



Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica

Projeto de Quantizadores para Sinais de Voz usando a Plataforma de Simulação Ptolemy II Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)

Luciana Correia Lima de Medeiros

Campina Grande – Paraíba
Maio de 2009.

Luciana Correia Lima de Medeiros

Projeto de Quantizadores para Sinais de Voz usando a Plataforma de Simulação Ptolemy II

Relatório apresentado à Coordenação de Estágio
de Engenharia Elétrica da UFCG, como parte dos
requisitos à obtenção de título de Engenheira Eletricista

Orientador: Bruno Barbosa Albert

Campina Grande – Paraíba
Maio de 2009.

Projeto de Quantizadores para Sinais de Voz usando a Plataforma de Simulação Ptolemy II

Aluna:

Luciana Correia Lima de Medeiros

Aprovada em: ____/____/____

Banca Examinadora

Professor Orientador:

Bruno Barbosa Albert

Professor Convidado:

Edmar Candeia Gurjão

Conceito Final:_____

Dedicatória

*Aos meus pais e ao meu namorado,
com muito amor.*

Resumo

No trabalho escrito, pode-se observar a influência do tipo de quantizador usado na codificação do sinal de voz, através do uso da ferramenta computacional Ptolemy II. Os quantizadores utilizados foram: quantizadores uniformes de dois, oito e treze bits, exemplos de quantizadores mid-riser e mid-tread e quantizadores não-uniformes com compansão seguindo a Lei A e a Lei μ .

Com o auxílio do Matlab, foram formulados programas que geraram os níveis de quantização para cada tipo de quantizador. Essa seqüência de valores foi utilizada no ambiente Vergil do Ptolemy II, no ator quantizador. Na simulação, um arquivo de sinal de voz original foi lido pelo ator “audioreader”, codificado no quantizador e no ator “audioplayer”, o sinal de voz quantizado foi reproduzido.

Lista de Ilustrações

Figura 1 – Sistema PCM básico	2
Figura 2a – Quantizador mid-tread.....	4
Figura 2b – Quantizador mid-riser.....	4
Figura 3 – Ambiente Vergil do Ptolemy II	6
Figura 4 – Esquema para análise dos níveis de amplitude do sinal de voz arquivado	7
Figura 5 – Sinal de voz amostrado no tempo	7
Figura 6 – Esquema de Quantização	8
Figura 7a – Sinal de voz (azul) e Sinal quantizado (vermelho) tipo Mid-riser	14
Figura 7b – Em detalhe - Sinal de voz e Sinal quantizado tipo Mid-riser	14
Figura 7c – Erro de quantização de Quantizador tipo Mid-riser.....	14
Figura 7d – Em detalhe – Erro de quantização de Quantizador tipo Mid-riser.....	14
Figura 8a – Sinal de voz (azul) e Sinal quantizado (vermelho) tipo Mid-tread.....	15
Figura 8b – Em detalhe - Sinal de voz e Sinal quantizado tipo Mid-tread.....	15
Figura 8c – Erro de quantização de Quantizador tipo Mid-tread	15
Figura 8d – Em detalhe – Erro de quantização de Quantizador tipo Mid-tread	15
Figura 9a – Sinal de voz (azul) e Sinal quantizado (vermelho) Quant. Unif. de 2 Bits.....	16
Figura 9b – Em detalhe - Sinal de voz e Sinal quantizado Quant. Unif. de 2 Bits.....	16
Figura 9c – Erro de quantização de Quantizador Unif. de 2 Bits.....	16
Figura 9d – Em detalhe – Erro de quantização de Quantizador Unif. de 2 Bits.....	16
Figura 10a – Sinal de voz (azul) e Sinal quantizado (vermelho) Quant. Unif. de 8 Bits	17
Figura 10b – Em detalhe - Sinal de voz e Sinal quantizado Quant. Unif. de 8 Bits	17
Figura 10c – Erro de quantização de Quantizador Unif. de 8 Bits.....	17
Figura 10d – Em detalhe – Erro de quantização de Quantizador Unif. de 8 Bits.....	17
Figura 11a – Sinal de voz (azul) e Sinal quantizado (vermelho) Quant. Unif. de 13 Bits	18
Figura 11b – Em detalhe - Sinal de voz e Sinal quantizado Quant. Unif. de 13 Bits	18
Figura 11c – Erro de quantização de Quantizador Unif. de 13 Bits	18
Figura 11d – Em detalhe – Erro de quantização de Quantizador Unif. de 13 Bits	18
Figura 12a – Sinal de voz (azul) e Sinal quantizado (vermelho) com Lei A	19
Figura 12b – Em detalhe - Sinal de voz e Sinal quantizado com Lei A	19
Figura 12c – Erro de quantização de Quantizador com Lei A.....	19
Figura 12d – Em detalhe – Erro de quantização de Quantizador com Lei A.....	19

Figura 13a – Sinal de voz (azul) e Sinal quantizado (vermelho) com Lei μ	20
Figura 13b – Em detalhe - Sinal de voz e Sinal quantizado com Lei μ	20
Figura 13c – Erro de quantização de Quantizador com Lei μ	20
Figura 13d – Em detalhe – Erro de quantização de Quantizador com Lei μ	20

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Intervalos da Lei A	11
Tabela 2 – Intervalos da Lei μ	12
Tabela 3 – Características dos quantizadores tipo Mid-riser e Mid-tread.....	8
Tabela 4 – Erros de quantização dos quantizadores tipo Mid-riser e Mid-tread.....	8
Tabela 5 – Número de níveis e erro para quantizadores uniformes.....	9
Tabela 6 – Intervalos de quantização	13
Tabela 7 – Erros de quantização dos quantizadores com lei A e lei μ de compressão	9

Sumário

RESUMO.....	V
ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES.....	VI
ÍNDICE DE TABELAS.....	VIII
1 INTRODUÇÃO	1
3 OBJETIVOS.....	1
2 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO.....	2
2.1 SINAIS DE VOZ.....	2
2.2 PROCESSO DE QUANTIZAÇÃO.....	3
2.2.1 RUÍDO DE QUANTIZAÇÃO.....	3
2.2.2 QUANTIZAÇÃO UNIFORME	3
2.2.3 COMPANSÃO DIGITAL	4
2.3 A FERRAMENTA COMPUTACIONAL PTOLEMY II.....	6
4 METODOLOGIA.....	6
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	10
6 CRONOGRAMA DE ATIVIDADES.....	10
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	10
8 ANEXOS.....	11
9 APÊNDICE A.....	21
10 APÊNDICE B.....	22
11 APÊNDICE C.....	24

1. INTRODUÇÃO

No processo de transmissão da informação, deseja-se desenvolver um sistema em que o sinal que se quer transmitir chegue ao receptor de forma inteligível.

Existem várias maneiras de processar o sinal para este ser transmitido, no caso deste trabalho, estamos interessados em comparar diversos tipos de quantizadores para verificar os níveis de inteligibilidade.

O processo de quantização pode ser definido como o mapeamento do sinal, a partir do domínio contínuo, em um conjunto de níveis de saída finitos. Sua aplicação não é apenas no processamento da voz, mais também pode ser utilizado em outros processamentos computacionais. Como por exemplo, as cores que uma imagem possui e a quantidade de cores que o ser humano pode ver são processos quantizados ou quantificados.

O interesse sobre este tema é por ser uma área de intensa pesquisa que abrangem diversos temas, como por exemplo: na aplicação em detecção de sinais, fontes de Markov, quantizadores com “dither” entre outros.

Para auxiliar neste estudo, será utilizada a ferramenta computacional Ptolemy II. Esta permite que seja feita uma análise dos resultados sem a necessidade da implementação física de todo o processo de transmissão da informação (desde a geração até a recepção do sinal) e, desta forma, esta ferramenta possibilita uma maior flexibilidade na implementação para cada tipo de quantizador.

2. OBJETIVOS

Objetivo Geral

Utilizar a ferramenta computacional Ptolemy II para comparar a inteligibilidade de diversos tipos de quantizadores.

Objetivos Específicos

- a. Realizar uma revisão bibliográfica sobre tipos de quantizadores;
- b. Estudar a ferramenta computacional Ptolemy II;
- c. Implementar alguns tipos de quantizadores através da ferramenta computacional Ptolemy II e realizar testes;
- d. Analisar os resultados;
- e. Escrever o relatório do trabalho de conclusão de curso.

3. DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

2.1 Sinais de Voz

O sinal de voz é definido através de suas características: frequência e intensidade. Sua resposta é limitada em frequência e, como o sinal de voz é um sinal aleatório, apresenta uma distribuição de probabilidade.

Na transmissão, o sinal de voz pode passar por um processo de codificação de fonte que deve incluir a amostragem, quantização e codificação do sinal. Os processos de codificação de fonte têm como objetivo final reduzir a entropia do sinal gerado pela fonte de dados de forma controlada. Incluída nesse processo, a modulação por codificação de pulsos (PCM) que transforma o sinal analógico em uma série de pulsos que pode ser manipulada de forma eficiente pelo sistema.

Um sistema de comunicação digital em banda básica é formado pelos estágios de amostragem, quantização e codificação do sinal no transmissor e os estágios de regeneração, decodificação e filtragem do sinal no receptor. Na figura 1, temos um sistema PCM básico.

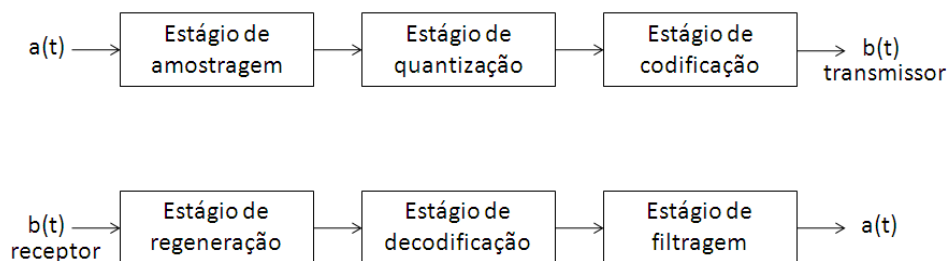


Figura 1 – Sistema PCM básico.

O estágio de amostragem tem por objetivo obter parcelas do sinal de informação, pois através dessas parcelas é que o sinal será digitalizado e, posteriormente, recuperado. O número de amostras por segundo é definido através do teorema da amostragem de Nyquist, que diz que um sinal analógico com uma determinada faixa frequência f (Hz), pode ser recuperado desde que seja amostrado em intervalos regulares com um número de amostras por segundo igual ou superior a $2f$. Para telefonia, o sinal de voz é filtrado em 3.400 Hz, e a faixa de frequência utilizada é de 4KHz com uma banda de guarda de 600 Hz, portanto utiliza-se 8.000 amostras por segundo.

