

UnB – UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FGA – FACULDADE GAMA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA

**AVALIAÇÃO DA CODIFICAÇÃO BIDIMENSIONAL DE SINAIS
ELETROMIOGRÁFICOS DE SUPERFÍCIE EM CONTRAÇÕES DINÂMICAS**

CARLOS HENRIQUE DA SILVA MENDONÇA
Orientador: Dr. MARCUS VINÍCIUS CHAFFIM COSTA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA

PUBLICAÇÃO: 085A/2018
BRASÍLIA/DF: MARÇO-2018



UnB - UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FGA - FACULDADE GAMA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
BIOMÉDICA

AVALIAÇÃO DA CODIFICAÇÃO BIDIMENSIONAL DE SINAIS
ELETROMIOGRÁFICOS DE SUPERFÍCIE EM CONTRAÇÕES
DINÂMICAS

CARLOS HENRIQUE DA SILVA MENDONÇA

ORIENTADOR: Dr. MARCUS VINÍCIUS CHAFFIM COSTA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA

PUBLICAÇÃO: 085A/2018

BRASÍLIA/DF: MARÇO – 2018

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE UNB GAMA
ENGENHARIA BIOMÉDICA**

**"AVALIAÇÃO DA CODIFICAÇÃO BIDIMENSIONAL DE SINAIS
ELETROMIOGRÁFICOS DE SUPERFÍCIE EM CONTRAÇÕES
DINÂMICAS"**

CARLOS HENRIQUE DA SILVA MENDONÇA

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À FACULDADE UNB GAMA DA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA BIOMÉDICA.**

APROVADA POR:



**PROF. DR. MARCUS VINICIUS CHAFFIM COSTA – FGA / UNB
(ORIENTADOR)**



**PROF. DR. MARCELINO MONTEIRO DE ANDRADE - FGA / UNB
(EXAMINADOR INTERNO)**



**PROF. DR. DIOGO CAETANO GARCIA – FGA / UNB
(EXAMINADOR EXTERNO)**

BRASÍLIA, 29 DE MARÇO DE 2018

BRASÍLIA/DF, 29 DE MARÇO DE 2018.

FICHA CATALOGRÁFICA

MENDONÇA, CARLOS HENRIQUE DA SILVA

Avaliação da Codificação Bidimensional de Sinais Eletromiográficos de Superfície em Contrações Dinâmicas, [Distrito Federal] 2018.

238p., 210 x 297 mm (FGA/UnB Gama, Mestre, Engenharia Biomédica, 2018).
Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília. Faculdade Gama. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica.

- | | |
|--|----------------------------------|
| 1. Compressão de sinais eletrofisiológicos | 2. Eletromiografia de superfície |
| 3. Contrações musculares dinâmicas | 4. HEVC |
| I. FGA UnB Gama/ UnB. | II. Título (série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MENDONÇA, C. H. M. (2018). MESTRE. Dissertação de Mestrado em Engenharia Biomédica, Publicação 085A/2018, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica, Faculdade Gama, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 238 páginas.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: CARLOS HENRIQUE DA SILVA MENDONÇA.

TÍTULO: Avaliação da Codificação Bidimensional de Sinais Eletromiográficos de Superfície em Contrações Dinâmicas.

GRAU: Mestre

ANO: 2018

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

2018

SHA Conjunto 05 Chácara 92 Lote 03 - Arniquireiras.
71995-335 Brasília, DF – Brasil.

DEDICATÓRIA

*Às minhas avós,
Gladys Freitas Mendonça
e Luzia Rodrigues dos Santos,
que deixaram muitas saudades.*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Carlos Alberto Freitas Mendonça e Loania Nunes da Silva Mendonça, por estarem sempre ao meu lado em todos os momentos. Aos meus irmãos Joyce Beatriz da Silva Mendonça, Marcos Felipe da Silva Mendonça, e Luiz Roberto de Holanda Mendonça, pelas palavras amigas de incentivo.

À minha namorada Larissa Cristina de Paula Reis por estar ao meu lado nos momentos mais difíceis.

Ao meu Professor e Orientador, Dr. Marcus Vinícius Chaffim Costa, por todos os ensinamentos, companheirismo e amizade. Foi quem realmente me mostrou o caminho e trilhou cada passo comigo.

À professora Dra. Marília Miranda Forte Gomes e o professor Dr. Gerardo Antônio Idrobo Pizo por todo o auxílio e incentivo.

À secretária do programa de pós-graduação, Denise Martins, pelos conselhos de grande valor. Ao meu supervisor e amigo Valter Costa de Oliveira (SG11/ ENE) e família.

À amiga Simone Bezerra Franco pelos momentos de companhia de estudo e ajuda nas dificuldades, ao colega Davi Benevides Gusmão que encontrou soluções que fizeram a diferença no desenvolvimento da pesquisa, grande Engenheiro.

Enfim, Ao Deus e Pai, Senhor Jesus Cristo, que nos observa, cuida e ama incondicionalmente. A Ele toda honra, glória e louvor.

RESUMO

AVALIAÇÃO DA CODIFICAÇÃO BIDIMENSIONAL DE SINAIS ELETROMIOGRÁFICOS DE SUPERFÍCIE EM CONTRAÇÕES DINÂMICAS

Autor: Carlos Henrique da Silva Mendonça

Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinícius Chaffim Costa

**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica – Dissertação de Mestrado
Brasília, 29 de março de 2018.**

O processamento digital de sinais tem diversas aplicações no âmbito da engenharia biomédica e é possível observar o grande avanço tecnológico resultante dos equipamentos digitais. Os sinais eletromiográficos são uma importante fonte de informação dos parâmetros biológicos, porém geram uma grande quantidade de dados quando digitalizados. Este trabalho apresenta a avaliação do resultado da compressão de três diferentes protocolos de exercícios dinâmicos por meio dos codificadores HEVC e JPEG2000. Métricas objetivas de avaliação são aplicadas na análise dos resultados, a Raiz Quadrática Média Percentual da Diferença e o Fator de Compressão ($PRD\% \times CF\%$). Em comparação entre codificadores, o HEVC possui uma melhor qualidade final em relação à distorção do sinal reconstruído ($PRD\%$). Observaram-se diferentes comportamentos dos codificadores quando aplicados diferentes protocolos e com diferentes janelas de amostragem temporal. Como resultado final, obtiveram-se resultados competitivos em comparação com as literaturas de referência da área.

Palavras-chave: Compressão de Sinais Eletrofisiológicos; Eletromiografia de superfície; Contrações Musculares Dinâmicas; Compressão de imagens, HEVC.

ABSTRACT

EVALUATION OF TWO-DIMENSIONAL CODING OF SURFACE ELECTROMYOGRAPHIC SIGNALS IN DYNAMIC CONTRACTIONS

Author: Carlos Henrique da Silva Mendonça

Supervisor: Prof. Dr. Marcus Vinícius Chaffim Costa

Graduate Program in Biomedical Engineering.

Brasília, March 29th, 2018.

Digital signal processing has several applications in biomedical engineering and it is possible to observe the great technological progress resulting from digital equipment. Electromyographic signals are an important source of information regarding biological parameters, but generate a large amount of data when digitized. This work presents the evaluation of the result of the compression of three different dynamic exercise protocols with the HEVC and JPEG2000 encoders. Objective evaluation metrics are applied in the analysis of the results, the Percentage Root Mean Difference and the Compression Factor (PRD% \times CF%). In a comparison between encoders, HEVC has a better final quality in relation to the reconstructed signal distortion (PRD%). Different behaviors of the coders were observed when different protocols were applied and with different temporal sampling windows. As a final result, competitive results were obtained in comparison to the reference literature of the area.

Key-words: Electrophysiological Signal Compression; Surface Electromyography; Dynamic Muscle Contractions; Image Compression; HEVC.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	20
1.2	OBJETIVOS.....	21
1.2.1	Objetivo geral.....	21
1.2.2	Objetivos específicos	22
1.2.3	Justificativa	22
1.3	REVISÃO DA LITERATURA	22
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	27
2	ELETROMIOGRAFIA DE SUPERFÍCIE (sEMG).....	28
2.1	FISIOLOGIA MUSCULAR E A GERAÇÃO DE SINAL EMG	28
2.2	DETECÇÃO DOS SINAIS ELETROMIOGRÁFICOS	30
3	COMPRESSÃO DE SINAIS.....	32
3.1	CODIFICAÇÃO DE HUFFMAN.....	34
3.2	CODIFICAÇÃO ARITMÉTICA	35
3.3	CODIFICAÇÃO POR TRANSFORMADAS	36
3.3.1	Transformada Discreta de Cossenos	37
3.3.2	Transformada Discreta de <i>Wavelet</i> (DWT)s	38
3.3.3	Wavelet Packets	41
3.4	CODIFICADOR HEVC.....	43
3.4.1	Modo Intra.....	44
3.4.2	CABAC.....	47
3.4.3	REXT	48
3.5	CODIFICADOR JPEG 2000	48
4	METODOLOGIA	52
4.1	BANCOS DE SINAIS de sEMG e codificadores 2D.....	52
4.2	MÉTRICAS DE COMPRESSÃO	52
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
6	CONCLUSÕES	65
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
	APÊNDICES	71
	APÊNDICE 1 – Sinais de sEMG do músculo vasto medial (Perspectiva 3D e Representação 2D)	72
	APÊNDICE 2 - Resultados da codificação com HEVC para os 3 Protocolos (Curvas PRD x CF e valor médio de PRD x CF).....	207
	APÊNDICE 3 – Resultados da codificação com HEVC para os 3 Protocolos (Tabelas do valor médio de PRD x CF para ponto de interesse).....	221
	APÊNDICE 4 - Resultados da codificação com JPEG2000 com janela temporal 8192 amostras para os 3 Protocolos (Curvas PRD x CF e valor médio de PRD x CF).....	224

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 - Valores de PRD (%) para os sinais adquiridos no Protocolo 1	59
Tabela 5.2 - Valores de PRD (%) para os sinais adquiridos no Protocolo 2	60
Tabela 5.3 - Valores de PRD (%) para os sinais adquiridos no Protocolo 3	61
Tabela 5.4 - Comparação da PRD(%)para o HEVC (Janela de 128 amostras)	62
Tabela 5.5 - Comparação da PRD(%)para o HEVC (Janela de 512 amostras)	62
Tabela 5.6 - Comparação da PRD(%) para o HEVC (Janela de 8192 amostras)	62
Tabela 5.7 - Comparação da PRD(%) para o JPEG2000 (Janela de 8192 amostras)	63
Tabela 5.8 - Comparativo da Avaliação de Desempenho da PRD(%) com a Literatura	64
Tabela 5.9 - Valores de PRD (%) para os sinais adquiridos no Protocolo 1 - HEVC (tabela 5.1 completa).....	221
Tabela 5.10 - Valores de PRD (%) para os sinais adquiridos no Protocolo 2 - HEVC (tabela 5.2 completa).....	222
Tabela 5.11 - Valores de PRD (%) para os sinais adquiridos no Protocolo 3 - HEVC (tabela 5.3 completa).....	223

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – (a) Potencial de Ação; (b) Somatório de MUAPTS (modificado - KONRAD, 2005 <i>apud</i> COSTA, 2014)	30
Figura 2- Posicionamento do sensor sEMG sobre o músculo (modificado - DE LUCA, 1997).....	31
Figura 3 - Processo de Compressão e Reconstrução de Arquivo (modificado - GONZALEZ e WOODS, 2010).....	33
Figura 4 - Árvore de Codificação Huffman	35
Figura 5 - Codificação Aritmética da mensagem "SINAIS" com probabilidade: $p(S) = 2/6$, $p(N) = 1/6$, $p(I) = 2/6$, $p(A) = 1/6$	36
Figura 6 – DCT aplicada para compressão e descompressão (modificado – COSTA <i>et al.</i> 2009B) .	38
Figura 7 - Banco de Filtros <i>Wavelet</i> - Análise e Síntese. (modificado – GONZALEZ e WOODS, 2010)	40
Figura 8 - Árvore de Decomposição <i>Wavelet</i>	40
Figura 9 – Espectro de Frequência da Decomposição <i>Wavelet</i>	41
Figura 10 - Banco de Filtros <i>Wavelet Packet</i> (modificado – GONZALEZ e WOODS, 2010)	42
Figura 11 – Espectro de Frequência da Árvore de <i>Wavelet Packets</i>	42
Figura 12 - Visão Geral do HEVC: Codificação e Decodificação. (modificado – SZE <i>at al.</i> , 2014)	44
Figura 13 - Modos de predição intra H.264/AVC para quadro 4x4 (modificado - SAYOOD, 2012)	45
Figura 14 - Modo intra do HEVC (modificado – DISSANAYAKE E ABEYRATHNA , 2015)	45
Figura 15 - Estrutura de árvore de codificação padrão HEVC (modificado – DISSANAYAKE E ABEYRATHNA, 2015)	46
Figura 16 - Diagrama de Blocos do CABAC (HEVC) (modificado – SZE E BUDAGAVI, 2013).....	47
Figura 17 - Diagrama de Blocos do JPEG 2000	49
Figura 18 - JPEG 2000 - pré-processamento e compressão (modificado - SKODRAS <i>et al.</i> , 2001)	50
Figura 19- Decomposição <i>Wavelet</i> (modificado - COSTA <i>et al.</i> , 2009B).....	50
Figura 20 - Comparação dos Codificadores JPEG2000 e H.264/AVC-intra (COSTA <i>et al.</i> , 2009B)	53
Figura 21- Curvas de PRD média x CF em função da janela temporal (HEVC) – Protocolo 1	59
Figura 22- Curvas de PRD média x CF em função da janela temporal (HEVC) – Protocolo 2	60
Figura 23- Curvas de PRD média x CF em função da janela temporal (HEVC) – Protocolo 3	61
Figura 24- Sinal 2 do Protocolo 1	72
Figura 25- Sinal “p1s2”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	72
Figura 26- Sinal “p1s2”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	73
Figura 27- Sinal “p1s2”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	73
Figura 28- Sinal “p1s2”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	74
Figura 29- Sinal “p1s2”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	74
Figura 30- Sinal “p1s2”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	75
Figura 31- Sinal “p1s2”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	75
Figura 32- Sinal “p1s2”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	76
Figura 33- Sinal “p1s2”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	76
Figura 34- Sinal 4 do Protocolo 1	77
Figura 35- Sinal “p1s4”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	77
Figura 36- Sinal “p1s4”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	78
Figura 37- Sinal “p1s4”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	78

Figura 38- Sinal “p1s4”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	79
Figura 39- Sinal “p1s4”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	79
Figura 40- Sinal “p1s4”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	80
Figura 41- Sinal “p1s4”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	80
Figura 42- Sinal “p1s4”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	81
Figura 43- Sinal “p1s4”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	81
Figura 44- Sinal 6 do Protocolo 1	82
Figura 45- Sinal “p1s6”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	82
Figura 46- Sinal “p1s6”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	83
Figura 47- Sinal “p1s6”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	83
Figura 48- Sinal “p1s6”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	84
Figura 49- Sinal “p1s6”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	84
Figura 50- Sinal “p1s6”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	85
Figura 51- Sinal “p1s6”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	85
Figura 52- Sinal “p1s6”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	86
Figura 53- Sinal “p1s6”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	86
Figura 54- Sinal 8 do Protocolo 1	87
Figura 55- Sinal “p1s8”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	87
Figura 56- Sinal “p1s8”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	88
Figura 57- Sinal “p1s8”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	88
Figura 58- Sinal “p1s8”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	89
Figura 59- Sinal “p1s8”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	89
Figura 60- Sinal “p1s8”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	90
Figura 61- Sinal “p1s8”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	90
Figura 62- Sinal “p1s8”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	91
Figura 63- Sinal “p1s8”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	91
Figura 64- Sinal 10 do Protocolo 1	92
Figura 65- Sinal “p1s10”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	92
Figura 66- Sinal “p1s10”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	93
Figura 67- Sinal “p1s10”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	93
Figura 68- Sinal “p1s10”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	94
Figura 69- Sinal “p1s10”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	94
Figura 70- Sinal “p1s10”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	95
Figura 71- Sinal “p1s10”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	95
Figura 72- Sinal “p1s10”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	96
Figura 73- Sinal “p1s10”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	96
Figura 74- Sinal 12 do Protocolo 1	97
Figura 75- Sinal “p1s12”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	97
Figura 76- Sinal “p1s12”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	98
Figura 77- Sinal “p1s12”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	98
Figura 78- Sinal “p1s12”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	99
Figura 79- Sinal “p1s12”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	99
Figura 80- Sinal “p1s12”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	100
Figura 81- Sinal “p1s12”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	100
Figura 82- Sinal “p1s12”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	101

Figura 83- Sinal “p1s12”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	101
Figura 84- Sinal 14 do Protocolo 1	102
Figura 85- Sinal “p1s14”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	102
Figura 86- Sinal “p1s14”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	103
Figura 87- Sinal “p1s14”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	103
Figura 88- Sinal “p1s14”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	104
Figura 89- Sinal “p1s14”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	104
Figura 90- Sinal “p1s14”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	105
Figura 91- Sinal “p1s14”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	105
Figura 92- Sinal “p1s14”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	106
Figura 93- Sinal “p1s14”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	106
Figura 94- Sinal 16 do Protocolo 1	107
Figura 95- Sinal “p1s16”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	107
Figura 96- Sinal “p1s16”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	108
Figura 97- Sinal “p1s16”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	108
Figura 98- Sinal “p1s16”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	109
Figura 99- Sinal “p1s16”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	109
Figura 100- Sinal “p1s16”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	110
Figura 101- Sinal “p1s16”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	110
Figura 102- Sinal “p1s16”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	111
Figura 103- Sinal “p1s16”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	111
Figura 104- Sinal 18 do Protocolo 1	112
Figura 105- Sinal “p1s18”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	112
Figura 106- Sinal “p1s18”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	113
Figura 107- Sinal “p1s18”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	113
Figura 108- Sinal “p1s18”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	114
Figura 109- Sinal “p1s18”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	114
Figura 110- Sinal “p1s18”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	115
Figura 111- Sinal “p1s18”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	115
Figura 112- Sinal “p1s18”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	116
Figura 113- Sinal “p1s18”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	116
Figura 114- Sinal 2 do Protocolo 2	117
Figura 115- Sinal “p2s2”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	117
Figura 116- Sinal “p2s2”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	118
Figura 117- Sinal “p2s2”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	118
Figura 118- Sinal “p2s2”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	119
Figura 119- Sinal “p2s2”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	119
Figura 120- Sinal “p2s2”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	120
Figura 121- Sinal “p2s2”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	120
Figura 122- Sinal “p2s2”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	121
Figura 123- Sinal “p2s2”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	121
Figura 124- Sinal 4 do Protocolo 2	122
Figura 125- Sinal “p2s4”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	122
Figura 126- Sinal “p2s4”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	123
Figura 127- Sinal “p2s4”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	123

Figura 128- Sinal “p2s4”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	124
Figura 129- Sinal “p2s4”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	124
Figura 130- Sinal “p2s4”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	125
Figura 131- Sinal “p2s4”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	125
Figura 132- Sinal “p2s4”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	126
Figura 133- Sinal “p2s4”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	126
Figura 134- Sinal 6 do Protocolo 2	127
Figura 135- Sinal “p2s6”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	127
Figura 136- Sinal “p2s6”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	128
Figura 137- Sinal “p2s6”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	128
Figura 138- Sinal “p2s6”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	129
Figura 139- Sinal “p2s6”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	129
Figura 140- Sinal “p2s6”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	130
Figura 141- Sinal “p2s6”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	130
Figura 142- Sinal “p2s6”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	131
Figura 143- Sinal “p2s6”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	131
Figura 144- Sinal 8 do Protocolo 2	132
Figura 145- Sinal “p2s8”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	132
Figura 146- Sinal “p2s8”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	133
Figura 147- Sinal “p2s8”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	133
Figura 148- Sinal “p2s8”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	134
Figura 149- Sinal “p2s8”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	134
Figura 150- Sinal “p2s8”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	135
Figura 151- Sinal “p2s8”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	135
Figura 152- Sinal “p2s8”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	136
Figura 153- Sinal “p2s8”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	136
Figura 154- Sinal 10 do Protocolo 2	137
Figura 155- Sinal “p2s10”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	137
Figura 156- Sinal “p2s10”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	138
Figura 157- Sinal “p2s10”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	138
Figura 158- Sinal “p2s10”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	139
Figura 159- Sinal “p2s10”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	139
Figura 160- Sinal “p2s10”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	140
Figura 161- Sinal “p2s10”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	140
Figura 162- Sinal “p2s10”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	141
Figura 163- Sinal “p2s10”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	141
Figura 164- Sinal 12 do Protocolo 2	142
Figura 165- Sinal “p2s12”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	142
Figura 166- Sinal “p2s12”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	143
Figura 167- Sinal “p2s12”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	143
Figura 168- Sinal “p2s12”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	144
Figura 169- Sinal “p2s12”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	144
Figura 170- Sinal “p2s12”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	145
Figura 171- Sinal “p2s12”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	145
Figura 172- Sinal “p2s12”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	146

Figura 173- Sinal “p2s12”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	146
Figura 174- Sinal 14 do Protocolo 2	147
Figura 175- Sinal “p2s14”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	147
Figura 176- Sinal “p2s14”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	148
Figura 177- Sinal “p2s14”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	148
Figura 178- Sinal “p2s14”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	149
Figura 179- Sinal “p2s14”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	149
Figura 180- Sinal “p2s14”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	150
Figura 181- Sinal “p2s14”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	150
Figura 182- Sinal “p2s14”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	151
Figura 183- Sinal “p2s14”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	151
Figura 184- Sinal 16 do Protocolo 2	152
Figura 185- Sinal “p2s16”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	152
Figura 186- Sinal “p2s16”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	153
Figura 187- Sinal “p2s16”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	153
Figura 188- Sinal “p2s16”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	154
Figura 189- Sinal “p2s16”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	154
Figura 190- Sinal “p2s16”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	155
Figura 191- Sinal “p2s16”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	155
Figura 192- Sinal “p2s16”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	156
Figura 193- Sinal “p2s16”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	156
Figura 194- Sinal 18 do Protocolo 2	157
Figura 195- Sinal “p2s18”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	157
Figura 196- Sinal “p2s18”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	158
Figura 197- Sinal “p2s18”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	158
Figura 198- Sinal “p2s18”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	159
Figura 199- Sinal “p2s18”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	159
Figura 200- Sinal “p2s18”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	160
Figura 201- Sinal “p2s18”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	160
Figura 202- Sinal “p2s18”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	161
Figura 203- Sinal “p2s18”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	161
Figura 204- Sinal 2 do Protocolo 3	162
Figura 205- Sinal “p3s2”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	162
Figura 206- Sinal “p3s2”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	163
Figura 207- Sinal “p3s2”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	163
Figura 208- Sinal “p3s2”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	164
Figura 209- Sinal “p3s2”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	164
Figura 210- Sinal “p3s2”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	165
Figura 211- Sinal “p3s2”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	165
Figura 212- Sinal “p3s2”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	166
Figura 213- Sinal “p3s2”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	166
Figura 214- Sinal 4 do Protocolo 3	167
Figura 215- Sinal “p3s4”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	167
Figura 216- Sinal “p3s4”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	168
Figura 217- Sinal “p3s4”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	168

Figura 218- Sinal “p3s4”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	169
Figura 219- Sinal “p3s4”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	169
Figura 220- Sinal “p3s4”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	170
Figura 221- Sinal “p3s4”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	170
Figura 222- Sinal “p3s4”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	171
Figura 223- Sinal “p3s4”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	171
Figura 224- Sinal 6 do Protocolo 3	172
Figura 225- Sinal “p3s6”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	172
Figura 226- Sinal “p3s6”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	173
Figura 227- Sinal “p3s6”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	173
Figura 228- Sinal “p3s6”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	174
Figura 229- Sinal “p3s6”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	174
Figura 230- Sinal “p3s6”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	175
Figura 231- Sinal “p3s6”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	175
Figura 232- Sinal “p3s6”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	176
Figura 233- Sinal “p3s6”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	176
Figura 234- Sinal 8 do Protocolo 3	177
Figura 235- Sinal “p3s8”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	177
Figura 236- Sinal “p3s8”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	178
Figura 237- Sinal “p3s8”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	178
Figura 238- Sinal “p3s8”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	179
Figura 239- Sinal “p3s8”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	179
Figura 240- Sinal “p3s8”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	180
Figura 241- Sinal “p3s8”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	180
Figura 242- Sinal “p3s8”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	181
Figura 243- Sinal “p3s8”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	181
Figura 244- Sinal 10 do Protocolo 3	182
Figura 245- Sinal “p3s10”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	182
Figura 246- Sinal “p3s10”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	183
Figura 247- Sinal “p3s10”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	183
Figura 248- Sinal “p3s10”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	184
Figura 249- Sinal “p3s10”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	184
Figura 250- Sinal “p3s10”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	185
Figura 251- Sinal “p3s10”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	185
Figura 252- Sinal “p3s10”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	186
Figura 253- Sinal “p3s10”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	186
Figura 254- Sinal 12 do Protocolo 3	187
Figura 255- Sinal “p3s12”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	187
Figura 256- Sinal “p3s12”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	188
Figura 257- Sinal “p3s12”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	188
Figura 258- Sinal “p3s12”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	189
Figura 259- Sinal “p3s12”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	189
Figura 260- Sinal “p3s12”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	190
Figura 261- Sinal “p3s12”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	190
Figura 262- Sinal “p3s12”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	191

Figura 263- Sinal “p3s12”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	191
Figura 264- Sinal 14 do Protocolo 3	192
Figura 265- Sinal “p3s14”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	192
Figura 266- Sinal “p3s14”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	193
Figura 267- Sinal “p3s14”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	193
Figura 268- Sinal “p3s14”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	194
Figura 269- Sinal “p3s14”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	194
Figura 270- Sinal “p3s14”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	195
Figura 271- Sinal “p3s14”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	195
Figura 272- Sinal “p3s14”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	196
Figura 273- Sinal “p3s14”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	196
Figura 274- Sinal 16 do Protocolo 3	197
Figura 275- Sinal “p3s16”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	197
Figura 276- Sinal “p3s16”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	198
Figura 277- Sinal “p3s16”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	198
Figura 278- Sinal “p3s16”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	199
Figura 279- Sinal “p3s16”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	199
Figura 280- Sinal “p3s16”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	200
Figura 281- Sinal “p3s16”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	200
Figura 282- Sinal “p3s16”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	201
Figura 283- Sinal “p3s16”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	201
Figura 284- Sinal 18 do Protocolo 3	202
Figura 285- Sinal “p3s18”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	202
Figura 286- Sinal “p3s18”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D	203
Figura 287- Sinal “p3s18”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	203
Figura 288- Sinal “p3s18”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	204
Figura 289- Sinal “p3s18”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	204
Figura 290- Sinal “p3s18”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	205
Figura 291- Sinal “p3s18”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	205
Figura 292- Sinal “p3s18”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	206
Figura 293- Sinal “p3s18”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D.....	206
Figura 294 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 1 – Janela 32 (HEVC).....	207
Figura 295 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 1 – Janela 64 (HEVC).....	208
Figura 296 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 1 – Janela 128 (HEVC).....	208
Figura 297 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 1 – Janela 256 (HEVC).....	208
Figura 298 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 1 – Janela 512 (HEVC).....	209
Figura 299 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 1 – Janela 1024 (HEVC).....	209
Figura 300 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 1 – Janela 2048 (HEVC).....	210
Figura 301 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 1 – Janela 4096 (HEVC).....	210
Figura 302 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 1 – Janela 8192 (HEVC).....	211
Figura 303 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 2 – Janela 32 (HEVC).....	211
Figura 304 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 2 – Janela 64 (HEVC).....	212
Figura 305 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 2 – Janela 128 (HEVC).....	212
Figura 306 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 2 – Janela 256 (HEVC).....	213
Figura 307 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 2 – Janela 512 (HEVC).....	213

Figura 308 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 2 – Janela 1024 (HEVC).....	214
Figura 309 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 2 – Janela 2048 (HEVC).....	214
Figura 310 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 2 – Janela 4096 (HEVC).....	215
Figura 311 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 2 – Janela 8192 (HEVC).....	215
Figura 312 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 3 – Janela 32 (HEVC).....	216
Figura 313 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 3 – Janela 64 (HEVC).....	216
Figura 314 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 3 – Janela 128 (HEVC).....	217
Figura 315 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 3 – Janela 256 (HEVC).....	217
Figura 316 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 3 – Janela 512 (HEVC).....	218
Figura 317 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 3 – Janela 1024 (HEVC).....	218
Figura 318 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 3 – Janela 2048 (HEVC).....	219
Figura 319 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 3 – Janela 4096 (HEVC).....	219
Figura 320 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 3 – Janela 8192 (HEVC).....	220
Figura 321 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 1 – Janela 8192– JPEG2000	224
Figura 322 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 2 – Janela 8192– JPEG2000	224
Figura 323 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 3 – Janela 8192– JPEG2000	225

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

ACELP – *Algebraic Code Excited Linear Prediction*

ASCII – *American Standard Code for Information Interchange* (Código Padrão Americano para o Intercâmbio de Informação)

ADPCM – *Adaptive Differential Pulse Code Modulation* (Modulação Diferencial Adaptativa por Códigos de Pulsos)

CABAC – *Context-adaptive Binary Arithmetic Coding* (Codificação Aritmética Binária Adaptativa ao Contexto)

CF – *Compression Factor* (Fator de Compressão)

CR – *Compression Ratio* (Razão de Compressão)

CTBs – *Coding Tree Blocks* (Bloco de Codificação em Árvore)

DCT – *Discrete Cosine Transform* (Transformada Discreta de Cossenos)

DWT – *Discrete Wavelet Transform* (Transformada Discreta de *Wavelets*)

DEP – Densidade Espectral da Potência (PSD – do inglês, *Power Spectral Density*)

DPB – *Decoded Picture Buffer* (Memória Temporária das Figuras Decodificadas)

EMG – *Electromyography* (Eletromiografia)

EZW – *Embedded Zero-Tree Wavelet* (*wavelet* ‘zero-tree’ embarcada)

FIR – *Finite Impulse Response* (Resposta Finita ao Impulso).

HDR – *High Dynamic Range*

HEVC – *High Efficiency Video Coding*

ICT – *Irreversible Component Transform* (Transformada Irreversível de Componentes)

IEEE – *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (Instituto dos Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos)

iEMG – *Intramuscular Electromyography* (Eletromiografia Intramuscular)

ITU – *International Telecommunications Union*

JPEG – *Joint Pictures Expert Group*

LPC – *Linear Predictive Coding* (Codificação Preditiva Linear)

MMP – *Multidimensional Multiscale Parser*

MU – *Motor Unit* (Unidade Motora)

MUAP – *Motor Unit Action Potential* (Potencial de Ação da Unidade Motora)

MUAPT – *Motor Unit Action Potential Train* (Trem de Potenciais de Ação da Unidade Motora)

NAL – *Network Abstraction Layer* (Camada de Abstração de Rede)

PRD – *Percentage Root Mean Difference* (Raiz Quadrática Média Percentual da Diferença)

PSNR – *Peak Signal-to-Noise Ratio* (Razão Sinal-Ruído de Pico)

RCT – *Reversible Component Transform* (Transformação Reversível de Componentes)

REXT – *Range Extensions* (Extensões de Alcance)

sEMG – *Surface Electromyography* (Eletromiografia de Superfície)

SNR – *Signal-to-Noise Ratio* (Razão Sinal-Ruído)

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

O desenvolvimento da tecnologia da informação aplicada à engenharia biomédica é de grande interesse para a evolução do conhecimento científico dentro da área da saúde. A quantidade de informação gerada com a utilização das várias técnicas de instrumentação eletrônica deve ser processada, armazenada e muitas vezes transmitida por diversos meios de comunicação. A eletromiografia de superfície (sEMG) é uma destas aplicações utilizadas na avaliação e diagnóstico de patologias musculares e possui uma amostragem na faixa entre 1kHz a 4kHz e uma média da quantização de 2 bytes por amostra (TRABUCO *et al.*, 2012).

A monitoração dos sinais eletromiográficos pode ser feita por longos períodos quando se deseja obter informações contínuas do comportamento de determinados músculos, e para transmitir esta grande quantidade de dados e recuperá-los em um momento oportuno, é necessário realizar a compressão por meio de diferentes métodos e técnicas (BERGER *et al.*, 2006). A utilização de sinais biomédicos na telemedicina exige qualidade e fidelidade na representação da mensagem reconstruída, sendo necessário sacrificar, algumas vezes, a taxa de compressão para obter melhores resultados (Costa, 2014).

Pode-se questionar o motivo da necessidade de comprimir os arquivos, ao invés de melhorar o sistema de transmissão dos dados. Há também investimentos focados para o desenvolvimento das telecomunicações, no entanto, a necessidade de transmissão e de armazenamento das informações cresce mais do que o desenvolvimento da tecnologia utilizada para este fim (SAYOOD, 2012). Portanto, é comum ocorrerem situações em que a quantidade de informação a ser transmitida é maior do que a capacidade do meio que a transmite.

Duas técnicas para detectar e captar os sinais eletromiográficos (EMG) são conhecidas: a intramuscular (iEMG, do inglês *Instramuscular Electromyography*), realizada com o eletrodo de agulha, e a superficial (sEMG, do Inglês *Surface Electromyography*), realizada sobre a pele por meio de eletrodos específicos. A técnica intramuscular fornece sinais mais precisos e uma avaliação mais localizada da geração dos sinais musculares; todavia, como é invasiva, causa dor e desconforto ao paciente. Por outro

lado, devido à facilidade da utilização dos eletrodos de superfície e como não há a necessidade de operadores com uma formação específica na área da saúde para a sua instalação, há a possibilidade de uma mais ampla aplicação desta abordagem, desde monitoramento de sinais vitais até análise de movimentos e a avaliação da fadiga muscular (MERLETTI e PARKER, 2004).

Diversas técnicas para compressão de sinais biomédicos têm sido propostas na literatura (NAÏT-ALI e CAVARO-MÉNARD, 2008). Os métodos de compressão de sinais podem ser classificados em duas classes principais: sem perdas (do inglês, *lossless compression*) e com perda (do inglês, *lossy compression*). Na compressão sem perdas, os dados descomprimidos apresentam-se matematicamente iguais aos dados originais, com taxas de compressão moderadas, ao passo que na compressão com perdas consegue-se expressivo aumento nas taxas de compressão ao se tolerar uma diferença limitada entre os dados originais e os recuperados (WOODS, 2011).

SAYOOD (2012) diz que o desenvolvimento de algoritmos para a compressão de diversos tipos de dados pode ser dividido em duas fases. A primeira fase é a modelagem, na qual é verificada a redundância dos dados e representada na forma de um modelo. A segunda fase é a codificação, na qual será desenvolvido o algoritmo para o modelo de acordo com cada tipo de dado.

Com essa apresentação da área científica e mostrando a importância da pesquisa na área de compressão de sinais biológicos para o desenvolvimento da engenharia biomédica, propõe-se avaliar se há diferença significativa do codificador HEVC (do inglês, *High Efficiency Video Coding*) e/ou do JPEG2000 aplicados a sinais de sEMG captados em aplicações com três protocolos em exercícios dinâmicos distintos. A pergunta científica busca responder se os determinados codificadores são eficazes para atuar com os diferentes protocolos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a influência de diferentes protocolos de esforços em atividades dinâmicas no resultado final do algoritmo de compressão dos sinais eletromiográficos de superfície.

1.2.2 Objetivos específicos

- Implementar a codificação bidimensional de sinais de sEMG de protocolos dinâmicos usando os codificadores de imagens HEVC-*intra* e JPEG 2000;
- Testar os codificadores mencionados para diferentes comprimentos de janela temporal de recorte;
- Avaliar o desempenho dos codificadores compressão em relação às métricas objetivas de taxa de compressão (especificamente, o fator de compressão, CF – do inglês, *Compression Factor*) e de distorção do sinal reconstruído, por meio da raiz quadrática média percentual da diferença (PRD – do inglês, *percentage root mean difference*);
- Comparar as curvas de PRD x CF para sinais de sEMG captados em três protocolos de esforços dinâmicos com as seguintes características:
 - (i) Potência crescente e velocidade constante;
 - (ii) Potência constante e velocidade crescente;
 - (iii) Potência constante e velocidade constante.

1.2.3 Justificativa

Este estudo visa à melhoria do desempenho de sistemas computacionais, aplicados à engenharia biomédica, através da identificação e estabelecimento de codificadores que comprimam efetivamente os sinais eletromiográficos, com fidelidade de reconstrução, de acordo com a especificidade do codificador aplicado à compressão do sinal, diferenciando o seu comportamento de acordo com o protocolo de captura para cada sinal.

1.3 REVISÃO DA LITERATURA

Com o desenvolvimento recente de sensores mais sensíveis e mais eficazes na captação de sinais eletromiográficos de superfície – sEMG– aumentou a demanda por melhores tecnologias de compressão destes sinais. Também com o aumento da demanda pela telemedicina, por meio da qual o médico pode atender aos seus pacientes em qualquer parte, até mesmo em tempo real, faz-se necessária à investigação dos diversos métodos aplicáveis à compressão destes sinais.

A pesquisa de NORRIS E LOVELY (1995) apresentou um método de redução da memória necessária para o armazenamento das informações obtidas na aquisição dos sinais de EMG por meio da Modulação Diferencial Adaptativa por Códigos de Pulsos (ADPCM, do inglês *Adaptative Differential Pulse Code Modulation*), na qual o tamanho da quantização é determinado pela correlação e análise de dados amostrais anteriores. Trata-se de um método de alta qualidade para compressão de sinais senoidais e que apresenta um nível baixo de distorção harmônica com boa qualidade na compressão de dados.

Corroborando a pesquisa de Norris, CHAN *et al.* (1998) demonstraram que o método de compressão ADPCM, técnica aplicada para a compressão de fala (telecomunicações), obtinha ótimos resultados de compressão para sinais eletromiográficos, tanto em contrações dinâmicas quanto estáticas. Observaram que, em aplicações práticas, o método pode quadruplicar a capacidade de armazenamento devido ao seu fator de compressão com a vantagem de produzir erros insignificantes.

GUERRERO e MAILHES (1997) desenvolveram estudos relacionados à compressão de sinais eletromiográficos, e apresentaram resultados tanto para EMG de agulha, quanto para EMG de superfície. Os autores compararam métodos de predição linear a outros baseados na Transformada Discreta de *wavelets* (DWT, do inglês *Discrete Wavelet Transform*). Os métodos foram comparados em relação à razão de compressão (*CR*, do inglês *Compression Ratio*) e à razão sinal-ruído (SNR, do inglês *Signal-to-Noise Ratio*), tendo como conclusão que o método por transformada de *wavelets* era superior aos demais avaliados.

Com a importância da aplicação prática da eletromiografia, WELLIG *et al.* (1998), apresentaram dois métodos de compressão com perdas baseados em *wavelets* para dados de EMG. Os algoritmos de compressão ‘*single tree*’ (ESW, do inglês *embedded single-tree wavelet*) e ‘*zero tree*’ (EZW, do inglês, *embedded zero-tree wavelet*), baseados nos coeficientes da DWT, apresentaram bons resultados em simulação. Ao aplicar modificações no segundo método, foi possível comprimir sinais de EMG com agilidade e com pouca distorção.

NORRIS *et al.* (2001) apresentaram uma investigação da compressão utilizando o algoritmo de compressão ‘*zero-tree*’, comparando o seu desempenho à compressão *wavelet* padrão. Concluíram que a escolha apropriada do algoritmo de compressão depende da

aplicação dos sinais mioelétricos. Os fatores de escolha detectados foram a relação de complexidade computacional e desempenho computacional dado pelo método EZW e a distorção do sinal após descompressão no método *wavelet* padrão.

Para aprofundar o conhecimento e compreender a capacidade do método EZW como técnica aplicada à compressão de sinais sEMG, NORRIS *et al.* (2003) analisaram importantes condições experimentais, diferenciando sinais de atividades dinâmicas ou estáticas, levando em consideração o grupo de músculos envolvidos na atividade e avaliando os parâmetros que afetavam o desempenho do algoritmo, como o comprimento das amostras e o tipo de *wavelet* aplicado.

Com o intuito de melhorar a eficiência da construção de bancos de sinais EMG, BERGER *et al.* (2003) estudaram e desenvolveram um algoritmo utilizando uma transformada ortogonal que apresentou o melhor desempenho, até aquele momento, na compressão de dados. A transformada discreta de *wavelets* usando diferentes números de níveis de decomposição foi experimentada e a *wavelet*-mãe Daubechies-4 obteve resultados de reconstrução melhores ao se decodificar os sinais.

Desenvolvendo o estudo para diminuir a quantidade de dados a serem armazenados, com enfoque na aplicação para a telemedicina, BERGER *et al.* (2006) propuseram um algoritmo utilizando a Transformada Discreta de *wavelets* (DWT) como decomposição espectral, utilizando também um esquema de alocação de bits que levava em consideração diferentes características do sinal EMG de superfície, o que chamaram de alocação inteligente. Foi obtido um melhor desempenho em comparação à transformada de *wavelets* padrão para sinais isométricos e melhor desempenho comparado ao algoritmo *wavelet* baseado em ‘*embedded zero-tree*’ em sinais isotônicos.

CAROTTI *et al.* (2006) utilizaram um algoritmo amplamente aplicado à codificação de sinais de fala aos sinais sEMG, mediante algumas adaptações. O algoritmo ACELP (do inglês, *Algebraic Code Excited Linear Prediction*) foi testado em sinais simulados e reais fazendo a comparação do erro quadrático médio e do erro percentual após reconstrução dos sinais com uma razão de compressão fixa. Foi verificado que a proposta de estudo dos autores poderia ser aplicada com eficácia para a compressão de sinais de sEMG.

A quantização vetorial foi aplicada à compressão de sinais EMG por GRONFORS *et al.* (2006). A ideia dos autores era de aplicar o conhecido método com perdas

para sistemas embarcados com baixo recurso de processamento que trabalhassem com bio-sinais, observando a importância da preservação dos parâmetros médicos necessários. Concluiu-se que o método era aplicável para a compressão de pequenos segmentos de sinais EMG.

Aplicando um algoritmo baseado no padrão JPEG2000 de codificação de imagens para a compressão de sinais EMG, COSTA *et al.* (2008) buscaram uma nova técnica com um *codec* utilizado para o processamento de imagens estáticas. A técnica havia sido aplicada para a compressão de sinais ECG em trabalhos anteriores. Os pesquisadores compararam o resultado da compressão de sinais isotônicos e isométricos utilizando o JPEG2000 aos resultados obtidos com algoritmos baseados na transformada de *wavelets*.

Um banco de filtros *wavelet* foi aplicado por PAIVA *et al.* (2008) para fins de otimização. Trata-se de uma técnica adaptativa aplicando ajustes aos filtros de forma a reduzir a distorção do sinal comprimido. Os resultados apresentados superaram o método *wavelet* padrão sem otimização de acordo com as métricas de avaliação, a saber, a raiz da diferença média percentual para um determinado fator de compressão.

COSTA *et al.* (2009A) apresentaram uma técnica para a compressão de sEMG bidimensional utilizando como pré-processamento o reordenamento por correlação (do inglês, *correlation sorting*). Os algoritmos JPEG2000 (imagens) e H.264/AVC (vídeos), amplamente conhecidos e utilizados no mercado foram aplicados na compressão de sinais sEMG isotônicos e isométricos com e sem o pré-processamento. Os autores fizeram a comparação do desempenho da técnica aplicada com as demais existentes na literatura e concluíram que o método é comparável ou até melhor do que outros algoritmos, além do que o pré-processamento proposto consegue melhoras significativas.

O trabalho de CHANASABAENG *et al.* (2012) desenvolveu algoritmos sem perdas adequados para aplicação em pequenos dispositivos embarcados utilizados para compressão de sinais de EMG. Nestes dispositivos é necessário que se reduza a quantidade de dados a serem armazenados, pois a sua capacidade de processamento é bem menor do que em computadores comuns. Diversos algoritmos foram testados, mas os baseados na codificação preditiva linear (LPC, do inglês *Linear Predictive Coding*) foram os que apresentaram o melhor resultado em sinais de EMG.

Com o tratamento em arranjos bidimensionais utilizados por métodos recentes de compressão de sinais de EMG, como se os sinais fossem imagens, ocorre uma perda da correlação entre os sinais caso sejam reformatados. MELO *et al.* (2012) utilizaram técnicas de pré-processamento com matrizes bidimensionais verificando a interdependência entre os segmentos com a classificação da diferença das porcentagens (do inglês, *percentage difference sorting*) e a classificação da complexidade relativa (do inglês, *relative complexity sorting*). Os autores aplicaram o pré-processamento e comprimiram sinais reais isométricos com o codificador JPEG2000, obtendo uma relação PRD x CF melhor do que os demais resultados apresentados na literatura até a divulgação do trabalho.

ITIKI *et al.* (2014) compararam métodos com perdas e sem perdas para a compressão de sinais captados em duas diferentes regiões do corpo humano, o músculo do trapézio e gastrocnêmio medial. Os autores fizeram notar que as fibras musculares do trapézio são paralelas à pele e seus componentes se propagam predominantemente nesta direção, as fibras do musculo gastrocnêmico medial apresentam um ângulo em relação à pele e seus componentes não são predominantes. Verificou-se que o método sem perdas apresentou uma melhoria de desempenho calculando a diferença dos sinais no tempo e a escolha de sinais que se propagam transversalmente melhorou a compressão com perdas dos sinais de sEMG.

TRABUCO *et al.* (2014) aplicaram em seu trabalho uma compressão por transformadas. Foi aplicada a transformada discreta de *wavelets* para realizar a decomposição espectral e descorrelacionar os componentes do sinal e um procedimento de alocação dinâmica de bits. Esta alocação é baseada em modelos matemáticos para alocação decrescente de bits dos coeficientes do espectro, buscando eficiência na codificação. Os coeficientes de alta energia são codificados com um maior número de bits, garantindo melhorias no processo de decodificação e precisão na reconstrução, pois estes transportam maior quantidade de informações. Diferentes métodos de alocação de bits foram aplicados a sinais dinâmicos e isométricos e observou-se que o método combinado à quantização dos coeficientes da *wavelet* e a codificação aritmética obtiveram resultados promissores.

A utilização de sinais de sEMG bidimensionais tem sido aplicada com êxito nas pesquisas. MELO *et al.* (2016), aplicaram codificadores de imagem e vídeo às imagens geradas pelos sinais unidimensionais captados. Adotaram pré-processamentos com a técnica de segmentação por similaridade (SbS, do inglês *Segmentation by Similarity*) e

implementaram adaptações no algoritmo analisador multidimensional multiescalar (MMP, do inglês *Multidimensional Multiscale Parser*), aumentando a eficiência no tratamento das redundâncias dos sinais de EMG. Os codificadores utilizados na compressão de sinais isométricos e dinâmicos foram o HEVC (do inglês, *High Efficiency Video Coding*), o H.264/AVC e o JPEG2000. Os experimentos foram desenvolvidos com sinais sEMG reais obtidos em laboratório com protocolo baseado em um cicloergômetro utilizando um dinamômetro isocinético e sensores no músculo vasto lateral.

Bons resultados foram obtidos utilizando a compressão HEVC e H.264/AVC aplicados aos sinais dinâmicos combinados às técnicas de pré-processamento (MELO *et al.*, 2016). Segundo a pesquisa, foram obtidos resultados com desempenho considerados o estado da arte e competitivos em vários aspectos.

TRABUCO *et al.* (2017) propuseram técnicas 1D e 2D que apresentaram altas taxas de compressão em relação aos codificadores antecessores. No caso 2D, foi utilizado o HEVC, um codificador comercial aplicável a diversas plataformas. Nos sinais 1D foi aplicado um codificador de entropia com o objetivo de diminuir as redundâncias dos coeficientes da DWT quantizados. Para a abordagem 2D, os sinais foram segmentados e ajustados de maneira a ter uma representação bidimensional, como uma matriz. O codificador HEVC foi utilizado com uma palavra digital de 16 bits de comprimento, aplicando o modo de predição intra para a codificação de bancos de sinais reais de sEMG de protocolos dinâmicos e isométricos.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este primeiro capítulo contextualiza e formula o problema de pesquisa e traz a revisão dos trabalhos encontrados na literatura. O capítulo 2 traz conceitos e aplicações da eletromiografia de superfície. O capítulo 3 explana sobre os métodos de codificação de sinais com uma visão voltada para a compressão de sinais bidimensionais dinâmicos. A definição de codificação com e sem perdas é apresentada, além de métodos baseados em transformadas discretas. A metodologia aplicada e desenvolvida neste trabalho é apresentada no capítulo 4. Em seguida, no capítulo 5 são apresentados os resultados obtidos e sua discussão. Por fim, o capítulo 6 aborda as conclusões do trabalho.

2 ELETROMIOGRAFIA DE SUPERFÍCIE (sEMG)

Este capítulo aborda temas essenciais a respeito da geração e captação de sinais de Eletromiografia de Superfície (sEMG).

2.1 FISILOGIA MUSCULAR E A GERAÇÃO DE SINAL EMG

Pode-se dizer que o movimento ordenado das cargas elétricas, ou seja, a corrente elétrica é responsável pelos movimentos voluntários e involuntários de órgãos e membros do corpo humano. Trata-se de uma estrutura extremamente complexa de comunicação do cérebro com vários sistemas existentes com inúmeros tipos de sensores e atuadores, prontos a responderem aos menores estímulos, sejam internos ou externos ao corpo (STANFIELD, 2013).

Grande parte do desenvolvimento do estudo da eletricidade está relacionado à observação da contração muscular quando aplicada uma corrente elétrica. Cientistas renomados como Francesco Redi, Leonardo da Vinci, Luigi Galvani e Alessandro Volta estudaram a relação da contração muscular e a eletricidade (BASMAJIAN e DE LUCA, 1985). Galvani, no início de 1790, desenvolveu uma série de estudos que demonstrava o comportamento muscular ao se aplicar descargas de eletricidade estática, enquanto Volta desenvolveu ferramentas para gerar eletricidade e estimular os músculos (GALVANI e GREEN, 1953; VOLTA, 1792).

Em 1838, o físico italiano Carlo Matteucci provou a relação utilizando um galvanômetro para demonstrar o potencial elétrico existente no músculo de um sapo (BASMAJIAN e DE LUCA, 1985). Du Bois-Reymond (1849), por meio de um experimento em si próprio, verificou a existência de atividade elétrica na musculatura humana durante a contração voluntária.

Ao longo do século vinte diversos estudos foram desenvolvidos mensurando a energia do recrutamento das fibras musculares durante a contração e também a observação do comportamento muscular por meio do osciloscópio de raios catódicos, levando dois cientistas, Gasser e Newcomer, a ganharem o prêmio Nobel em 1944 por suas descobertas (CRISWELL, 2011).

Basmajian, considerado o pai da eletromiografia de superfície, apresentou técnicas de captura dos sinais durante seu estudo de treinamento e resposta muscular, o que possibilitava o monitoramento de cada unidade motora (BASMAJIAN, 1963). A aplicação destas técnicas foi imediata e rapidamente desenvolvida como um novo conhecimento científico aplicável no tratamento de doenças musculares (CRISWELL, 2011).

O corpo humano opera como um sistema complexo com um elemento de controle central localizado no cérebro: O Sistema Nervoso Central (SNC), que envia o comando de movimentos musculares voluntários e involuntários para todos os músculos e órgãos. Há uma organização hierárquica do sistema nervoso central. O início da ação de movimento muscular está no córtex pré-motor, nas áreas motoras suplementares e outras áreas associadas ao córtex. Sinais elétricos vão do cerebelo para o gânglio basal, convergem para o córtex motor primário e excitam ou inibem os seus vários neurônios. As unidades motoras (MU, do inglês *Motor Unit*) são nervo-motores na medula espinhal que comandam a contração e relaxamento da fibra muscular. Um determinado musculo é composto por várias fibras musculares (MERLETTI e PARKER, 2004).

Cada músculo tem um grande conjunto de unidades motoras, e a excitação de todas as fibras cria uma propagação eletro-muscular conhecida como ação potencial da unidade motora (MUAP, do inglês *Motor Unit Action Potential*). Trata-se da somatória de todos os sinais elétricos gerado em cada unidade motora, o que resulta em um sinal resultante final (BASMAJIAN e DE LUCA, 1985).

O somatório de todos os sinais mioelétricos aleatórios gerados pelas fibras entremeadas durante a contração e relaxamento muscular é conhecido como trem de potenciais da ação da unidade motora (MUAPT, do inglês *Motor Unit Action Potential Train*) (MERLETTI e PARKER, 2004). Este processo da ação potencial de excitação de várias unidades motoras e o seu somatório é exemplificado na Fig.1.

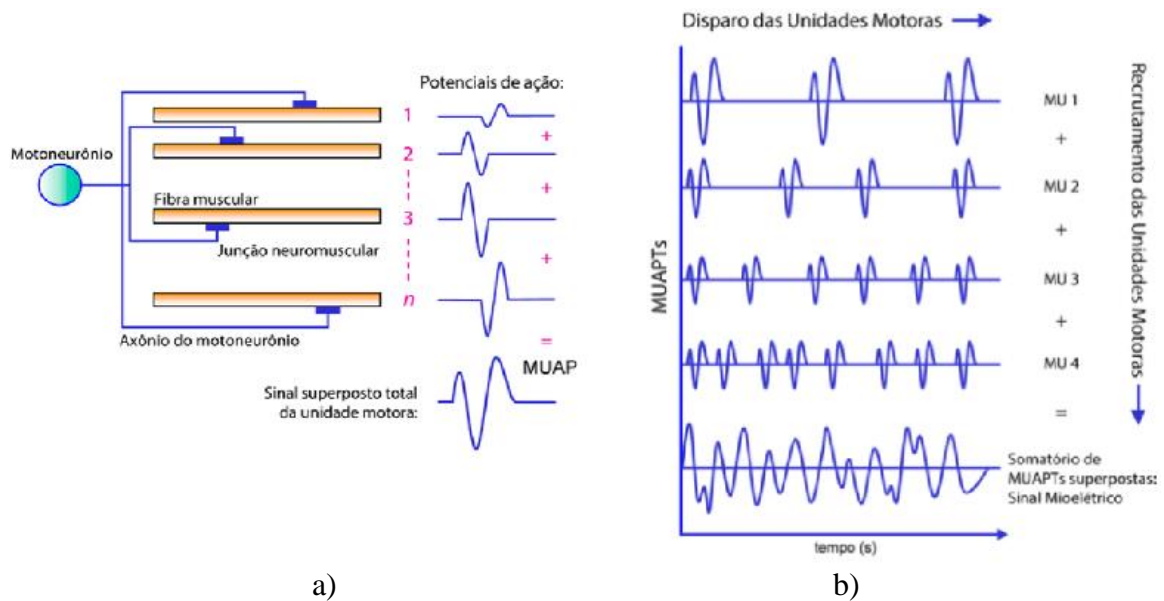


Figura 1 – (a) Potencial de Ação; (b) Somatório de MUAPs (modificado - KONRAD, 2005 *apud* COSTA, 2014)

2.2 DETECÇÃO DOS SINAIS ELETROMIOGRÁFICOS

A obtenção dos sinais elétricos das atividades musculares é importante para o estudo da fisiologia e das patologias nas unidades motoras. A análise das características e padrões de cada sinal possibilita verificar se há doenças neuromusculares, lesão às unidades motoras e também concluir se haverá regeneração do membro afetado (MERLETTI e FARINA, 2016).

Existem duas maneiras eficazes para a obtenção dos sinais mioelétricos: Na intramuscular, eletrodos agulha (concêntrica ou monopolar) são inseridos no músculo, sendo a forma mais precisa de obtenção do sinal, no entanto, causa dor e desconforto ao paciente e deve ser feita por profissionais qualificados na área da saúde para que não haja nenhuma lesão (MERLETTI e PARKER, 2004).

A outra forma é a detecção do sinal elétrico por meio de eletrodos de superfície e é o método mais utilizado e seguro, pois pode ser instalado por qualquer profissional interessado em obter os sinais gerados pela ação muscular sem riscos de lesão e com desconforto bastante reduzido ao paciente. A eletromiografia de superfície permite acessar a estrutura muscular por um meio não-invasivo. Esta tecnologia atingiu um nível de desenvolvimento que tornou a sua utilização viável na medicina, esporte e diversas outras aplicações (MERLETTI e FARINA, 2016).

Rodrigues *et al.* (2007), como exemplo, utilizam a eletromiografia de superfície para o monitoramento de atletas de futebol com o intuito de analisar o torque dos músculos do joelho durante movimentos isocinéticos em diferentes velocidades de execução.

O eletrodo deve ter dimensão e formato apropriado para cada músculo pesquisado, além de ser feito de um bom material condutor que reduza as interferências na medição. Os eletrodos bipolares amplificam a diferença entre os sinais e possibilitam que a maioria do ruído gerado seja rejeitado, caso o eletrodo tenha sido instalado de maneira correta (MERLETTI e PARKER, 2004).

A importância do correto posicionamento do eletrodo é demonstrado na Fig.2. Observa-se que ao alocar-se o sensor mais centralizado à fibra muscular melhor será a captação dos sinais elétricos de contração e relaxamento, entretanto, caso o sensor esteja mais próximo à junção com o tendão este sinal será pobre e indefinido (DE LUCA, 1997).

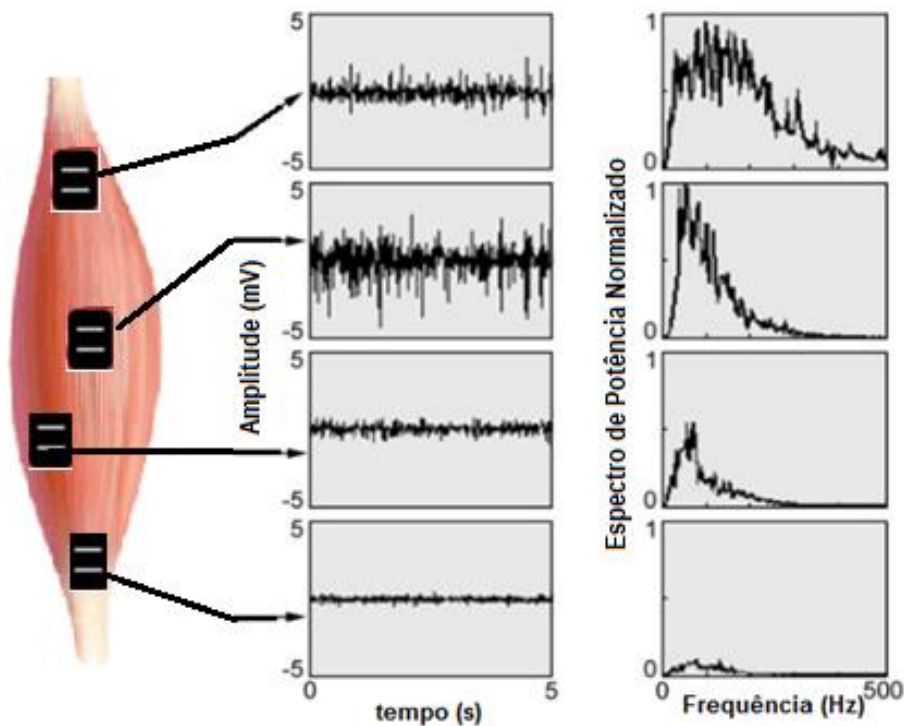


Figura 2- Posicionamento do sensor sEMG sobre o músculo (modificado - DE LUCA, 1997)

3 COMPRESSÃO DE SINAIS

A compressão de dados é uma das tecnologias responsáveis pelo desenvolvimento das multimídias atuais. Não seria possível a TV digital, websites, a comunicação via smartphones e etc., se não fosse a compressão ou compactação de todas as informações. A cada segundo geramos milhões de bits de informação com a utilização das tecnologias da informação (SAYOOD, 2012).

A informação é um conjunto de dados ordenados e organizados que transmitem uma determinada mensagem de um emissor a um receptor e é o que possibilita a comunicação. Esta informação é passada por meio de símbolos gráficos, que ordenados dão sentido à mensagem e exigem certa quantidade de bits quando representados digitalmente. A distribuição da probabilidade associada à ocorrência dos símbolos de informação gerados (fonte ou emissor) está relacionada à medida da incerteza denominada como a *entropia* da informação (GONZALEZ e WOODS, 2010).

A estimação da probabilidade do histograma dos dados possibilita obter a entropia da fonte da informação por meio da equação 3.1 que em bits/pixel apresenta a informação média (GONZALEZ e WOODS, 2010). O cálculo da entropia permite verificar o quão redundante são as informações contidas no arquivo a ser comprimido, para que estas redundâncias sejam reduzidas (CONCI *et al.*, 2008).

$$H(R) = H(r_1, \dots, r_K) = -\sum_{k=1}^K p(r_k) \log_2 p(r_k), \quad (3.1)$$

na qual r_k representa cada símbolo do alfabeto R e $p(r_k)$ é a probabilidade da ocorrência de cada um dos diferentes símbolos (caracteres) que compõem o texto.

Os algoritmos de compressão de dados são utilizados para reduzir o número de bits necessários para representar uma imagem, vídeo, música ou documentos. É a arte ou ciência de representar informações de forma compacta. A compactação é feita identificando e utilizando estruturas de dados existentes. Os dados podem ser caracteres em um arquivo de texto, amostras de sinais de fala ou sua forma de onda, entre outros (SAYOOD, 2012).

Para realizar a compressão de dados existem diversas técnicas. O algoritmo de compressão recebe uma entrada x e gera um fluxo de dados representante y que requer menos bits. O algoritmo de reconstrução será responsável por transformar a representação

dos dados comprimidos, y , na versão reconstruída, x_R , que pode ser idêntica ao x ou não. O processo genérico é representado na Fig.3.

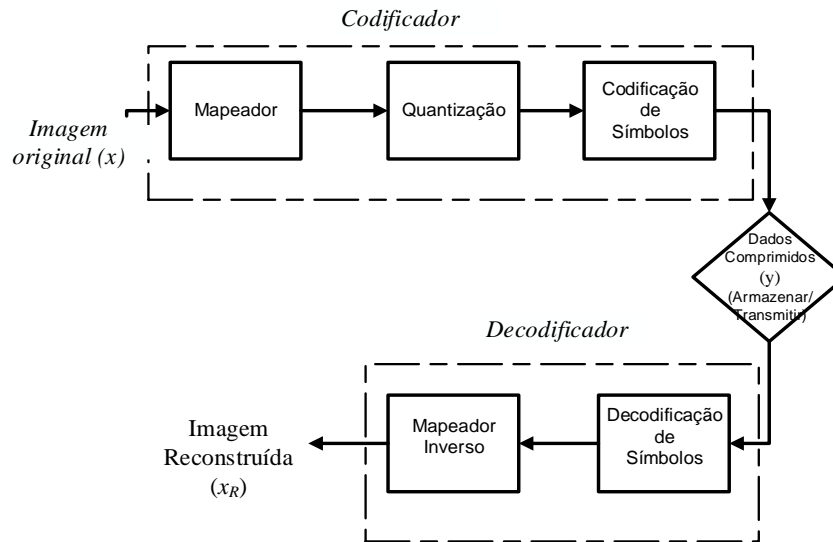


Figura 3 - Processo de Compressão e Reconstrução de Arquivo (modificado - GONZALEZ e WOODS, 2010).

Com base nos requisitos de reconstrução pode-se dividir o tema da compressão de dados em duas amplas classes: (i) sem perdas, em que x_R é matematicamente idêntico a x , porém com baixas taxas de compressão, e (ii) com perdas, em que x_R é diferente de x , mas fornece mais altas compressões de arquivos (SAYOOD, 2012).

A compressão sem perdas é utilizada em aplicações que não toleram nenhuma diferença entre o arquivo original e o reconstruído. Se o dado de qualquer tipo deve ser processado ou melhorado posteriormente para produzir mais informação, e erros causados por múltiplas compressões com perdas forem inaceitáveis, é importante aplicar as técnicas que preservem a sua integridade do arquivo. Como exemplo os caracteres da tabela ASCII (do inglês, *American Standard Code for Information Interchange*; "Código Padrão Americano para o Intercâmbio de Informação") que são representados por valores numéricos precisos e qualquer modificação podem gerar erros irreparáveis (SAYOOD, 2012). No que se refere à compressão de sinais de sEMG, algumas técnicas da categoria de compressão sem perda utilizadas incluem o codificador de Huffman, o codificador aritmético, a codificação diferencial e algoritmo *run-length* (COSTA *et al.*, 2014).

3.1 CODIFICAÇÃO DE HUFFMAN

É método de compressão sem perdas baseado na probabilidade de ocorrência dos símbolos na informação que será comprimida. Está na categoria de codificadores entrópicos e bastante aplicado como algoritmo de compressão em padrões como JPEG, JPEG2000 e MPEG (SAYOOD, 2012).

O código de Huffman é um procedimento baseado em duas observações a respeito dos códigos de prefixo ótimo: 1) Em um código ótimo, símbolos que ocorrem mais frequentemente terão menor palavra-código do que as que ocorrem mais vezes; e 2) Em um código ótimo, os dois símbolos que ocorrem menos frequentemente terão o mesmo comprimento.

Inicialmente o código contabiliza a quantidade total de símbolos existentes no texto. Faz-se a verificação da probabilidade de ocorrência de cada símbolo e se organiza em uma coluna de mais prováveis aos menos prováveis. É realizada a soma dos dois últimos menos prováveis e reorganizada a coluna novamente com as probabilidades mais baixas no final da coluna. O procedimento é realizado até que sobrem apenas dois elementos e suas probabilidades, a qual será a raiz da árvore de Huffman.

Para a montagem da árvore de Huffman observa-se a somatória em cada símbolo e faz-se o caminho inverso até encontrar a raiz, ou seja, quando tudo se inicia. Com a árvore feita, enumera-se com 0 (zeros) os braços à esquerda da raiz e com 1 à sua direita. Finalmente, escreve-se cada símbolo com sua referência binária retirada da árvore.

Pode-se comparar a quantidade de Bits necessários para representar o sinal compactado e o original para verificar a eficácia da compactação por Huffman.

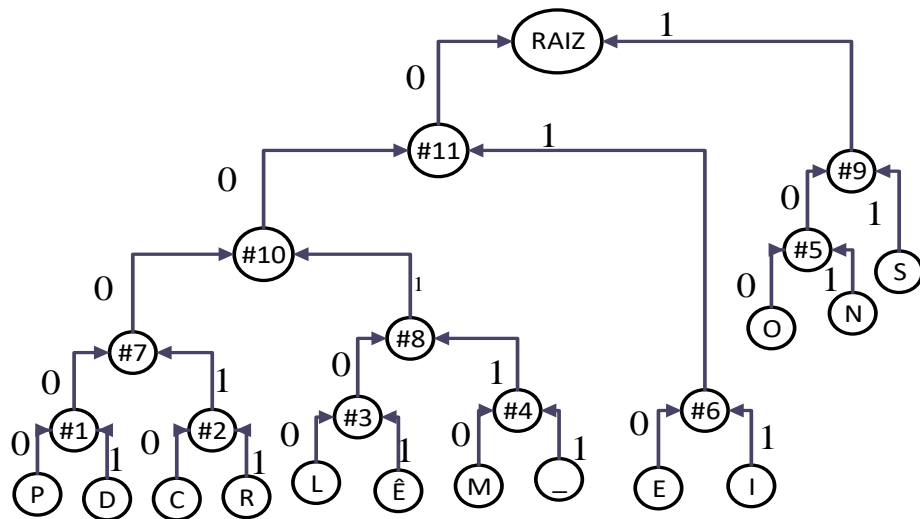


Figura 4 - Árvore de Codificação Huffman

A Fig.4 apresenta uma árvore de codificação para a frase SILÊNCIOS_IMENSOS_SE_RESPONDEM. A sua representação binária após a codificação pelo método de Huffman é “1111000100101001010100011000111111001100110001010111001111110011010111001100001011000000011011000001001100”, que dá o total de 106 bits. Originalmente para a representação da frase seriam necessários 120 bits, conseguindo pelo método de compressão uma redução de 14 bits.

3.2 CODIFICAÇÃO ARITMÉTICA

A codificação aritmética também trabalha com a probabilidade de cada caractere aparecer em uma determinada mensagem. Todavia, é mais eficaz na compressão, pois alcança maiores taxas na compressão chegando bem próximo dos valores teóricos, sendo a codificação entrópica utilizada no padrão HEVC. Quanto maior for o dado para compressão mais próximo será do valor da entropia (SAYOOD, 2012).

O algoritmo identifica os símbolos e verifica a probabilidade da ocorrência de cada um. Tendo uma linha imaginária vertical com o início em 0 e o final 1, as probabilidades são distribuídas em intervalos de comprimento proporcional à ocorrência de cada caractere.

Para o próximo símbolo distribuem-se as probabilidades igualmente, no entanto, levando em consideração que os valores iniciais e finais da nova linha imaginária serão os valores iniciais e finais do símbolo anterior. Esse procedimento é repetido até finalizar

todos os caracteres. Em seguida o algoritmo escolherá um ponto e este será convertido em valor binário que será correspondente a mensagem comprimida.

Como exemplo é apresentado na Fig.5 uma codificação aritmética da palavra SINAIS com ponto em $0,787 = 0,110000011000100010\bar{1}$.

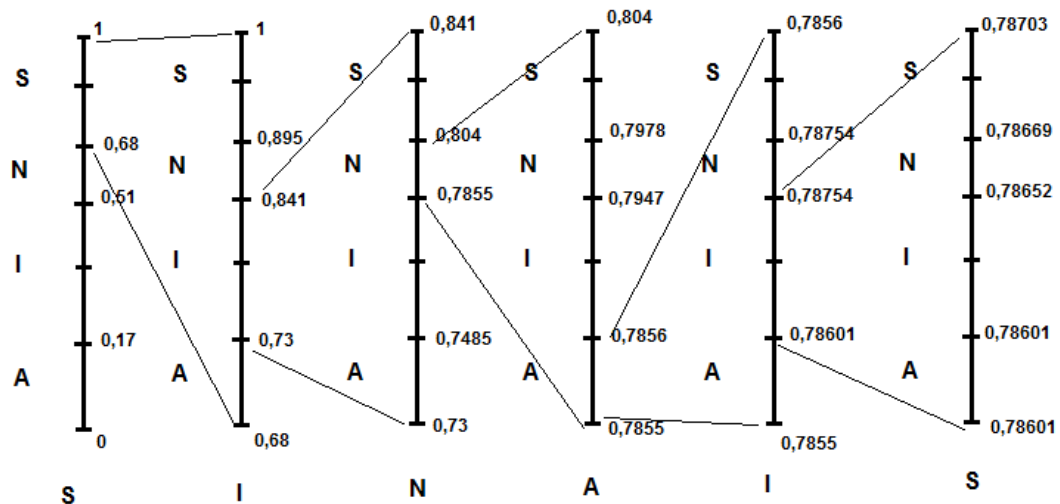


Figura 5 - Codificação Aritmética da mensagem "SINAIS" com probabilidade: $p(S) = 2/6$, $p(N) = 1/6$, $p(I) = 2/6$, $p(A) = 1/6$.

A compressão com perdas (do inglês, *lossy compression*) é utilizada em aplicações que não seja necessária a reconstrução exata do arquivo transmitido, tais como o arquivamento ou transmissão da fala, sequência de vídeos entre outras aplicações.

3.3 CODIFICAÇÃO POR TRANSFORMADAS

A área de processamento de sinais utiliza ferramentas matemáticas para extrair informações relevantes dos sinais e a transformação tem como objetivo alterar o domínio de uma função, seja no tempo, espaço ou frequência (GIROD *et al.*, 2003).

O desempenho dos codificadores pode ser um fator importante na escolha do método aplicado à compressão, além da fidelidade com que ele representa o sinal após executar o seu algoritmo. A codificação por transformada está entre os melhores métodos de compressão (COSTA *et al.*, 2014).

Uma diversidade de métodos é utilizada para decorrelacionar os dados, objetivo da aplicação da transformada, entre eles estão Fourier, seno, cosseno, *wavelet*, Walsh-Hadamard, Karhunen-Loève (SAYOOD, 2012). A aplicação como método de compressão só é possível caso a transformada seja unitária e ortogonal, o que garante que

tenha a transformação inversa. Isto significa que será possível reobter a informação comprimida.

Uma transformada será ortogonal caso a sua matriz transposta seja equivalente à sua inversa, dado pela equação 3.2.

$$T^t = T^{-1} \quad (3.2)$$

E sua linearidade apresentada pela equação 3.3:

$$y = Tx \quad (3.3)$$

3.3.1 Transformada Discreta de Cossenos

A transformada discreta de cosseno (DCT, do inglês *Discrete Cosine Transform*) é amplamente aplicada para codificar imagens, como exemplo no padrão de compressão de imagens JPEG (*Joint Pictures Expert Group*) e em diversos codificadores de vídeo (COSTA *et al.*, 2014). Possui este nome devido a sua matriz de transformação $N \times N$ ser obtida como uma função de cossenos, apresentado na equação 3.4. A DCT faz a transformação da imagem do domínio espacial para o domínio da frequência, separando em coeficientes relacionados de acordo com a sua frequência, e possibilita representar a informação de maneira eficiente com um número reduzido de coeficientes (CONCI *et al.*, 2008).

$$[C]_{i,j} = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{N}} \cos \frac{(2j+1)i\pi}{2N} & i = 0, j = 0, 1, \dots, N-1. \\ \sqrt{\frac{2}{N}} \cos \frac{(2j+1)i\pi}{2N} & i = 1, 2, \dots, N-1, j = 0, 1, \dots, N-1. \end{cases} \quad (3.4)$$

Para transformar um vetor de valores discretos $x[n]$ em coeficientes de $X[k]$ e k com variação de 0 a $N-1$, utiliza-se a transformada direta apresentada pela equação 3.5:

$$X[k] = \alpha[k] \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cos \left(\frac{\pi[2n+1]k}{2N} \right) \quad (3.5)$$

A operação inversa utilizada para obter $x[n]$ com variação de k a partir de 0 a $N-1$, equação 3.6.

$$x[n] = \sum_{k=0}^{N-1} X[k] \cos\left(\frac{\pi[2n+1]k}{2N}\right) \quad (3.6)$$

Para a aplicação de compressão de imagens a transformada discreta deverá ser bidimensional ortogonal com n dimensões vetoriais apresentadas pela equação 3.7

$$G_{ij} = \frac{1}{\sqrt{2n}} C_i C_j \sum_{x=0}^{n-1} \sum_{y=0}^{n-1} p_{xy} \cos\left(\frac{(2y+1)j\pi}{2n}\right) \cos\left(\frac{(2x+1)i\pi}{2n}\right), \text{ para } 0 \leq i, j \leq n-1, \quad (3.7)$$

em que $C_f = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & f = 0 \\ 1, & f > 0 \end{cases}$.

A transformação inversa fornece os dados como imagem novamente, ou seja, recupera as informações transformadas. O resultado é apresentado como exemplo na Fig.6. (COSTA, 2014).

$$P_{xy} = \frac{1}{4} \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} C_i C_j C_{ij} \cos\left(\frac{(2x+1)j\pi}{2n}\right) \cos\left(\frac{(2y+1)i\pi}{2n}\right) \quad (3.8)$$

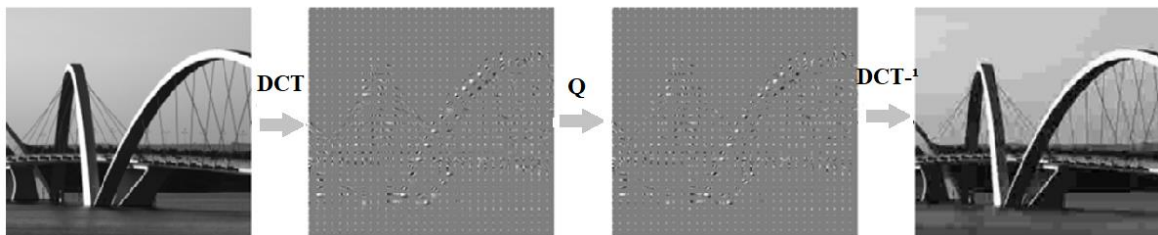


Figura 6 – DCT aplicada para compressão e descompressão (modificado – COSTA *et al.* 2009B)

3.3.2 Transformada Discreta de *Wavelet* (DWT)

Métodos renomados como a transformada de Laplace, Fourier são amplamente aplicados nesta análise. Não obstante, o método de *wavelet* possibilita decompor as funções obtendo as frequências analisadas ao longo do tempo, suas variações e o momento em que ocorreram essas variações, possibilitando a análise em tempo real de sinais não estacionários, algo impossível nas demais transformadas (OLIVEIRA, 2007).

A função deverá ter a sua área sob a curva nula, produto interno definido, e com energia finita, o que quer dizer que ela oscila sobre o eixo da abscissa no tempo e que toda

a sua energia está concentrada nesta região de oscilação. A definição matemática está apresentada nas equações 3.9 e 3.10 (OLIVEIRA, 2007).

$$\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t) dt = 0 \quad (3.9)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} |\varphi(t)|^2 dt = 0 \quad (3.10)$$

A transformada contínua de *wavelet* decompõe uma função definida no domínio do tempo em outra função, agora no domínio do tempo e frequência. Uma função de uma variável é transformada em uma de duas variáveis ou parâmetros reais e é apresentada na equação 3.11 (OLIVEIRA, 2007).

$$W_{ab} = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{|a|}} \varphi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt \quad (3.11)$$

Para recuperar o sinal utiliza-se a formula 3.12 para reconstrução do sinal original.

$$f = \frac{1}{C_{\varphi}} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{|a|^2} W(a,b) \varphi_{a,b} da db \quad (3.12)$$

A transformada discreta de *wavelets* (DWT, do inglês *Discrete Wavelet Transform*) apresenta a característica principal em aplicações para a codificação de imagens, em especial no algoritmo do JPEG2000 é apresentada pela equação 3.13. A transformação em sub-bandas utilizada na DWT é conhecida como rede diádica (TAUBMAN e MARCELLIN, 2002 B).

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi \left(\frac{t-b}{a} \right), \quad a = 2^j, \quad b = k2^j, \quad (j, k) \in \mathbb{Z}^2 \quad (3.13)$$

A aplicação da transformada decompõe o sinal em diferentes níveis de resolução, ou seja, sub-bandas de coeficientes que apresentam a frequência característica de cada área específica e não da imagem como um todo (SKODRAS *et al.*, 2001).

Grosso modo, a transformada de *wavelets* opera como um banco de filtros FIR (do inglês *Finite Impulse Response*), ou filtro de resposta ao impulso finita, com uma saída de baixa resolução e outra com os detalhes. Um filtro de análise faz a segmentação em várias bandas e o filtro de síntese reconstitui o sinal original, como apresentado na Fig. 7 (GONZALEZ e WOODS, 2010).

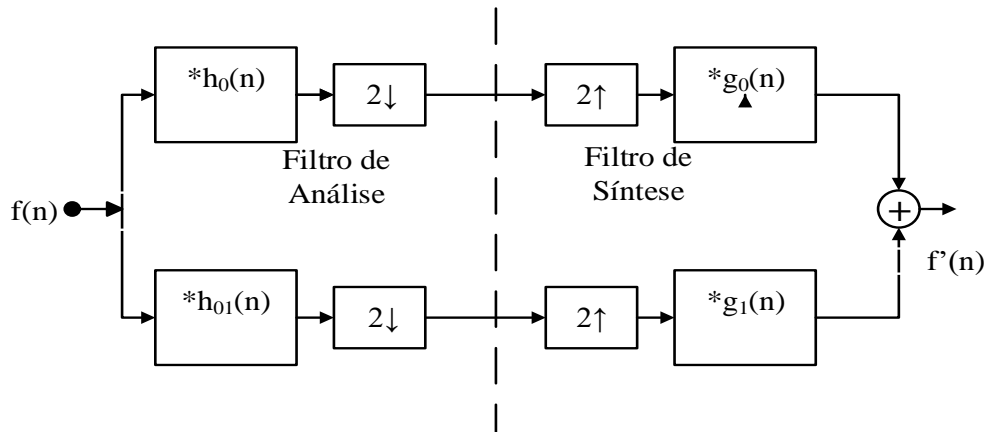


Figura 7 - Banco de Filtros *Wavelet* - Análise e Síntese. (modificado – GONZALEZ e WOODS, 2010)

O sinal aplicado ao filtro é decomposto em elementos de baixa e alta frequência. Na árvore de decomposição da Fig 8, os componentes ramificados acima representam os elementos de baixa frequência que são as informações básicas, chamado de coeficientes de aproximação (W), determinados pela função escala. A ramificação para baixo representa os coeficientes de detalhe (V), que carregam as informações mais refinadas da imagem que estão contidas nos componentes de alta frequência determinados pela função *wavelet* mãe (GONZALEZ e WOODS, 2010).

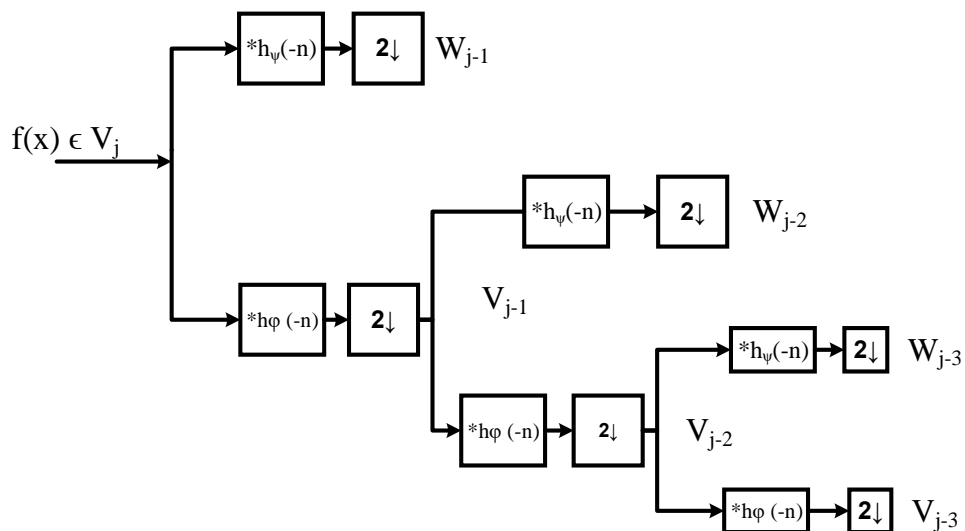


Figura 8 - Árvore de Decomposição *Wavelet*

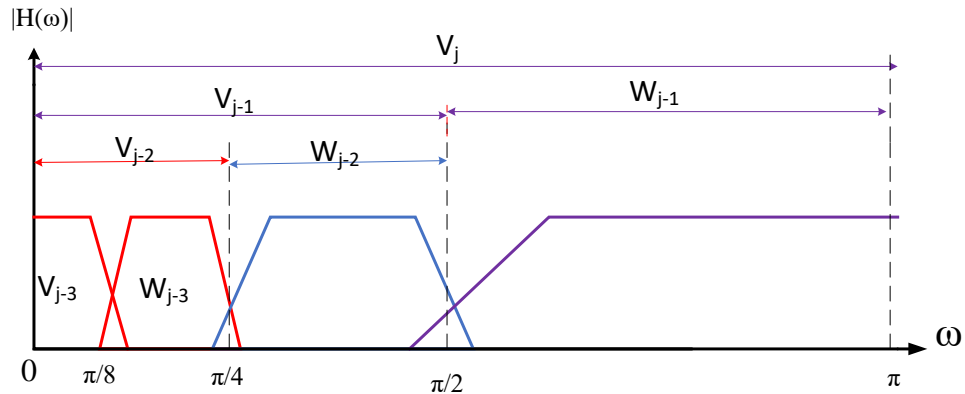


Figura 9 – Espectro de Frequência da Decomposição *Wavelet*

As *wavelets* são um conjunto de funções $\psi_i^j(x)$ que são linearmente independentes, que geram um novo elemento de aproximação (W). Para que não ocorra perda de informação neste processo, é obtido o coeficiente de detalhes (V) que permite a reconstrução do sinal sem prejuízos. Realizam-se várias iterações até que reste apenas um coeficiente de aproximação global e os coeficientes de detalhes. Na Fig. 8 o W_{j-1} é o coeficiente de aproximação global e os coeficientes de detalhes que o acompanham são o V_{j-1} , V_{j-2} e V_{j-3} (CONCI *et al.*, 2008; GONZALEZ e WOODS, 2010). A Fig. 9 apresenta o espectro de frequência desta decomposição.

Não existe perda alguma das informações, pois o sinal original pode ser reconstruído sem prejuízo algum e com a vantagem de ter um arquivo compacto, ou seja, é um processo de compressão realizado por um filtro conjugado em quadratura (QMF, do inglês *Quadrature Mirror Filter*) (CONCI *et al.*, 2008).

3.3.3 Wavelet Packets

O método *wavelet packets* permite uma análise mais profunda dos sinais por meio de três parâmetros apresentados, a posição, frequência, além da escala como já é utilizada na decomposição *wavelet* padrão. É uma generalização da transformada de *wavelets* que permite uma decomposição mais flexível dos sinais (GONZALEZ e WOODS, 2010).

É um banco de filtros com a decomposição em árvore, na qual a raiz ou nó inicial é o próprio sinal a ser codificado, com a diferença de que cada coeficiente de detalhe é decomposto novamente em duas partes, podendo ter essa subdivisão realizada diversas vezes. Cada coeficiente nos nós da árvore são partes da raiz (sinal de entrada) como se fosse uma expansão linear daquele sinal inicial dividido em sub-bandas, como apresentado na Fig. 10 uma *wavelet packet* de três estágios ou escalas e seu espectro de frequência dado na Fig. 11 (GONZALEZ e WOODS, 2010).

