

# Avaliação de Codificadores de Voz em uma Rede Ad Hoc Multihop Sem Fio

Ricardo Takaki, Paulo H. M. Santos, Márcia L. Vicentini e José A. Martins

**Resumo**—Este artigo apresenta os resultados de testes de codificadores de voz em uma rede ad hoc sem fio multihop. A qualidade da voz provida pelos diferentes codecs foi avaliada através de uma medida objetiva de distorção, o algoritmo PESQ. A rede ad hoc implementada apresentava uma disposição linear com o número de saltos variando de um a cinco. Também foi avaliado o desempenho dos codificadores em cenários com perda de pacotes e  *jitter*.

**Palavras-Chave**—Redes Ad Hoc, Codificadores de Voz.

**Abstract**—This article presents an evaluation of voice quality in a multihop ad hoc network. The voice quality provided by the different codecs was evaluated using an objective distortion measure algorithm (PESQ). The network presented a linear arrangement, with the number of hops varying from one up to five.

**Keywords**—Ad Hoc Networks, Voice Coders.

## I. INTRODUÇÃO

Redes ad hoc sem fio são redes em que não há uma unidade de controle central responsável pelo encaminhamento do tráfego, sendo essa uma função executada pelos próprios terminais dos usuários (nós da rede). Portanto, a funcionalidade de roteamento não está implementada em elementos de rede específicos para essa função.

A comunicação entre os terminais da rede é realizada via rádio, sendo que a rede se adapta em função de fatores como: condições de propagação do meio, ativação e desativação de terminais, alterações no perfil de tráfego, balanceamento de serviços, dentre outros.

É vasta a gama de aplicações das redes ad hoc sem fio, principalmente em situações que requerem a implantação rápida de uma rede de comunicação, como em situações de emergência ou desastres naturais por exemplo. Nesses casos, a rede poderia ser utilizada para comunicação entre equipes de resgate.

As redes ad hoc sem fio utilizam transmissão de dados por pacotes, suportando serviços de transmissão de voz e dados. Para o caso de transmissão de voz, pode ser utilizada a tecnologia de voz sobre IP (VoIP).

As técnicas de transmissão por pacotes foram originalmente propostas para a transmissão de dados, mas com a integração dos serviços de voz e dados, é cada vez maior o uso das mesmas para a transmissão de voz. Entretanto, o uso de técnicas de transmissão por pacotes para a transmissão de voz apresenta algumas implicações. O codificador de voz utilizado é um dos fatores que influenciam a qualidade de voz em uma

rede de transmissão por pacotes. A escolha do codificador depende da largura de banda disponível e dos requisitos de qualidade de serviço da aplicação.

Considerando as características das redes ad hoc sem fio, como topologia dinâmica por exemplo, a escolha do codificador de voz deve ser feita de forma criteriosa para que se possa garantir a qualidade de serviço necessária para o serviço de voz. É importante lembrar que tais serviços são aplicações de tempo real, demandando uma série de restrições típicas deste tipo de aplicação. O fato de ser uma rede sem fio e estar sujeita a problemas como interferências, ruídos, altas taxas de erro e outros, faz com que a escolha do codec deva levar em consideração não somente a qualidade de voz que este fornece, mas também o tamanho do quadro utilizado e o comportamento do mesmo mediante perda de pacotes.

Para avaliar a qualidade de voz de diferentes codificadores, foi implementado um *testbed* com protótipos de terminais emulados, composto por seis nós. Foram realizados testes em várias condições, avaliando-se a qualidade de voz transmitida na rede.

Assim, este trabalho apresenta uma avaliação de desempenho de diferentes codificadores de voz em uma rede ad hoc sem fio, considerando-se a qualidade da voz transmitida na rede. Os resultados obtidos são importantes para auxiliar a escolha do codificador de voz mais adequado para tal aplicação. A seção II deste trabalho apresenta a descrição da rede ad hoc sem fio implementada. Na seção III são descritos os testes realizados e os resultados obtidos. As conclusões deste trabalho estão na seção IV.

## II. REDE AD HOC IMPLEMENTADA

Para a realização dos testes foi implantada uma rede ad hoc sem fio em ambiente *indoor*. A rede situava-se em um dos prédios da Fundação CPqD [1] e, era formada por seis nós distantes aproximadamente 20 m entre si. Cada nó podia estabelecer comunicação ponto-a-ponto apenas com os vizinhos imediatos, sendo possível uma comunicação multihop de até cinco saltos entre os nós das pontas. A Figura 1 apresenta a topologia da rede implementada.