Após a etapa de quantização, o sinal está pronto para ser codificado e, então, pode ser transmitido. Quando o sinal atinge o receptor, deve ser decodificado, ou seja, o processo inverso da codificação deve ser feito. Vai ocorrer um erro de quantização, devido à aproximação do sinal original a um determinado nível.

2.2 Processo de Quantização

O estágio de quantização tem como característica a representação de um sinal por um número contável de níveis, ou seja, representa o mapeamento do sinal, a partir do domínio contínuo por um número finito de níveis. Esse domínio contém uma faixa de possíveis valores do sinal subdividida em intervalos ou passos de quantização.

O objetivo da quantização é aproximar o nível das amostras do sinal quantizado ao nível das amostras do sinal real.

O processo de quantização tem como finalidade a redução de entropia do sinal, para que o sinal possa ser armazenado em um sistema computacional ou transmitido através de um canal da forma mais eficiente. Apesar de teoricamente, o sinal analógico ter uma amplitude infinita. Na prática, ele possui um valor máximo de amplitude, assim divide-se este intervalo de valores possíveis em alguns níveis de amplitude de saída, desta forma é realizado o processo de quantização.

A quantidade de níveis a ser utilizada depende do número de bits do código final utilizado e o intervalo entre os níveis pode ser uniforme ou variar conforme a amplitude. Devido à limitação da representação do sinal, existe um ruído de quantização, que está relacionado com o processo de conversão analógico-digital.

2.2.1 Ruído de Quantização

O ruído de quantização é dado pela diferença entre o sinal na entrada do quantizador e o sinal discreto na saída, produzido no final do processo de transmissão de um sistema PCM. Através do arredondamento dos valores de um sinal de voz contínuo para o nível de representação mais próximo, dado pela equação abaixo.

$$n(t) = y(t) - x(t) \quad (1)$$

Onde, $y(t) = q(x(t))$ e $q(.)$ representa a função de quantização.

A relação sinal-ruído RSR é um fator que afeta a qualidade de voz na codificação e pode ser expressa como sendo a potência média de ruído relativa à potência média do sinal.

2.2.2 Quantização Uniforme

O quantizador uniforme tem um passo de quantização constante, ou seja, possui mesmo intervalo entre os níveis de quantização. O passo de quantização de quantizadores uniformes é dado pela equação abaixo.

$$d = \frac{2 \cdot A_{m\acute{a}x}}{2^n} \quad (2)$$

Onde n é o número de bits e $A_{m\acute{a}x}$ é a amplitude máxima do sinal amostrado.

Podem ser de dois tipos, os quantizadores uniformes: mid-tread e mid-riser.

Os quantificadores do tipo mid-riser não produzem nível zero como saída e possuem um número par de níveis de saída. Os quantizadores tipo mid-tread possuem um número ímpar de níveis de saída, pois incluem o zero como nível de quantificação, fator importante em sinais que possuem muitas zonas nulas (exemplo: silêncio em sinais de fala). As figuras 2a e 2b mostram as características dos quantizadores tipo mid-tread e mid-riser.

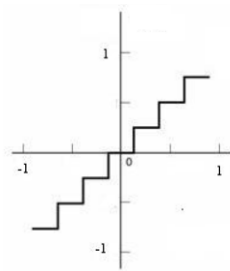


Figura 2a – Quantizador mid-tread

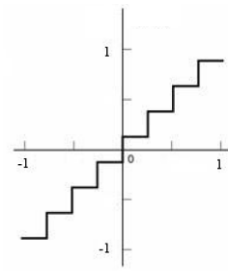


Figura 2b – Quantizador mid-riser

Em quantizadores uniformes, por possuírem passo de quantização constante, sinais de pequena amplitude têm baixo nível de relação sinal-ruído e sinais com alta amplitude têm uma relação sinal ruído alta. Conclui-se que para as pequenas amplitudes em sinais de voz, o quantizador uniforme é ineficiente.

Nesse caso, utiliza-se o quantizador não uniforme, cujo passo de quantização é função da amplitude do sinal, de forma que os níveis possuam espaçamento logarítmico entre si.

2.2.3 Compansão Digital

A compansão digital é definida como o processo de compressão e expansão do sinal a ser codificado. A compressão do sinal é necessária para elevar os níveis mais débeis do sinal, em comparação com os níveis mais elevados, para assim tornar o codificador mais uniforme em termos de relação sinal/ruído de quantização. A expansão é realizada no receptor, como uma função inversa da compressão.

Duas leis de compressão do sinal são definidas nas especificações internacionais ITU-T, estas são chamadas Lei μ e Lei A . Os parâmetros μ e A definem as curvas de compressão; se eles forem muito altos, a não-linearidade aumenta muito e o sinal fica

distorcido. Os valores de referência utilizados para um bom desempenho do sistema são $\mu = 255$ e $A = 87,6$.

A Lei A é adotada na Europa, América do Sul (inclusive Brasil), África e em todas as rotas internacionais. A compressão é linear para pequenos sinais e revertida em logarítmica para sinais grandes. As equações que definem a Lei A de compressão são dadas a seguir:

$$y = C(x) = \frac{A \cdot x}{1 + \ln A}, \text{ se } 0 \leq x < V/A \quad (3)$$

$$y = C(x) = \frac{V \cdot \left(1 + \ln \left(\frac{A \cdot x}{V}\right)\right)}{1 + \ln A}, \text{ se } V/A \leq x \leq V \quad (4)$$

$$y = -C(-x), \text{ se } x \leq 0 \quad (5)$$

Para simplificar o processo de compressão, a curva de compressão é dividida em segmentos de retas. A curva de compressão da Lei A é composta por oito segmentos positivos e oito segmentos negativos. Os dois primeiros segmentos de cada polaridade são colineares, portanto podem ser considerados como um único segmento. Por isso, a Lei A também é conhecida como aproximação dos “13 segmentos”. A tabela 1 em anexo, mostra como estão distribuídos os segmentos na Lei A, apenas para os valores positivos.

A lei de compansão utilizada no Japão, nos EUA e em todos os países cujo código internacional é 1 é a Lei μ , as equações que a definem são dadas a seguir:

$$y = C(x) = \frac{V \cdot \ln \left(1 + \frac{\mu \cdot x}{V}\right)}{\ln(1 + \mu)}, \text{ se } x > 0 \quad (6)$$

$$y = -C(-x), \text{ se } x \leq 0 \quad (7)$$

Assim, como na Lei A, é feita uma linearização da curva da Lei μ . Esta é composta por oito segmentos positivos, oito segmentos negativos e um segmento intermediário. Os dois segmentos mais próximos de cada polaridade mais o segmento intermediário são colineares, portanto podem ser considerados como um único segmento. Por isso, a Lei μ também é conhecida como aproximação dos “15 segmentos”. A tabela 2 em anexo, mostra como estão distribuídos os intervalos na Lei μ , apenas para o intervalo de valores positivos.

2.3 A Ferramenta Computacional Ptolemy II

A ferramenta computacional Ptolemy II é um ambiente de simulação em tempo real, modelagem e projeto de sistemas que apresenta uma interface bastante amigável, de fácil uso e tem como plataforma a linguagem de programação Java. Desenvolvido na Universidade de Berkeley, foi iniciado em 1990 e está na versão 7.

O ambiente Ptolemy II oferece uma biblioteca de classes para modelagem de sistemas. Ele utiliza o paradigma de orientação a objetos, para fornecer um ambiente flexível e de fácil manutenção. Constituído de diferentes domínios cada qual com seu modelo computacional.

O domínio *synchronous dataflow* (SDF) é utilizado para modelagem de comportamento de sistemas síncronos como processamento de sinais que é o interesse deste trabalho. Também são fornecidos domínios para interface com outros ambientes, como Matlab.

O núcleo do Ptolemy assegura que diferentes modelos computacionais se comuniquem de maneira definida e consistente. Motivo pelo qual foi escolhido para o projeto.

4. METODOLOGIA

Nesse trabalho, foi utilizado o ambiente Vergil do Ptolemy II (figura 3).

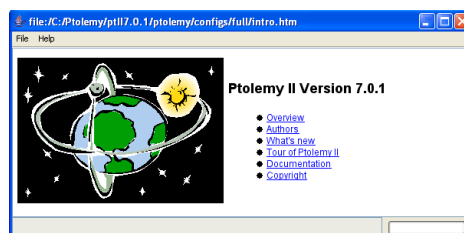


Figura 3 – Ambiente Vergil do Ptolemy II

Através do “graph editor”, foi possível selecionar os atores necessários a simulação dos vários quantizadores. Foram utilizados os seguintes atores: “sinks”, “math” e “signalprocessing”. De sinks>sequencesinks, foi selecionado o ator “sequence plotter” para visualizar os gráficos que iriam representar o sinal de voz, o sinal quantizado e o erro de quantização. Em “math”, o ator “addsubtract” como elemento para calcular o erro de quantização e o ator “quantizer” como o próprio quantizador. E, de “signalprocessing”, o ator “audioreader” para ler um sinal de voz do arquivo e o ator “audioplayer” para

reproduzir o sinal de voz quantizado. Para realizar as interações necessárias ao processamento do sinal, utilizou-se o “Director” SDF.

Primeiro, montou-se o esquema para analisar os níveis de amplitude do sinal de voz a ser quantizado, conforme figura 4. Nos parâmetros do ator Sinal de voz, selecionamos o diretório onde estava o arquivo de teste. E, no domínio SDF, selecionou-se 160 interações.

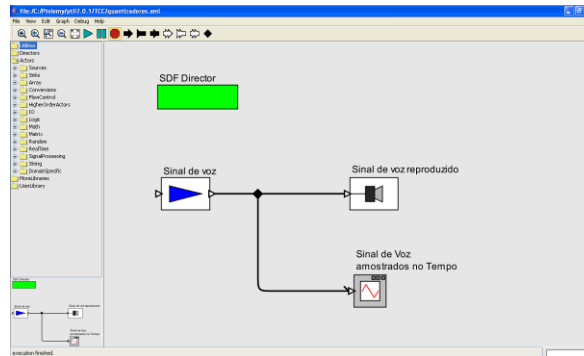


Figura 4 – Esquema para análise dos níveis de amplitude do sinal de voz arquivado.

Ao executar a simulação, o ator “sequenceplotter” mostra uma janela com o sinal de voz amostrado no tempo (figura 5). Observou-se, na figura abaixo, que a amplitude máxima do sinal amostrado foi de 0.4063.

