

# TP547 - Princípios de Simulação de Sistemas de Comunicação (2025/1)

## Relatório — Trabalho Final Parte II

- Professor: Dr. Samuel Baraldi Mafra.
- Estudante: Daniel Quiteque.
- Tema de abordagem: Amostragem e Quantização

Artigo Analisado:

"Quantization Noise Analysis of Rounding and Truncation Methods for Sinusoidal Signals"

Autores: Salim Ahmad, Imteyaz Ahmad | Conferência: IEEE BITCON 2024

### Resumo do Artigo

O artigo apresenta uma análise do ruído de quantização em sinais senoidais, considerando dois métodos de aproximação: truncamento e arredondamento. O ruído de quantização é um problema na conversão de um sinal analógico para digital, e o artigo em estudo, aborda estes dois métodos chamados Arredondamento (Rounding) e Truncamento (Truncation) para minimizar o erro durante o processo de digitalização. O estudo investiga o comportamento do SQNR (Signal to Quantization Noise Ratio) quando se variam os níveis de quantização de 3 a 16 bits.

Para taxas de quantização selecionadas, variando de 3 bits a 16 bits, o SQNR foi calculado utilizando a fórmula teórica, e então seguiram-se as simulações para determinar o SQNR usando os métodos de Truncamento e Arredondamento.

A metodologia envolveu tanto a implementação em Simulink quanto em Matlab Script, além de comparação com a fórmula teórica de SQNR:

$$SQNR_{teórico} = 1.76 + 6,02 * b$$

Onde:

*SQNR: Signal – to – Quantization Noise Ratio", ou Relação Sinal – Ruído de Quantização*

*b – é o número de bits utilizados no processo de quantização de um conversor ADC.*

O artigo pretende contribuir com a compreensão dos impactos práticos das diferentes abordagens de quantização sobre sinais senoidais, fornecendo dados úteis para aplicações em telecomunicações e processamento digital de sinais.

## 2. Análise Crítica

### 1. Análise da escrita

A estrutura geral é clara, com introdução, fundamentação, modelagem, análise dos resultados e conclusões. Porém contém algumas falhas observadas abaixo:

#### Na escrita:

- *Quantization noise is an problem...* em vez de:
- *"Quantization noise is a problem..."*

#### No uso incorreto de termos Técnicos:

- *"the SQNR error using the formula..."*. "SQNR error" - redundante, pois o termo em si, já representa uma relação sinal-ruído. Melhor seria escrever:
- *"the difference between the theoretical SQNR and the simulated SQNR..."*

#### Na coesão e clareza técnica:

A introdução discute quantização em contextos muito avançados (MIMO, sistemas de controle distribuído, compressão de imagens), mas o corpo do artigo trata apenas da quantização de uma senóide simples no domínio do tempo. Isso quebra a linha de pensamento de quem lê. Gera expectativas falsas.

#### Síntese da avaliação da escrita:

Critério	Avaliação
Redação	Prejudicada por erros gramaticais e sintaxe
Linguagem técnica	Algumas vezes imprecisa
Fluidez e naturalidade	Fraca, com sentenças mal formuladas
Adequação técnica do texto	Razoável, mas com termos mal aplicados

### 2. Contribuição relevante

O artigo analisado cumpre seu papel como uma introdução prática aos efeitos da quantização sobre sinais senoidais, especialmente para ambientes educacionais. A comparação entre truncamento e arredondamento é pertinente. Porém, a contribuição não é inovadora do ponto de vista científico, pois o tema — análise do ruído de quantização, é amplamente discutida na literatura. Maior relevância para a abordagem prática com a simulação.

### 3. Os equacionamentos

De forma limitada. O artigo apresenta apenas o equacionamento teórico clássico do SQNR, que é conhecido:

$$SQNR_{teórico} = 1.76 + 6,02 * b$$

Os métodos aplicados para a quantização, no caso, o cálculo de SQNR para truncamento e arredondamento, são apresentados em termos de pseudo código, mas não formulados matematicamente. Além disso, o pseudocódigo apresentou alguns erros de escrita de algumas variáveis para o Matlab.

Caso os autores incluíssem expressões fechadas para os erros específicos de cada método, seria mais relevante em para um artigo científico.