Cada nó da rede era formado por um computador (notebook ou desktop) apresentando a seguinte configuração:

- Placa WLAN IEEE 802.11b:
  - Operação em modo ad hoc
  - Taxa de transmissão de 11 Mbps
  - Potência de transmissão de 20 dBm (100 mW)
  - Canal 6 - 2,437 GHz
- Sistema operacional Linux

Ricardo Takaki, Paulo H. M. Santos, Márcia L. Vicentini e José A. Martins, Fundação CPqD, Campinas, Brasil, E-mails: rtakaki@cpqd.com.br, psantos@cpqd.com.br, marciavi@cpqd.com.br, martins@cpqd.com.br. Este trabalho foi financiado pelo FUNTTEL.

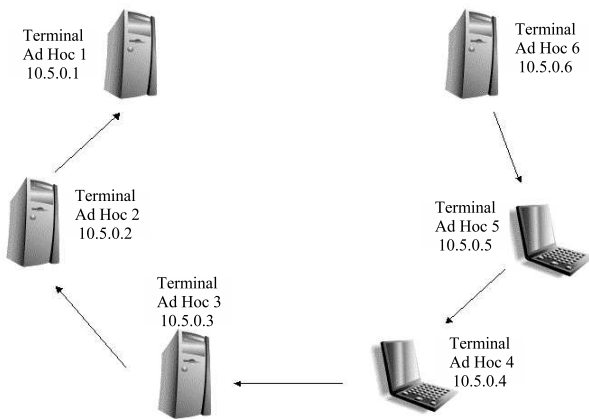


Fig. 1. Cenário para Avaliação dos Codecs

- Software com implementação do protocolo de roteamento *Optimized Link State Routing (OLSR)* [2]
- Placas DIGIUM TDM 10B [3] com placa filha FXS
- Software *ASTERISK* [4]

O protocolo de roteamento OLSR roda em nível de aplicação e não requer nenhuma configuração especial do sistema operacional. Para o processamento da sinalização telefônica foram utilizadas placas DIGIUM TDM 10B contendo uma placa filha FXS, enquanto que para o processamento dos sinais de voz foi utilizado o software *ASTERISK*, que atua sobre a placa TDM. A Figura 2 ilustra o processo para transmissão e recepção do sinal de voz.

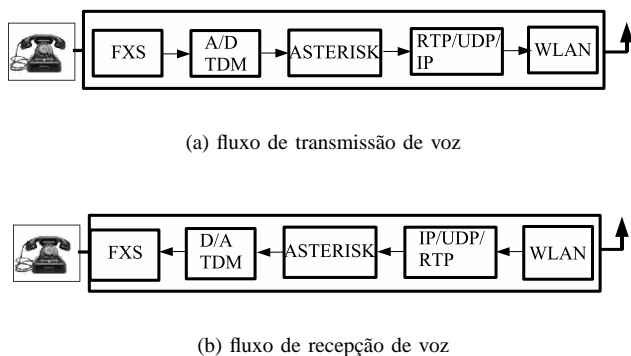


Fig. 2. Processo de transmissão/recepção do sinal de voz

O software *ASTERISK* possui vários codificadores de voz. Nos testes realizados foram utilizados os seguintes codecs:

- G.711 - *Pulse Code Modulation of Voice frequencies* [5]
- G.726 - *40, 32, 24, 16 kbit/s Adaptive Differential Pulse Code Modulation (ADPCM)* [6]
- G.729 - *Coding of speech at 8 kbit/s using conjugate-structure algebraic-code-excited linear-prediction (CS-ACELP)* [7]
- GSM-FR - *Global System for Mobile communications - Full Rate Speech Codec* [8]

- iLBC - *internet Low Bitrate Codec* [9]
- G.723.1 - *Dual rate speech coder for multimedia communications transmitting at 5.3 and 6.3 kbit/s* [10]

As taxas de compressão de cada codec utilizado nos testes são apresentadas na Tabela I, juntamente com as técnicas de codificação empregadas pelos mesmos. Para o estabelecimento de chamadas de voz foi utilizado o protocolo VoIP IAX (*Inter-Asterisk eXchange*) [11], sendo que as chamadas de voz e dados apresentavam a mesma prioridade. Os nós não apresentavam nenhum tipo de controlador de *buffer de jitter*.