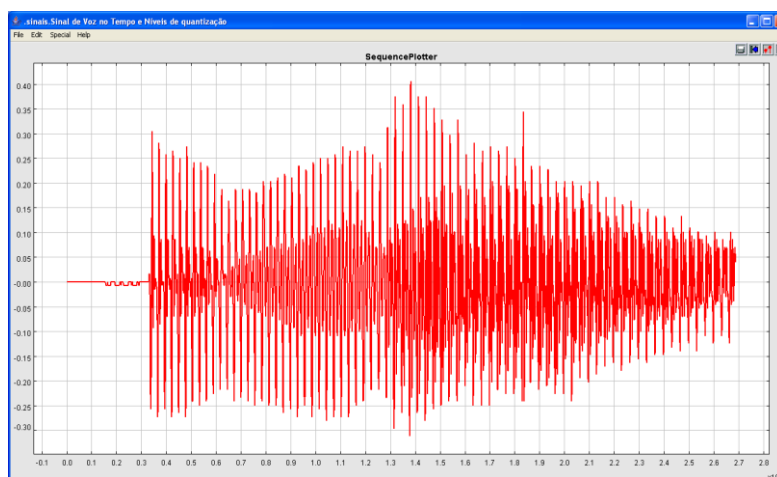


Figura 5 – Sinal de voz amostrado no tempo.

Feita a análise a respeito da amplitude do sinal de voz, foi possível definir o passo de quantização e os níveis do quantizador a ser utilizado.

Para o cálculo do passo de quantização e dos níveis do quantizador, foi necessário o auxílio de outra ferramenta computacional, o Matlab. Um programa foi escrito para quantizadores tipo mid-riser e mid-tread, com sete e oito níveis, respectivamente. Este

pode ser visualizado no Apêndice A.

Os arquivos gerados pelo Matlab foram usados no ator quantizador do Ptolemy II. Cada arquivo contém um vetor na forma $\{-A_{\text{máx}}, -A_{\text{máx}}+d*i, \dots, +A_{\text{máx}}\}$. Onde d é o passo de quantização. O passo de quantização e os níveis de quantização utilizados na simulação estão na tabela 3.

Tabela 3 – Características dos quantizadores tipo Mid-riser e Mid-tread

Tipo de quantização	Passo de quantização	Número de níveis	Níveis de quantização
Mid-riser	0.1161	7	$\{-0.4063, -0.2902, -0.1741, -0.0580, 0.0580, 0.1741, 0.2902, 0.4063\}$
Mid-tread	0.1016	8	$\{-0.4063, -0.3047, -0.2032, -0.1016, 0, 0.1016, 0.2032, 0.3047, 0.4063\}$

No Ptolemy II, acrescentaram-se os atores para realizar a quantização do sinal de voz, ilustrados na figura 6.

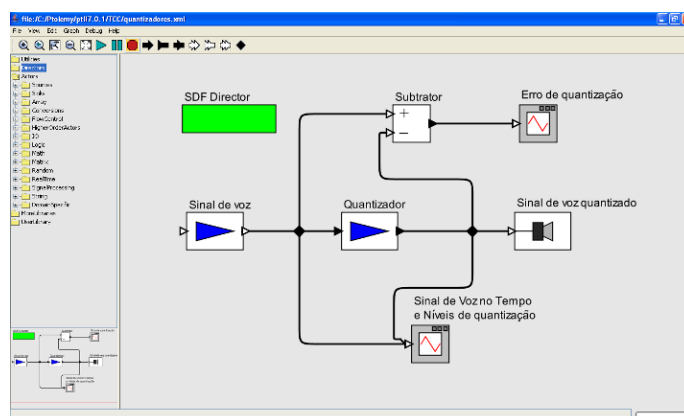


Figura 6 – Esquema de Quantização

No ator quantizador, em parâmetros, colocou-se os níveis de quantização gerados pelo Matlab e executamos a simulação.

Os gráficos da comparação entre o sinal de voz original e o sinal quantizado e do erro de quantização para o quantizador tipo mid-riser e mid-tread estão nas figuras 7 e 8, em anexo. A comparação entre esses quantizadores é feita na tabela 4.

Tabela 4 – Erros de quantização dos quantizadores tipo Mid-riser e Mid-tread

Tipo de quantização	Passo de quantização	Número de níveis	Erro de quantização
Mid-riser	0.1161	7	5.80×10^{-2}
Mid-tread	0.1016	8	4.70×10^{-2}

Continuando em quantizadores uniformes, foram simulados quantizadores de 2, 8 e 13 bits, para comparar a influência do número de bits utilizados na codificação de sinais digitais. Sabendo que L , número de níveis, é $L=2^n$ e n é o número de bits. Podemos utilizar o mesmo programa usado em quantizadores tipo Mid-tread, informando o número de níveis. Na tabela 5, temos os números de bits e de níveis necessários, além do passo e erro de quantização de cada quantizador após simulação. Os gráficos de comparação entre o sinal original e o quantizado e o erro de quantização são, respectivamente, figuras 9, 10 e 11, para os quantizadores uniformes de 2, 8 e 13 bits.

Tabela 5 – Número de níveis e erro para quantizadores uniformes.

Número de bits	Número de níveis	Passo de quantização	Erro de quantização
2	4	0.203150	10.16×10^{-2}
8	256	0.003174	1.56×10^{-3}
13	8192	0.000099	5.00×10^{-5}

Para os quantizadores não-uniformes, também se utilizou o Matlab para o cálculo de vetores com os níveis de quantização. Para o cálculo dos níveis de quantização da Lei A de compressão, utilizamos o passo de quantização de um quantizador uniforme de 13 bits e a tabela 1 em anexo, para o cálculo dos segmentos que compõem a curva de compressão, esses cálculos estão contidos no programa descrito no Apêndice B.

O gráfico da comparação entre o sinal de voz e o sinal quantizado e do erro de quantização para o quantizador não uniforme com Lei A de compressão podem ser visualizados nas figuras 12, em anexo.

Do mesmo modo que foram realizados os cálculos do vetor para a Lei A de compressão, foi feito um programa para a Lei μ , que está descrito no Apêndice C, obedecendo à tabela 2. Os valores gerados pelos programas utilizados para os níveis de quantização das da Lei A e da Lei μ estão em anexo, na tabela 6.

O gráfico da comparação entre o sinal de voz e o sinal quantizado e do erro de quantização para o quantizador não uniforme com Lei μ de compressão podem ser visualizados nas figuras 13, em anexo. Uma comparação entre os quantizadores não-uniformes é feita na tabela 7.

Tabela 7 – Erros de quantização dos quantizadores com Lei A e Lei μ de compressão

Tipo de quantização	Passo para quantizador uniforme de 13 bits	Número de níveis	Número de bits	Erro de quantização
Lei A	9.9194×10^{-5}	256	8	6.32×10^{-3}
Lei μ	4.9597×10^{-5}	256	8	6.25×10^{-3}

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Concluimos que o aumento do número de bits diminui o erro de quantização, pois possui um maior número de níveis se aproximando mais do sinal original. Quando esse número de níveis tende a infinito, o sinal original seria recuperado sem erro.

Também, foi possível observar que a quantização não-uniforme reproduz o sinal com melhor qualidade do que com a quantização uniforme. Devido à variação dos níveis do sinal, com amostras de pequenas e grandes amplitudes, pode-se perceber que a quantização não-uniforme, por variar o passo exponencialmente, possui inteligibilidade superior a quantização uniforme. Uma amostra quantitativa é o erro de quantização, pois na quantização não-uniforme é 10 vezes menor que na quantização uniforme.

Comparando a compensação do sinal, a Lei A tem o erro de quantização um pouco maior que o erro da Lei μ . Porque, para sinais muito pequenos o passo de quantização na Lei μ é menor que na Lei A.

6. CRONOGRAMA DE ATIVIDADES

Início das atividades: 01 de dezembro de 2008.

Término: 04 de maio de 2009.

Atividades	Dez/08	Jan/09	Fev/09	Mar/09	Abr/09	Mai/09
Revisão Bibliográfica						
Estudo da ferramenta Ptolemy II						
Implementar quantizadores e Testes						
Análise dos resultados						
Elaboração do Relatório						

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, Marcelo S. **Telefonia Digital**. Editora Érica Ltda. 3ª Edição. Ano 2000. São Paulo.

BELLAMY, John. **DIGITAL TELEPHONY**. Editora John Wiley & Sons. 2ª Edição. Ano 1991. Canadá.

8. ANEXOS

Tabela 1 – Intervalos da Lei A

Valor de entrada	Saída do quantizador	Números de intervalos	Tamanho do intervalo	Total de intervalos	Número de segmentos	
3968 – 4096 2048 – 2176	4032 2112	16	128	4096	1	
1984 – 2048 1024 – 1088	2016 1056					
992 – 1024 512 – 544	1008 528	16	32	1024	3	
496 – 512 256 – 272	505 264					
248 – 256 128 – 136	252 132	16	8	256	5	
124 – 128 64 – 68	126 66					
62 – 64 32 – 34	61 33	16	2	64	7	
30 – 32 2 – 4	31 3					
0 – 2 -2 – 0	1 -1	1 1	2 2	02 02		
-4 – -2 -32 – -30	-3 -31	15	2	30		
-34 – -32 -64 – -62	-33 -61					
-68 – -64 -128 – -124	-66 -126	16	4	128		8
-136 – -128 -256 – -248	-132 -252					
-272 – -256 -512 – -496	-264 -504	16	8	256		9
-544 – -512 -1024 – -992	-528 -1008					
-1088 – -1024 -2048 – -1984	-1056 -2016	16	16	512		10
-2176 – -2048 -4096 – -3968	-2112 -4032					
		16	32	1024	11	
		16	64	2048	12	
		16	128	4096	13	

Tabela 2 – Intervalos da Lei μ

Valor de entrada	Saída do quantizador	Números de intervalos	Tamanho do intervalo	Total de intervalos	Número de segmentos
7903 – 8159	8031	16	256	4096	1
4063 – 4319	4191				
3935 – 4063	3999	16	128	2048	2
2015 – 2143	2079				
1951 – 2015	1983	16	64	1024	3
991 – 1055	1023				
959 – 991	975	16	32	512	4
479 – 511	495				
463 – 479	471	16	16	256	5
223 – 239	231				
215 – 223	219	16	8	128	6
95 – 103	99				
91 – 95	93	16	4	64	7
31 – 35	33				
29 – 31	30	15	2	30	8
1 – 3	2				
-1 – 1	0	1	2	2	
-3 – -1	-2	15	2	30	
-31 – -29	-30				
-35 – -31	-33	16	4	64	9
-95 – -91	-93				
-103 – -95	-99	16	8	128	10
-223 – -215	-219				
-239 – -223	-231	16	16	256	11
-479 – -463	-471				
-511 – -479	-495	16	32	512	12
-991 – -959	-975				
-1055 – -991	-1023	16	64	1024	13
-2015 – -1951	-1983				
-2143 – -2015	-2079	16	128	2048	14
-4063 – -3935	-3999				
-4319 – -4063	-4191	16	256	4096	15
-8159 – -7903	-8031				