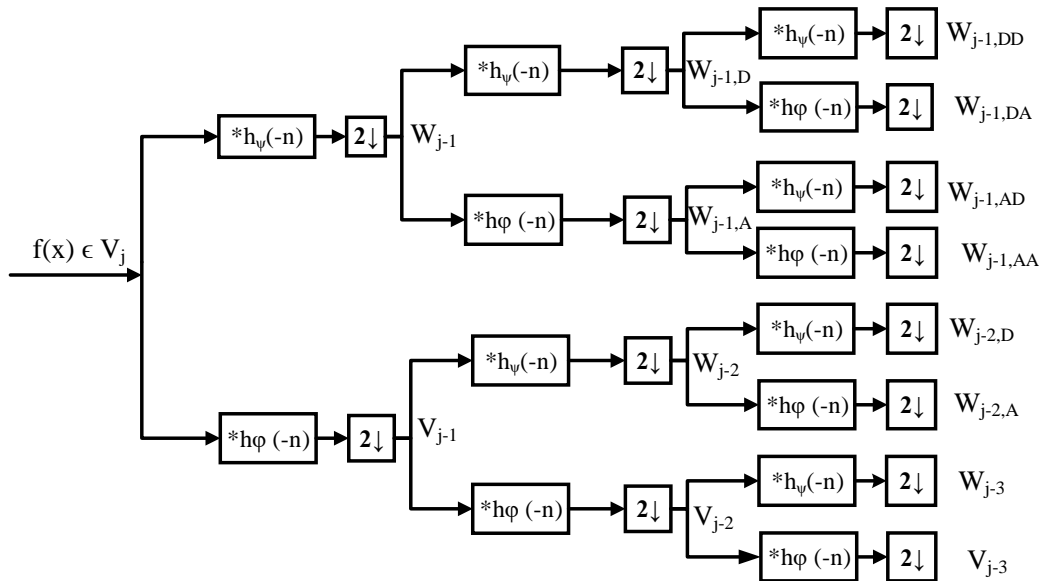


Figura 10 - Banco de Filtros *Wavelet Packet* (modificado – GONZALEZ e WOODS, 2010)

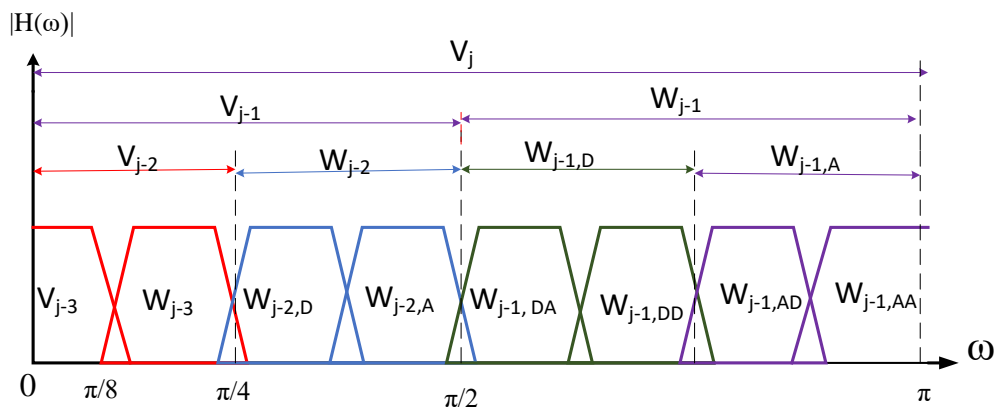


Figura 11 – Espectro de Frequência da Árvore de *Wavelet Packets*.

3.4 CODIFICADOR HEVC

O HEVC (do inglês *High Efficiency Video Coding*) é um padrão de codificação de vídeo projetado para uso geral e aberto para desenvolvimentos com o objetivo de adaptar-se a diferentes aplicações. Substitui com eficiência o seu antecessor H.264/MPEG-4, sendo um padrão concebido pela ITU (do inglês *International Telecommunications Union*). O seu objetivo principal é possibilitar uma melhora no desempenho da compressão de vídeos em comparação aos padrões já existentes no mercado (OHM *et al.*, 2012).

MILECEVIC e BOJKOVIC (2014) apresentam uma comparação de desempenho das tecnologias HEVC e o H.264/AVC que é o codificador padrão da TV digital brasileira. Os testes apresentaram uma melhora de 50% no desempenho da compressão e 70% de economia no tempo de codificação em alguns casos, além de ser compatível e eficiente em arquiteturas com processamento paralelo. O trabalho indica em sua conclusão, de maneira clara, a superioridade do codificador HEVC em relação ao H.264/AVC.

As imagens ou dados inseridos no HEVC são divididos em vários blocos de formatos variados que possuem dados extraídos dos blocos de predição vizinhos (do inglês, *neighboring prediction block*), codificados previamente da mesma figura. São comparadas as áreas na própria figura, buscando redundâncias por meio das direções de previsão do modo intra.

Esta imagem é convertida em um fluxo de bits pelo codificador, que é uma sequência de dados que contém um número inteiro de bytes que será aplicada ao decodificador com o intuito de obter as imagens decodificadas. Na Fig. 12 verifica-se que o codificador e o decodificador utilizam um buffer (DPB) que guarda na memória uma imagem padrão para consulta e geração de sinais de predição para a codificação de outras imagens, algo que agiliza o processamento computacional (SZE *et al.*, 2014).

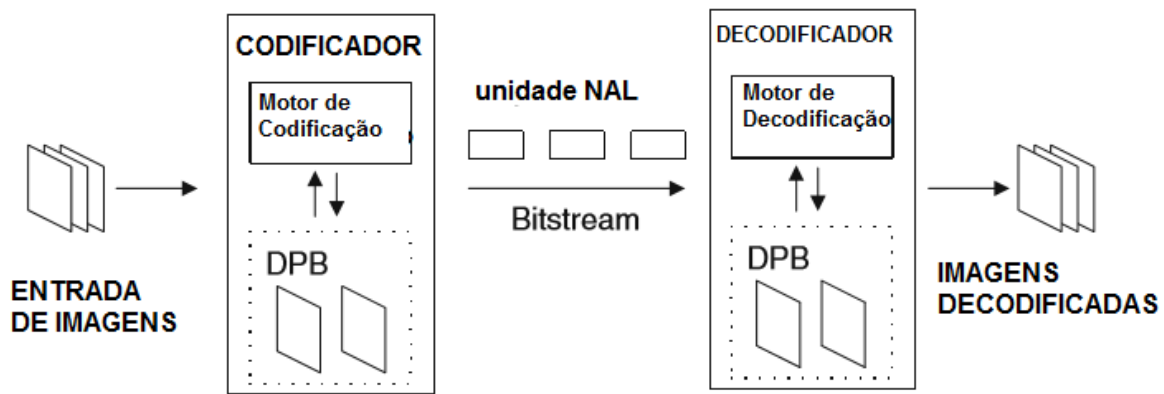


Figura 12 - Visão Geral do HEVC: Codificação e Decodificação. (modificado – SZE *et al.*, 2014)

Os arquivos codificados são divididos em um bloco de controle (do inglês, *header*), que transmite todas as informações de controle necessárias e o outro bloco que transmite as amostras de dados do arquivo. Cada sintaxe estruturada é inserida em um bloco de dados conhecido como NAL (do inglês, *Network Abstraction Layer*).

3.4.1 Modo Intra

Um dos mecanismos de compressão de vídeo que se destaca no HEVC é a sua forma de predição de quadros conhecida como modo intra. Pode ser classificada como método de predição angular e método de predição planar (SZE *et al.*, 2014).

Este modo é utilizado para prever a ocorrência de um pixel em várias determinadas direções em uma mesma figura, com o objetivo de verificar redundâncias e eliminá-las no processo de compressão. Amostras decodificadas são utilizadas como dados de referência para a predição da ocorrência de pixels (DISSANAYAKE e ABEYRATHNA, 2015).

Para um melhor entendimento, a Fig.13 apresenta o modo intra para o codificador H.264/AVC aplicado a uma imagem 4x4. Cada ponta da seta indica um modo de predição que são oito e mais o modo DC, totalizando 9. Utilizando os pixels nas bordas e a direção indicada pela seta será possível prever os demais pixels. Como exemplo o modo 0 para o pixel A irá prever os pixels *a, e, i, m*. O pixel B irá prever os pixels *b, f, j, n*. Para o modo 1 o pixel I irá prever os pixels *a, b, c, d*. O pixel J irá prever os pixels *e, f, g, h*. Continuando o processo, será possível prever todos os pixels da imagem.

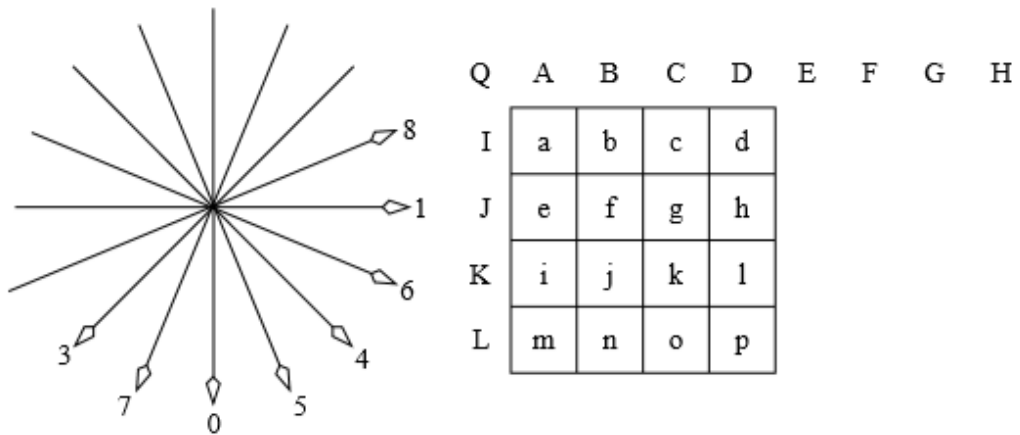


Figura 13 - Modos de predição intra H.264/AVC para quadro 4x4 (modificado - SAYOOD, 2012)

O modo intra do HEVC é uma extensão do método do apresentado no H.264/AVC, pois sua abordagem é baseada na predição espacial da amostra em diferentes direções seguida por codificação por transformada. A predição angular possui 33 diferentes direções (Fig.14) e é projetada para modelar diferentes estruturas, como comumente ocorrem em vídeos, extrapolando o valor das amostras de referência já reconstruídas seguindo as direções dadas (MILICEVIC e BOJKOVIC, 2014).

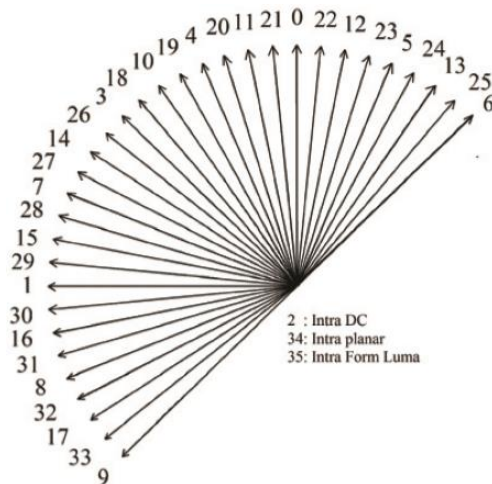


Figura 14 - Modo intra do HEVC (modificado – DISSANAYAKE E ABEYRATHNA , 2015)

Além do procedimento de predição, o HEVC utiliza a codificação por árvore de blocos (CTBs, *do inglês Coding Tree Blocks*) com o tamanho de até 64 x 64 pixels. O algoritmo faz o recorte da imagem (particionamento) em várias partes que são processadas

individualmente, sendo mais eficaz na codificação de blocos com maior dimensão. Estes procedimentos, Fig.15, geram resultados mais suaves na reconstrução (DISSANAYAKE e ABEYRATHNA, 2015).

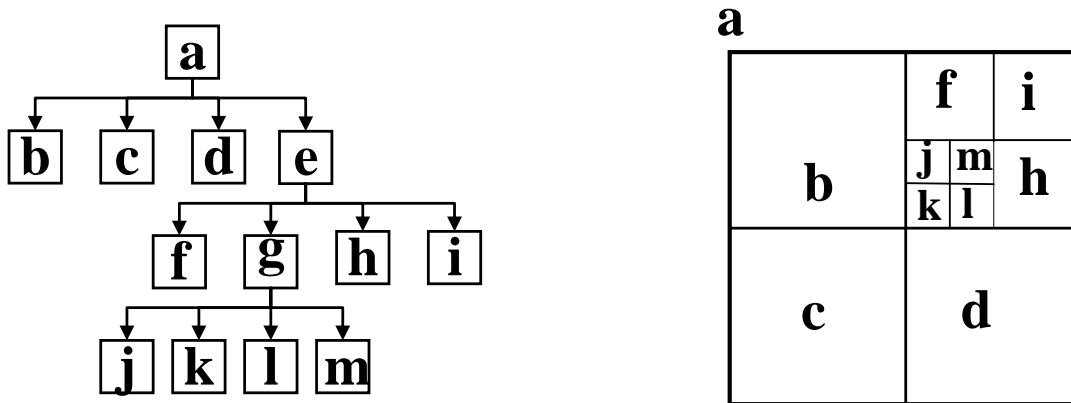


Figura 15 - Estrutura de árvore de codificação padrão HEVC (modificado – DISSANAYAKE E ABEYRATHNA, 2015)

Cada bloco apresentado na Fig.15 é chamado de unidade da árvore de codificação (CTU, *do inglês Coding Tree Unit*) e é similar aos chamados macroblocos utilizados no H.264, no entanto, o tamanho de cada bloco é adaptivo. A sua subdivisão em quartos, ou em valores muito menores, conhecida como *Quadtree* será realizado pelo codificador de acordo com a complexidade da imagem em relação às bordas, quantidade de detalhes, movimento. Quanto mais complexo o conteúdo, mais divisões serão feitas pelo codificador, mas caso a mesma figura se repita em diversas imagens o codificador fará a repetição deste quadro evitando subdividi-lo (SZE *et al.*, 2014).

A predição intra utiliza os dados vizinhos de cada unidade de predição (PU, *do inglês Prediction Unit*) na predição DC, obtendo amostras de valores de blocos imediatamente à esquerda e acima do bloco a ser codificado. Na predição planar é feita a média horizontal e vertical das amostras e na predição direcional faz-se a extrapolação dos dados dos blocos vizinhos (MILICEVIC e BOJKOVIC, 2014).

3.4.2 CABAC

O HEVC utiliza como codificador entrópico o “Codificador Aritmético Binário Adaptativo Baseado em Contextos” – CABAC (do inglês, *Context-Based Adaptive Binary Arithmetic Coding*) –, que efetua a compressão de dados sem perdas utilizando propriedades estatísticas da quantidade de bits para representar a informação (fig.16). Este codificador recebe os coeficientes quantizados, reorganiza os dados, seleciona o modelo probabilístico de acordo com os elementos de dados e os codifica (SZE *et al.*, 2014).

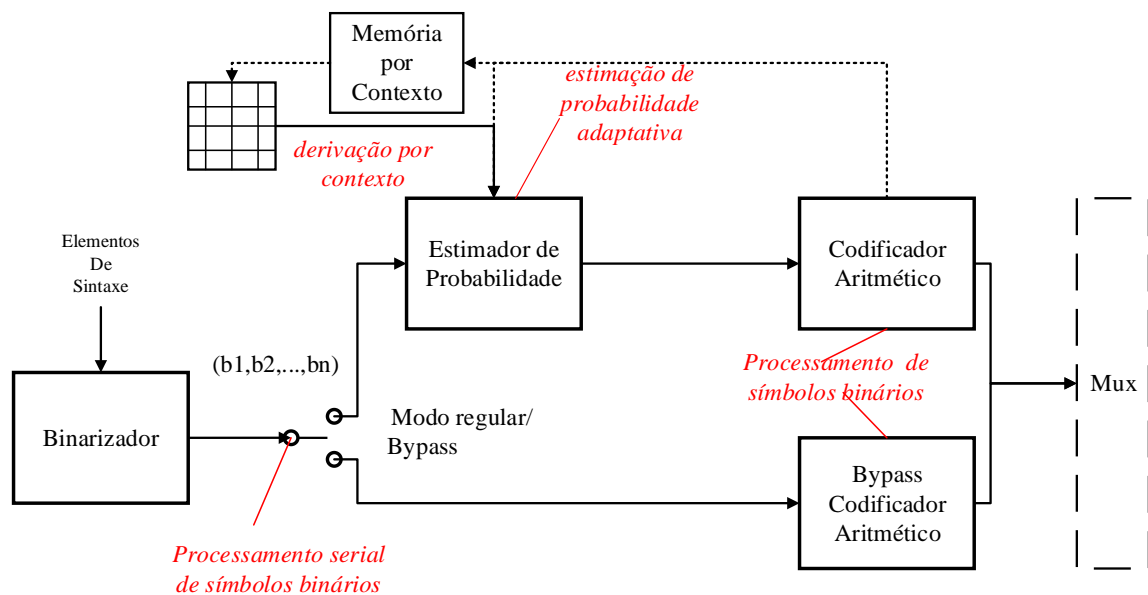


Figura 16 - Diagrama de Blocos do CABAC (HEVC) (modificado – SZE E BUDAGAVI, 2013)

A codificação ocorre em três partes:

- Binarização
- Codificação Aritmética
- Seleção por Contexto

Os elementos não-binários recebidos pelo codificador são primeiramente convertidos e mapeados para símbolos binários por meio de diversos processos como Exp-Goulomb, unário truncado (do inglês, *truncated unary*), comprimento fixo (do inglês, *fixed length*) e podem-se fazer combinações dos métodos (SZE *et al.*, 2014).

A codificação aritmética faz a compressão dos sinais, os representando como um número fracional binário, o que melhora a eficiência da codificação. A modelagem e seleção por contexto é utilizada para dar precisão aos modelos probabilísticos. O modelo de probabilidade depende do tipo de sintaxe dos elementos. Existem centenas de diferentes tipos de modelos por contexto e uma máquina de estados finitos é utilizada para selecionar a correta modelagem e estimar a probabilidade para cada símbolo binário na codificação e decodificação (SZE e BUDAGAVI, 2013).

3.4.3 REXT

O REXT (do inglês, *Range Extensions*) é um conjunto de ferramentas aplicadas à segunda versão do codificador de vídeos HEVC aprovado em abril de 2014 (FLYNN *et al.*, 2016). Estas extensões visam melhorias de aplicações na codificação de vídeos, conteúdos de aquisição, distribuição, arquivamento, conteúdos de tela, imagens médicas e imagens estáticas (SULLIVAN *et al.*, 2013).

Tem suporte para formato *chroma* 4:2:2 com amostras de 10 bits de amostra, armazenamento e transmissão de vídeo obtido por câmera profissional com formato *chroma* 4:4:4 e RGB, mais de 16 bits por amostra na compressão de conteúdos em HDR (do inglês, *High Dynamics Range*), melhorias na compressão sem perdas, ótima para aplicações em imagens médicas (FLYNN *et al.*, 2016).

3.5 CODIFICADOR JPEG 2000

O JPEG2000 é um padrão de compressão de imagens digitais que pode ser com perdas ou sem perdas, desenvolvido devido à necessidade de flexibilidade e eficiência na representação de imagens. Sejam imagens com alta resolução, grande profundidade de bits, inúmeras quantidades de elementos que a componham, este padrão irá interagir da mesma forma independentemente da complexidade, além de ser compatível com diversos sistemas operacionais de diferentes fabricantes (TAUBMAN e MARCELLIN, 2002 A).

É um compressor de imagens baseado na transformada discreta de *wavelet* (DWT) em duas dimensões, a qual transforma um quadro ou imagem do domínio espacial em duas dimensões para o domínio da frequência e é obtida por várias interações de uma mesma transformada unidimensional rotacionada em 90°. A aplicação da DWT proporciona uma

melhor capacidade de compressão em relação ao seu antecessor JPEG que utilizava a DCT como método de compressão. (SKODRAS *et al.*, 2001).

Outra vantagem é pelo motivo de a DWT trabalhar com coeficientes inteiros, permitindo que o JPEG2000 possa realizar compressões sem perdas caso seja necessário, também reduzindo erros na reconstrução da imagem e aumentando a sua qualidade, algo impossível ao padrão JPEG devido a DCT trabalhar com uma matriz de transformação aproximada (GONZALEZ e WOODS, 2010).

Primeiramente o arquivo a ser compactado é preparado: a imagem é fatiada (*'tiling'*), é alterado o seu nível DC, e é feita a conversão do espaço de cores de RGB para YCbCr ou YUV. Este é o estágio de pré-processamento. No segundo estágio é aplicada a transformação por meio da DWT, os componentes são quantizados e organizados em matrizes em seguida são aplicados a um codificador entrópico, como exemplo o método de Huffman, Fig. 17 e Fig.18 (SKODRAS *et al.*, 2001).

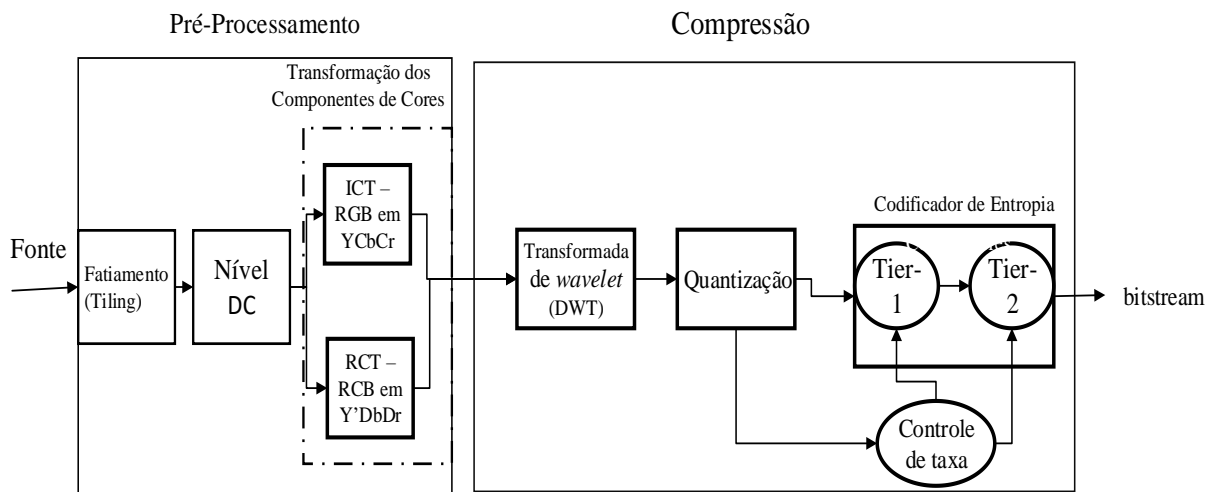


Figura 17 - Diagrama de Blocos do JPEG 2000

O particionamento ou fatiamento da imagem (em inglês, *tiling*) é realizado em blocos de pixels retangulares não sobrepostos e de mesmo tamanho, como apresentado na Fig. 18.

A mudança de nível DC é o deslocamento das amostras obtidas na imagem e é realizado em cada plano de cores, caso a imagem seja colorida. A transformação de componentes de cores pode ser feita irreversível (ICT, do inglês *Irreversible Component*

Transform) com a melhor correlação entre as cores, mas apenas disponível para a compressão com perdas ou reversível (RCT, do inglês *Reversible Component Transform*) podendo ser realizada para compressões sem perdas (SKODRAS *et al.*, 2001). Esta transformação de cores auxilia na decorrelação dos componentes da imagem.

A quantização é realizada apenas para a codificação com perdas, na qual os coeficientes de *wavelet* são quantizados de modo escalar e diminui a precisão dos coeficientes em cada sub-banda de maneira que seja necessária a codificação de menos bits.

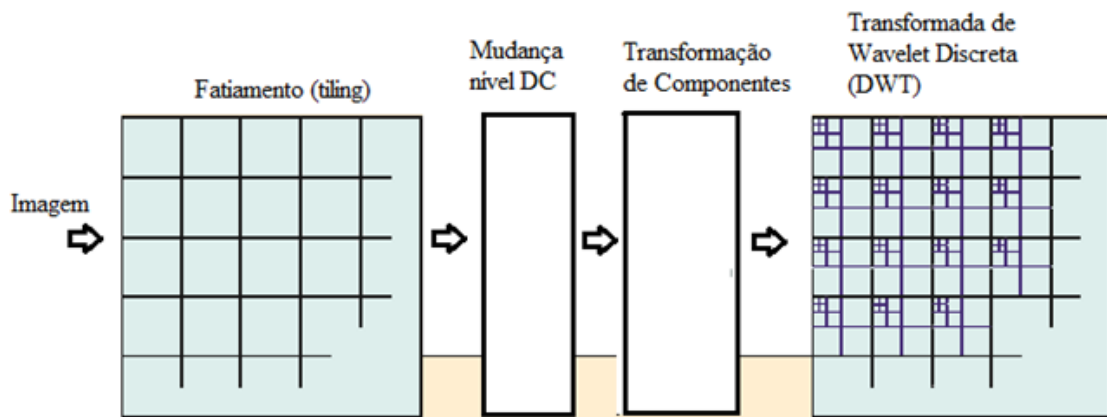


Figura 18 - JPEG 2000 - pré-processamento e compressão (modificado - SKODRAS *et al.*, 2001)

A DWT faz a decomposição da imagem em componentes de altas frequências (detalhes) e baixas frequências (aproximações) a cada iteração. Na Fig. 18 ocorrem três estágios de transformação da imagem, possibilitando visualizar os componentes de alta e baixa frequência (COSTA, 2014).

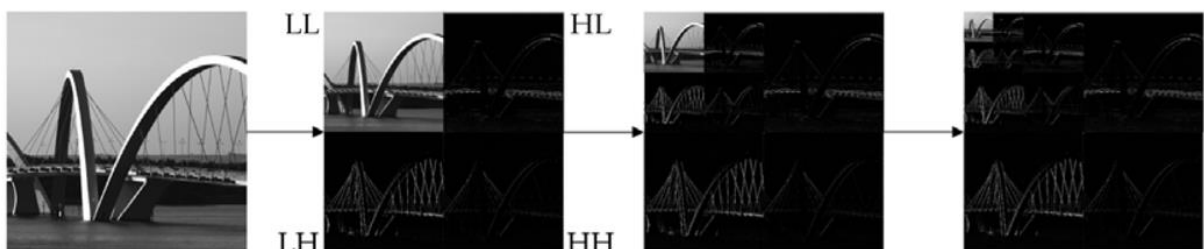


Figura 19- Decomposição Wavelet (modificado - COSTA *et al.*, 2009B)

O JPEG 2000 realiza a quantização para cada sub-bandas individualmente e o método de compressão entrópico aplicado é baseado na codificação aritmética (SKODRAS et al., 2001). Taubman (2000) propôs uma codificação por blocos incorporados com truncamento ideal (EBCOT, do inglês *Embedded Block Coding with Optimal Truncation*), no qual a codificação de entropia é feita por duas camadas (Tier1 e Tier2).

A codificação no Tier-1 é uma codificação aritmética por planos de bits e inclui uma modelagem de bits pelo contexto dos coeficientes da transformada. A codificação no tier2 trabalha na compressão da informação de cada bloco ('packetização') de acordo com cada camada, ordenando os dados em cada estágio (TAUBMAN, 2000).

4 METODOLOGIA

4.1 BANCOS DE SINAIS DE sEMG E CODIFICADORES 2D.

Para realizar os testes com o Codificador HEVC foram utilizados os sinais sEMG de um banco de sinais previamente capturados ANDRADE (2006). A etapa inicial de tratamento dos sinais eletromiográficos de cada um dos três protocolos foi o pré-processamento como preparação para inserir nos codificadores HEVC e JPEG2000. Os sinais foram transformados de vetores (1 dimensão) para matrizes (2 dimensões) de maneira que o seu processamento se desse como uma imagem.

Em seguida a faixa dinâmica das imagens foi normalizada para 16 bits, ou seja, um mapeamento dos valores da faixa de 0 a $[2^{\text{bits}} - 1]$ para esta profundidades de bits.

O codificador HEVC foi configurado com o *intra* profile monocromático 16, utilizando o padrão 4:0:0 na imagem (luminância), palavras com comprimento de 16 bits, apenas para as predições *intra frame*. A construção de uma matriz 2D aumenta a correlação entre as amostras, trazendo um melhor desempenho para a predição *intra*. O parâmetro QP (quantização da DCT), foi variado desde 1 (maior taxa e melhor qualidade) até o 51 (menor taxa e pior qualidade). O JPEG200 teve sua taxa variada entre 0,05 e 16 bits por amostra.

Para a compressão dos sinais com o codificador HEVC, foram adotadas janelas temporais de recortes com $L = 2^k$ amostras ($k = 5 \dots 13$); o valor de $L = 8192$ foi o tamanho da janela amostral utilizada também para a avaliação do desempenho do JPEG2000.

4.2 MÉTRICAS DE COMPRESSÃO

Para avaliar a qualidade da compressão de um determinado arquivo comprimido foram usados critérios objetivos de avaliação. O fator de compressão - CF (do inglês, *Compression Factor*) - e a raiz quadrática média percentual da diferença - PRD (do inglês, *Percentage Root mean Difference*) - são critérios já estabelecidos e bastante utilizados para avaliar a compressão de sinais de sEMG (TRABUCO *et al.*, 2014, COSTA *et al.*, 2014; BERGER *et al.*, 2007). O cálculo do CF é dado por

$$CF(\%) = \frac{O_s - C_s}{O_s} \times 100, \quad (4.1)$$

em que O_s é quantidade de bits necessários para armazenar os dados originais e C_s é quantidade de bits necessários para armazenar os dados comprimidos. A PRD é calcula por

$$PRD(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} (x[n] - \hat{x}[n])^2}{\sum_{n=0}^{N-1} x[n]^2}} \times 100, \quad (4.2)$$

na qual o sinal original é representado por x , o sinal reconstruído por \hat{x} e o comprimento do total do sinal por N .

A comparação de desempenho da compressão é dada por um gráfico de relação CF x PRD para os codificadores de sinais de sEMG. De maneira geral, verifica-se que, quanto maior o CF e menor a PRD, melhor será o resultado obtido na imagem reconstruída após processo de codificação, como, por exemplo, na Fig. 20.

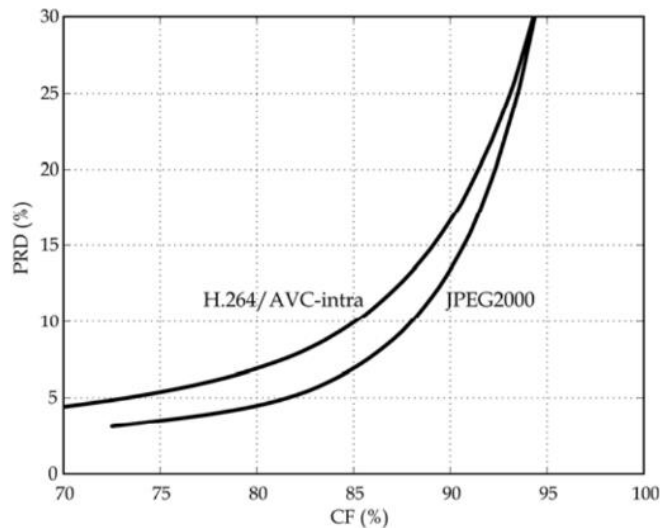


Figura 20 - Comparação dos Codificadores JPEG2000 e H.264/AVC-intra (COSTA *et al.*, 2009B)

Tomando como exemplo o gráfico na Fig. 20, é possível comparar o desempenho de diferentes codificadores. COSTA *et al.* (2009B) apresenta a comparação entre os codificadores JPEG2000 e o H.264/AVC-*intra* para a compressão de sinais isométricos. Com base no gráfico, o eixo das abscissas é dado o fator de compressão (CF) e o eixo das ordenadas apresenta a raiz quadrada da diferença (PRD): quanto maior o valor de PRD menor será a qualidade da imagem recuperada, ou seja, maior será a degradação em relação à imagem original.

Na comparação da compressão de sinais sEMG isométricos do referido trabalho, expressa na Fig.20, o codificador JPEG2000 foi melhor, pois apresentou menor degradação (ou seja, menor PRD) para maiores fatores de compressão. Com o fator de compressão próximo a 88%, a sua distorção foi em torno de 10%. Para o codificador H.264/AVC-*intra* com apenas 85% de fator de compressão a degradação já atingiu os mesmos 10%.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

São utilizados três protocolos de exercícios físicos distintos de sinais sEMG dinâmicos para a avaliação dos codificadores. O banco de sinais de sEMG foi construído por ANDRADE (2006), que em seu trabalho aplicou três diferentes protocolos de testes com um cicloergômetro para avaliar e mapear a fadiga muscular: 1º Protocolo – Carga inicial de 150w, aumento de 50w a cada 30s com velocidade fixa 30 km/h; 2º Protocolo – Carga fixa de 70% da carga final do primeiro protocolo, velocidade inicial de 30 km/h e aumento de 3 km/h a cada 30 s; e 3º Protocolo – Carga e velocidade constantes com alta intensidade, aplicando 70% da carga final dos protocolos 1 e 2.

Os sinais que foram selecionados para este trabalho escolhidos a partir do banco coletado por ANDRADE (2006) são do músculo vasto medial, tendo participado daquela pesquisa um total de nove voluntários com idade média de $24,4 \pm 4,3$ anos, sendo seis do sexo masculino e três do sexo feminino, com o índice de massa corporal (IMC) considerado normal, todos jovens e saudáveis. A frequência de amostragem de captura dos sinais foi de 2kHz com a quantização de 16 bits e com tempo de duração de 3 a 9 minutos.

A avaliação da codificação é feita pela comparação do sinal inicial com o sinal reconstruído (ou seja, após a decodificação). Os critérios objetivos de avaliação da taxa de compressão e da distorção da reconstrução são, respectivamente, o Fator de Compressão (CF) e a Raiz Quadrática Média Percentual da Diferença (PRD), apresentados pelas equações 4.1 e 4.2.

O Apêndice 1 apresenta todos os sinais relativos ao músculo vasto medial, com a representação dos sinais 1D e 2D construídos a partir do recorte destes em janelas temporais de comprimentos 32, 64, 128, 256, 512, 1024, 2048, 4096 e 8192 amostras. O Apêndice 2 mostra, para cada um destes comprimentos de janela, as curvas de CF x PRD resultantes da compressão ao variar o QP do HEVC para cada um dos 9 sinais de cada protocolo e ainda uma curva de PRD média. O Apêndice 3 apresenta, para a compressão usando o HEVC, o valor médio da PRD para o CF na faixa de 80% a 99%. O Apêndice 4, para as diversas janelas amostrais, apresenta as curvas de CF x PRD resultantes da compressão ao variar a taxa do JPEG2000 para todos os sinais de cada um dos três protocolos.

As Figs. 22, 23 e 24 apresentam justapostas e em três dimensões as curvas de PRD média com a variação de CF que são apresentados no Apêndice 2 (ou seja, PRD média x

CF em função do comprimento de janela). O comprimento das janelas é dado em \log_2 para melhor ajuste dos valores aos eixos das figuras.

As Tabelas 5.1, 5.2 e 5.3 apresentam o valor médio da PRD para o CF na faixa de 80, 85, 90, e 95%. Nos casos apresentados é possível verificar que, de maneira geral, quanto maior for a janela do sinal, menor será a PRD média do sinal reconstruído. Os melhores resultados para cada fator de compressão estão marcados em negrito e nota-se que em sua maioria pertencem à janela amostral de 8192. Somente em casos que o codificador não foi capaz de apresentar resultados com baixos fatores de compressão as janelas menores do que 8192 apresentaram melhores resultados.

Os campos não preenchidos (representados por um hífen, “-”) nas Tabelas 5.1 e 5.3 são para os fatores de compressão (CF) de 80%. Isso demonstra que o HEVC-intra é um compressor eficiente, porque em alguns casos (janelas maiores) é capaz de entregar um arquivo reconstruído com baixos índices de distorção (baixa PRD) para taxas de compressão já relativamente altas ($CF > 80\%$). Levando em consideração que melhor será o desempenho do codificador quanto maior for a compressão e menor a distorção do sinal reconstruído, fica clara a eficácia do codec, que é capaz de produzir um arquivo binário de tamanho bastante reduzido e com baixa discrepância em relação ao conteúdo da informação original.

É importante ressaltar que, independente de ter ocorrido uma redução da distorção (PRD) do sinal com o aumento da janela de recorte temporal (observada nas tabelas apresentadas para todos os três protocolos), sempre haverá uma redução da qualidade do sinal reconstruído em relação ao original (logo, um aumento da PRD) quanto maior for o fator de compressão (CF).

Os gráficos dados no Apêndice 2, demonstram visualmente que há uma relação CF \times PRD dada por uma curva monotonicamente crescente (e de aspecto exponencial) entre o aumento da compressão e a distorção do sinal. Isto quer dizer que é difícil obter sinais de qualidade expressiva quando aplicada uma grande taxa de compressão, pois há uma perda significativa de informação, que degrada a imagem reconstruída e, portanto, o sinal de sEMG recuperado.

Nas Figs. 21, 22 e 23 a raiz quadrática média percentual da diferença (PRD) varia de 0 a 65%, o fator de compressão (CF) varia de 80 a 99%, e os expoentes de base 2 variam de 5 a 13, representando a variação do tamanho da janela de recorte temporal de 32

a 8192 amostras. Visualmente é imperceptível a diferença entre protocolos quando analisados graficamente, pois há muita similaridade entre o comportamento gráfico do codificador para todos os sinais dos três protocolos. Com isso, apresentam-se as Tabelas 5.1, 5.2 e 5.3 para possibilitar a análise. Estas tabelas estão completas no Apêndice 3, com todos os fatores de compressão utilizados e todos os comprimentos de janelas amostrais.

De forma geral, verifica-se que o comportamento do codificador, para cada protocolo, apresenta valores coerentes, não tendo grandes discrepâncias entre os valores de PRD dado por cada comprimento de janela amostral, indicando eficácia do método usando o codificador HEVC para comprimir e fornecer bons resultados dos sinais reconstruídos independente do protocolo de atividades aplicado.

Comparando entre protocolos, o protocolo 1 apresenta os menores valores de PRD para a maioria dos índices de CF, seguido pelo protocolo 2 e, por fim, o protocolo 3 com os maiores valores de PRD para uma dada CF. Não obstante, há certos comprimentos de janela para os quais o comportamento do codificador será melhor um protocolo específico. Como exemplo, para o protocolo 2 a codificação utilizando janelas temporais de 32 e de 512 amostras para compor a matriz bidimensional apresenta melhores resultados e para o protocolo 3 as janelas temporais de 64 e de 128 amostras exibem o melhor desempenho.

Para os três protocolos, fixado um determinado valor de CF, é possível identificar um comportamento similar de acordo com a variação do comprimento da janela temporal. Os valores de PRD iniciam baixos para as menores janelas (32 amostras) e vão aumentando de acordo com o aumento da janela temporal até 512 ou 1024 amostras; a partir deste ponto, os valores de PRD voltam a baixar até atingir os menores índices para a janela de 8192 amostras (ou 4096 amostras para alguns valores de CF).

Isto provavelmente ocorre devido ao formato do conteúdo de sinal contido em cada janela amostral. As janelas mais curtas acabam por abranger pequenas quantidades de sinais fragmentados e/ou ruídos, e, portanto, este janelamento acompanha a captação do sinal e segue o comportamento de bulhas (ação muscular) e de silêncios (descanso), conseguindo melhor correlacionar no formato bidimensional as redundâncias entre os sinais justapostos em sequência ordenada. A uniformidade das características dos sinais 2D obtidos pela justaposição das sucessivas janelas pequenas (seja para os instantes de atividade muscular, seja para os de relaxamento) possibilita obter menores valores de PRD.

Para janelas amostrais de tamanhos intermediários, como 128, 256 e 512 amostras, existe um descompasso entre cada segmento adjacente por conta do recorte do sinal. Os sinais são compostos por vários momentos, onde há a execução do exercício físico (solicitação muscular), elevando a amplitude e gerando as chamadas bulhas e momentos de repouso, onde o sinal está em seu mais baixo nível de amplitude. O tamanho de cada bulha está relacionado com o tempo ou velocidade da contração dinâmica muscular executada pelo voluntário, estas podem ser mais longas ou curtas de acordo com a atividade. Esta aleatoriedade existente entre o tamanho de bulhas, momentos de contração e relaxamento e a amplitude dos sinais adquiridos dificulta a segmentação de janelas com características mais homogêneas e, para as janelas de comprimento intermediário, podem conter segmentos truncados no ápice da amplitude da atividade muscular e a sua simples justaposição prejudica demasiadamente a uniformidade bidimensional.

Para as janelas de recorte temporal de intermediárias a longas, já é possível encontrar mais de uma bulha de ação muscular dentro de cada trecho segmentado. Estas segmentações são capazes de formar áreas mais uniformes quando dispostas bidimensionalmente. Os valores mais baixos de PRD média, em sua maioria, são encontrados para janelas de comprimento 8192 e estão marcados em negrito nas Tabelas 5.1 a 5.3. Com esta janela mais longa, o codificador consegue obter melhores ajustes às características de cada sinal, permitindo que pudessem ocorrer mais redundâncias bidimensionais relacionadas às amostras dos segmentos justapostos.

Este melhor desempenho provavelmente ocorre devido ao arranjo bidimensional que torna adjacentes muitas áreas de inatividade muscular de contrações sucessivas. Quanto maior a janela, mais valores nulos conseguem coexistir entre diferentes janelas adjacentes e as matrizes daí resultantes são codificadas de maneira mais eficiente pelos algoritmos 2D. Este fato pode ser notado observando os diferentes recortes temporais no Apêndice 1. Com o aumento da janela (por exemplo, a janela de 8192 amostras) ficam evidentes as áreas formadas por momentos distintos de atividade muscular e as áreas de menor amplitude oriundas dos momentos de repouso no sinal de sEMG, que apresentam valores quase nulos. Infere-se que para cada protocolo, o melhor desempenho será obtido com as maiores janelas amostrais, o que facilita a correlação entre sinais e a averiguação de redundância entre cada amostra. Este comportamento é uma comparação entre todos os sinais individualmente em cada protocolo e irá ocorrer independente do protocolo aplicado ao codificador.

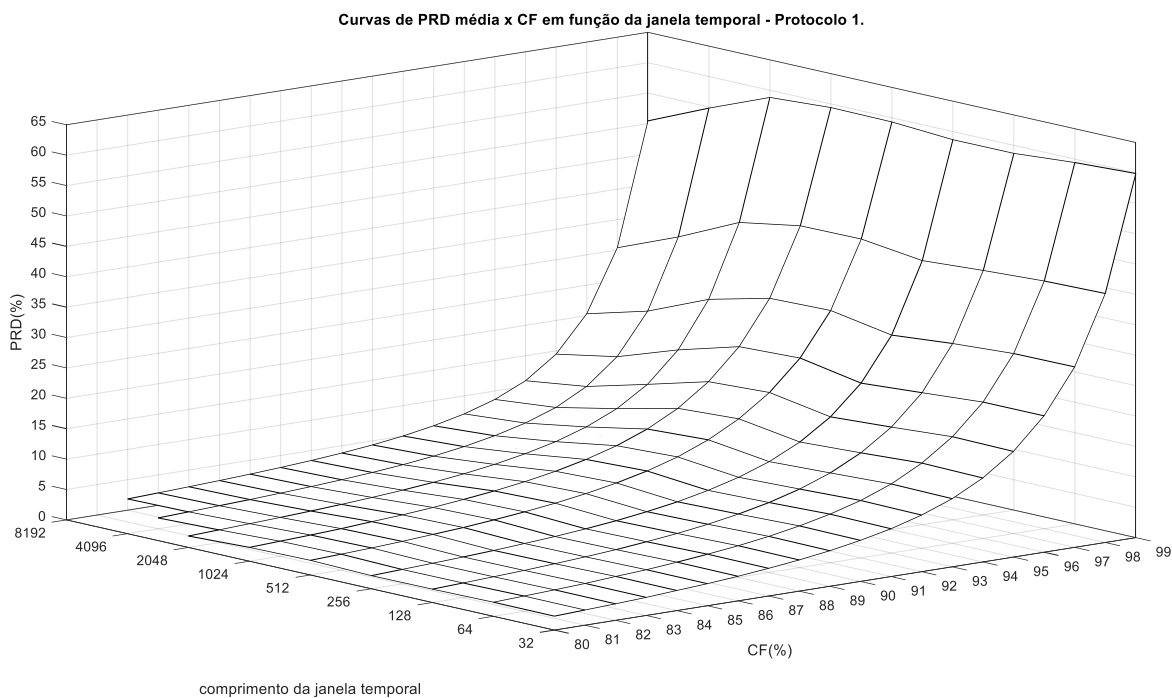


Figura 21- Curvas de PRD média x CF em função da janela temporal (HEVC) – Protocolo 1

Tabela 5.1 – Valores de PRD (%) para os sinais adquiridos no Protocolo 1 (HEVC).

<i>Janela Temporal</i>	Fator de Compressão-CF (%)			
	80	85	90	95
<i>32 amostras</i>	2,29	3,63	6,76	17,39
<i>64 amostras</i>	2,32	3,66	6,87	17,54
<i>128 amostras</i>	2,20	3,52	6,55	16,85
<i>256 amostras</i>	2,16	3,44	6,30	16,27
<i>512 amostras</i>	2,41	3,81	7,13	18,01
<i>1024 amostras</i>	2,27	3,62	6,79	17,53
<i>2048 amostras</i>	1,88	3,09	5,66	14,83
<i>4096 amostras</i>	-	2,66	4,75	12,21
<i>8192 amostras</i>	-	2,47	4,33	10,89

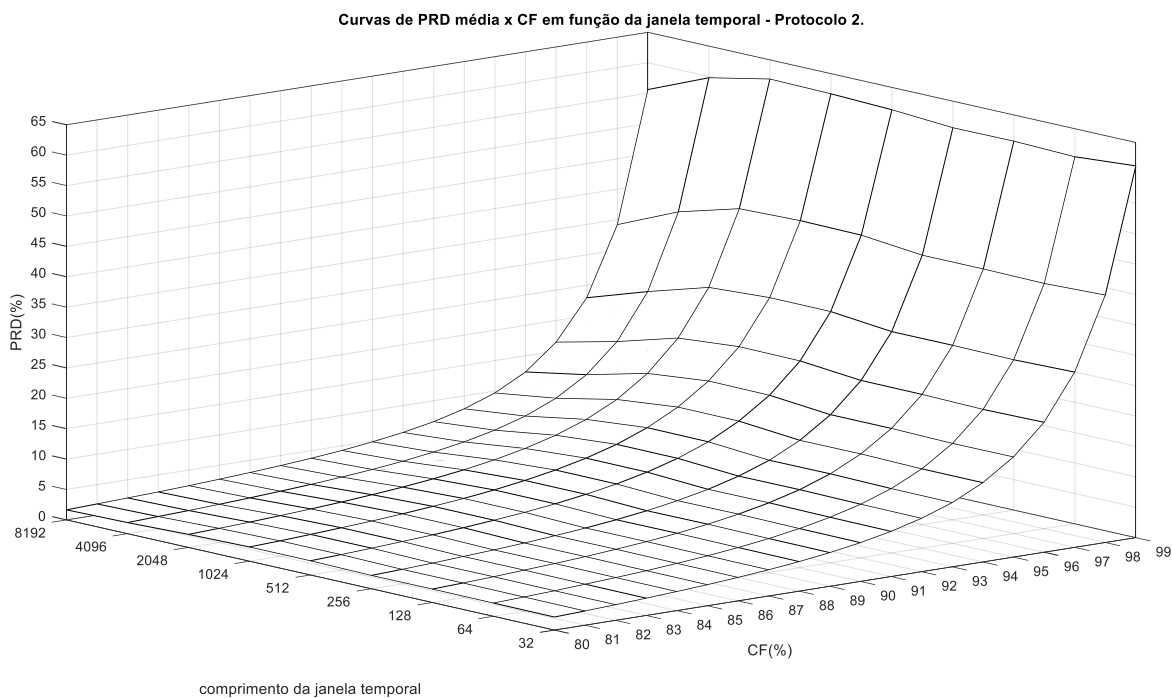


Figura 22- Curvas de PRD média x CF em função da janela temporal (HEVC) – Protocolo 2

Tabela 5.2 – Valores de PRD (%) para os sinais adquiridos no Protocolo 2 (HEVC).

<i>Janela Temporal</i>	Fator de Compressão-CF (%)			
	80	85	90	95
<i>32 amostras</i>	2,15	3,47	6,38	16,48
<i>64 amostras</i>	2,18	3,50	6,43	16,44
<i>128 amostras</i>	2,22	3,55	6,54	16,63
<i>256 amostras</i>	2,19	3,52	6,49	16,63
<i>512 amostras</i>	2,34	3,78	6,97	17,56
<i>1024 amostras</i>	2,34	3,79	7,00	17,64
<i>2048 amostras</i>	2,15	3,46	6,41	16,63
<i>4096 amostras</i>	1,82	2,98	5,42	14,15
<i>8192 amostras</i>	1,65	2,70	4,84	12,33

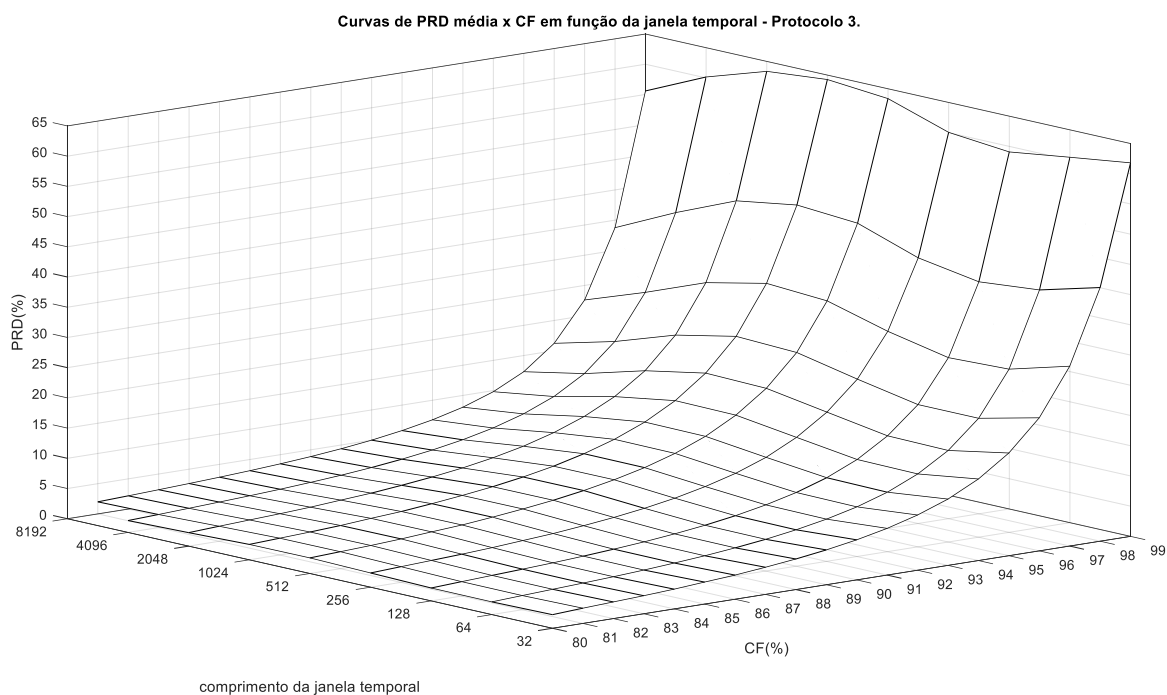


Figura 23- Curvas de PRD media x CF em função da janela temporal (HEVC) – Protocolo 3

Tabela 5.3 — Valores de PRD (%) para os sinais adquiridos no Protocolo 3 (HEVC).

<i>Janela Temporal</i>	Fator de Compressão-CF (%)			
	80	85	90	95
<i>32 amostras</i>	2,25	3,64	6,63	16,99
<i>64 amostras</i>	2,10	3,36	6,03	15,15
<i>128 amostras</i>	2,13	3,40	6,09	15,31
<i>256 amostras</i>	2,36	3,71	6,72	16,96
<i>512 amostras</i>	2,58	4,03	7,51	18,63
<i>1024 amostras</i>	2,55	3,99	7,49	18,89
<i>2048 amostras</i>	2,23	3,61	6,61	17,02
<i>4096 amostras</i>	1,97	3,15	5,63	14,28
<i>8192 amostras</i>	-	2,87	5,00	12,32

As Tabelas 5.4, 5.5 e 5.6 fazem uma comparação entre os três protocolos para janelas de 128, 512 e 8192 amostras respectivamente. No geral, constata-se que a janela de

maior comprimento temporal (8192) obterá melhores valores de compressão com menores distorções, pois consegue áreas mais uniformes nas matrizes 2D, como já discutido. Comparando entre os protocolos de exercícios realizados, verifica-se que o tamanho das janelas amostrais impacta no comportamento do codificador de acordo com o protocolo de sinais aplicado.

Tabela 5.4 – Comparação da PRD(%) para o HEVC (janela de 128 amostras)

	Fator de Compressão – CF(%)			
	80	85	90	95
<i>Protocolo 1</i>	2,20	3,52	6,55	16,85
<i>Protocolo 2</i>	2,22	3,55	6,54	16,63
<i>Protocolo 3</i>	2,13	3,40	6,09	15,31

Tabela 5.5 – Comparação da PRD(%) para o HEVC (janela de 512 amostras)

	Fator de Compressão – CF(%)			
	80	85	90	95
<i>Protocolo 1</i>	2,41	3,81	7,13	18,01
<i>Protocolo 2</i>	2,34	3,78	6,97	17,56
<i>Protocolo 3</i>	2,58	4,03	7,51	18,63

Tabela 5.6 – Comparação da PRD(%) para o HEVC (janela de 8192 amostras).

	Fator de Compressão – CF(%)			
	80	85	90	95
<i>Protocolo 1</i>	-	2,47	4,33	10,89
<i>Protocolo 2</i>	1,65	2,70	4,84	12,33
<i>Protocolo 3</i>	-	2,87	5,00	12,32

Em cada uma das tabelas, que expressam resultados para diferentes janelas amostrais, um protocolo distinto terá a menor distorção percentual do seu sinal comprimido. Na Tabela 5.4, com janela de 128 amostras o protocolo 3 obteve o melhor desempenho. Na Tabela 5.5, com janela de 512 amostras, o protocolo 2 obteve o melhor resultado. Na Tabela 5.6, com janela de 8192 amostras, o protocolo 3 obteve melhores resultados.

A Tabela 5.4 demonstra que, para uma janela de tamanho médio, o protocolo 3 (de velocidade e potência constantes) terá melhores resultados de compressão devido a

maior uniformidade destes sinais, em relação aos demais protocolos. Na Tabela 5.5, com uma janela de 512 amostras, o codificador conseguiu obter melhor uniformidade dos sinais quando a potência é constante e a velocidade varia (isto é, para o protocolo 2) e, por fim, para uma janela de 8192 amostras, na Tabela 5.6, o codificador conseguiu extrair melhores informações no protocolo em que há variação da potência e velocidade constante.

Em relação ao JPEG2000 (Tabela 5.7) percebe-se que o desempenho é bastante inferior ao HEVC, mas é interessante notar que para o caso testado (janela 8192 amostras) o codificador parece ser mais sensível à variação das amplitudes do sinal ao longo do tempo de aquisição (protocolo 1, cuja potência variável) do que à variação da informação temporal, uma vez que os protocolos 2 e 3 exibem resultados de PRD semelhantes, mesmo tendo diferentes comportamentos de velocidade do esforço dinâmico.

Tabela 5.7 – Comparação da PRD(%) para o JPEG2000 (Janela de 8192 amostras).

	Fator de Compressão –CF(%)			
	80	85	90	95
<i>Protocolo 1</i>	3,17	5,33	9,99	25,19
<i>Protocolo 2</i>	2,94	4,88	9,83	24,81
<i>Protocolo 3</i>	2,99	5,03	9,30	23,45

Consultando outros trabalhos de referência, observa-se que MELO *et al.* (2016) em seus estudos fazem uma comparação entre os resultados da média da PRD(%) para sinais dinâmicos com os codificadores HEVC e JPEG2000. Em todas as suas comparações entre os distintos codificadores, o HEVC sempre apresentou melhores resultados relativos à degradação final do arquivo reconstruído.

A Tabela 5.8 faz uma comparação com os resultados dos trabalhos mais significativos da área de compressão de sinais sEMG dinâmicos. Com os melhores resultados destacados em negrito, verifica-se que a proposta do projeto obteve resultados de compressão competitivos, com valores menores de PRD(%) com os sinais do protocolo 3 e com uma janela de 8192 amostras, quando são aplicados 85, 90 e 95% de CF.

O trabalho mais recente da área de compressão de sEMG em protocolos dinâmicos encontrado na literatura, de TRABUCO *et al.* (2017), apresenta melhores resultados de PRD(%) para todos os valores de CF. Em suas pesquisas foram aplicados ao sEMG três métodos que, de acordo com o CF considerado, obtiveram os melhores resultados: para CF

entre 70% e 80% o 1D- WDAL (baseado em compressão unidimensional usando Transformada de *wavelets*) e o 2D – BD-HEVC (que usa o HEVC com recorte adaptativo).

Tabela 5.8 – Comparativo da Avaliação de Desempenho da PRD(%) com a Literatura

	Fator de Compressão – CF(%)					
	70	75	80	85	90	95
BERGER <i>et al.</i> , (2006)	2,44	2,70	4,41	7,52	20,10	29,96
COSTA <i>et al.</i> (2009A)	-	-	4,39	5,77	9,39	-
MELO <i>et al.</i> (2016)	-	4,71	6,25	8,91	12,60	-
NORRIS <i>et al.</i> (1995)	7,75	7,93	9,06	10,02	19,98	35,71
TRABUCO <i>et al.</i> (2017) 1D – WDAL	1,12	1,74	2,64	3,93	6,11	12,63
TRABUCO <i>et al.</i> (2017) 2D – RI-HEVC	-	-	2,71	4,28	7,96	19,53
TRABUCO <i>et al.</i> (2017) 2D – BD-HEVC	-	-	-	2,66	4,39	10,28
PROPOSTA – PROTOCOLO 3 E JANELA 8192	-	-	-	2,87	5,00	12,32

Os trabalhos de NORRIS *et al.* (1995) e de BERGER *et al.* (2006) utilizaram sinais adquiridos do músculo vasto lateral, a pesquisa de COSTA *et al.* (2009A) aplicaram em seus testes com ambos os sinais do vasto lateral e vasto medial com sinais dinâmicos. O trabalho de TRABUCO *et al.* (2017) apresenta resultados de compressão para o vasto medial e diversos pré-processamentos de acordo com o tipo de codificação (1D ou 2D).

É interessante ressaltar que no presente trabalho não foi realizado nenhum tipo de pré-processamento robusto ao sinal, mas apenas a preparação dos sinais com a transformação destes de uma dimensão (vetor 1D) para uma organização bidimensional (matriz 2D) e o ajuste de sua faixa dinâmica, normalizada para 16 bits para possibilitar o uso eficiente do HEVC-*intra*. O objetivo era aplicar os sinais de cada protocolo aos codificadores já reconhecidos, padronizados e disponíveis para amplo uso e avaliar a codificação bidimensional dos sinais de sEMG em contrações dinâmicas em relação às suas curvas PRD x CF.

As comparações com a literatura devem ser cautelosas, pois em alguns dos estudos relatados são adquiridos sinais de sEMG de músculos diferentes dos usados neste trabalho, até mesmo em outros protocolos de esforços dinâmicos e com características de aquisição distintas, por exemplo, diferentes taxas de amostragem e profundidades de bits das amostras.

6 CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou uma avaliação da influência de três distintos protocolos de esforços dinâmicos de sinais eletromiográficos de superfície sobre dois diferentes codificadores, o HEVC e o JPEG2000.

Diferentes comprimentos de recorte de janelas temporais foram aplicados aos 9 sinais em cada protocolo, sendo avaliados quanto a raiz quadrática média percentual da diferença em relação ao fator de compressão (PRD x CF) aplicado ao sinal comprimido, dois critérios amplamente utilizados para a avaliação do desempenho dos codificadores da compressão de sinais de sEMG.

Foi possível observar, comparando os resultados gráficos e tabelados, que há uma pequena diferença no comportamento dos codificadores em relação a cada protocolo, no entanto, não há uma discrepância no resultado final da compressão dos sinais dos protocolos aplicados. Observa-se que o HEVC é robusto na codificação de sinais com a variação de amplitude e velocidade, como nos casos dos protocolos 1 e 2, ou seja, obtém bons resultados de compressão com baixa distorção percentual (PRD%) e apresenta diferentes comportamentos de acordo com o tamanho da janela amostral escolhida para a codificação dos sinais.

A comparação entre os codificadores HEVC e o JPEG2000 mostrou-se relevante no resultado final, pois o HEVC sempre apresentou resultados muito superiores com baixas PRD(%) em relação ao JPEG2000. A avaliação aplicada a este presente estudo foi em relação à qualidade final do arquivo comprimido e não em tempo de processamento.

Comparando com as literaturas de referência da área, pode-se dizer que os resultados apresentados foram consistentes e com desempenhos competitivos, sobretudo na faixa de CF entre 85% e 95%. Os testes com o HEVC apresentaram resultados competitivos de PRD nesta faixa, em relação à alguns trabalhos apresentados, mesmo sem um pré-processamento mais elaborado, apenas com os ajustes do sinal para a sua aplicação ao codificador 2D.

Como recomendação para pesquisas futuras, pode-se aplicar identificadores de bulhas, com o intuito de codificar apenas áreas nas quais existam atividades musculares representativas no sinal de sEMG. Também pode-se buscar melhores pré-processamentos dos sinais, para melhorar a predição *intra* do HEVC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, M. M. (2006) *Análise Tempo-Frequência de Sinais Eletromiográficos de Superfície para a Avaliação de Fadiga Muscular em Cicloergômetro*. Tese de doutorado em Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília.

BASMAJIAN, J. V. (1963) *Control and Training of Individual Motor Unit*. Science, vol. 141, n. 3579, p. 440-441.

BASMAJIAN, J. V.; DE LUCA, C. J. (1985) *Muscles Alive: Their Functions Revealed by Electromyography*. Lippincott Williams e Wilkins, ISBN 9780683004144, vol. 278, p. 126 Baltimore, MD, USA.

BERGER, P. A.; NASCIMENTO, F. A. O.; CARMO, J. C.; DA ROCHA, A. F.; DOS SANTOS, I. (2003) 'Algorithm for compression of EMG signals'. In: *Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, vol. 2, pp. 1299–1302.

BERGER, P. A.; NASCIMENTO, F. A. O.; DO CARMO, J. C.; DA ROCHA, A. F. (2006) "Compression of EMG signals with wavelet transform and artificial neural networks". In: *Physiological Measurement*, vol. 27, no. 6, pp. 457–465.

CAROTTI, E. S. G.; MARTIN, J.C.; MERLETTI, R.; FARINA, D. (2006) *Compression of Surface EMG Signals with Algebraic Code Excited Linear Prediction*. Medical Engineering e Physics, Volume 29, March 2007, pp. 253-258, IEEE 142440469X06.

CHANASABAENG, P.; CHAROEN, B.; PAPHANGKORAKIT, J. (2012) "Lossless Compression of Electromyographic Signal", The 2012 Biomedical Engineering International Conference (BMeiCon-2012) Penang, Malaysia.

CONCI, A.; AZEVEDO, E.; LETA, F.R. (2008) *Computação Gráfica: Teoria e Prática, volume 2*, Elsevier, ISBN 9788535223293, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

COSTA, M. V. C. (2014) *Compressão de Sinais de sEMG Utilizando Técnicas Bidimensionais*. Tese de doutorado em Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília.

COSTA, M. V. C.; CARVALHO, J. L. A; BERGER, P. A.; ROCHA, A. F.; NASCIMENTO, F. A. O. (2008) "Compression of Electromyographic Signals Using Images Compression Techniques", In: *Proceedings of 30th Annual International IEEE EMBS Conference*, Vancouver, BC, Canada.

COSTA, M. V. C.; CARVALHO, J. L. A; BERGER, P. A.; ROCHA, A. F.; NASCIMENTO, F. A. O.; ZAGHETTO, A. (2009A) 'Two-dimensional compression of Surface electromyographic signals using Column-correlation Sorting and Image Encoders', In: *Proceedings of 31th Annual International IEEE EMBS Conference*, Minneapolis, Minnesota, USA.

- COSTA, M. V. C.; CARVALHO, J. L. A.; BERGER, P. A.; ROCHA, A. F.; NASCIMENTO, F. A. O. (2009B) *Compression of Surface Electromyographic Signals Using Two-Dimensional Techniques*, Recent Advances in Biomedical Engineering, Ganesh R Naik (Ed.), ISBN: 9789533070049, InTech.
- CRISWELL, E. (2011) *Cram's Introduction to Surface Electromyography, 2nd ed.*, Jones and Bartlett Publishers, ISBN 100763732745, Sudbury, Massachusetts.
- DE LUCA, CARLO J. (1997), "The Use of Surface Electromyography in Biomechanics". In: *Journal of Applied Biomechanics*, vol. 13, no. 2, pp 135–163.
- DISSANAYAKE, M, B.; ABEYRATHNA, D. L. B.; (2015) *Performance Comparison of HEVC and H.264/AVC Standards in Broadcasting Environments. Journal of Information Processing System*, vol. 11, no. 3, pp. 483–494.
- DU BOIS-REYMOND E. (1849) 'Untersuchungen Ueber Thiersiche Electricitat, vol2, p 815, Editora: Verlag Von G. Reimer, Berlim, Alemanha.
- FLYNN, D.; MARPE, D.; NACCARI, M.; NGUYEN, T.; ROSEWARNE, C. (2016) "Overview of the Range Extensions for the HEVC Standards: Tools, Profiles, and Performance". *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 26, no.1, pp. 4–19.
- GALVANI, L; GREEN, R.M. (1953) "Commentary on the Effect of Electricity on Muscular Motion". Cambridge, MA.
- GIROD, B.; RABENSTEIN, R.; STENGER, A. (2003) *Sinais e Sistemas, ed.*, LTD – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, ISBN 9788521613640, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- GONZALEZ, R.C.; WOODS, E.R.; (2010) *Processamento Digital de Imagens, 3ªed.*, Pearson Prentice Hall , ISBN 9788576054016, São Paulo, SP, Brasil.
- GRONFORS, T.; REINIKAINEN, M.; SIHVONEN, T. (2006), "Vector Quantization as a Method for Integer EMG Signal Compression". In: *Journal of Medical Engineering & Technology*, vol. 30, no. 1, pp 41–52.
- GUERRERO, AP.; MAILHES, C. (1997), "On the Choice of an Eletromyogram Data Compression Method" *Proceedings – 19th International Conference – IEEE/EMBS – 078034262397- Chicago, IL, USA.*
- ITIKI, C.; FURUIE, S. S.; MERLETTI, R. (2014), "Compression of High-density EMG signals for trapezius an Gastrocnemius Muscles" *BioMedical Engineering OnLine*
- KONRAD, P. (2005) *The ABC of EMG: A Practical Introduction to Kinesiological Electromyography*. Disponível em: <<http://www.noraxon.com/docs/education/abcof-emg.pdf>>. Acesso em 18/03/2018.
- MELO, W, C.; LIMA FILHO, E B.; SILVA JUNIOR, W. S. (2012) "Electromyography Signal Compression Based on Preprocessing Techniques", In: 4th Annual International Conference of the IEEE EMBS, San Diego, California, USA.

MELO, W. C.; LIMA FILHO, E. B.; SILVA JUNIOR, W. S. (2016) “SEMG Signal Compression Based on Two-Dimensional Techniques” *BioMed Eng OnLine* DOI 10.116/s1293801601581, vol. 15 no.1, p.41.

MERLETTI, R.; FARINA, D. (2016) *Surface Electromyography: Physiology, Engineering and Applications*, IEEE PRESS, Wiley Interscience, John Wiley & Sons, New Jersey, USA.

MERLETTI, R.; PARKER, P. (2004) *Electromyography: Physiology, Engineering and Noninvasive Applications*, IEEE Press Series in Biomedical Engineering, Metin Akay, Series Editor. John Wiley & Sons – IEEE Press, ISBN 9780471675808, Hoboken, NJ, USA.

MILICEVIC, Z.; BOJKOVIC, Z. (2014) *HEVC vs. H.264/AVC Through Performance and Complexity Comparison*. Recent Advances in Computer Science, ISBN 9789604743933, Belgrade, Republic of Serbia.

NAÏT-ALI, A.; CAVARO-MÉNARD, C. (2008) *Compression of Biomedical Images and Signals*, ISTE - John Wiley & Sons, ISBN 9781848210288, London, UK – Hoboken, NJ, USA.

NORRIS J. A.; ENGLEHART K.; LOVELY, D. F. (2001), ‘Steady-state and dynamic myoelectric signal compression using Embedded zero-tree wavelets’ In: *Proceedings of 23th Annual International IEEE EMBS Conference*, Istanbul, Turkey.

NORRIS J. A.; ENGLEHART K.; LOVELY, D. F. (2003), “Myoelectric signal compression using zero-trees of wavelet coefficients”. In: *Journal of Medical Engineering & Physics*, vol. 25, no. 9, pp 739–746.

NORRIS, J. F.; LOVELY, D. F. (1995), “Real-time Compression of Myoelectric Data Utilizing Adaptive Differential Pulse Code Modulation” . In: *Med Biol Eng Comput*, vol. 33, no. 5 pp 629-635.

OHM, J. R.; SULLIVAN, G. J; SCHWARZ, H.; TAN, T. K. (2012) “Comparison of the Coding Efficiency of Video Coding Standards – Including High Efficiency Video Coding (HEVC)”. In: *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 22, no. 12.. pp. 1669–1684.

OLIVEIRA, H. M. (2007) *Análise de Sinais para Engenheiros: Uma abordagem via Wavelet*, Brasport – Livros e Multimídia Ltda, ISBN 9788574522838, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

PAIVA, J. P. ; KELENCZ, C. A.; PAIVA, H. M. (2008), “Adaptive wavelet EMG compression based on local optimization of filter banks”. In: *Physiological Measurement - IOP Publishing*, vol. 29, no.7, pp. 843–856.

RODRIGUES C.E.B.; MORAES A.C.; OKANO, A.H. (2007), “Torque Articular e Atividade Eletromiográfica dos Músculos Bíceps Femoral e Semitendíneo Durante Movimentos Isocinéticos de Flexão de Joelho em Atletas de Futebol”. In: *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desenvolvimento Humano*, ISSN 1980-0037 vol. 9, pp 262–270.

SAYOOD, K. (2012) *Introduction to Data Compression, 4th ed.*, Morgan Kaufmann Publishers, ISBN 9780124157965, Waltham, MA, USA.

SKODRAS, A; CRISTOPOULOS, C.; EBRAHIMI, T. (2001), “The JPEG2000 Still Image Compression Standard”. In: *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 18, no. 5, pp. 36–58.

STANFIELD, C. L. (2013) *Fisiologia Humana*, Person Education do Brasil, ISBN 9788581436340, São Paulo.

SULLIVAN, G. J.; BOYCE, J. M.; CHEN, Y.; OHM, J. R.; SEGALL, A.; VETRO, A. (2013) “Standardized Extensions of High Efficiency Video Coding (HEVC)”. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 7, no. 6, pp. 1001–1016.

SZE, V.; BUDAGAVI, M. (2013) A Comparison of CABAC throughput for *HEVC/H.265 VS AVC/H.264* – IEEE Workshop on Signal Processing Systems - ISBN 978146736238213.

SZE, V.; BUDAGAVI, M.; SULLIVAN, G.J. (2014) *High Efficiency Video Coding (HEVC) – Algorithms and Architectures*, Editora Springer, ISBN 9783319068954, New York, NY, USA.

TAUBMAN, D. (2000); “*High performance scalable image compression with EBCOT*”, *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 9., no. 7, pp. 1158–1170

TAUBMAN, D.; MARCELLIN, M. (2002A) *JPEG: Compression Fundamentals, Standards and Practice*, Springer Science + Business Media, ISBN 9781461352457, New York, NY, USA.

TAUBMAN, D.; MARCELLIN, M. (2002B), “JPEG2000: Standard for Interactive Imaging”. In: *Proceedings of the IEEE*, vol. 90, no. 8, pp 1336–1357.

THONGPANJA, S.; PHINYOMARK, P.; PHUKPATTARANONT, C. (2013) “Mean and Median EMG Signal to Determine Muscle Force Based on Time-dependent Power Spectrum”. DOI: 10.5755/j01.eee.19.3.3697, *Elektronika Ir Elektrotechnika*, ISSN 1392-1215, vol. 19, no. 3, pp 51–56.

TRABUCO, M. H. (2012) *Compressão de Sinais de Eletromiografia Utilizando Transformada de Wavelets e Alocação de Bits por Sub-bandas*. Dissertação de mestrado em Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília.

TRABUCO, M. H. (2017) *Compressão de Sinais de sEMG em Abordagens 1D e 2D*. Tese de doutorado em Engenharia de Sistemas Eletrônicos e Automação, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília.

TRABUCO, M. H.; COSTA, M. V. C.; NASCIMENTO F. A. O. (2014) “S-EMG Signal Compression Based on Domain Transformation and Spectral Shape Dynamic Bit Allocation”. DOI:10.1186/1475-925X-13-22, *BioMedical Engineering OnLine*, vol. 13, no. 22, pp. 12.

TRABUCO, M. H.; COSTA, M. V. C.; NASCIMENTO F. A. O. (2017) “S-EMG Signal Compression in 1D e 2D Approaches”. DOI: 10.1109/JBHI.2017.2765922, IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, (early access), pp 2168–2194.

VOLTA A.; (1792) “Mommoria Prima Sull’ Elettricita Animatle”. In Collezione dell’Opere, II. Florence, Italy: G. Piatti.

WELLIG, P.; CHENG, Z; SEMLIG, M; MOSCHYTZ, G.S. (1998) *Eletromyogram Data Compression Using Single-tree and Modified Zero-tree Wavelet Encoding*, In: *Proceedings of the 20th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* , vol. 20, no. 3, Hong Kong, China.

WOODS, J. W. (2011) *Multidimensional Signal, Image, and Video Processing and Coding*, 2nd ed., Academic Press; ISBN 9780123814203, Oxford, UK.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – SINAIS DE SEMG DO MÚSCULO VASTO MEDIAL (PERSPECTIVAS 3D E REPRESENTAÇÃO 2D)