TABELA I  
TAXAS DE TRANSMISSÃO E TÉCNICAS DE CODIFICAÇÃO DOS CODECS

Codec	Taxa (kbps)	Técnica de Codificação
G.711	64	PCM - lei A
G.726	32	ADPCM
G.729	8	CS-ACELP
G.723.1	6,3	MP-MLQ
GSM-FR	13	RPE-LTP
iLBC	13,3	LPC

### III. TESTES REALIZADOS

Para avaliar o desempenho dos diferentes codificadores de voz, foram realizados testes de avaliação objetiva de qualidade de voz nas seguintes condições: primeiramente sem tráfego, isto é, o tráfego na rede era formado apenas pelo tráfego da chamada de voz que estava sendo avaliada; depois com diferentes taxas de perda de pacotes e taxas de *jitter*. Nos testes realizados foram utilizadas elocuições faladas em português do Brasil, por 5 locutores masculinos e 5 locutores femininos. Cada elocução era formada por duas sentenças, com duração média de 5 segundos. Essas elocuições foram adquiridas junto à base de dados da Fundação CPqD. Para a conversão digital dos sinais de voz, foi utilizada frequência de amostragem de 8 kHz e cada amostra foi codificada com 16 bits linear.

#### A. Medidas para Avaliação da Qualidade de Voz

Existem vários tipos de medidas de qualidade de voz. Tais medidas podem ser divididas em dois grupos: medidas subjetivas de distorção e medidas objetivas de distorção. Um dos métodos mais conhecidos de avaliação subjetiva de voz é o MOS (*Mean Opinion Score*), descrito pelas recomendações P.800 *Methods for subjective determination of transmission quality* [12] e P.800.1 *Mean Opinion Score (MOS) terminology* [13] da ITU-T. As medidas subjetivas normalmente produzem resultados mais precisos em termos de qualidade, entretanto são custosas e demandam bastante tempo para serem concluídas. Assim, utilizou-se para este trabalho uma medida objetiva de distorção: o PESQ (*Perceptual Evaluation of Speech Quality*) [14].

O PESQ é um algoritmo padronizado pela ITU-T por meio da recomendação P.862 *Perceptual evaluation of speech quality (PESQ), an objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs*, sendo definido com uma medida intrusiva. Em

outras palavras, o algoritmo compara a qualidade de um sinal transmitido através de um sistema com referência ao sinal original, atribuindo um valor relativo ao distúrbio entre os dois sinais. A faixa de valores do PESQ varia de -0,5 a 4,5.

A conversão do valor obtido utilizando-se o PESQ para um valor de MOS-LQO está especificada na recomendação P.862.1 *Mapping function for transforming P.862 raw result scores to MOS-LQ* [15] da ITU-T, sendo realizada conforme a equação:

$$y = 0,999 + \frac{4,999 - 0,999}{1 + e^{-1,4945 * x + 4,6607}} \quad (1)$$

onde x é o valor do PESQ e y é o valor do MOS-LQO.

**B. Avaliação da qualidade de voz - sem tráfego**

O objetivo desse teste foi avaliar a qualidade de voz de cada codificador operando na rede ad hoc sem fio, sendo que o tráfego na rede era gerado apenas pela chamada de voz em avaliação. Para isso foram estabelecidas chamadas de voz não simultâneas entre dois terminais da rede, de forma que o número de saltos variasse de 1 a 5. Para a avaliação da qualidade de voz foi utilizado o algoritmo PESQ e o processo de transmissão/gravação de arquivos de voz utilizou somente funções do *software* Asterisk. Os resultados obtidos são mostrados nas tabelas II, III e IV.

A Tabela II apresenta os resultados das medidas de PESQ para todas as elocuições transmitidas na rede e para os diferentes números de saltos. A Tabela III sintetiza as médias das medidas de PESQ. A Tabela IV apresenta os resultados obtidos convertendo-se os valores de PESQ para MOS.

Deve-se ressaltar que nesse teste a taxa de perda de pacotes foi igual a zero. Analisando-se os resultados obtidos, observa-se que o número de saltos não influenciou a qualidade de voz, pois os valores de MOS não variaram com o número de saltos. Isso ocorre devido o tráfego conter apenas as chamadas avaliadas. Nessa situação, sem concorrência de banda e consequentemente sem perda de pacotes, é esperado que a qualidade de voz seja mantida mesmo com a variação do número de saltos.

As Figuras 3 e 4 ilustram de forma gráfica os resultados de PESQ e MOS apresentados nas Tabelas III e IV respectivamente.