Tabela 6 – Intervalos de quantização de quantizadores não-uniformes

Lei A	Lei μ
{-0.4063,-0.3934,-0.3805,-0.3676, -0.3547,-0.3418,-0.3289,-0.3160, -0.3031,-0.2902,-0.2773,-0.2644, -0.2515,-0.2386,-0.2257,-0.2128, -0.2032,-0.1967,-0.1903,-0.1838, -0.1774,-0.1709,-0.1645,-0.1580, -0.1516,-0.1451,-0.1387,-0.1322, -0.1258,-0.1193,-0.1129,-0.1064, -0.1016,-0.0984,-0.0951,-0.0919, -0.0887,-0.0855,-0.0822,-0.0790, -0.0758,-0.0726,-0.0693,-0.0661, -0.0629,-0.0597,-0.0564,-0.0532, -0.0508,-0.0492,-0.0476,-0.0460, -0.0443,-0.0427,-0.0411,-0.0395, -0.0379,-0.0363,-0.0347,-0.0331, -0.0314,-0.0298,-0.0282,-0.0266, -0.0254,-0.0246,-0.0238,-0.0230, -0.0222,-0.0214,-0.0206,-0.0198, -0.0189,-0.0181,-0.0173,-0.0165, -0.0157,-0.0149,-0.0141,-0.0133, -0.0127,-0.0123,-0.0119,-0.0115, -0.0111,-0.0107,-0.0103,-0.0099, -0.0095,-0.0091,-0.0087,-0.0083, -0.0079,-0.0075,-0.0071,-0.0067, -0.0063,-0.0061,-0.0059,-0.0057, -0.0055,-0.0053,-0.0051,-0.0049, -0.0047,-0.0045,-0.0043,-0.0041, -0.0039,-0.0037,-0.0035,-0.0033, -0.0031,-0.0029,-0.0027,-0.0025, -0.0023,-0.0021,-0.0019,-0.0017, -0.0015,-0.0013,-0.0011,-0.0009, -0.0007,-0.0005,-0.0003,-0.0001, 0.0001,0.0003,0.0005,0.0007,0.0009, 0.0011,0.0013,0.0015,0.0017,0.0019, 0.0021,0.0023,0.0025,0.0027,0.0029, 0.0031,0.0033,0.0035,0.0037,0.0039, 0.0041,0.0043,0.0045,0.0047,0.0049, 0.0051,0.0053,0.0055,0.0057,0.0059, 0.0061,0.0063,0.0067,0.0071,0.0075, 0.0079,0.0083,0.0087,0.0091,0.0095, 0.0099,0.0103,0.0107,0.0111,0.0115, 0.0119,0.0123,0.0127,0.0133,0.0141, 0.0149,0.0157,0.0165,0.0173,0.0181, 0.0189,0.0198,0.0206,0.0214,0.0222, 0.0230,0.0238,0.0246,0.0254,0.0266, 0.0282,0.0298,0.0314,0.0331,0.0347, 0.0363,0.0379,0.0395,0.0411,0.0427, 0.0443,0.0460,0.0476,0.0492,0.0508, 0.0532,0.0564,0.0597,0.0629,0.0661, 0.0693,0.0726,0.0758,0.0790,0.0822, 0.0855,0.0887,0.0919,0.0951,0.0984, 0.1016,0.1064,0.1129,0.1193,0.1258, 0.1322,0.1387,0.1451,0.1516,0.1580, 0.1645,0.1709,0.1774,0.1838,0.1903, 0.1967,0.2032,0.2128,0.2257,0.2386, 0.2515,0.2644,0.2773,0.2902,0.3031, 0.3160,0.3289,0.3418,0.3547,0.3676, 0.3805,0.3934,0.4063}	{-0.4063,-0.3933,-0.3804,-0.3674, -0.3545,-0.3415,-0.3286,-0.3156, -0.3027,-0.2897,-0.2768,-0.2638, -0.2509,-0.2379,-0.2250,-0.2120, -0.2023,-0.1958,-0.1894,-0.1829, -0.1764,-0.1699,-0.1635,-0.1570, -0.1505,-0.1440,-0.1376,-0.1311, -0.1246,-0.1181,-0.1117,-0.1052, -0.1003,-0.0971,-0.0938,-0.0906, -0.0874,-0.0841,-0.0809,-0.0777, -0.0744,-0.0712,-0.0679,-0.0647, -0.0615,-0.0582,-0.0550,-0.0518, -0.0493,-0.0477,-0.0461,-0.0445, -0.0429,-0.0412,-0.0396,-0.0380, -0.0364,-0.0348,-0.0331,-0.0315, -0.0299,-0.0283,-0.0267,-0.0250, -0.0238,-0.0230,-0.0222,-0.0214, -0.0206,-0.0198,-0.0190,-0.0182, -0.0174,-0.0165,-0.0157,-0.0149, -0.0141,-0.0133,-0.0125,-0.0117, -0.0111,-0.0107,-0.0103,-0.0099, -0.0095,-0.0091,-0.0087,-0.0082, -0.0078,-0.0074,-0.0070,-0.0066, -0.0062,-0.0058,-0.0054,-0.0050, -0.0047,-0.0045,-0.0043,-0.0041, -0.0039,-0.0037,-0.0035,-0.0033, -0.0031,-0.0029,-0.0027,-0.0025, -0.0023,-0.0021,-0.0019,-0.0017, -0.0015,-0.0014,-0.0013,-0.0012, -0.0011,-0.0010,-0.0009,-0.0008, -0.0007,-0.0006,-0.0005,-0.0004, -0.0003,-0.0002,-0.0001,0.0000, 0.0001,0.0002,0.0003,0.0004,0.0005, 0.0006,0.0007,0.0008,0.0009,0.0010, 0.0011,0.0012,0.0013,0.0014,0.0015, 0.0017,0.0019,0.0021,0.0023,0.0025, 0.0027,0.0029,0.0031,0.0033,0.0035, 0.0037,0.0039,0.0041,0.0043,0.0045, 0.0047,0.0050,0.0054,0.0058,0.0062, 0.0066,0.0070,0.0074,0.0078,0.0082, 0.0087,0.0091,0.0095,0.0099,0.0103, 0.0107,0.0111,0.0117,0.0125,0.0133, 0.0141,0.0149,0.0157,0.0165,0.0174, 0.0182,0.0190,0.0198,0.0206,0.0214, 0.0222,0.0230,0.0238,0.0250,0.0267, 0.0283,0.0299,0.0315,0.0331,0.0348, 0.0364,0.0380,0.0396,0.0412,0.0429, 0.0445,0.0461,0.0477,0.0493,0.0518, 0.0550,0.0582,0.0615,0.0647,0.0679, 0.0712,0.0744,0.0777,0.0809,0.0841, 0.0874,0.0906,0.0938,0.0971,0.1003, 0.1052,0.1117,0.1181,0.1246,0.1311, 0.1376,0.1440,0.1505,0.1570,0.1635, 0.1699,0.1764,0.1829,0.1894,0.1958, 0.2023,0.2120,0.2250,0.2379,0.2509, 0.2638,0.2768,0.2897,0.3027,0.3156, 0.3286,0.3415,0.3545,0.3674,0.3804, 0.3933,0.4063}

