + \gamma C + \Omega D)) \quad (3)$$

Neste trabalho, 120 cenários foram gerados. A partir destes resultados um sistema de equações lineares foi determinado, o qual é representado a seguir(4):

$$\begin{bmatrix} 1 & A_1 & B_1 & C_1 & D_1 \\ 1 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & A_n & B_n & C_n & D_n \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \ln(\mu) \\ \alpha \\ \beta \\ \gamma \\ \Omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \ln(MOS_1) \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ \ln(MOS_n) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Onde, cada linha do sistema de equações representa um cenário de teste. O método de mínimos quadrados foi empregado para resolver o sistema. Assim, os valores das incógnitas  $\alpha, \beta, \gamma$  e  $\Omega$  foram obtidos. Finalmente, a métrica  $MOS^P$  é definida e pode ser utilizada para análise de outros diferentes cenários.

## V. METODOLOGIA DOS TESTES

Para a realização dos testes experimentais, 20 arquivos de áudio no formato *.wav* foram utilizados, os quais estão disponíveis na recomendação ITU-T P.862. Com estes arquivos, foram efetuadas simulações de ambientes de redes cabeadas e *wireless*. Estas etapas de degradação são descritas detalhadamente a seguir:

### A. Degradações na etapa da rede cabeada

Em cada um dos 20 arquivos originais foram executados diferentes taxas de perda de pacote. Essas taxas foram: 0,5%, 1%, 3%, 5%, 10% e 20%. Assim, 120 arquivos degradados foram criados. Para cada um desses arquivos, 10 repetições foram efetuadas, originando 1200 novos arquivos. O resultado MOS de cada arquivo é determinado pelo P.862. Para as 10 repetições de cada arquivo com cada PLR, uma média foi determinada. O arquivo mais próximo de cada media foi separado, e foi usado na próxima etapa. Assim, 120arquivos foram separados.

### B. Degradações na etapa da rede wireless

Com os 120 arquivos resultantes da primeira etapa, foi utilizando 10 valores diferentes de *Doppler* que foram: 0, 5, 10, 15, 20, 50, 75, 100, 150 e 200. E para cada valor de *Doppler*, um modelo diferente de desvanecimento foi empregado: Rayleigh e Rician. cada cenario de degradação foi avaliado 10 vezes, igual que na primeira etapa; totalizando 24000 novos arquivos de áudio. Assim, para cada 10 repetições

de cada de cada um dos 20 arquivos degradaos, a média aritmética foi calculada. Para finalizar, 120 resultados MOS médios foram determinados.

Ao finalizar as duas etapas, cada índice MOS é relacionado com os parâmetros: PLR, modelo de desvanecimento com um valor de *Doppler*.

## VI. RESULTADOS

Os valores obtidos ao resolver o sistema de equações apresentado em (4), são:  $\mu = 0,5943$ ;  $\alpha = 1,8417$ ;  $\beta = 1,6625$ ;  $\gamma = -0,0017$  e  $\Omega = -2,5999$ . A Fig. 7 apresenta alguns resultados que consideram os parâmetros, Fading, PLR e Doppler.

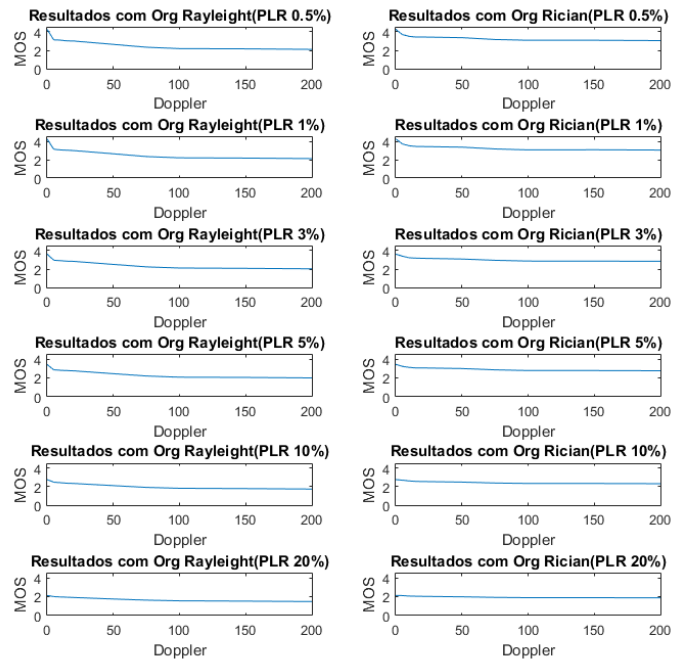


Fig. 7. Resultados de degradação que consideram desvanecimento e PLR.