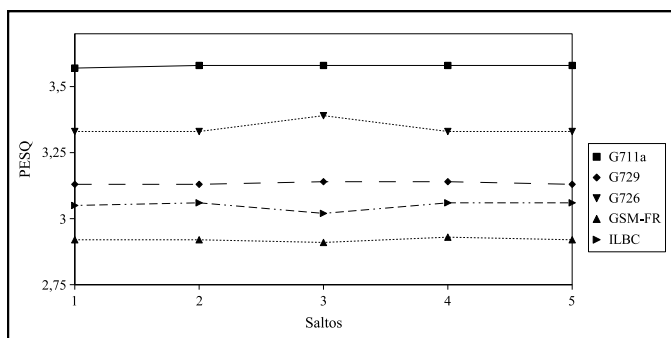


Fig. 3. Gráfico das médias de PESQ para ambientes multihop

Comparando-se os valores de MOS de cada codec, verificou-se que o codificador G.711 foi o que apresentou

TABELA II  
MEDIDAS DE PESQ

1 Salto					
Arq	G711a	G729	G726	GSM-FR	iLBC
sent01	3,50	3,12	3,48	3,02	3,20
sent02	3,57	3,15	3,38	3,08	3,12
sent03	3,47	3,08	3,14	2,82	3,03
sent04	3,33	3,02	3,00	2,76	2,91
sent05	3,37	3,01	3,10	2,74	2,82
sent06	3,35	2,92	3,04	2,68	2,81
sent07	3,56	2,92	3,29	2,74	2,79
sent08	3,73	3,01	3,27	2,71	2,83
sent09	3,77	3,30	3,61	3,06	3,18
sent10	4,09	3,80	3,99	3,65	3,85
2 Saltos					
Arq	G711a	G729	G726	GSM-FR	iLBC
sent01	3,50	3,12	3,44	3,02	3,19
sent02	3,56	3,14	3,39	3,09	3,12
sent03	3,46	3,08	3,14	2,81	3,03
sent04	3,33	3,02	2,99	2,73	2,92
sent05	3,38	3,03	3,07	2,76	2,81
sent06	3,34	2,91	3,03	2,66	2,82
sent07	3,56	2,93	3,28	2,76	2,83
sent08	3,73	2,99	3,24	2,69	2,84
sent09	3,77	3,27	3,61	3,05	3,18
sent10	4,14	3,82	4,18	3,67	3,86
3 Saltos					
Arq	G711a	G729	G726	GSM-FR	iLBC
sent01	3,49	3,13	3,44	3,10	2,77
sent02	3,56	3,15	3,38	3,08	3,11
sent03	3,47	3,09	3,15	2,82	3,02
sent04	3,33	3,03	3,20	2,75	2,92
sent05	3,38	3,01	3,35	2,76	2,81
sent06	3,34	2,92	3,02	2,67	2,82
sent07	3,55	2,93	3,28	2,46	2,83
sent08	3,73	2,99	3,24	2,70	2,85
sent09	3,79	3,27	3,61	3,06	3,17
sent10	4,11	3,83	4,18	3,67	3,86
4 Saltos					
Arq	G711a	G729	G726	GSM-FR	iLBC
sent01	3,50	3,12	3,44	3,02	3,19
sent02	3,56	3,15	3,38	3,09	3,12
sent03	3,46	3,09	3,14	2,80	3,03
sent04	3,32	3,03	3,00	2,74	2,91
sent05	3,38	3,03	3,06	2,76	2,82
sent06	3,34	2,92	3,02	2,67	2,82
sent07	3,56	2,92	3,27	2,75	2,83
sent08	3,73	2,99	3,23	2,70	2,84
sent09	3,77	3,29	3,61	3,06	3,18
sent10	4,15	3,83	4,18	3,67	3,86
5 Saltos					
Arq	G711a	G729	G726	GSM-FR	iLBC
sent01	3,49	3,11	3,44	3,03	3,20
sent02	3,56	3,15	3,39	3,08	3,12
sent03	3,46	3,10	3,13	2,81	3,04
sent04	3,32	3,03	3,01	2,74	2,91
sent05	3,38	3,03	3,06	2,74	2,80
sent06	3,35	2,91	3,03	2,66	2,80
sent07	3,55	2,93	3,28	2,76	2,82
sent08	3,73	3,00	3,24	2,71	2,86
sent09	3,77	3,27	3,61	3,06	3,18
sent10	4,14	3,83	4,16	3,66	3,86

TABELA III  
MÉDIA DAS MEDIDAS DE PESQ

Salto	G711a	G729	G726	GSM-FR	iLBC
1	3,57	3,13	3,33	2,92	3,05
2	3,58	3,13	3,33	2,92	3,06
3	3,58	3,14	3,39	2,91	3,02
4	3,58	3,14	3,33	2,93	3,06
5	3,58	3,13	3,33	2,92	3,06