Quantizador Uniforme tipo Mid-riser

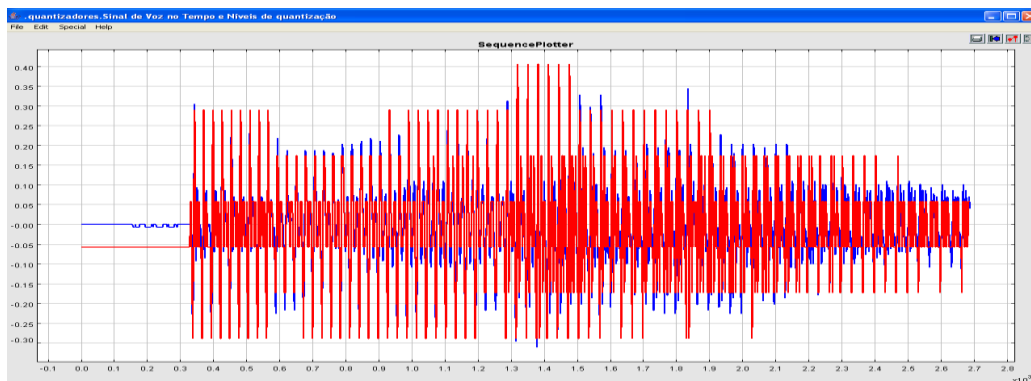


Figura 7a – Sinal de voz (azul) e Sinal quantizado (vermelho) tipo Mid-riser

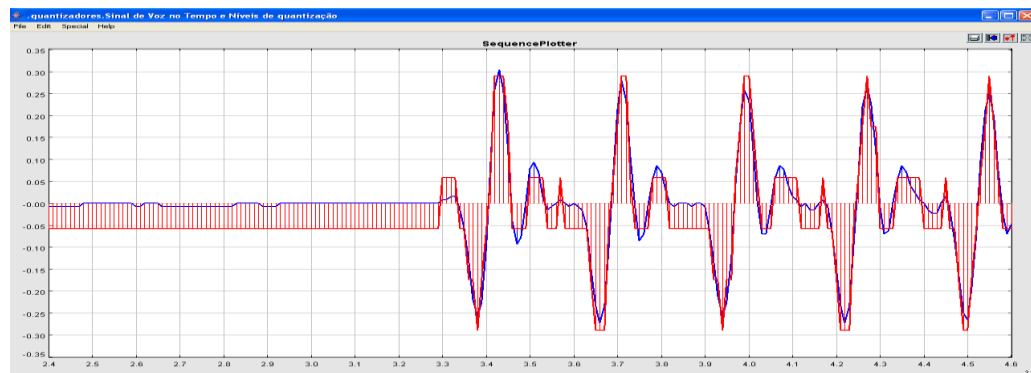


Figura 7b – Em detalhe – Sinal de voz e Sinal quantizado tipo Mid-riser

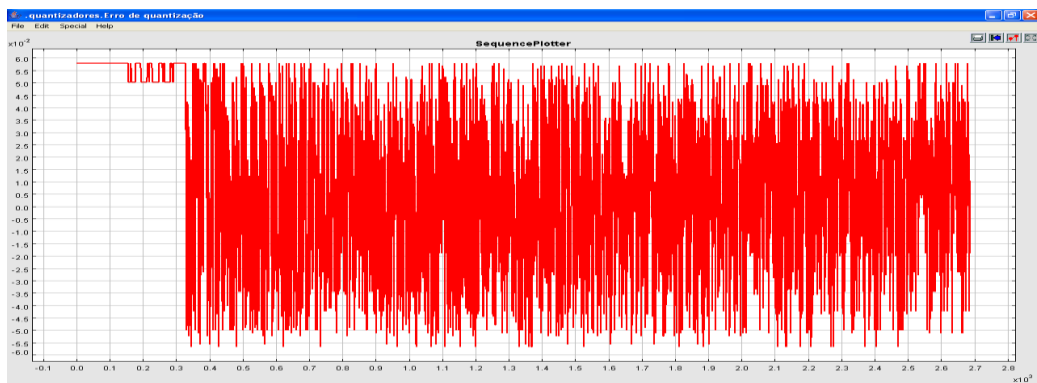


Figura 7c – Erro de quantização de Quantizador tipo Mid-riser



Figura 7d – Em detalhe – Erro de quantização de Quantizador tipo Mid-riser

Quantizador Uniforme tipo Mid-tread

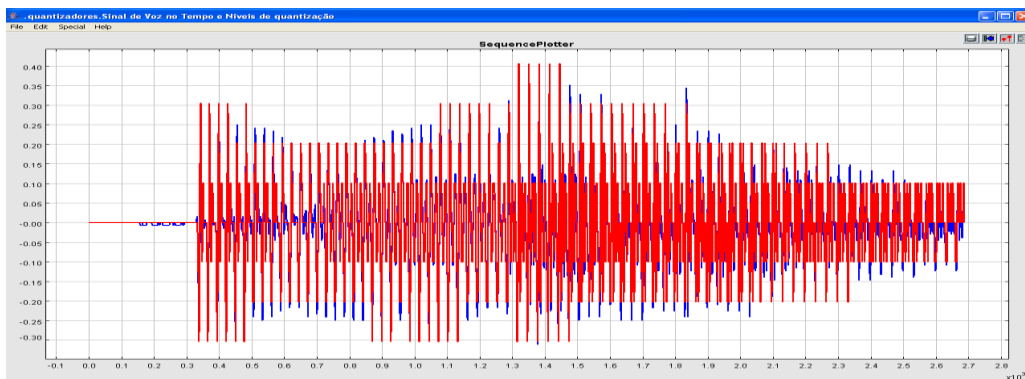


Figura 8a – Sinal de voz (azul) e Sinal quantizado (vermelho) tipo Mid-tread

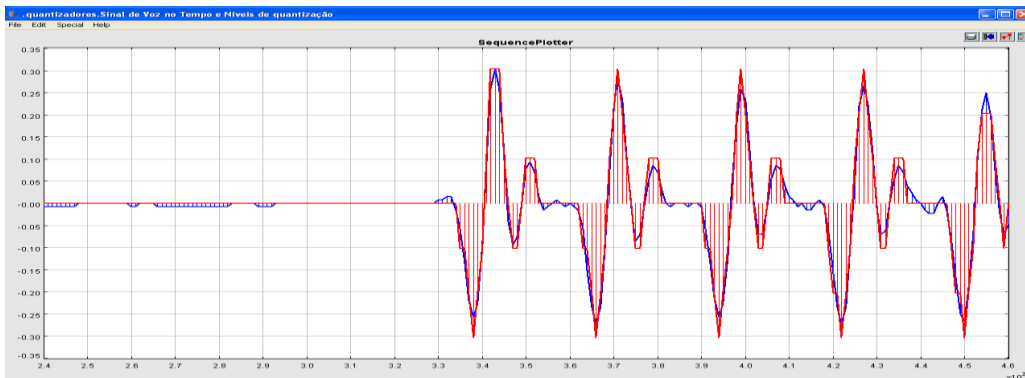


Figura 8b – Em detalhe – Sinal de voz e Sinal quantizado tipo Mid-tread

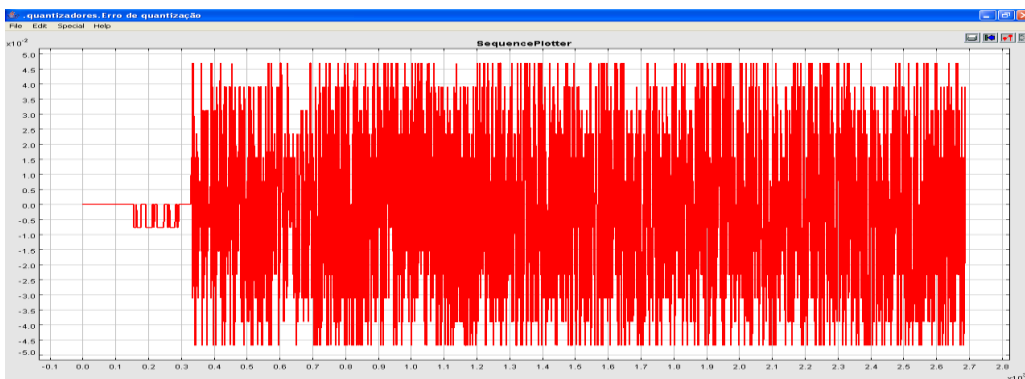


Figura 8c – Erro de quantização de Quantizador tipo Mid-tread

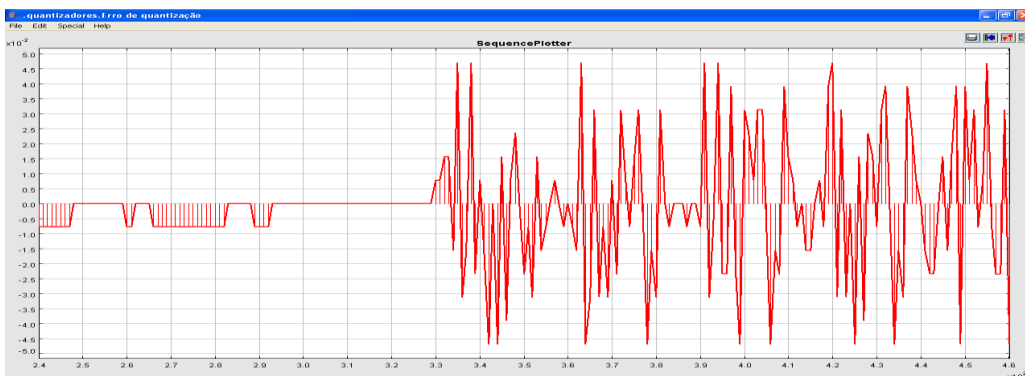


Figura 8d – Em detalhe – Erro de quantização de Quantizador tipo Mid-tread

Quantizador Uniforme 2 Bits

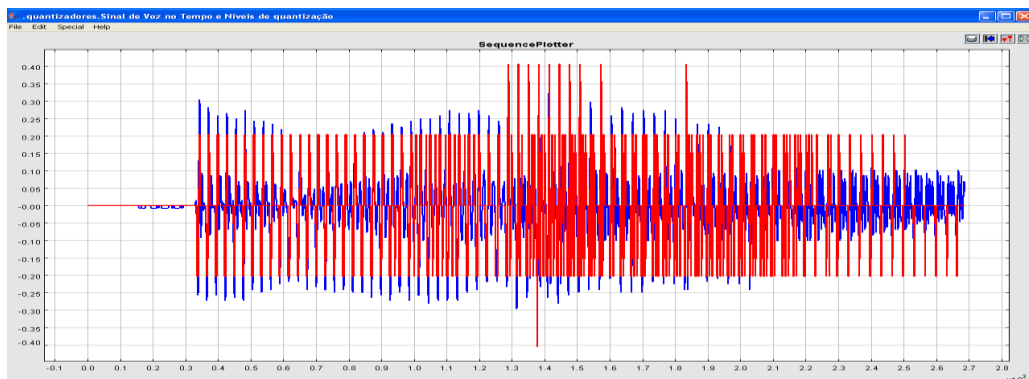


Figura 9a – Sinal de voz (azul) e Sinal quantizado (vermelho) do Quant. Unif. de 2 Bits

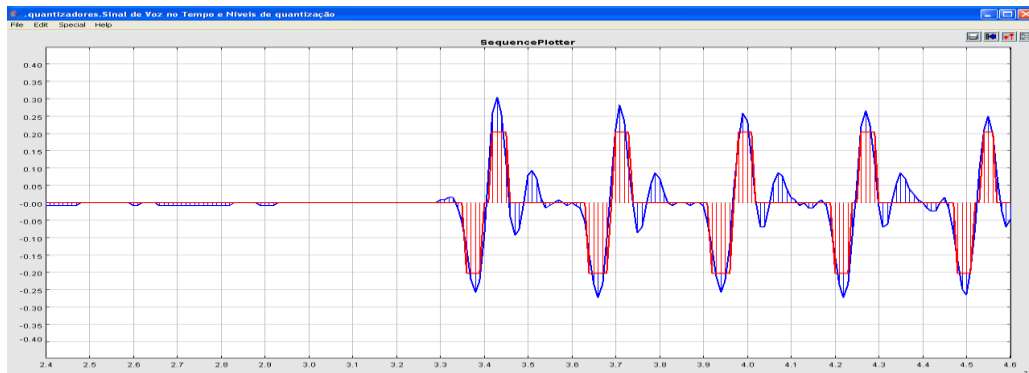


Figura 9b – Em detalhe – Sinal de voz e Sinal quantizado do Quant. Unif. de 2 Bits