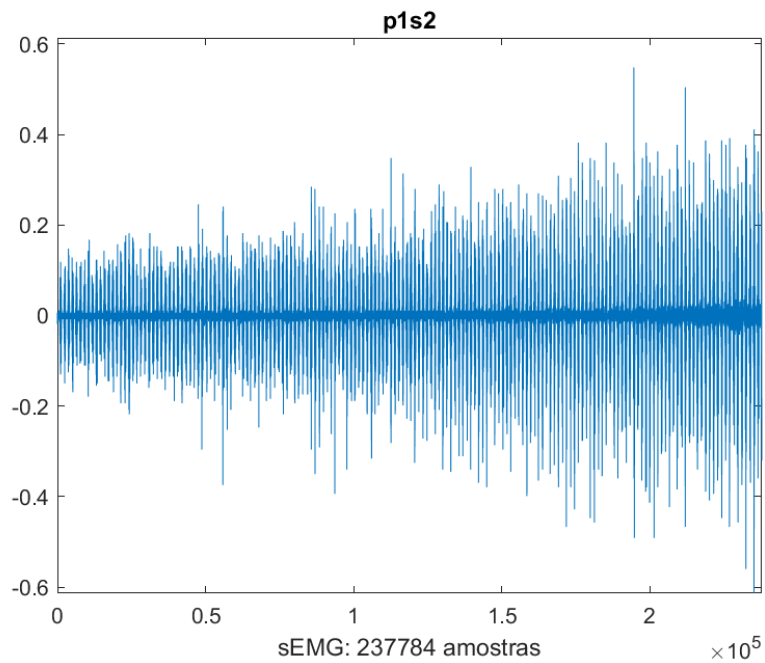


Figura 24- Sinal 2 do Protocolo 1

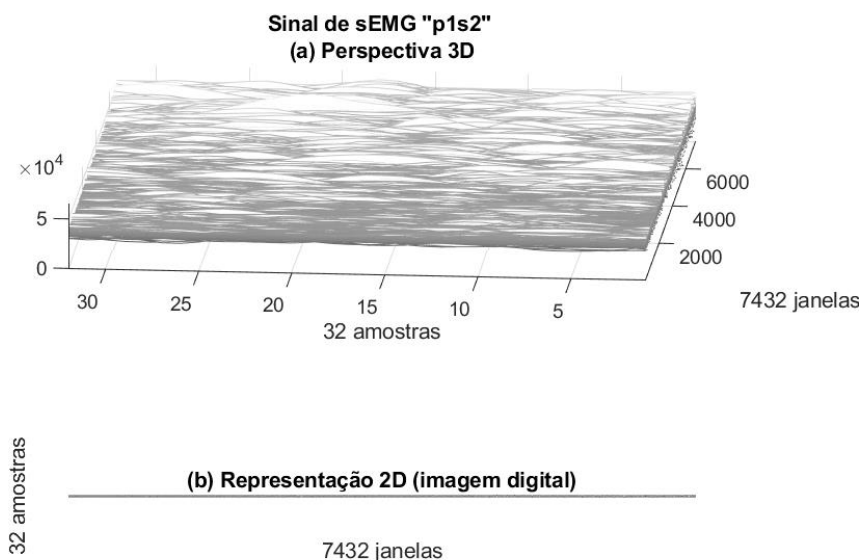


Figura 25- Sinal “p1s2”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

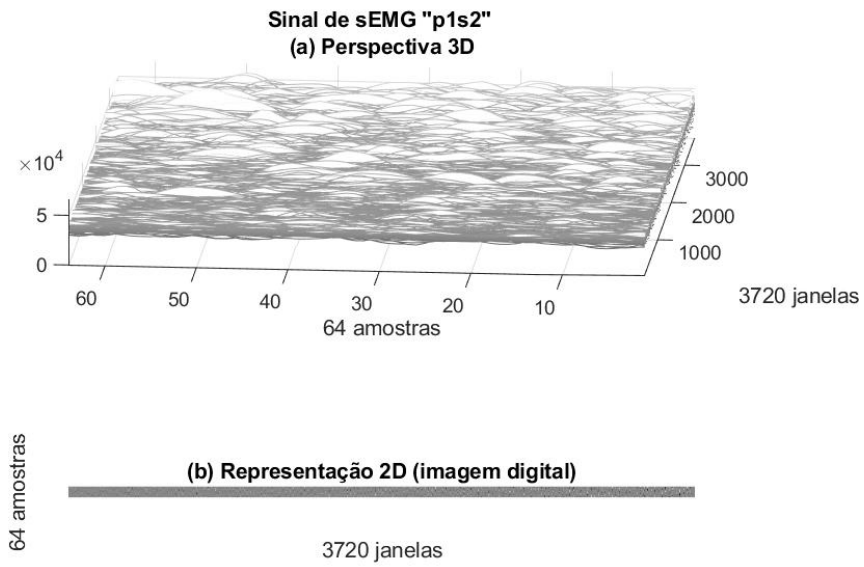


Figura 26- Sinal “p1s2”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

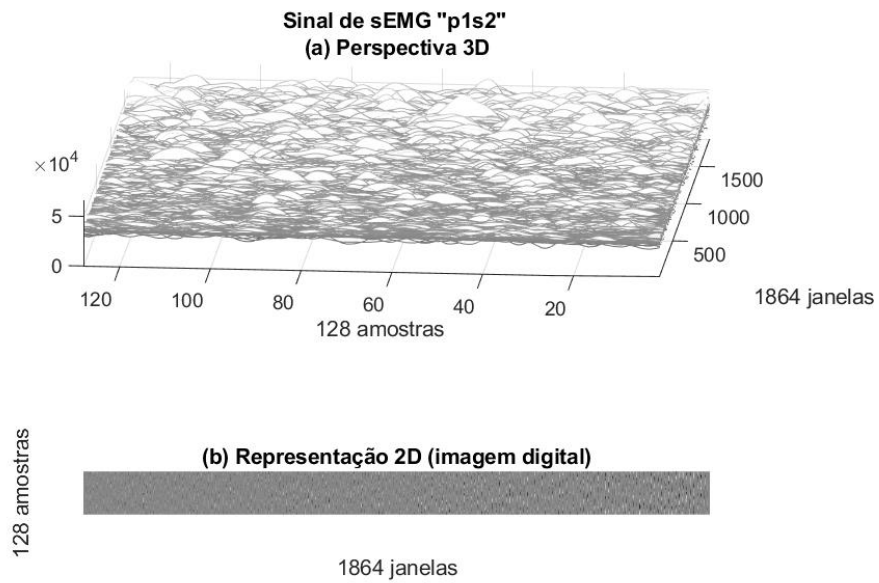


Figura 27- Sinal “p1s2”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

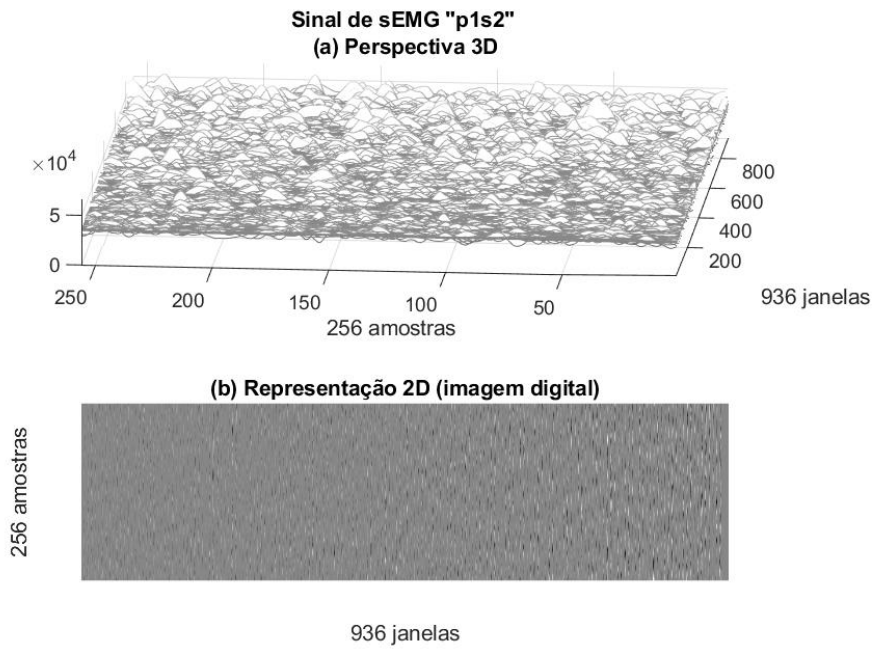


Figura 28- Sinal “p1s2”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

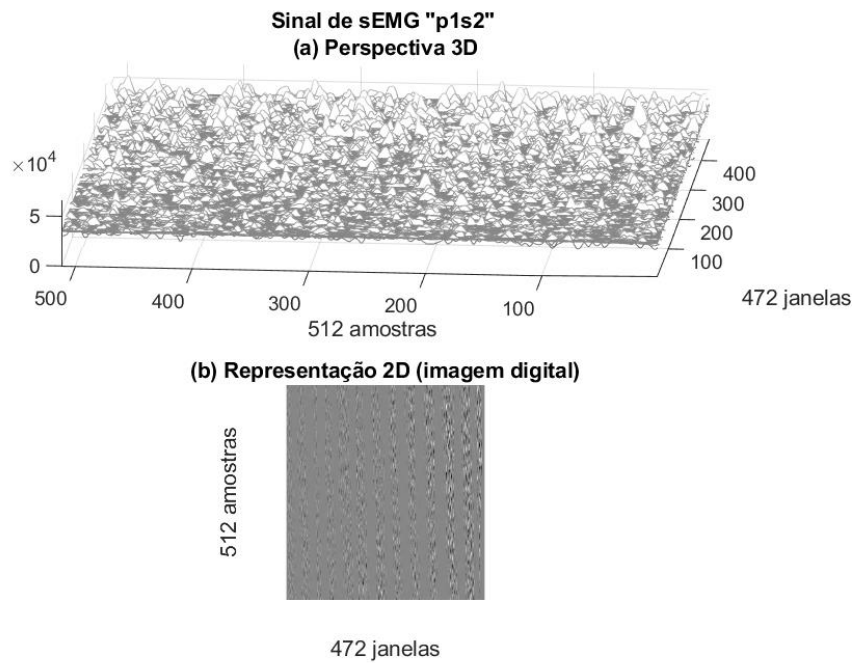


Figura 29- Sinal “p1s2”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

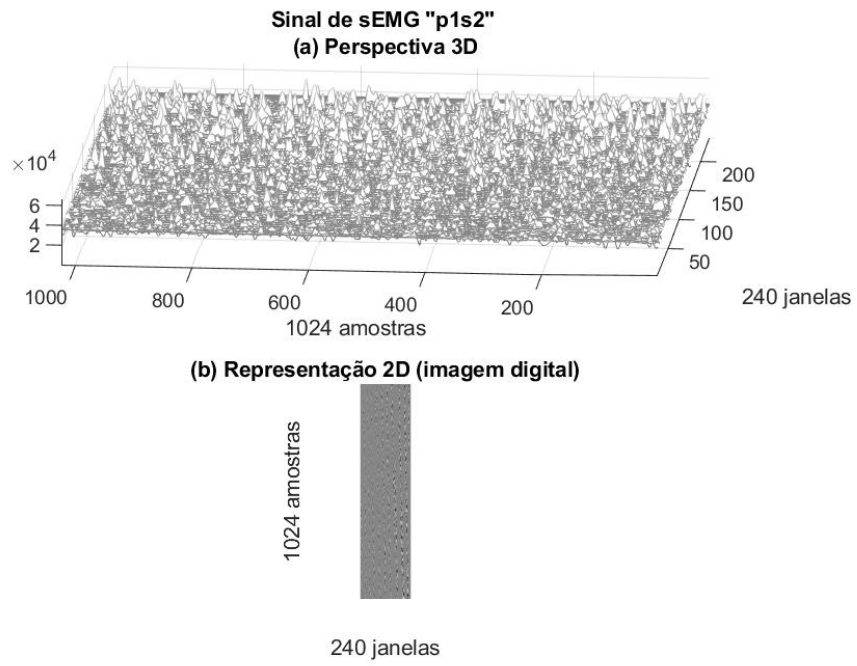


Figura 30- Sinal “p1s2”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

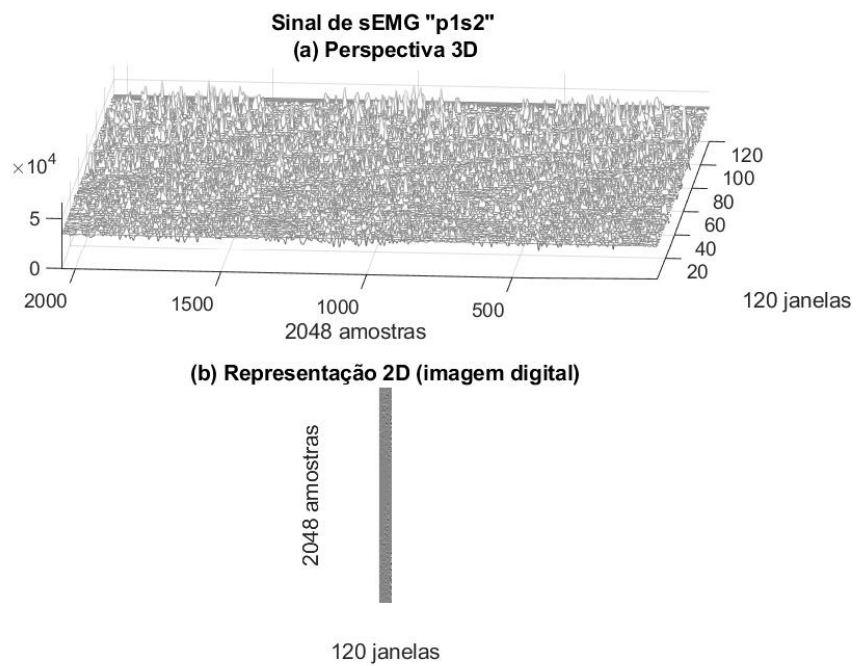


Figura 31- Sinal “p1s2”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

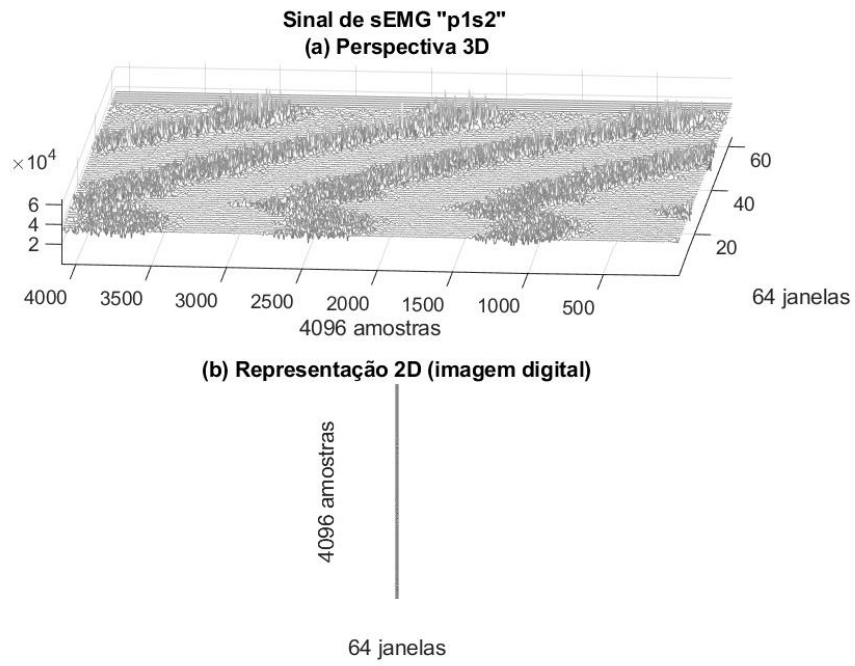


Figura 32- Sinal “p1s2”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

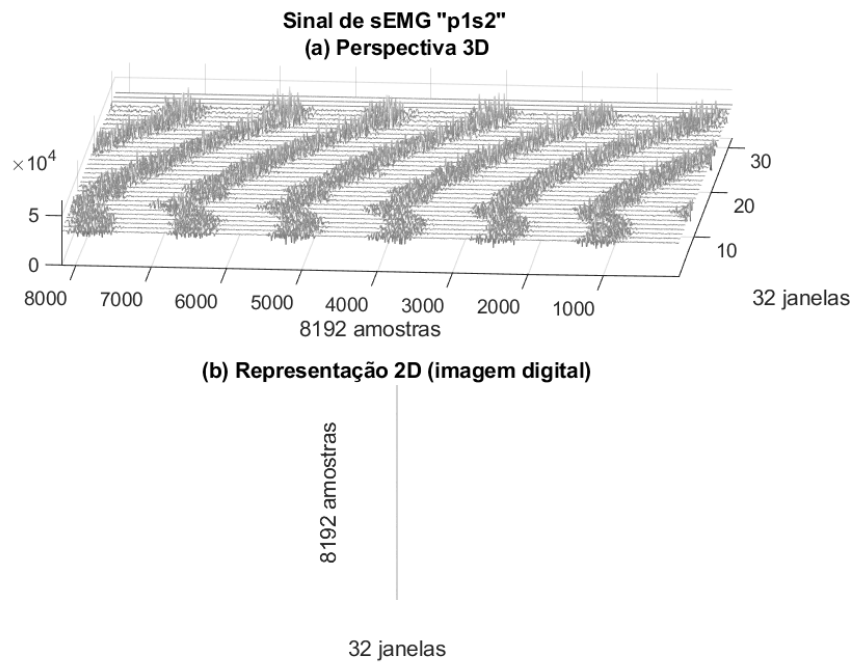


Figura 33- Sinal “p1s2”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

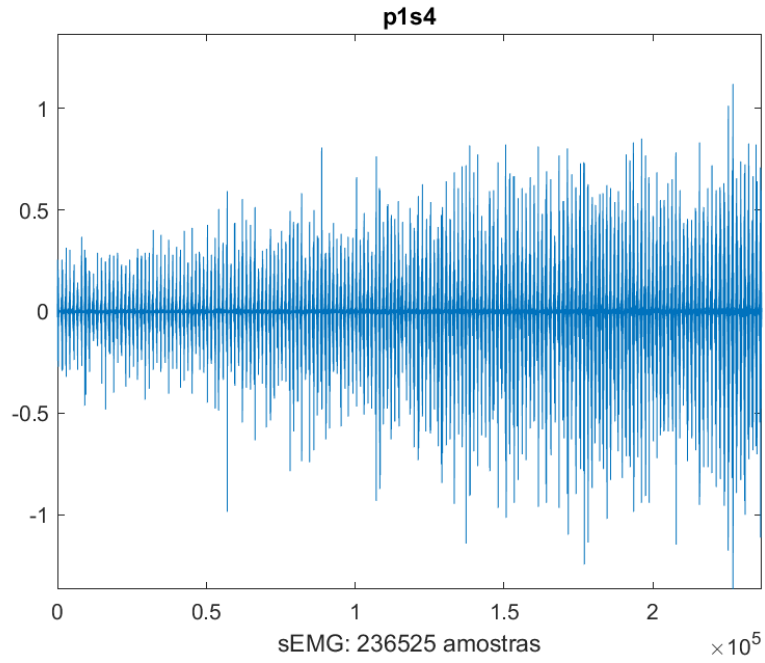


Figura 34- Sinal 4 do Protocolo 1

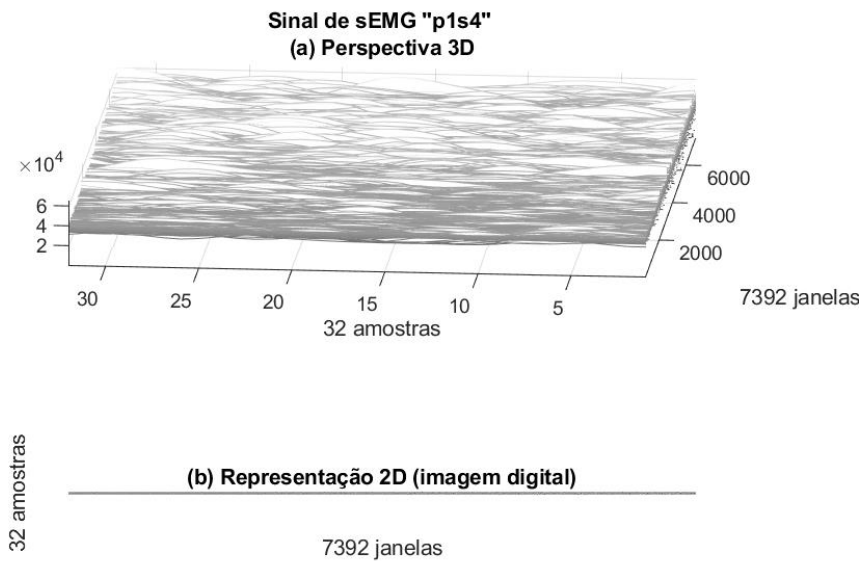


Figura 35- Sinal "p1s4", 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

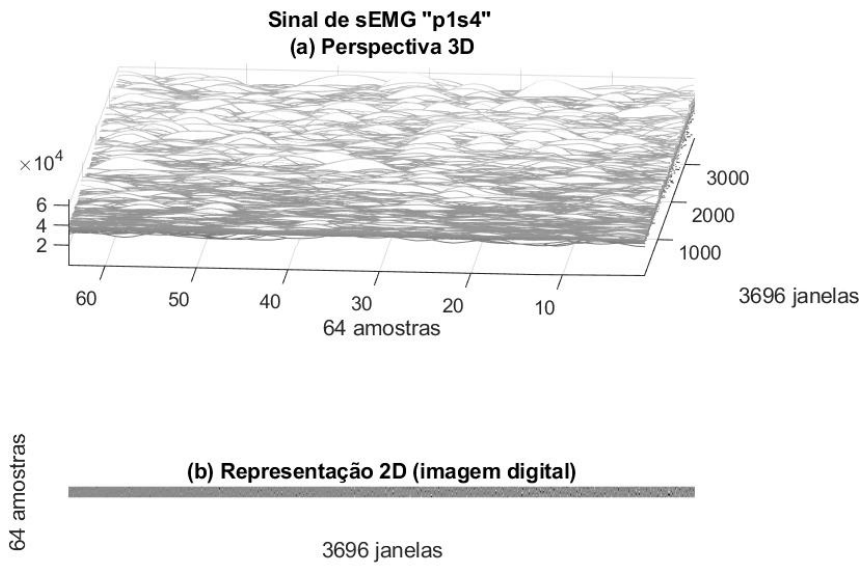


Figura 36- Sinal “p1s4”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

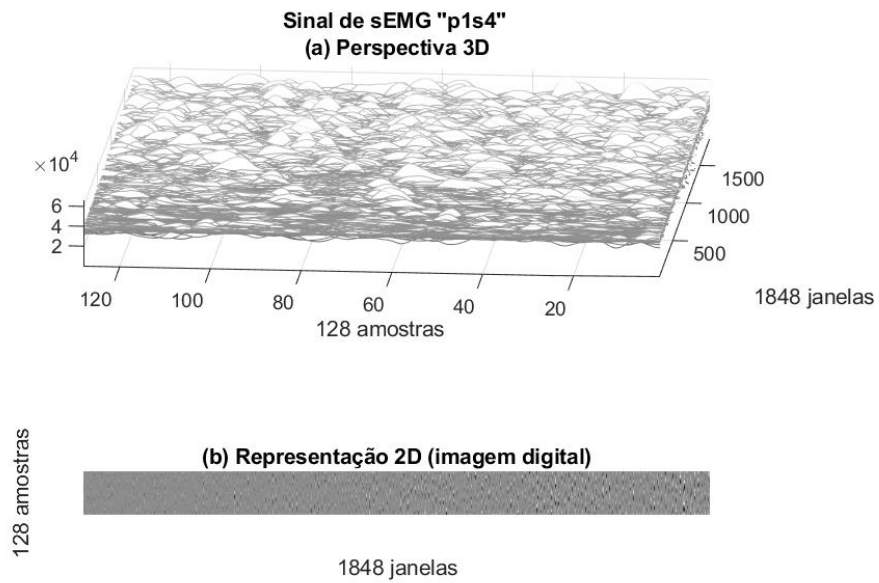


Figura 37- Sinal “p1s4”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

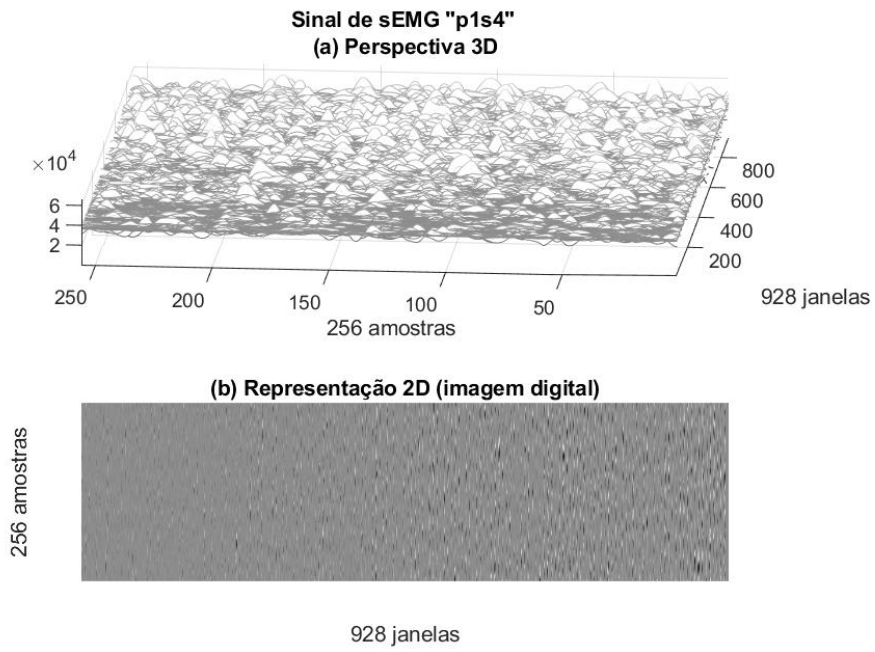


Figura 38- Sinal “p1s4”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

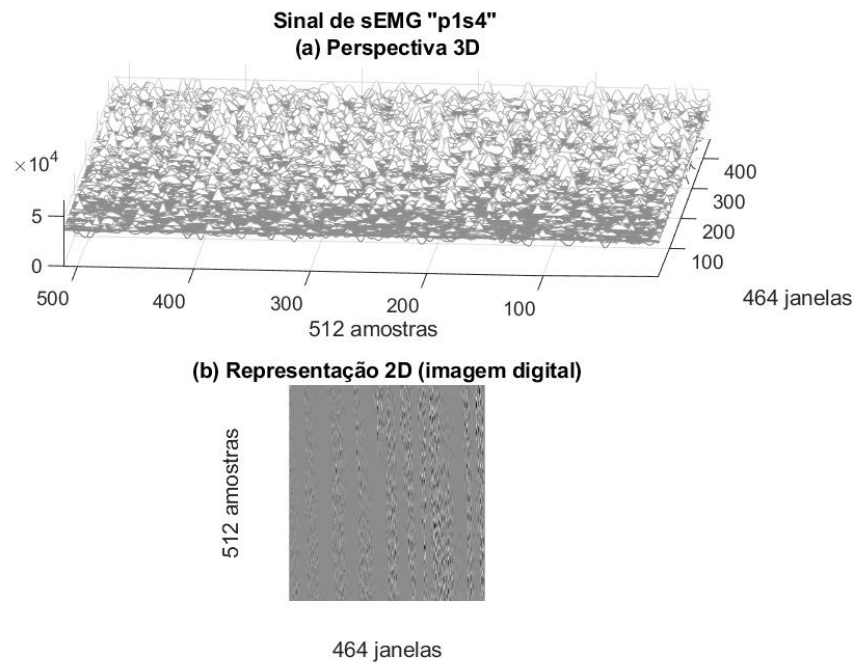


Figura 39- Sinal “p1s4”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

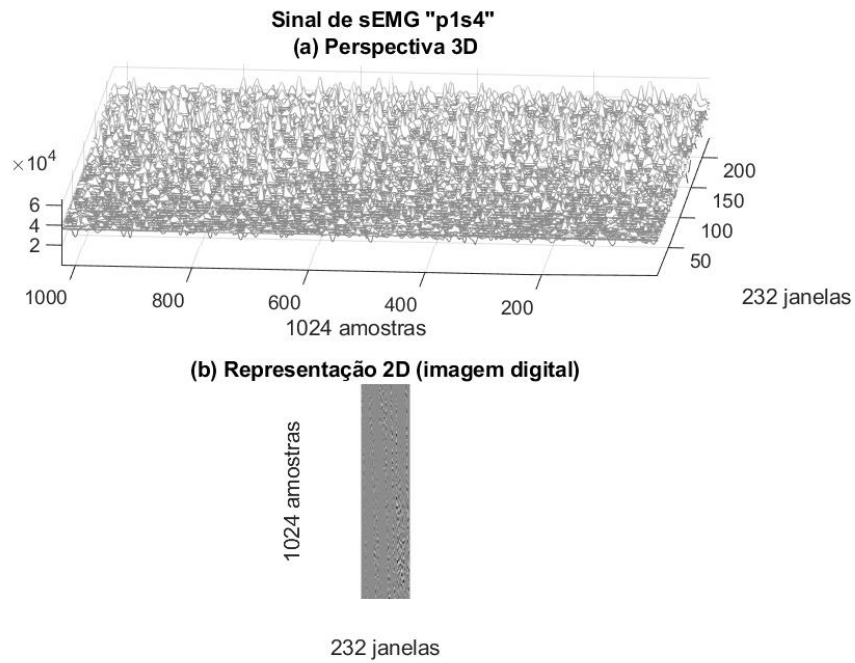


Figura 40- Sinal “p1s4”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

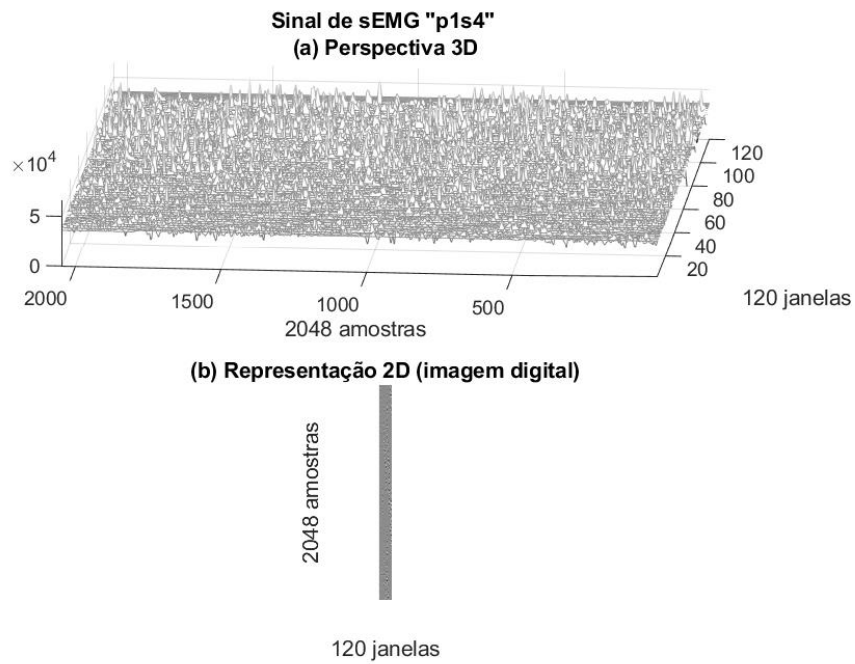


Figura 41- Sinal “p1s4”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

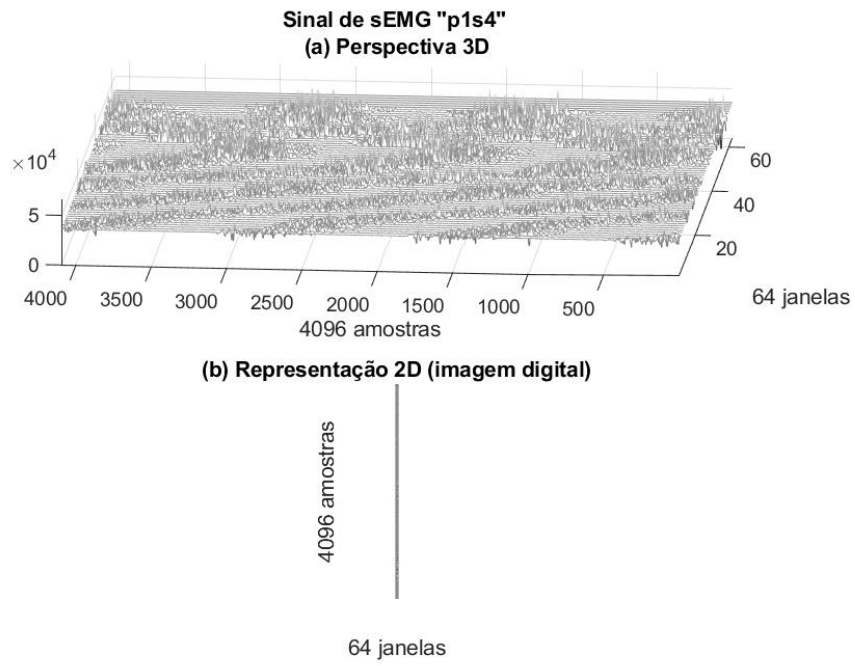


Figura 42- Sinal “p1s4”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

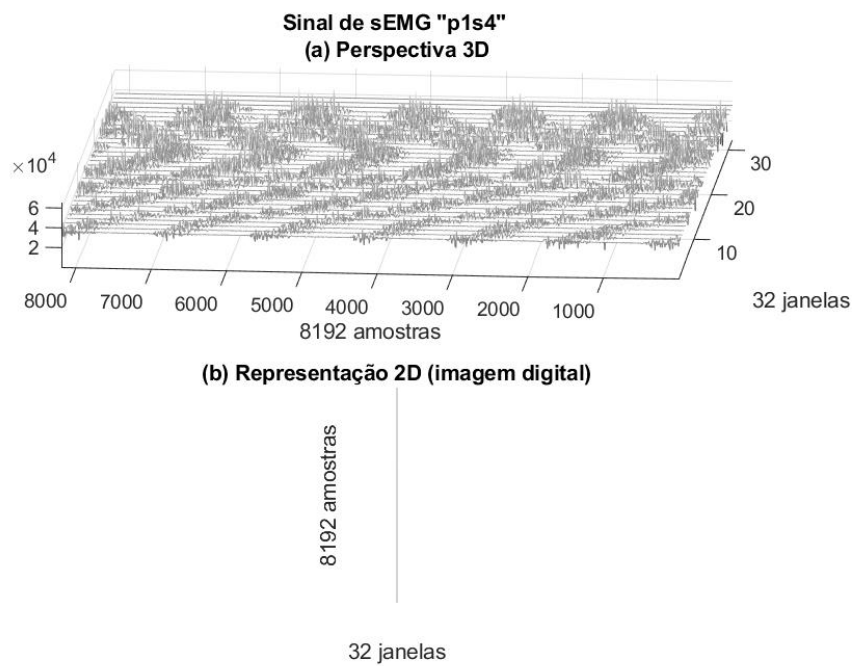


Figura 43- Sinal “p1s4”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

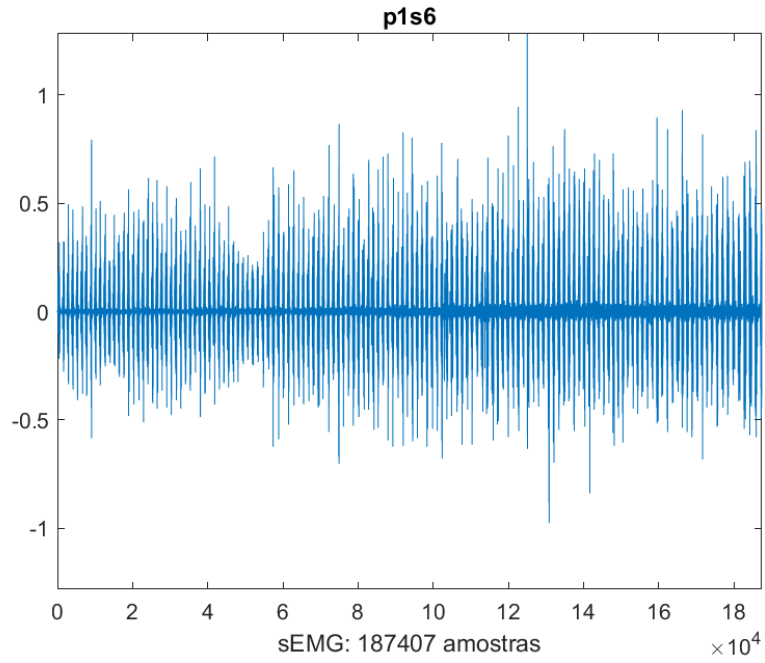


Figura 44- Sinal 6 do Protocolo 1

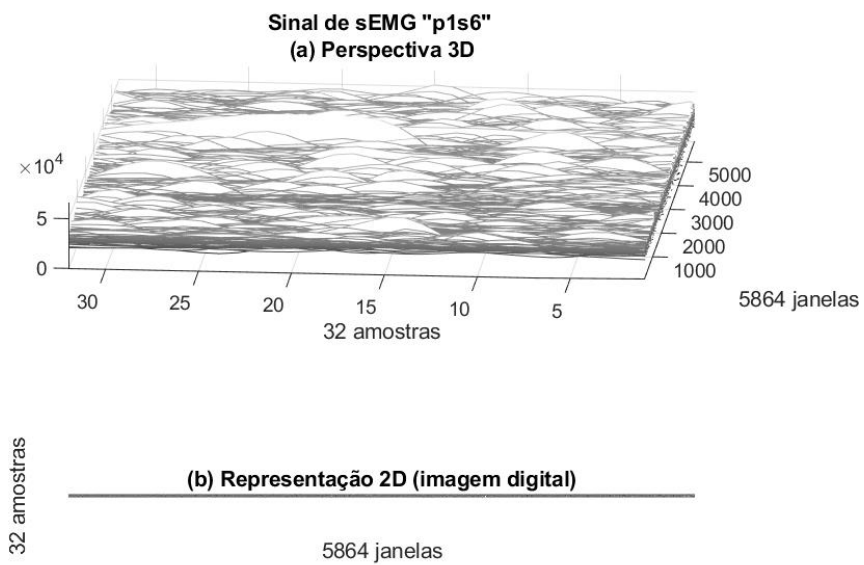


Figura 45- Sinal “p1s6”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

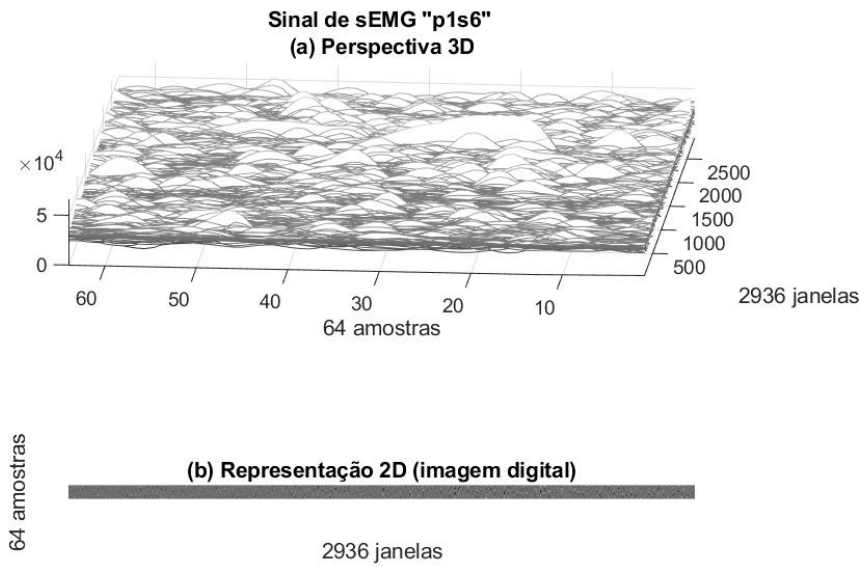


Figura 46- Sinal “p1s6”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

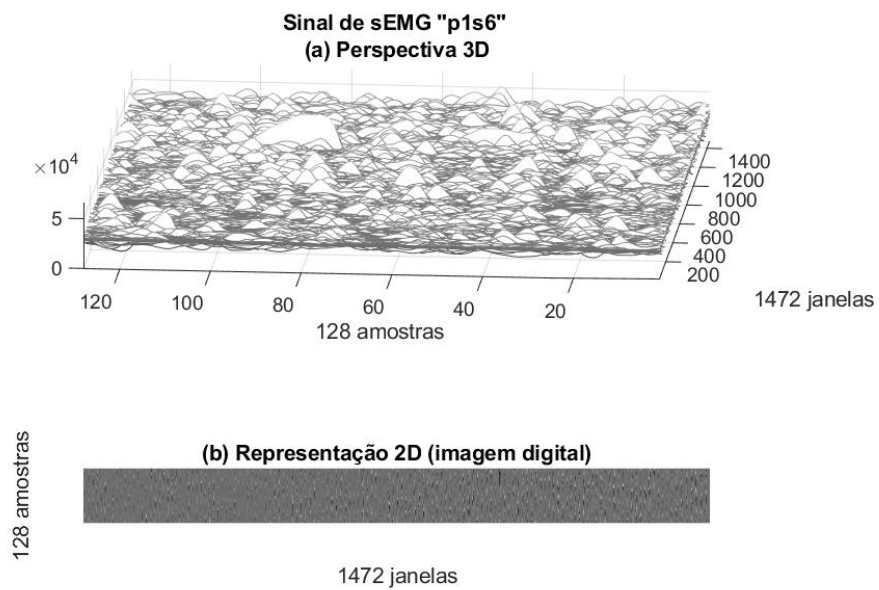


Figura 47- Sinal “p1s6”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

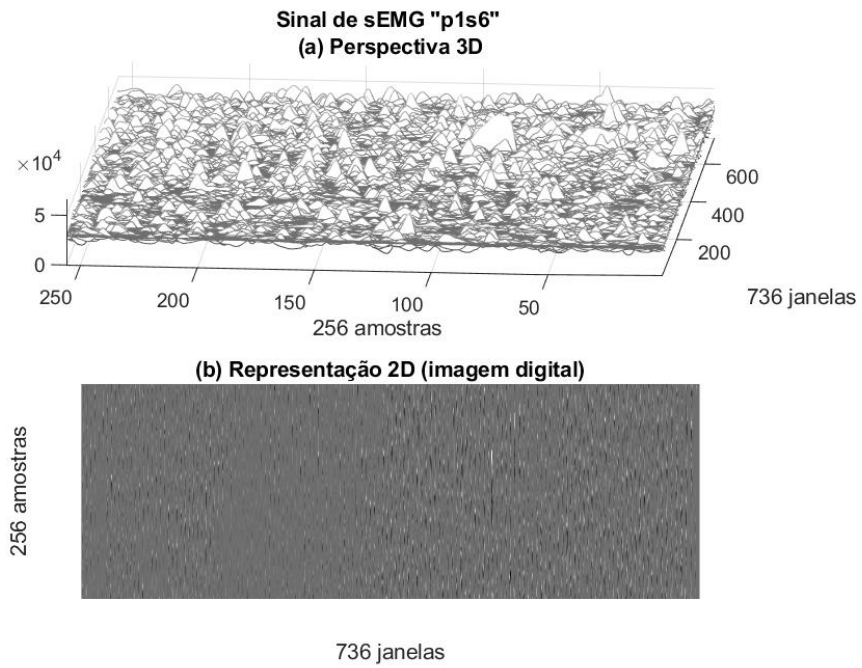


Figura 48- Sinal “p1s6”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

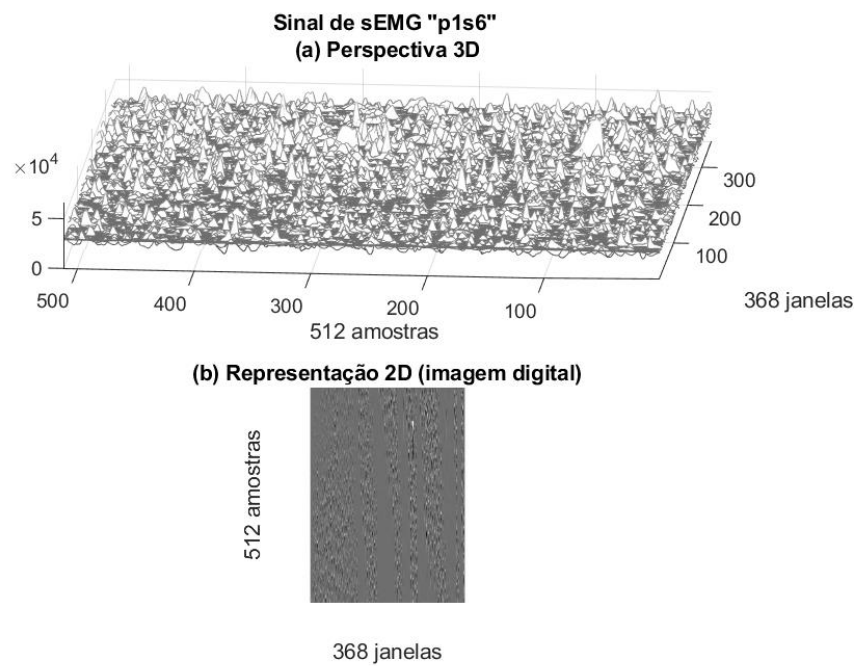


Figura 49- Sinal “p1s6”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

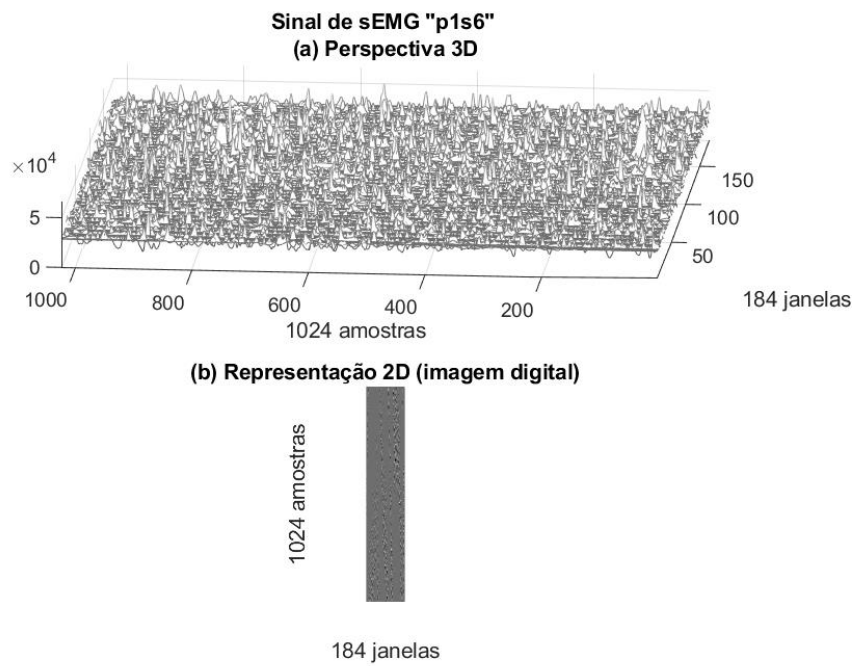


Figura 50- Sinal “p1s6”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

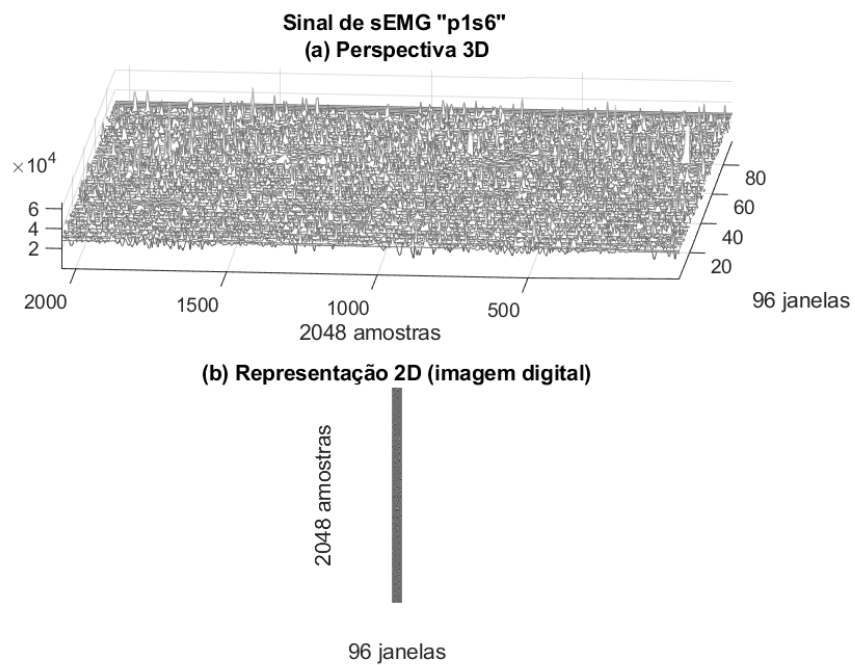


Figura 51- Sinal “p1s6”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

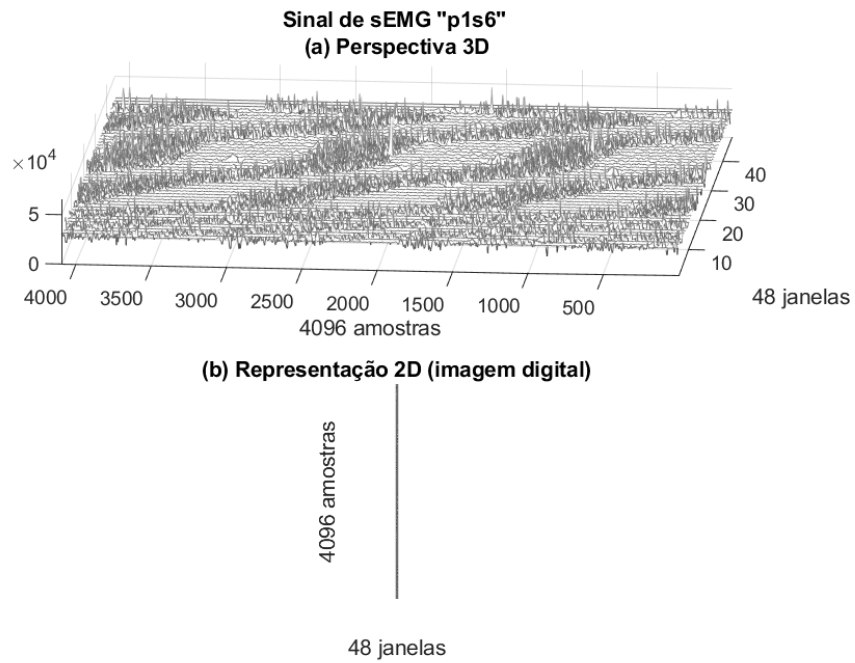


Figura 52- Sinal “p1s6”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

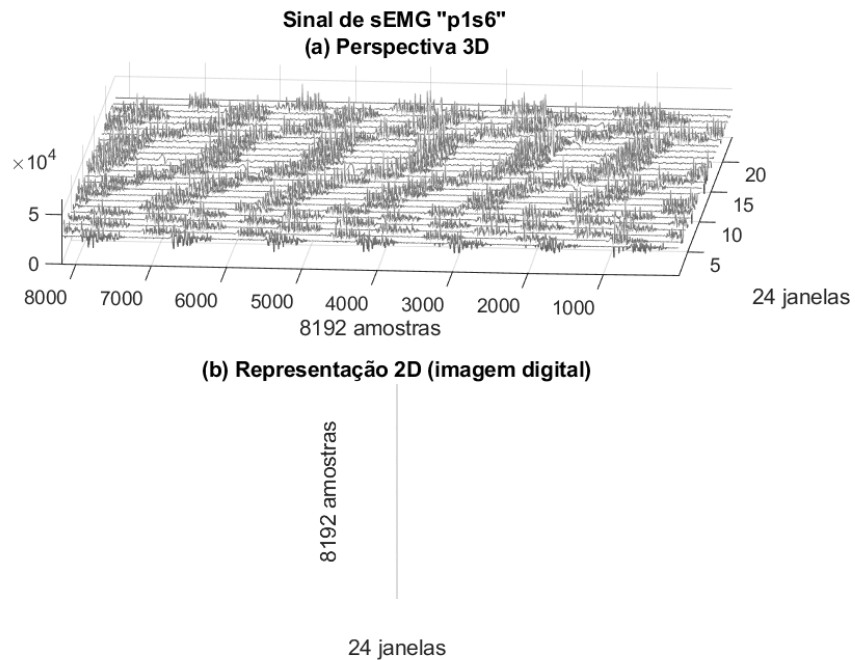


Figura 53- Sinal “p1s6”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

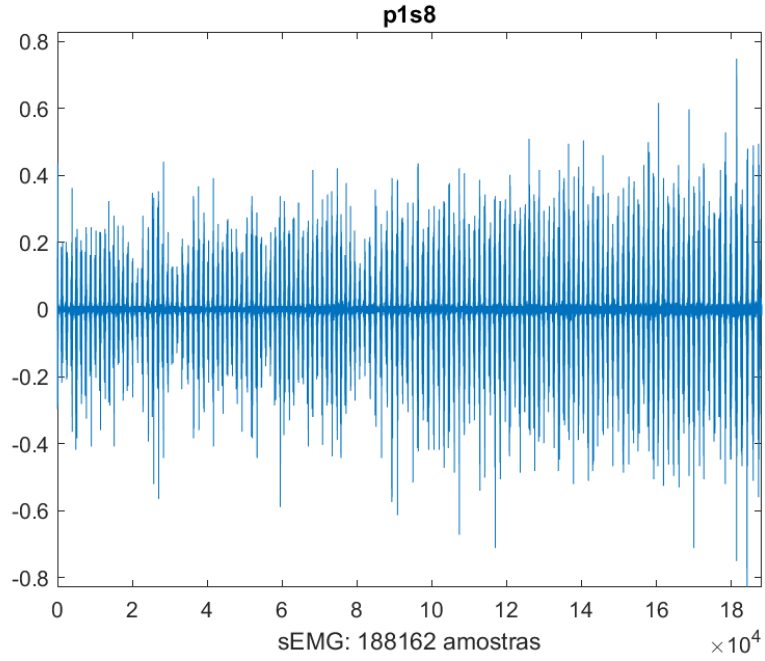


Figura 54- Sinal 8 do Protocolo 1

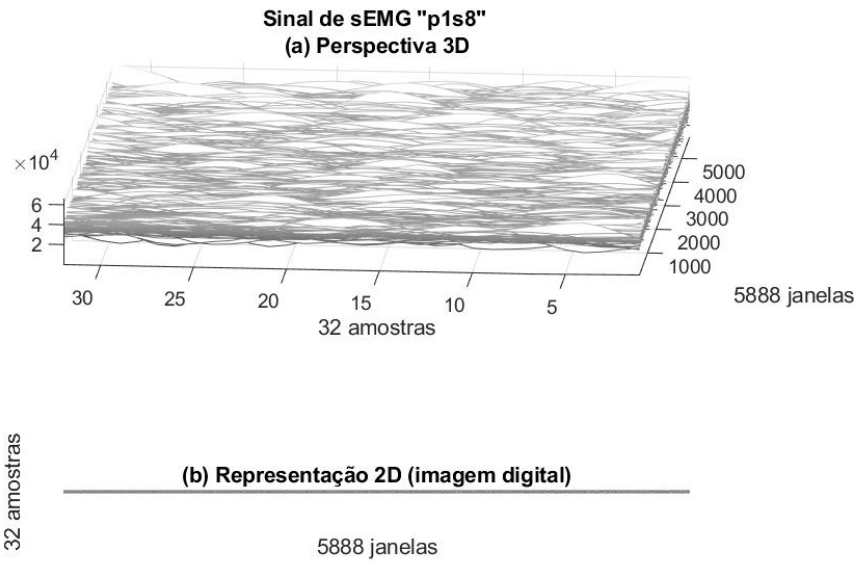


Figura 55- Sinal “p1s8”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

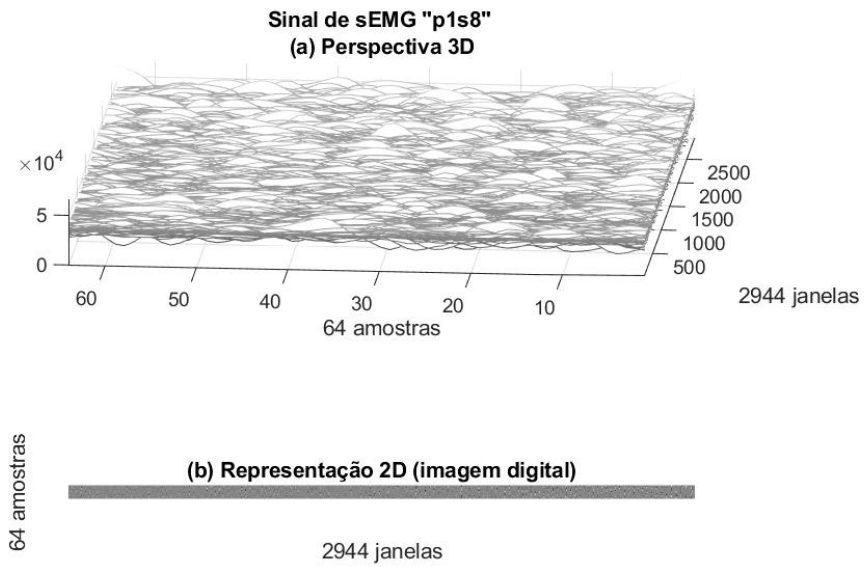


Figura 56- Sinal “p1s8”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

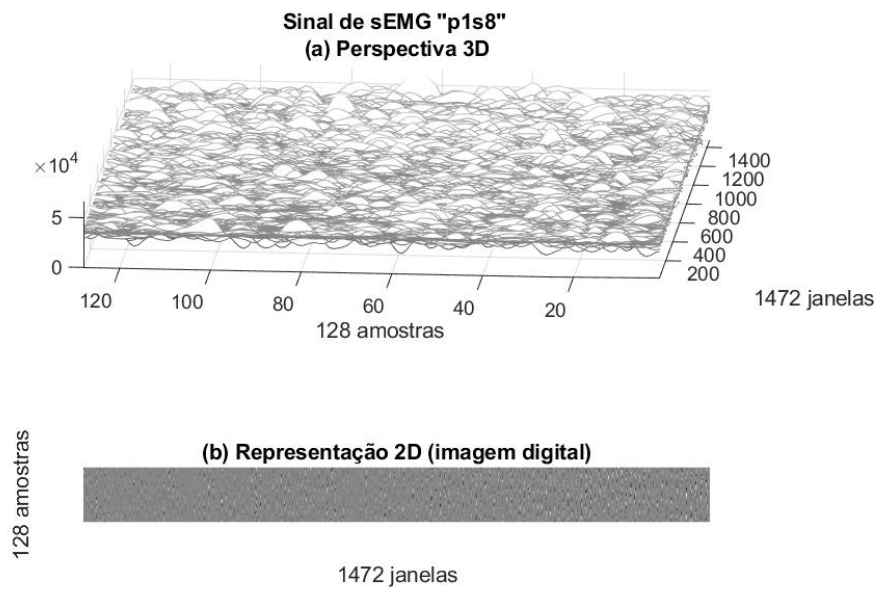


Figura 57- Sinal “p1s8”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

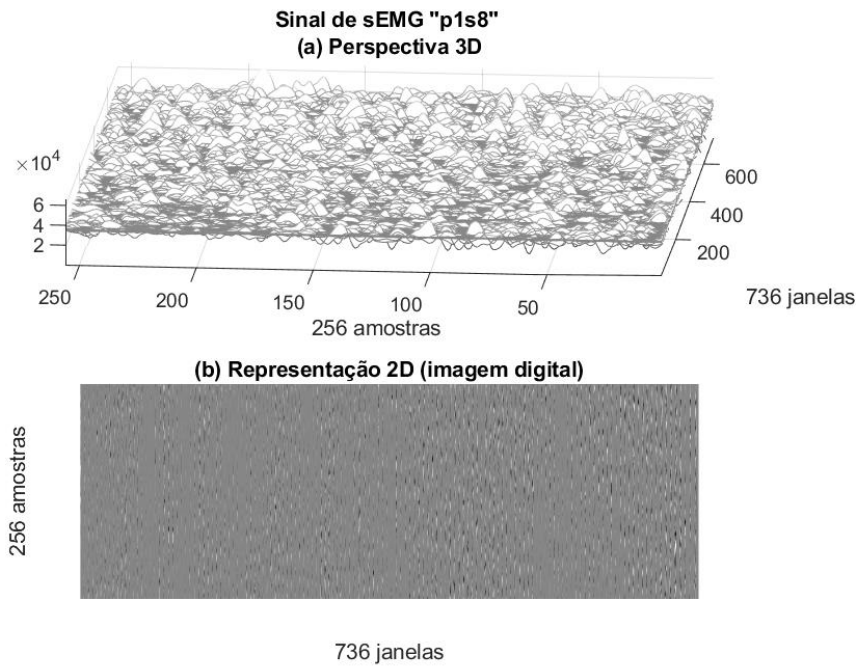


Figura 58- Sinal “p1s8”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

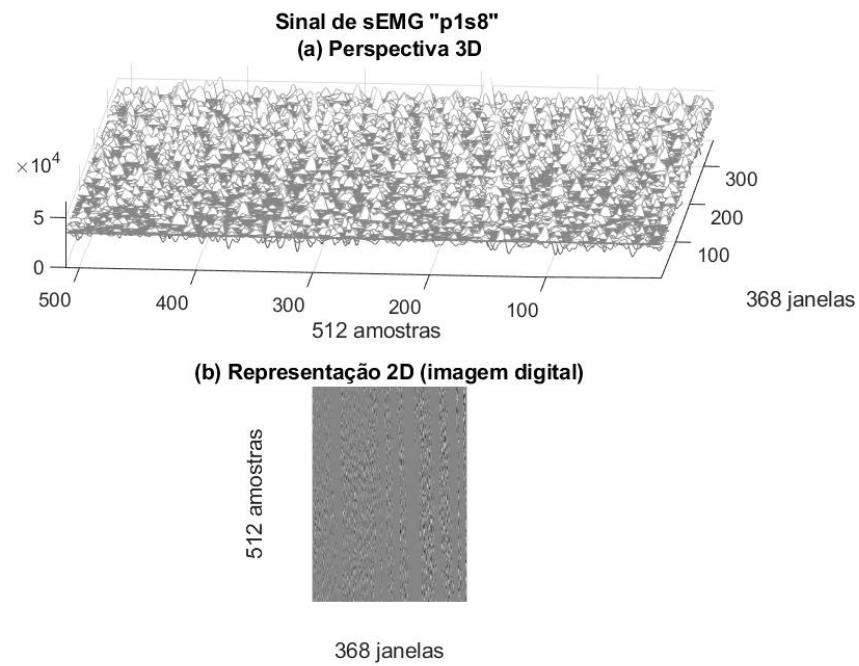


Figura 59- Sinal “p1s8”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

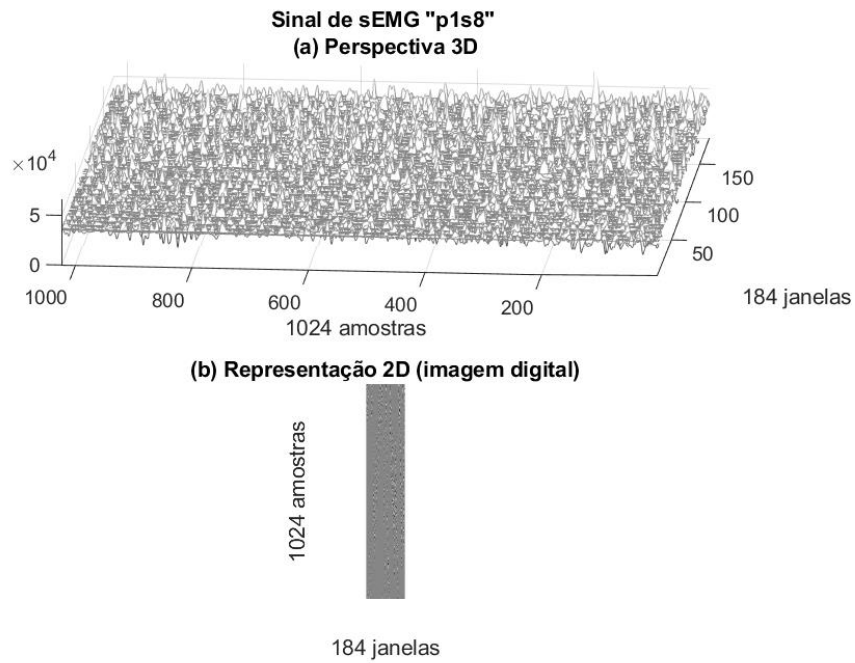


Figura 60- Sinal “p1s8”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

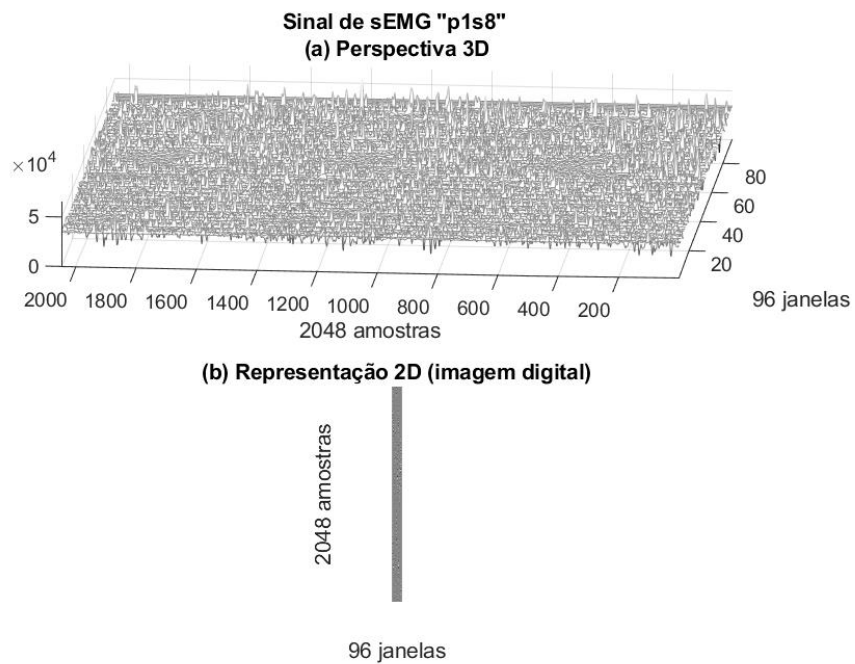


Figura 61- Sinal “p1s8”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

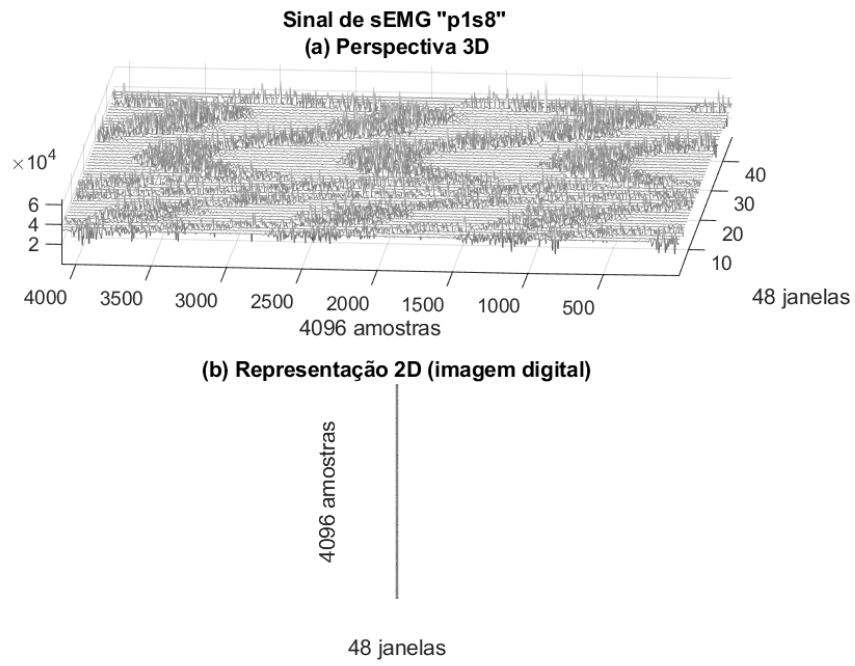


Figura 62- Sinal “p1s8”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

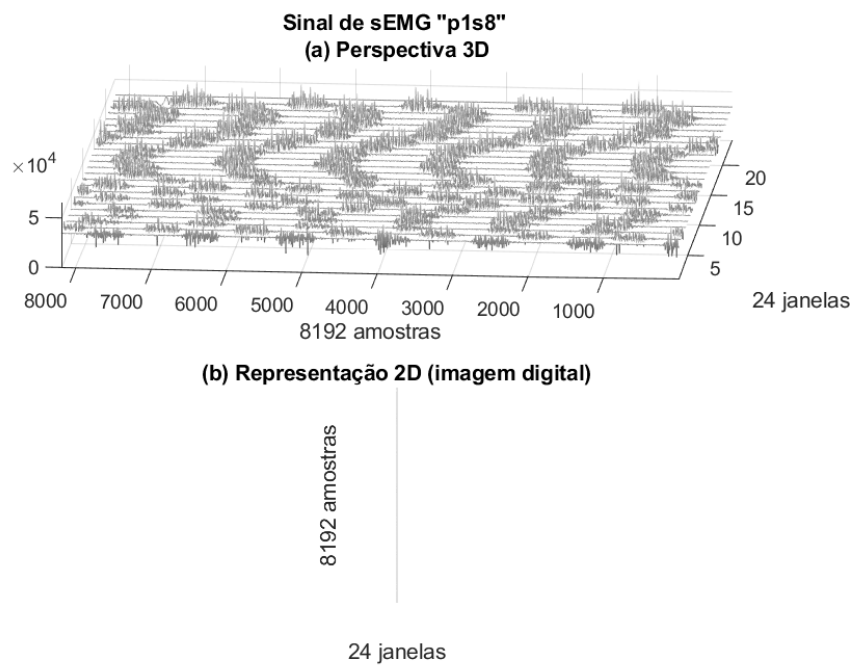


Figura 63- Sinal “p1s8”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

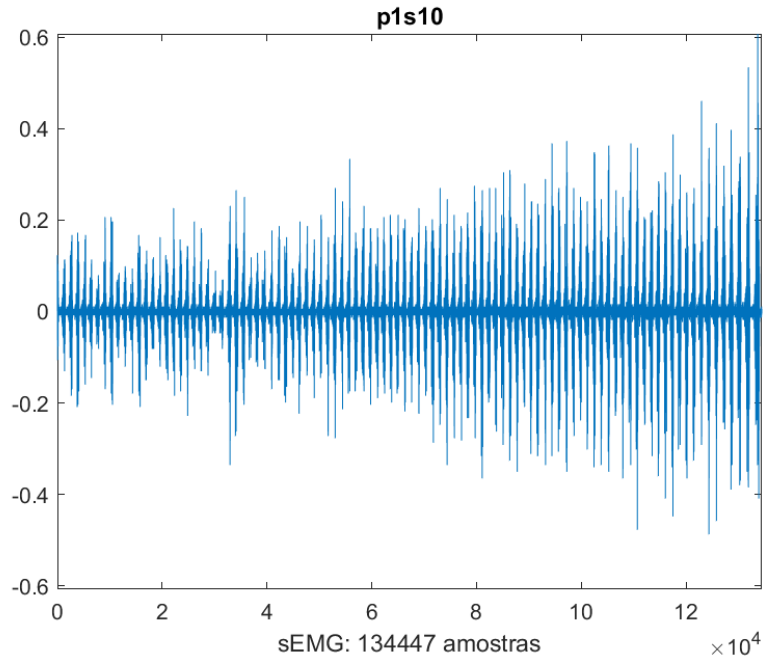


Figura 64- Sinal 10 do Protocolo 1

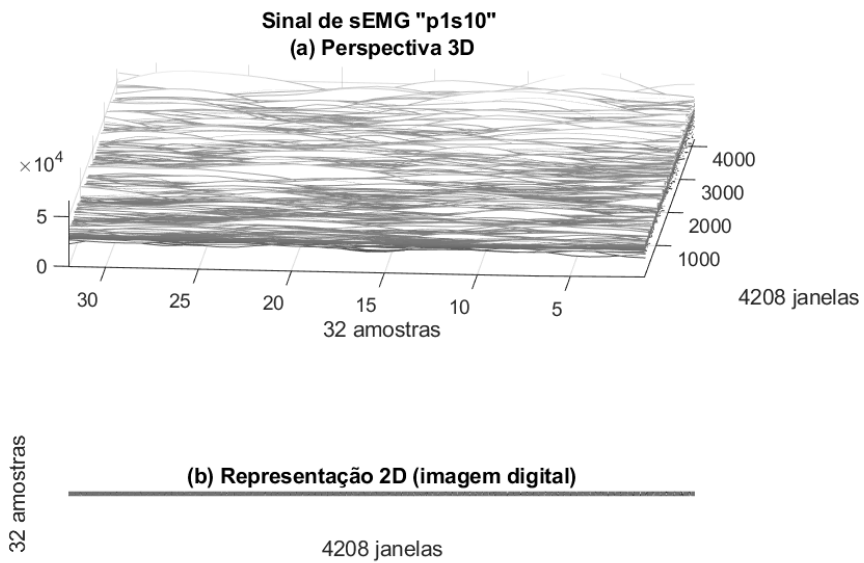


Figura 65- Sinal “p1s10”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

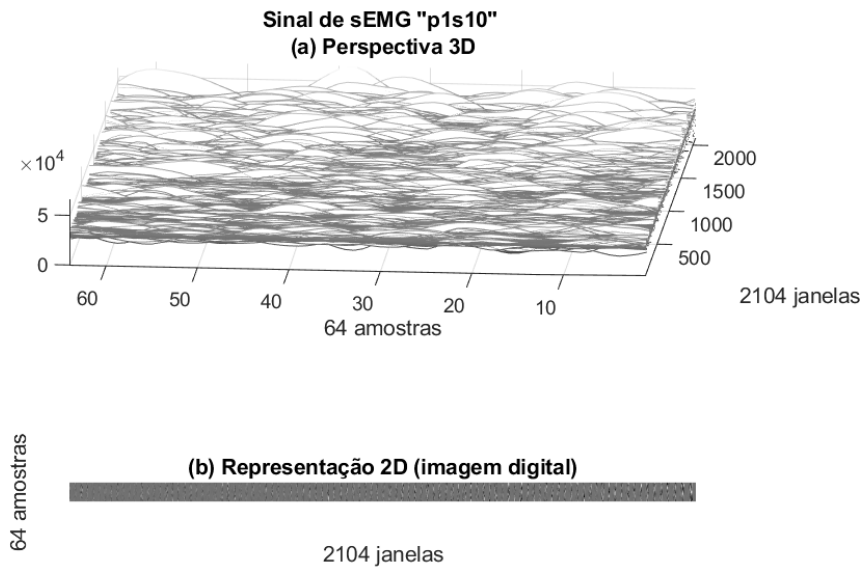


Figura 66- Sinal “p1s10”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

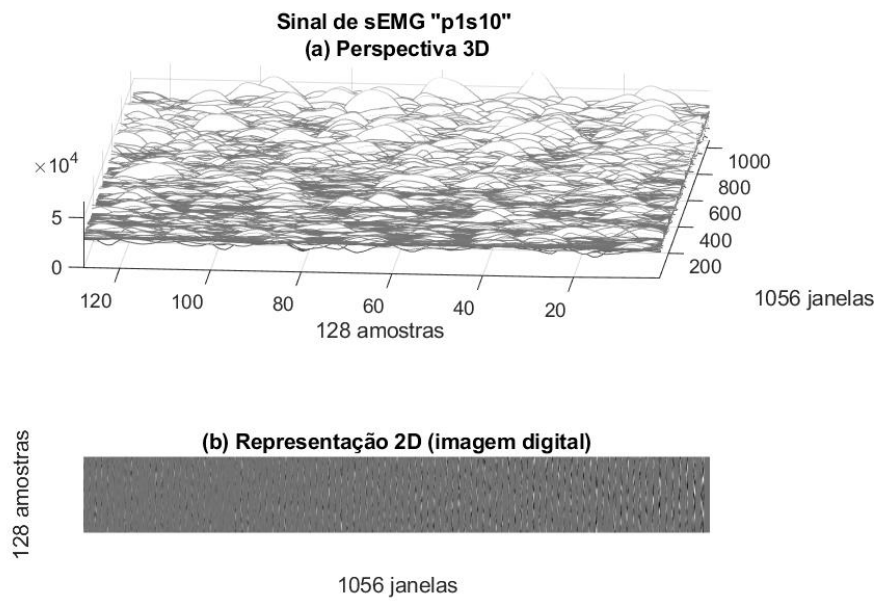


Figura 67- Sinal “p1s10”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

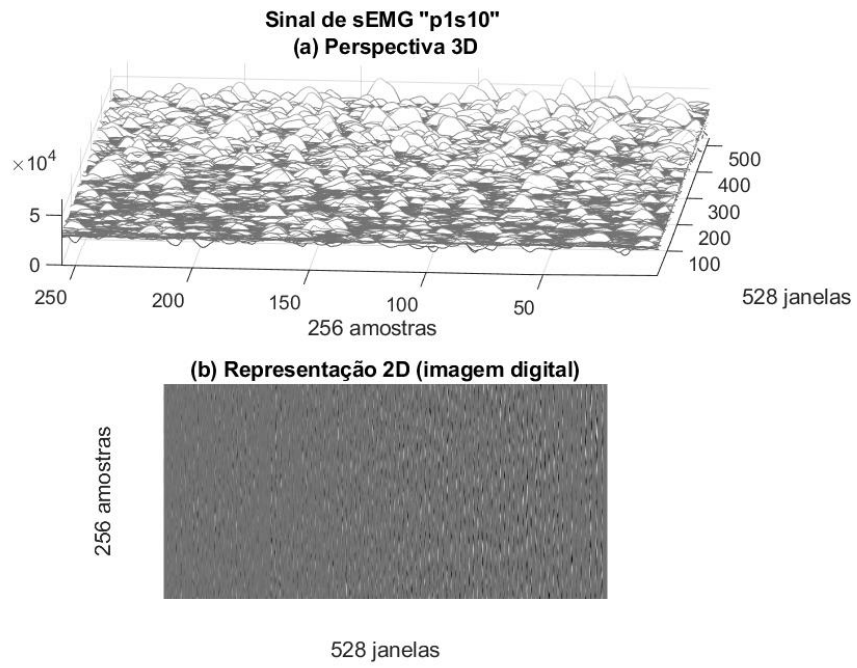


Figura 68- Sinal “p1s10”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

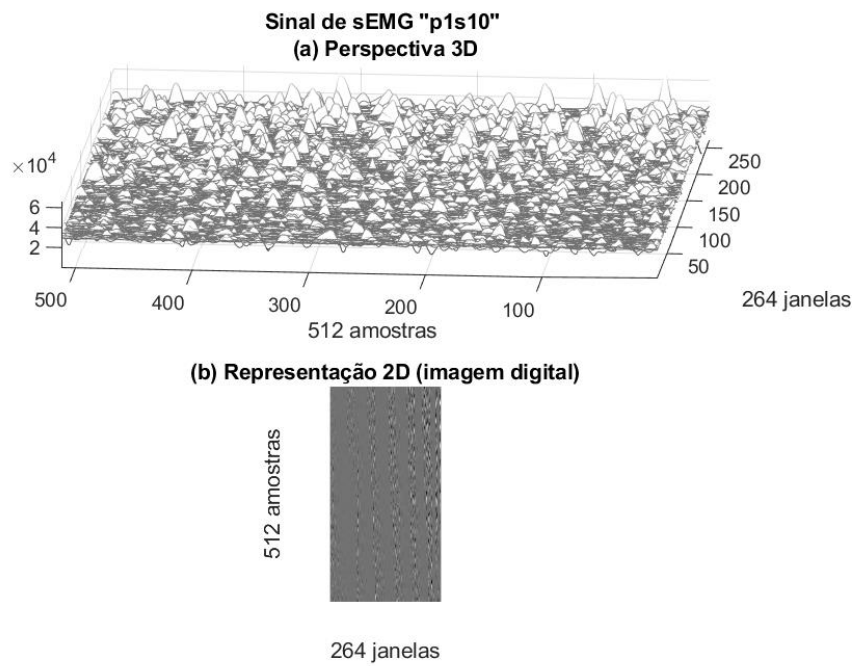


Figura 69- Sinal “p1s10”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

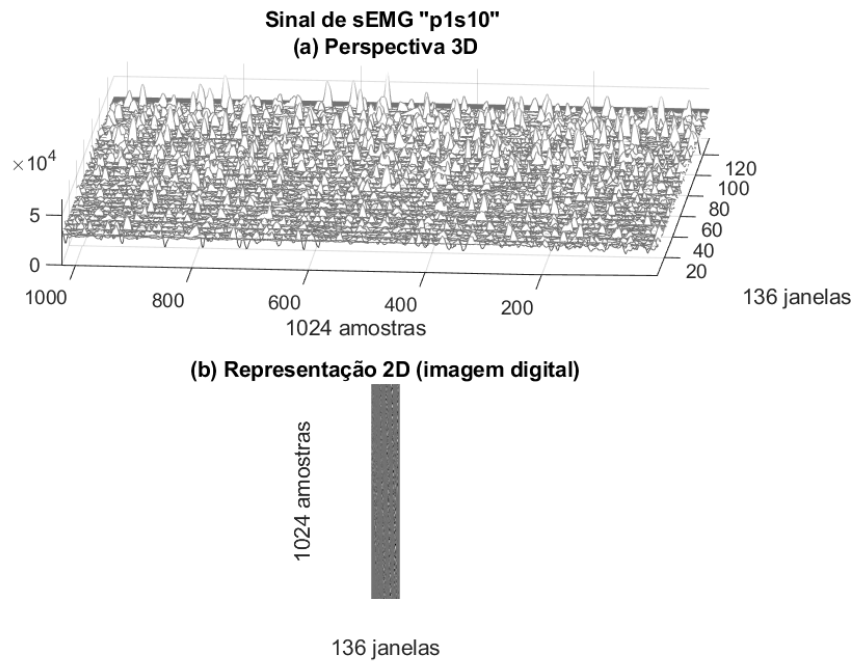


Figura 70- Sinal "p1s10", 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

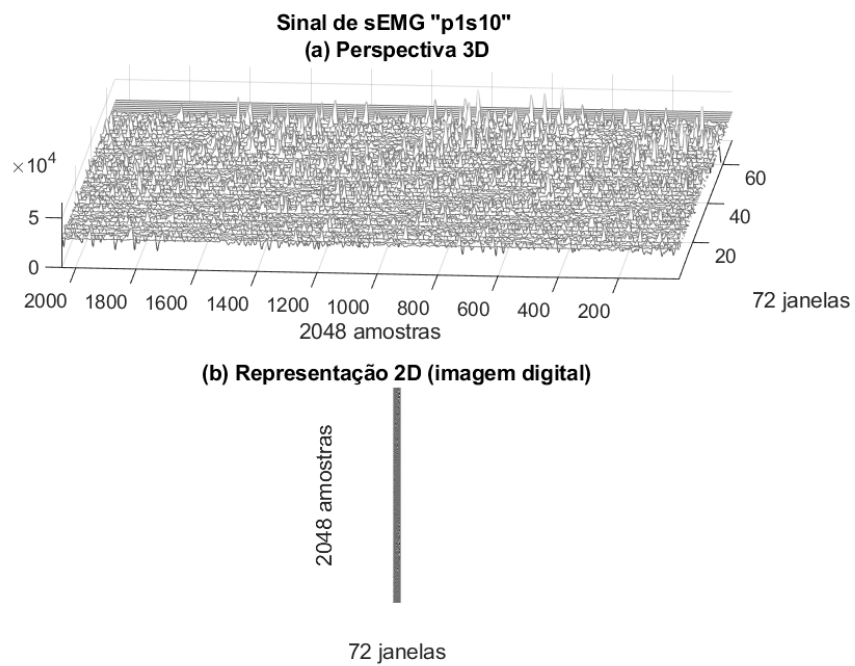


Figura 71- Sinal "p1s10", 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

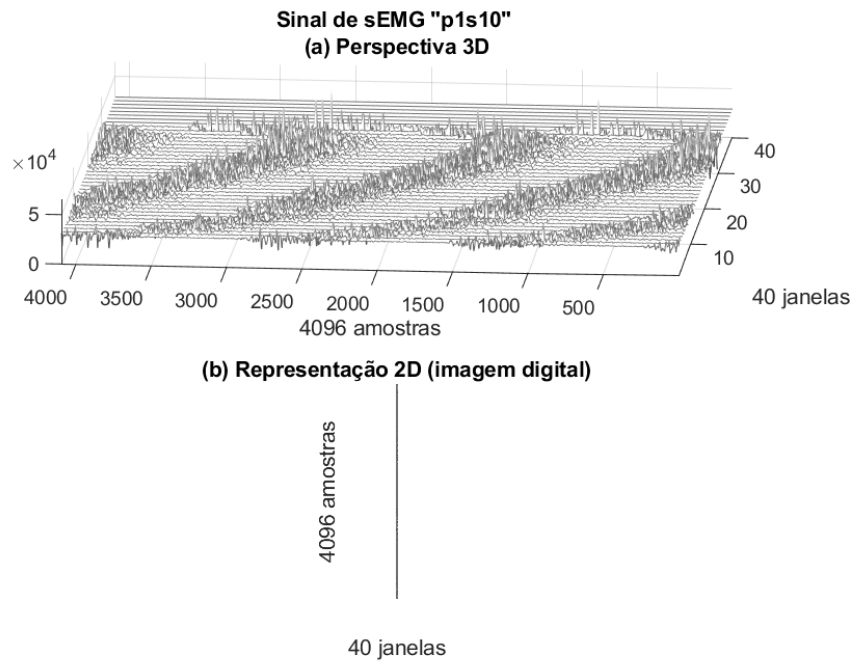


Figura 72- Sinal “p1s10”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

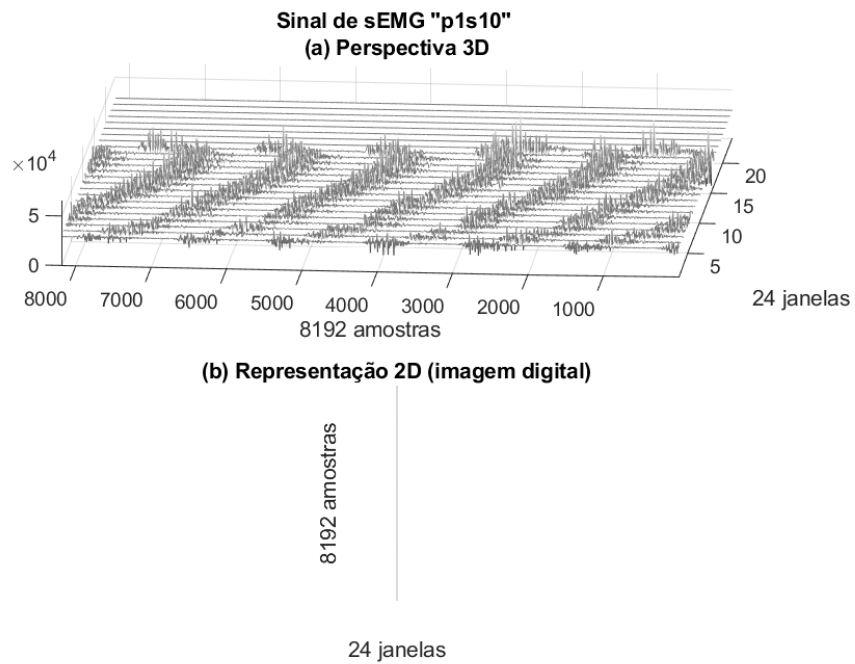


Figura 73- Sinal “p1s10”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

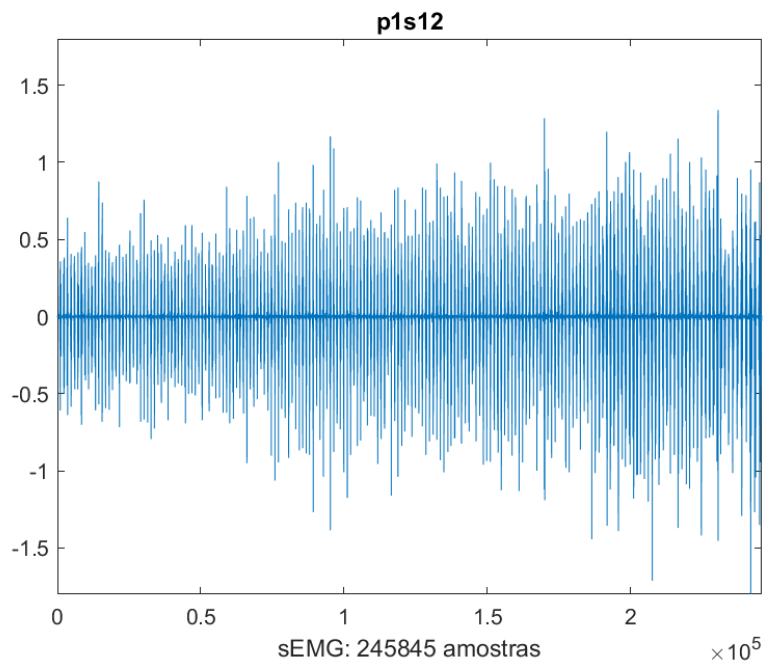


Figura 74- Sinal 12 do Protocolo 1

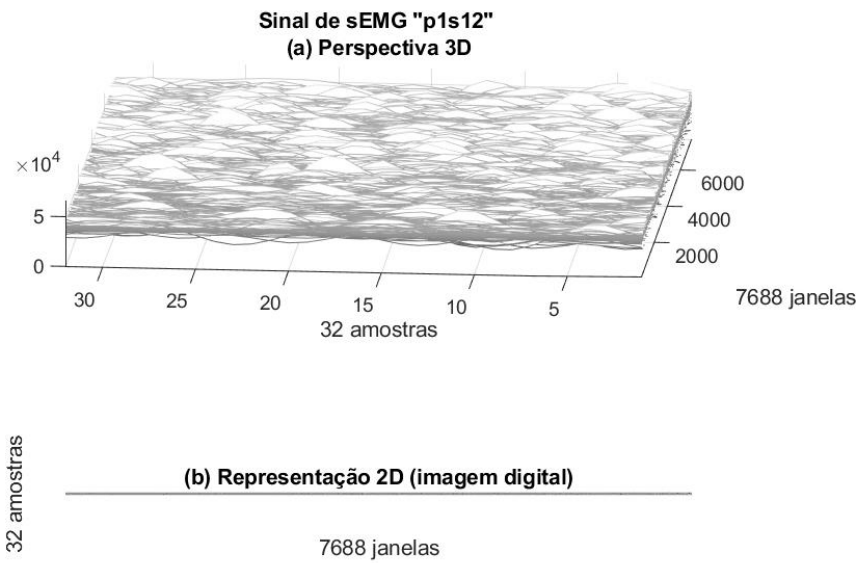


Figura 75- Sinal “p1s12”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

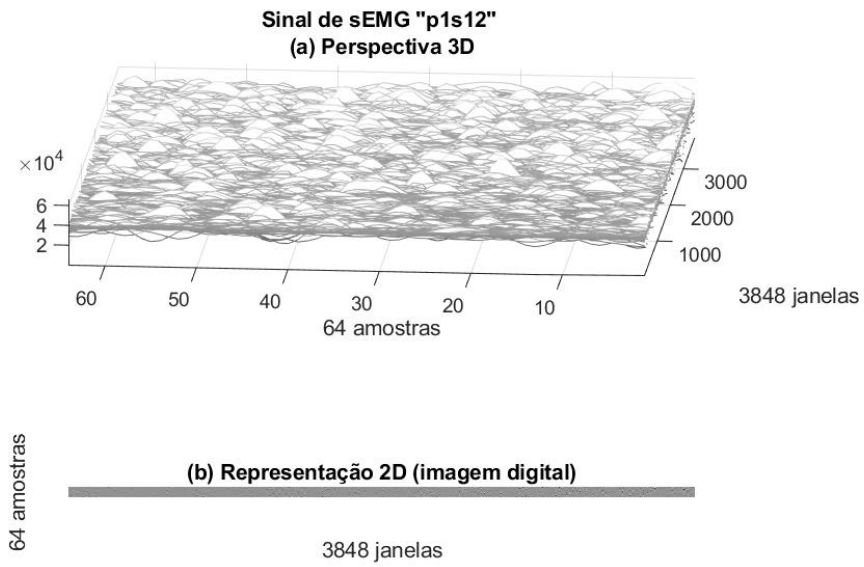


Figura 76- Sinal “p1s12”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