TABELA IV  
RESULTADOS DE MOS OBTIDOS A PARTIR DAS MEDIDAS DE PESQ

Salto	G711a	G729	G726	GSM-FR	iLBC
1	3,64	3,01	3,30	2,71	2,90
2	3,64	3,01	3,29	2,71	2,90
3	3,64	3,02	3,37	2,69	2,84
4	3,64	3,02	3,29	2,72	2,90
5	3,64	3,01	3,29	2,71	2,90

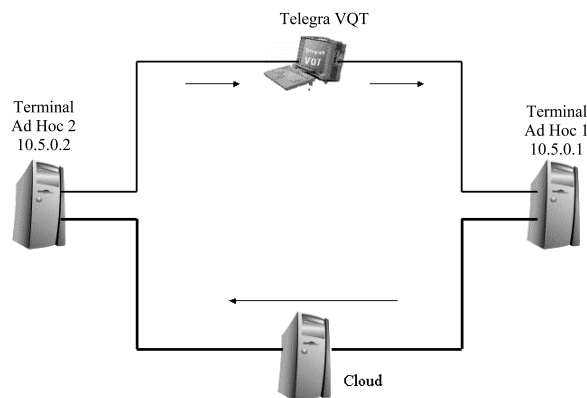


Fig. 5. Cenário Montado para Análise da Voz Transmitida em um Ambiente com Perdas.

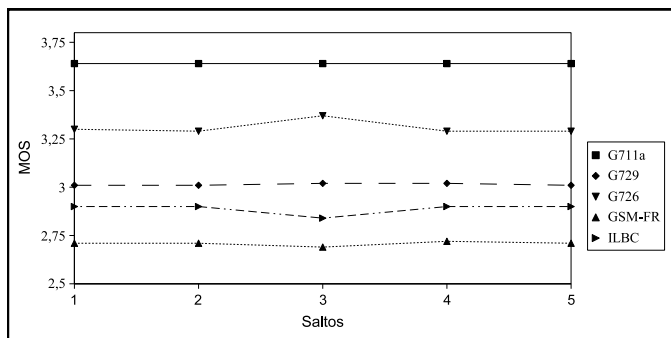


Fig. 4. Gráfico das médias de MOS para ambientes multihop

o melhor resultado, seguido pelo codificador G.726. O pior resultado foi obtido pelo codec GSM-FR.

C. Avaliação da qualidade de voz - perda de pacotes e jitter

Para avaliar a qualidade de voz dos codificadores mediante perda de pacotes e jitter, foi montado um novo ambiente de testes com a rede ad hoc sem fio sendo substituída por um simulador de rede, o Cloud 10 Mbps V2.0 [16]. Isso foi feito para que fosse alcançado um controle mais preciso sobre a taxa de perda de pacotes e o jitter da rede, o que é muito difícil de se conseguir em um testbed operando em ambiente real. O ambiente de teste montado consistia de dois terminais ad hoc ligados a um simulador de rede e a um gerador de sinais de voz. A Figura 5 mostra o cenário desse teste.

O software Cloud 10 Mbps V2.0, da Shunra, introduz com precisão valores de perda de pacotes e jitter durante as transmissões de voz. O equipamento utilizado para gerar o sinal de voz foi o Telegra R VQT J1981A, da Agilent Technologies [17]. O Telegra transmitia os sinais de voz para o terminal Ad Hoc 1 que, por sua vez, transmitia para o Terminal Ad Hoc 2, passando pelo simulador de rede. O terminal Ad Hoc 2 transmitia o sinal de voz para o Telegra que utilizava o algoritmo PESQ para medir a qualidade de voz. Os testes foram feitos para as situações de perda de pacotes e jitter mostradas na Tabela V.

TABELA V  
PERDAS DE PACOTES E JITTER

Perda de Pacotes	Jitter	Perda + Jitter
1%	20 ms	1% + 20 ms
2%	40 ms	2% + 40 ms
3%	75 ms	3% + 75 ms
5%	90 ms	5% + 90 ms
10%	110 ms	10% + 110 ms

Diferentemente da configuração descrita na seção II, para esses testes os nós da rede utilizaram controlador de buffer de jitter. O objetivo foi exatamente ter o sentimento da necessidade desse requisito em uma rede de transmissão por pacotes. Uma outra diferença em relação a configuração anterior é que o codificador G.723.1 também foi avaliado, juntamente com os codecs G.711-lei A, G.726 a 32 kbps, G.729, GSM-FR e iLBC. As Figuras de 6 a 10 ilustram os gráficos com os resultados de PESQ sem e com a utilização de buffer de jitter. Esses resultados podem ser vistos nas Tabelas VI a X.