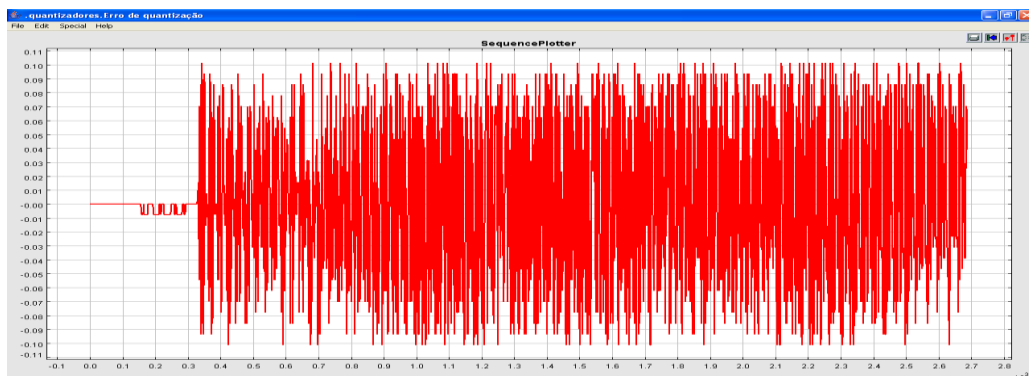


Figura 9c – Erro de quantização do Quant. Unif. de 2 Bits

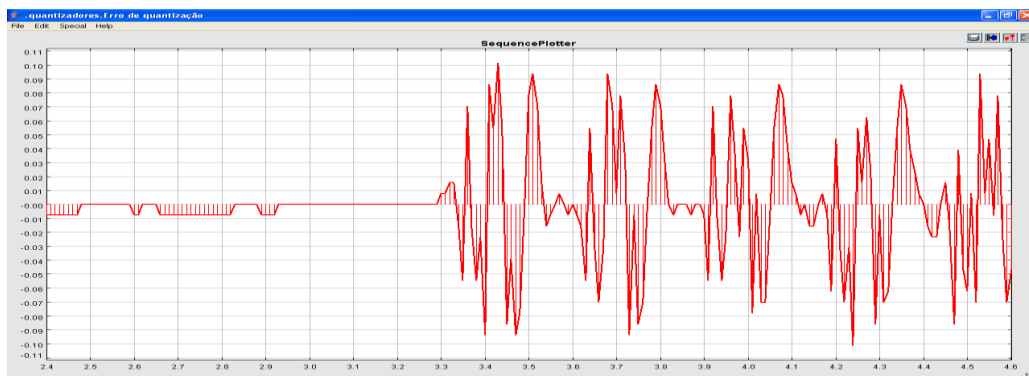


Figura 9d – Em detalhe – Erro de quantização do Quant. Unif. de 2 Bits

Quantizador Uniforme 8 Bits

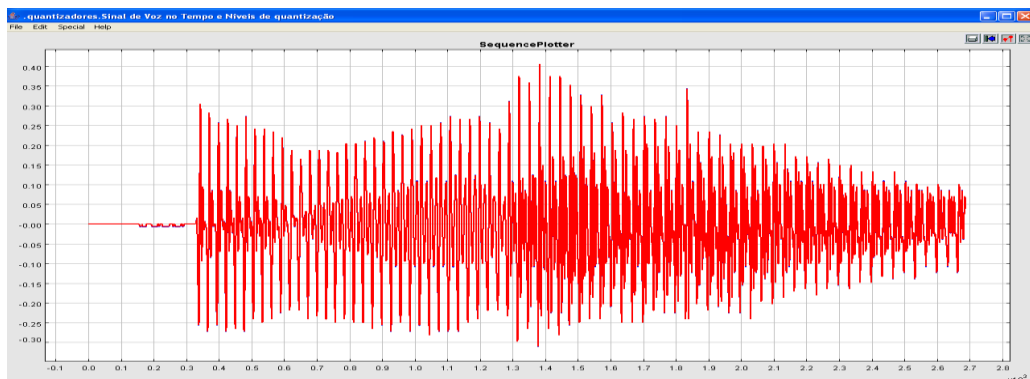


Figura 10a – Sinal de voz (azul) e Sinal quantizado (vermelho) do Quant. Unif. de 8 Bits

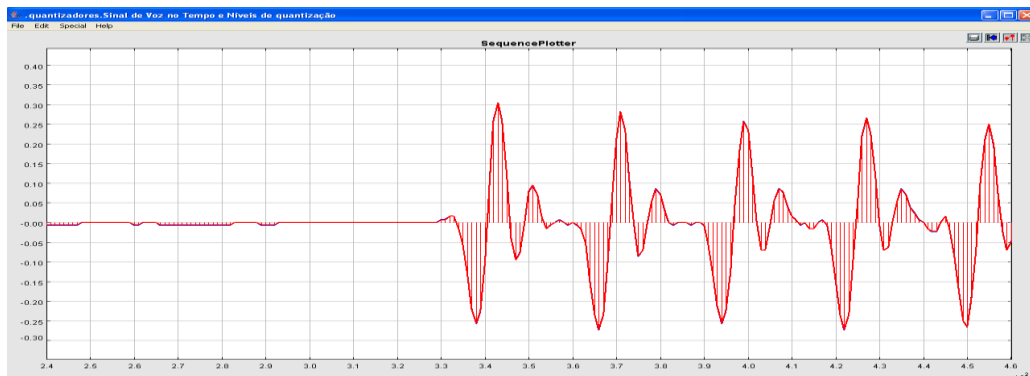


Figura 10b – Em detalhe – Sinal de voz e Sinal quantizado do Quant. Unif. de 8 Bits

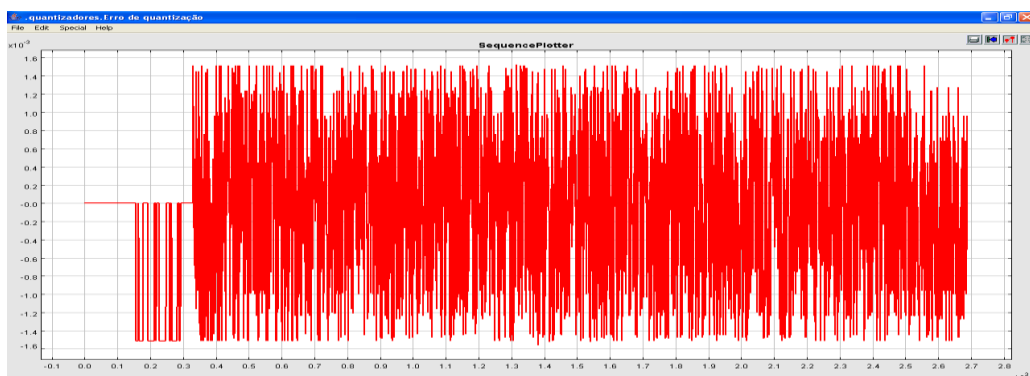


Figura 10c – Erro de quantização do Quant. Unif. de 8 Bits

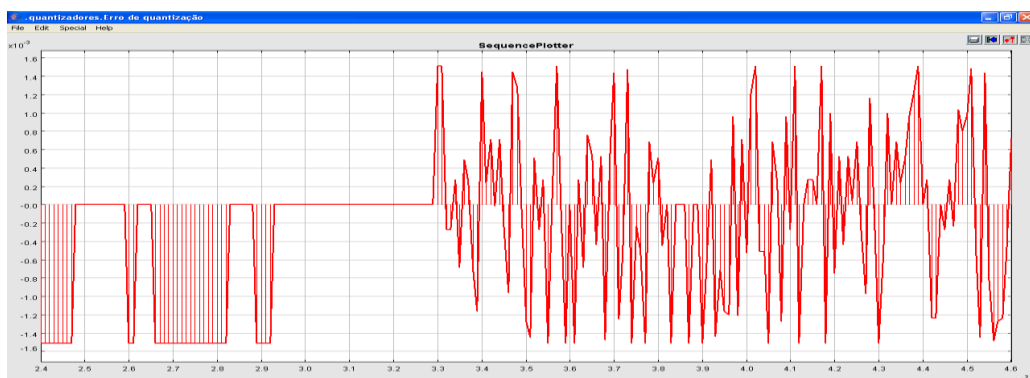


Figura 10d – Em detalhe – Erro de quantização do Quant. Unif. de 8 Bits

Quantizador Uniforme 13 Bits

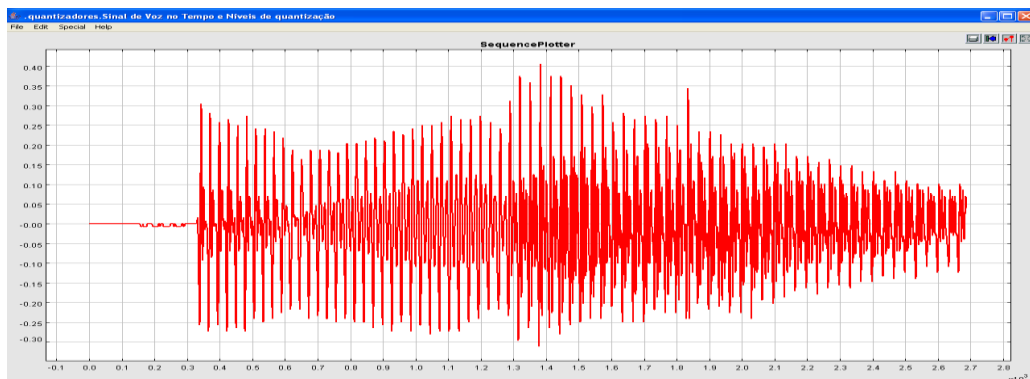


Figura 11a – Sinal de voz (azul) e Sinal quantizado (vermelho) do Quant. Unif. de 13 Bits

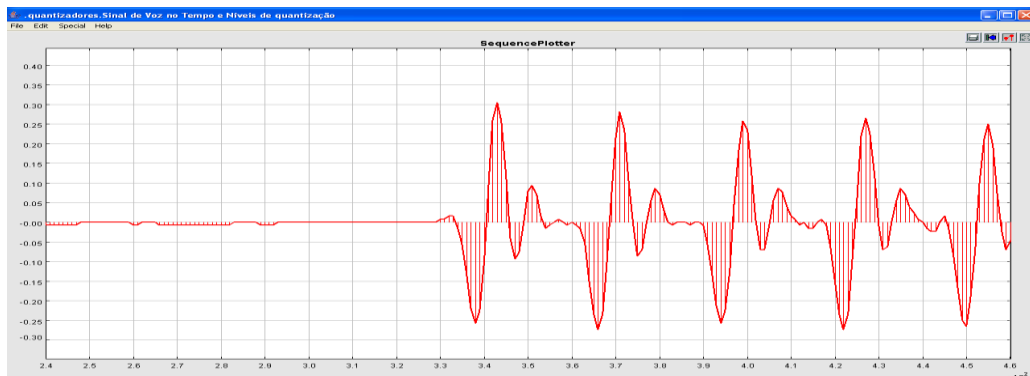


Figura 11b – Em detalhe – Sinal de voz e Sinal quantizado do Quant. Unif. de 13 Bits