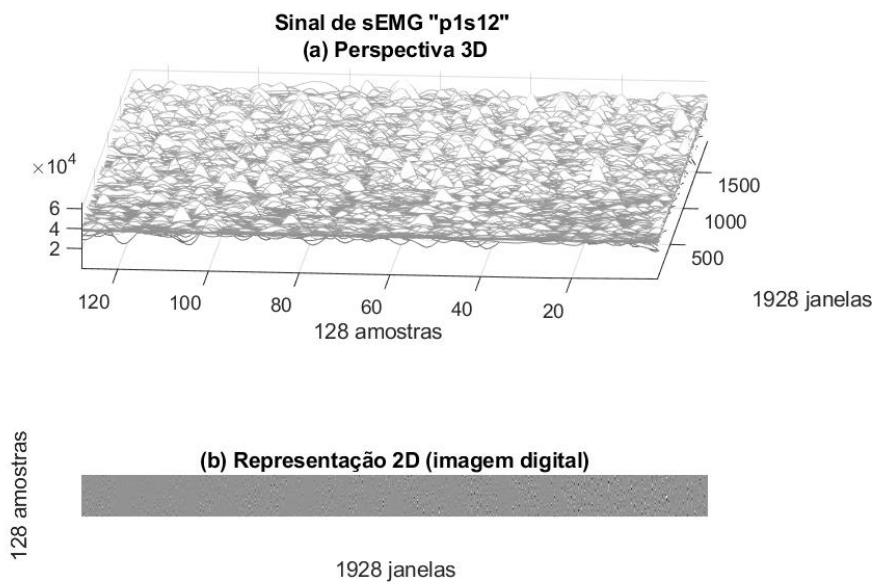


Figura 77- Sinal “p1s12”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

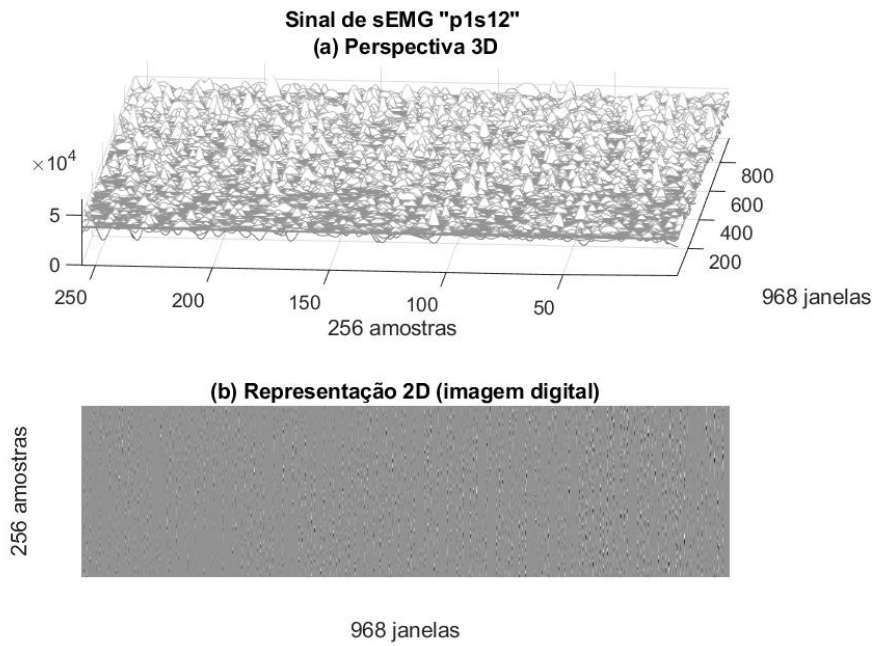


Figura 78- Sinal “p1s12”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

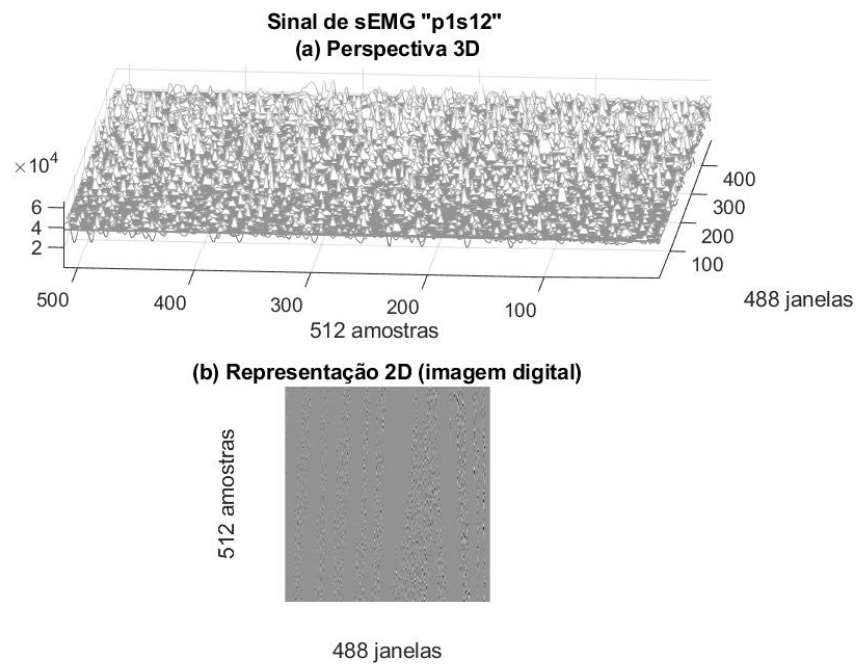


Figura 79- Sinal “p1s12”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

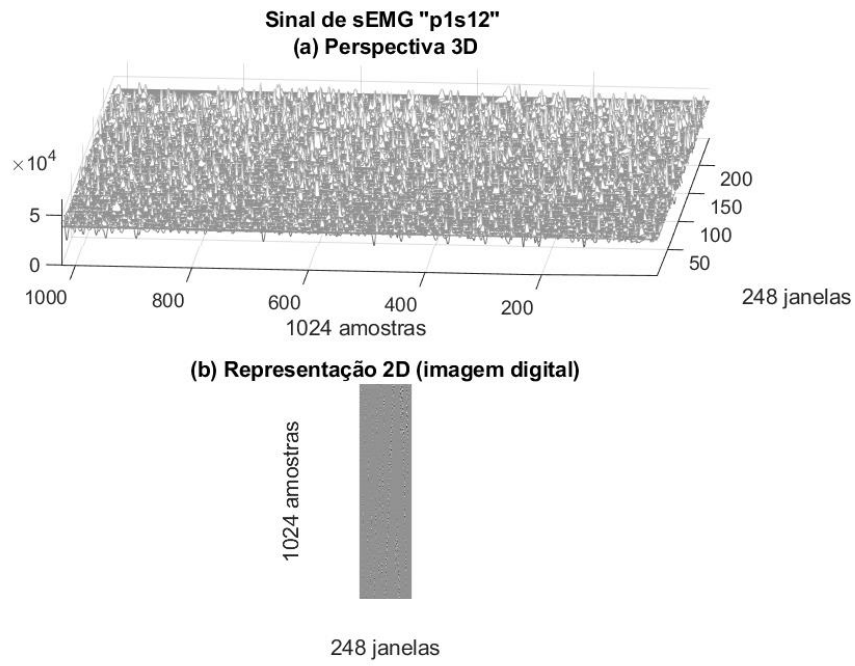


Figura 80- Sinal “p1s12”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

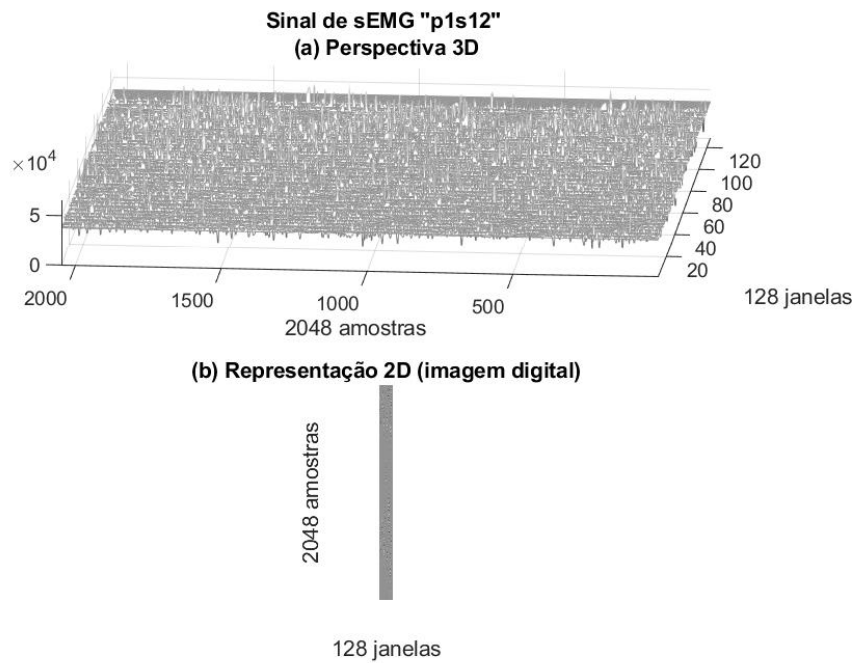


Figura 81- Sinal “p1s12”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

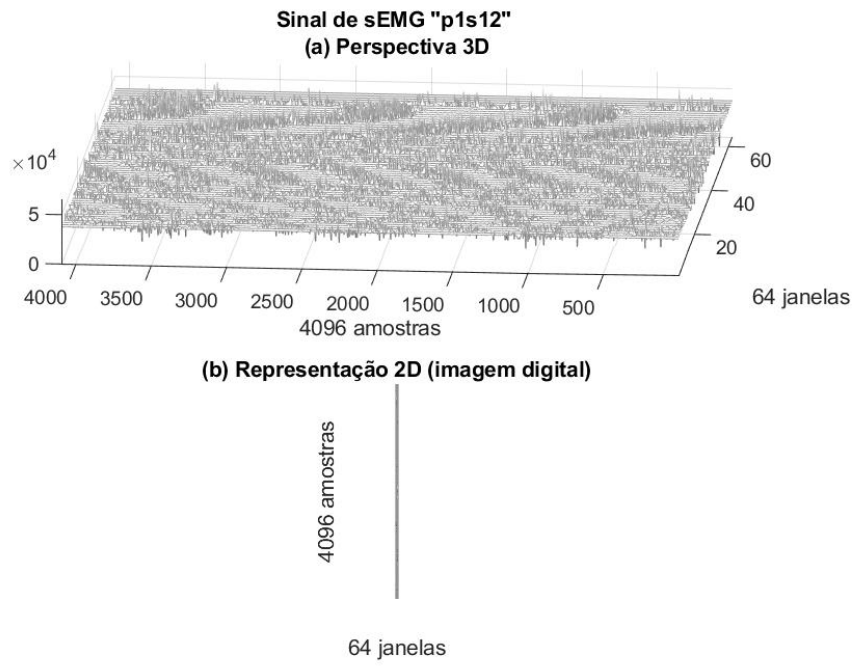


Figura 82- Sinal “p1s12”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

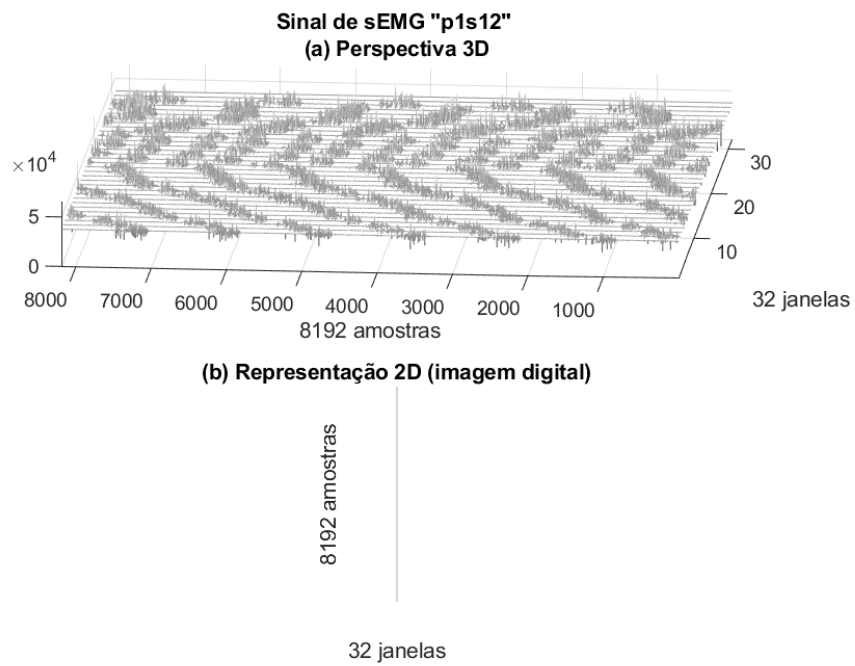


Figura 83- Sinal “p1s12”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

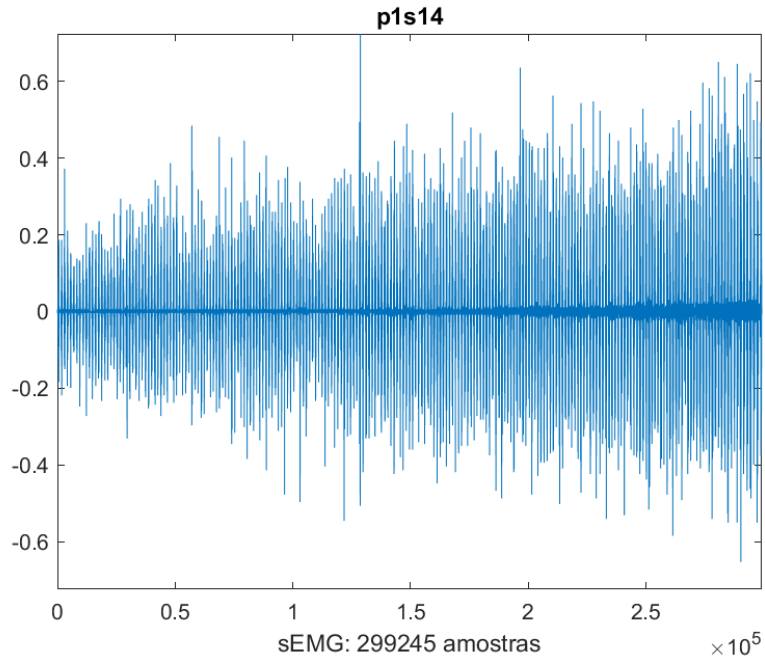


Figura 84- Sinal 14 do Protocolo 1

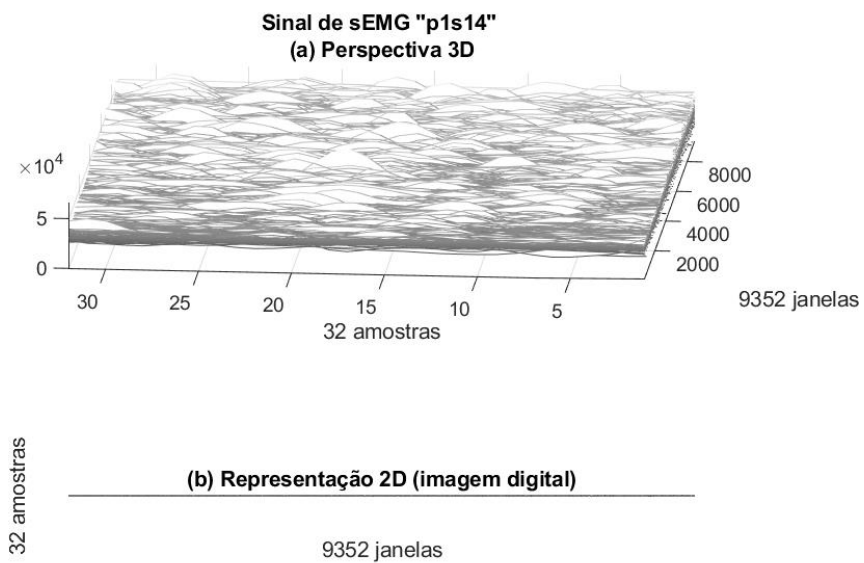


Figura 85- Sinal “p1s14”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

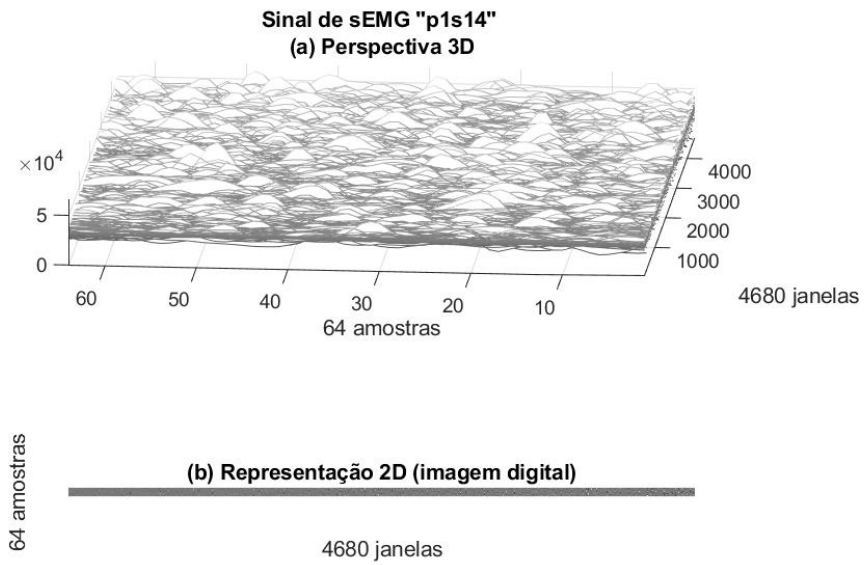


Figura 86- Sinal “p1s14”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

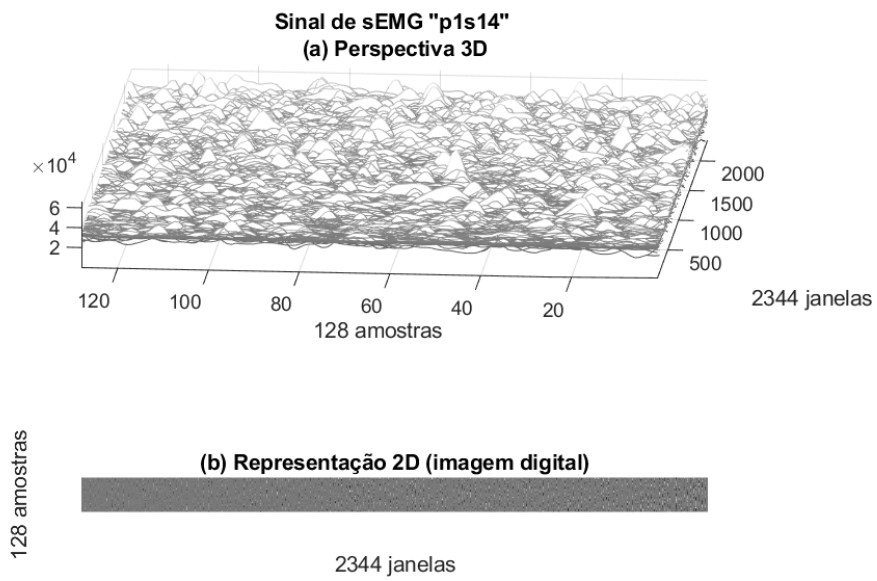


Figura 87- Sinal “p1s14”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

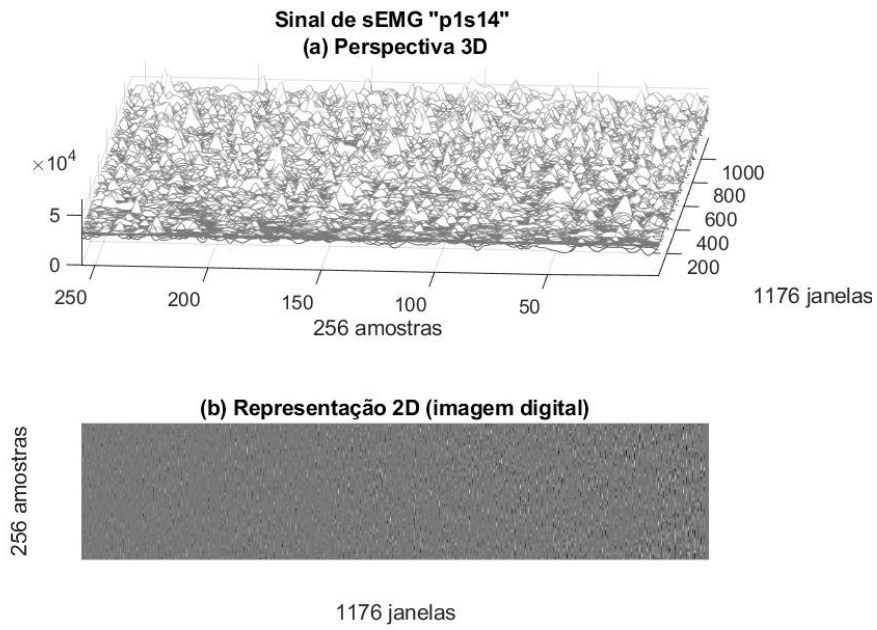


Figura 88- Sinal “p1s14”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

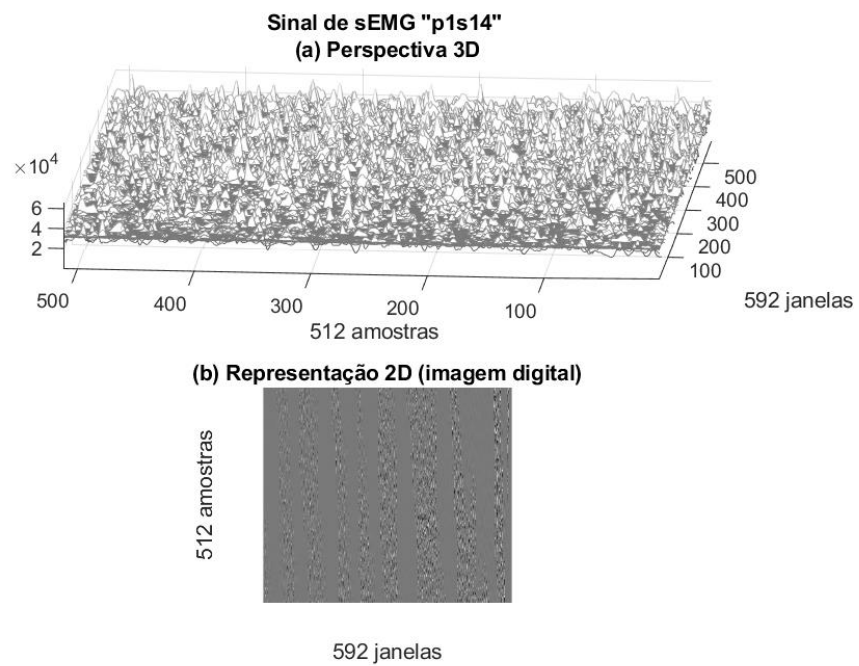


Figura 89- Sinal “p1s14”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

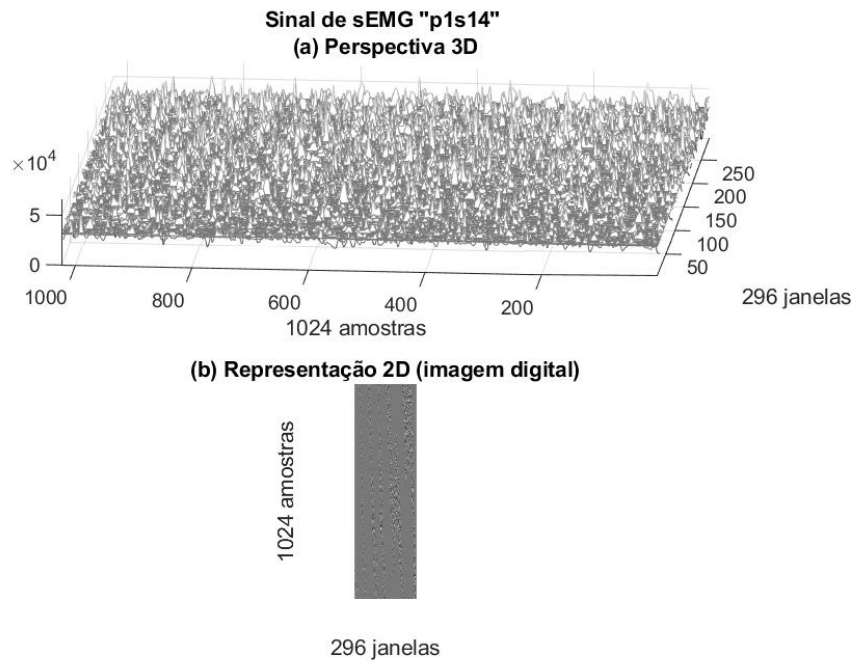


Figura 90- Sinal “p1s14”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

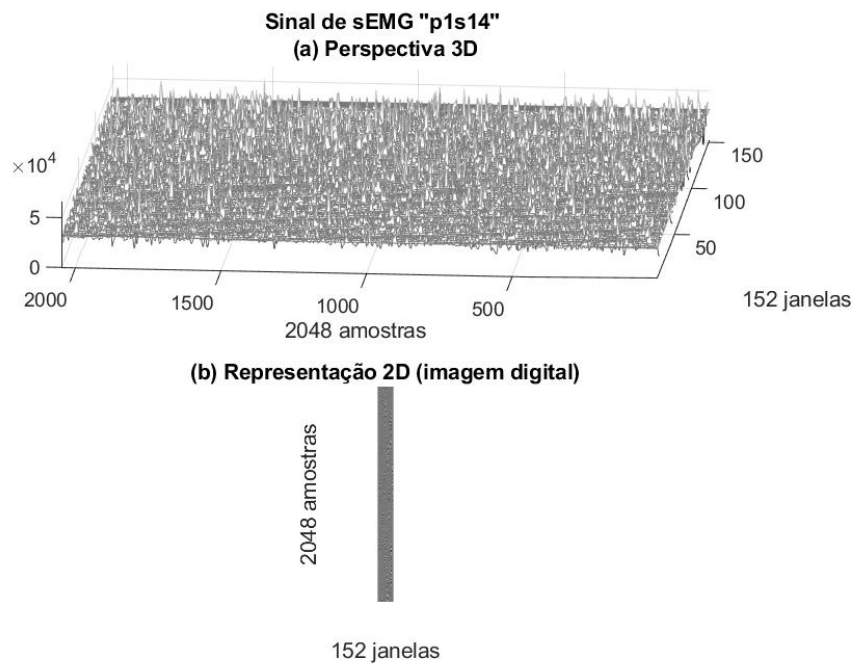


Figura 91- Sinal “p1s14”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

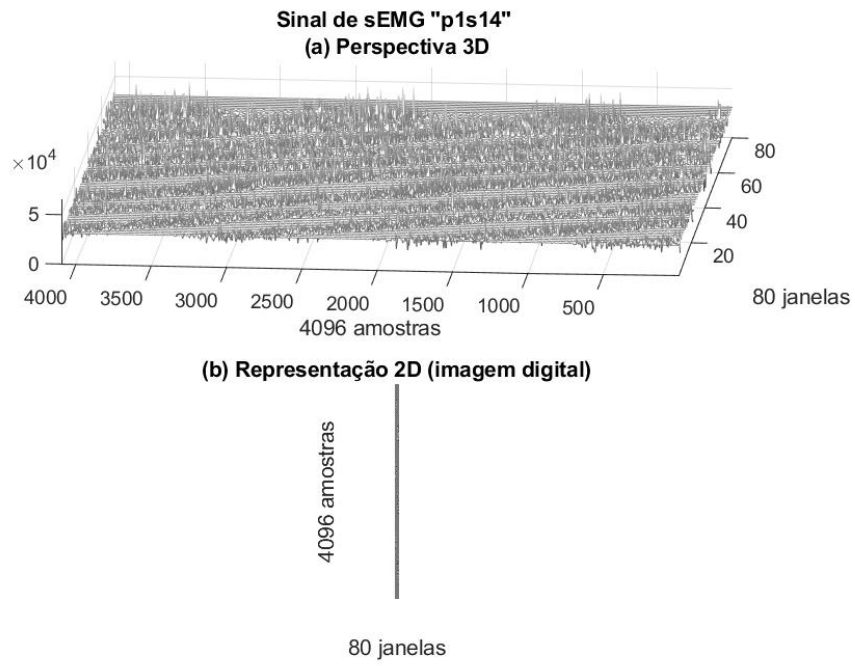


Figura 92- Sinal “p1s14”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

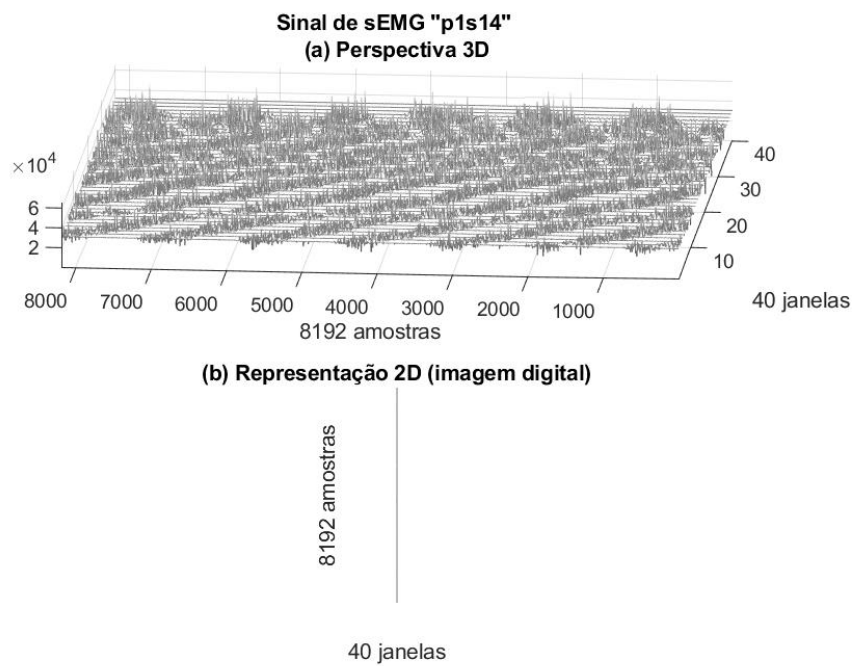


Figura 93- Sinal “p1s14”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

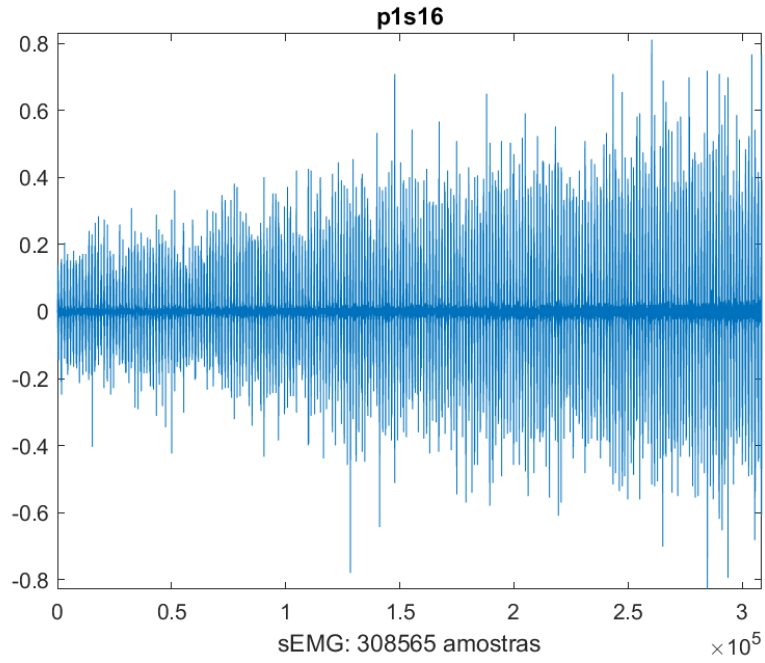


Figura 94- Sinal 16 do Protocolo 1

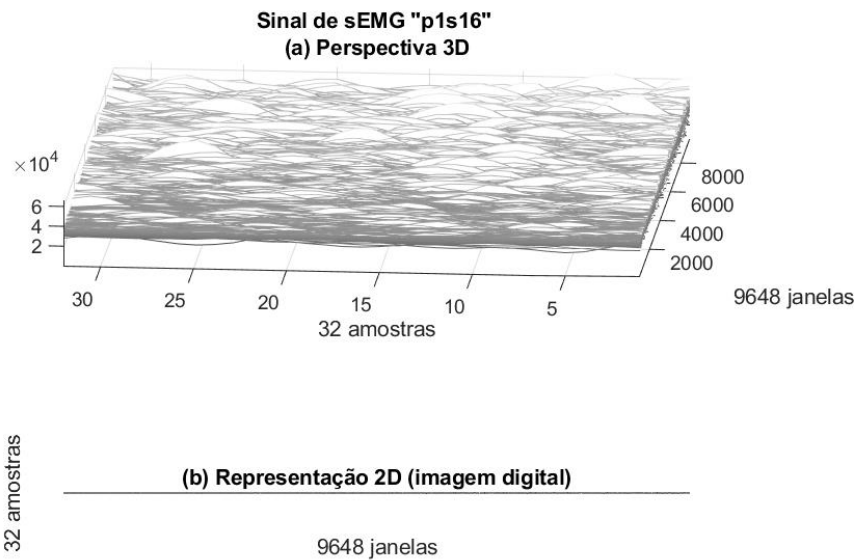


Figura 95- Sinal “p1s16”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

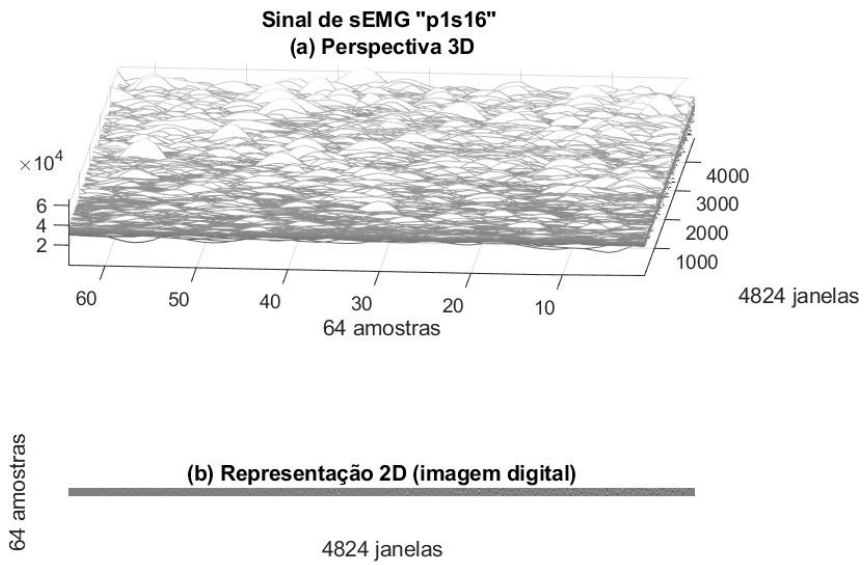


Figura 96- Sinal “p1s16”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

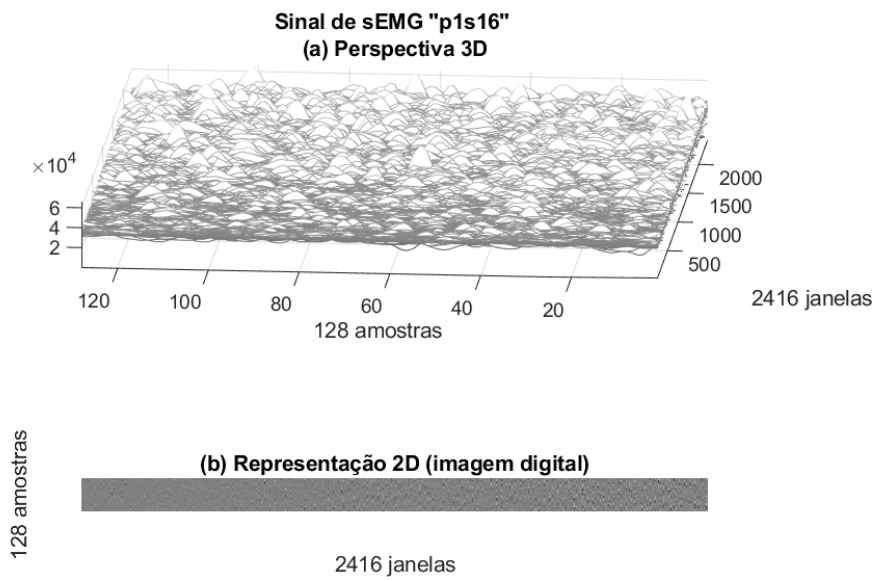


Figura 97- Sinal “p1s16”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

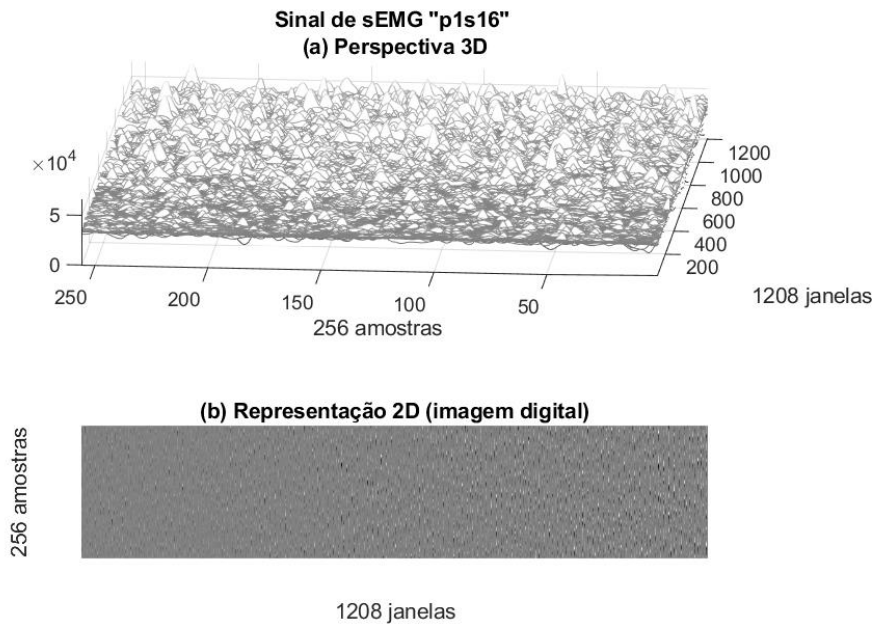


Figura 98- Sinal “p1s16”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

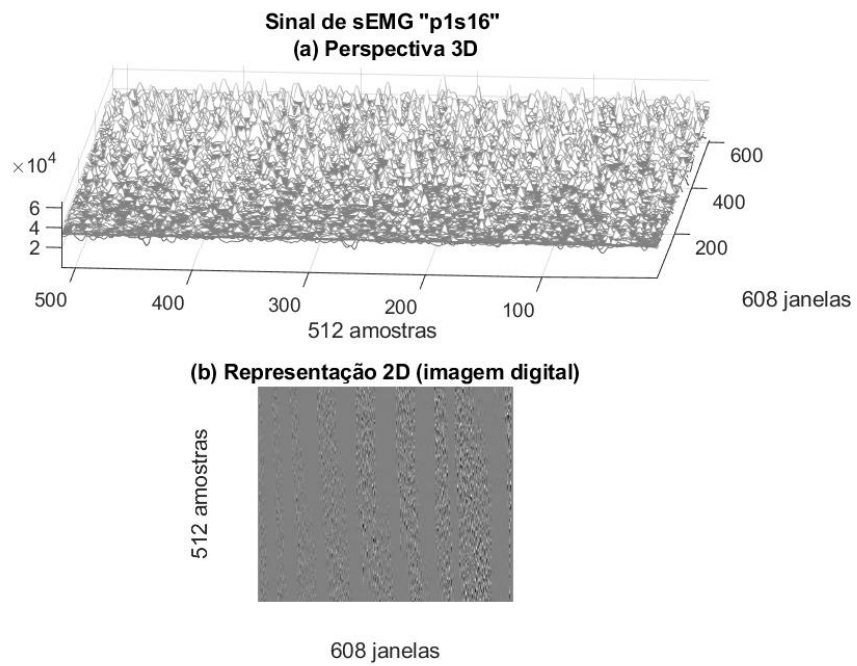


Figura 99- Sinal “p1s16”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

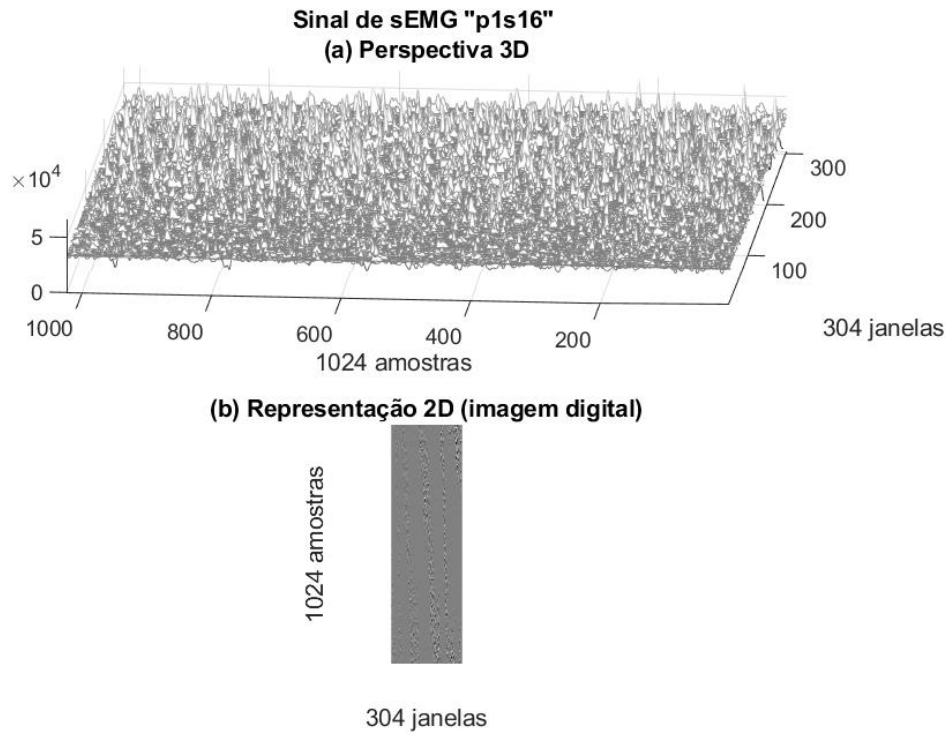


Figura 100- Sinal “p1s16”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

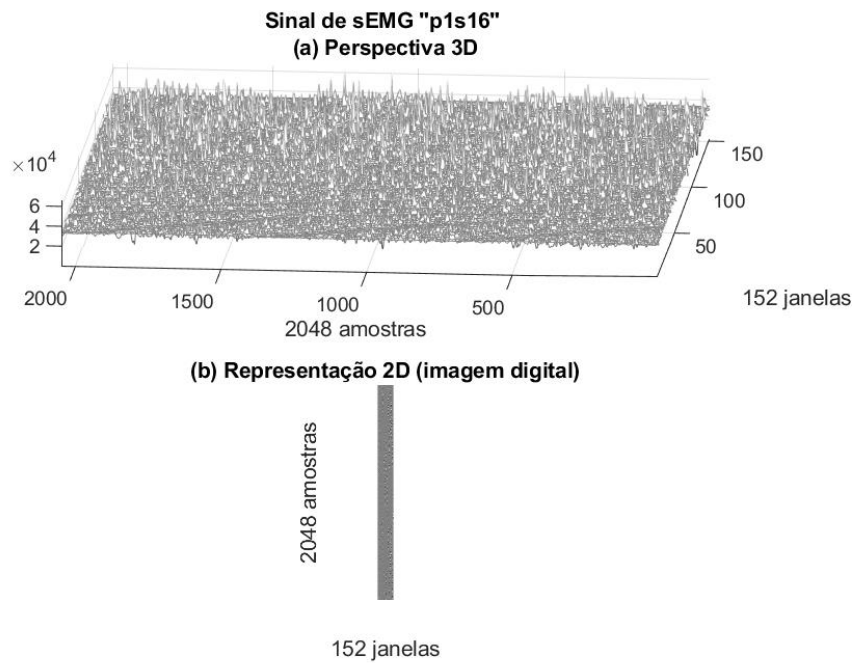


Figura 101- Sinal “p1s16”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

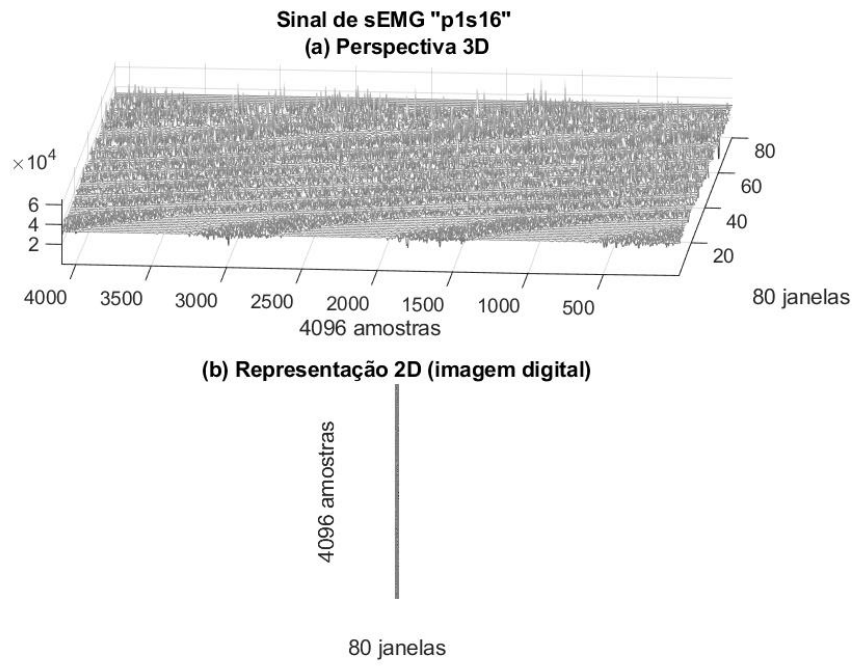


Figura 102- Sinal “p1s16”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

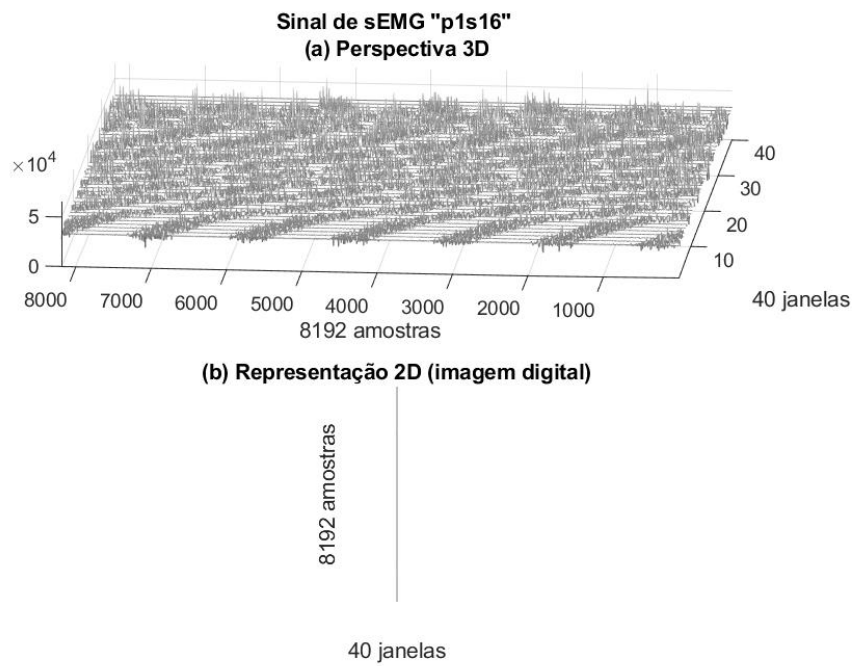


Figura 103- Sinal “p1s16”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

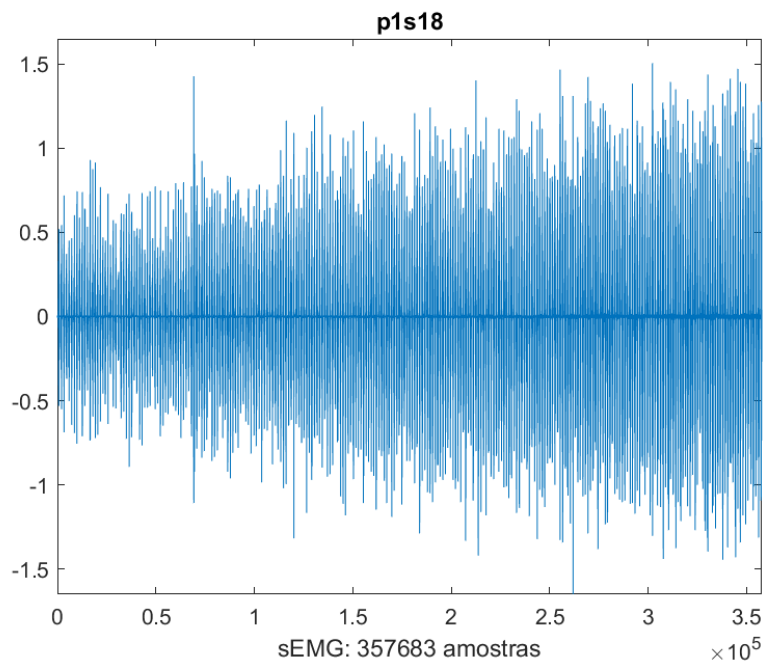


Figura 104- Sinal 18 do Protocolo 1

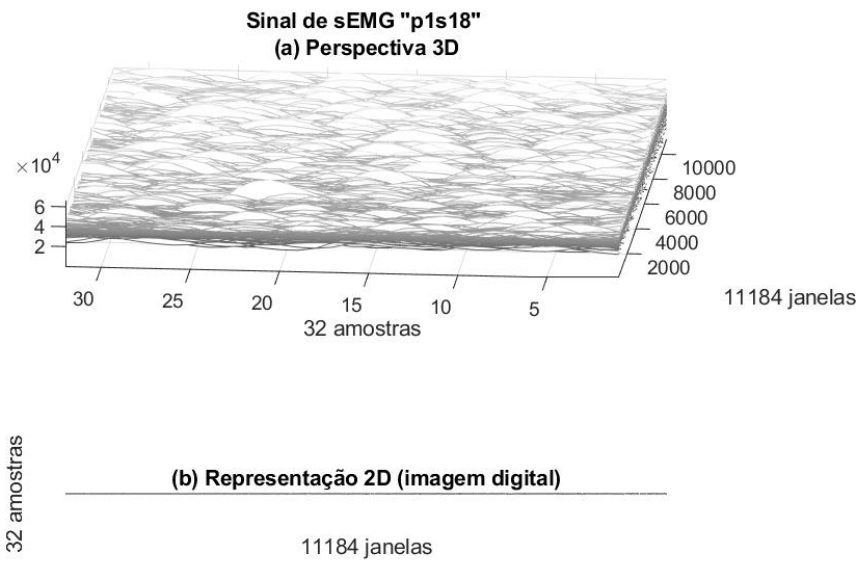


Figura 105- Sinal “p1s18”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

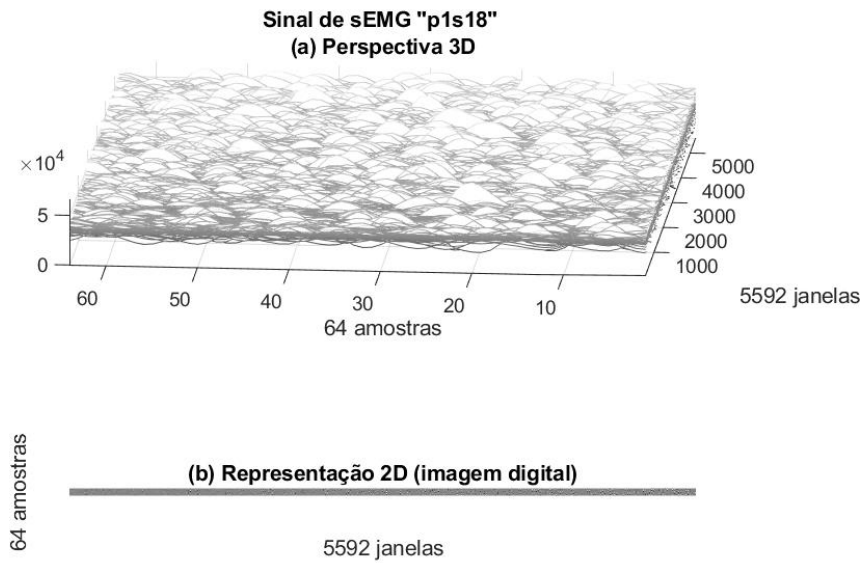


Figura 106- Sinal “p1s18”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

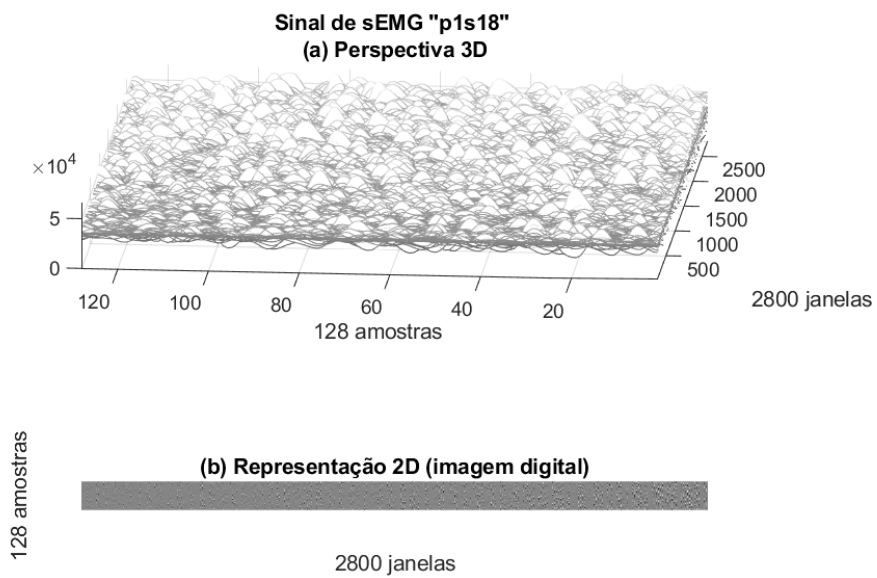


Figura 107- Sinal “p1s18”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

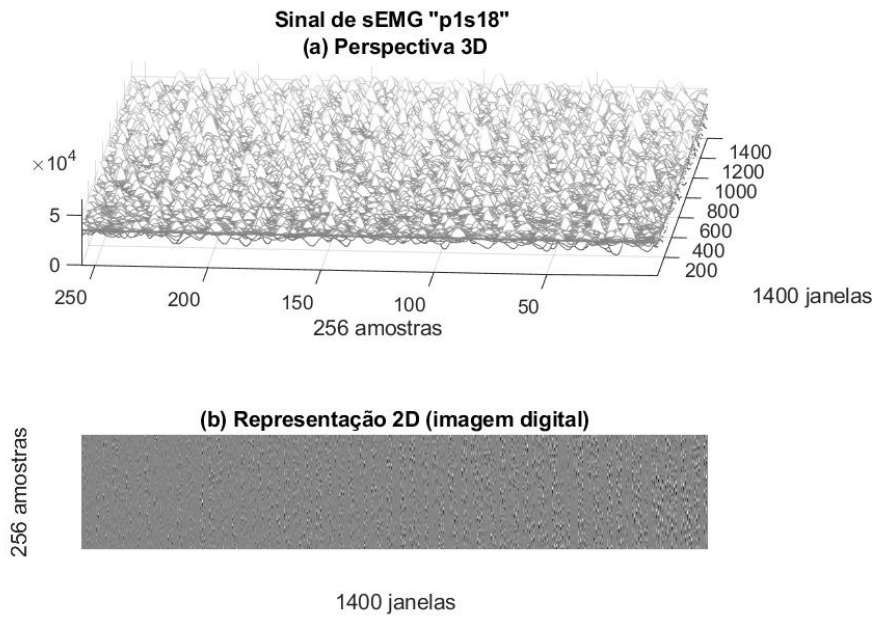


Figura 108- Sinal “p1s18”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

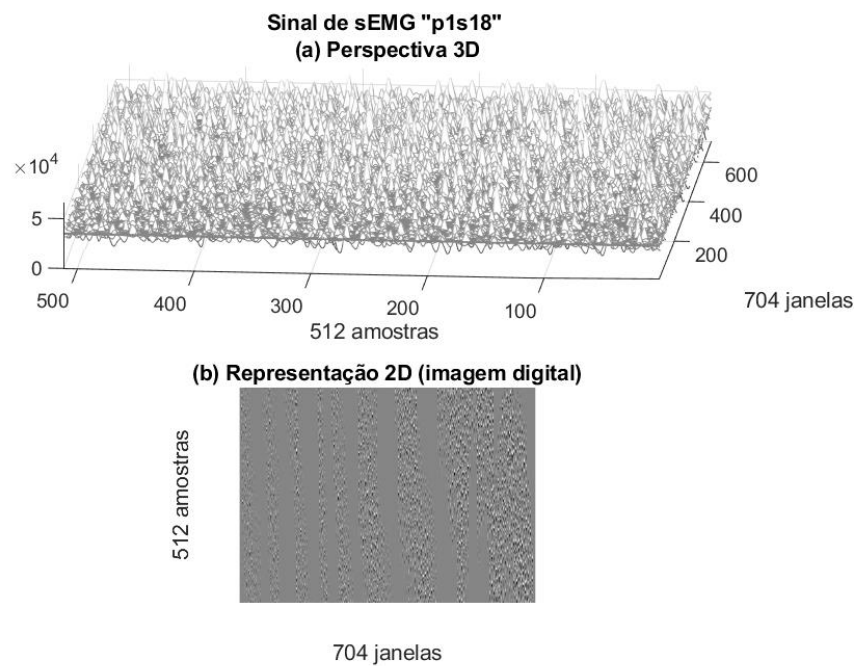


Figura 109- Sinal “p1s18”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

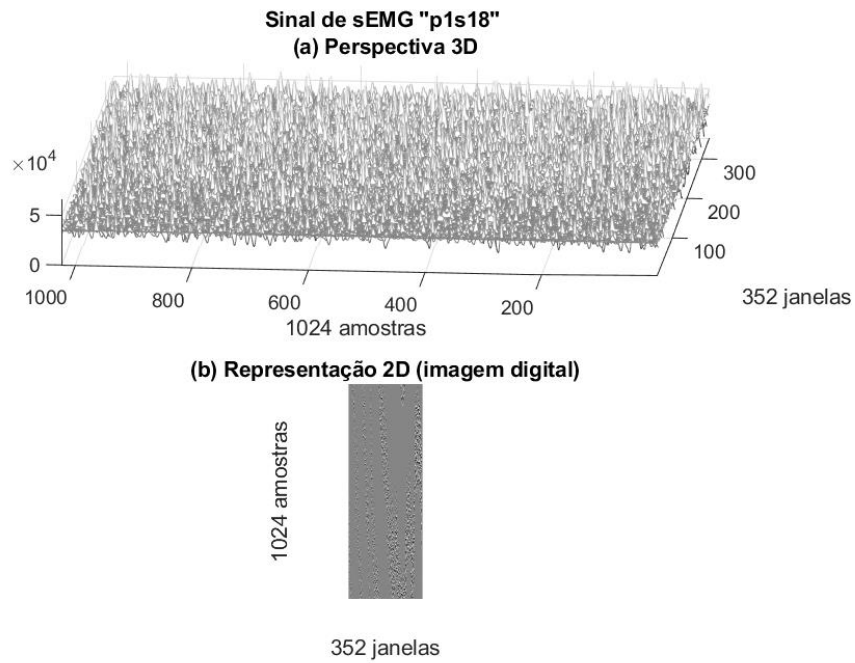


Figura 110- Sinal “p1s18”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

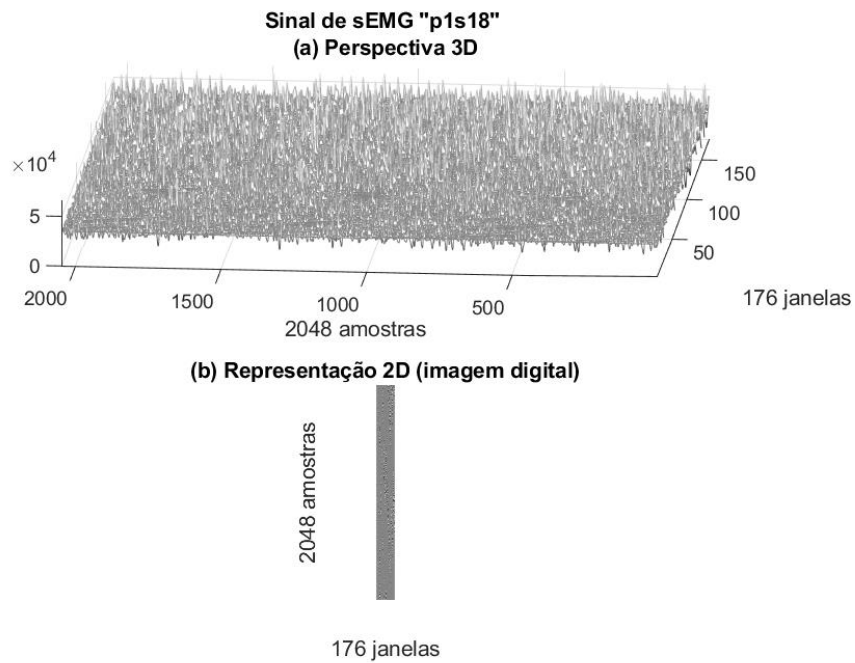


Figura 111- Sinal “p1s18”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

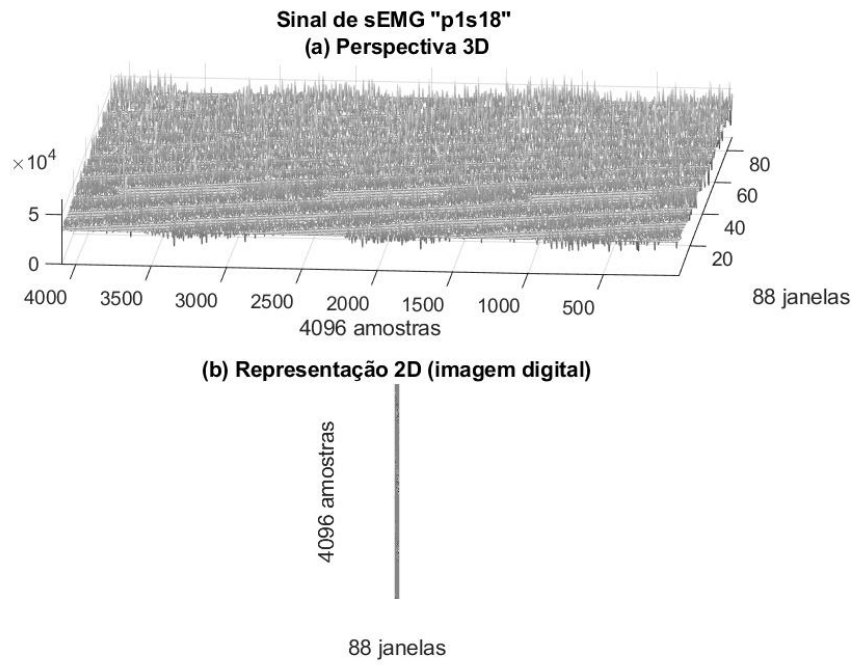


Figura 112- Sinal “p1s18”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

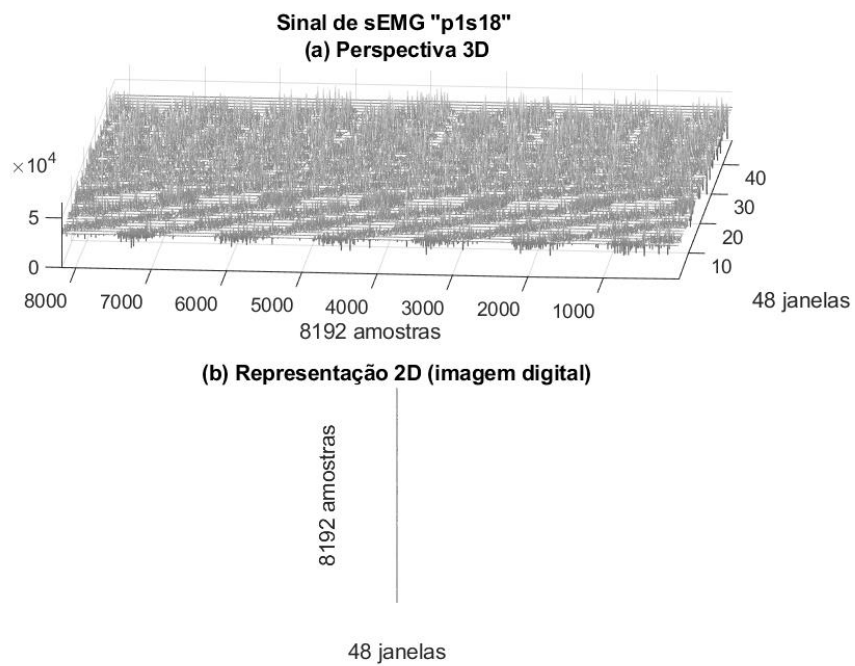


Figura 113- Sinal “p1s18”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

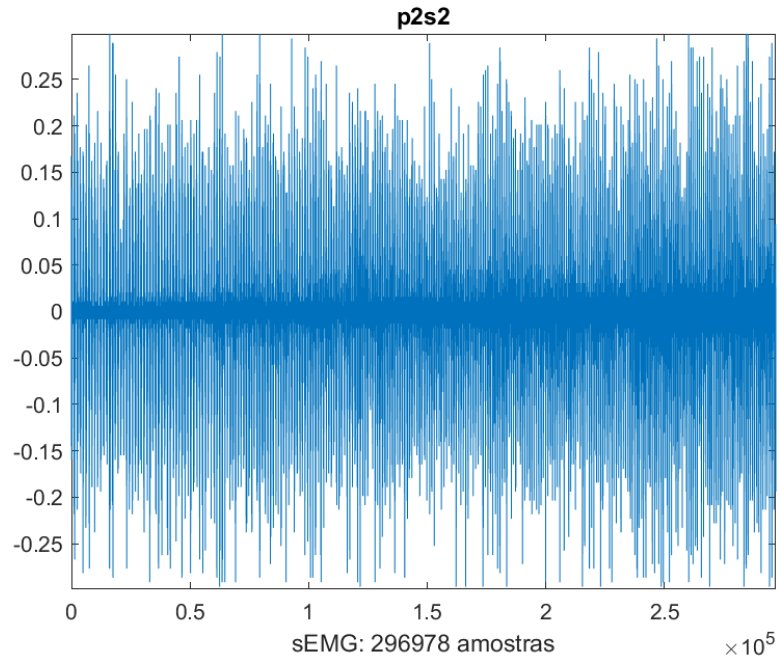


Figura 114- Sinal 2 do Protocolo 2

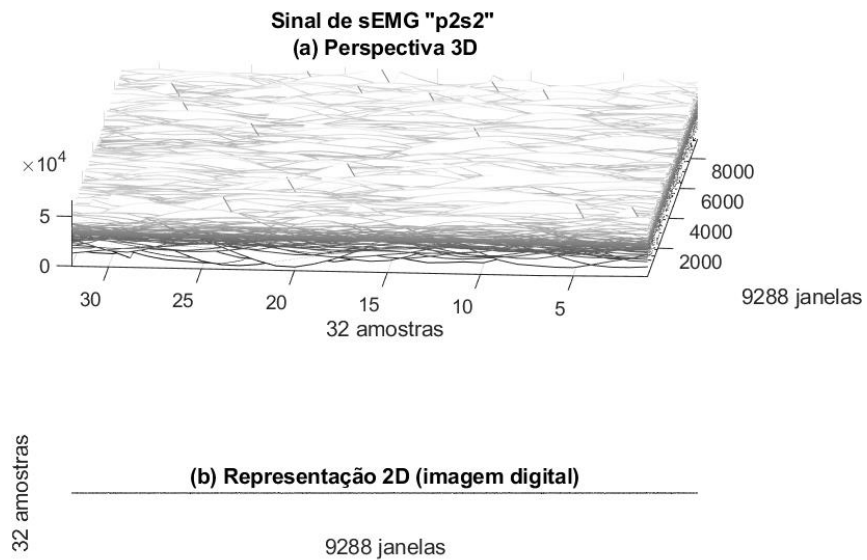


Figura 115- Sinal “p2s2”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

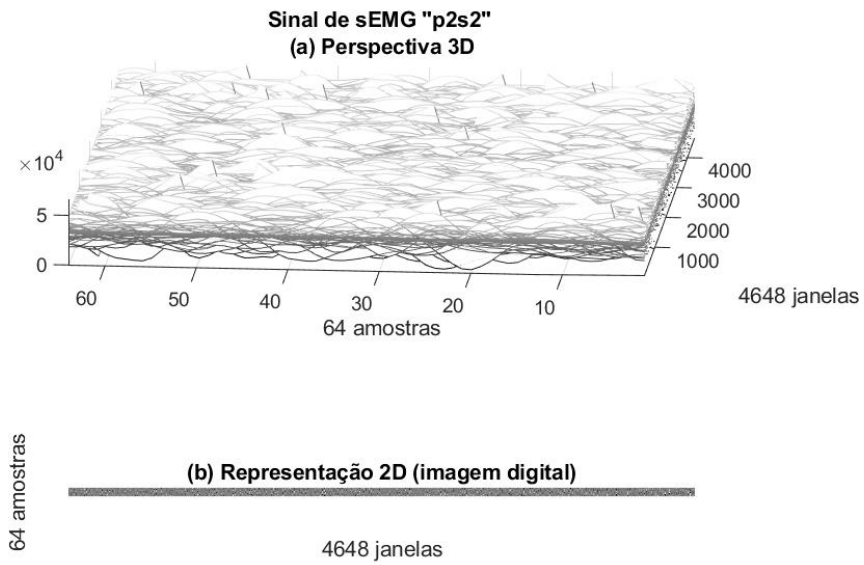


Figura 116- Sinal “p2s2”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

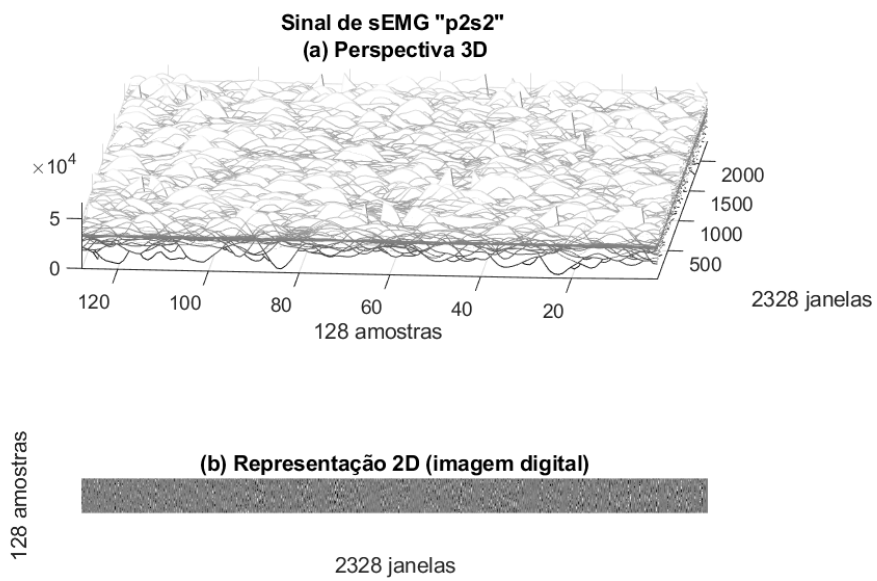


Figura 117- Sinal “p2s2”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

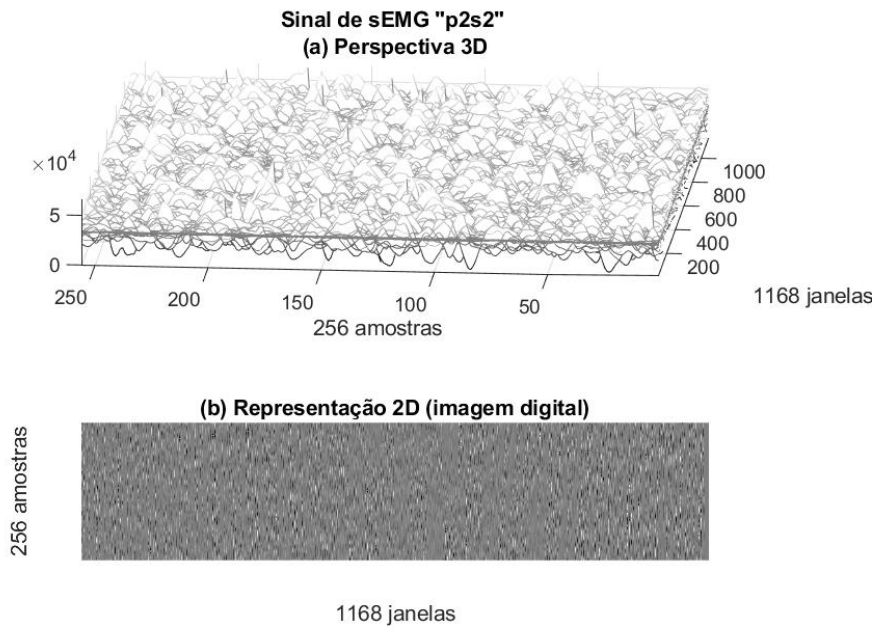


Figura 118- Sinal “p2s2”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

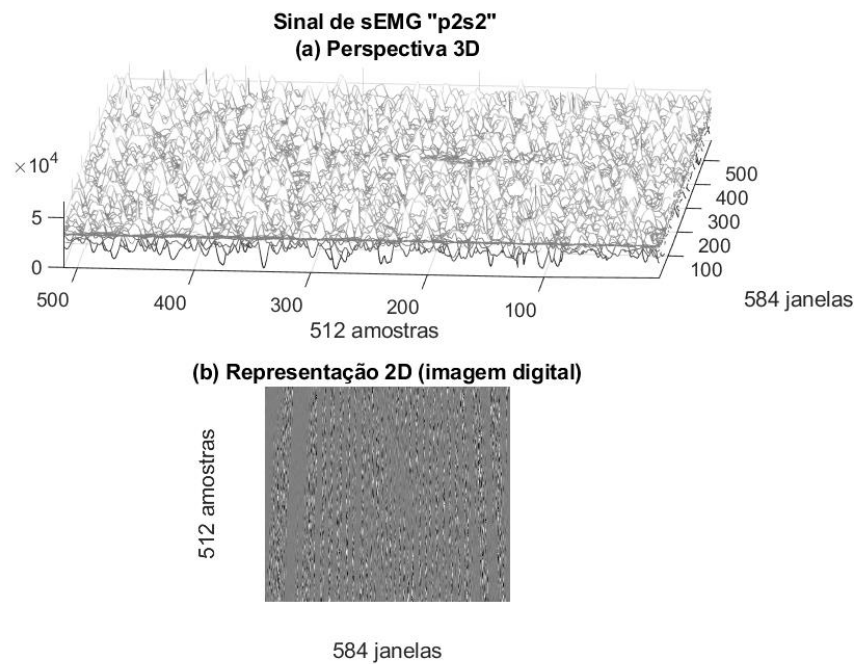


Figura 119- Sinal “p2s2”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

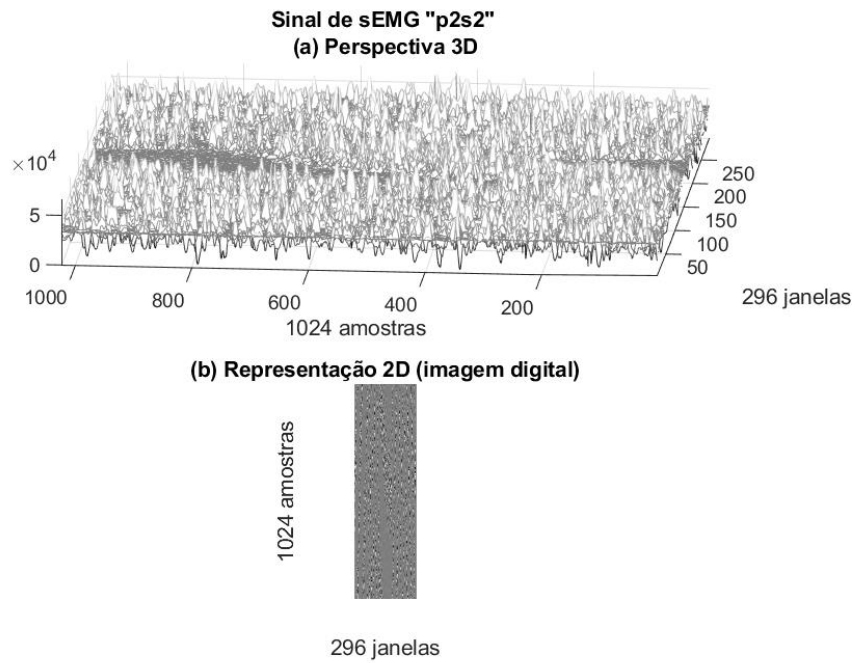


Figura 120- Sinal “p2s2”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

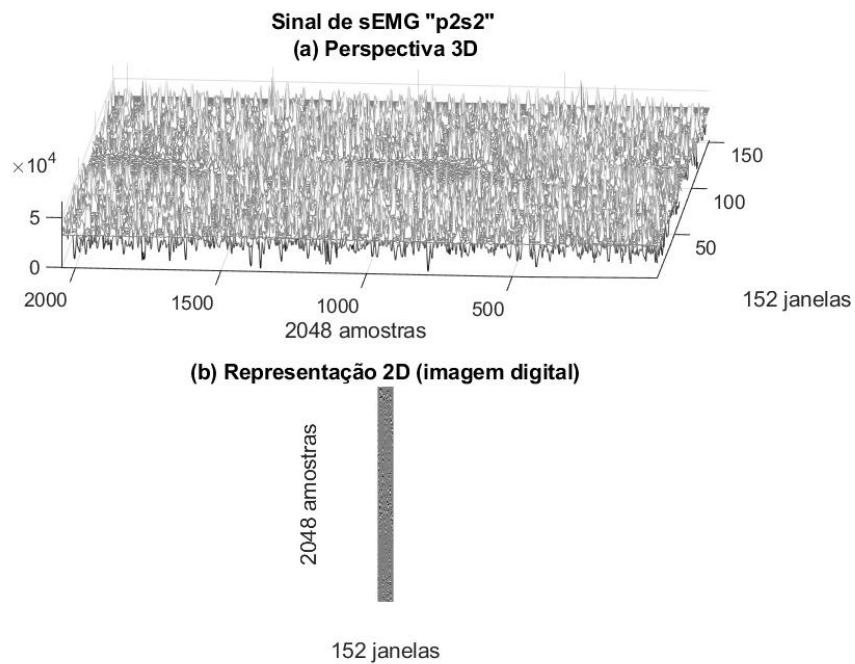


Figura 121- Sinal “p2s2”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

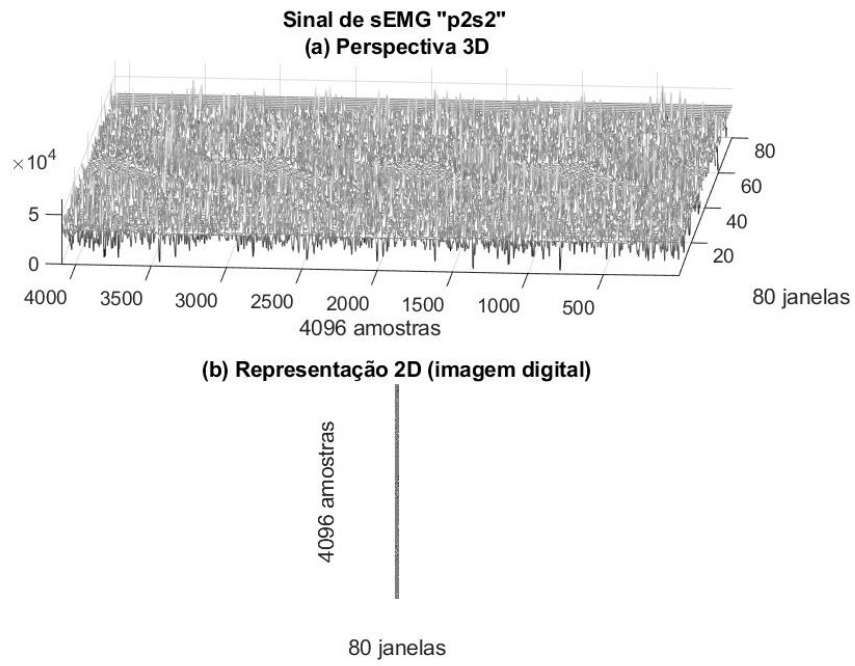


Figura 122- Sinal “p2s2”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

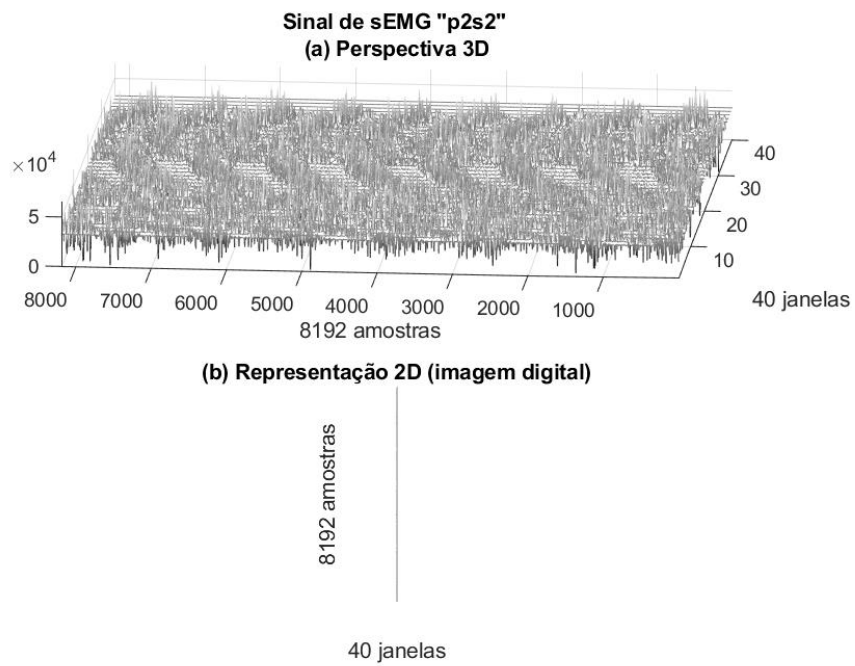


Figura 123- Sinal “p2s2”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

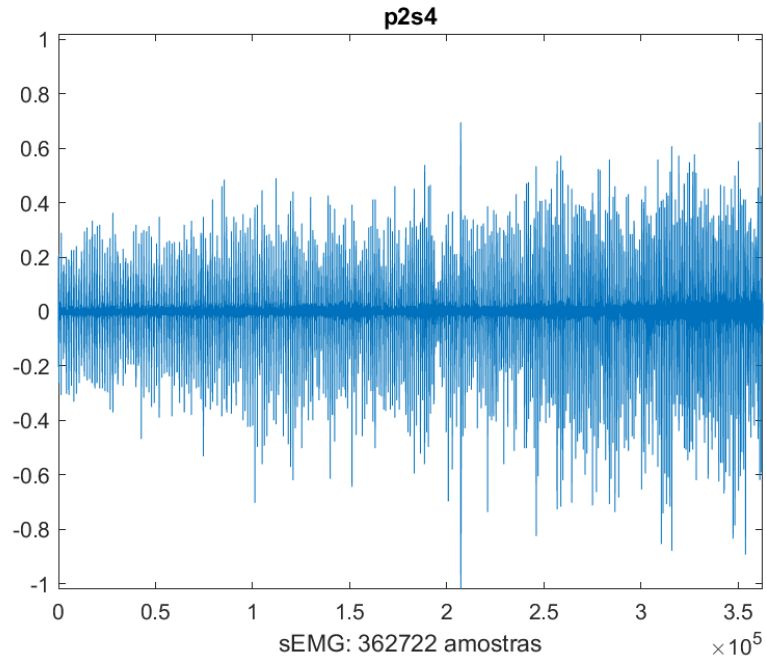


Figura 124- Sinal 4 do Protocolo 2

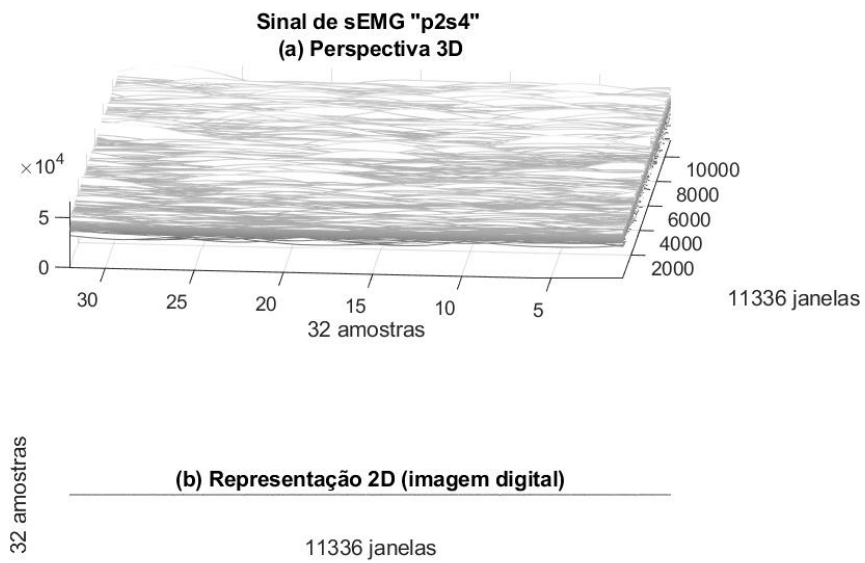


Figura 125- Sinal “p2s4”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

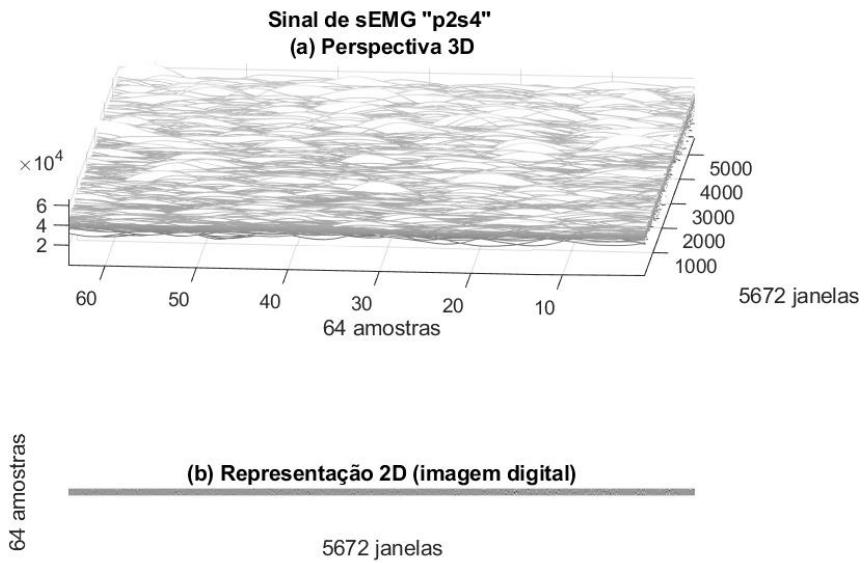


Figura 126- Sinal “p2s4”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

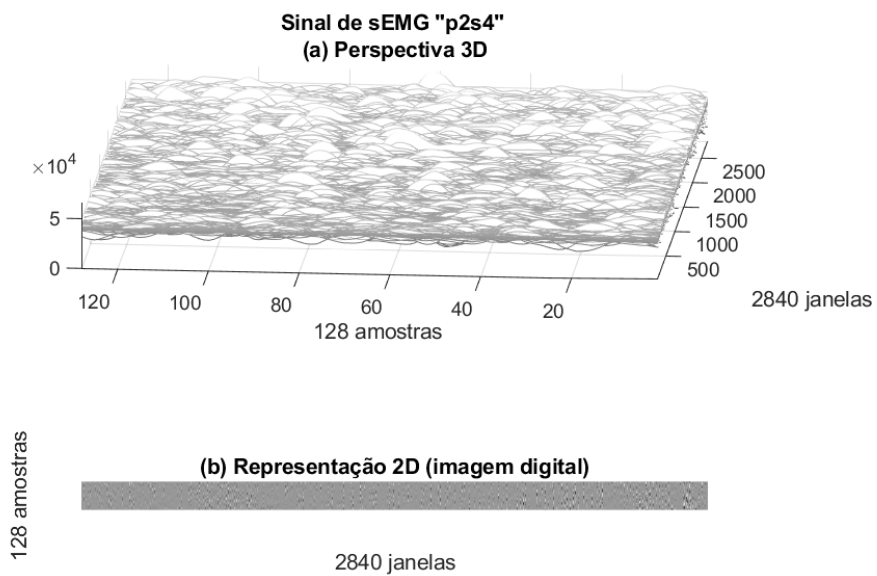


Figura 127- Sinal “p2s4”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

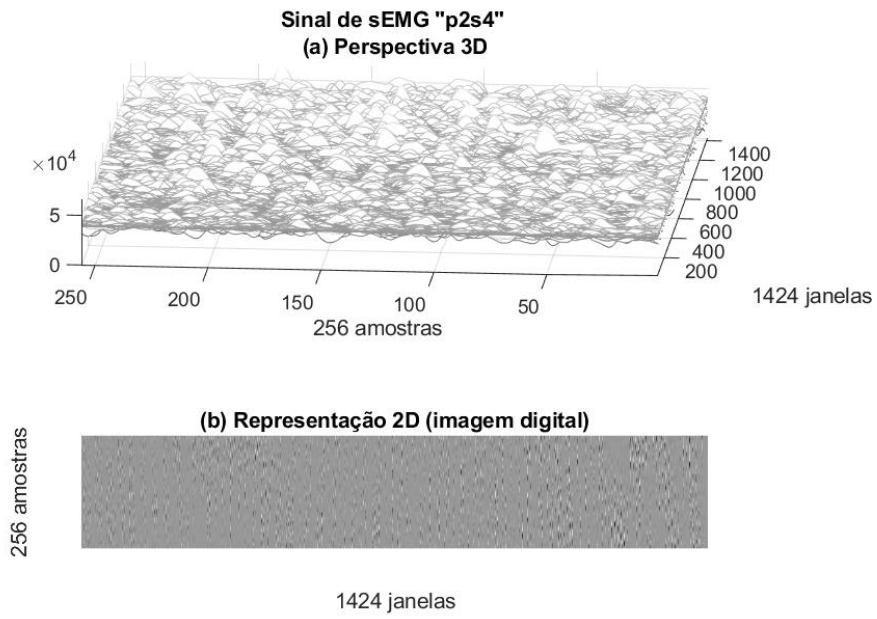


Figura 128- Sinal “p2s4”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

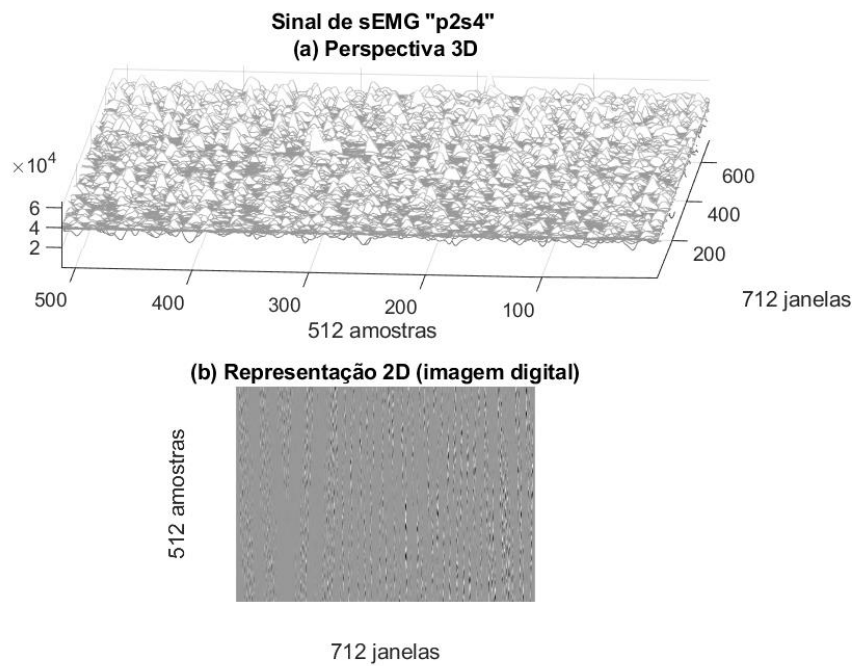