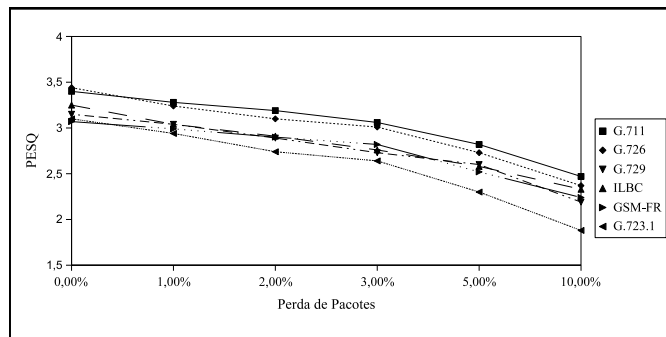


Fig. 6. PESQ em Função da Perda de Pacotes Sem a Utilização de Buffer de Jitter

Analisando-se a Tabela VI (Figura 6) pode-se observar que, mesmo com o aumento da taxa de perda de pacotes, os codificadores G.711 e G.726 continuam apresentando os melhores resultados em termos de qualidade de voz. Esta

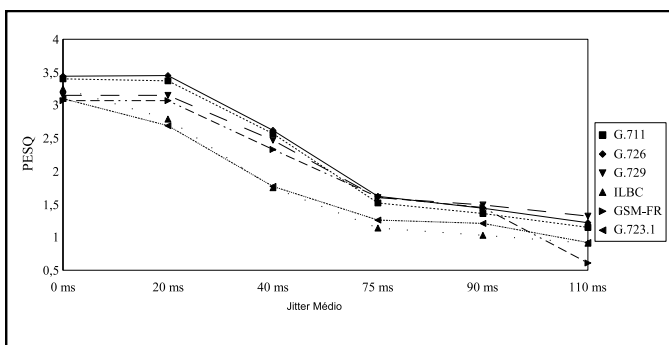


Fig. 7. PESQ em Função do Jitter Sem a Utilização de Buffer de Jitter

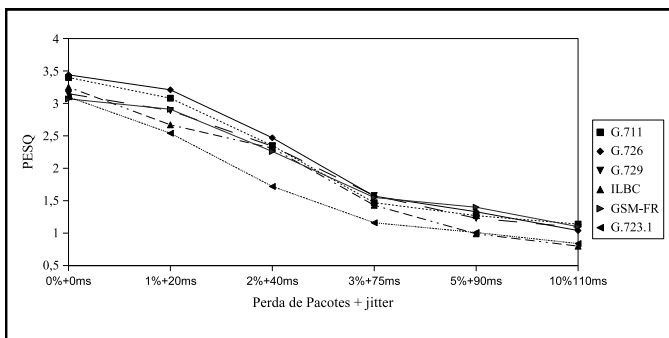


Fig. 8. PESQ em Função da Perda de Pacotes e do Jitter Sem a Utilização de Buffer de Jitter.

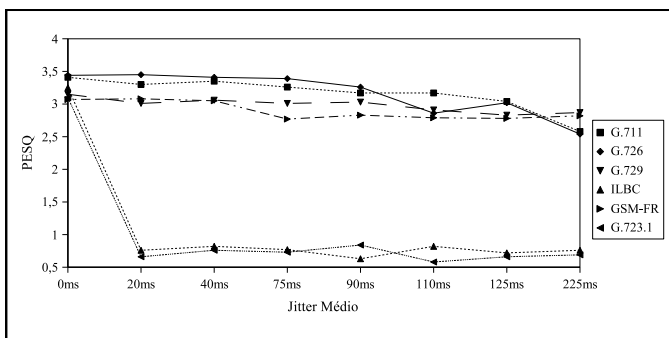


Fig. 9. PESQ em Função do Jitter Com a Utilização de Buffer de Jitter

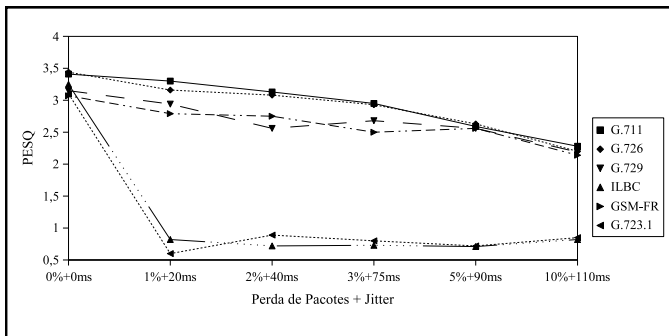


Fig. 10. PESQ em Função da Perda de Pacotes e do Jitter Com a Utilização de Buffer de Jitter.