Na tabela I, os cenários com maiores e menores resultados de índices MOS são apresentados para uma análise mais detalhada.

TABELA I

RESULTADOS DE CENÁRIOS COM MAIORES E MENORES DEGRADAÇÕES

	Doppler	PLR(%)	MOS
Rayleigh	0	0,5	4,251
Rayleigh	200	0,5	2,115
Rician	0	0,5	4,266
Rician	200	0,5	3,058
Rayleigh	0	20	2,101
Rayleigh	200	20	1,452
Rician	0	20	2,104
Rician	200	20	1,852

A Tabela II apresenta: o maior erro, o erro médio e o menor erro entre o resultado da métrica  $MOS^P$  e o índice MOS obtido com o P.862. Pode-se observar que o maior erro foi de 0,3354, o qual representa um erro de 7,4% considerando uma escala MOS de 0 até 4,5.

TABELA II  
ERRO DO MOS<sup>P</sup> EM RELAÇÃO AO P.862

Erro max.	Erro médio	Erro min.
0,3354	0,0638	0,3354

Com a finalidade de validar a métrica MOS<sup>P</sup> com resultados de testes subjetivos, foram utilizados 6 arquivos de voz degradados os quais foram avaliados utilizando uma plataforma comercial de *crowdsourcing*; os resultados obtidos são apresentados na Fig. 8. Também, o valor do Coeficiente de Correlação de Pearson entre os índices obtidos por MOS<sup>P</sup> e os resultados de *crowdsourcing* foi de 97,52% e um erro máximo de 0,3337.

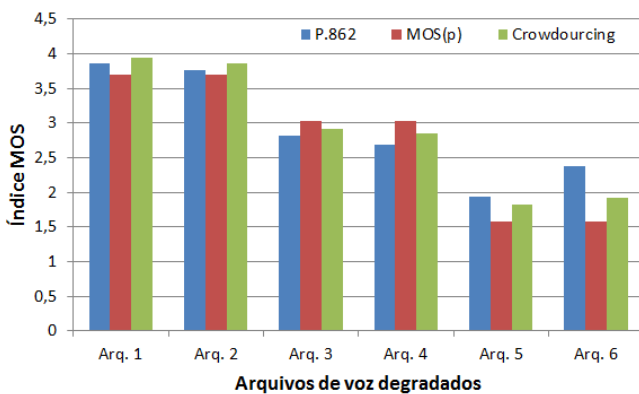


Fig. 8. Desempenho da métrica MOS<sup>P</sup> utilizando Crowdsourcing.

Cabe destacar que o MOS<sup>P</sup> é uma métrica não intrusiva e consequentemente aplicável em cenários reais de comunicação de voz. Os valores de *Doppler* e *PLR* poderiam ser calculados por uma aplicação no dispositivo do usuário.

## VII. CONCLUSÃO

Neste trabalho, considerando diversas pesquisas em qualidade de comunicação VoIP, foi apresentado um estudo em degradação da qualidade de uma conversação que passa por um canal *wireless*. O método intrusivo e objetivo ITU-T P862 foi utilizado para avaliar a degradação em diferentes cenários reais de uma comunicação VoIP.

Com a intenção de quantificar as degradações sofridas em uma comunicação VoIP de uma forma não intrusiva, a métrica MOS<sup>P</sup> foi proposta. Considerando os valores de erro atingidos, a métrica MOS<sup>P</sup> teve um desempenho satisfatório.

A métrica proposta, por ser não intrusiva, pode ser utilizada em aplicações reais de comunicação de voz. O índice MOS determinado pela métrica proposta pode ser utilizado pelos usuários e também pelas operadoras de telefonia celular. Os parâmetros de *Doppler* e *PLR* podem ser obtidos por uma aplicação de celular, o qual será o objetivo de um trabalho futuro. Cabe ressaltar que o erro máximo encontrado na avaliação de desempenho do MOS<sup>P</sup> é baixo (0,3354), e o valor do PCC é alto (97,52%); pois deve-se considerar que os desvanecimentos que ocorrem em um canal RF, e as perdas de pacotes na rede cabeada tem comportamento probabilístico.

Em trabalhos futuros serão utilizados outros modelos de desvanecimento.