Figura 129- Sinal “p2s4”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

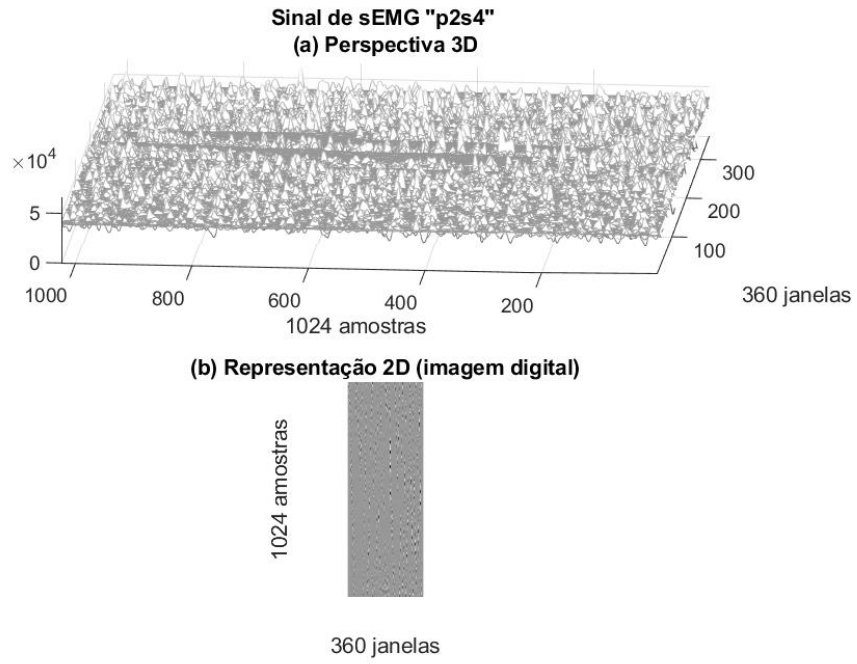


Figura 130- Sinal “p2s4”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

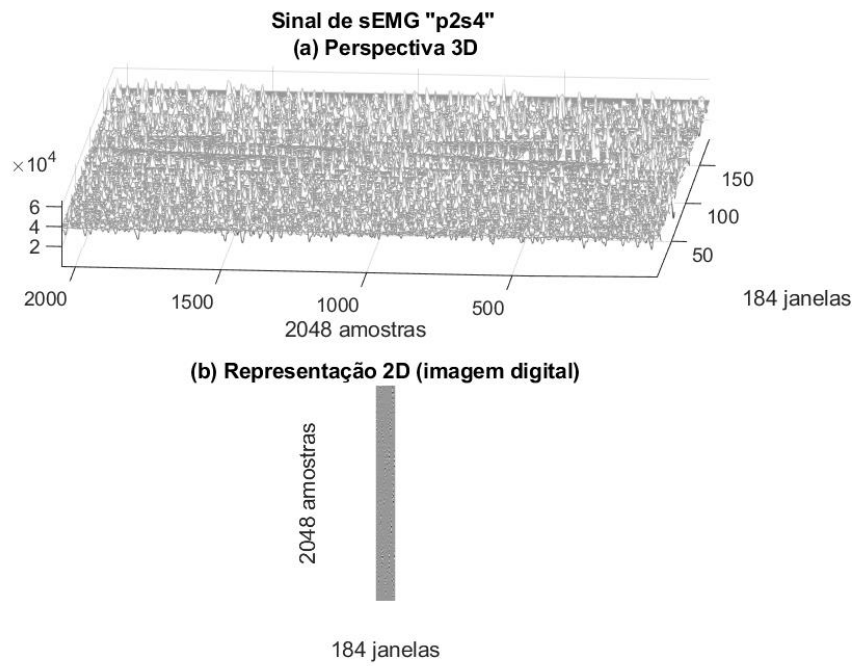


Figura 131- Sinal “p2s4”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

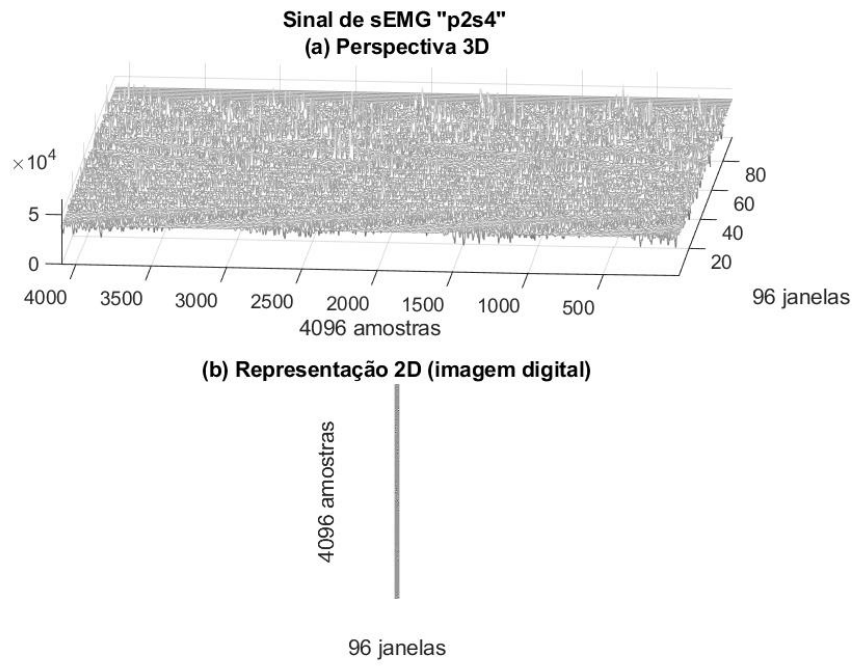


Figura 132- Sinal “p2s4”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

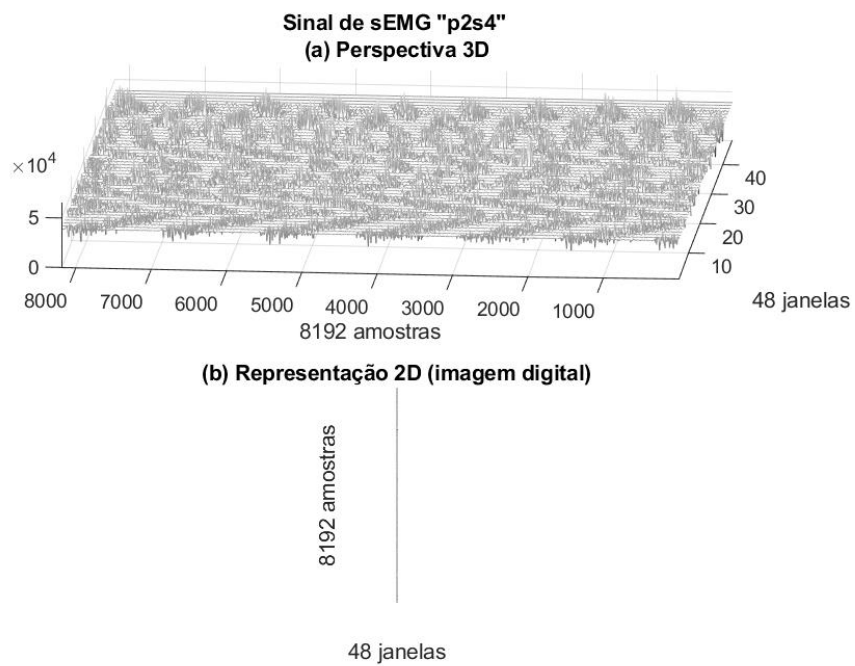


Figura 133- Sinal “p2s4”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

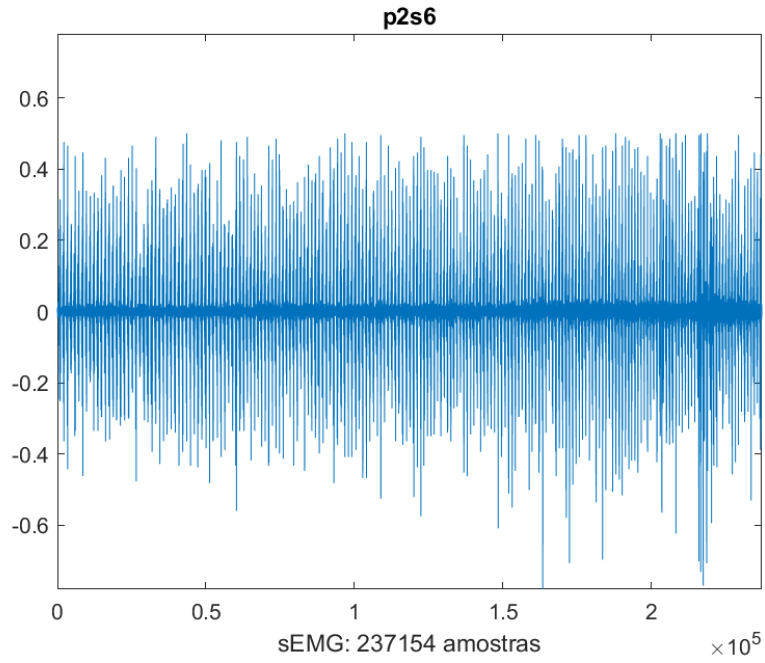


Figura 134- Sinal 6 do Protocolo 2

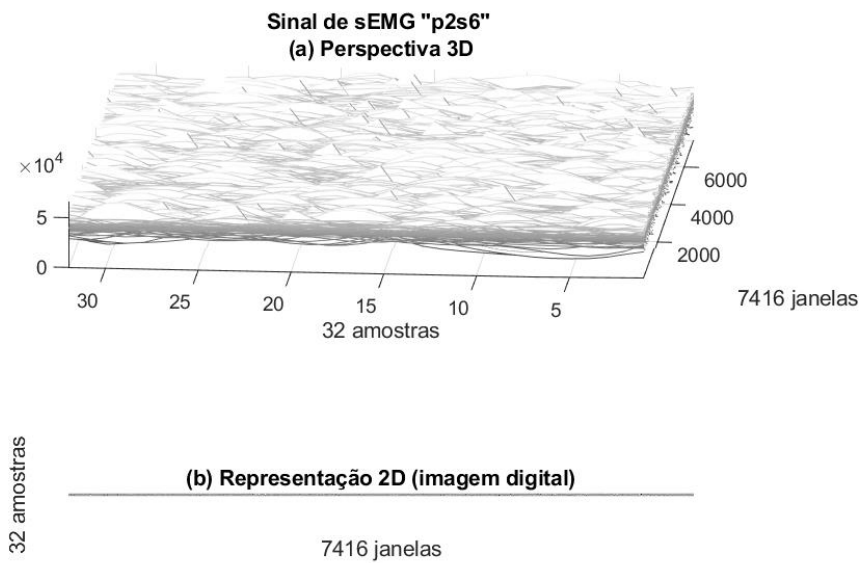


Figura 135- Sinal “p2s6”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

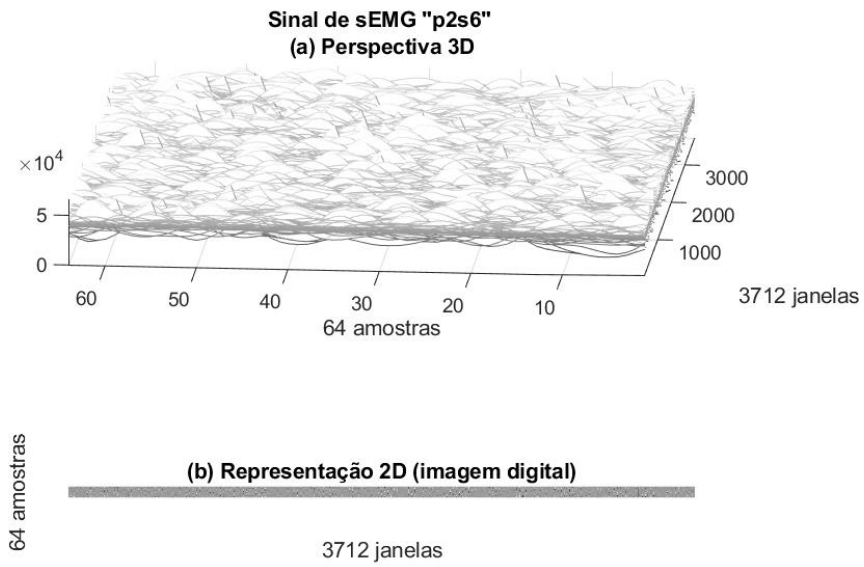


Figura 136- Sinal “p2s6”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

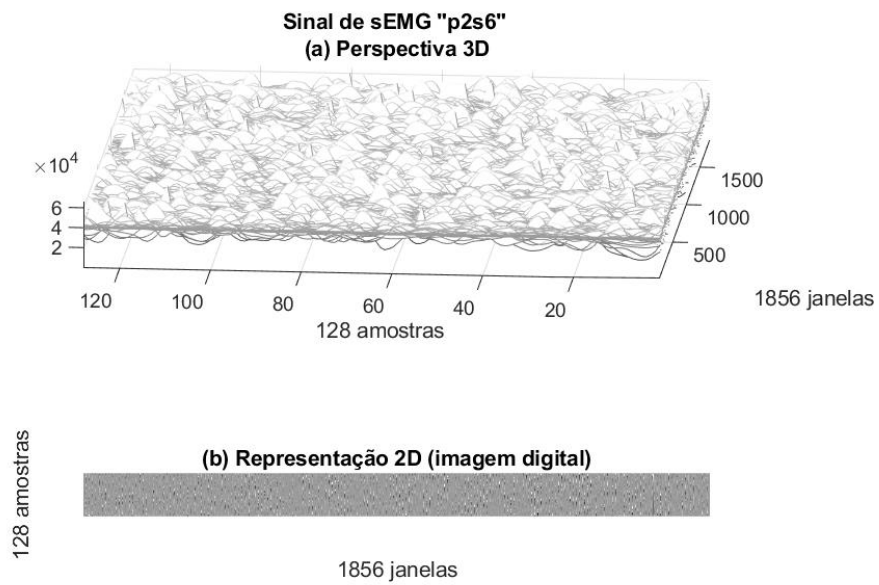


Figura 137- Sinal “p2s6”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

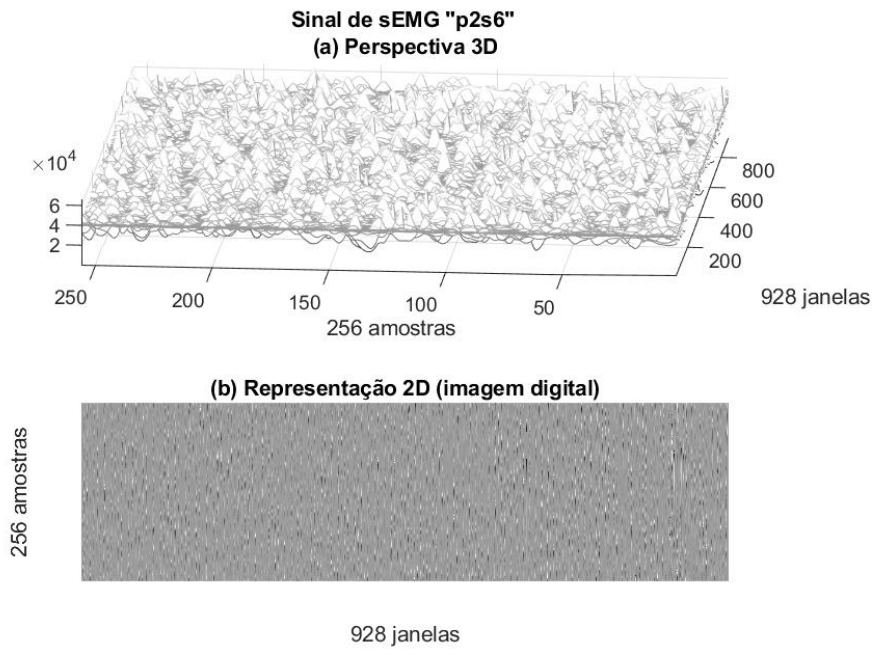


Figura 138- Sinal “p2s6”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

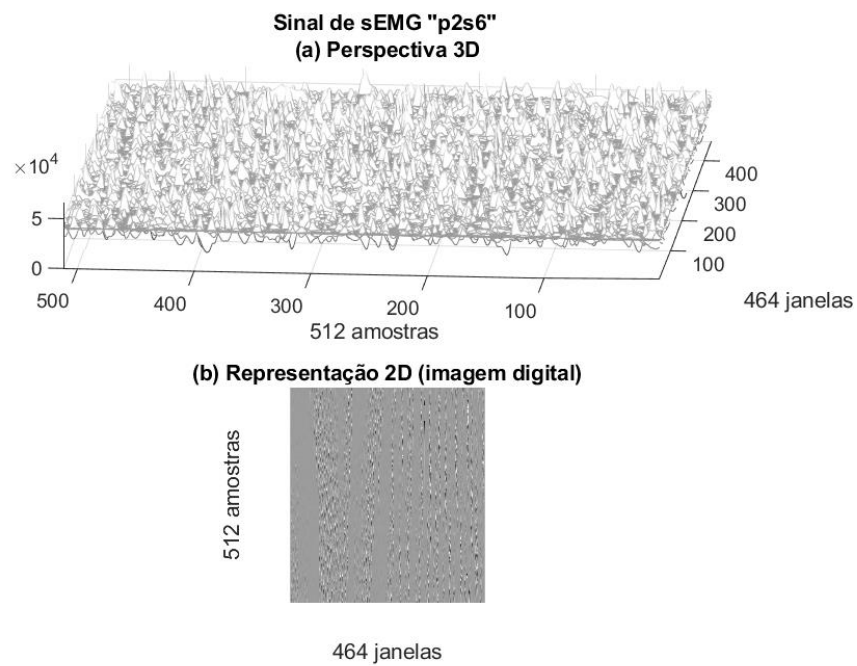


Figura 139- Sinal “p2s6”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

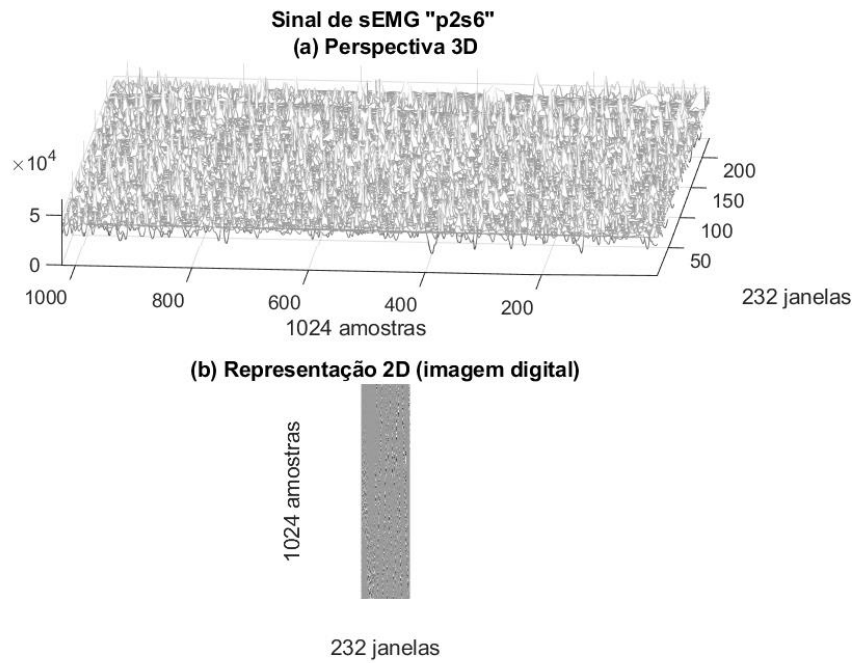


Figura 140- Sinal “p2s6”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

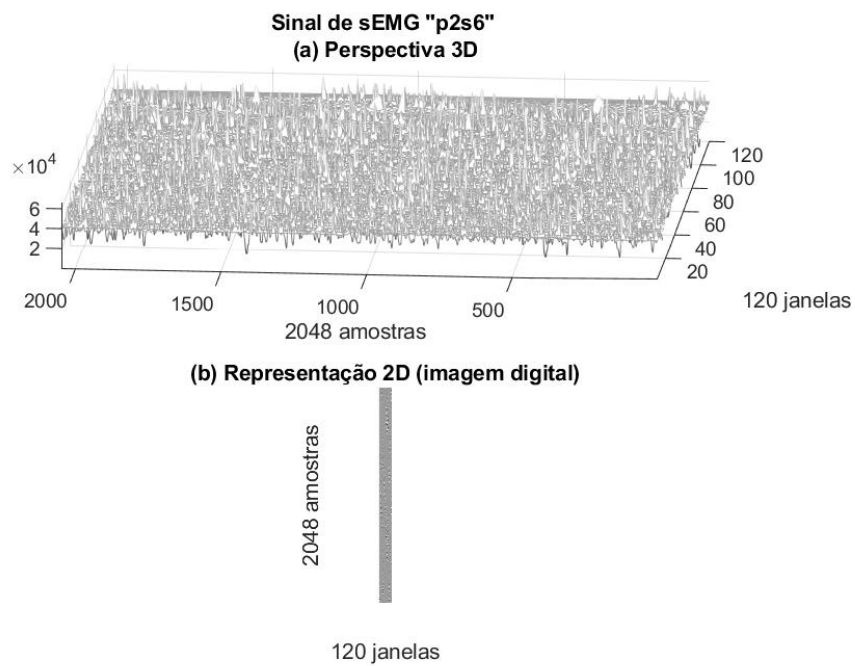


Figura 141- Sinal “p2s6”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

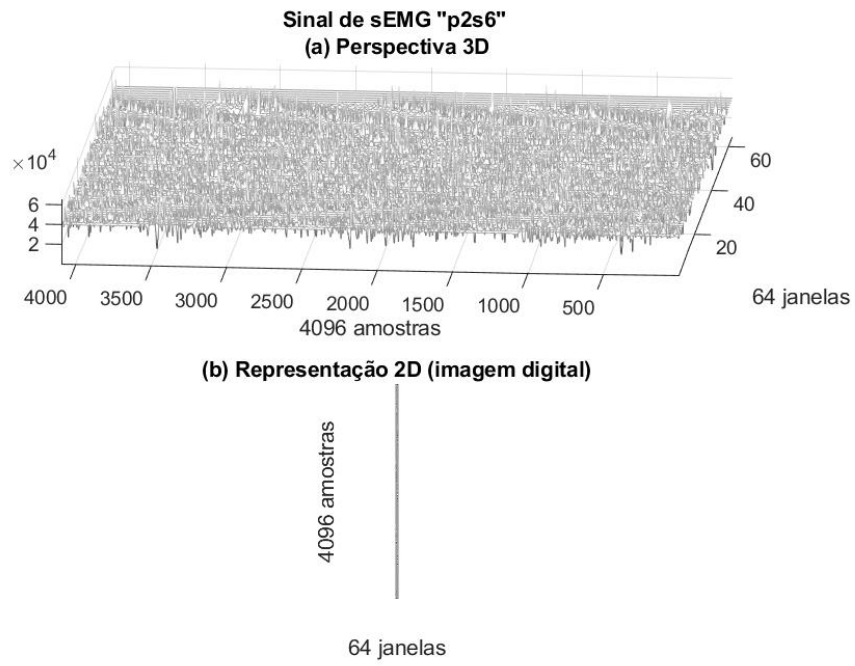


Figura 142- Sinal “p2s6”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

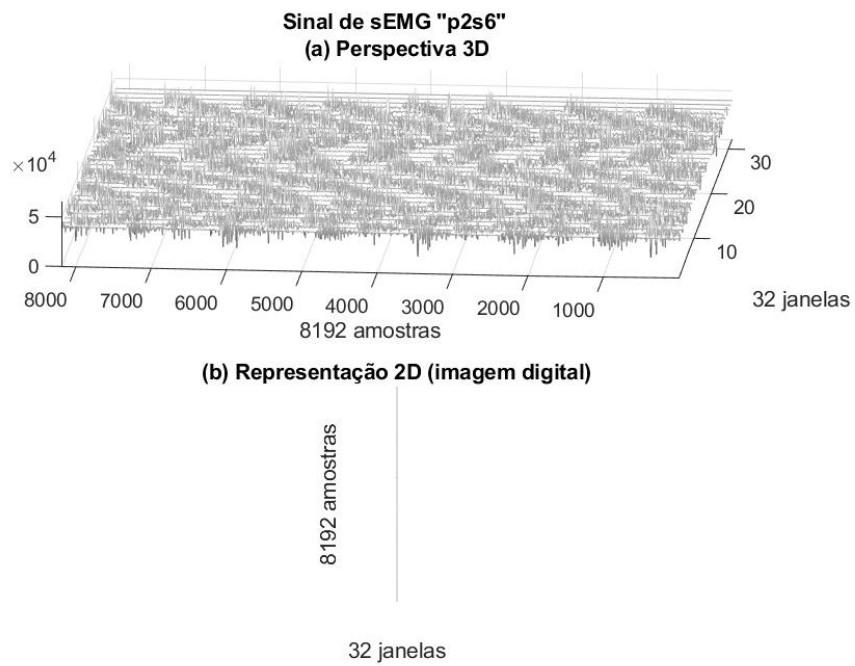


Figura 143- Sinal “p2s6”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

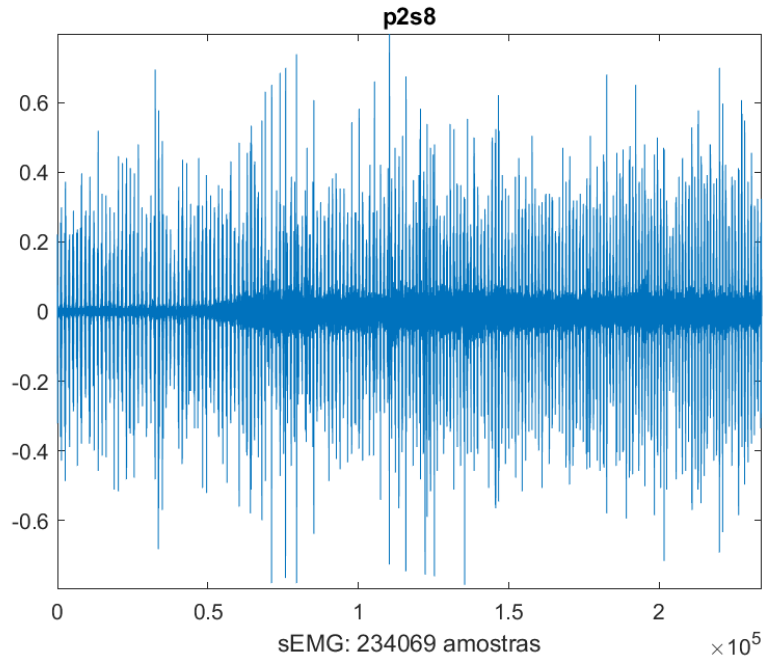


Figura 144- Sinal 8 do Protocolo 2

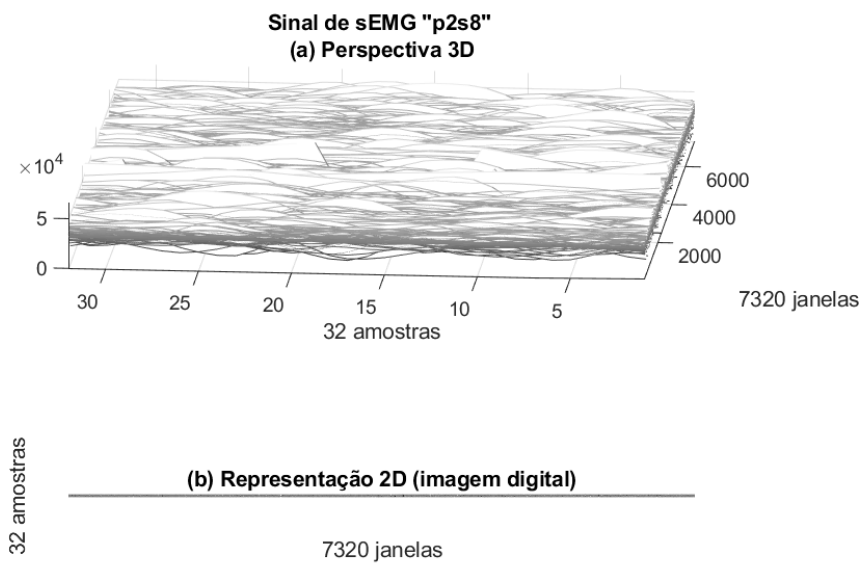


Figura 145- Sinal “p2s8”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

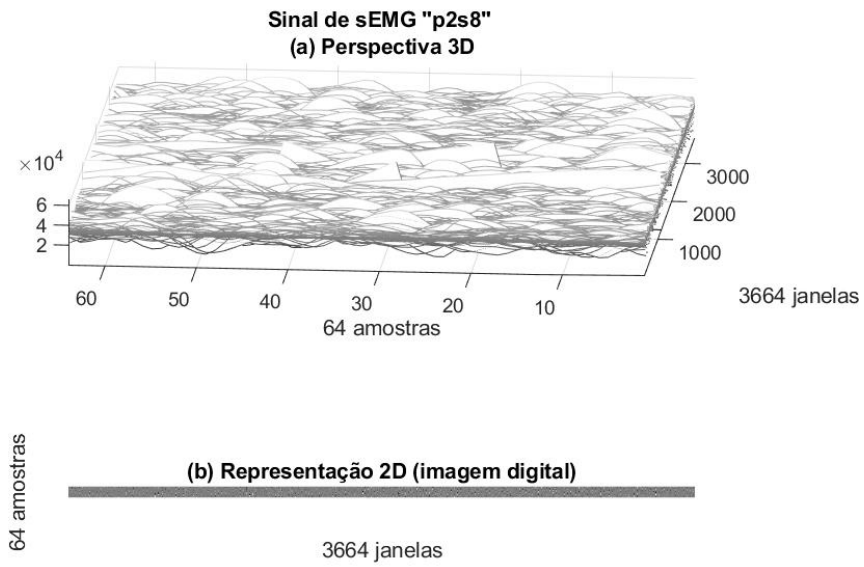


Figura 146- Sinal “p2s8”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

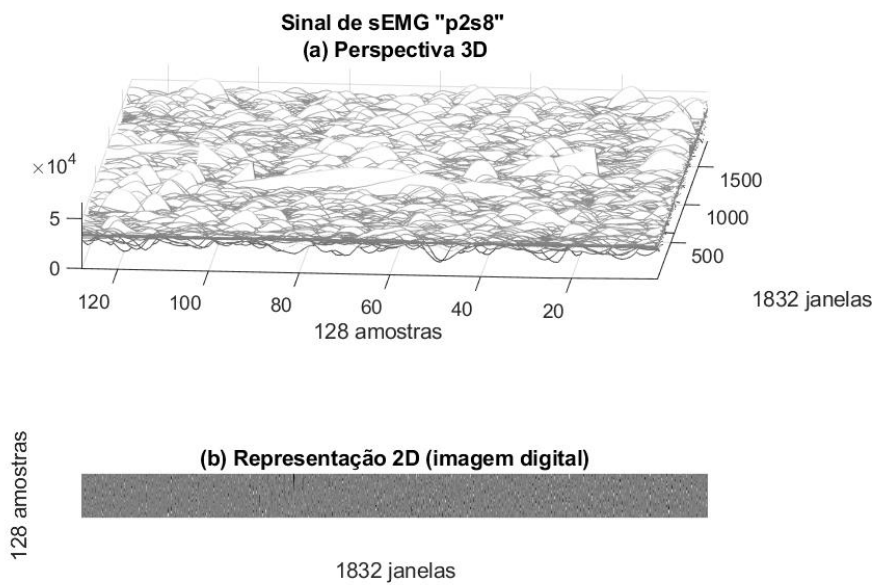


Figura 147- Sinal “p2s8”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

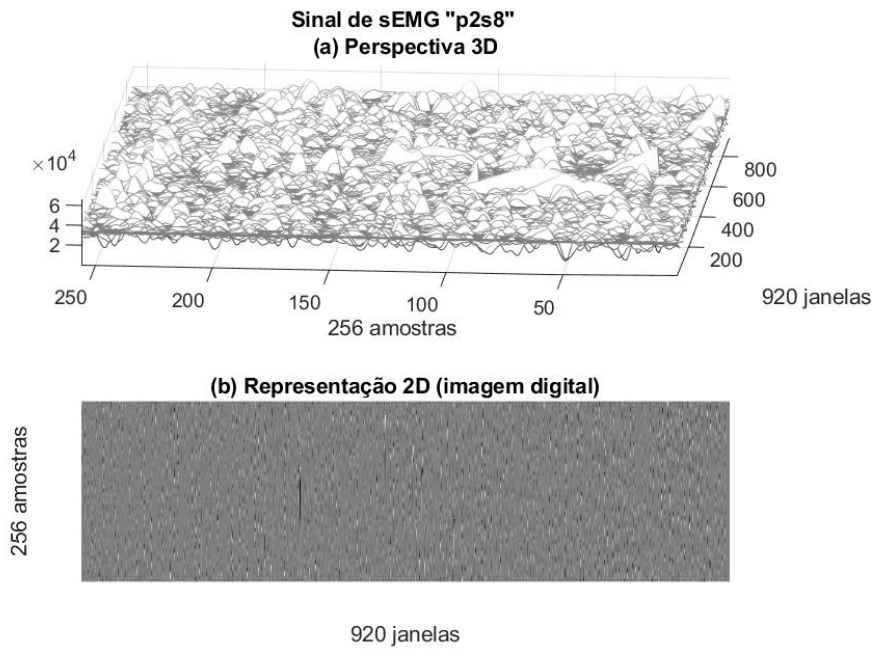


Figura 148- Sinal “p2s8”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

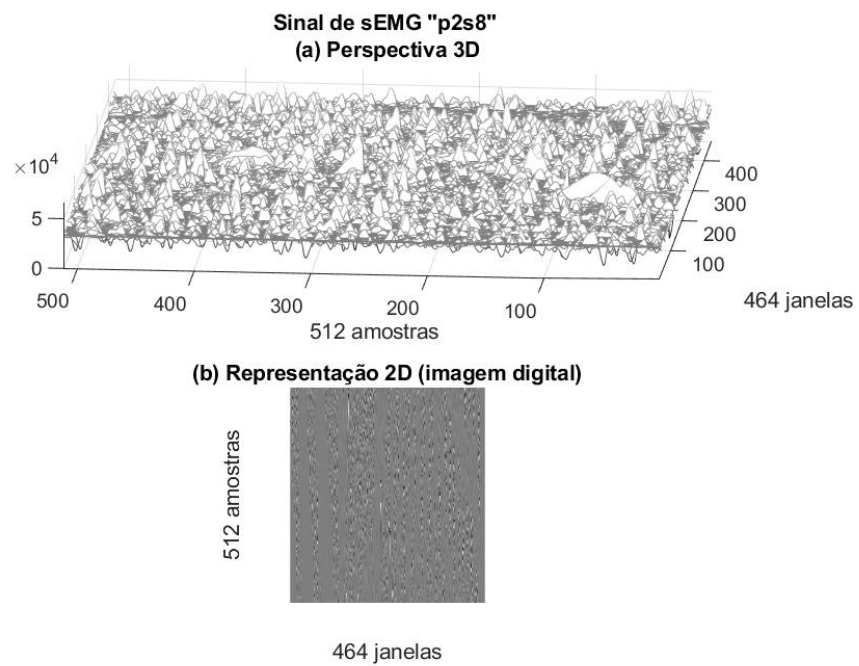


Figura 149- Sinal “p2s8”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

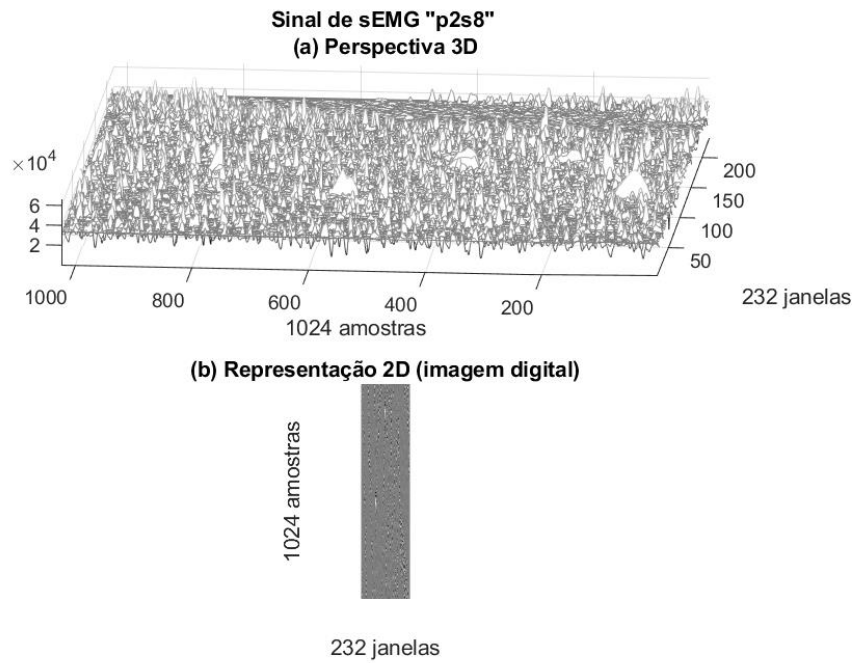


Figura 150- Sinal “p2s8”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

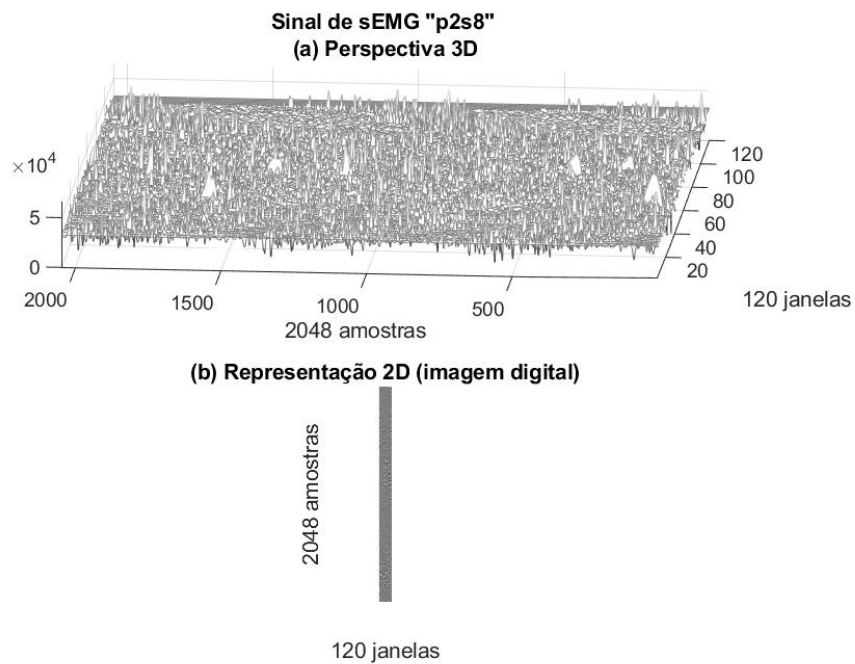


Figura 151- Sinal “p2s8”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

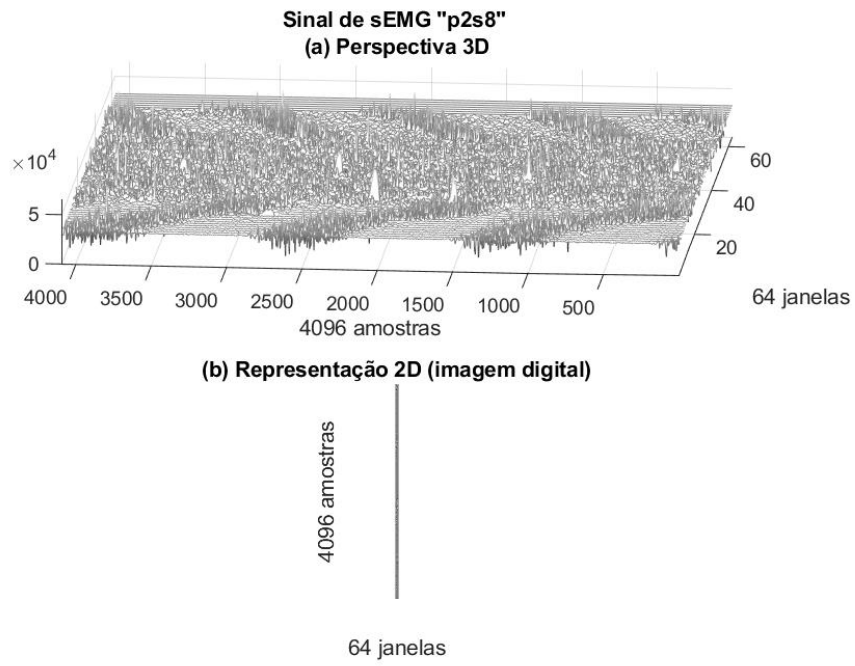


Figura 152- Sinal “p2s8”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

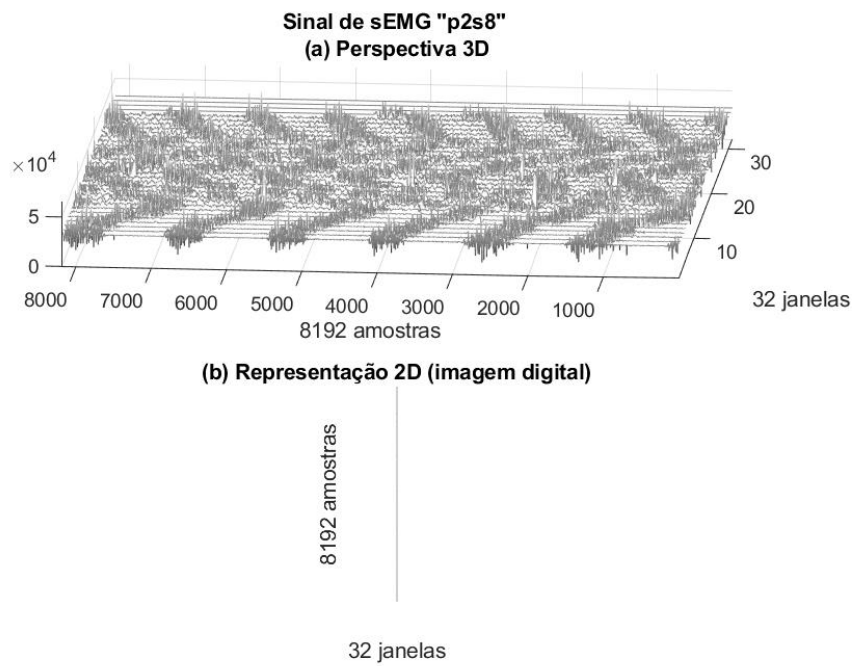


Figura 153- Sinal “p2s8”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

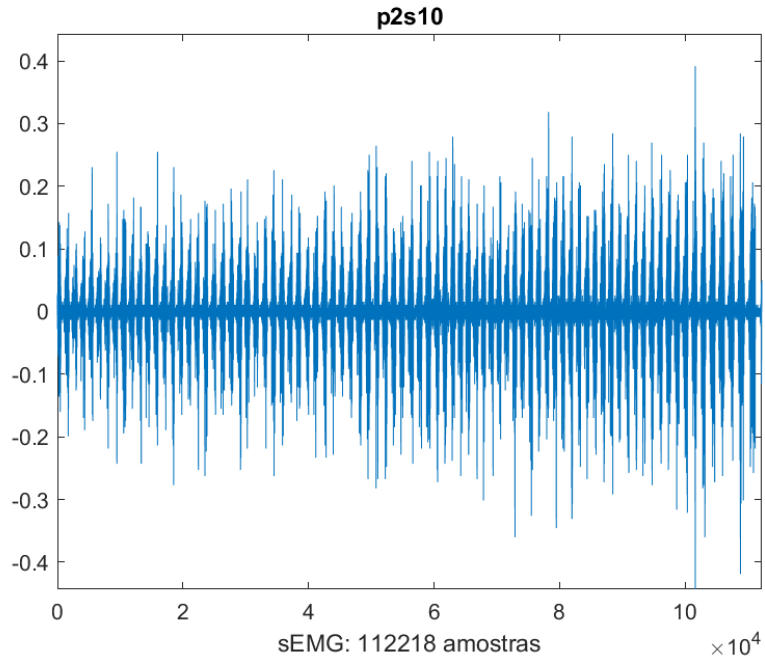


Figura 154- Sinal 10 do Protocolo 2

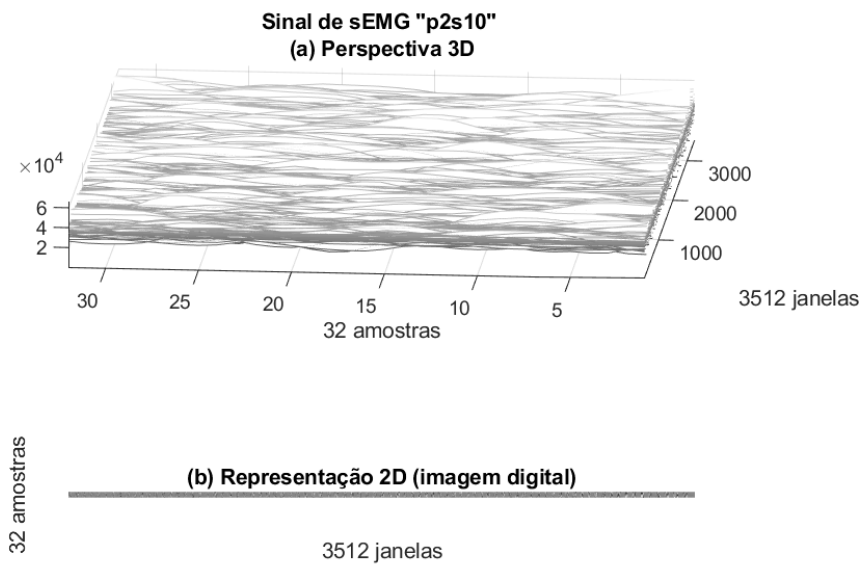


Figura 155- Sinal “p2s10”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

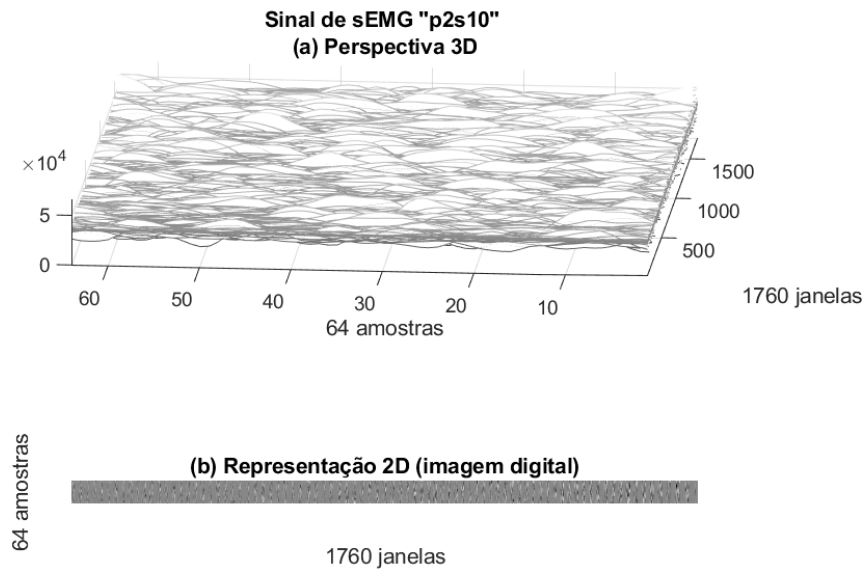


Figura 156- Sinal “p2s10”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

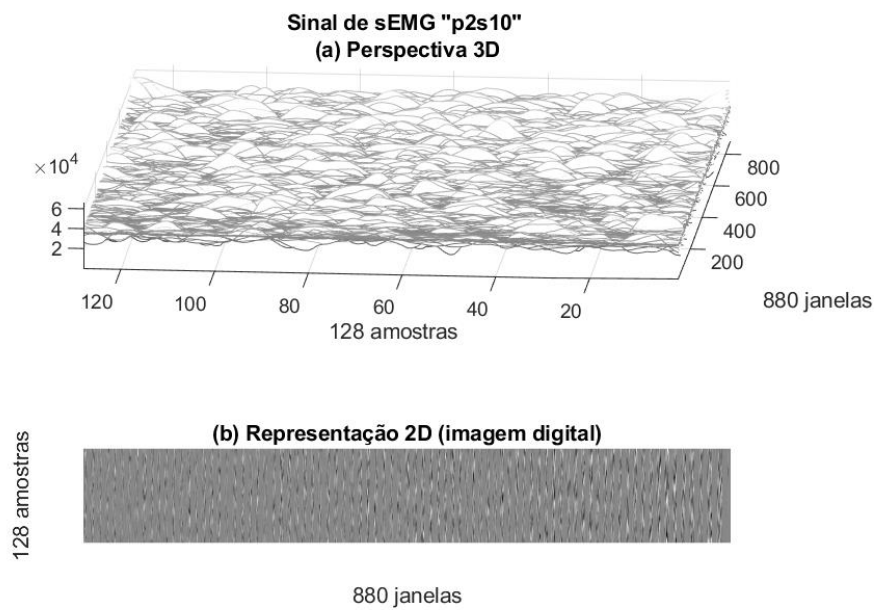


Figura 157- Sinal “p2s10”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

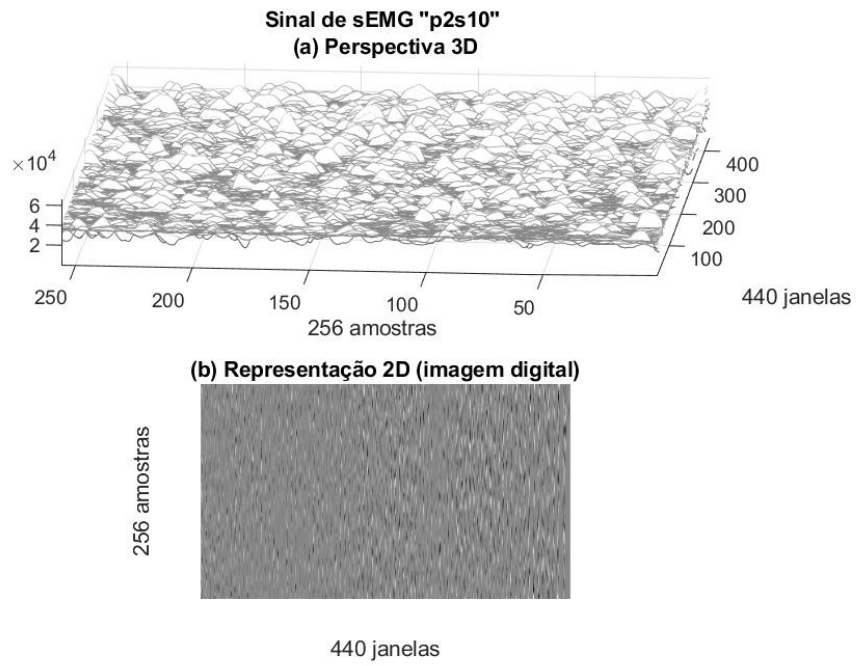


Figura 158- Sinal “p2s10”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

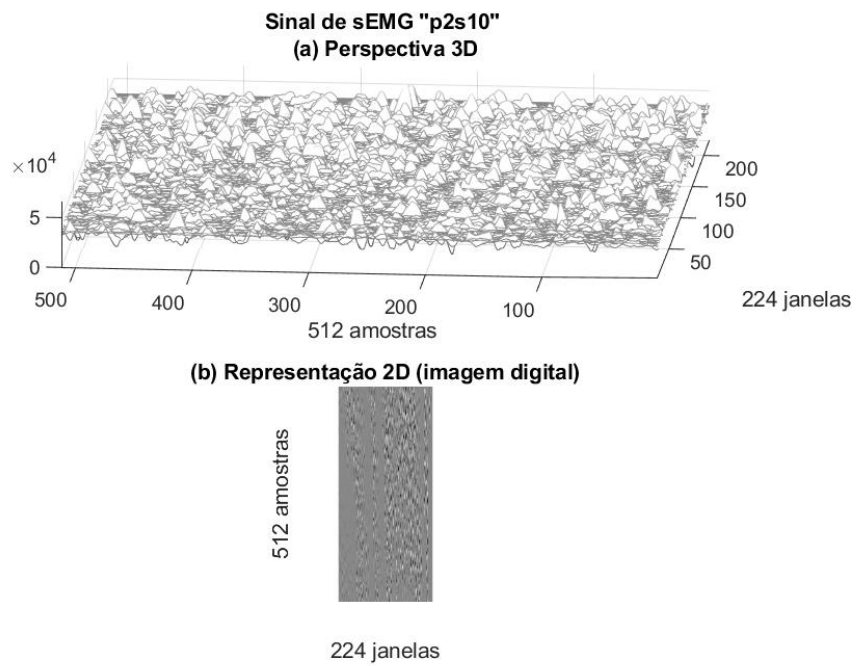


Figura 159- Sinal “p2s10”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

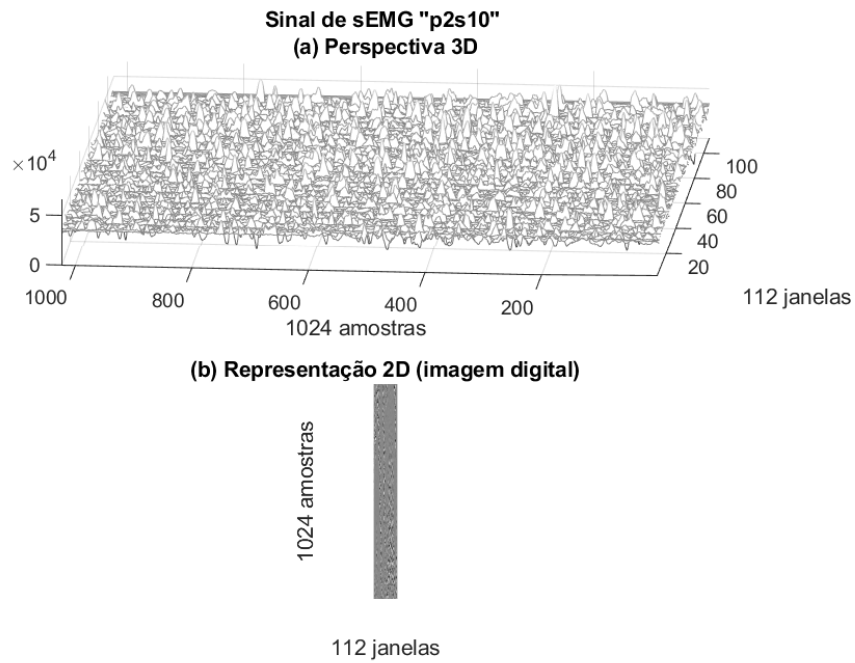


Figura 160- Sinal “p2s10”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

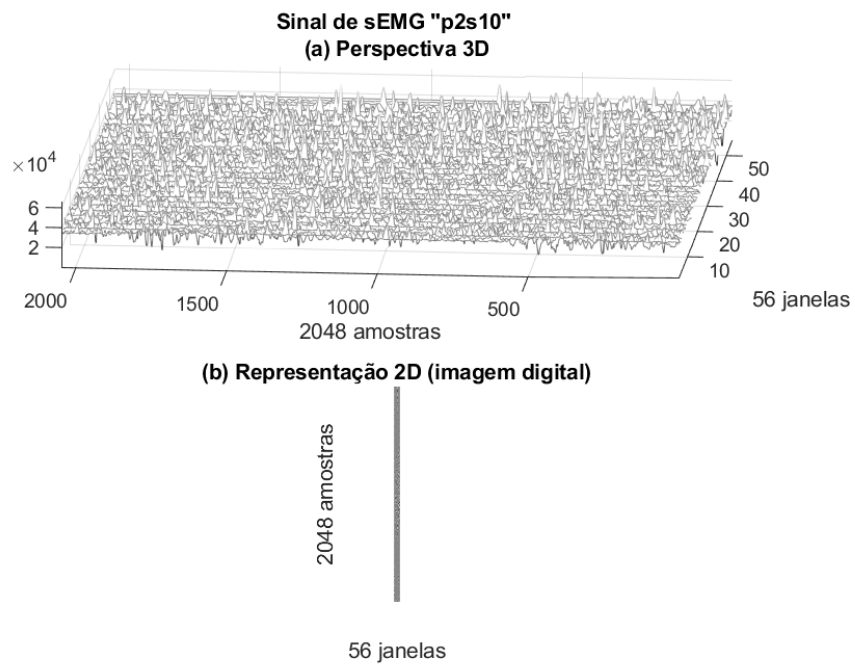


Figura 161- Sinal “p2s10”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

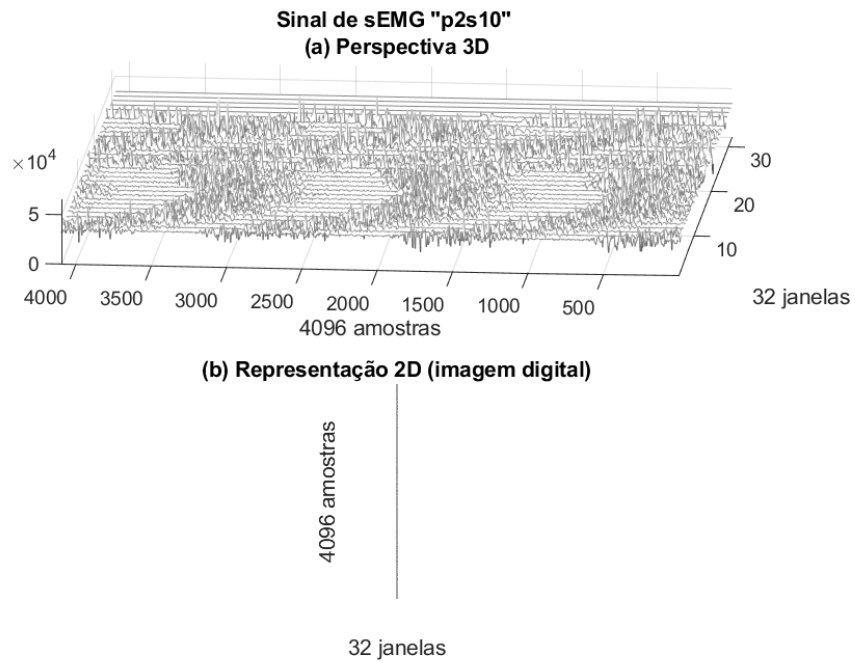


Figura 162- Sinal “p2s10”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

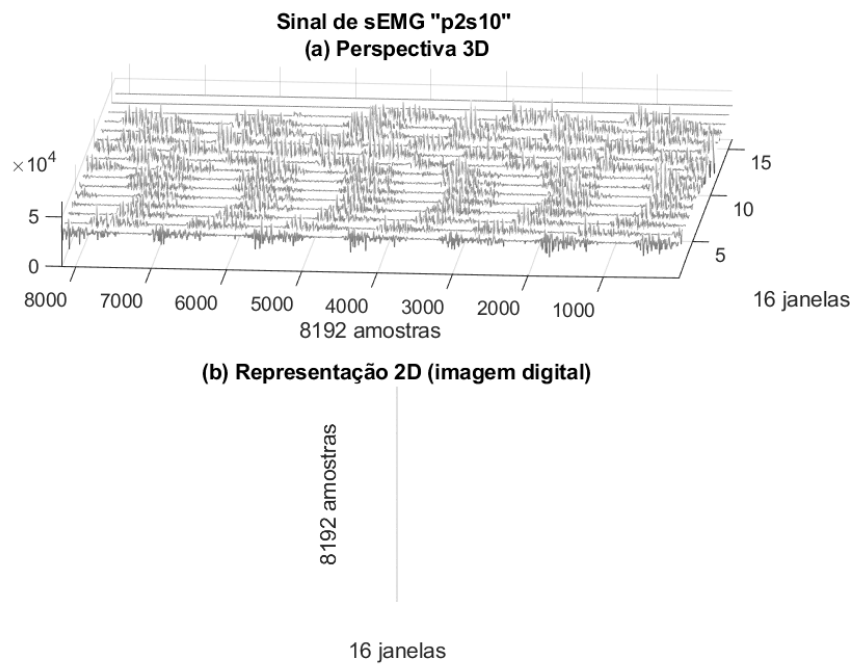


Figura 163- Sinal “p2s10”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

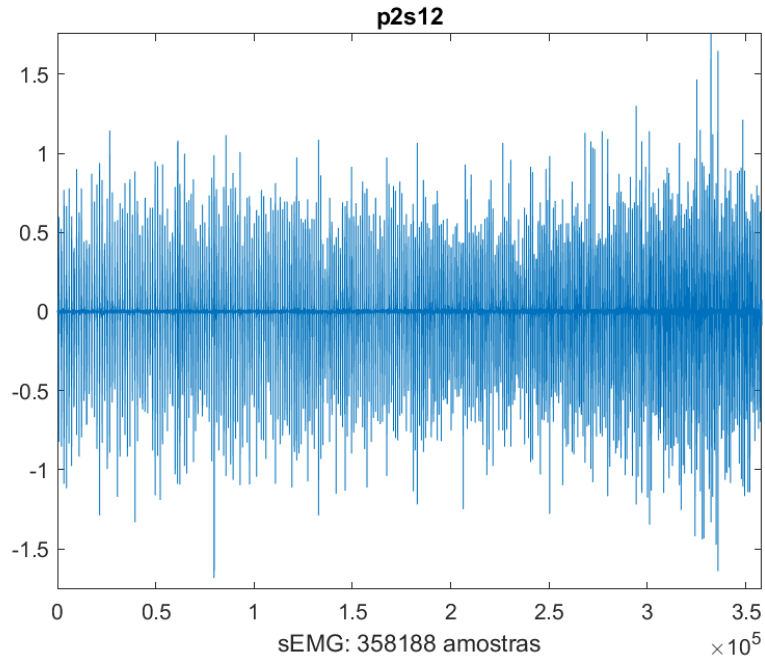


Figura 164- Sinal 12 do Protocolo 2

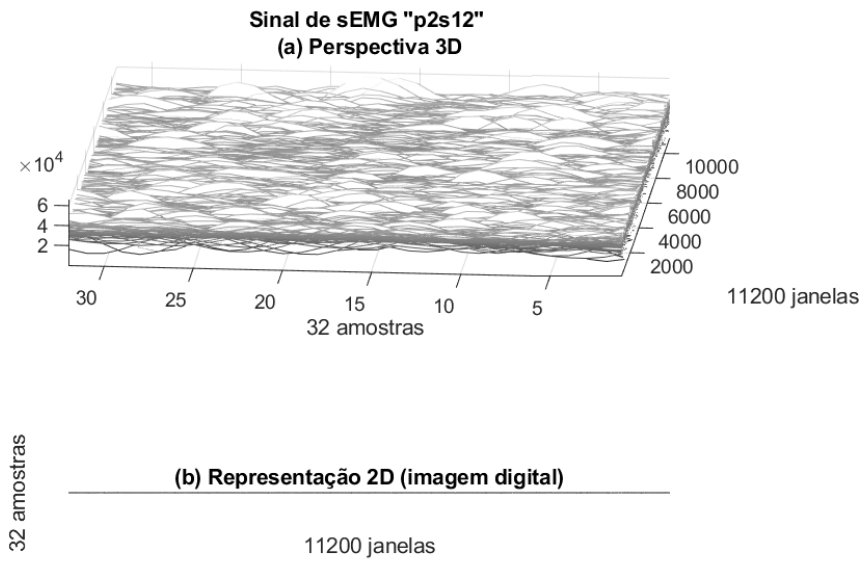


Figura 165- Sinal “p2s12”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

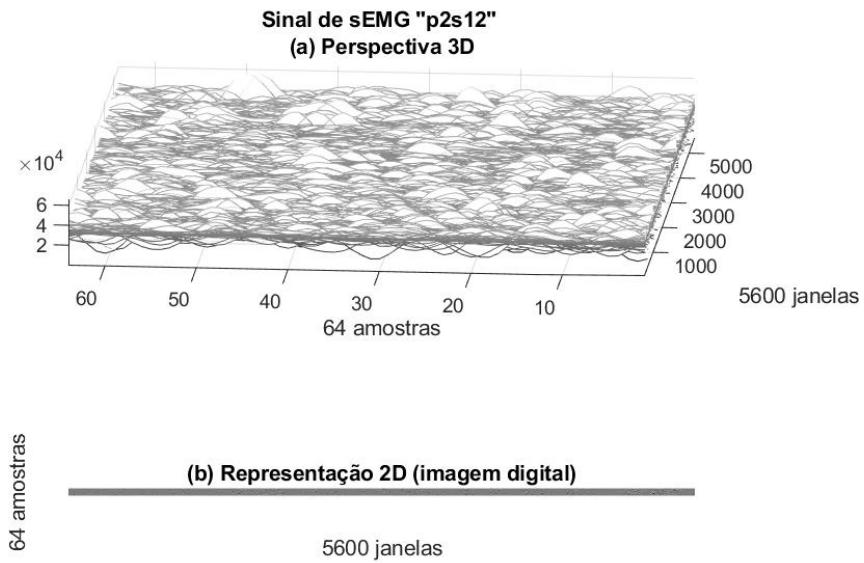


Figura 166- Sinal “p2s12”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

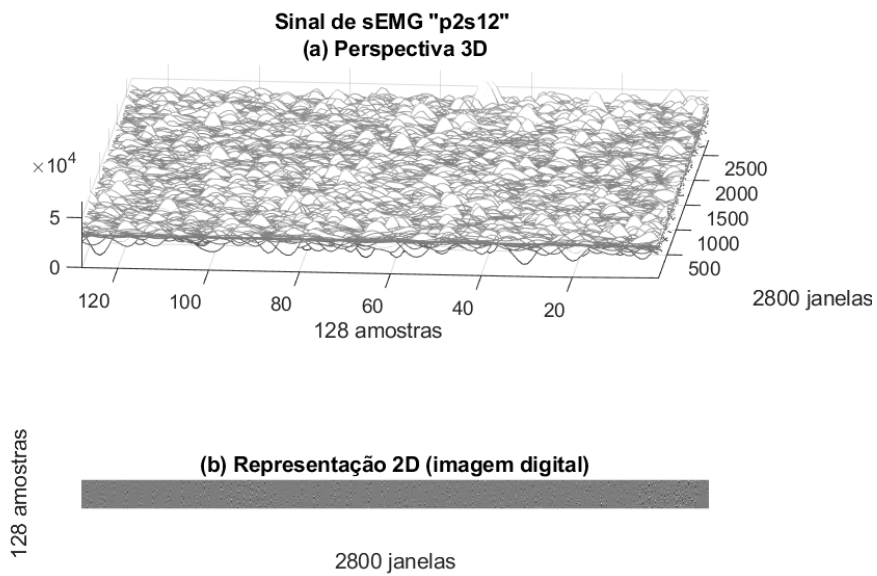


Figura 167- Sinal “p2s12”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

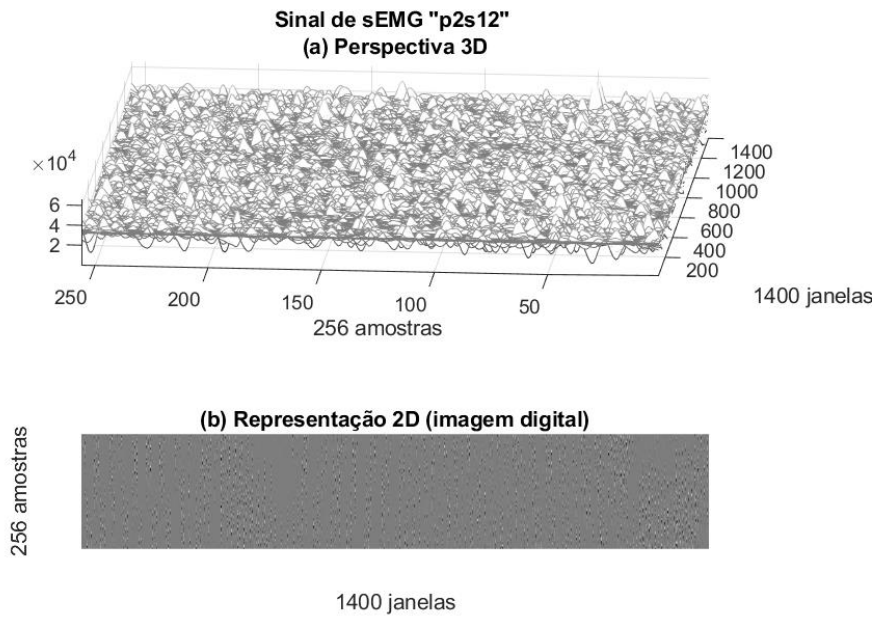


Figura 168- Sinal “p2s12”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

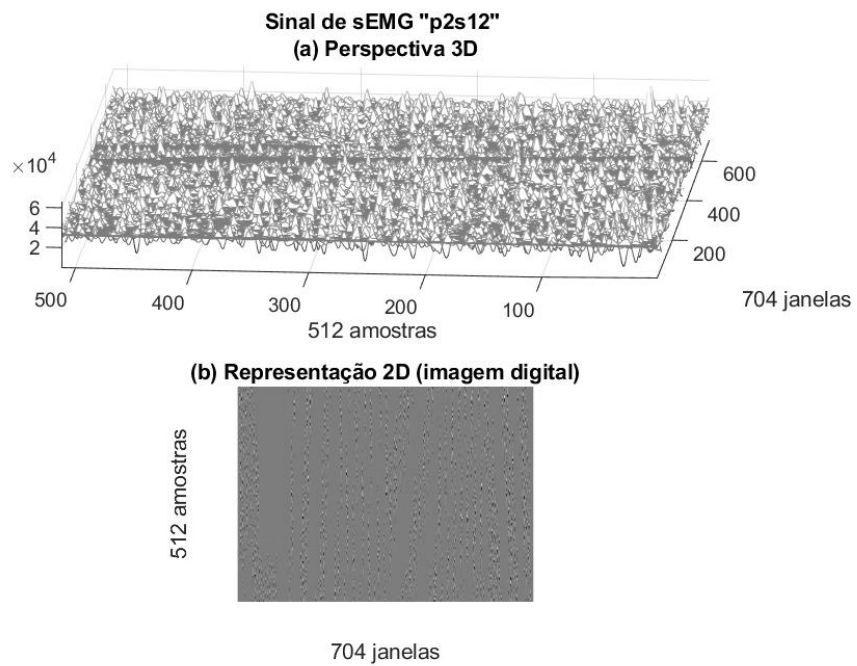


Figura 169- Sinal “p2s12”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

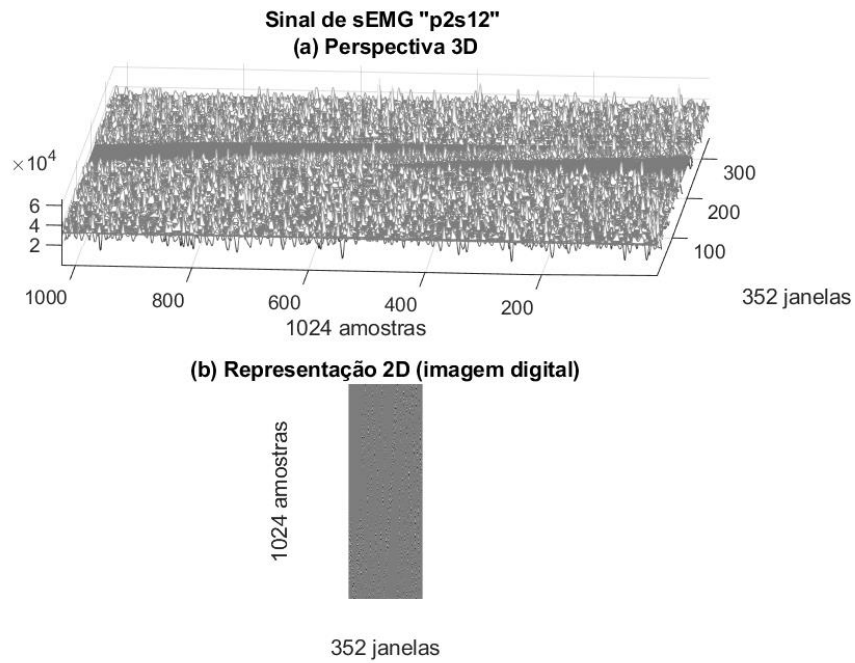


Figura 170- Sinal “p2s12”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

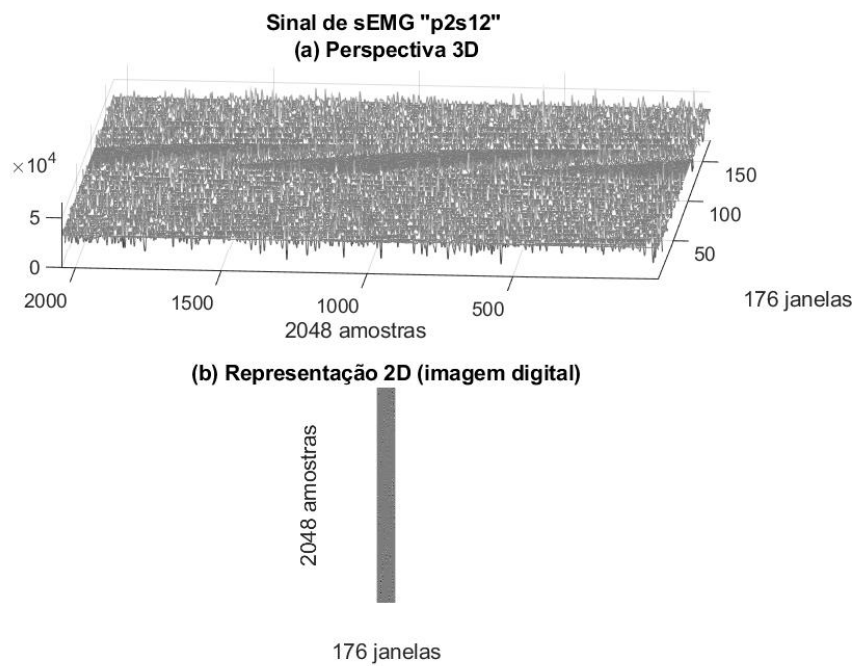


Figura 171- Sinal “p2s12”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

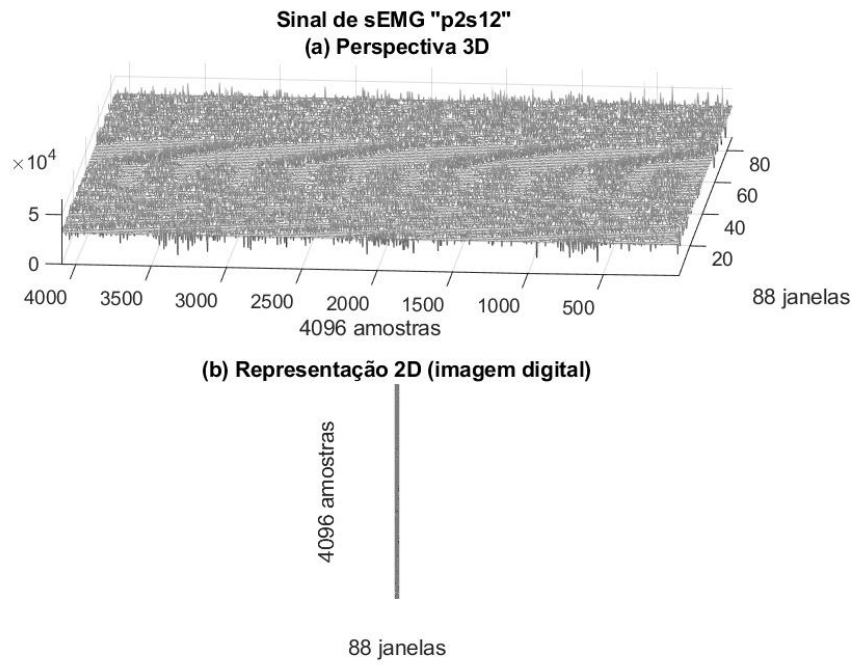


Figura 172- Sinal “p2s12”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

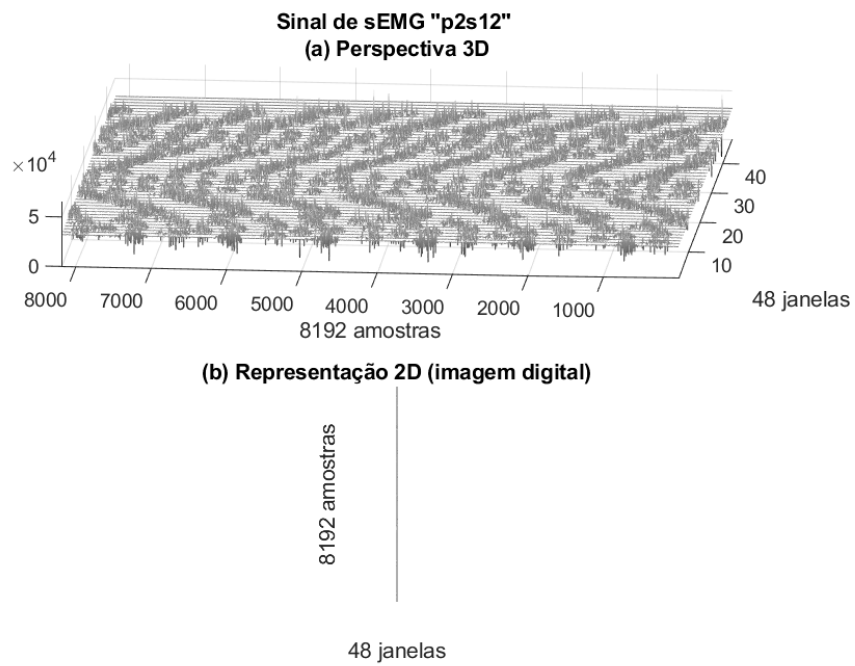


Figura 173- Sinal “p2s12”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

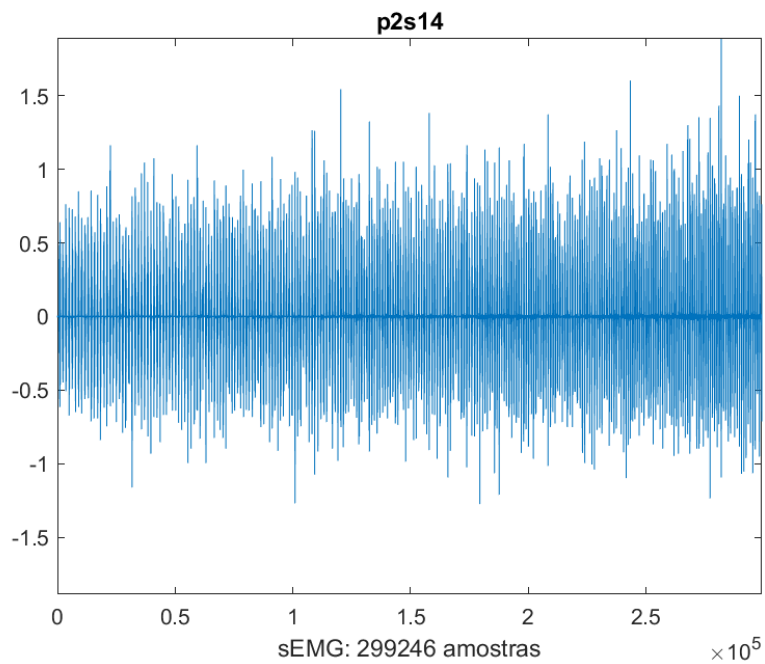


Figura 174- Sinal 14 do Protocolo 2

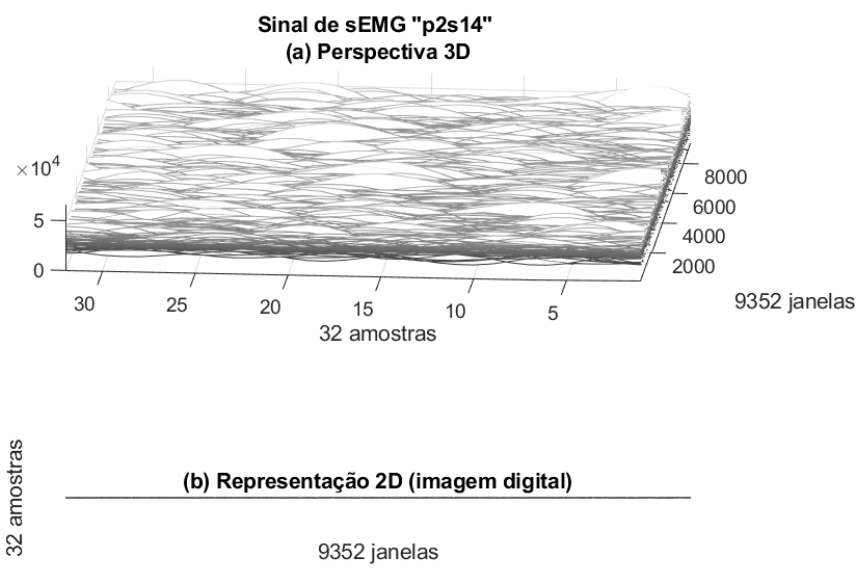


Figura 175- Sinal “p2s14”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

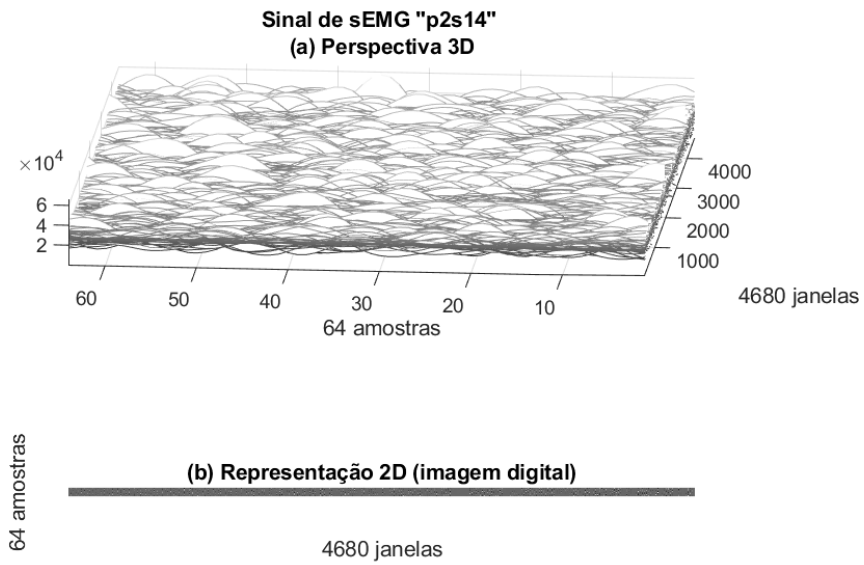


Figura 176- Sinal “p2s14”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

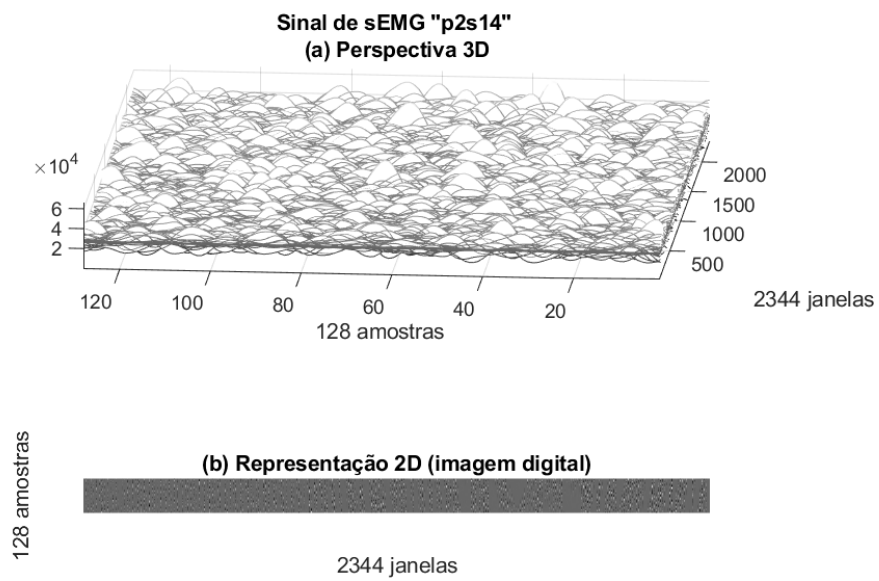


Figura 177- Sinal “p2s14”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

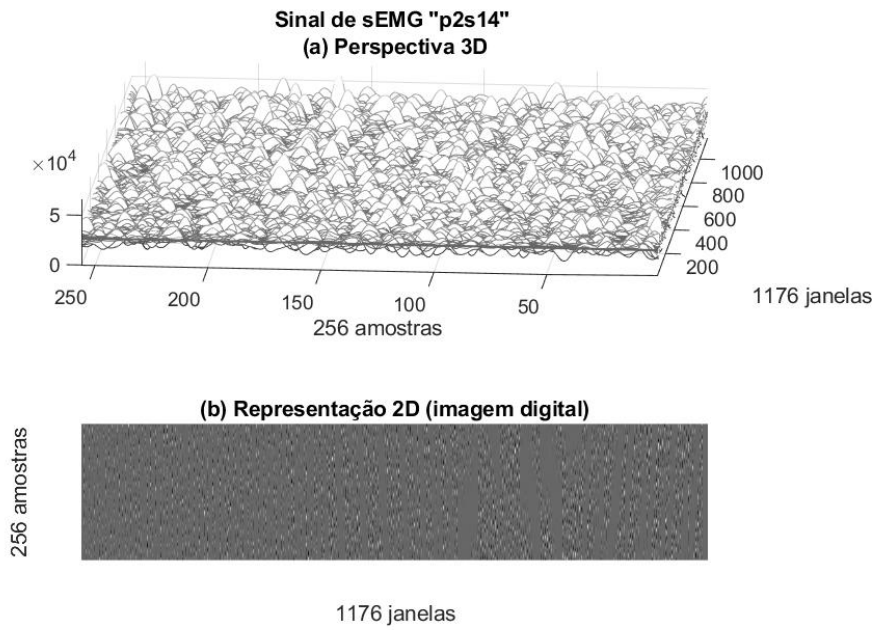


Figura 178- Sinal “p2s14”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

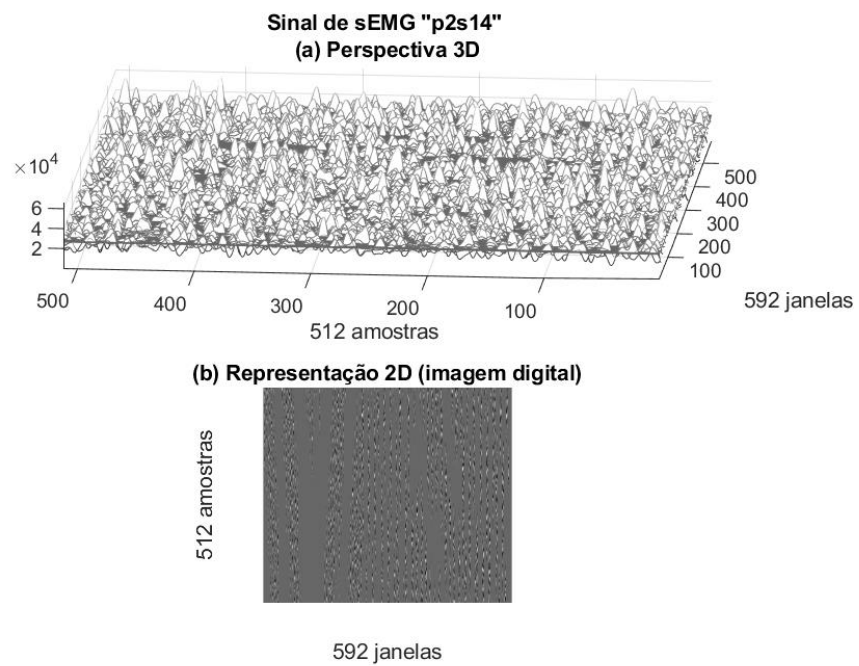


Figura 179- Sinal “p2s14”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

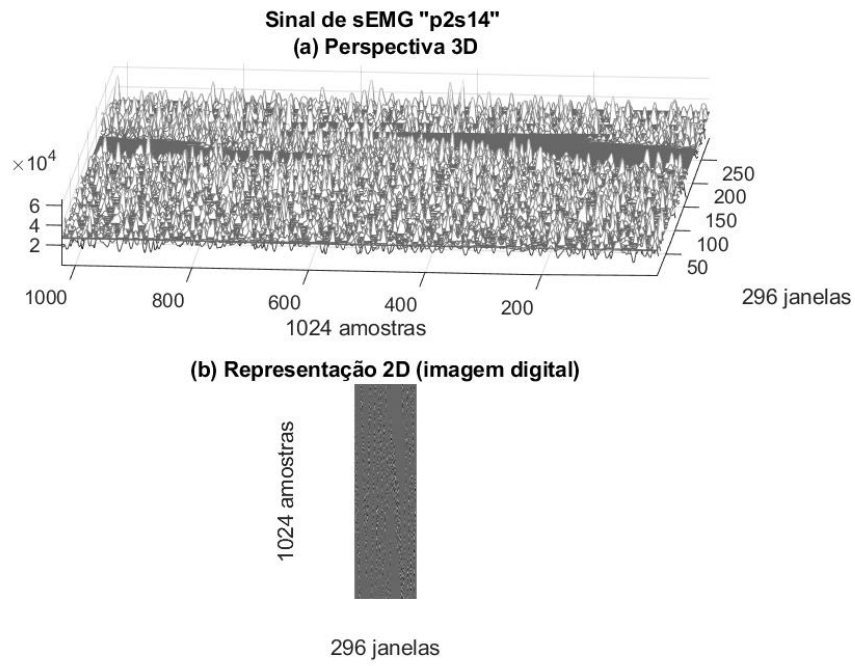


Figura 180- Sinal “p2s14”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

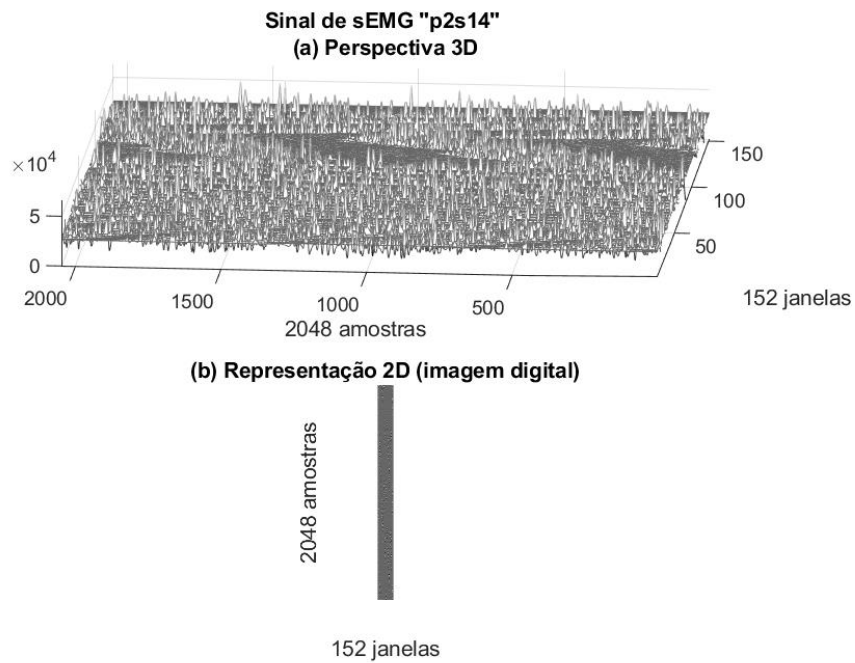