TABELA VI  
PESQ EM FUNÇÃO DA PERDA DE PACOTES SEM A UTILIZAÇÃO DE BUFFER DE JITTER

Codecs	Perda de Pacotes					
	0%	1%	2%	3%	5%	10%
G.711	3,40	3,28	3,19	3,06	2,82	2,47
G.726	3,44	3,24	3,10	3,01	2,73	2,37
G.729	3,15	3,04	2,89	2,73	2,60	2,19
iLBC	3,25	3,04	2,91	2,76	2,58	2,33
GSM-FR	3,07	2,99	2,90	2,82	2,52	2,24
G.723.1	3,10	2,94	2,74	2,64	2,30	1,88

TABELA VII  
PESQ EM FUNÇÃO DO JITTER SEM A UTILIZAÇÃO DE BUFFER DE JITTER

Codecs	Jitter (ms)					
	0	20	40	75	90	110
G.711	3,40	3,37	2,57	1,52	1,36	1,15
G.726	3,44	3,45	2,62	1,62	1,44	1,22
G.729	3,15	3,15	2,47	1,60	1,49	1,32
iLBC	3,25	2,79	1,75	1,14	1,03	0,91
GSM-FR	3,07	3,07	2,33	1,61	1,45	0,61
G.723.1	3,10	2,69	1,77	1,26	1,21	0,92

TABELA VIII  
PESQ EM FUNÇÃO DA PERDA DE PACOTES E DO JITTER SEM A UTILIZAÇÃO DE BUFFER DE JITTER

Codecs	Jitter (ms) e Perda de Pacotes					
	0	20	40	75	90	110
		+1%	+2%	+3%	+5%	+10%
G.711	3,40	3,08	2,35	1,47	1,27	1,14
G.726	3,44	3,21	2,47	1,57	1,33	1,04
G.729	3,15	2,89	2,34	1,58	1,23	1,09
iLBC	3,25	2,67	2,31	1,43	0,99	0,80
GSM-FR	3,07	2,91	2,26	1,55	1,40	1,10
G.723.1	3,10	2,54	1,72	1,16	1,01	0,84

TABELA IX  
PESQ EM FUNÇÃO DO JITTER COM A UTILIZAÇÃO DE BUFFER DE JITTER

Jitter (ms)	Codecs					
	G.711	G.726	G.729	iLBC	GSM-FR	G.723.1
0	3,41	3,44	3,15	3,25	3,07	3,10
20	3,30	3,45	3,01	0,76	3,08	0,66
40	3,35	3,41	3,06	0,82	3,05	0,76
75	3,26	3,39	3,01	0,77	2,77	0,73
90	3,17	3,26	3,03	0,63	2,83	0,84
110	3,17	2,86	2,91	0,82	2,79	0,58
125	3,04	3,02	2,83	0,72	2,78	0,66
225	2,58	2,54	2,87	0,76	2,82	0,69

TABELA X  
 PESQ EM FUNÇÃO DA PERDA DE PACOTES E DO JITTER COM A  
 UTILIZAÇÃO DE BUFFER DE JITTER.

Codecs	Jitter (ms) e Perda de Pacotes					
	0	20 +1%	40 +2%	75 +3%	90 +5%	110 +10%
G.711	3,41	3,30	3,13	2,95	2,59	2,28
G.726	3,44	3,16	3,08	2,93	2,63	2,20
G.729	3,15	2,94	2,56	2,68	2,56	2,19
iLBC	3,25	0,82	0,72	0,73	0,71	0,82
GSM-FR	3,07	2,79	2,75	2,50	2,56	2,14
G.723.1	3,10	0,60	0,89	0,80	0,72	0,85

situação permanece para os resultados relativos ao *jitter*, mostrados na Tabela VII (Figura 7). Nessa tabela, observa-se que para valores de *jitter* iguais a 40 ms já não se tem uma qualidade satisfatória do sinal de voz, que é atingida com valores de MOS maiores ou iguais a 3 ( $PESQ \geq 3,12$  aproximadamente (segundo equação (1))). Da mesma forma a Tabela VI mostra que, com 5% de perda de pacotes, todos os codecs avaliados não teriam uma boa qualidade de voz.

Quando são inseridos *jitter* e perda de pacotes, a qualidade de voz fica altamente comprometida. A Tabela VIII (Figura 8) mostra que, com 40 ms de *jitter* e 2% de perda de pacotes, todos os codificadores apresentam qualidade de voz inaceitável.