## REFERÊNCIAS

- [1] Auristela Maria da Silva. Avaliação de voz em redes Peer-to-Peer. Master's thesis, Universidade Federal de Pernambuco, December 2005.
- [2] Andrew S. Tanenbaum. *Redes Computadores*. Editora Campus, 968.
- [3] Simon haykin and Michael Moher. *Sistemas Modernos de Comunicações Wireless*. Bookman, 2008.
- [4] K. S. Shanmugan. Simulation-Based Estimate of QoS for Voice Traffic over WCDMA Radio Links. In *2009 5th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, pages 1–4, Sept 2009.
- [5] R. Sanchez-Iborra, M. D. Cano, and J. Garcia-Haro. Performance evaluation of QoE in VoIP traffic under fading channels. In *Computer and Information Technology (WCCIT), 2013 World Congress on*, pages 1–6, June 2013.
- [6] Vandersilvio da Silva. Proposta de Metodologia para Avaliação de Redes de Voz sobre IP. *Universidade Federal do Rio Grande do Sul*, 2006.
- [7] Moisés Vidal Ribeiro. Técnicas de Reconstrução de Pacotes Aplicadas à Codificadores de Forma de Onda para VoIP. *IEEE Latin America Transactions*, October 2003.
- [8] Bruno de Azevedo Vianna, Nilmax Teones Moura, Célio Vinicius Neves de Albuquerque, Vinod E. F. Rebello, and Cristina Boeres. adaMOS: Algoritmo MOS-Adaptativo para Fontes VoIP. *Universidade Federal Fluminense*, 2006.
- [9] A. Khare, K. Trivedi, and S. Dixit. Effect of Doppler frequency and ber in FFT based OFDM system with Rayleigh fading channel. In *Electrical, Electronics and Computer Science (SCEECS), 2014 IEEE Students' Conference on*, pages 1–6, March 2014.
- [10] ITU-T. ITU-T Recommendation-P.862. <http://www.itu.int/rec/T-REC-P.862/en>, 2007.
- [11] ITU-T. ITU-T Telecommunication Standardization Sector. <http://www.itu.int/ITU-T/recommendations/index.aspx?ser=T>, 2016.
- [12] Demóstenes Zegarra Rodríguez. Algoritmo para determinação da taxa de transmissão em uma rede IP. Master's thesis, Universidade de São Paulo, 2009.
- [13] Antony W. Rix, John G. Beerends, Doh-Suk Kim, Peter Kroon, and Oded Ghitza. Objective Assessment of Speech and Audio Quality. *IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing*, 14, November 2006.
- [14] Hyewon Lee, Seongho Byeon, Byoungjin Kim, Kwang Bok Lee, and Sunghyun Choi. Enhancing Voice over WLAN via Rate Adaptation and Retry Scheduling. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2003.
- [15] Nathaly Veronica Orozco Garzon. Análise de Desempenho de uma Proposta de Transmissão Oportunista sem fio em Canais com Desvanecimento Rayleigh e na Presença de Interferência de Co-Canal para Diferentes Esquemas de Modulação. Master's thesis, UNICAMP, 2014.
- [16] S. Choudhury and J. D. Gibson. Payload length and rate adaptation for multimedia communications in wireless LANs. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 25(4):796–807, May 2007.
- [17] S. Yuhe and X. Jie. New Solutions of VoIP on Multi-hop Wireless Network. In *Control, Automation and Systems Engineering, 2009. CASE 2009. IITA International Conference on*, pages 199–202, July 2009.
- [18] Júlio César de Mello Pinheiro. Caracterização de canais sem fio em ambientes generalizados de desvanecimento. Master's thesis, Universidade de Brasília, June 2012.
- [19] Vanderlei AparecidoDA Silva. Modelagem Computacional de Canais de Comunicação Móvel. Master's thesis, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.
- [20] wav2rtp. A tool to generate RTP data packets. <http://wav2rtp.sourceforge.net>. Acessado:01/14/2016.
- [21] Rodrigo Dantas Nunes, Carlos Henrique Pereira, Renata Lopes Rosa, Thomaz Chaves de Andrade Oliveira, and Demóstenes Zegarra Rodríguez. Improving the performance of a non-intrusive metric of voice quality assessment considering IP network parameters. *XXXIII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações*, 2015.
- [22] Matlab. Fading Channels. <http://mathworks.com/help/comm/ug/fading-channels.html>, 2016. Acessado:01/14/2016.
- [23] Demóstenes Z. Rodríguez, Julia Abrahão, Dante C. Begazo, Renata L. Rosa, and Graça Bressan. Quality Metric to Assess Video Streaming Service over TCP considering Temporal Location of Pauses. *IEEE Transactions on consumer electronics*, 2013.