Figura 181- Sinal “p2s14”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

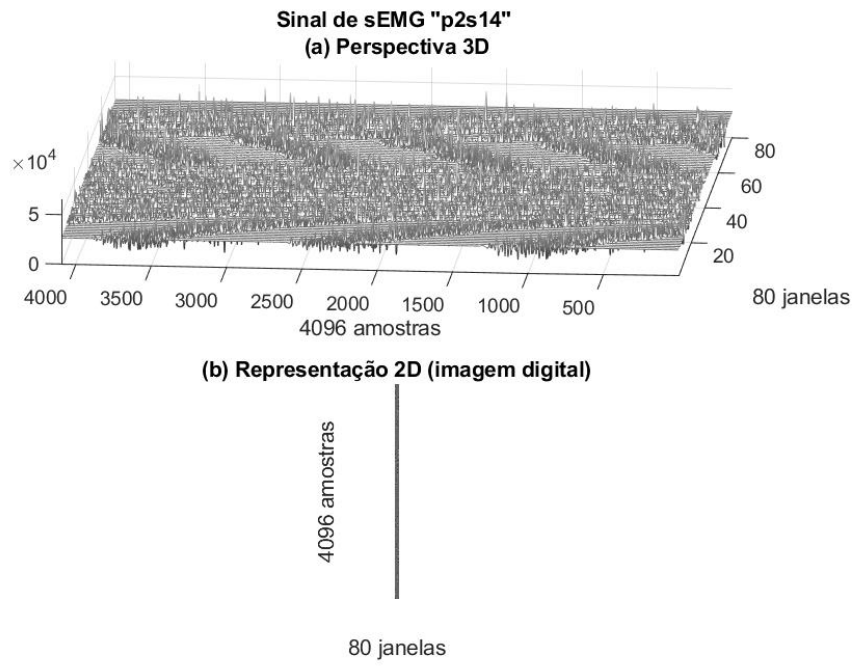


Figura 182- Sinal "p2s14", 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

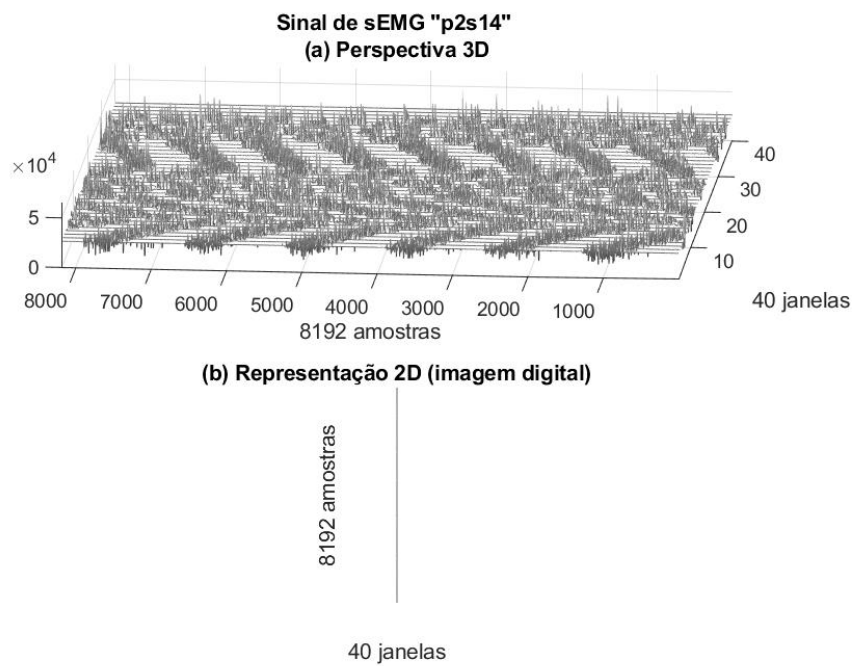


Figura 183- Sinal "p2s14", 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

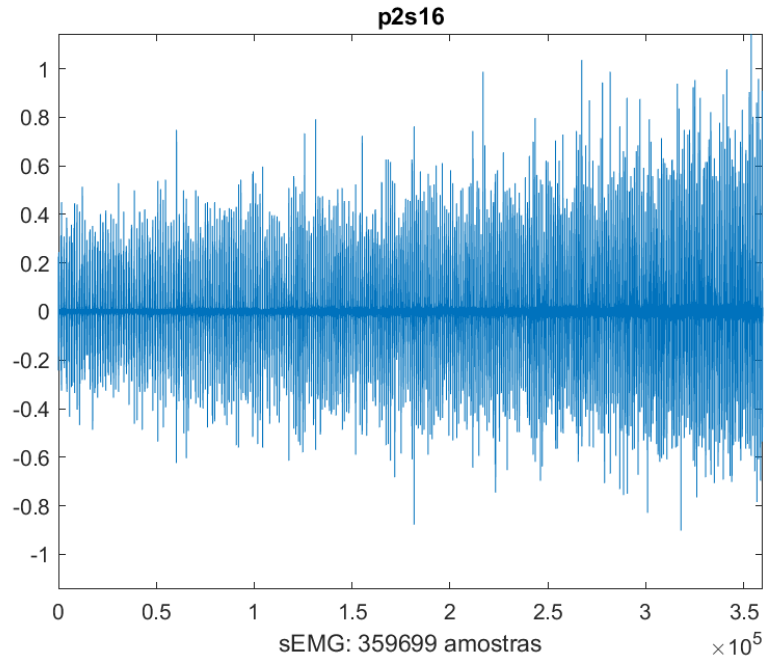


Figura 184- Sinal 16 do Protocolo 2

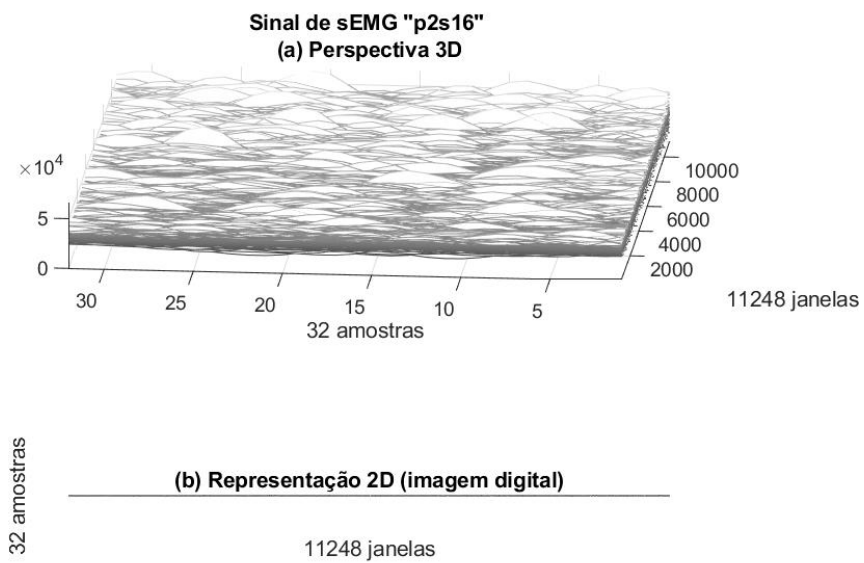


Figura 185- Sinal “p2s16”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

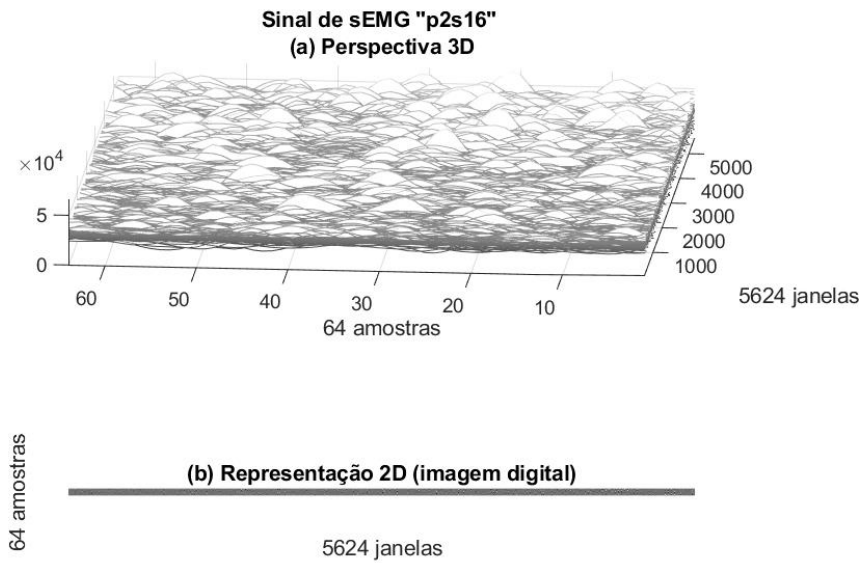


Figura 186- Sinal “p2s16”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

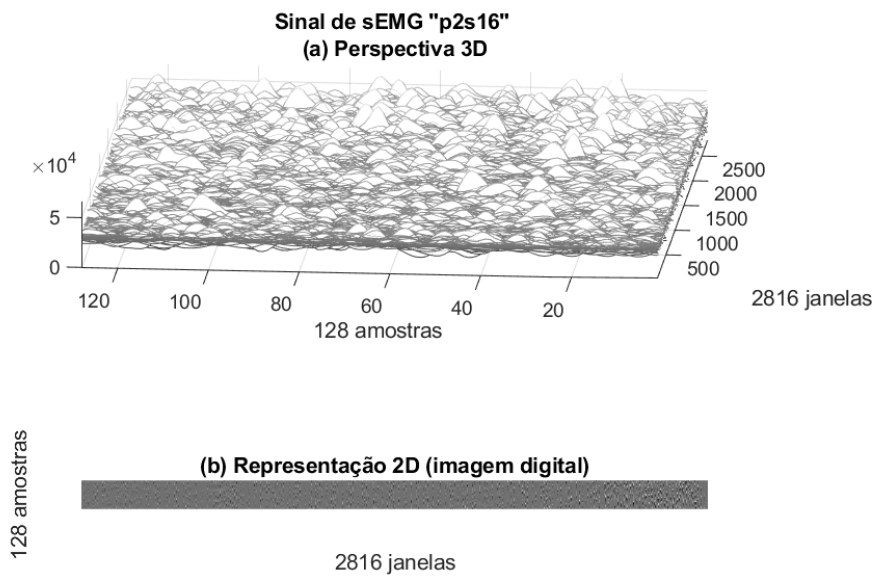


Figura 187- Sinal “p2s16”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

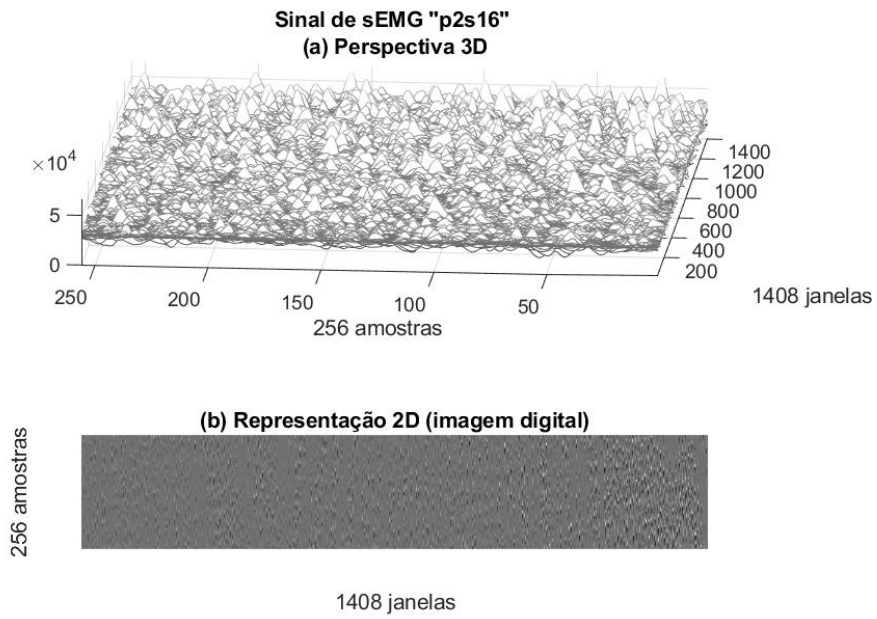


Figura 188- Sinal “p2s16”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

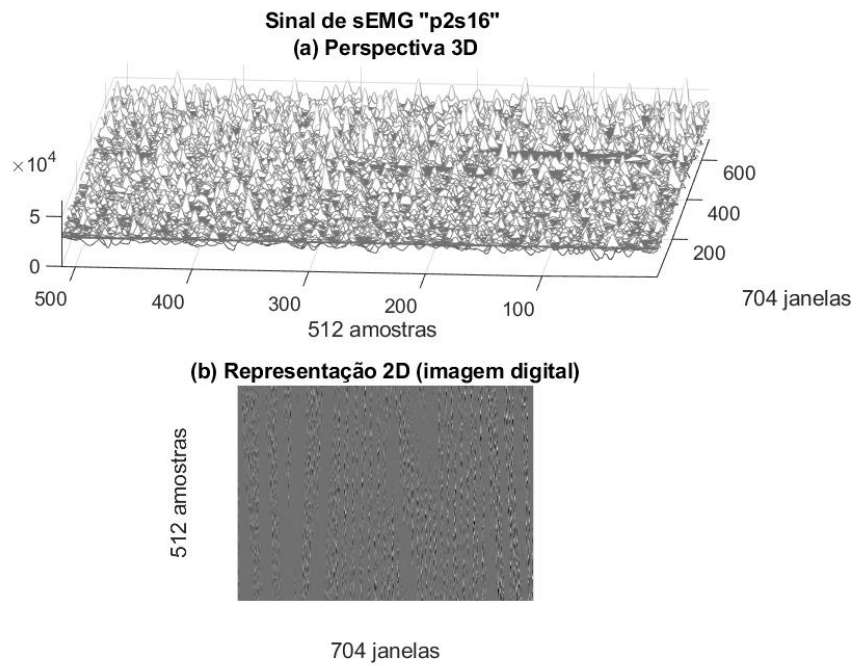


Figura 189- Sinal “p2s16”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

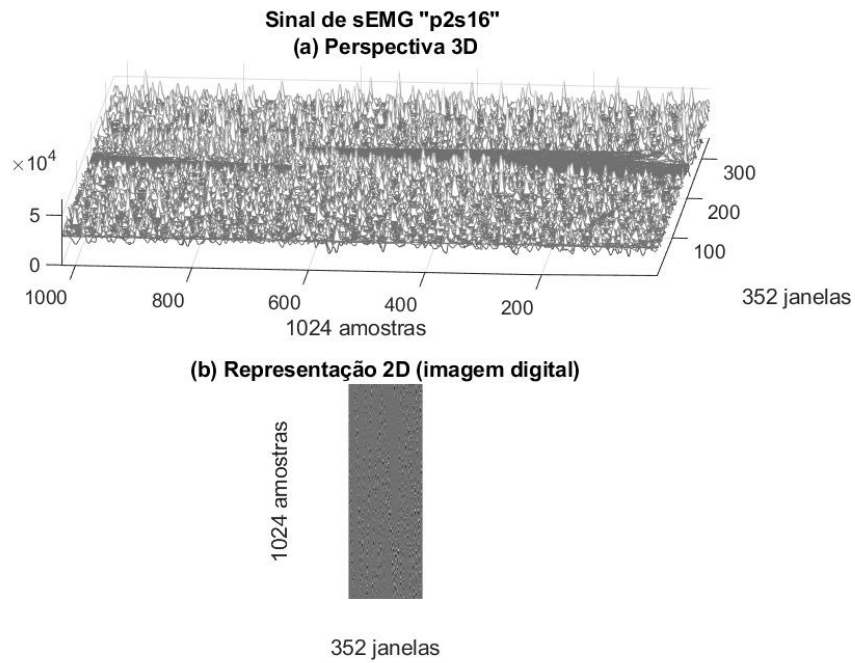


Figura 190- Sinal “p2s16”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

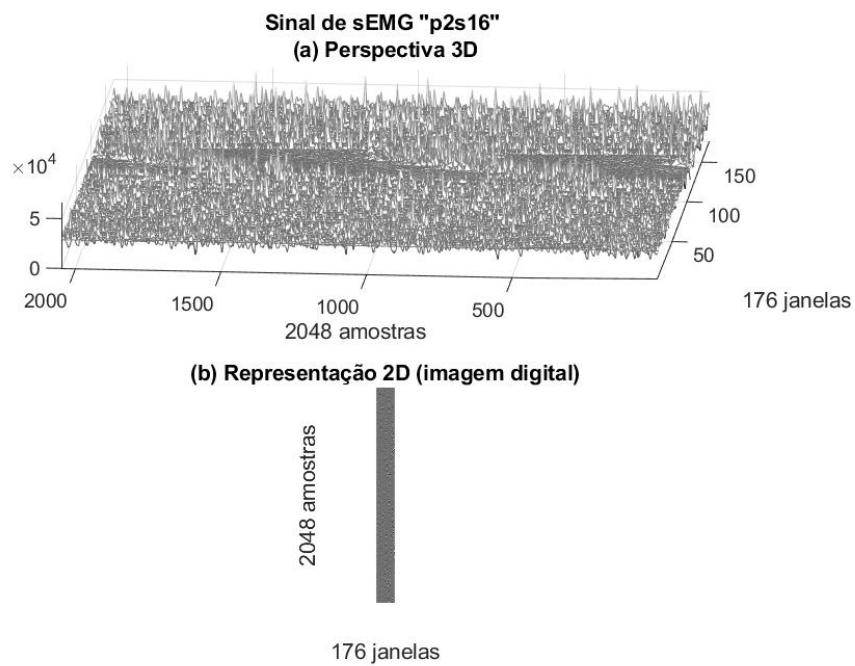


Figura 191- Sinal “p2s16”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

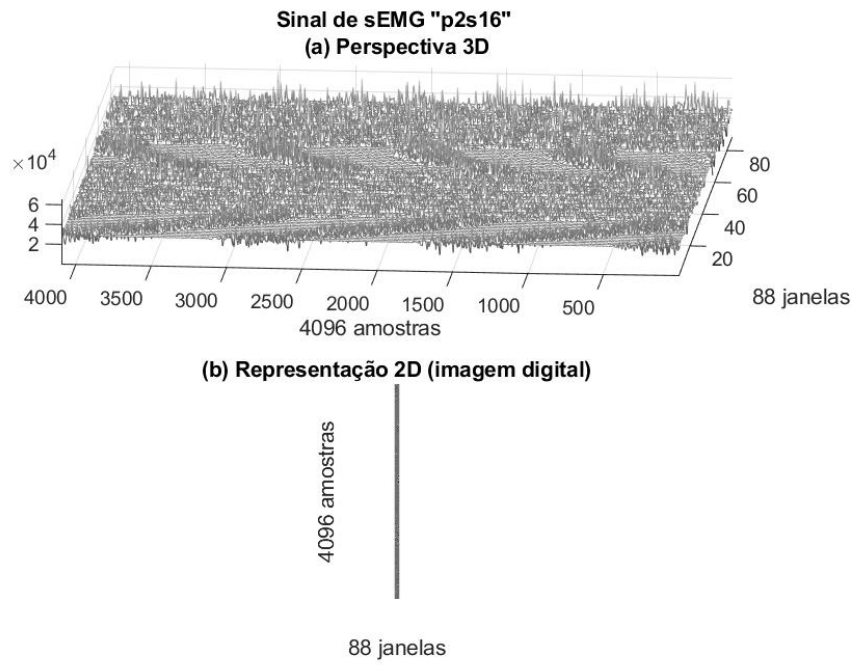


Figura 192- Sinal “p2s16”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

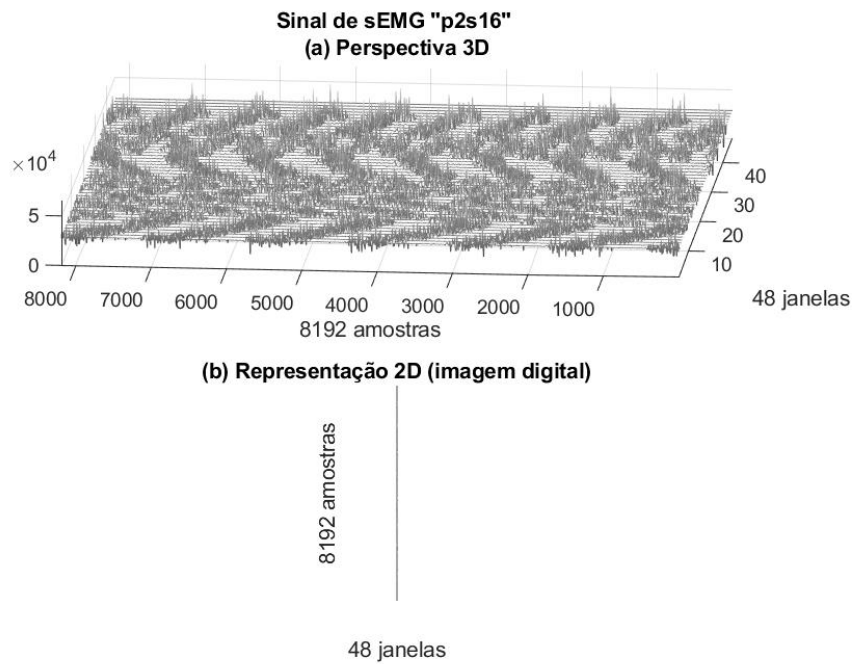


Figura 193- Sinal “p2s16”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

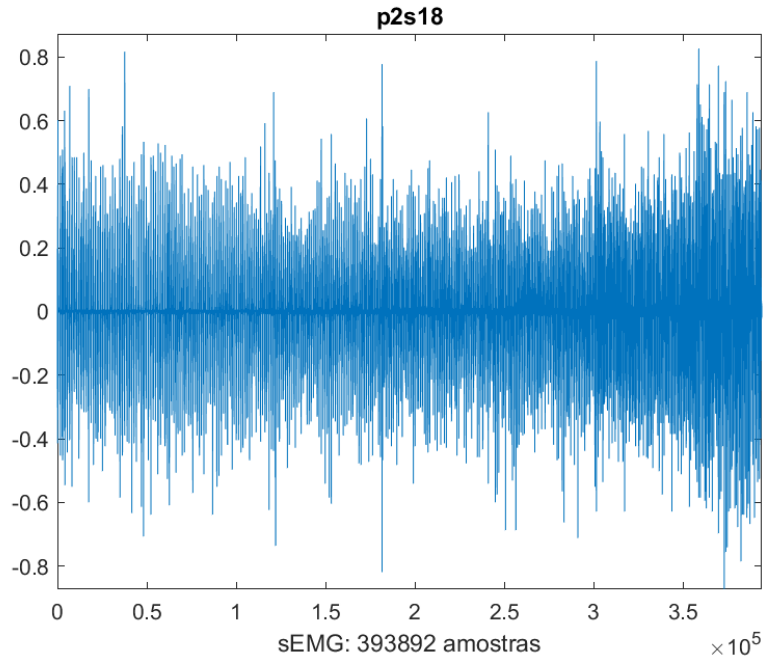


Figura 194- Sinal 18 do Protocolo 2

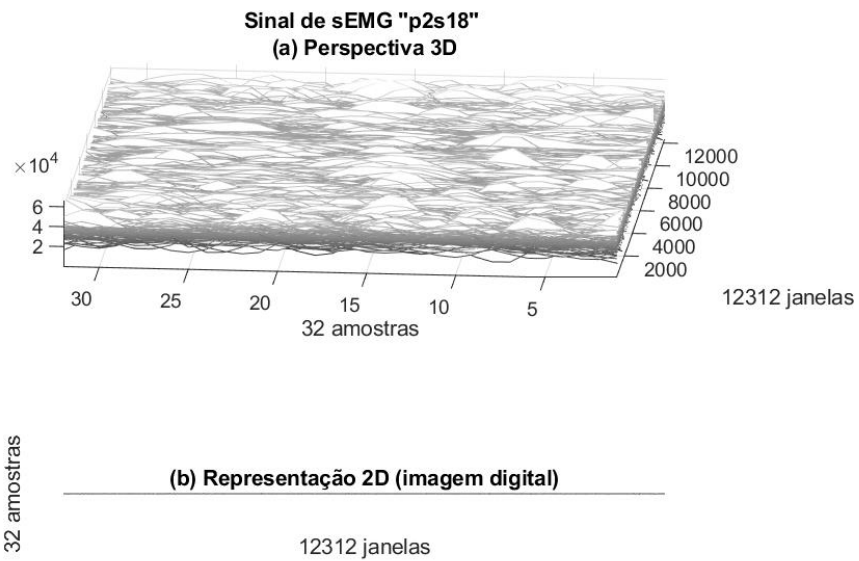


Figura 195- Sinal “p2s18”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

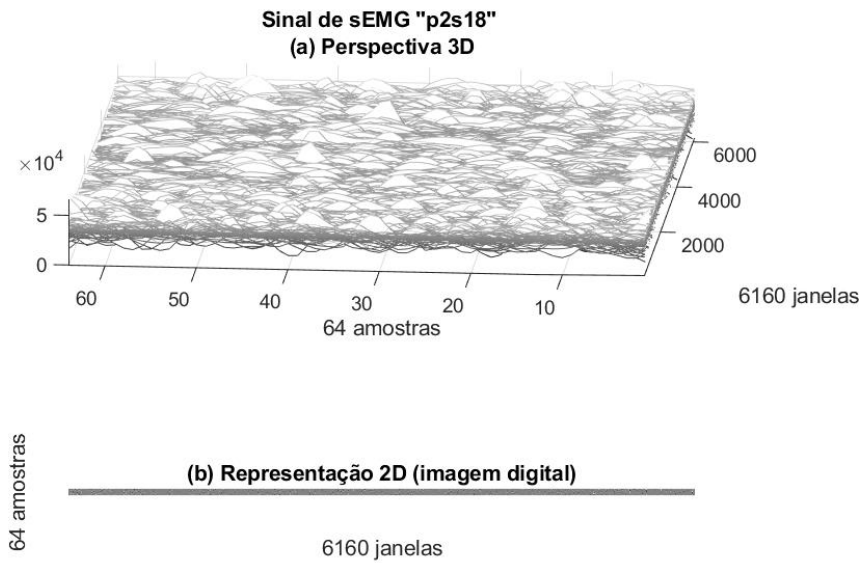


Figura 196- Sinal “p2s18”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

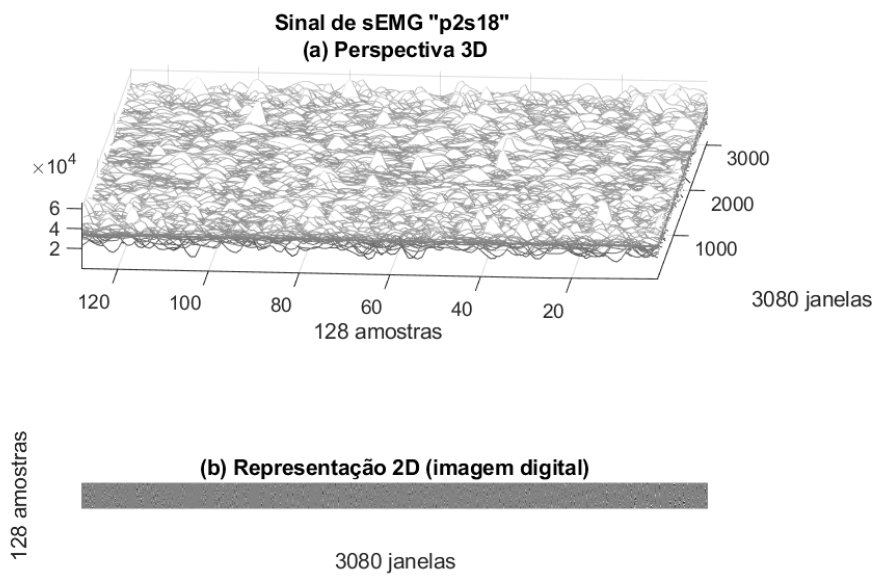


Figura 197- Sinal “p2s18”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

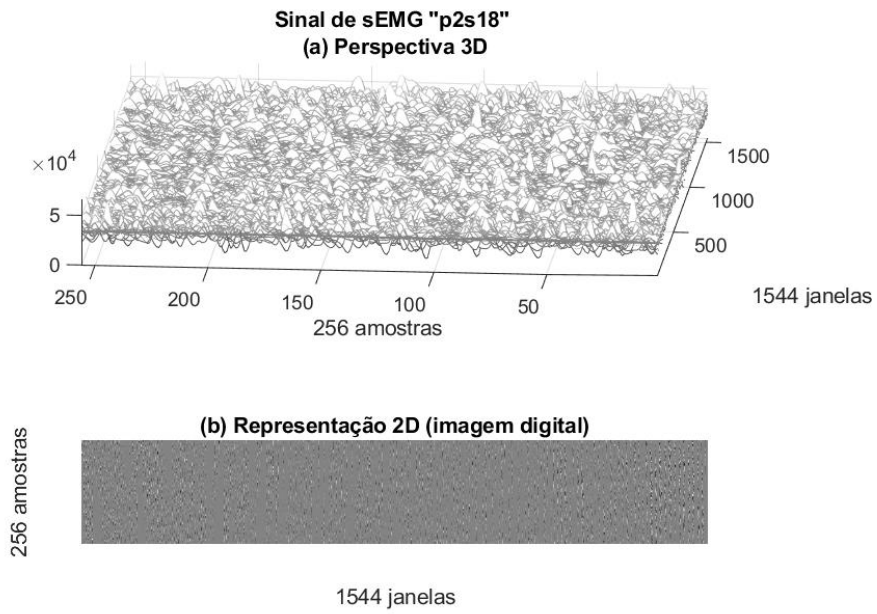


Figura 198- Sinal “p2s18”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

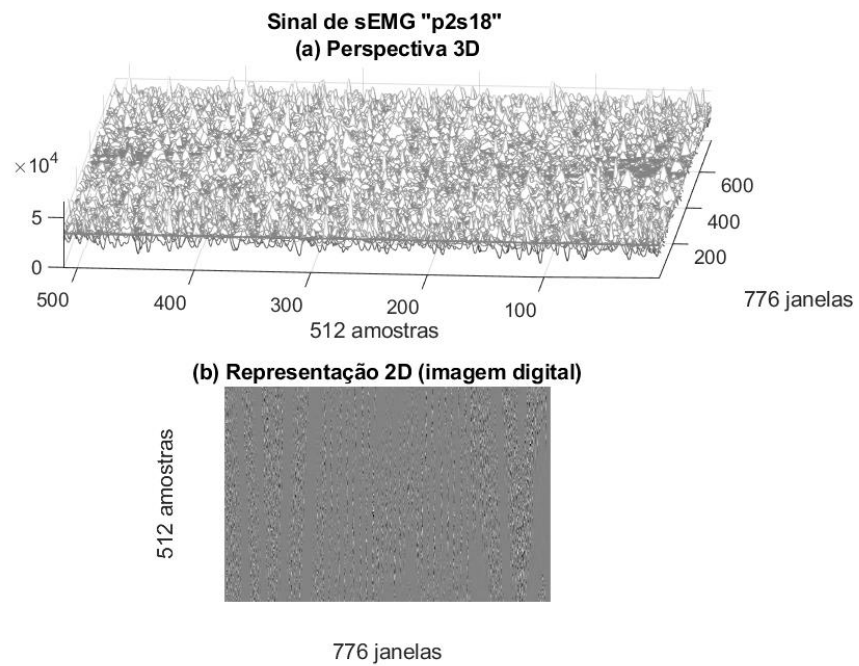


Figura 199- Sinal “p2s18”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

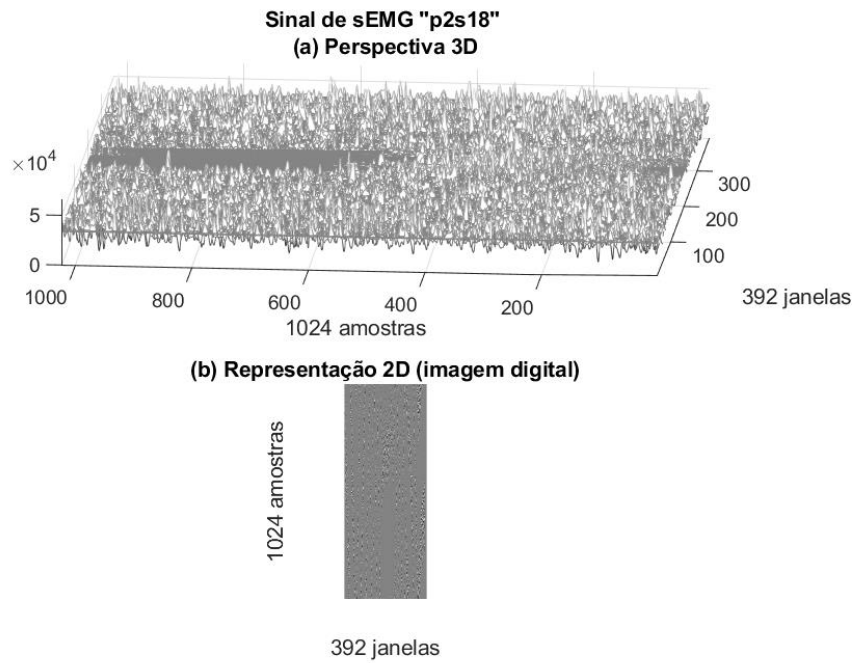


Figura 200- Sinal “p2s18”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

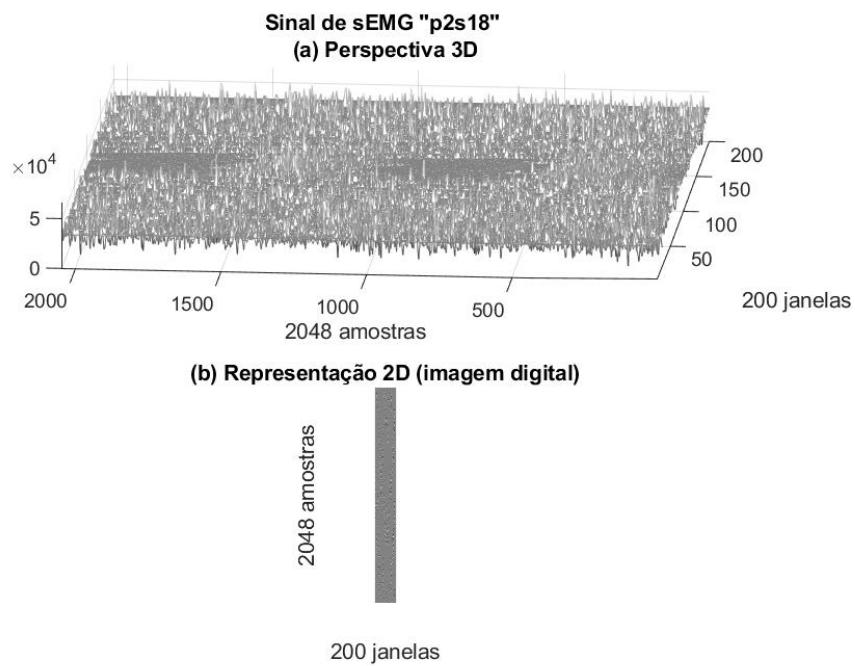


Figura 201- Sinal “p2s18”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

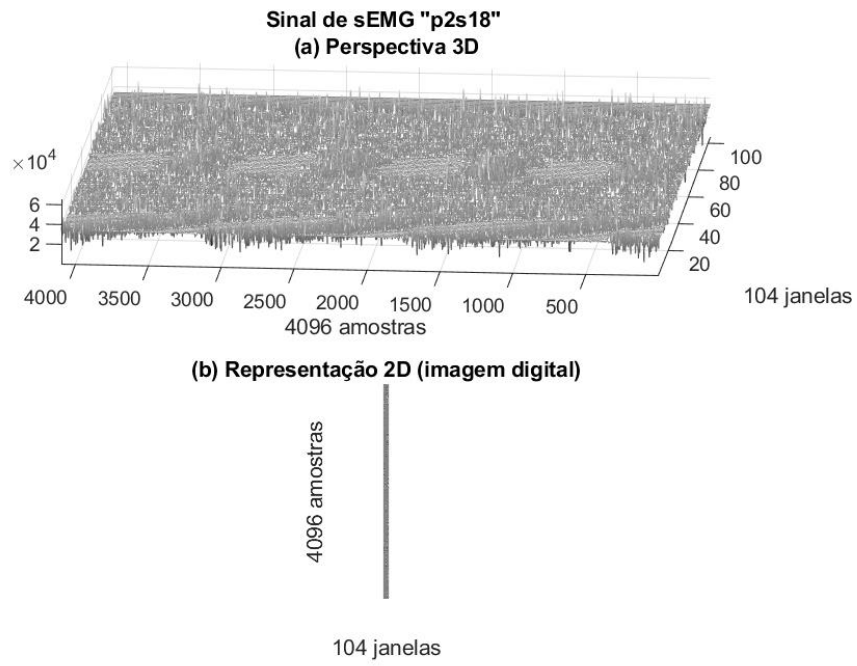


Figura 202- Sinal “p2s18”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

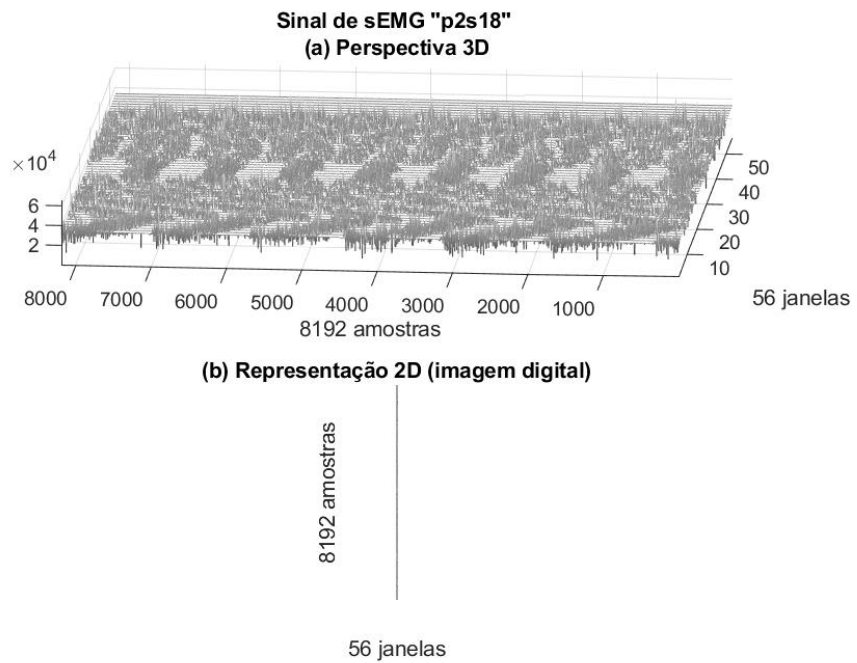


Figura 203- Sinal “p2s18”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

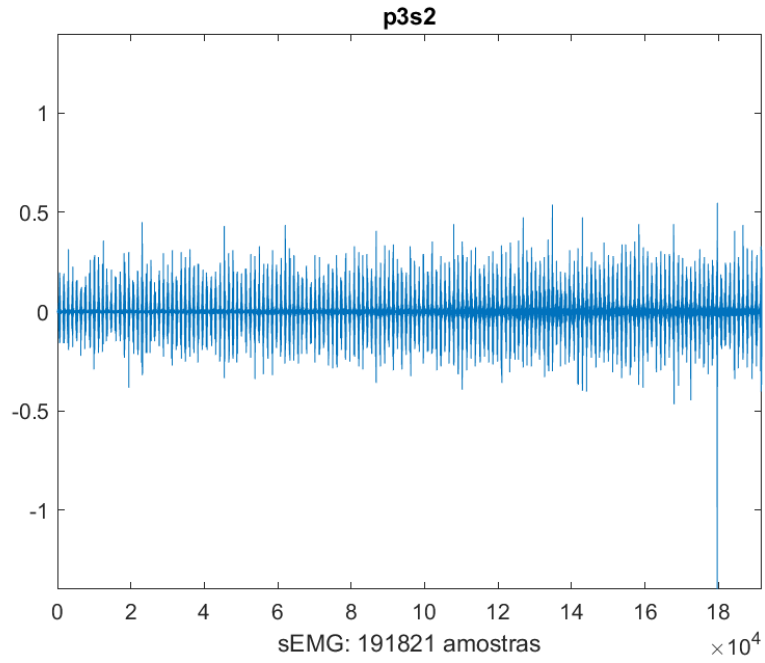


Figura 204- Sinal 2 do Protocolo 3

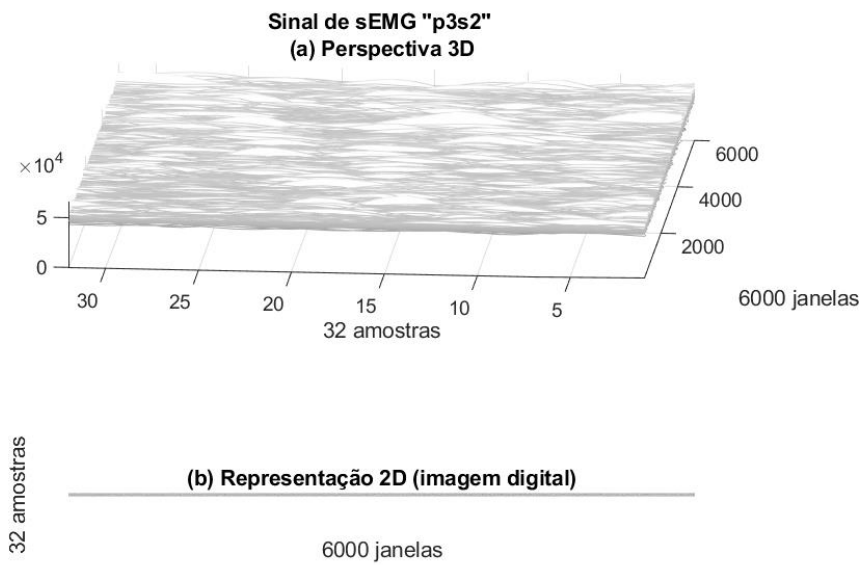


Figura 205- Sinal “p3s2”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

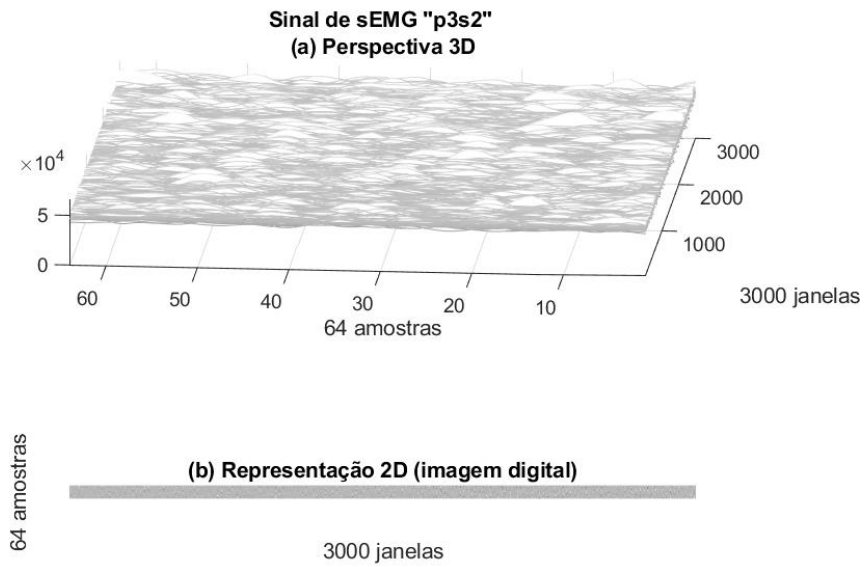


Figura 206- Sinal “p3s2”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

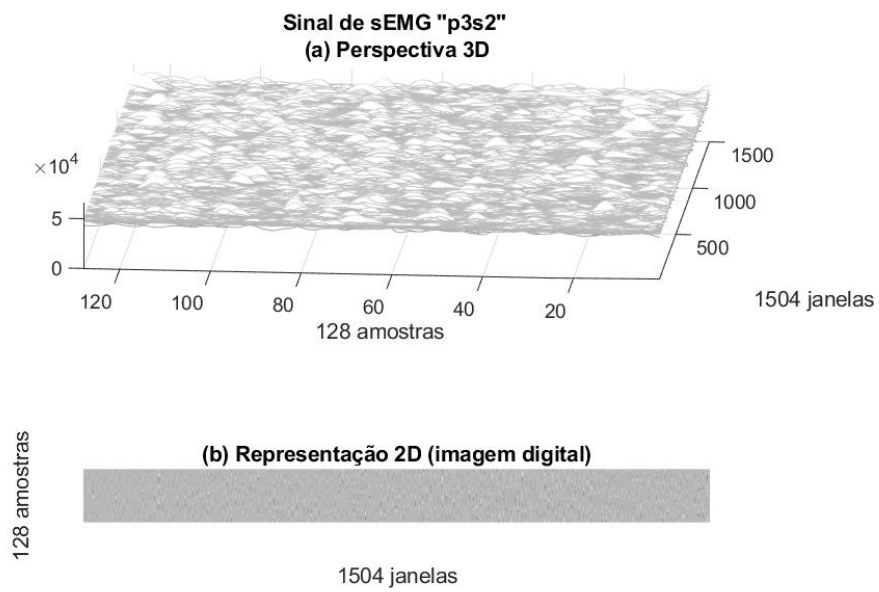


Figura 207- Sinal “p3s2”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

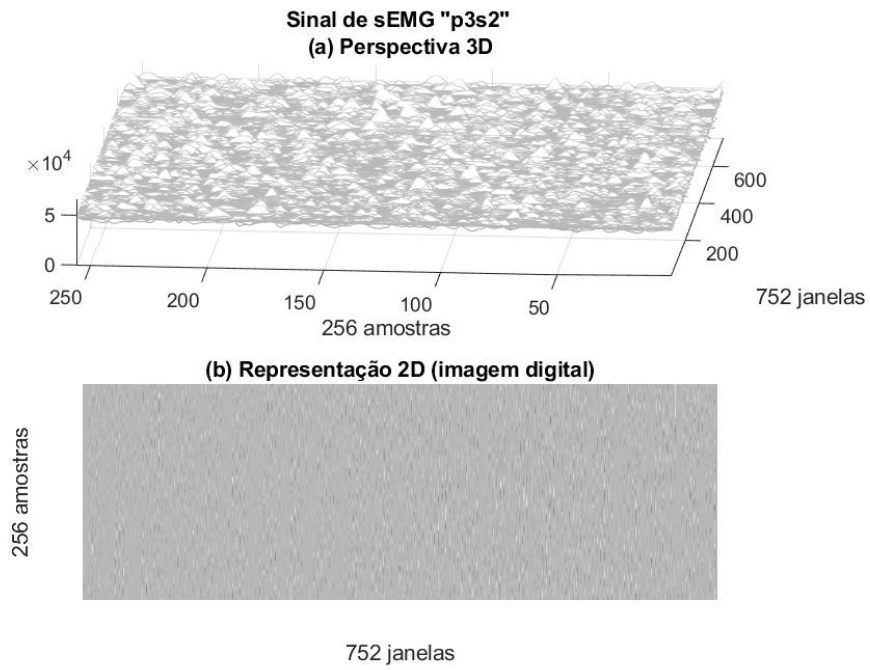


Figura 208- Sinal “p3s2”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

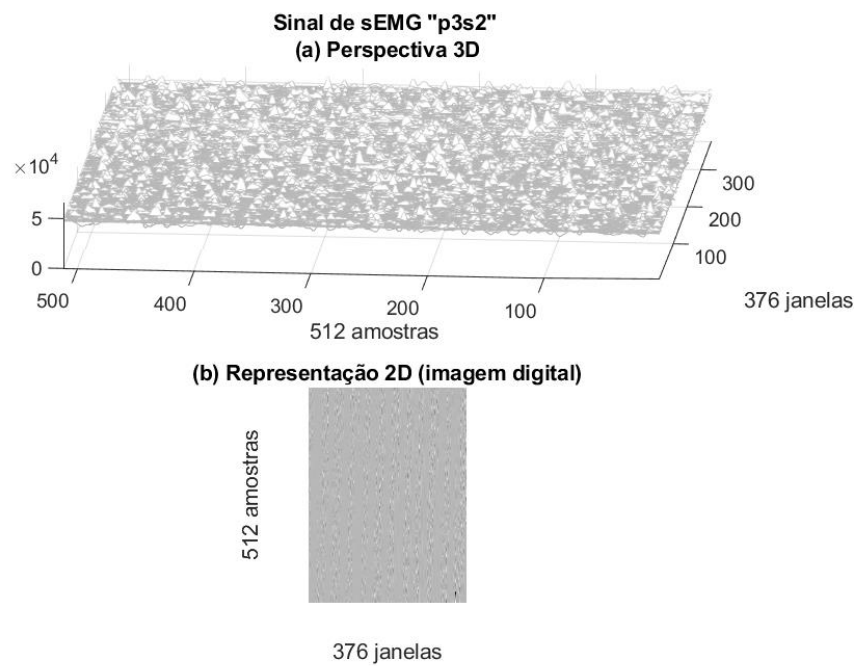


Figura 209- Sinal “p3s2”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

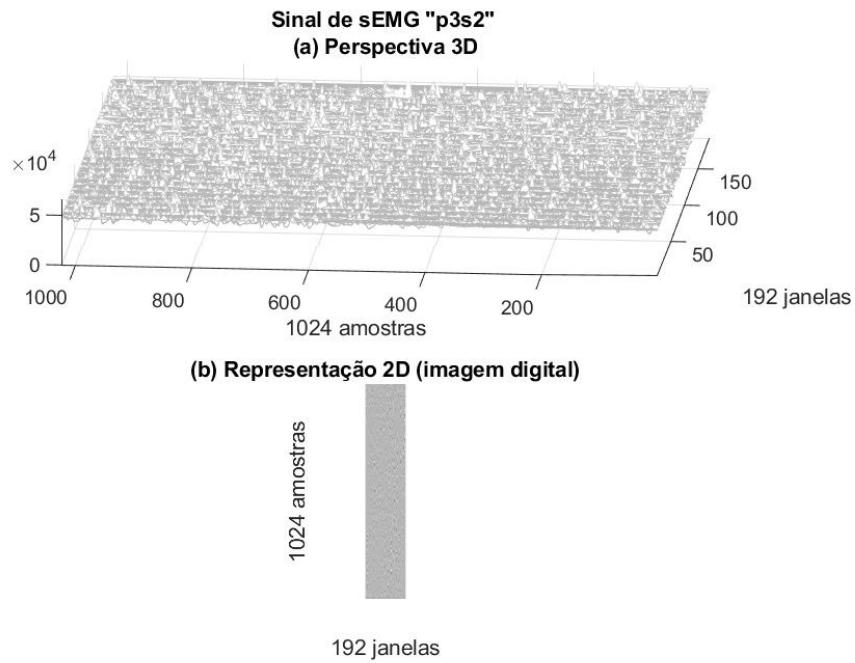


Figura 210- Sinal "p3s2", 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

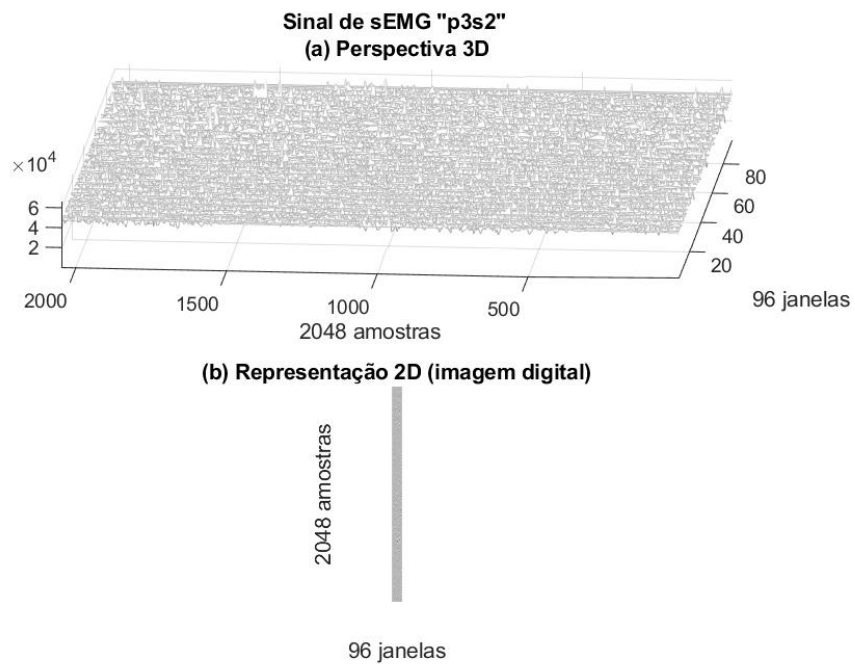


Figura 211- Sinal "p3s2", 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

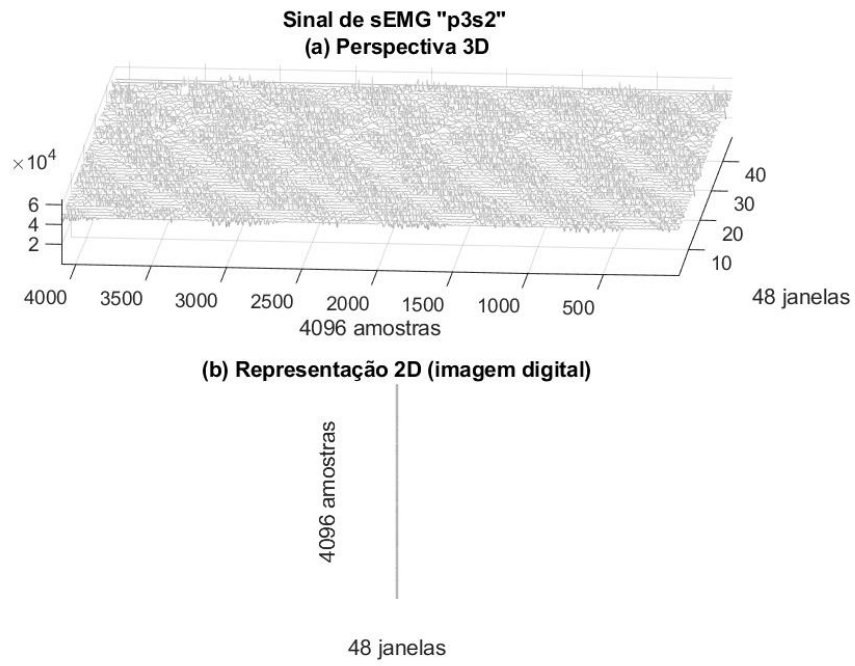


Figura 212- Sinal “p3s2”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

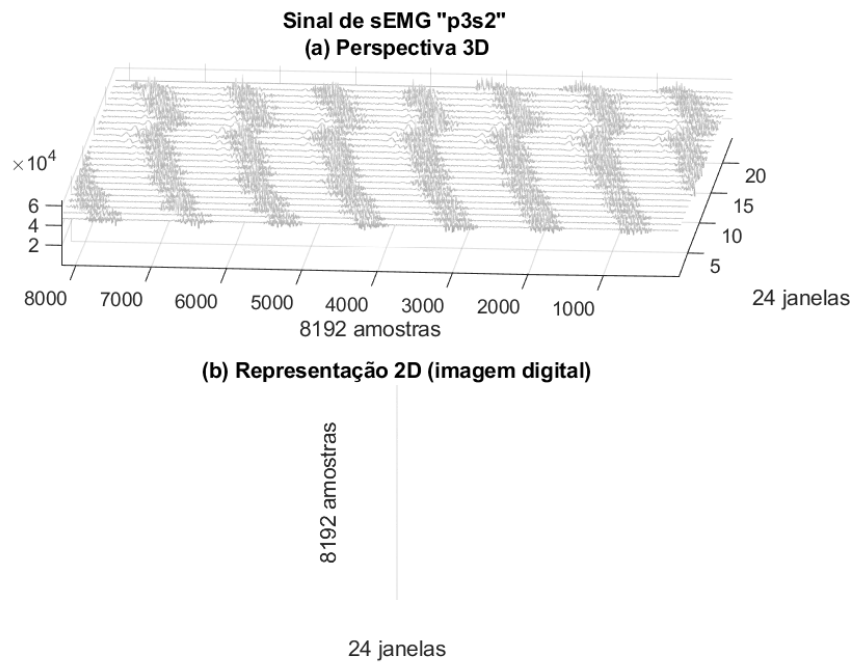


Figura 213- Sinal “p3s2”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

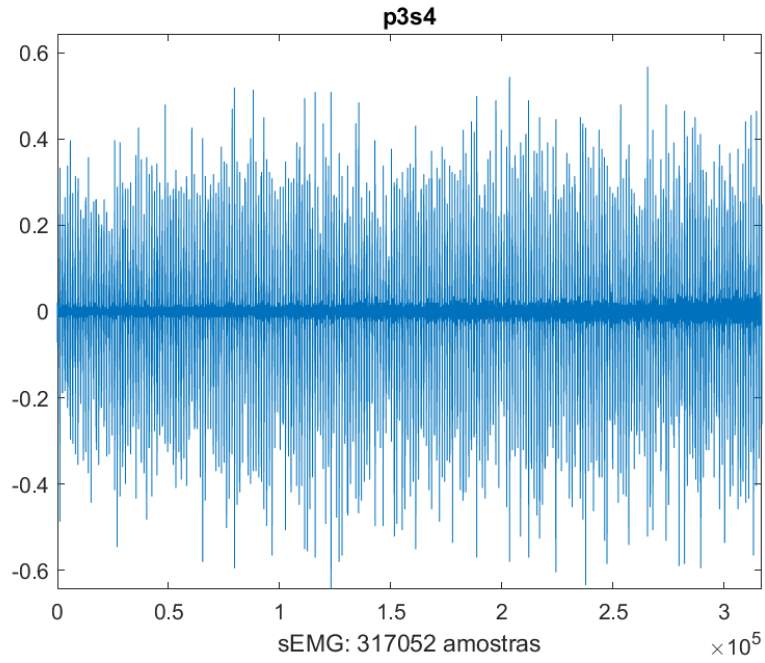


Figura 214- Sinal 4 do Protocolo 3

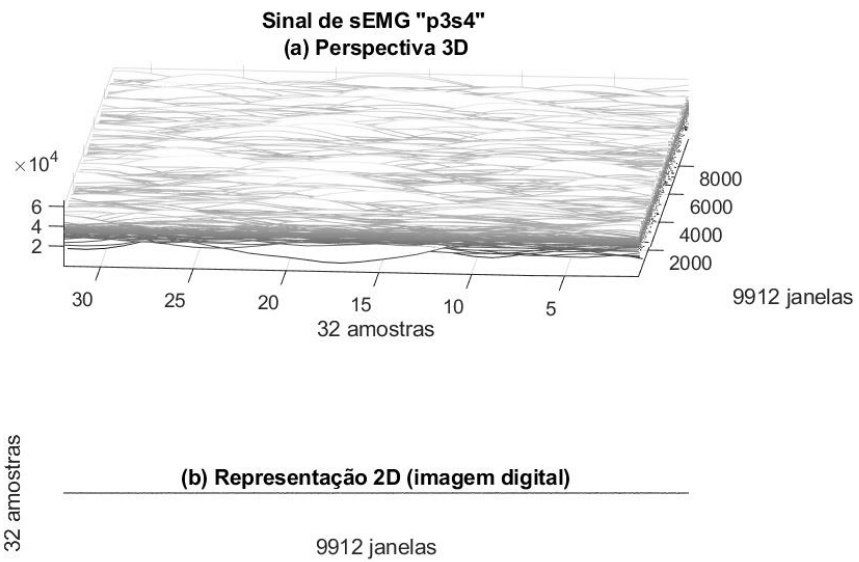


Figura 215- Sinal “p3s4”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

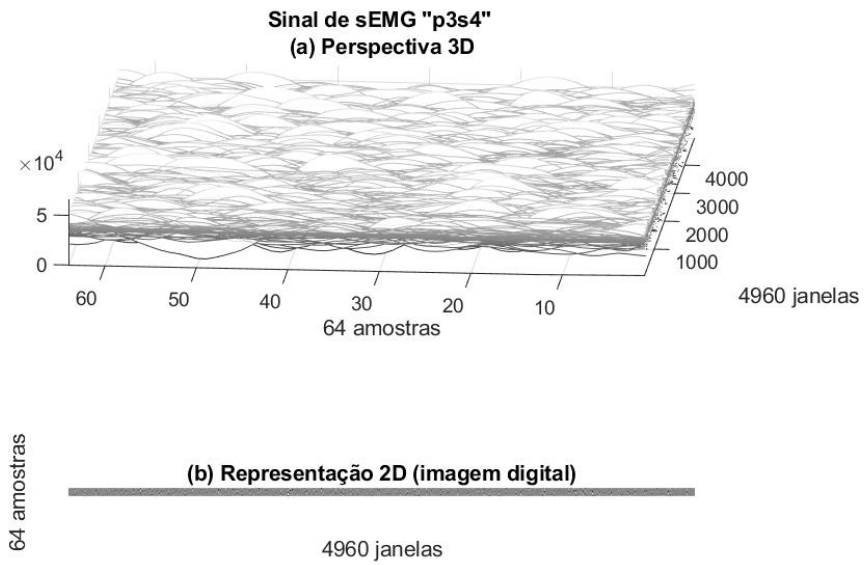


Figura 216- Sinal “p3s4”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

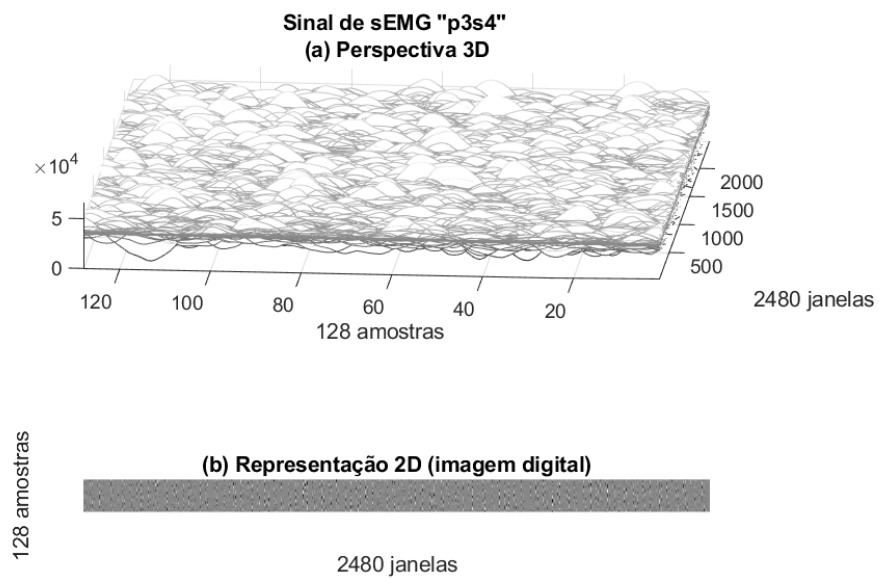


Figura 217- Sinal “p3s4”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

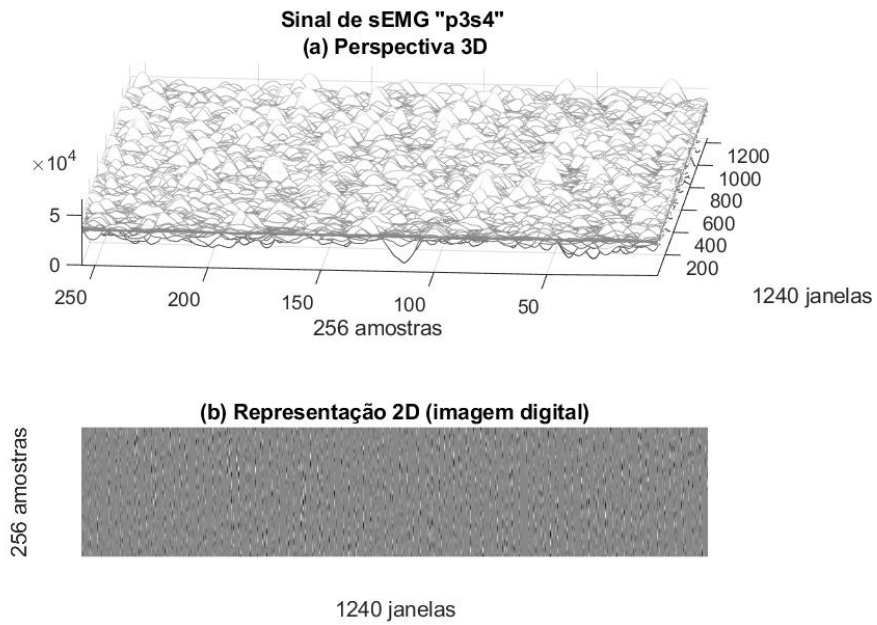


Figura 218- Sinal “p3s4”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

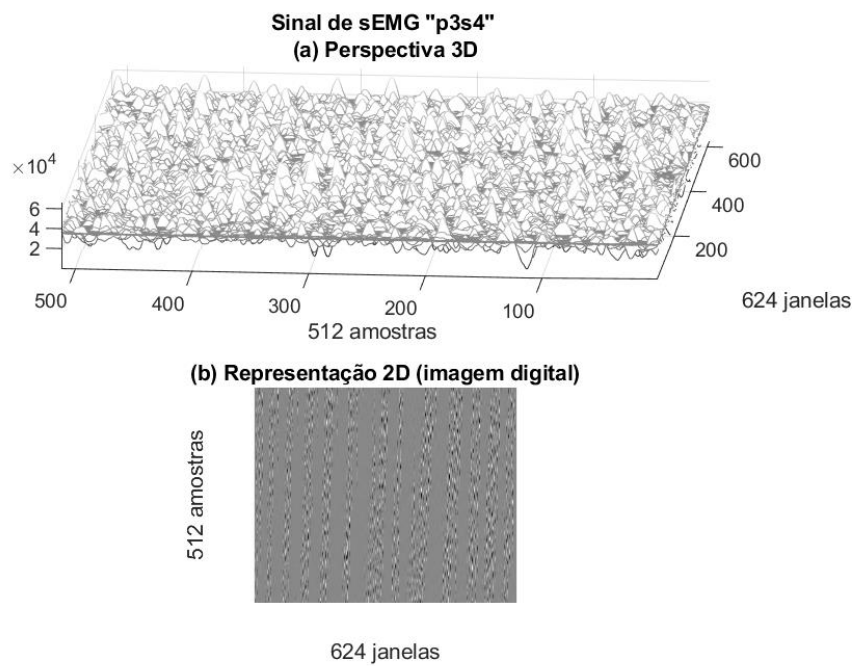


Figura 219- Sinal “p3s4”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

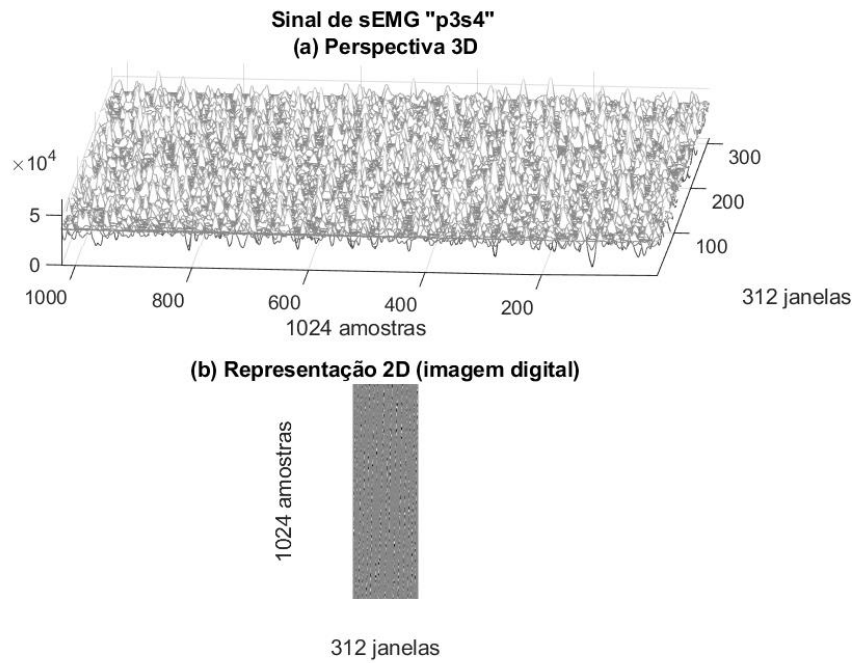


Figura 220- Sinal “p3s4”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

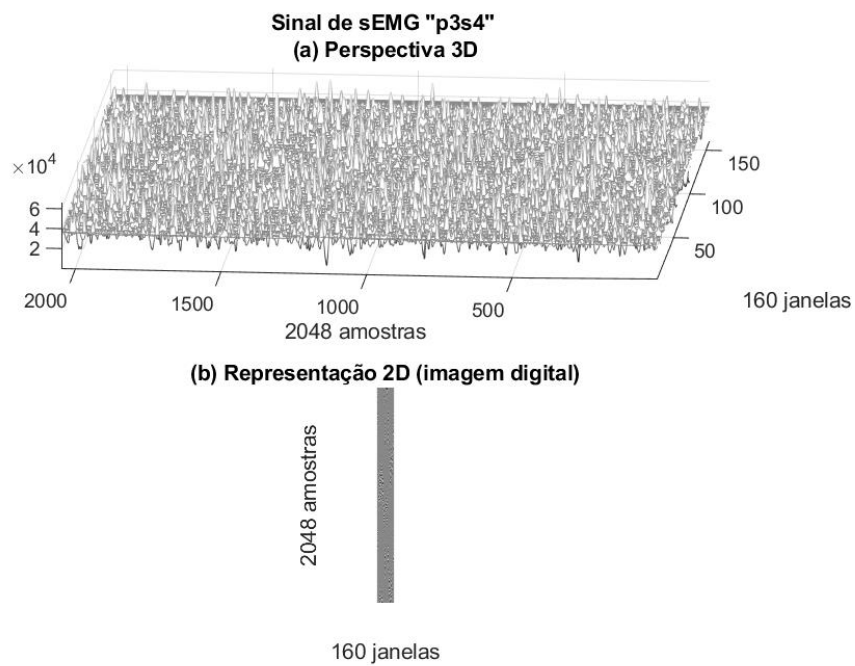


Figura 221- Sinal “p3s4”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

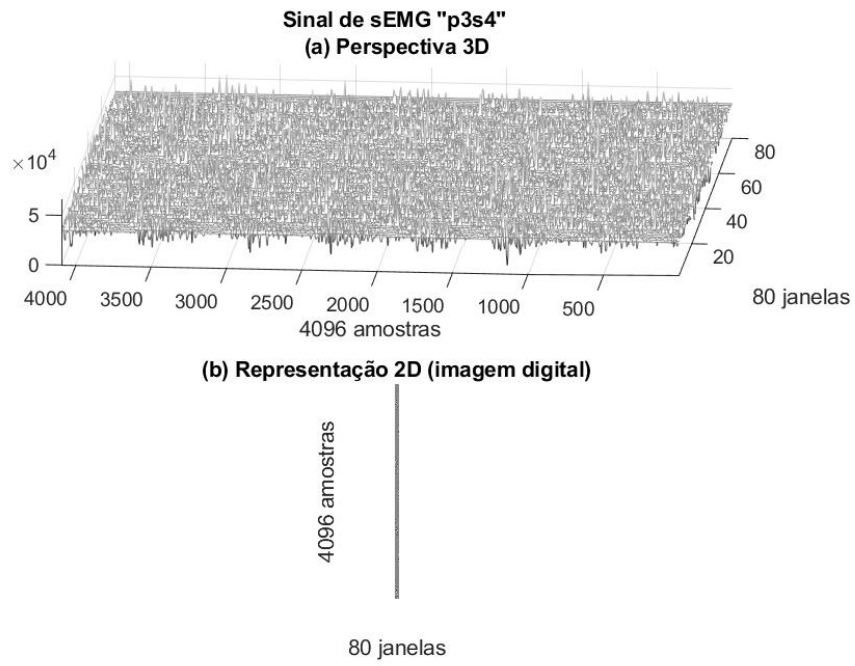


Figura 222- Sinal “p3s4”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

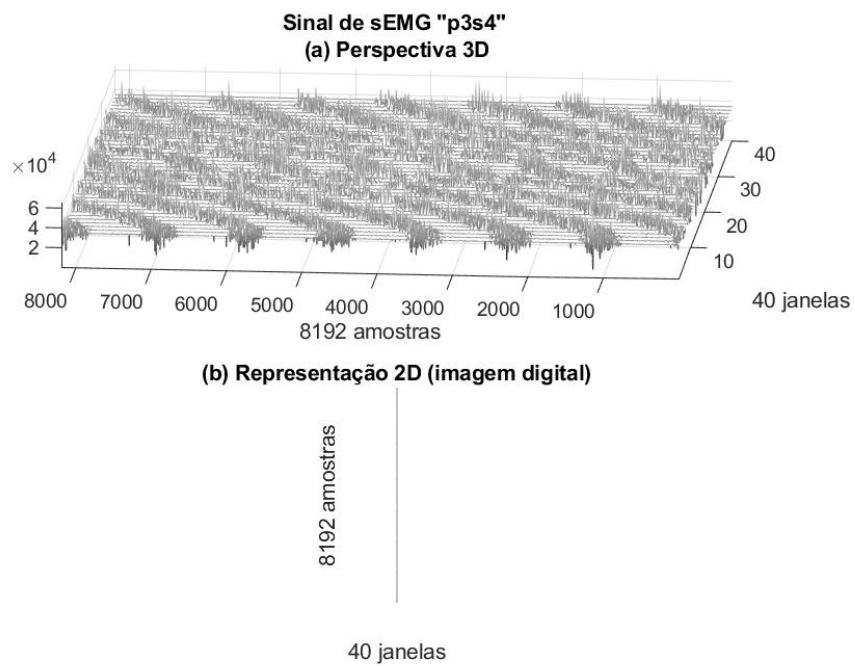


Figura 223- Sinal “p3s4”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

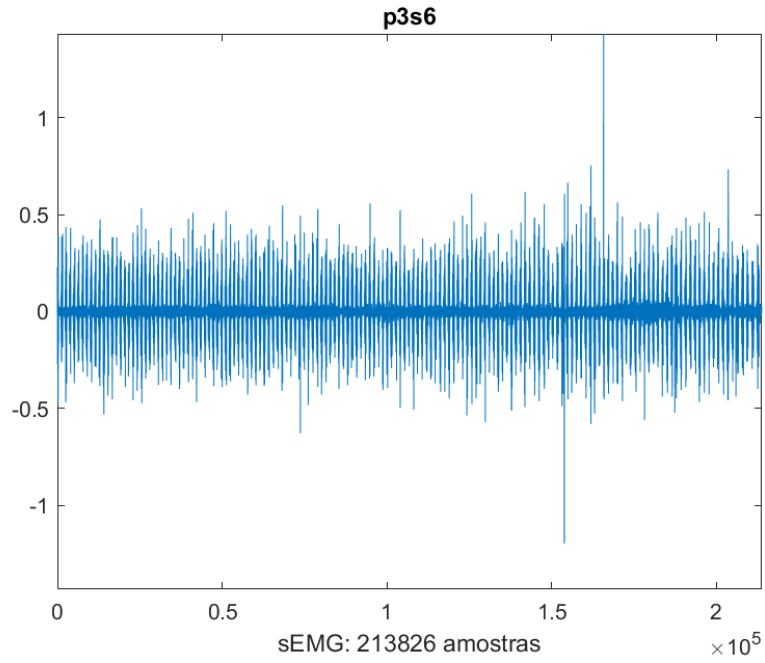


Figura 224- Sinal 6 do Protocolo 3

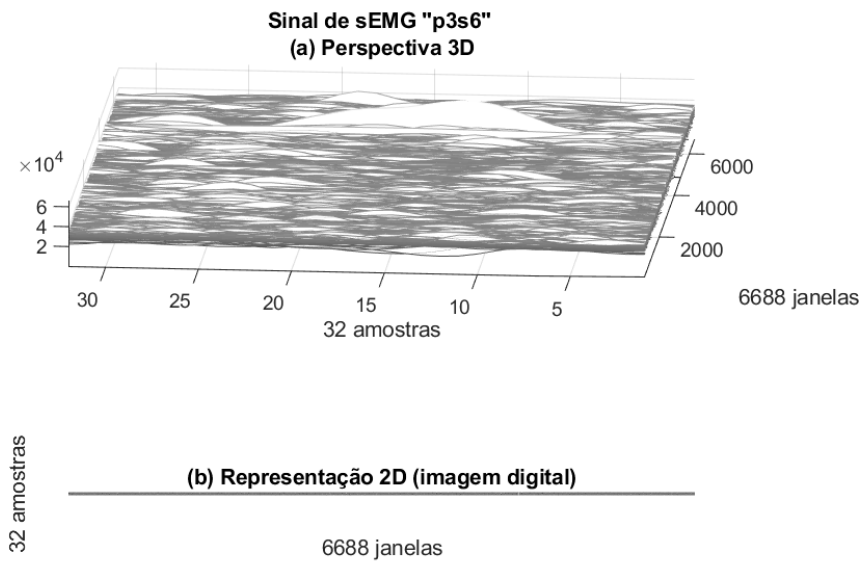


Figura 225- Sinal "p3s6", 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

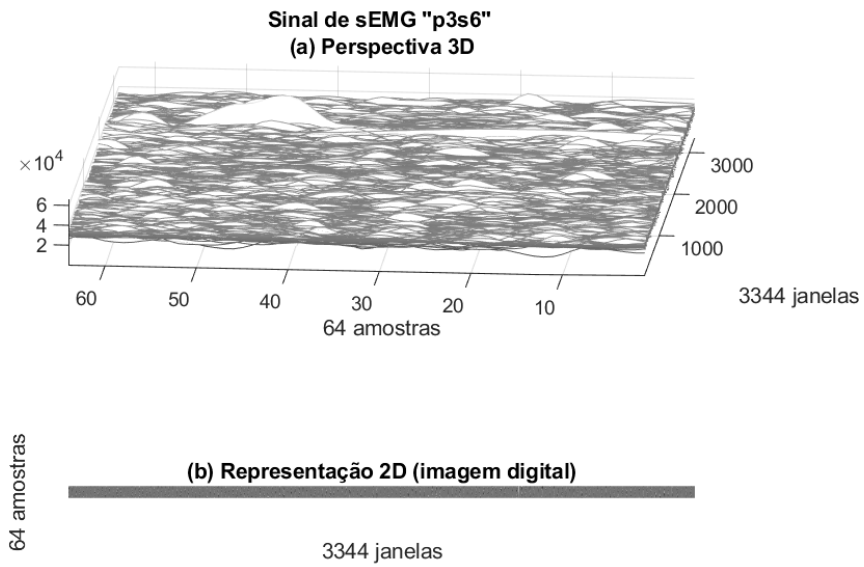


Figura 226- Sinal “p3s6”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

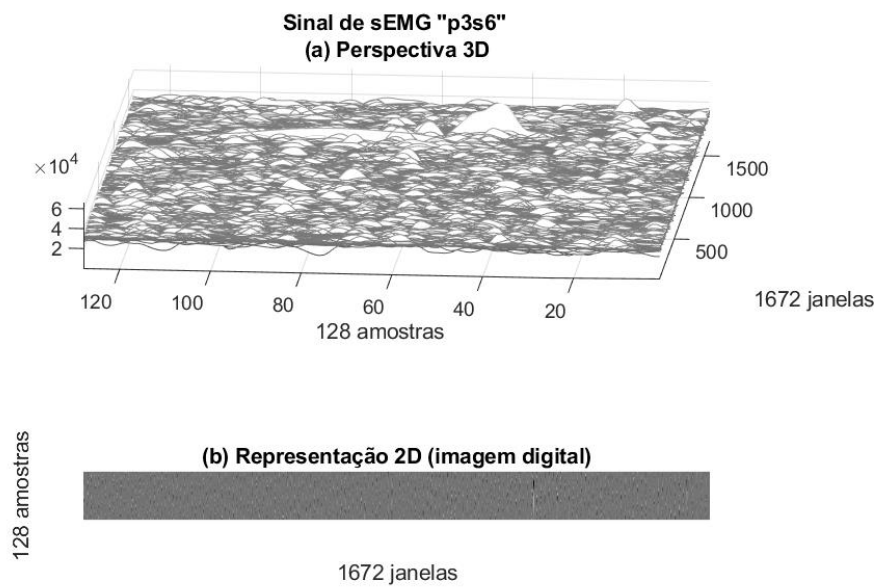


Figura 227- Sinal “p3s6”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

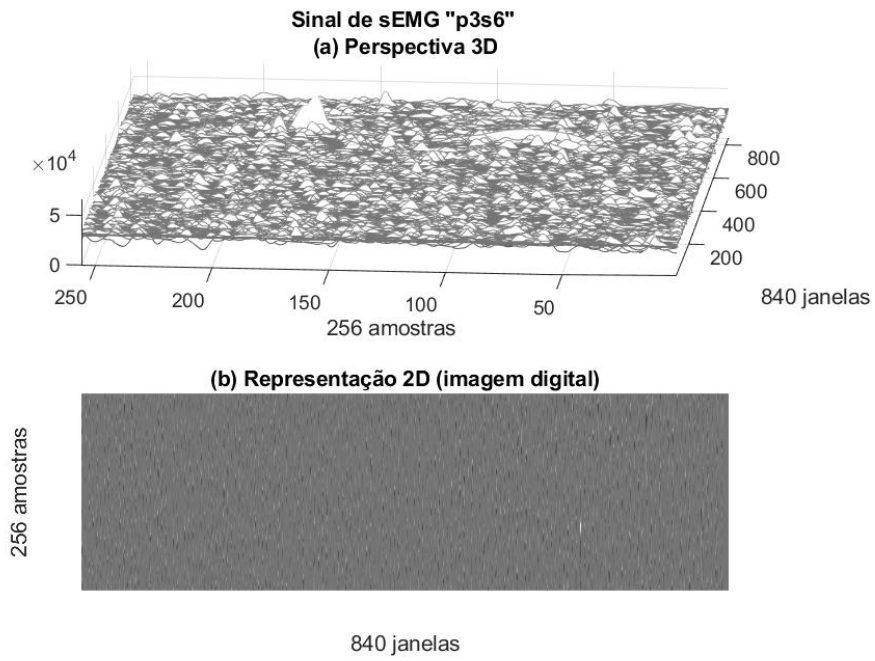


Figura 228- Sinal “p3s6”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

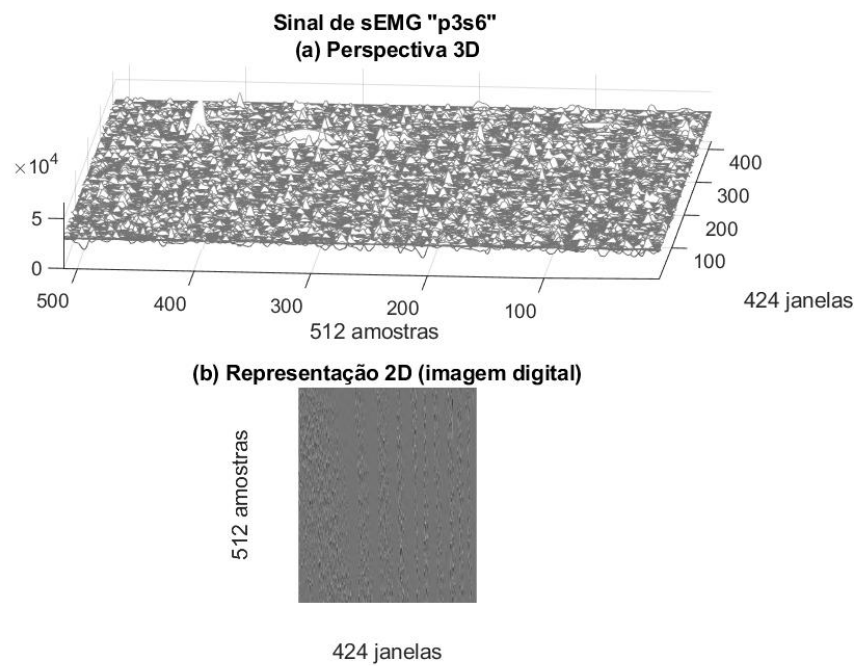


Figura 229- Sinal “p3s6”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

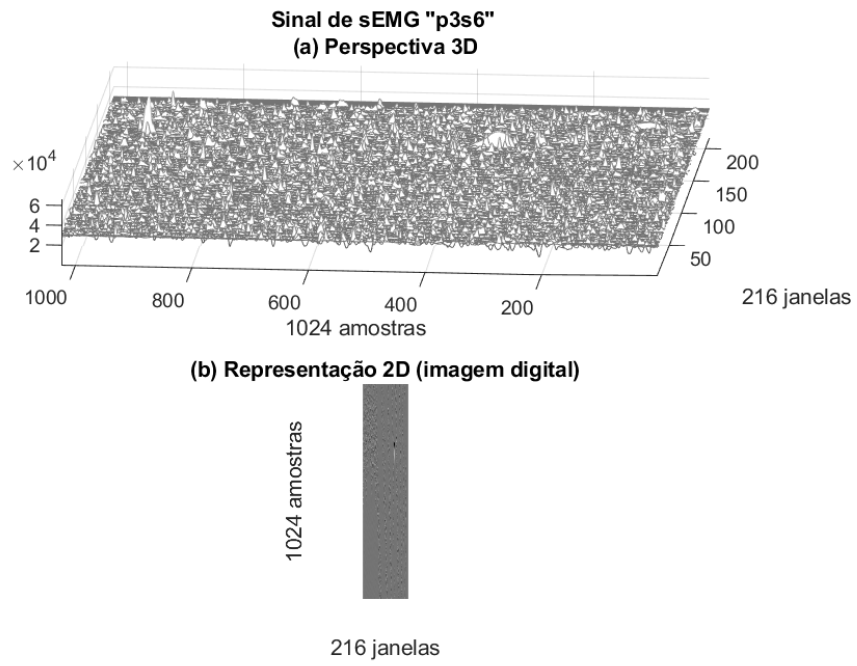


Figura 230- Sinal “p3s6”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

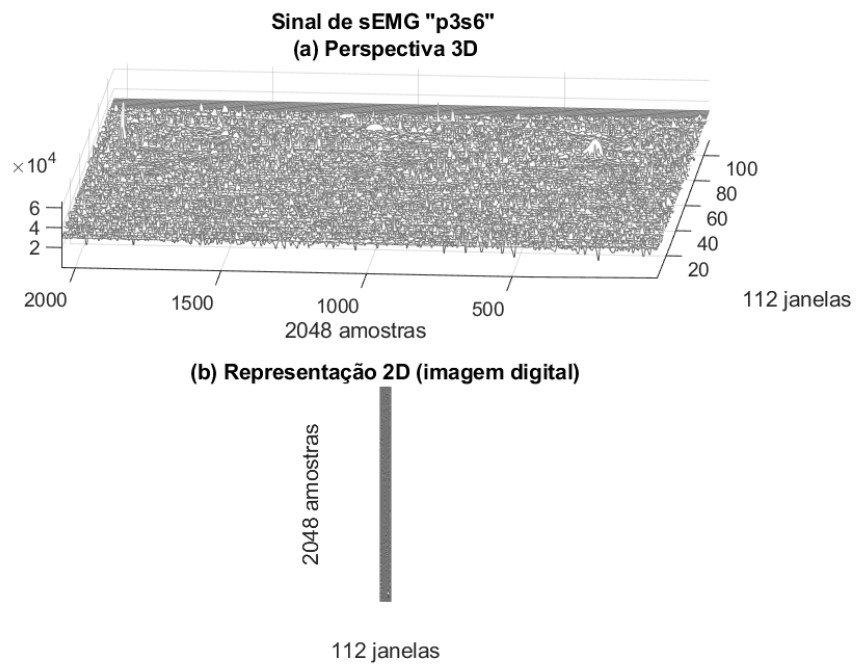


Figura 231- Sinal “p3s6”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

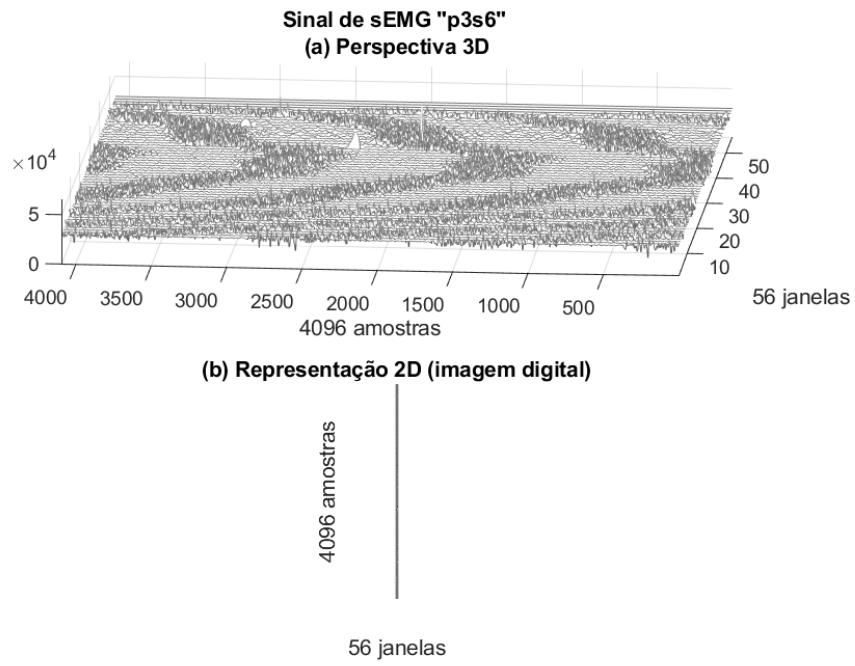


Figura 232- Sinal “p3s6”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

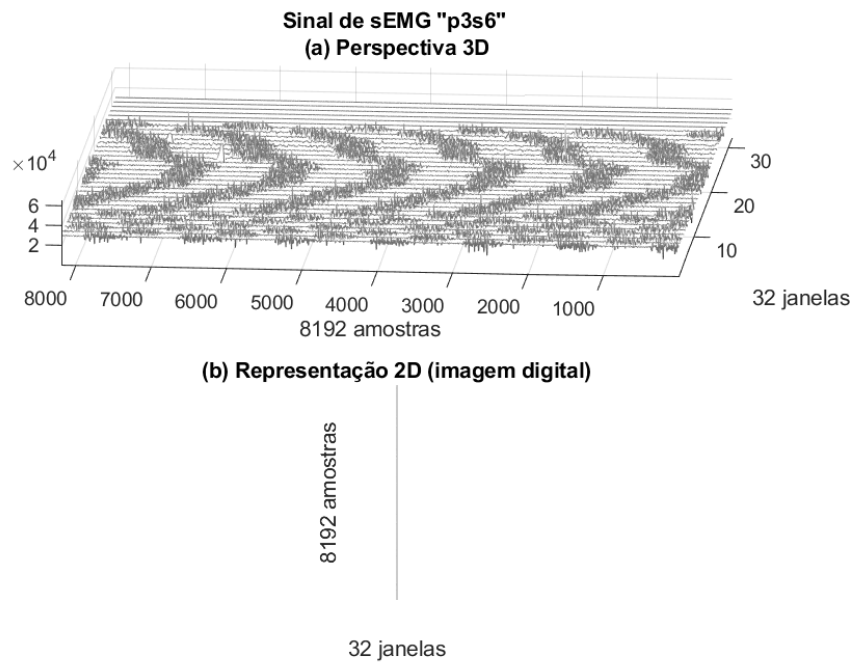


Figura 233- Sinal “p3s6”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