Utilizou-se então o *buffer* de *jitter* disponível no *software* Asterisk. Observou-se que com até 110 ms de *jitter* o codificador G.711 ainda apresentava uma qualidade satisfatória de voz e, que com 40 ms de *jitter* apenas os codificadores iLBC e G.723.1 apresentaram resultados insatisfatórios. Entretanto, como pode ser observado nas Figuras 9 e 10, esses codificadores apresentaram valores inconsistentes na presença do *buffer* de *jitter*. Talvez isso possa ser consequência da implementação do *software* utilizado e, não necessariamente dos algoritmos.

A Tabela X (Figura 10) apresenta os resultados para situação com perda de pacotes e *jitter* utilizando-se *buffer* de *jitter*. Novamente os codificadores G.711 e G.726 apresentaram os melhores resultados em termos de qualidade de voz. De uma maneira geral, esses codecs, juntamente com o G.729, apresentaram os melhores desempenhos mediante as restrições impostas pela rede simulada. Uma outra conclusão importante que pode ser extraída desse teste é a necessidade de implementação de um controlador de *buffer* de *jitter* em uma solução ad hoc sem fio.

#### IV. CONCLUSÕES

Neste trabalho avaliou-se a qualidade de voz de codificadores de voz em uma rede ad hoc multihop sem fio. Os resultados obtidos mostraram que quando há apenas uma chamada de voz na rede, o número de saltos não influencia a qualidade de voz. Também foram considerados cenários com perda de pacotes e *jitter* para avaliação dos codificadores. Pôde-se observar a importância do *buffer* de *jitter* para a qualidade de voz.

Considerando-se todos os testes realizados, os melhores resultados em termos de qualidade de voz foram obtidos pelos

codificadores G.711 e G.726, seguidos pelo codificador G.729. Entretanto, apesar dos codificadores de forma de onda apresentarem um melhor desempenho em relação aos codificadores paramétricos, deve-se ressaltar que as taxas de transmissão dos mesmos são bem mais altas quando comparadas às taxas dos codificadores paramétricos. Assim, os codecs G.711 e G.726 seriam os mais indicados se as redes ad hoc sem fio não possuíssem limitação de banda. Nesse caso, a baixa taxa de transmissão torna o codificador G.729 uma boa opção para esta aplicação.

#### V. TRABALHOS FUTUROS

Serão realizados testes para avaliar a qualidade de voz dos codificadores em situações onde há tráfego na rede. Também será avaliado o desempenho dos codecs quando ocorre troca de rotas devido à perda da rota que estava sendo utilizada. Testes com o codificador G.728 [18] serão realizados para comparação deste com os codificadores já avaliados neste trabalho.

#### AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer a toda equipe da Diretoria de Redes de Telecomunicações (DRT) da Fundação CPqD que, diretamente, nos auxiliou na montagem dos cenários da rede ad hoc.

#### REFERÊNCIAS

- [1] <http://www.cpqd.com.br/>
- [2] <http://www.olsr.org/>
- [3] <http://store.yahoo.com/asteriskpbx/witd1pofxs.html>
- [4] <http://www.voip-info.org/wiki-Asterisk>
- [5] ITU-T Recommendation G.711: "Pulse code modulation (PCM) of voice frequencies", ITU-T, 1988.
- [6] ITU-T Recommendation G.726: "40, 32, 24, 16 kbit/s Adaptive Differential Pulse Code Modulation (ADPCM)", ITU-T, 1990.
- [7] ITU-T Recommendation G.729: "Coding of speech at 8 kbit/s using conjugate-structure algebraic-code-excited linear prediction (CS-ACELP)", ITU-T, 1996.
- [8] 3GPP TS 46.010: "Full Rate speech; Transcoding", 3GPP, 2002.
- [9] <http://www.ilbcfreeware.org/>
- [10] ITU-T Recommendation G.723.1: "Dual rate speech coder for multimedia communications transmitting at 5.3 and 6.3 kbit/s", ITU-T, 1996.
- [11] <http://www.cornfed.com/iax.pdf>
- [12] ITU-T Rec. P.800, "Methods for subjective determination of transmission quality," ITU-T, Aug. 1996.
- [13] ITU-T Rec. P.800.1, "Mean Opinion Score (MOS) terminology," ITU-T, Mar. 2003.
- [14] ITU-T Recommendation P.862, *Perceptual evaluation of speech quality (PESQ), an objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs*, 2001.
- [15] ITU-T Recommendation P.862.1, *Mapping function for transforming P.862 raw result scores to MOS-LQO*, Nov. 2003.
- [16] <http://www.shunra.com/>
- [17] <http://www.home.agilent.com>
- [18] ITU-T Recommendation G.728: "Coding of speech at 16 kbit/s using low-delay code excited linear prediction", ITU-T, 1992.