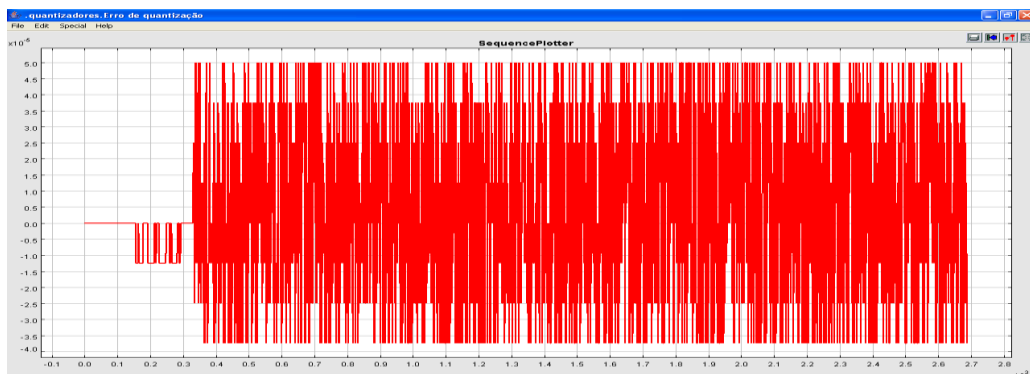


Figura 11c – Erro de quantização do Quant. Unif. de 13 Bits

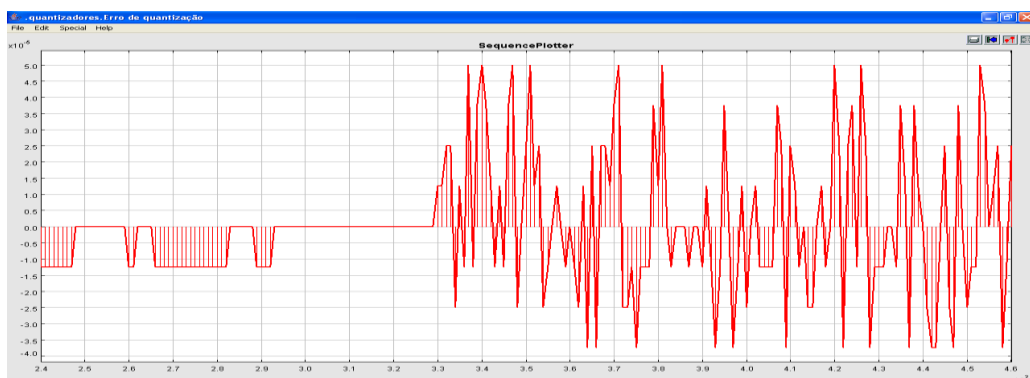


Figura 11d – Em detalhe – Erro de quantização do Quant. Unif. de 13 Bits

Quantizador Não-Uniforme com Lei A de compressão

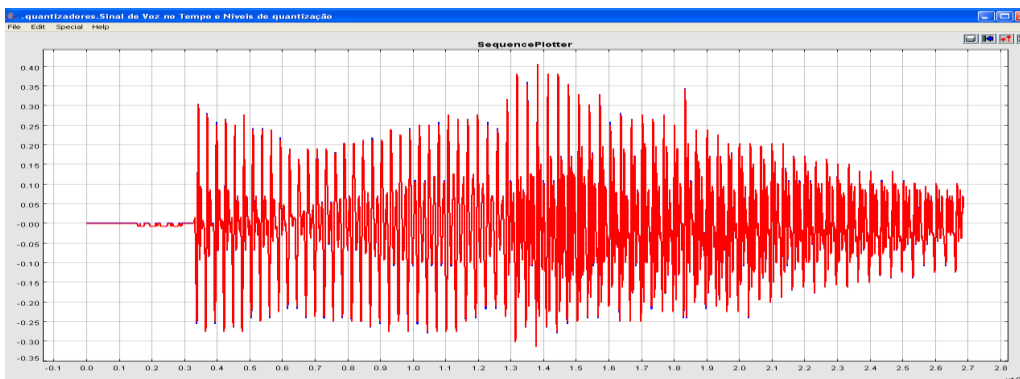


Figura 12a – Sinal de voz (azul) e Sinal quantizado (vermelho) com Lei A

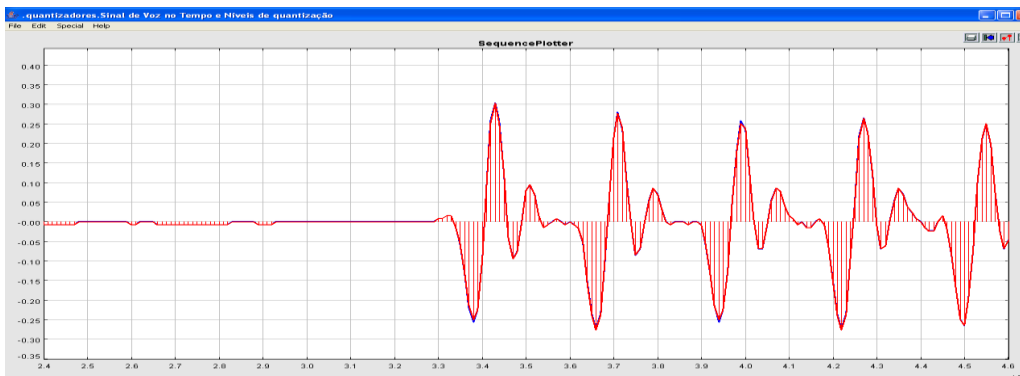


Figura 12b – Em detalhe – Sinal de voz e Sinal quantizado com Lei A

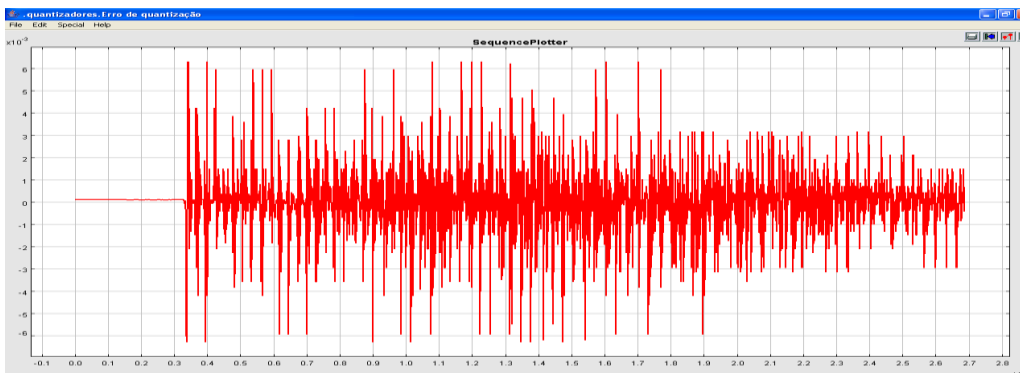


Figura 12c – Erro de quantização de Quantizador com Lei A

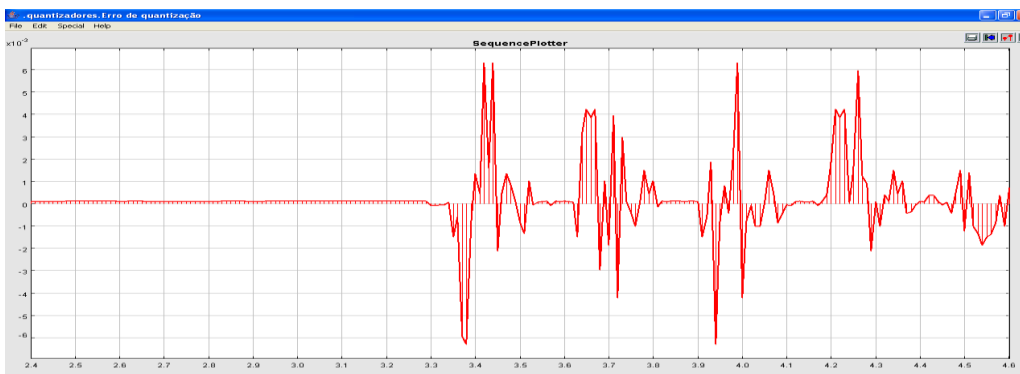


Figura 12d – Em detalhe – Erro de quantização de Quantizador com Lei A

Quantizador Não-Uniforme com Lei μ de compressão

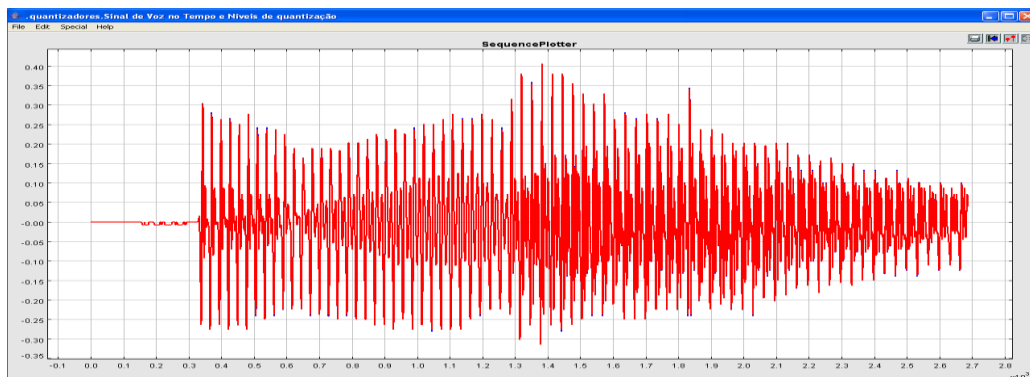


Figura 13a – Sinal de voz (azul) e Sinal quantizado (vermelho) com Lei μ

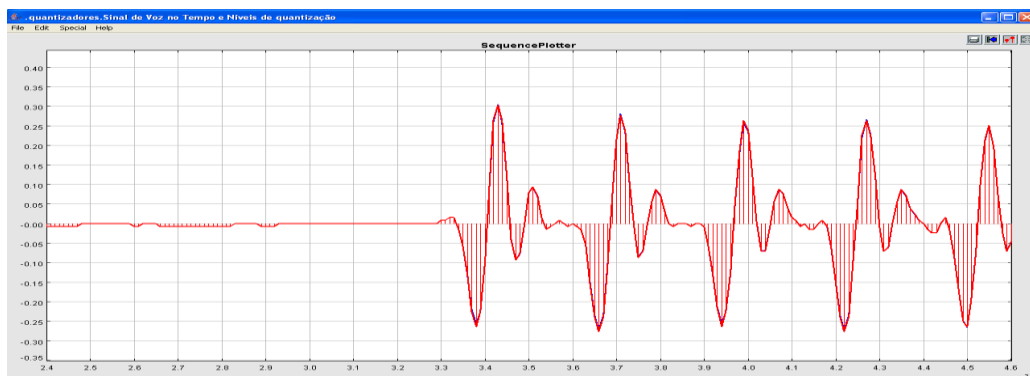


Figura 13b – Em detalhe – Sinal de voz e Sinal quantizado com Lei μ

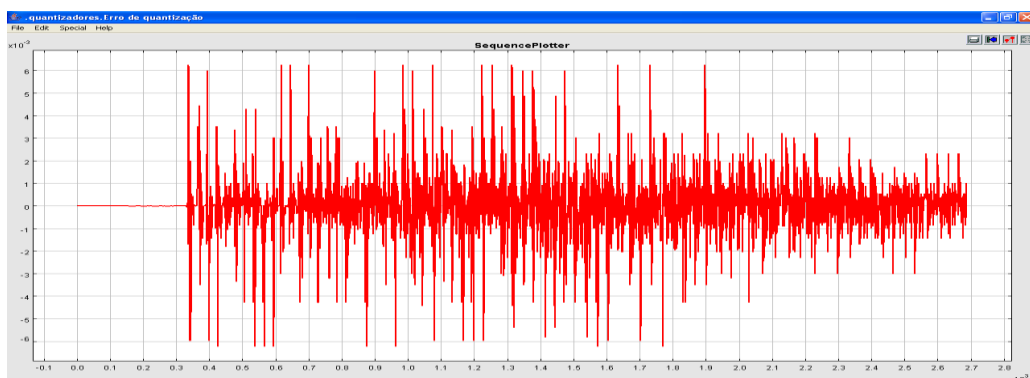


Figura 13c – Erro de quantização de Quantizador com Lei μ

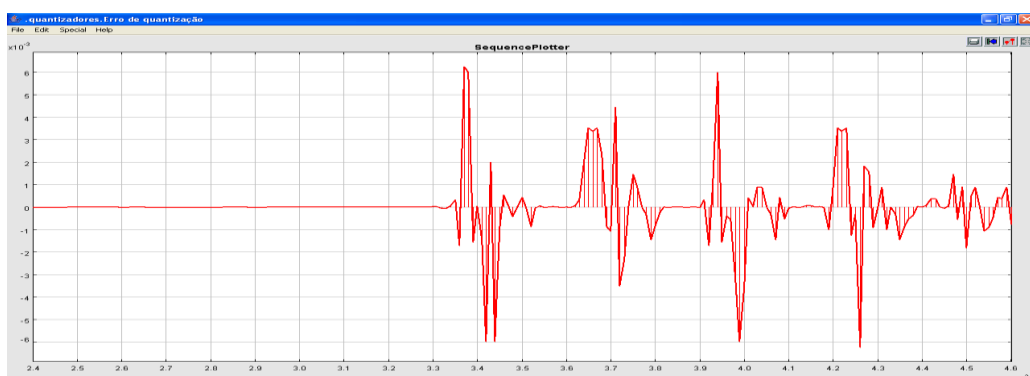


Figura 13d – Em detalhe – Erro de quantização de Quantizador com Lei μ

Apêndice A

```
%-----Programa para cálculo do valor do passo de quantização-----
%-----e dos níveis de quantização -----

clc,clear all,close all
disp('Cálculo do passo de quantização e dos níveis de quantização ');
A= input('Informe a amplitude máxima do sinal: ');
%-----Quantizador tipo mid-riser-----
%-----com passo de quantização uniforme-----
fprintf('\n\t\t\ttx-x-x\n\n');
disp('Quantização tipo mid-riser.');
```

disp('com passo de quantização distribuído uniformemente');

disp('Sabendo que este quantizador tem um número ímpar de intervalos de quantização.');

L=input('Informe número de intervalos de quantização: ');

x = zeros(1,L+1);

d=2*A/L;

for i = 1:L+1, x(i) = -A+d*(i-1); end

fprintf('Passo de quantização: %.4f\n',d);

disp('Distribuição dos níveis de saída: ');

disp(x);

n=log2(L);

fprintf('Número de bits para representar o sinal: %.f\n',n);

dlmwrite('mid_riser.txt', x,'precision', '%.4f')

%-----Quantizador tipo mid-tread-----

%-----com passo de quantização uniforme-----

fprintf('\n\t\t\ttx-x-x\n\n');

disp('Quantização tipo mid-tread');

disp('com passo de quantização distribuído uniformemente');

disp('Sabendo que este quantizador tem um número par de intervalos de quantização.');

L=input('Informe número de intervalos de quantização: ');

x = zeros(1,L+1);

d=2*A/L;

for i = 1:L+1, x(i) = -A+d*(i-1); end

fprintf('Passo de quantização: %.4f\n',d);

disp('Distribuição dos níveis de saída: ');

disp(x);

n=log2(L);

fprintf('Número de bits para representar o sinal: %.f\n',n);

dlmwrite('mid_tread.txt', x,'precision', '%.4f')

%-----Fim do Programa-----

Apêndice B

```
%-----Programa para cálculo do valor do passo de quantização-----  
-----e dos níveis de quantização -----  
  
clc,clear all,close all  
disp('Cálculo do passo de quantização e dos níveis de quantização ');  
A= input('Informe a amplitude máxima do sinal: ');  
%-----Lei Mi de compressão-----  
disp('Lei Mi de compressão.');
```

$n=13;$
 $p=A/2^n;$
disp('Passo de quantização para quantizador uniforme de 13 bits:');
fprintf('%.4e\n',p);

%Valores de entrada

%primeiro intervalo positivo

$a_1=1;a_2=31;$ % primeiro e último valores do intervalo
 $b=2;$ % tamanho do passo
 $c=(a_2-a_1)/b;$
for i = 1:c+1, x(i) = b*(i-1)+1; end

%segundo intervalo positivo

$a_1=31;a_2=95;$ % primeiro e último valores do intervalo
 $b=4;$ % tamanho do passo
 $c=(a_2-a_1)/b;$
 $d=length(x);$
for i = 1:c+1, x(i+d-1) = b*(i-1)+x(d); end