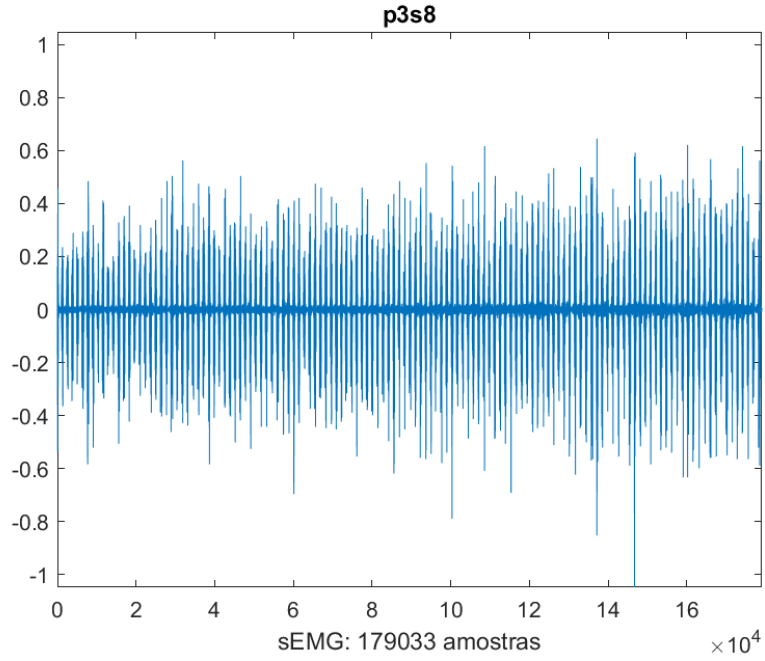


Figura 234- Sinal 8 do Protocolo 3

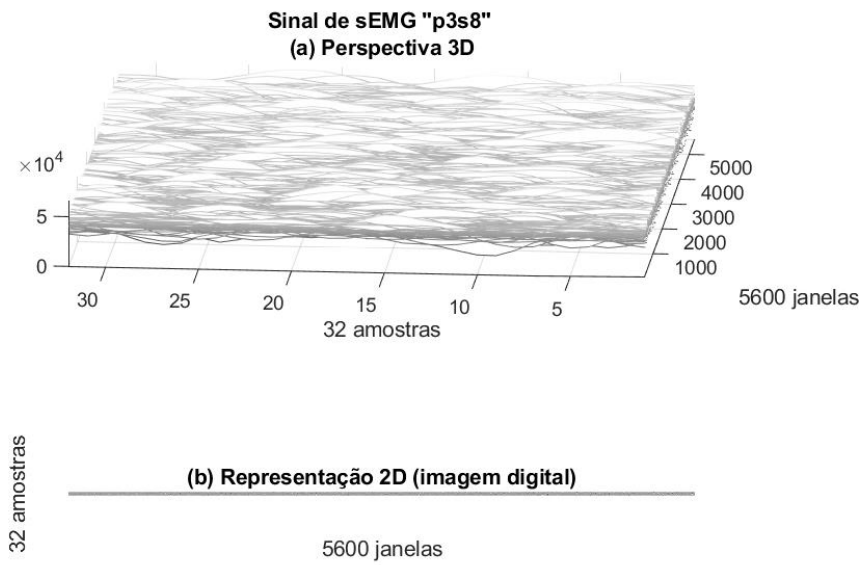


Figura 235- Sinal “p3s8”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

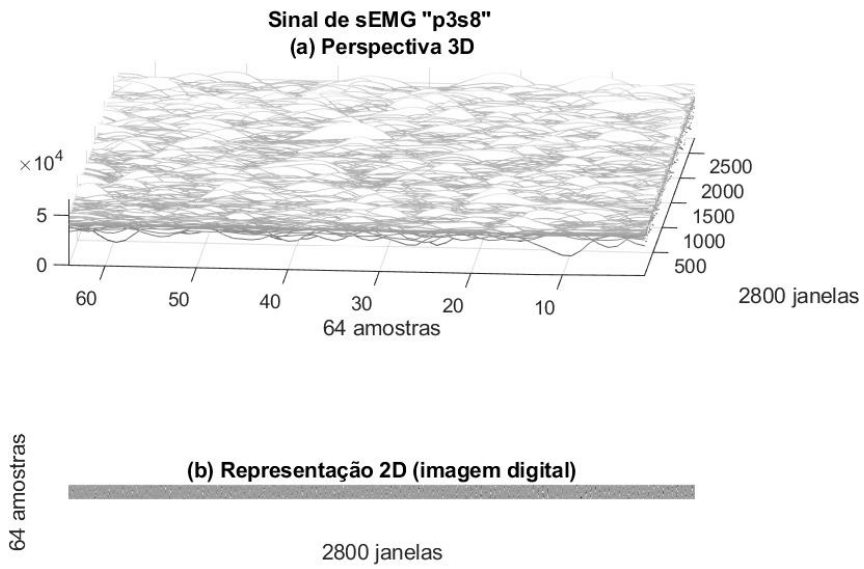


Figura 236- Sinal “p3s8”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

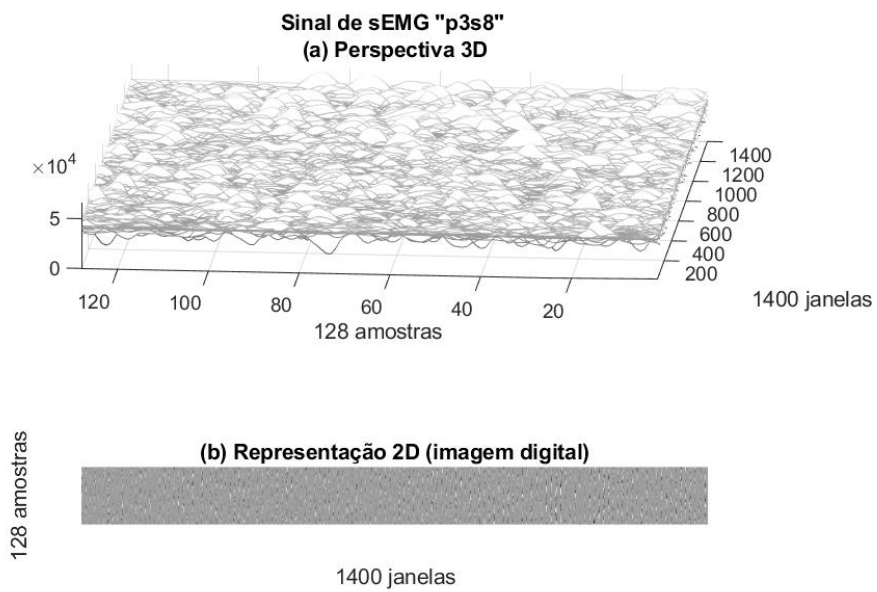


Figura 237- Sinal “p3s8”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

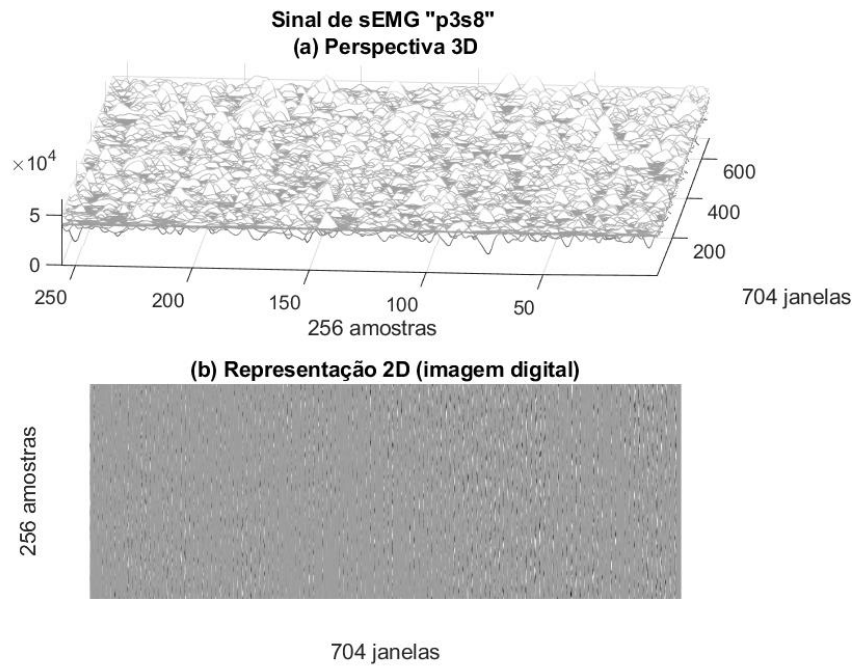


Figura 238- Sinal “p3s8”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

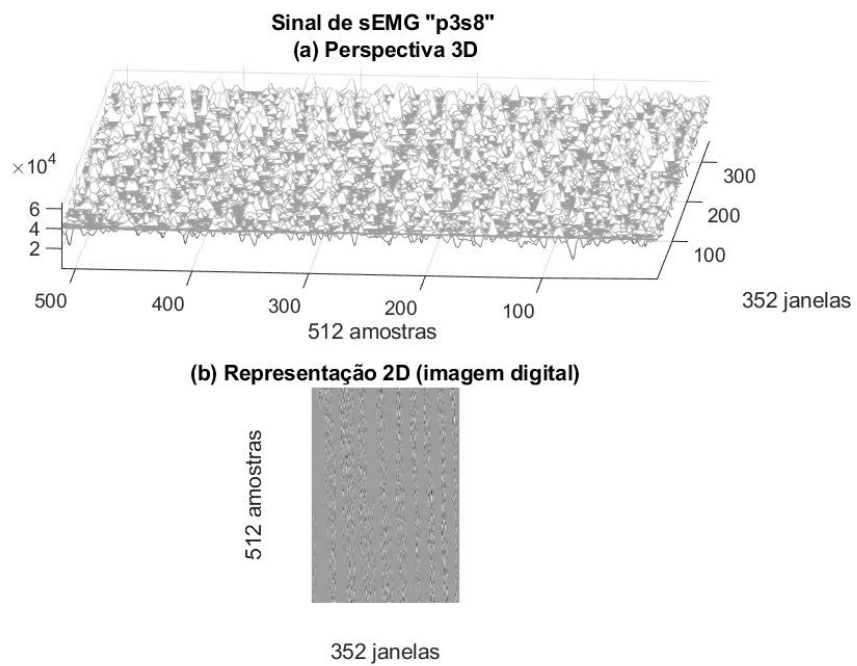


Figura 239- Sinal “p3s8”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

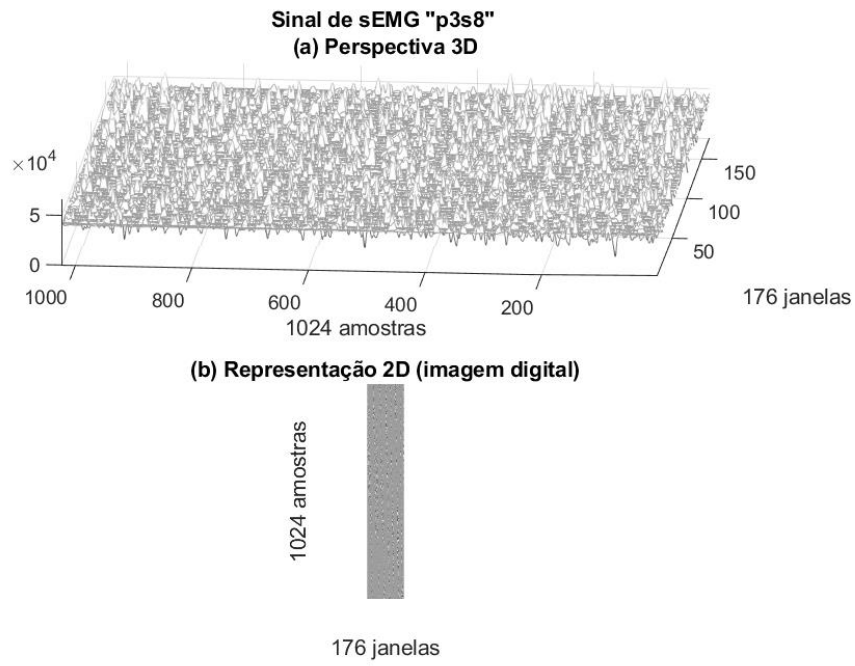


Figura 240- Sinal “p3s8”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

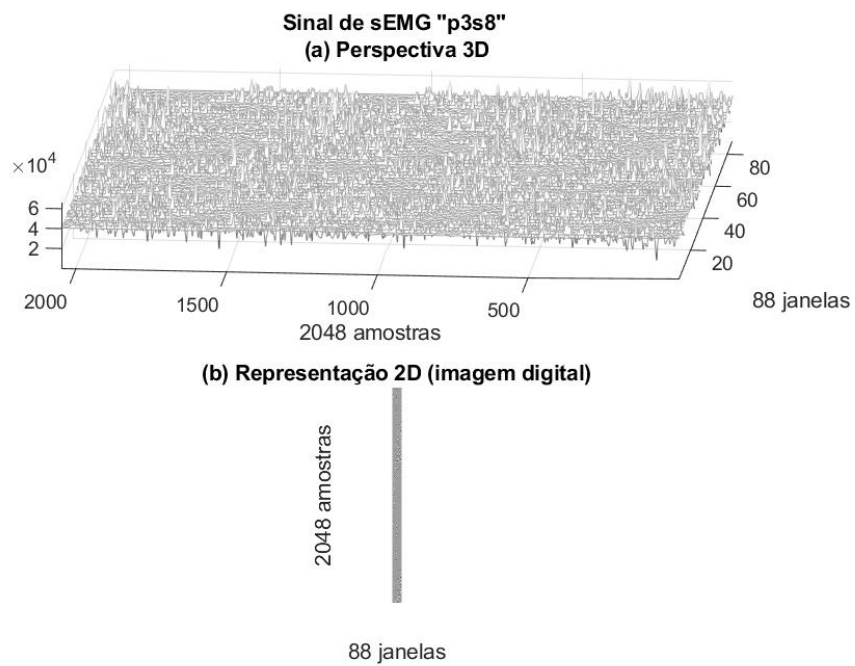


Figura 241- Sinal “p3s8”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

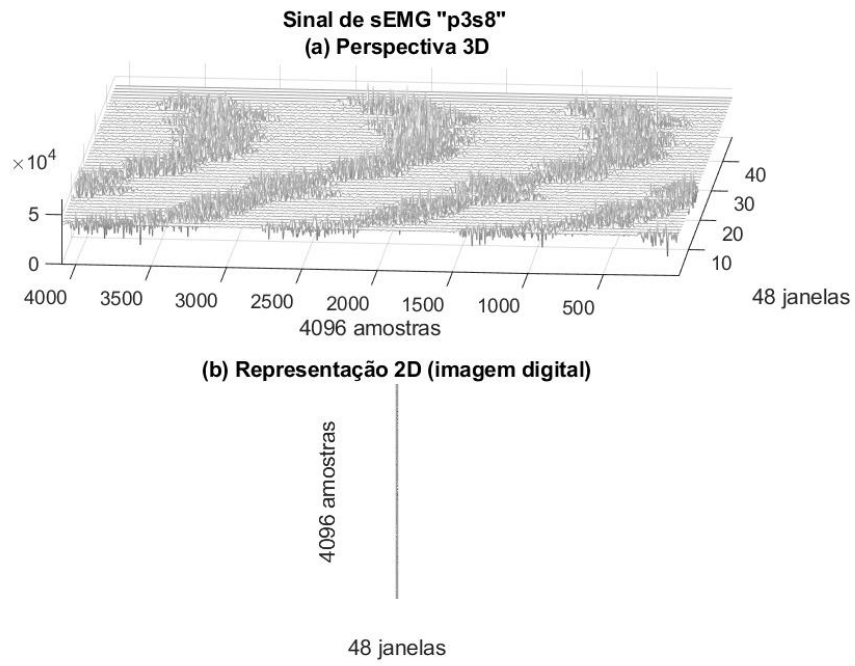


Figura 242- Sinal “p3s8”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

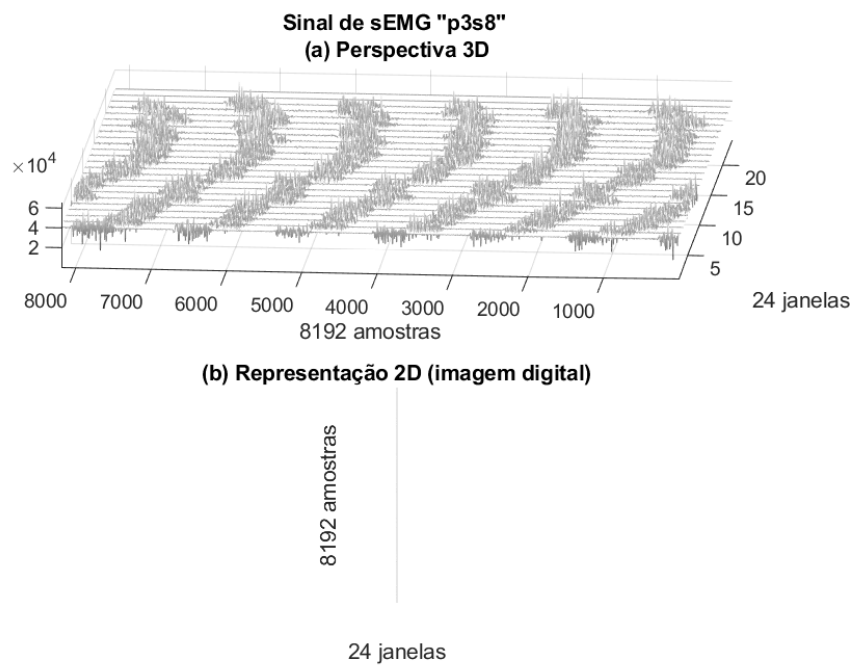


Figura 243- Sinal “p3s8”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

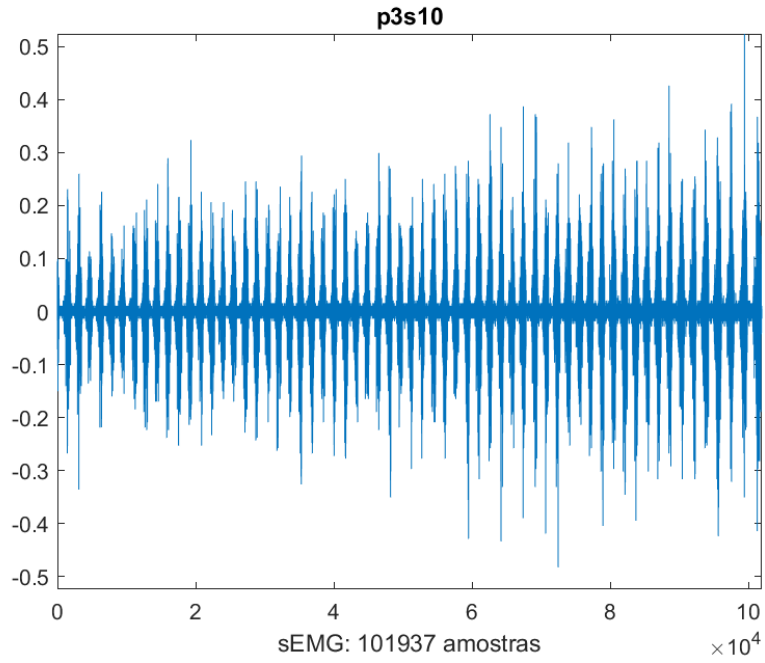


Figura 244- Sinal 10 do Protocolo 3

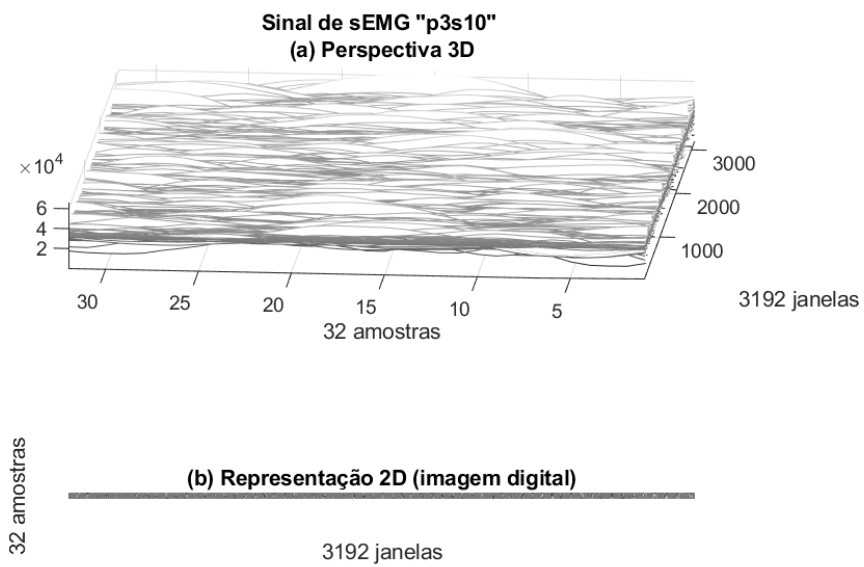


Figura 245- Sinal “p3s10”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

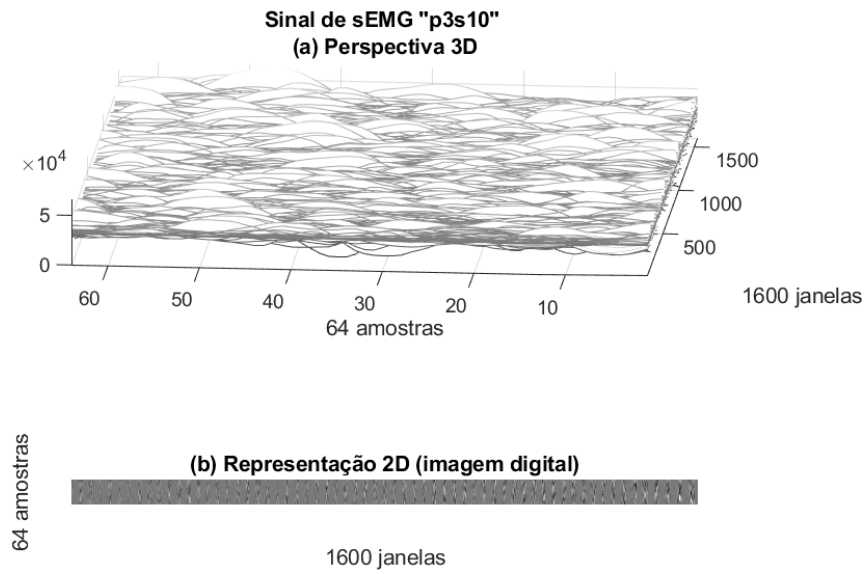


Figura 246- Sinal “p3s10”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

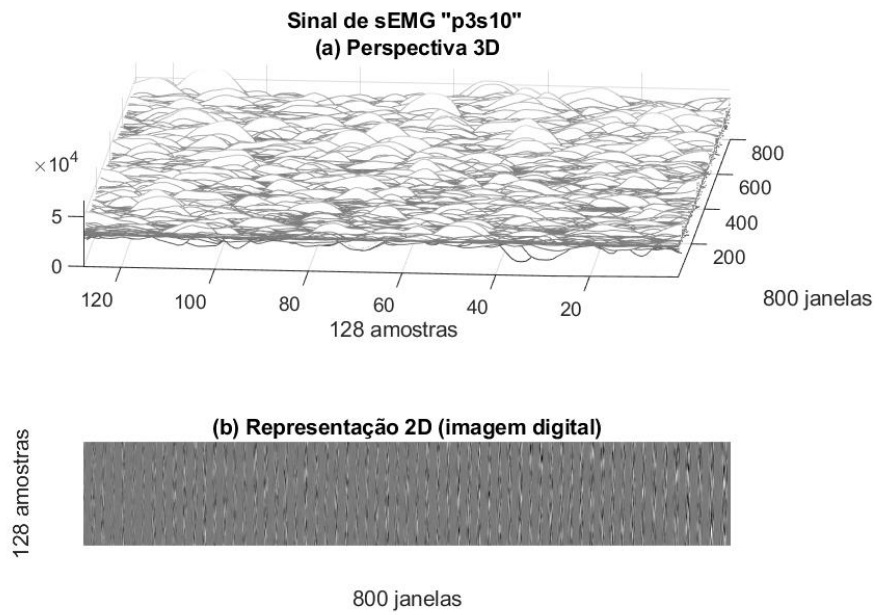


Figura 247- Sinal “p3s10”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

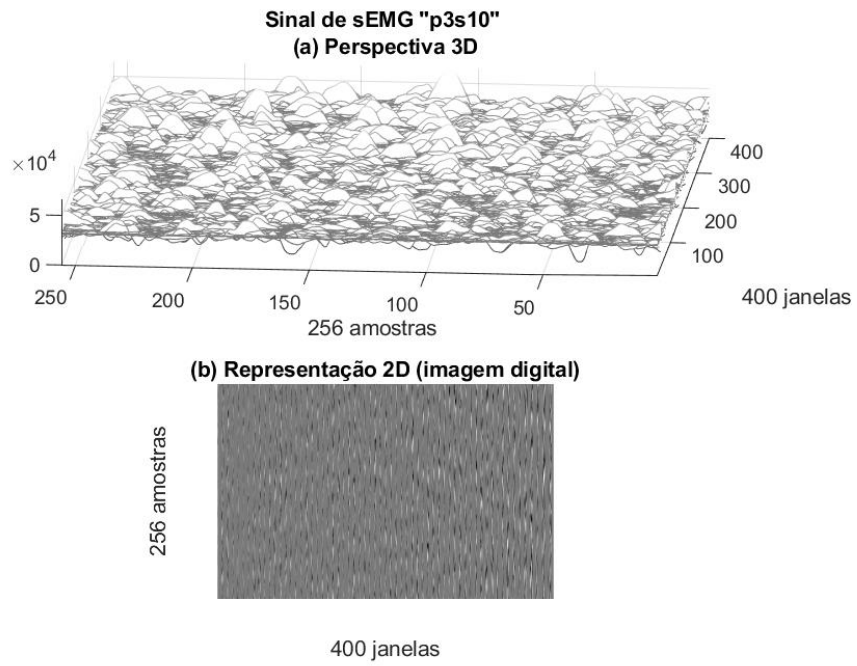


Figura 248- Sinal “p3s10”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

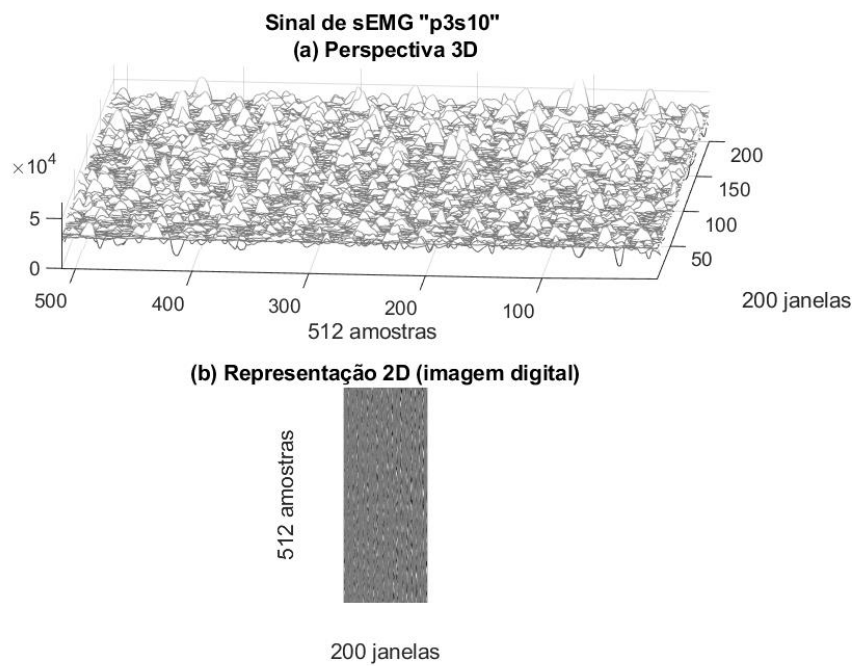


Figura 249- Sinal “p3s10”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

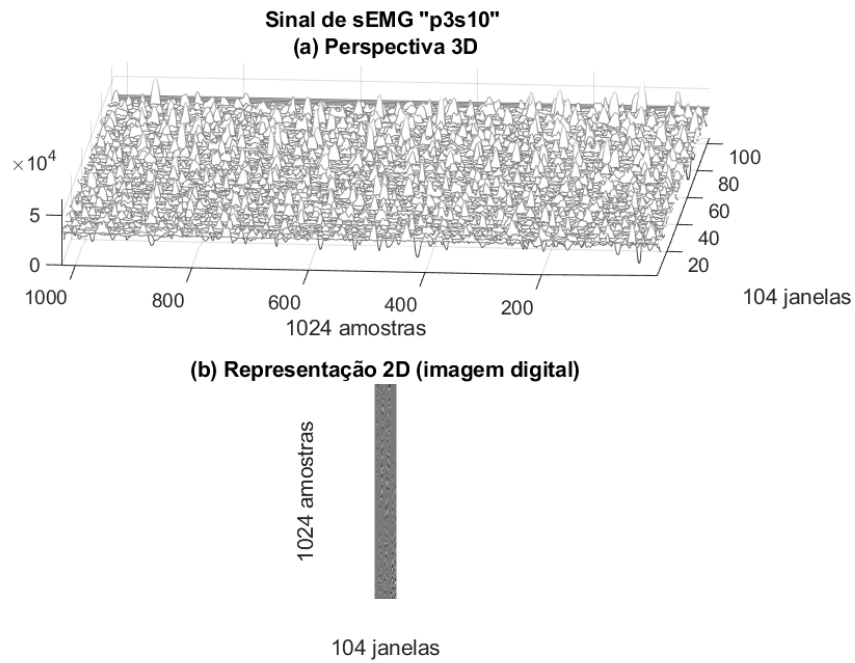


Figura 250- Sinal “p3s10”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

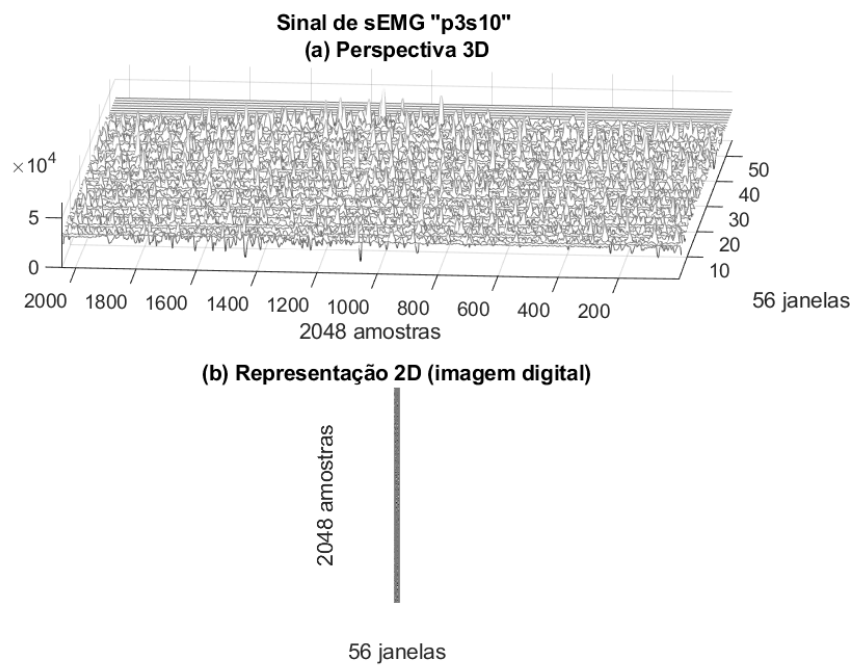


Figura 251- Sinal “p3s10”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

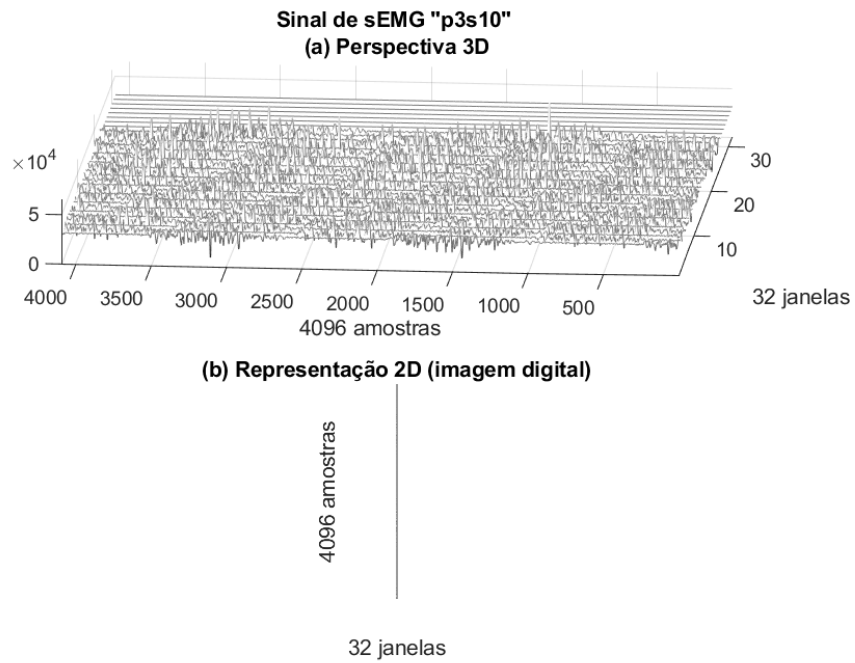


Figura 252- Sinal “p3s10”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

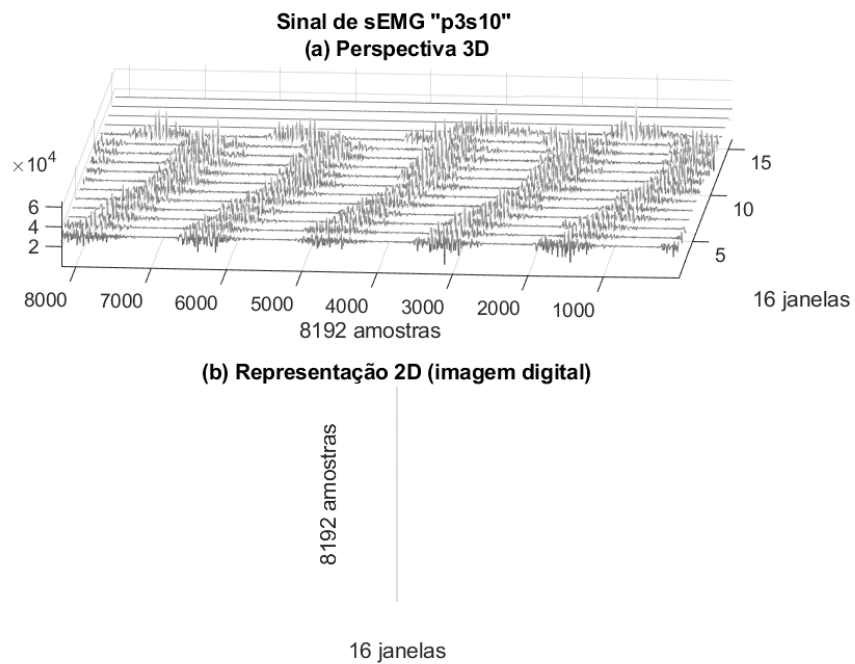


Figura 253- Sinal “p3s10”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

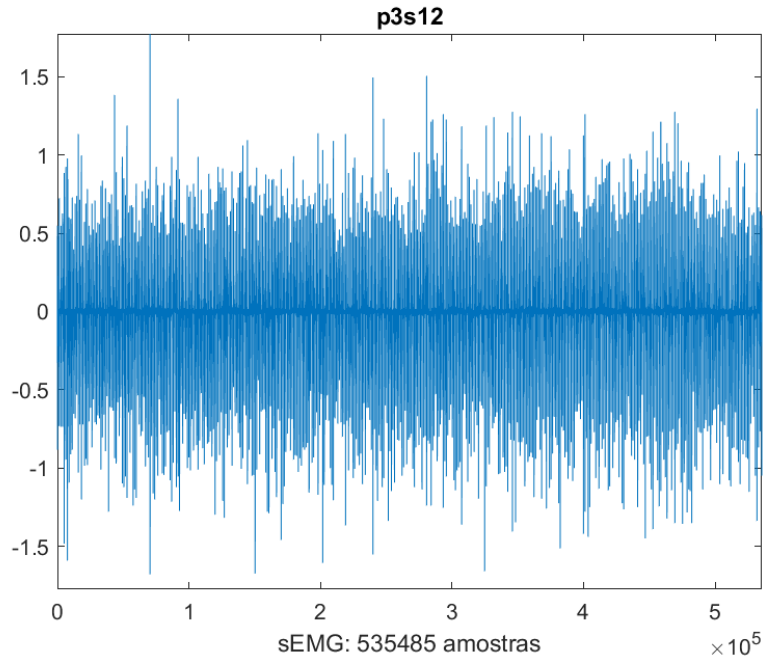


Figura 254- Sinal 12 do Protocolo 3

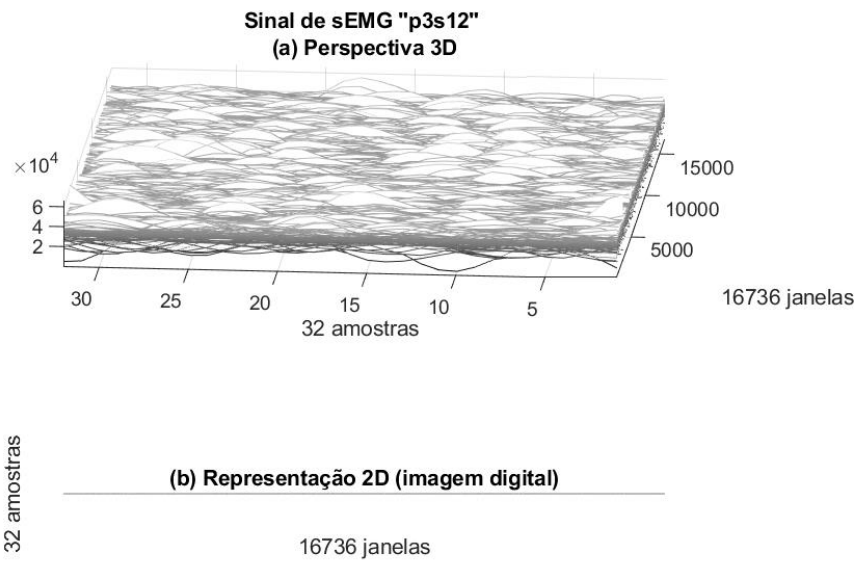


Figura 255- Sinal “p3s12”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

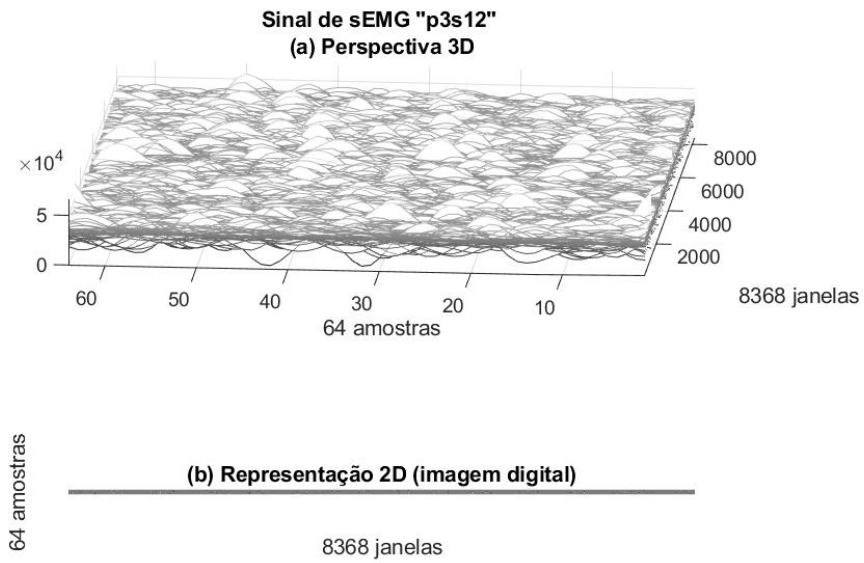


Figura 256- Sinal “p3s12”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

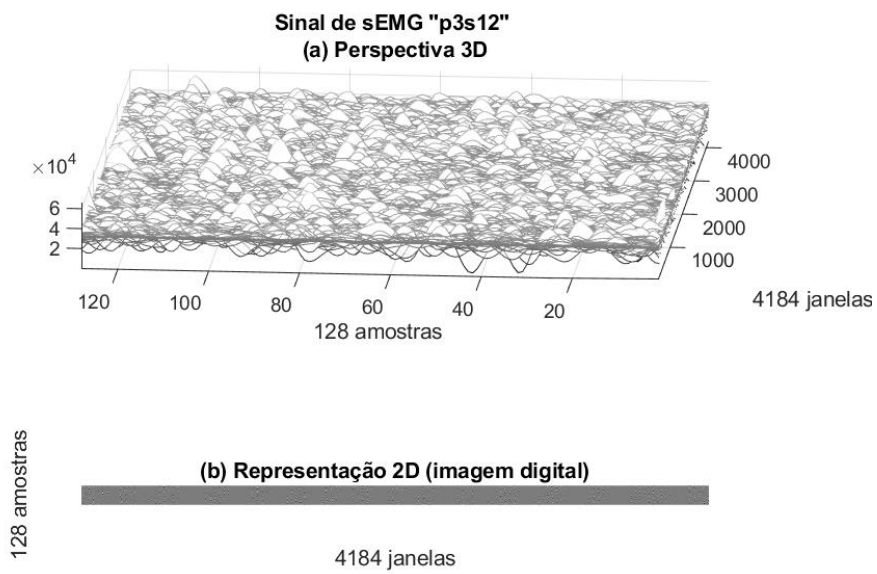


Figura 257- Sinal “p3s12”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

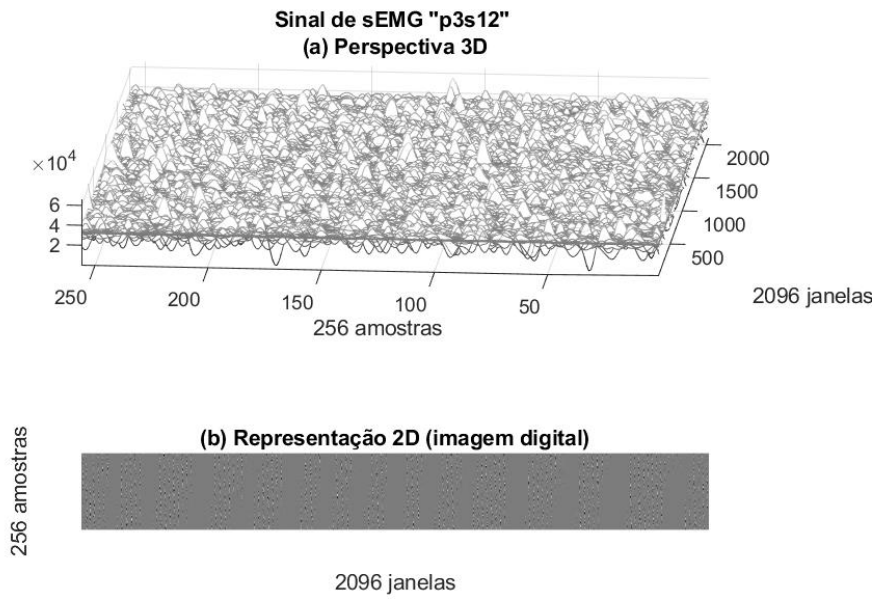


Figura 258- Sinal “p3s12”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

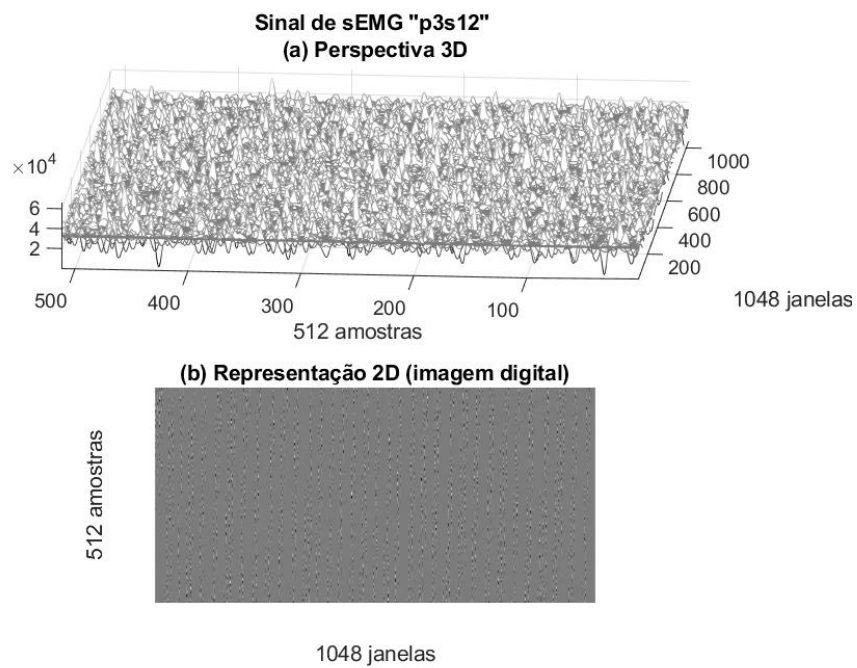


Figura 259- Sinal “p3s12”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

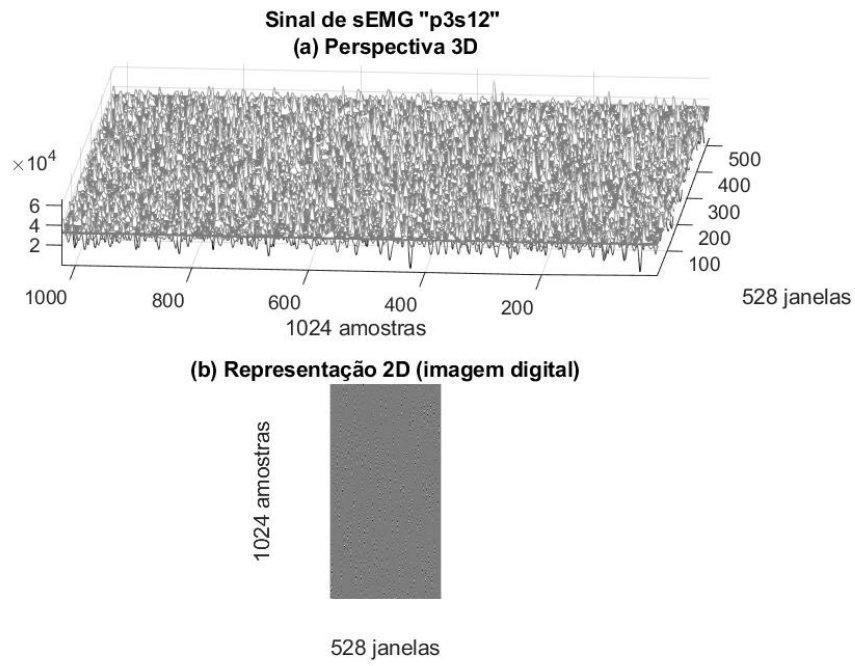


Figura 260- Sinal “p3s12”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

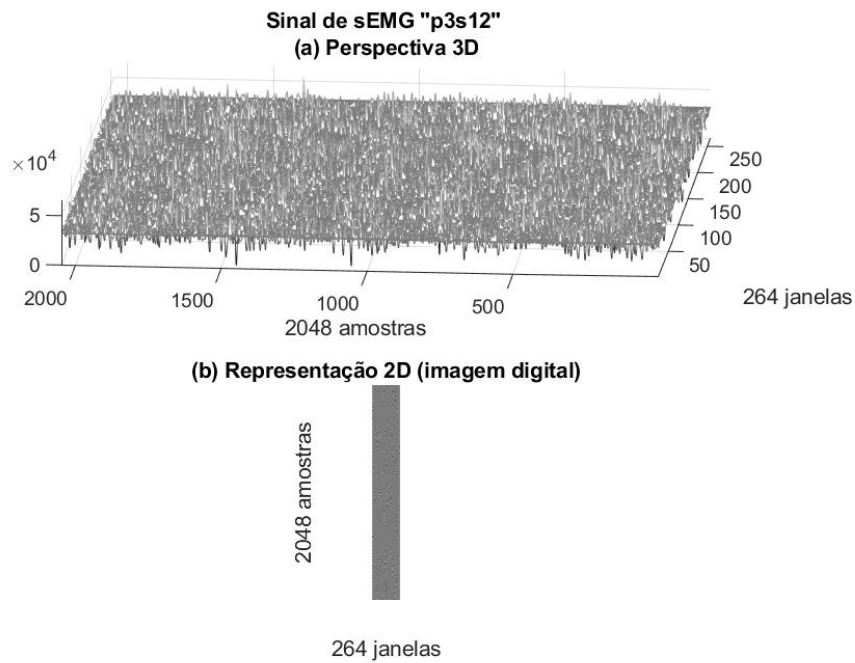


Figura 261- Sinal “p3s12”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

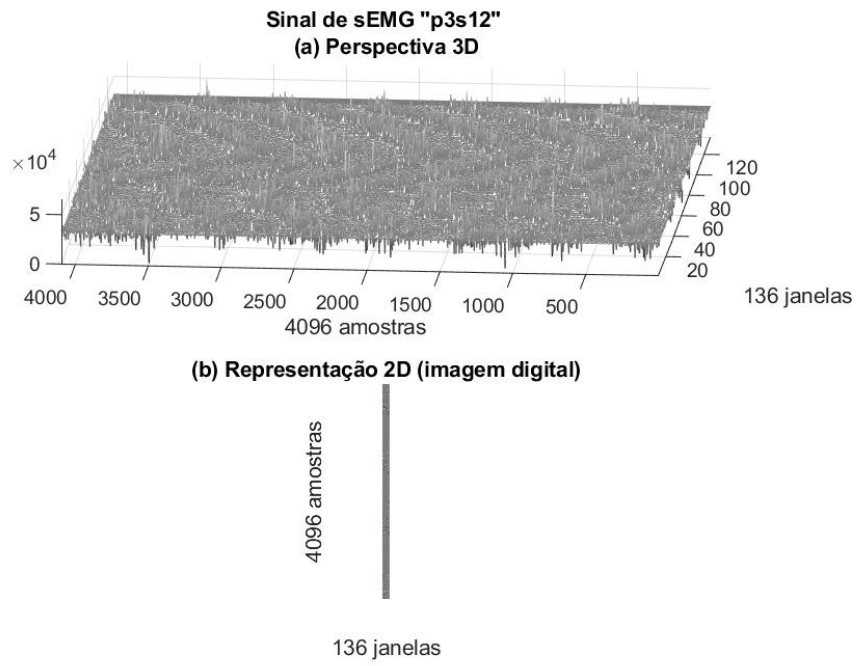


Figura 262- Sinal “p3s12”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

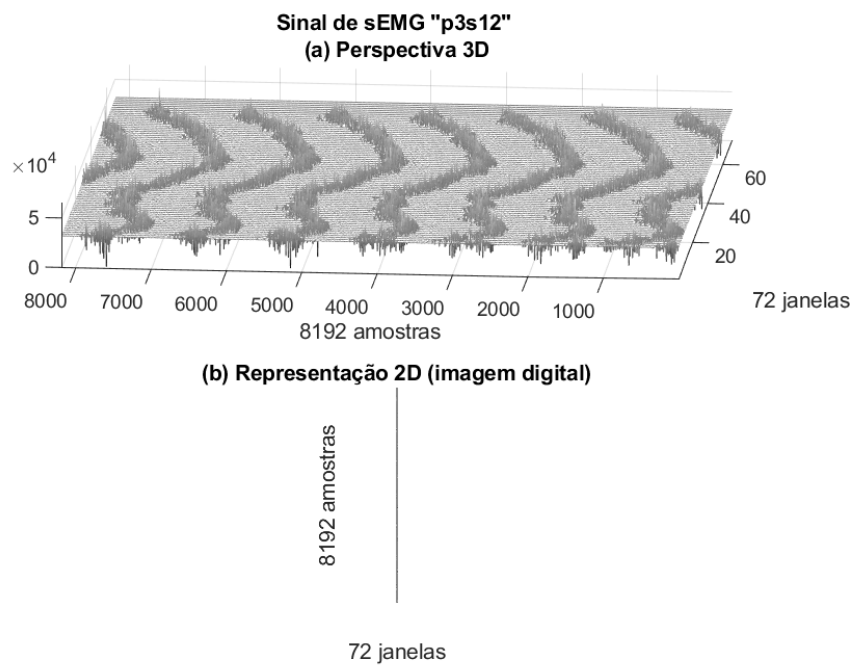


Figura 263- Sinal “p3s12”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

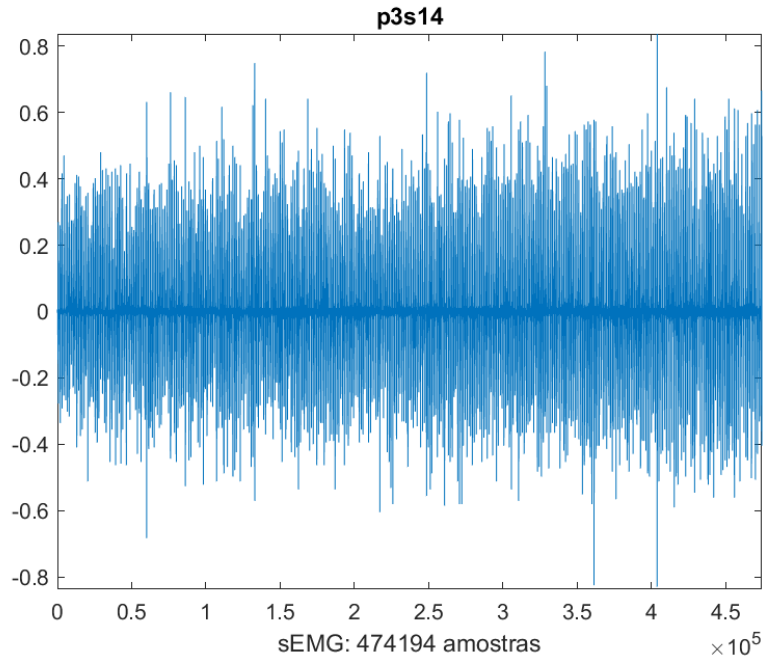


Figura 264- Sinal 14 do Protocolo 3

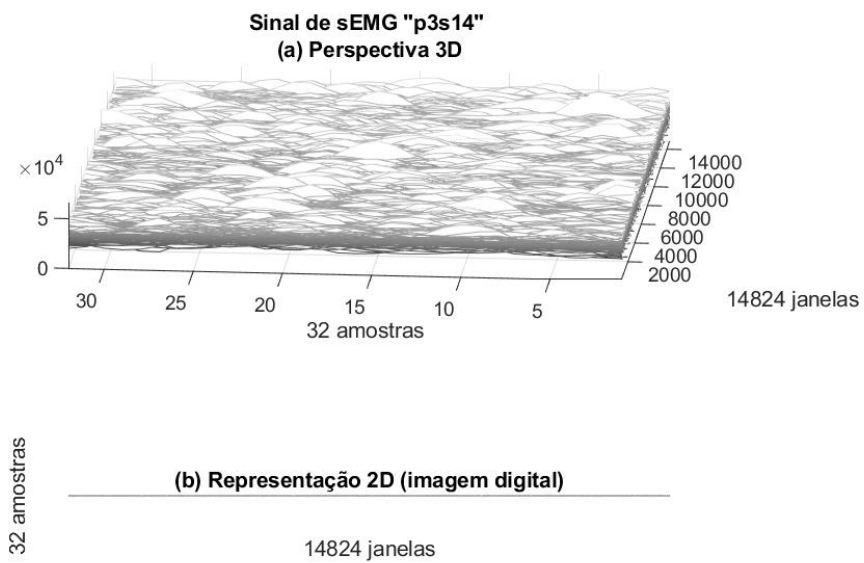


Figura 265- Sinal "p3s14", 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

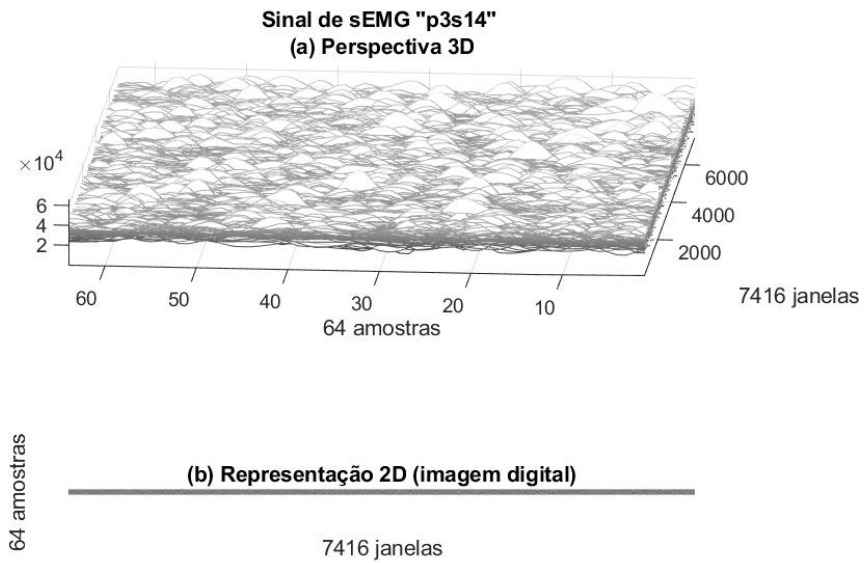


Figura 266- Sinal “p3s14”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

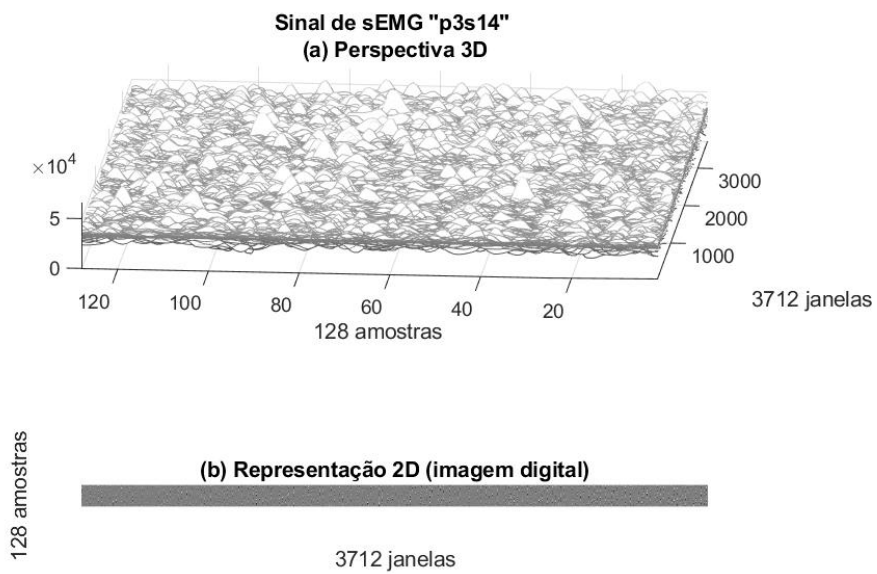


Figura 267- Sinal “p3s14”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

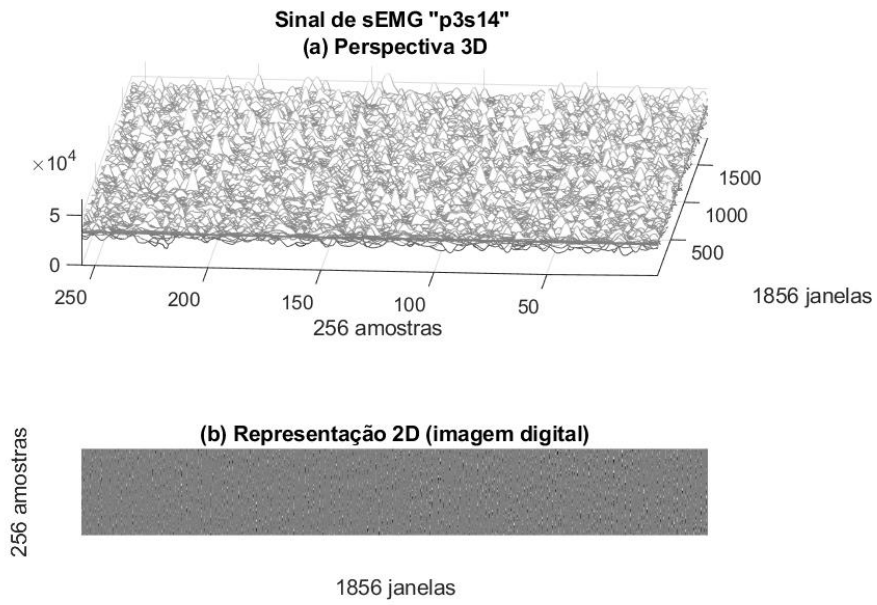


Figura 268- Sinal “p3s14”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

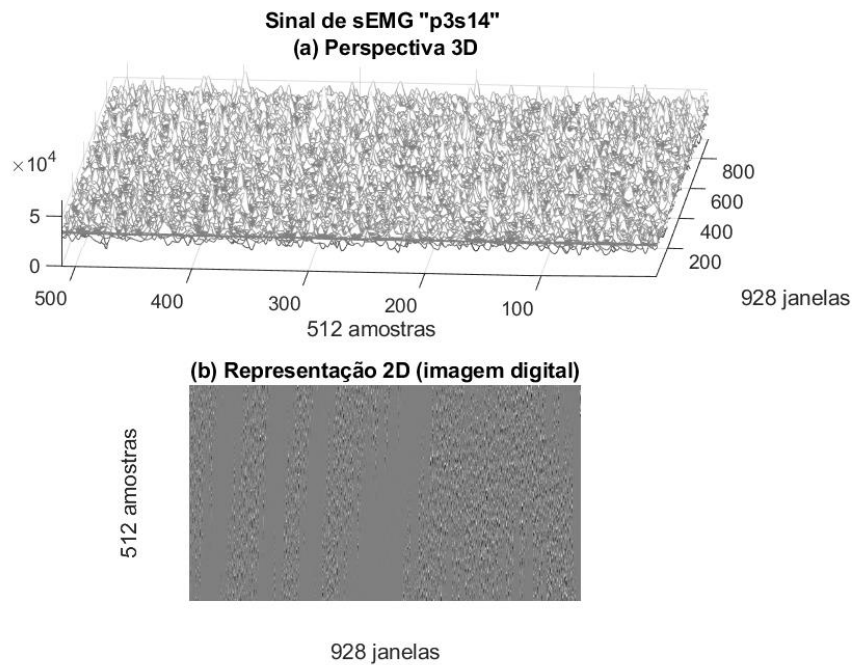


Figura 269- Sinal “p3s14”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

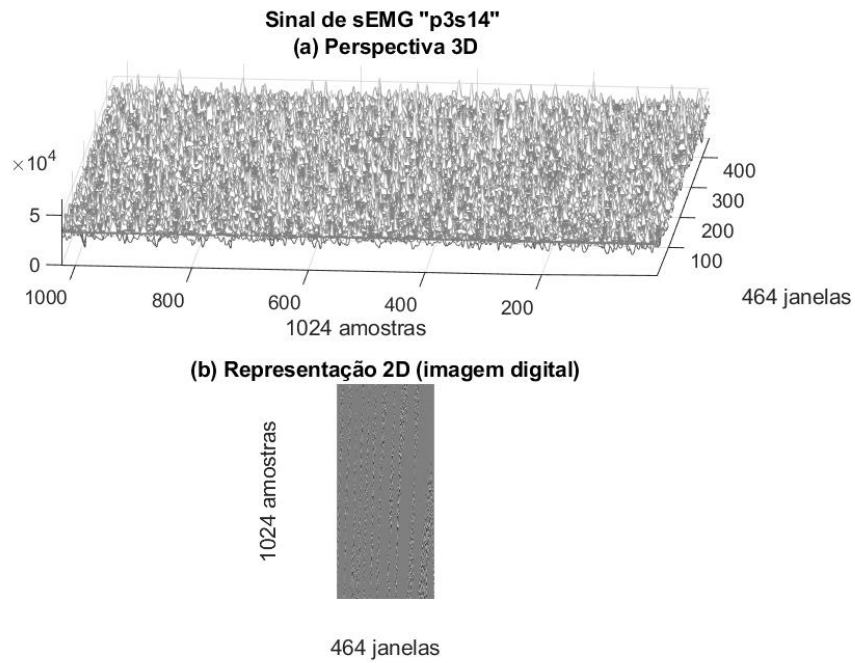


Figura 270- Sinal "p3s14", 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

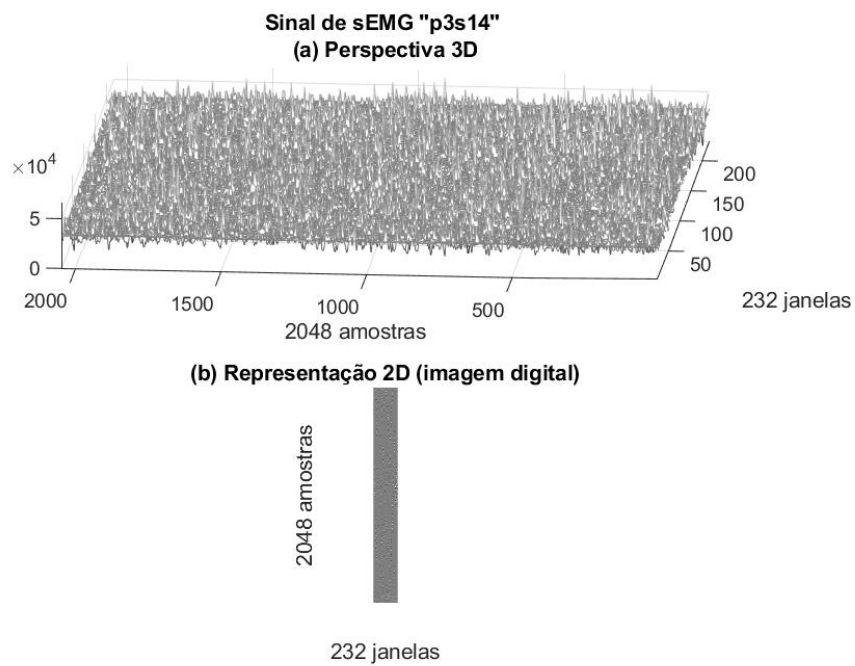


Figura 271- Sinal "p3s14", 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

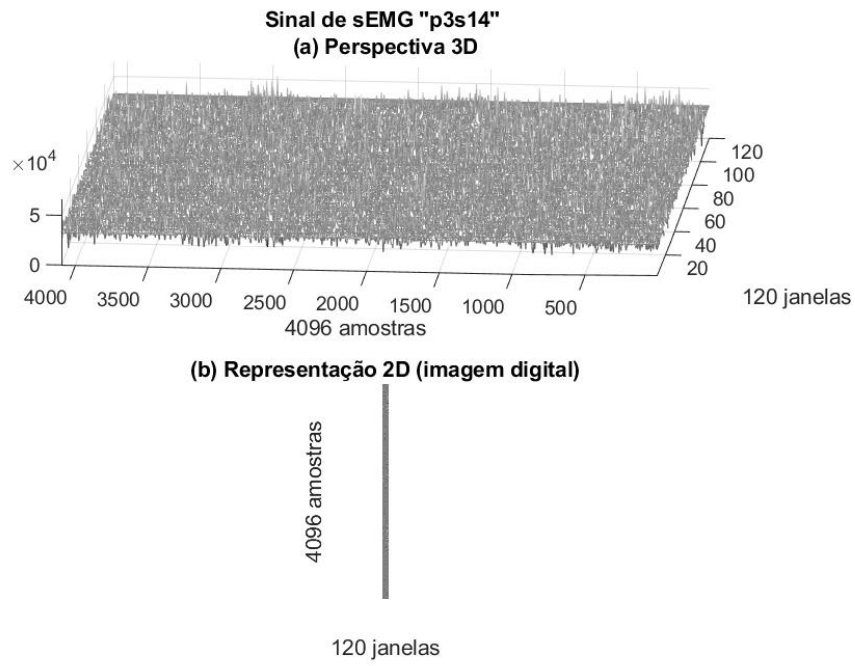


Figura 272- Sinal “p3s14”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

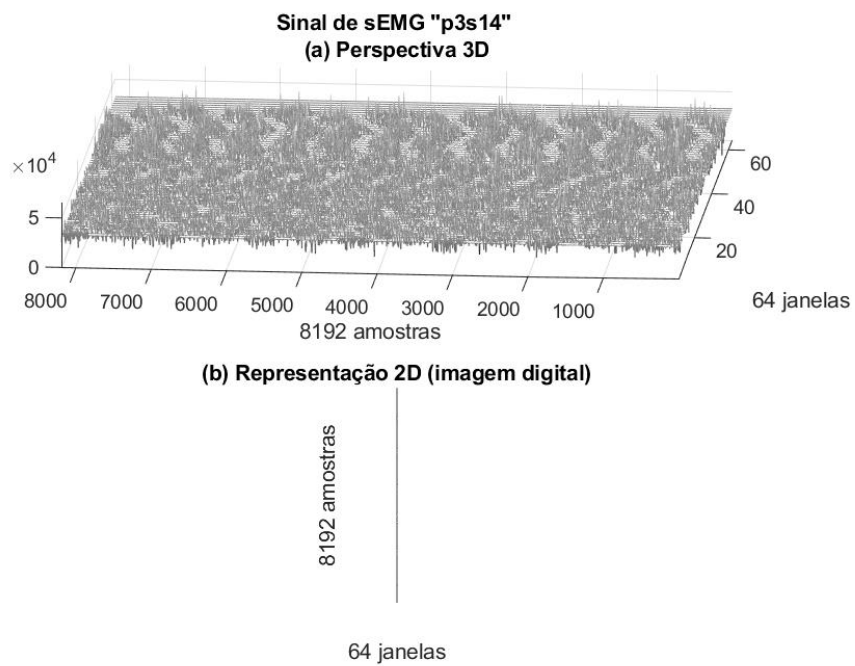


Figura 273- Sinal “p3s14”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

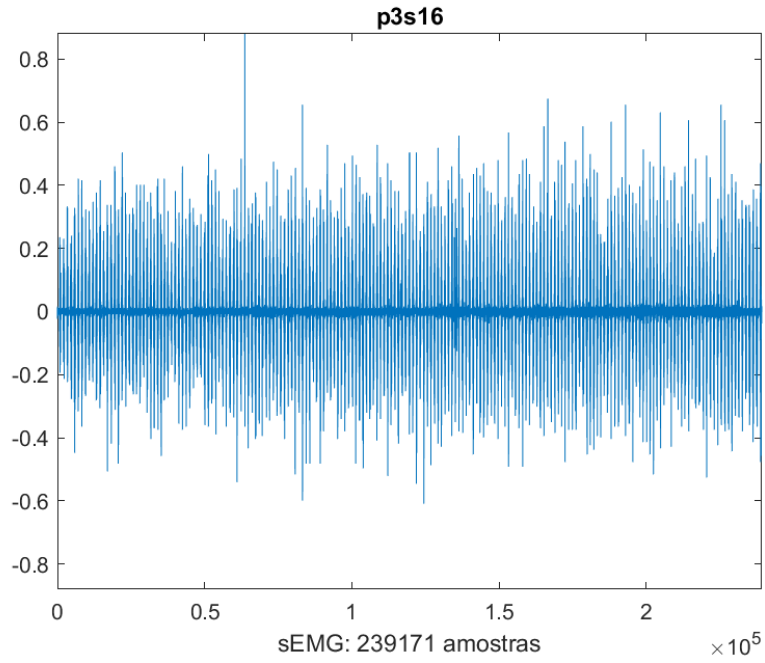


Figura 274- Sinal 16 do Protocolo 3

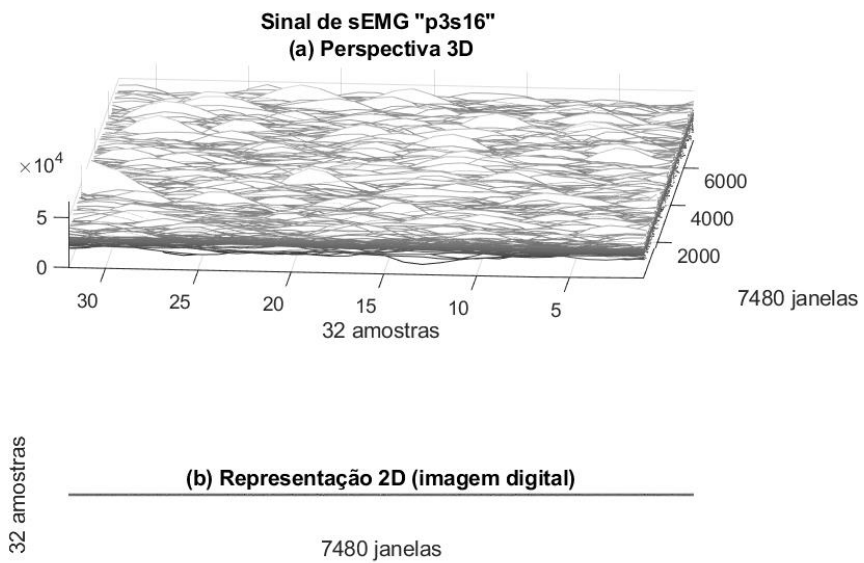


Figura 275- Sinal “p3s16”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

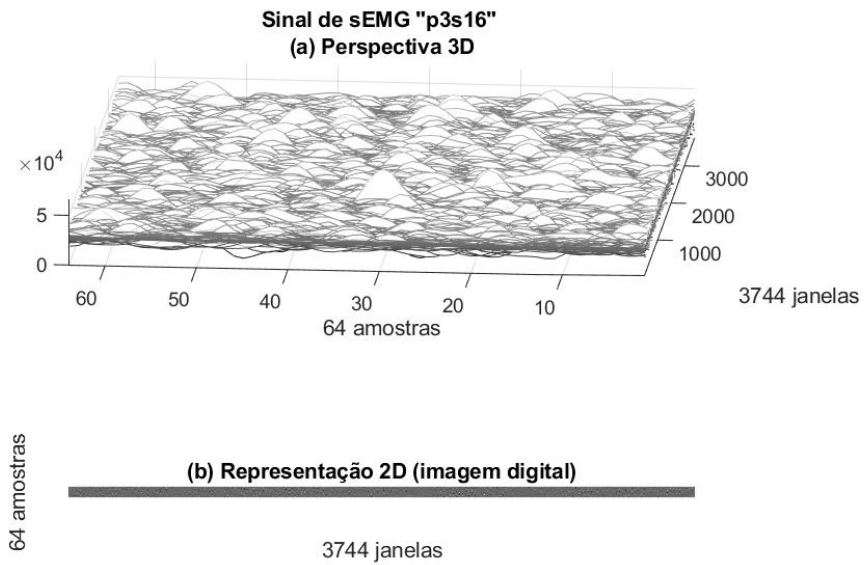


Figura 276- Sinal “p3s16”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

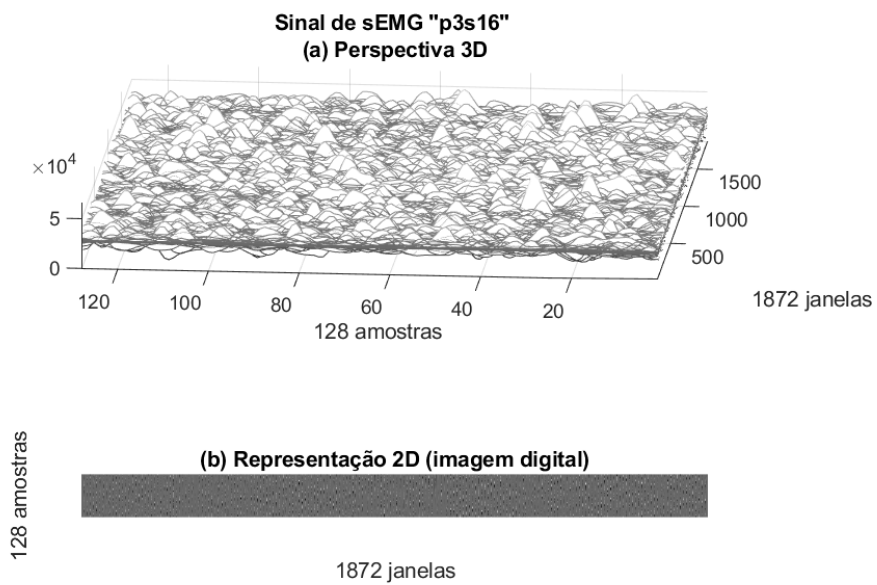


Figura 277- Sinal “p3s16”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

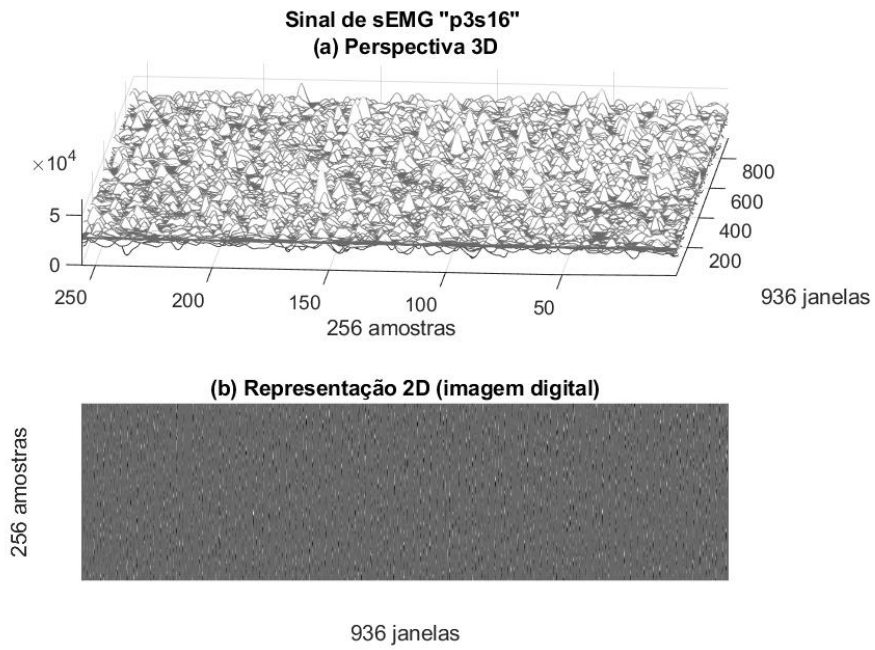


Figura 278- Sinal “p3s16”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

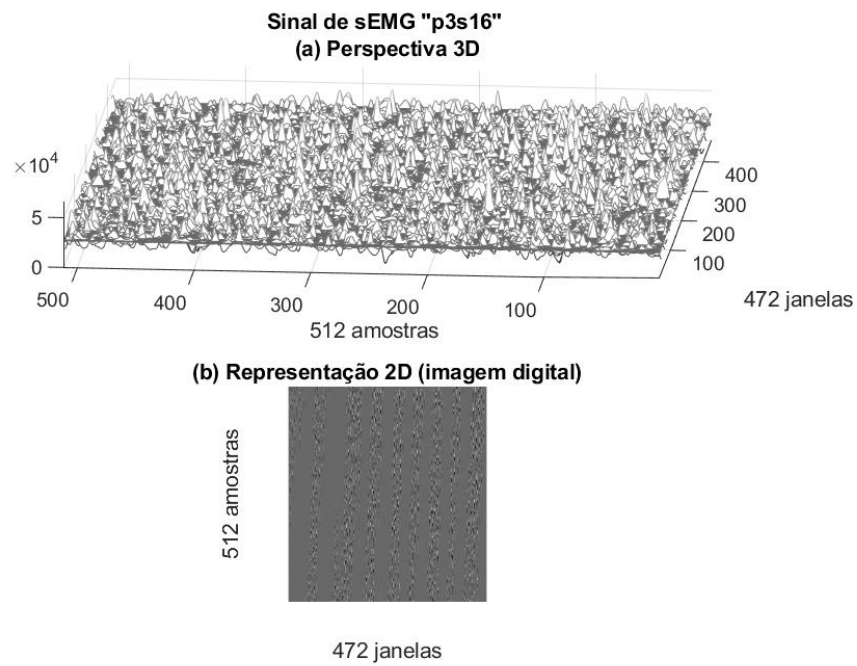


Figura 279- Sinal “p3s16”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

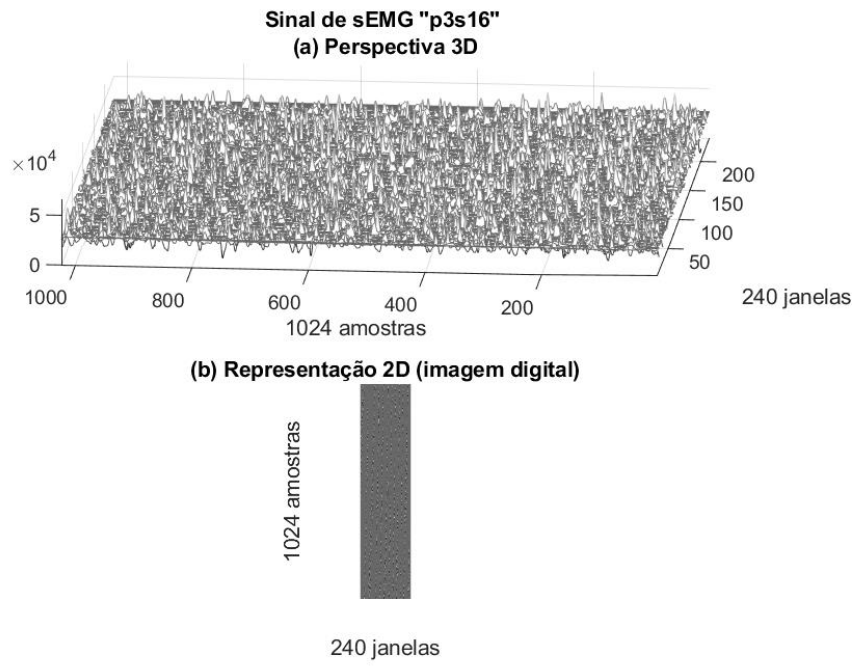


Figura 280- Sinal “p3s16”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

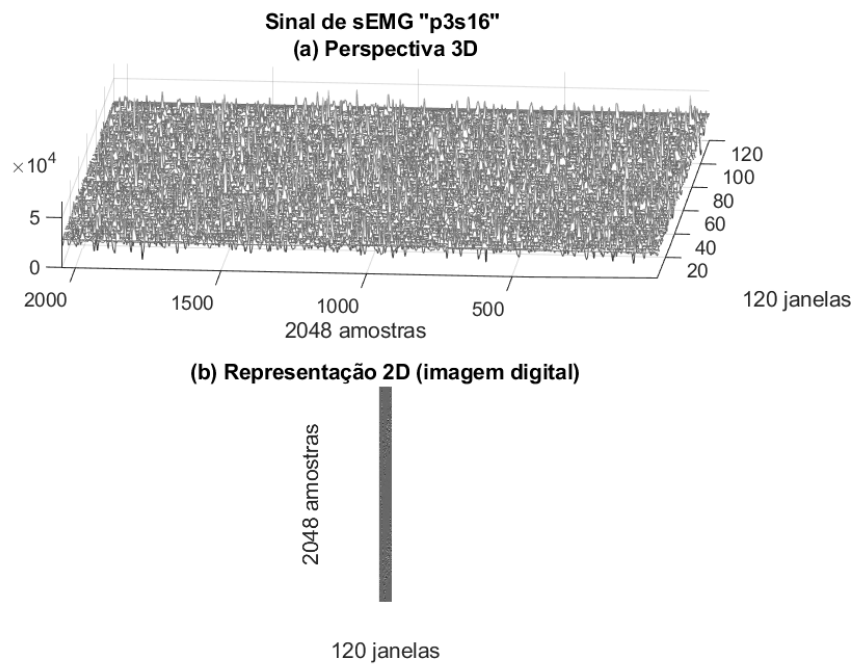


Figura 281- Sinal “p3s16”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

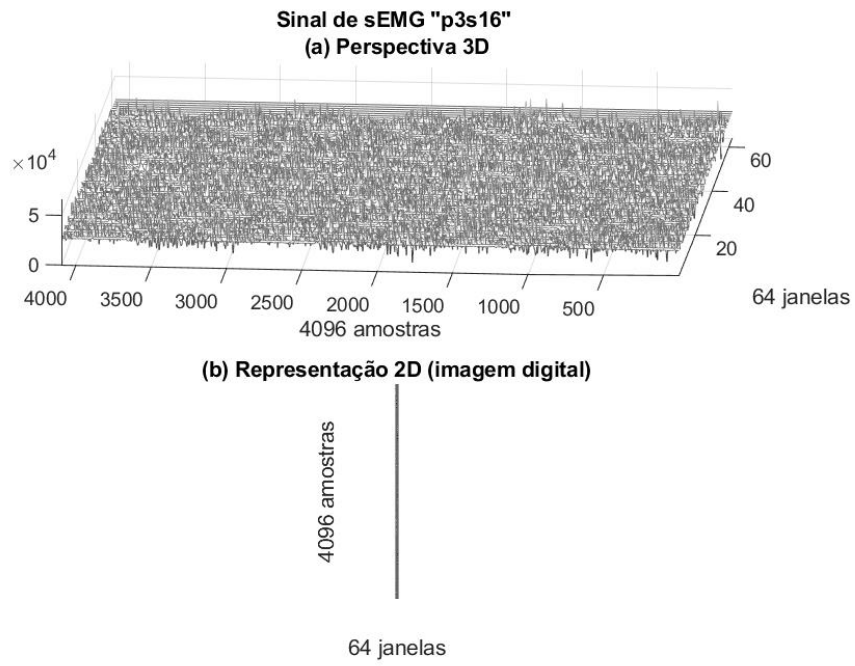


Figura 282- Sinal “p3s16”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

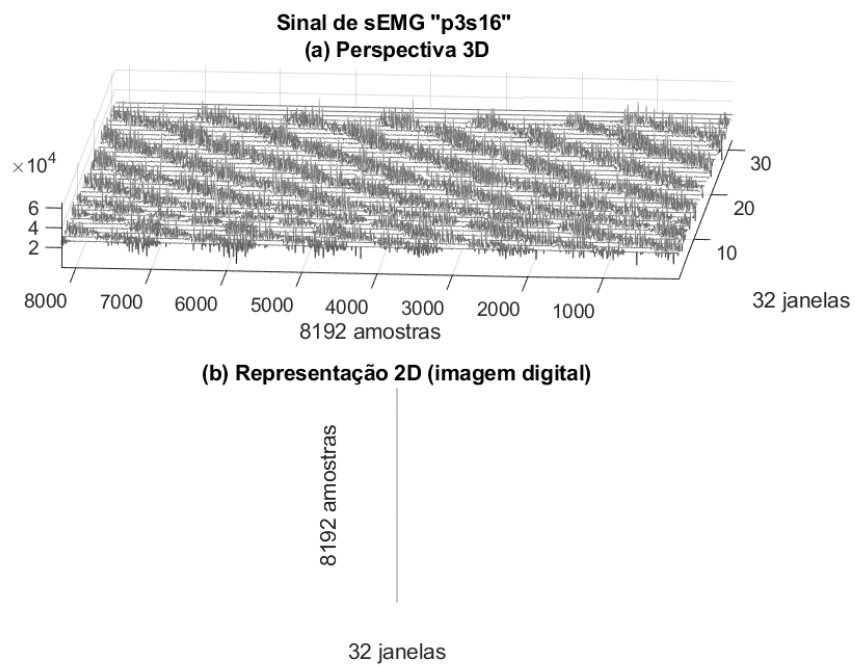


Figura 283- Sinal “p3s16”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

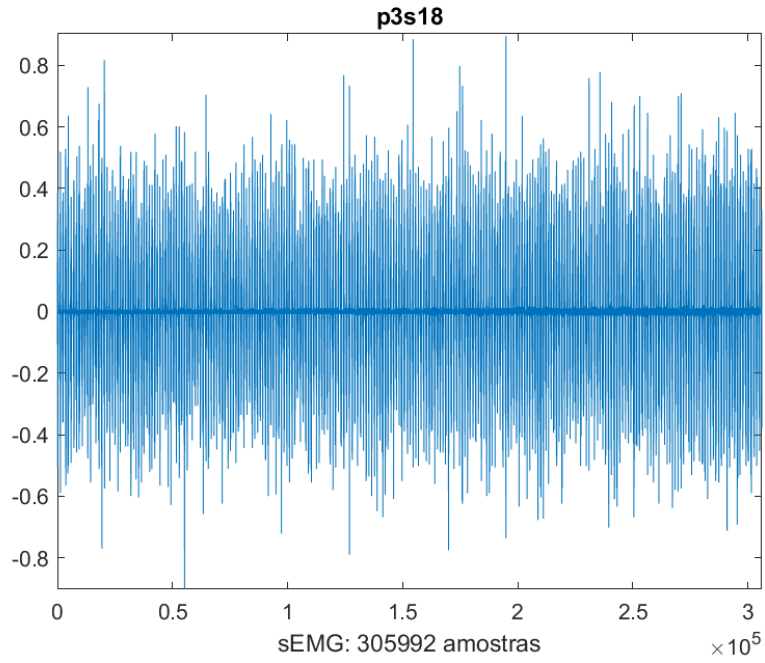


Figura 284- Sinal 18 do Protocolo 3

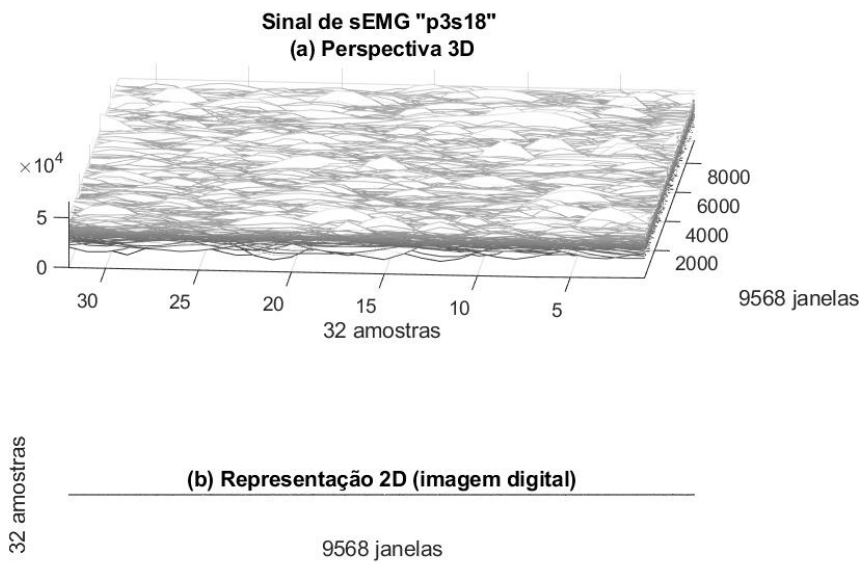


Figura 285- Sinal “p3s18”, 32 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

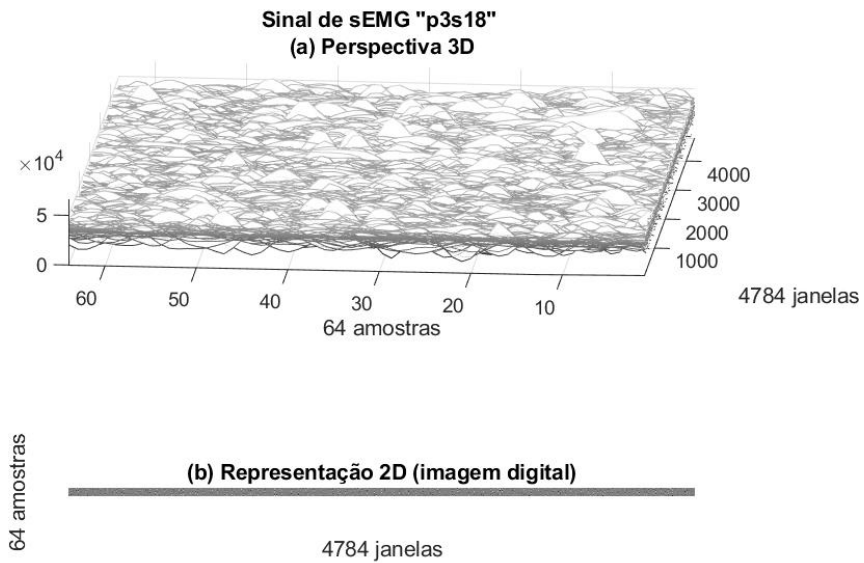