#### 4. Análise da contribuição dos resultados:

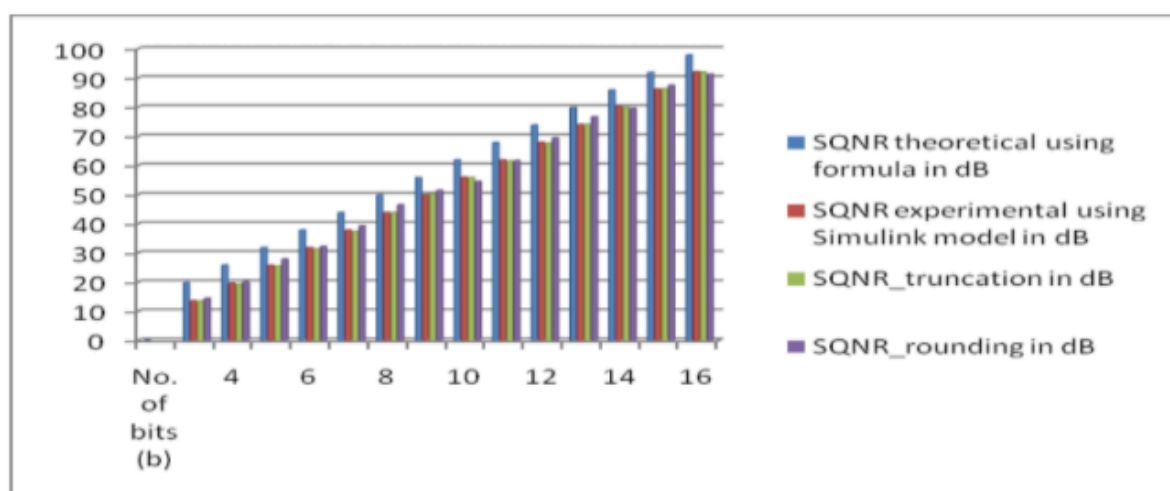
O artigo observa:

- Uma diferença de cerca de 1 dB entre o SQNR por truncamento e por arredondamento. Ou seja, partir de 10 bits, o truncamento gera resultados semelhantes ou aceitáveis, quando comparado ao arredondamento.
- O SQNR experimental (Simulink) se aproxima do resultado obtido com o truncamento.
- À medida que o número de bits aumenta, a precisão melhora.
- As afirmações sobre o comportamento relativo de truncamento, arredondamento e teoria estão corretas e compatíveis com os dados e gráficos.
- SQNR arredondamento > SQNR truncamento → OK
- Ambos estão abaixo do teórico → OK.
- O texto afirma que o SQNR obtido pelo Simulink é mais próximo do truncamento. Isso não é consistente em todos os casos, segundo os próprios dados da Tabela 1 e dos gráficos. Portanto, a análise apresentada no artigo faz sentido do ponto de vista técnico, embora a afirmação de que o truncamento se torna “melhor” deva ser interpretada com cautela.

#### Reprodução dos resultados:

Tabela 1. Resultados da simulação para cada nível de quantização no método de arredondamento e truncamento

Bits	SQNR Teórico (dB)	SQNR Arredondamento (dB)	SQNR Truncamento (dB)
3	19,82	19,24413967	12,46073287
4	25,84	25,67591078	19,13767292
5	31,86	31,8677336	25,49101233
6	37,88	37,94029469	31,66459071
7	43,9	43,97164921	37,8081592
8	49,92	49,78034915	43,92822455
9	55,94	55,42844143	50,03080645
10	61,96	61,77839001	55,99930403
11	67,98	68,20878864	61,90822805
12	74	74,06414578	68,04289786
13	80,02	80,05862503	74,01141152
14	86,04	86,00045517	80,0887409
15	92,06	92,03215508	86,07428971
16	98,08	97,85956161	92,08713382



**Figure 9.** plot between no. of bits and SQNR (formula), SQNR (experimental), SQNR (Truncation) and SQNR(Rounding)

Para a reprodução do resultado do artigo, recorremos ao pseudocódigo que ele apresenta, que inicialmente Teve alguns erros que são apresentados abaixo e que foram corrigidos:

1- Nome da variável step\_size: declarou como stepsize na linha de cálculo, mas depois usa step\_size nas linhas seguintes. Matlab diferencia maiúsculas de minúsculas, então isso gera erro.

2- Erro no cálculo do SQNR com truncamento: Foi usado errorfloor, que não existe. Foi corrigido para error\_trun.:  

$$(\text{sqnr\_trun}(j)=10*\log_{10}(\text{powersig}/\text{error\_trun}))$$

3- Intervalo de tempo está exagerado: Usar  $t = 0:1/500:4$  gera muitos ciclos da senóide. Isso não está errado, mas pode gerar um tempo de simulação maior do que o necessário. Bastaria um ou dois períodos para obter os mesmos resultados:

Código em matlab: [Código em Matlab](#)

O código em python foi gerado através do código do matlab.

Código em Python: [SQNR\\_Comparacao\\_metodos](#)