%terceiro intervalo positivo

$a_1=95;a_2=223;$ % primeiro e último valores do intervalo
 $b=8;$ % tamanho do passo
 $c=(a_2-a_1)/b;$
 $d=length(x);$
for i = 1:c+1, x(i+d-1) = b*(i-1)+x(d); end

%quarto intervalo positivo

$a_1=223;a_2=479;$ % primeiro e último valores do intervalo
 $b=16;$ % tamanho do passo
 $c=(a_2-a_1)/b;$
 $d=length(x);$
for i = 1:c+1, x(i+d-1) = b*(i-1)+x(d); end

%quinto intervalo positivo

$a_1=479;a_2=991;$ % primeiro e último valores do intervalo
 $b=32;$ % tamanho do passo

```

c=(a2-a1)/b;
d=length(x);
for i = 1:c+1, x(i+d-1) = b*(i-1)+x(d); end
%sexto intervalo positivo
a1=991;a2=2015; % primeiro e último valores do intervalo
b=64;           % tamanho do passo
c=(a2-a1)/b;
d=length(x);
for i = 1:c+1, x(i+d-1) = b*(i-1)+x(d); end
% sétimo intervalo positivo
a1=2015;a2=4063; % primeiro e último valores do intervalo
b=128;           % tamanho do passo
c=(a2-a1)/b;
d=length(x);
for i = 1:c+1, x(i+d-1) = b*(i-1)+x(d); end
%oitavo intervalo positivo
a1=4063;a2=8159; % primeiro e último valores do intervalo
b=256;           % tamanho do passo
c=(a2-a1)/b;
d=length(x);
for i = 1:c+1, x(i+d-1) = b*(i-1)+x(d); end
%intervalo negativo
x2=0;
d=length(x);
for i = 1:d, x2(i) =-x(d+1-i); end
d=length(x2);
for i=1:d, x2(i+d)=x(i); end
%Valores de saída
d=length(x2);
for i = 1:d-1, x(i) =[x2(i)+x2(i+1)]/2; end
p=x(d-1);
x=A*x/p;
d=length(x);
fprintf('Número de níveis: %d',d+1);
dlmwrite('lei_mi.txt', x,'precision','%.4f')
%-----Fim do Programa-----

```

Apêndice C

```
%-----Programa para cálculo do valor do passo de quantização-----  
-----e dos níveis de quantização -----  
  
clc,clear all,close all  
disp('Cálculo do passo de quantização e dos níveis de quantização ');  
A= input('Informe a amplitude máxima do sinal: ');  
%-----Lei A de compressão-----  
disp('Lei A de compressão.');n=13;  
p=2*A/2^n;  
disp('Passo de quantização para quantizador uniforme de 13 bits:');  
fprintf('%.4e\n',p);  
%Valores de entrada  
%primeiro intervalo positivo  
a1=0;a2=64;      % primeiro e último valores do intervalo  
b=2;             % tamanho do passo  
c=(a2-a1)/b;  
for i = 1:c+1, x(i) = b*(i-1); end  
%segundo intervalo positivo  
a1=64;a2=128;    % primeiro e último valores do intervalo  
b=4;             % tamanho do passo  
c=(a2-a1)/b;  
d=length(x);  
for i = 1:c+1, x(i+d-1) = b*(i-1)+x(d); end  
%terceiro intervalo positivo  
a1=128;a2=256;   % primeiro e último valores do intervalo  
b=8;             % tamanho do passo  
c=(a2-a1)/b;  
d=length(x);  
for i = 1:c+1, x(i+d-1) = b*(i-1)+x(d); end  
%quarto intervalo positivo  
a1=256;a2=512;   % primeiro e último valores do intervalo  
b=16;            % tamanho do passo  
c=(a2-a1)/b;  
d=length(x);  
for i = 1:c+1, x(i+d-1) = b*(i-1)+x(d); end  
%quinto intervalo positivo  
a1=512;a2=1024;  % primeiro e último valores do intervalo  
b=32;            % tamanho do passo
```

```

c=(a2-a1)/b;
d=length(x);
for i = 1:c+1, x(i+d-1) = b*(i-1)+x(d); end
%sexto intervalo positivo
a1=1024;a2=2048; % primeiro e último valores do intervalo
b=64;           % tamanho do passo
c=(a2-a1)/b;
d=length(x);
for i = 1:c+1, x(i+d-1) = b*(i-1)+x(d); end
% sétimo intervalo positivo
a1=2048;a2=4096; % primeiro e último valores do intervalo
b=128;          % tamanho do passo
c=(a2-a1)/b;
d=length(x);
for i = 1:c+1, x(i+d-1) = b*(i-1)+x(d); end
% intervalo negativo
x2=0;
d=length(x);
for i = 1:d-1, x2(i) = -x(d+1-i); end
d=length(x2);
for i=1:d+1, x2(i+d)=x(i); end
%Valores de saída
d=length(x2);
for i = 1:d-1, x(i) = [x2(i)+x2(i+1)]/2; end
p=x(d-1);
x=A*x/p;
d=length(x);
fprintf('Número de níveis: %d',d);
dlmwrite('lei_a.txt', x,'precision','%.4f')
%-----Fim do Programa-----

```