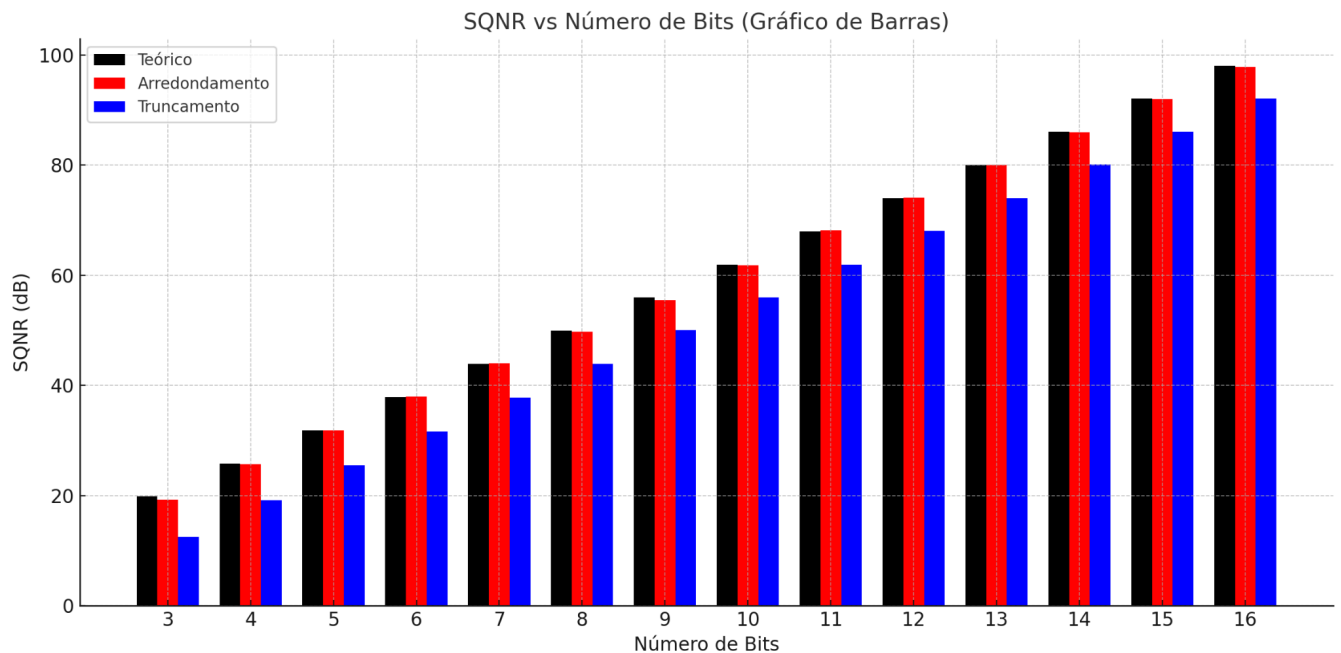


Figura 3. Gráfico entre o número de bits e SQNR (fórmula), SQNR (experimental), SQNR (truncamento) e SQNR (arredondamento)

## 5. Conclusões:

O artigo confirma corretamente:

- Crescimento do SQNR  $\approx 6$  dB por bit.
- Arredondamento gera SQNR  $\approx +1$  dB sobre o truncamento.
- Ambos estão abaixo do teórico (5~6 dB de diferença).

Observações específicas:

- 3 a 6 bits: Simulink  $\rightarrow$  Mais próximo do arredondamento.
- 7 a 9 bits: Simulink  $\rightarrow$  Entre truncamento e arredondamento.
- 10 a 16 bits: Simulink  $\rightarrow$  Levemente mais próximo do truncamento.

Inconsistência observada: Afirma que Simulink  $\approx$  Truncamento  $\rightarrow$  Não é sempre verdade.

### Conclusões:

- A proximidade entre Simulink, truncamento e arredondamento varia conforme o número de bits.

### Conclusão final:

- O artigo tem uma estrutura formal adequada, mas apresenta sérios problemas de redação, gramática e uso da linguagem técnica, provavelmente por conta de tradução direta ou por não ser escrito por nativos da língua inglesa.
- Está parcialmente bem escrito, mas exigiria uma revisão profissional para publicação em revistas de maior impacto.

### Sugestões de Melhorias Técnicas e Científicas

#### Melhorias de Redação, Clareza e Precisão

1- Revisão gramatical completa em inglês, corrigindo erros básicos como:

- Uso incorreto de artigos ("an problem"  $\rightarrow$  "a problem").
- Estruturas verbais incorretas.
- Uso inadequado de preposições e conectores.

2- Reescrever sentenças longas e mal estruturadas, tornando-as mais objetivas e técnicas, como:

*"Computer simulation to quantize on the sinusoidal input signal..."*  
*"The sinusoidal input signal was quantized using computer simulations."*

3- Adotar terminologia padronizada da área, evitando termos ambíguos como "SQNR error".

4- Reduzir repetições desnecessárias e simplificar descrições dos métodos e etapas.

#### Melhorias Científicas

- Incluir mais modelos matemáticos robusta dos erros de quantização:

- Relacionar os conceitos de quantização não apenas com a senoide, mas também com outros sinais comuns (sinais aleatórios, ruído branco, etc.).
- Explorar mais detalhadamente as distribuições estatísticas do erro de quantização.
- Incluir uma análise de quantização em sinais não determinísticos (por exemplo, ruído, voz ou sinais reais de telecomunicações).

### Melhoria na análise de análise dos Resultados

- Aplicar análise estatística dos dados simulados, incluindo:  
Desvio padrão do SQNR. | Discussão sobre variabilidade dos resultados.

Sugestões sumarizadas:

Área	Sugestões
Redação	Revisão gramatical, simplificação de sentenças, termos corretos
Teoria	Formalizar modelos de erro, discutir viés e distribuições
Metodologia	Analisar outros sinais, domínio da frequência, mais cenários
Resultados	Análise estatística, correção da interpretação sobre Simulink
Conclusões	Evitar generalizações, incluir limitações e sugerir trabalhos futuros