Figura 286- Sinal “p3s18”, 64 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

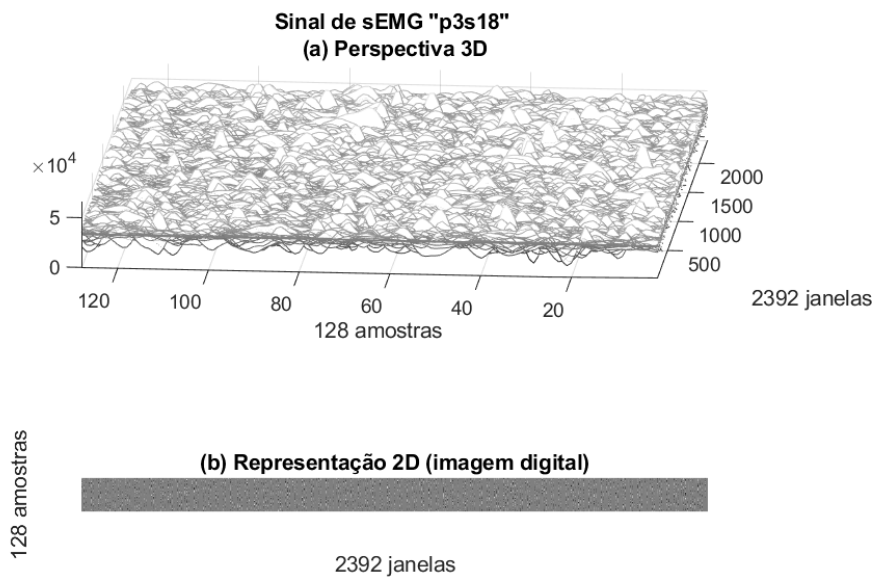


Figura 287- Sinal “p3s18”, 128 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

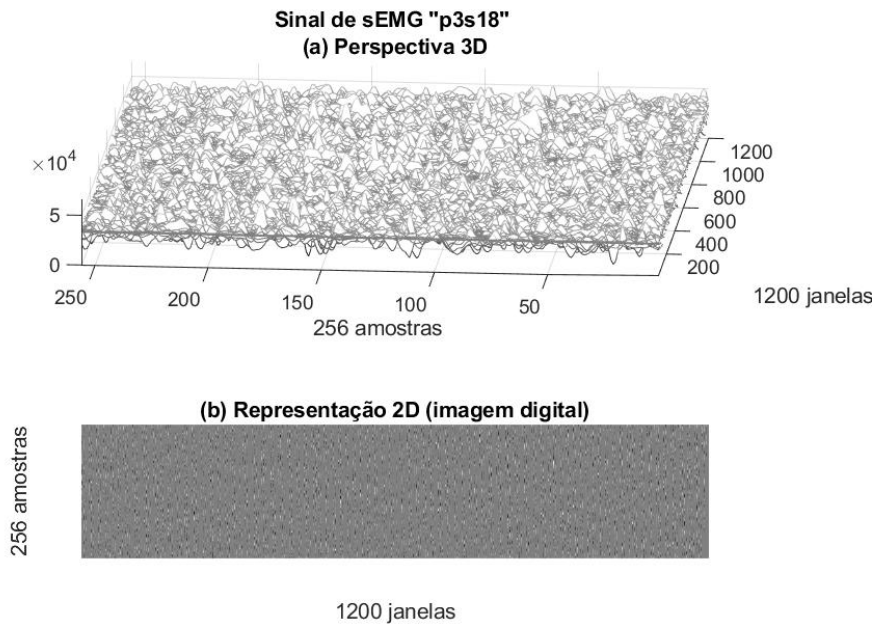


Figura 288- Sinal “p3s18”, 256 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

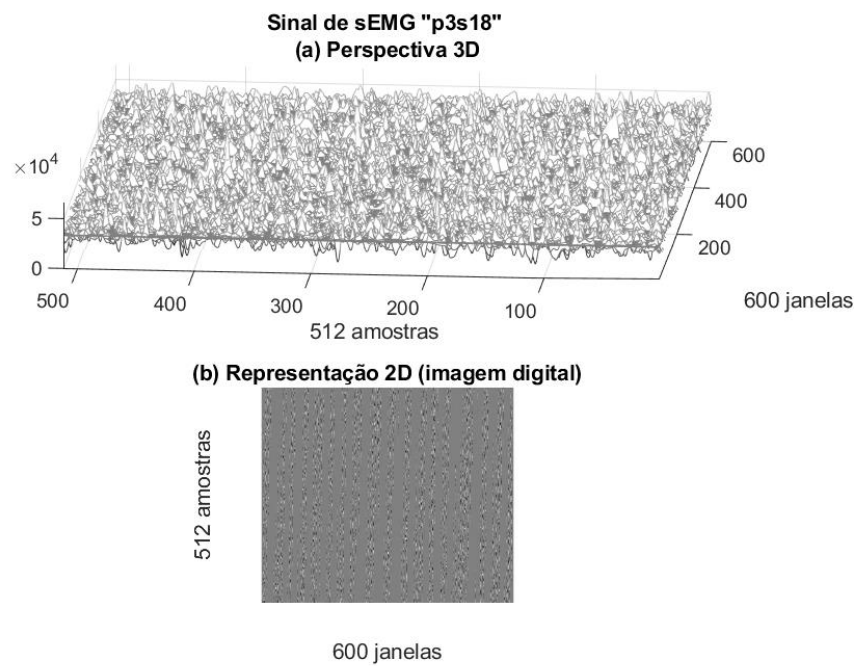


Figura 289- Sinal “p3s18”, 512 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

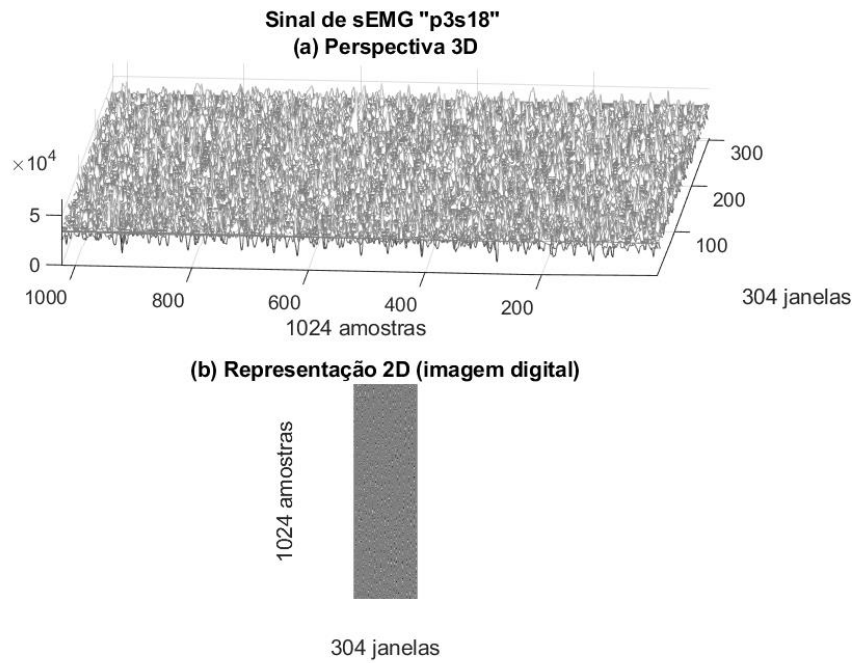


Figura 290- Sinal “p3s18”, 1024 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

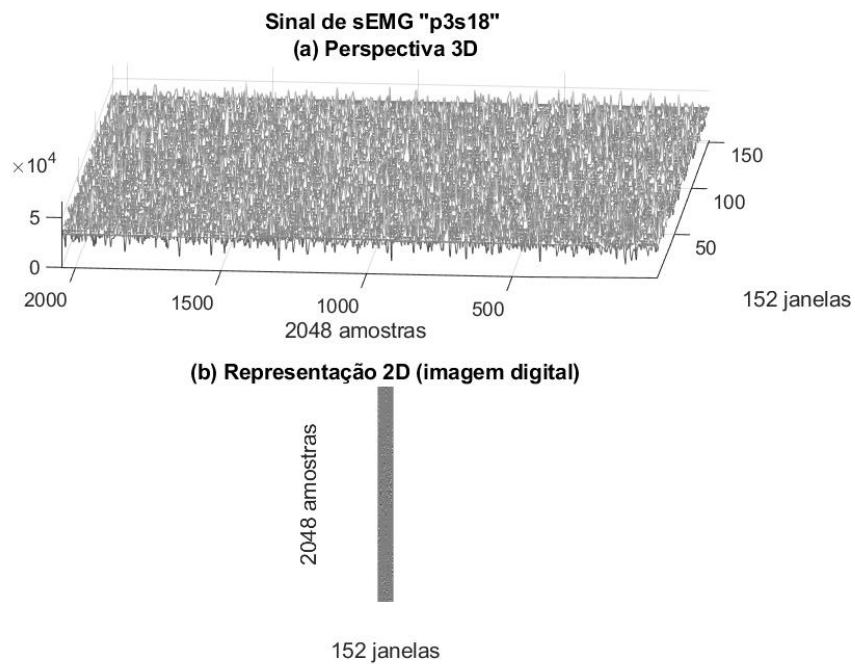


Figura 291- Sinal “p3s18”, 2048 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

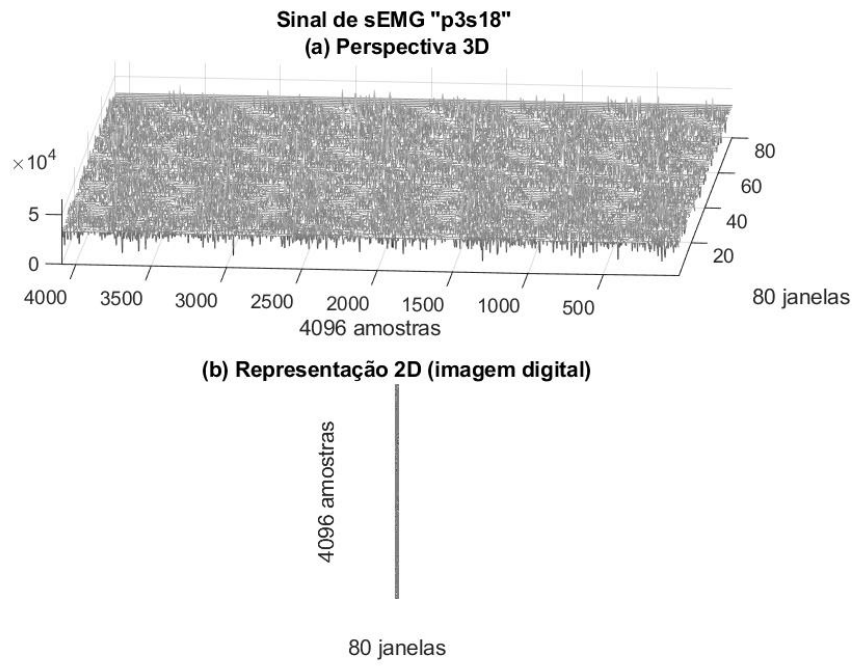


Figura 292- Sinal “p3s18”, 4096 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

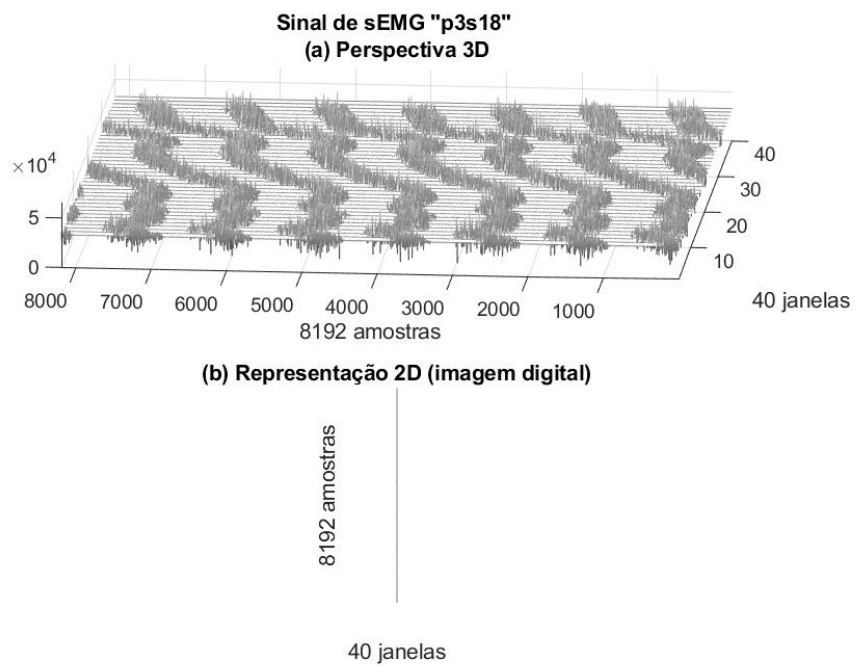


Figura 293- Sinal “p3s18”, 8192 amostras, Perspectiva 3D e Representação 2D

APÊNDICE 2 - Resultados da codificação com HEVC para os 3 Protocolos (Curvas PRD x CF e valor médio de PRD x CF).

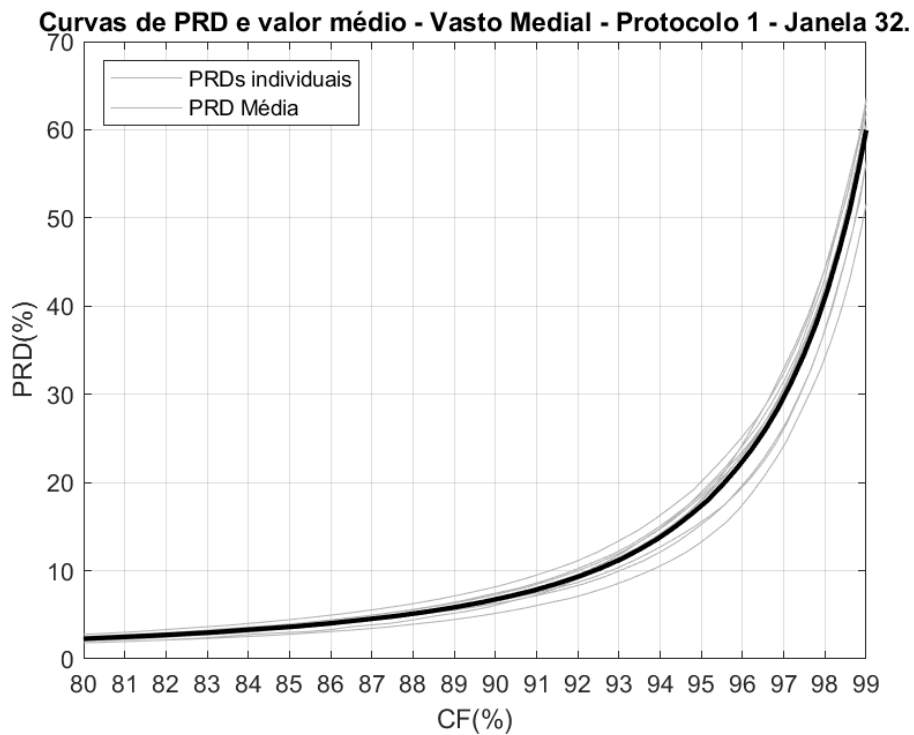


Figura 294 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 1 – Janela 32 (HEVC)

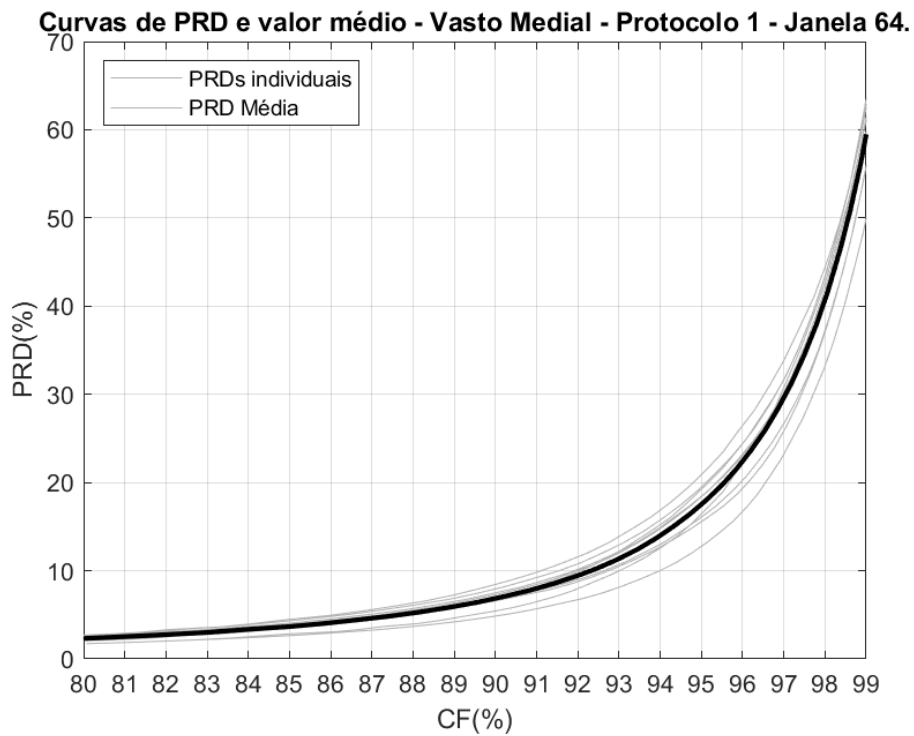


Figura 295 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 1 – Janela 64 (HEVC)

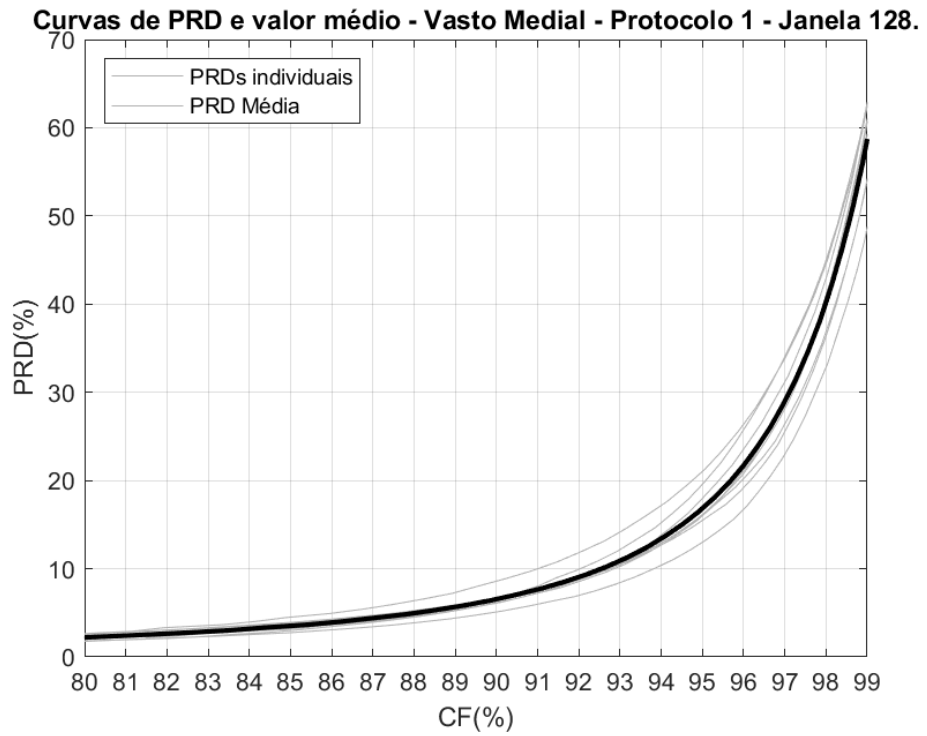


Figura 296 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 1 – Janela 128 (HEVC)

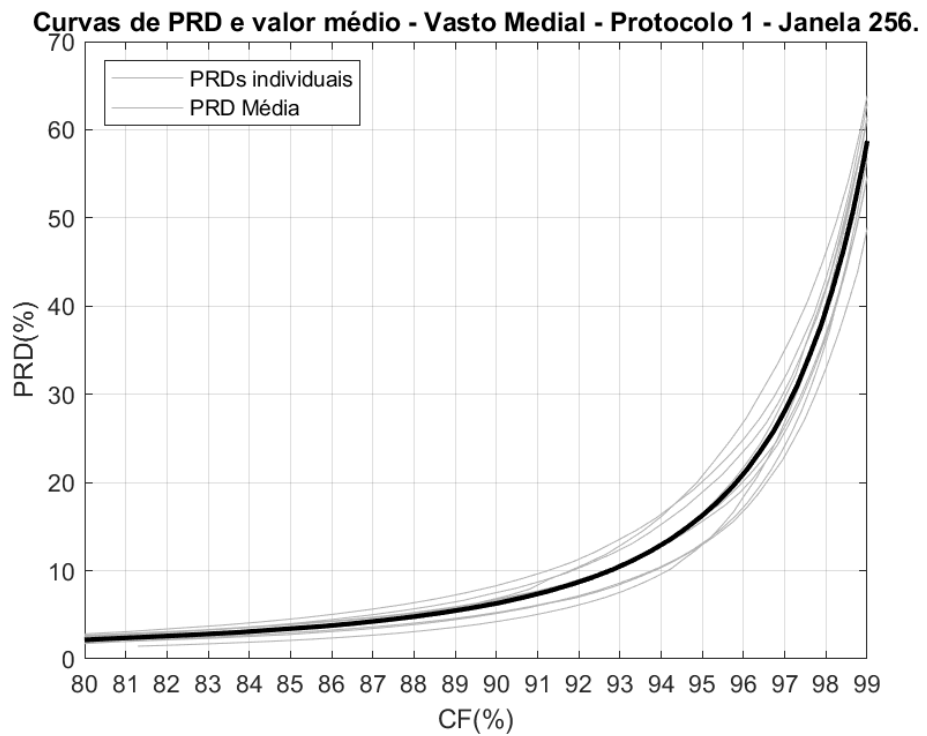


Figura 297 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 1 – Janela 256 (HEVC)

Curvas de PRD e valor médio - Vasto Medial - Protocolo 1 - Janela 512.

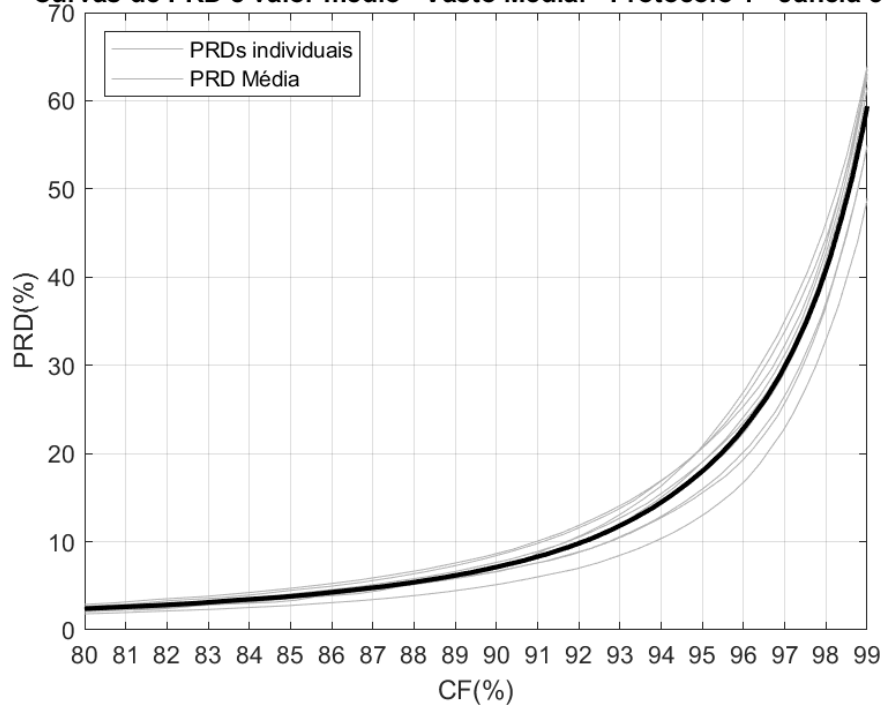


Figura 298 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 1 – Janela 512 (HEVC)

Curvas de PRD e valor médio - Vasto Medial - Protocolo 1 - Janela 1024.

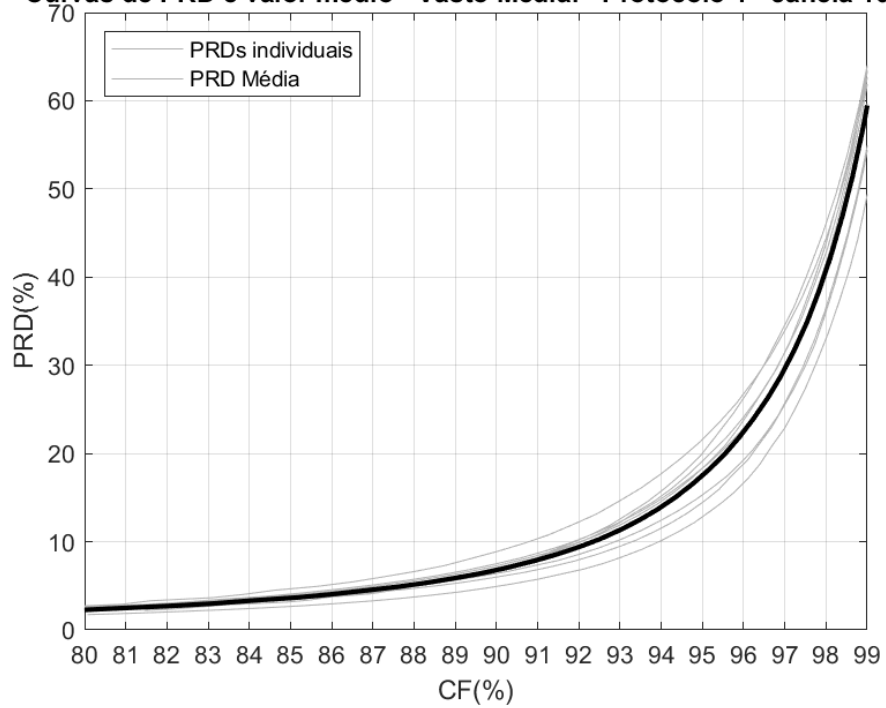


Figura 299 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 1 – Janela 1024 (HEVC)

Curvas de PRD e valor médio - Vasto Medial - Protocolo 1 - Janela 2048.

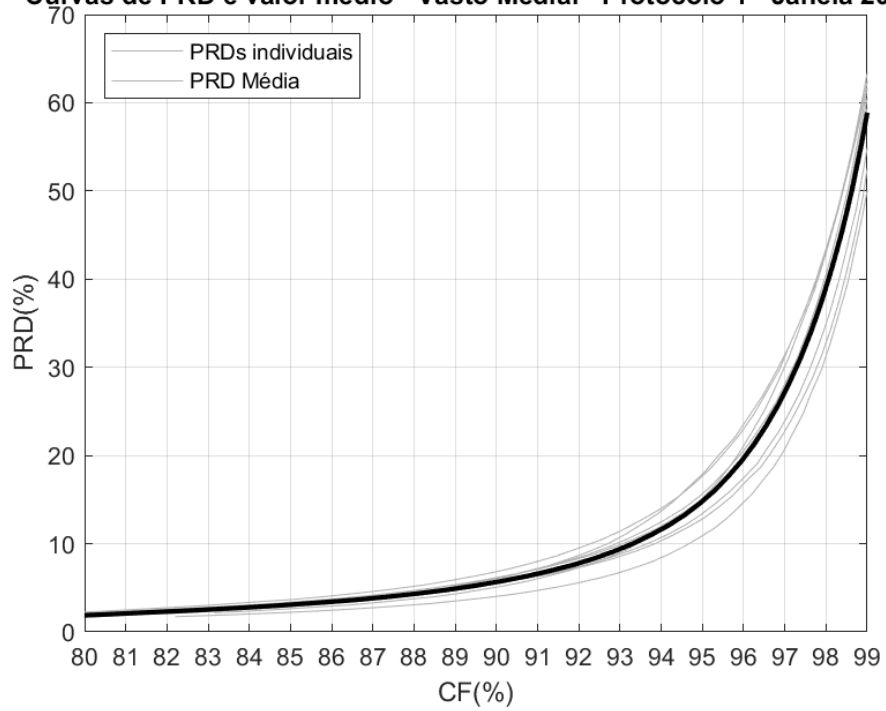


Figura 300 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 1 – Janela 2048 (HEVC)

Curvas de PRD e valor médio - Vasto Medial - Protocolo 1 - Janela 4096.

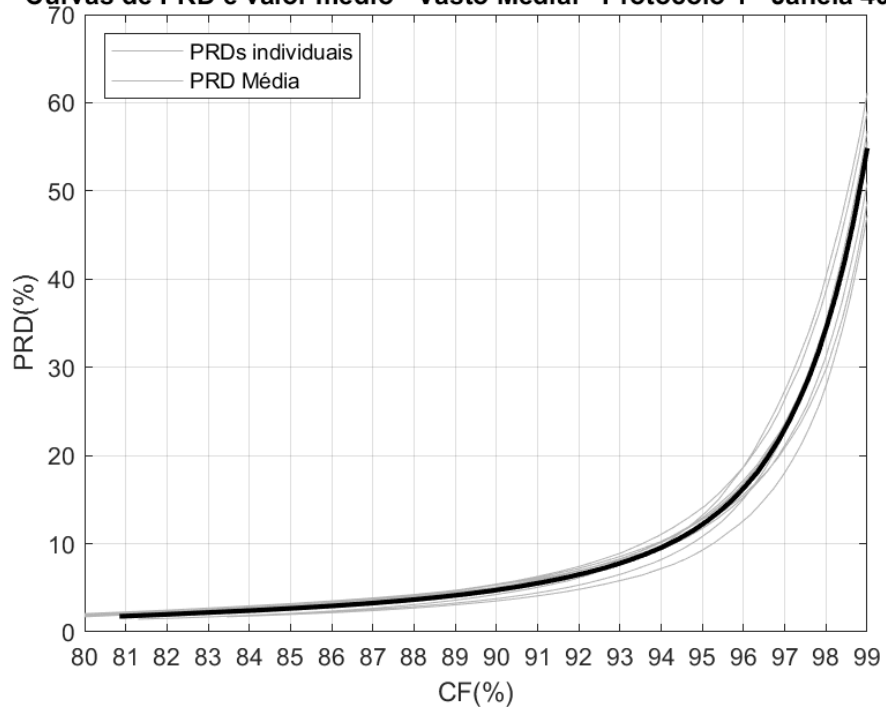


Figura 301 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 1 – Janela 4096 (HEVC)

Curvas de PRD e valor médio - Vasto Medial - Protocolo 1 - Janela 8192.

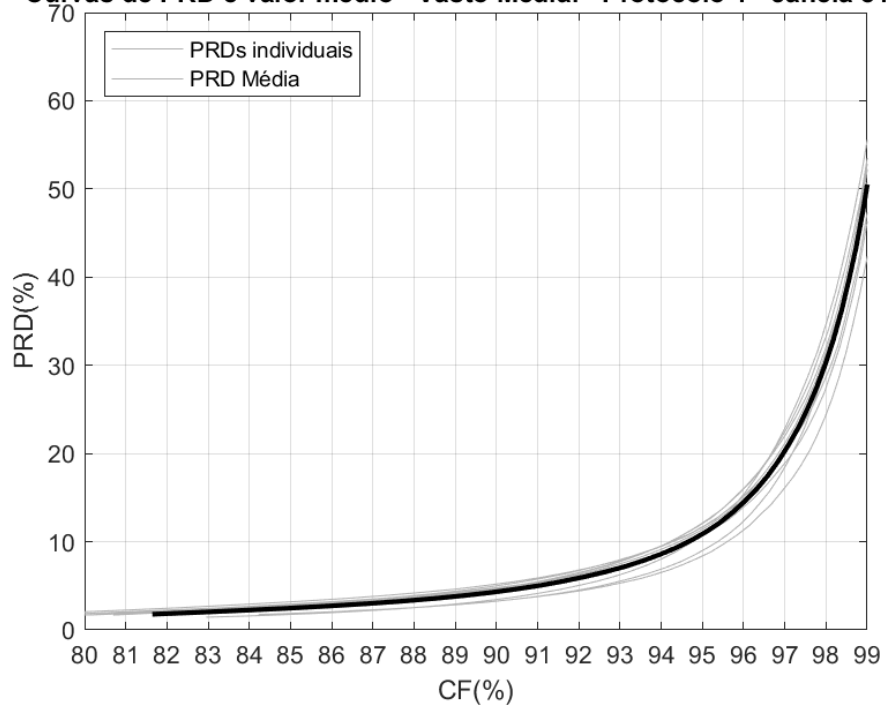


Figura 302 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 1 – Janela 8192 (HEVC)

Curvas de PRD e valor médio - Vasto Medial - Protocolo 2 - Janela 32.

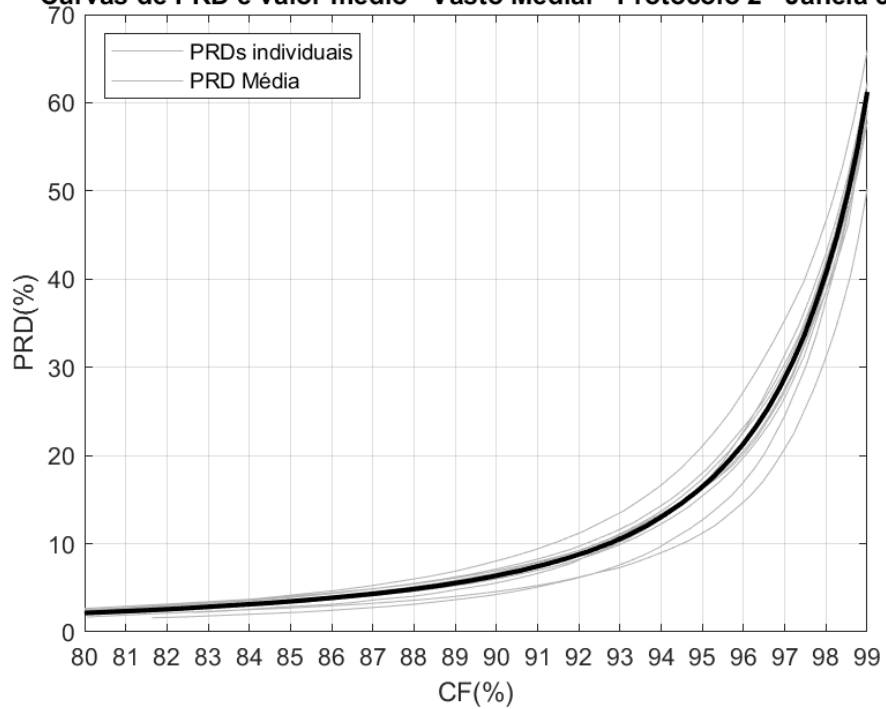


Figura 303 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 2 – Janela 32 (HEVC)

Curvas de PRD e valor médio - Vasto Medial - Protocolo 2 - Janela 64.

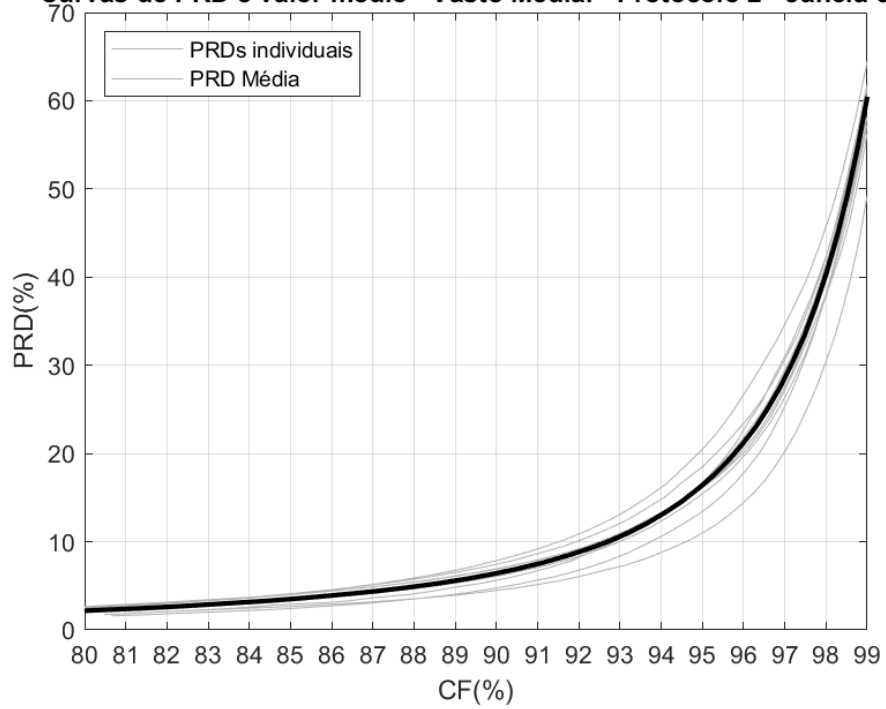


Figura 304 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 2 – Janela 64 (HEVC)

Curvas de PRD e valor médio - Vasto Medial - Protocolo 2 - Janela 128.

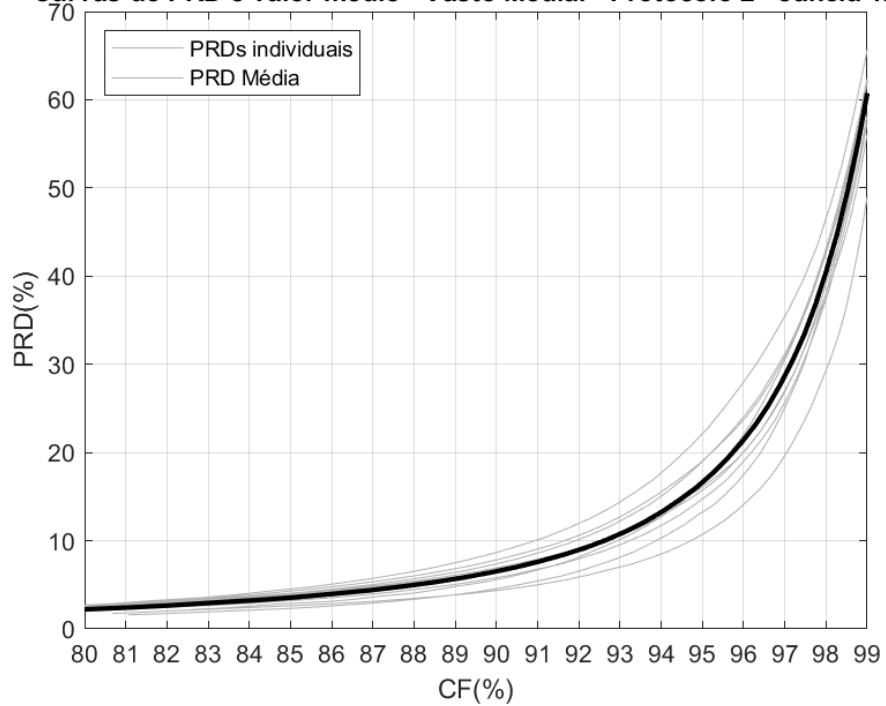


Figura 305 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 2 – Janela 128 (HEVC)

Curvas de PRD e valor médio - Vasto Medial - Protocolo 2 - Janela 256.

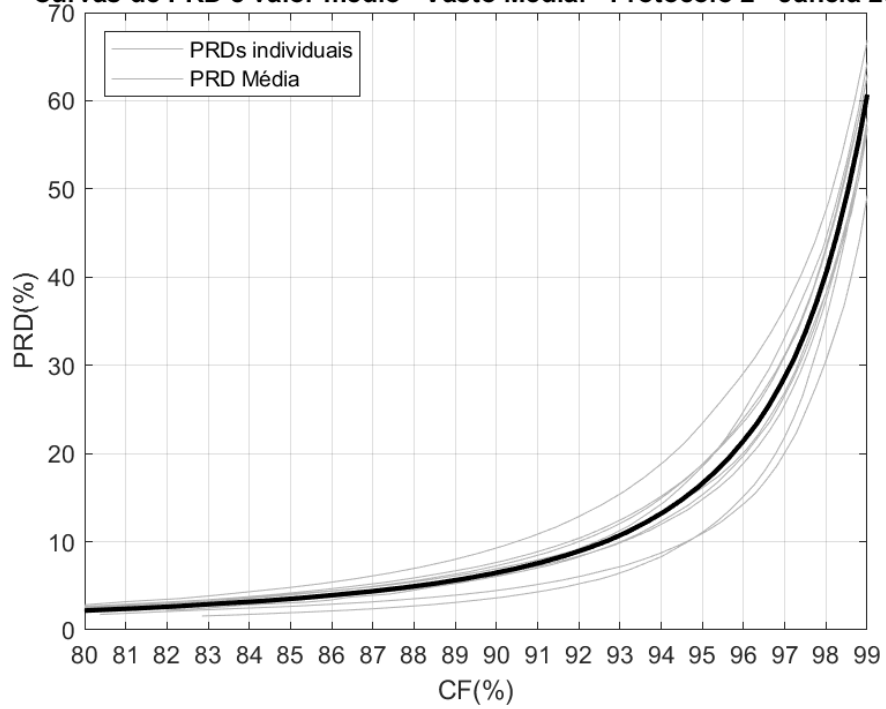


Figura 306 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 2 – Janela 256 (HEVC)

Curvas de PRD e valor médio - Vasto Medial - Protocolo 2 - Janela 512.

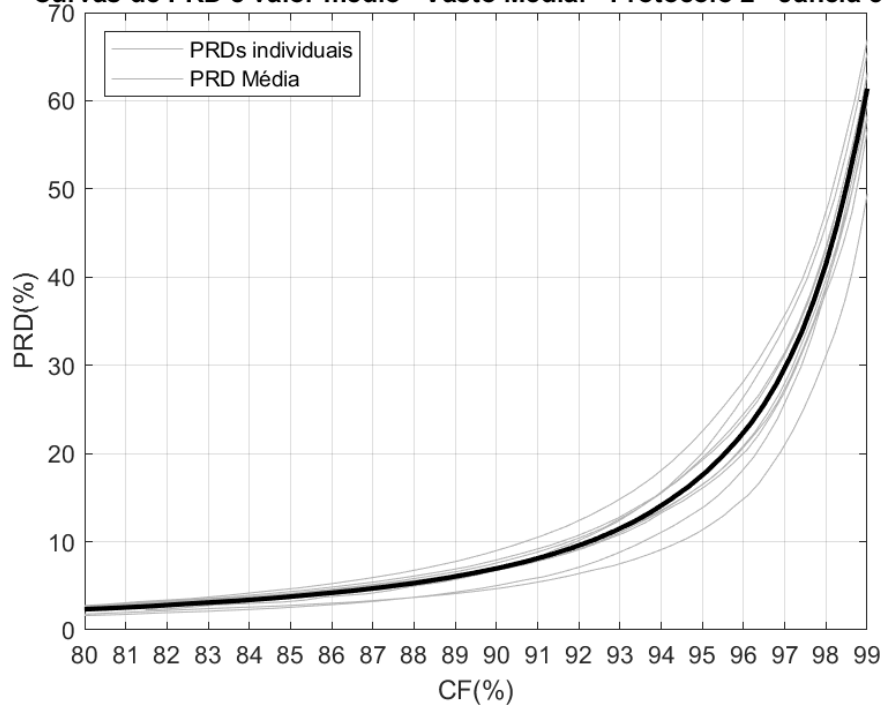


Figura 307 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 2 – Janela 512 (HEVC)

Curvas de PRD e valor médio - Vasto Medial - Protocolo 2 - Janela 1024.

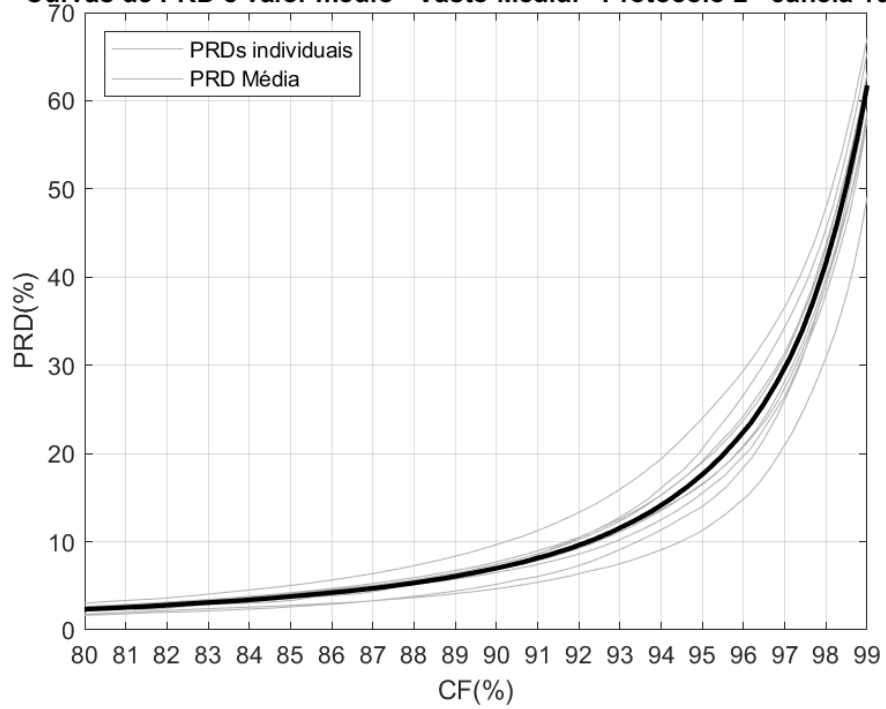


Figura 308 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 2 – Janela 1024 (HEVC)

Curvas de PRD e valor médio - Vasto Medial - Protocolo 2 - Janela 2048.

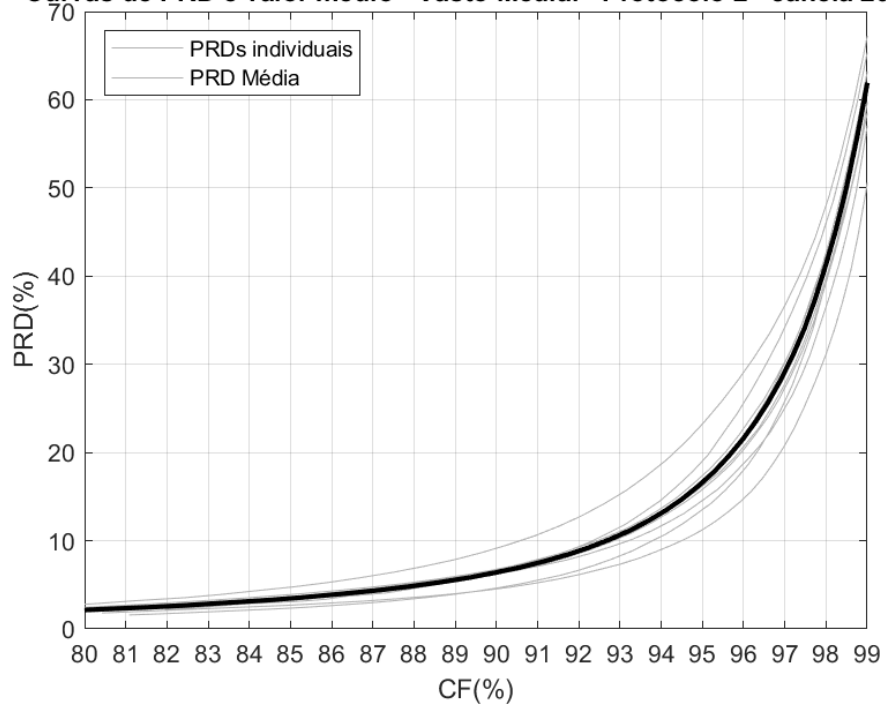


Figura 309 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 2 – Janela 2048 (HEVC)

Curvas de PRD e valor médio - Vasto Medial - Protocolo 2 - Janela 4096.

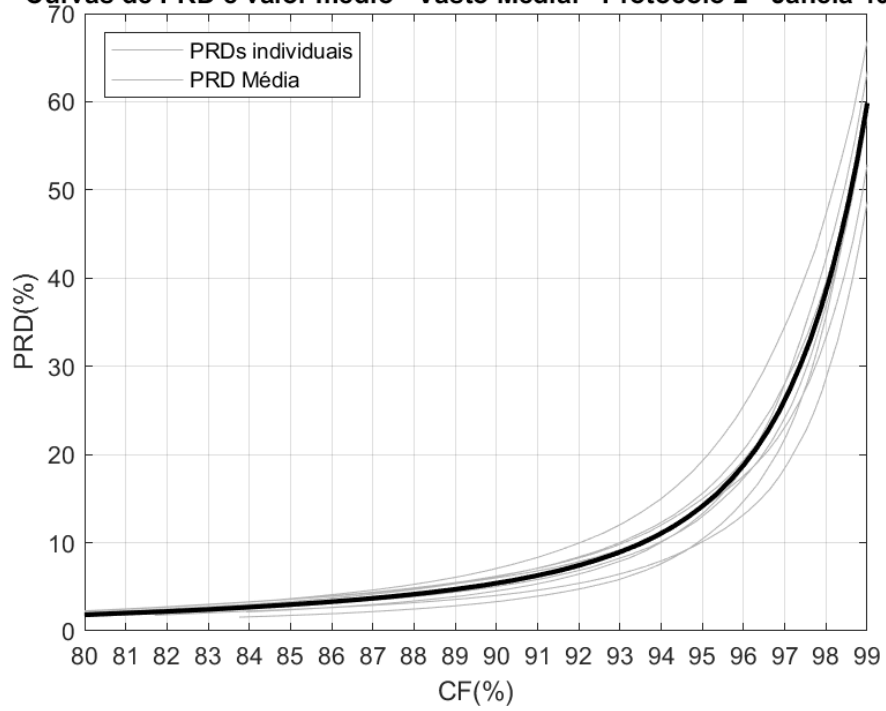


Figura 310 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 2 – Janela 4096 (HEVC)

Curvas de PRD e valor médio - Vasto Medial - Protocolo 2 - Janela 8192.

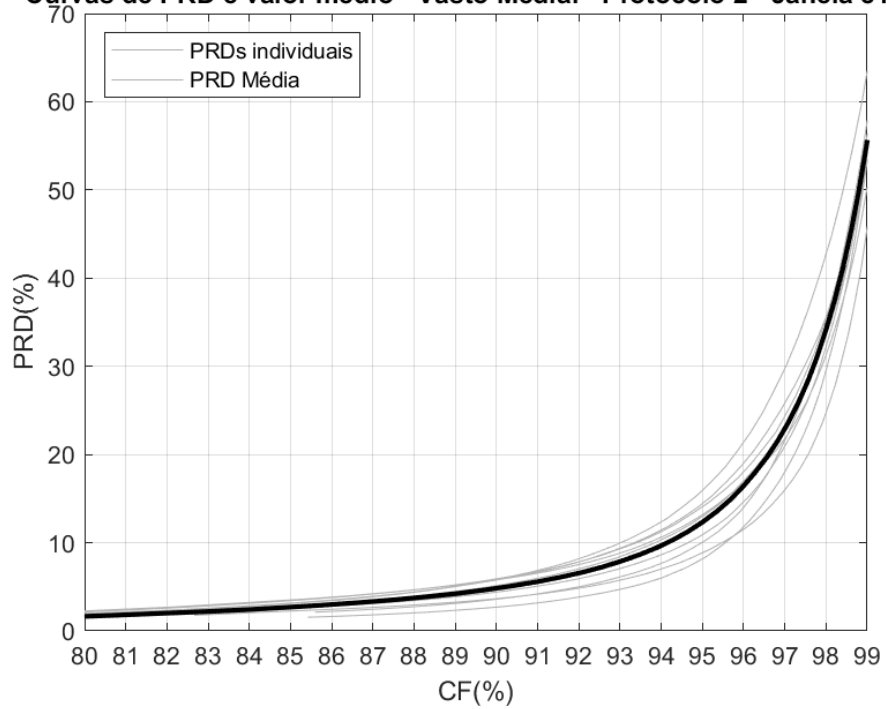


Figura 311 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 2 – Janela 8192 (HEVC)

Curvas de PRD e valor médio - Vasto Medial - Protocolo 3 - Janela 32.

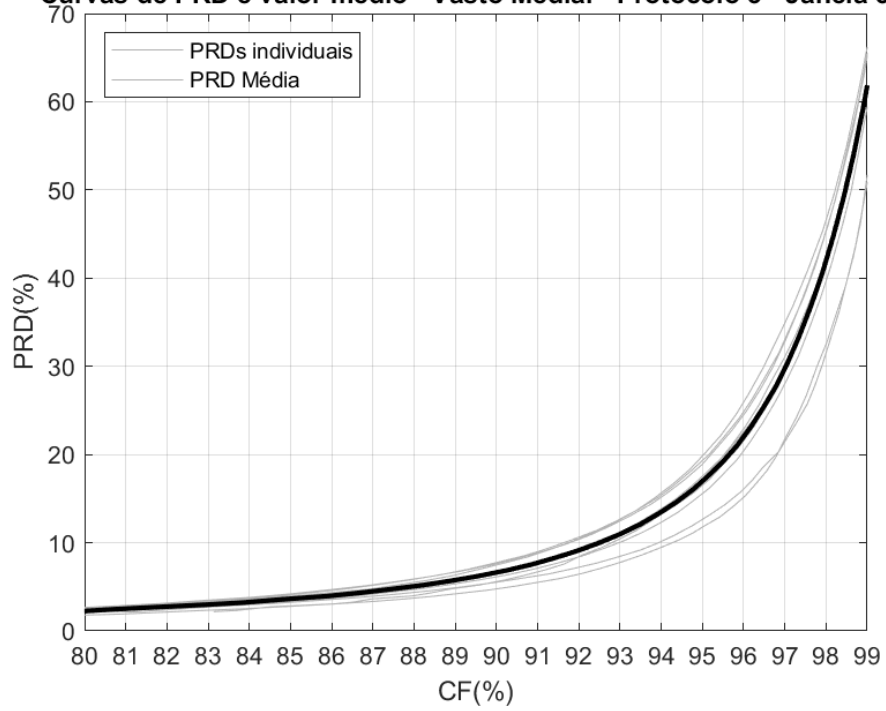


Figura 312 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 3 – Janela 32 (HEVC)

Curvas de PRD e valor médio - Vasto Medial - Protocolo 3 - Janela 64.

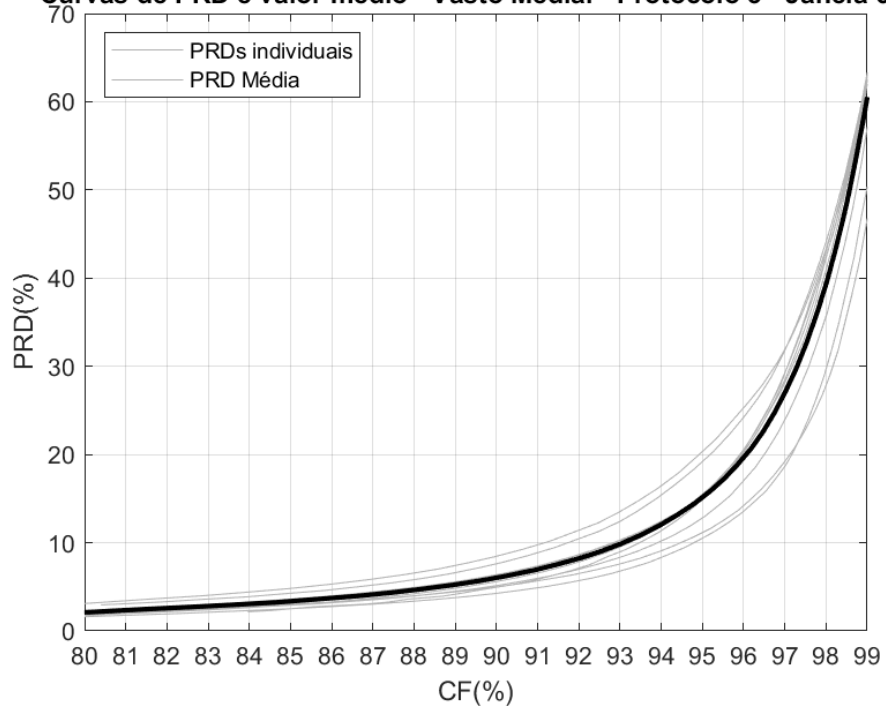


Figura 313 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 3 – Janela 64 (HEVC)

Curvas de PRD e valor médio - Vasto Medial - Protocolo 3 - Janela 128.

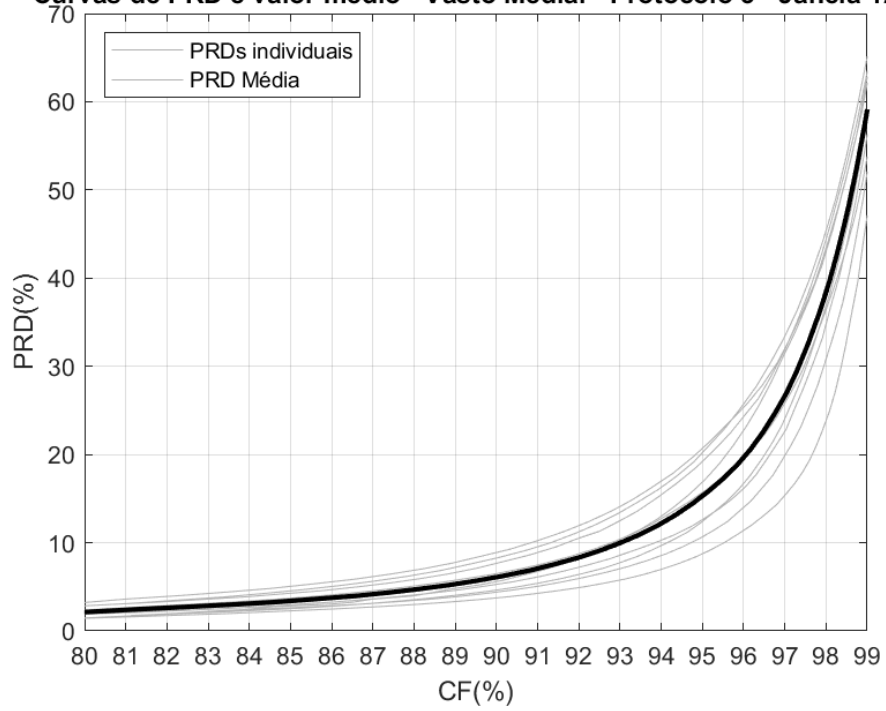


Figura 314 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 3 – Janela 128 (HEVC)

Curvas de PRD e valor médio - Vasto Medial - Protocolo 3 - Janela 256.

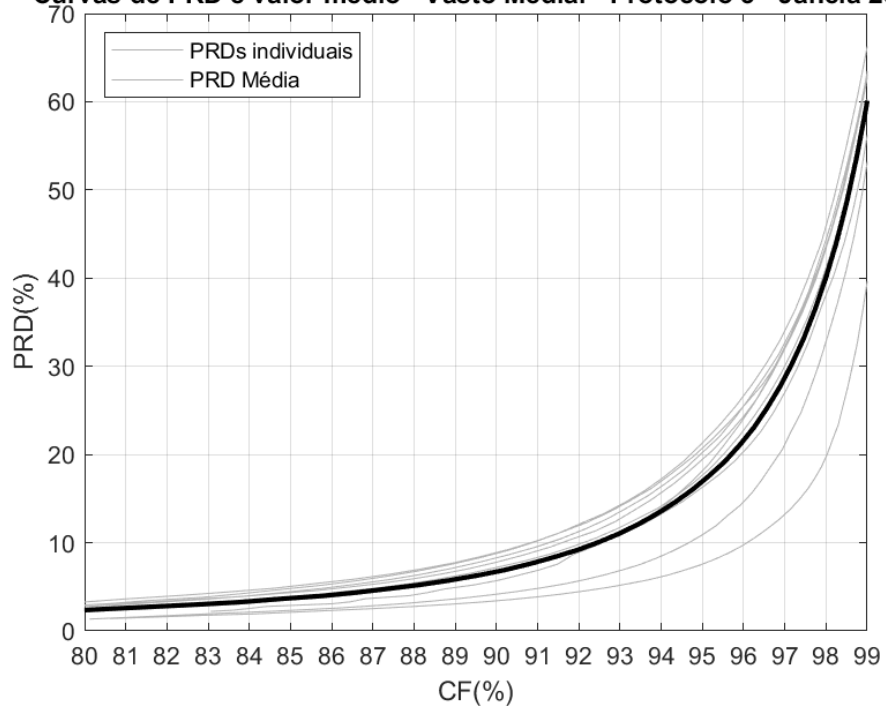


Figura 315 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 3 – Janela 256 (HEVC)

Curvas de PRD e valor médio - Vasto Medial - Protocolo 3 - Janela 512.

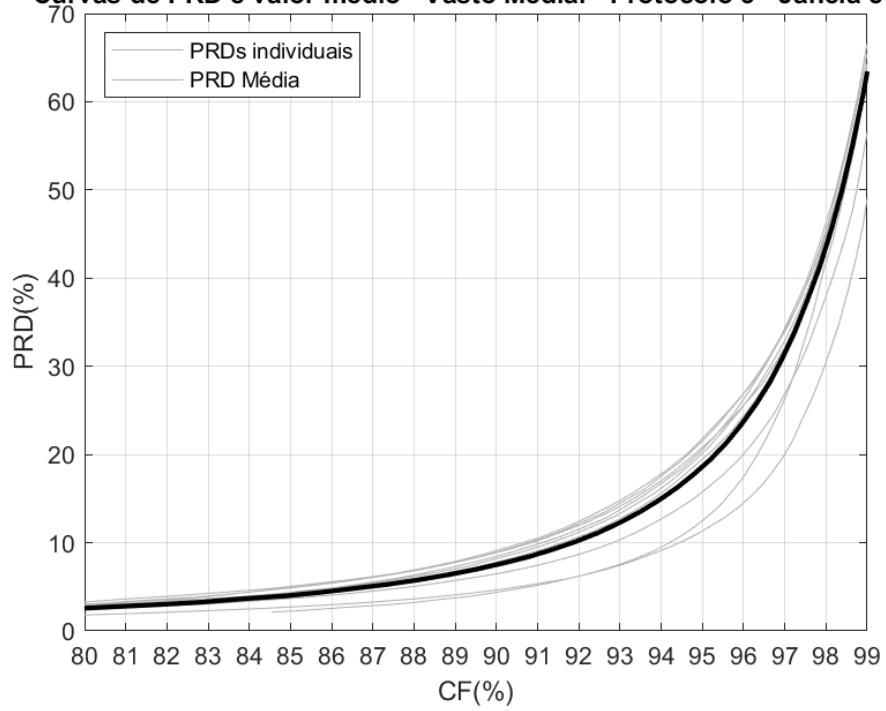


Figura 316 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 3 – Janela 512 (HEVC)

Curvas de PRD e valor médio - Vasto Medial - Protocolo 3 - Janela 1024.

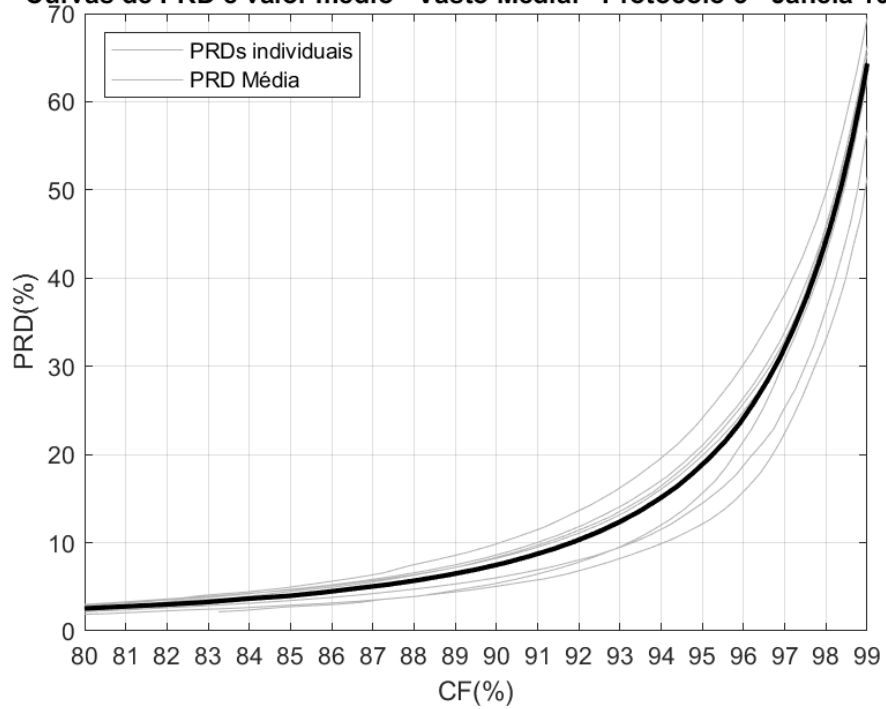


Figura 317 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 3 – Janela 1024 (HEVC)

Curvas de PRD e valor médio - Vasto Medial - Protocolo 3 - Janela 2048.

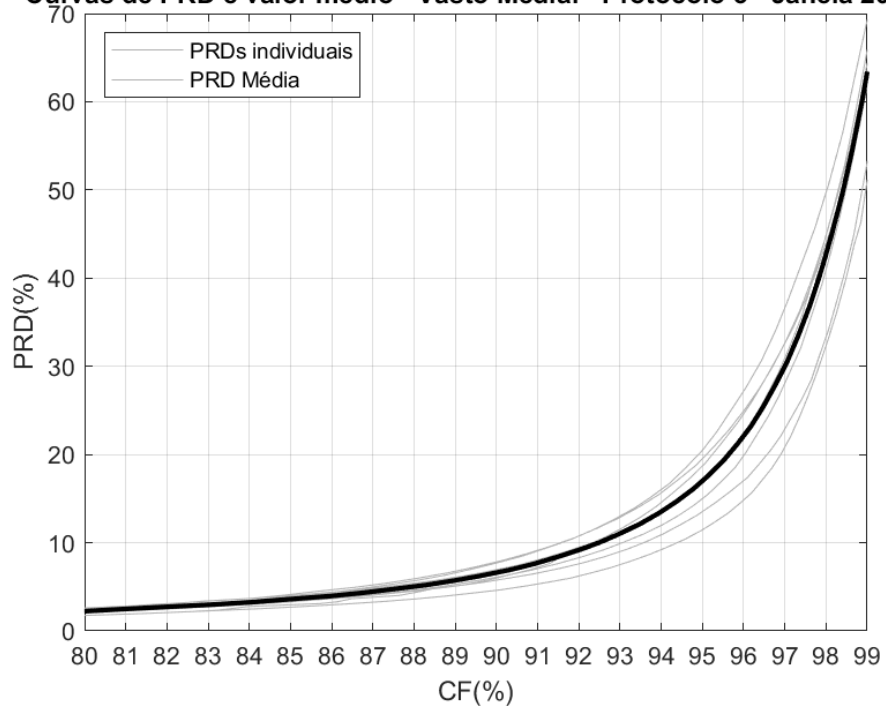


Figura 318 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 3 – Janela 2048 (HEVC)

Curvas de PRD e valor médio - Vasto Medial - Protocolo 3 - Janela 4096.

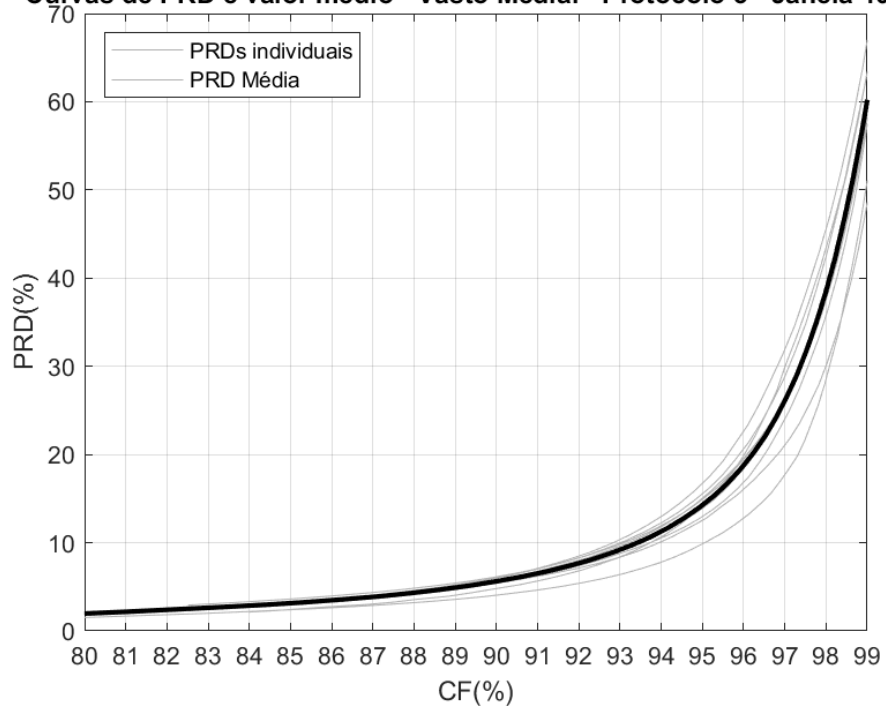


Figura 319 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 3 – Janela 4096 (HEVC)

Curvas de PRD e valor médio - Vasto Medial - Protocolo 3 - Janela 8192.

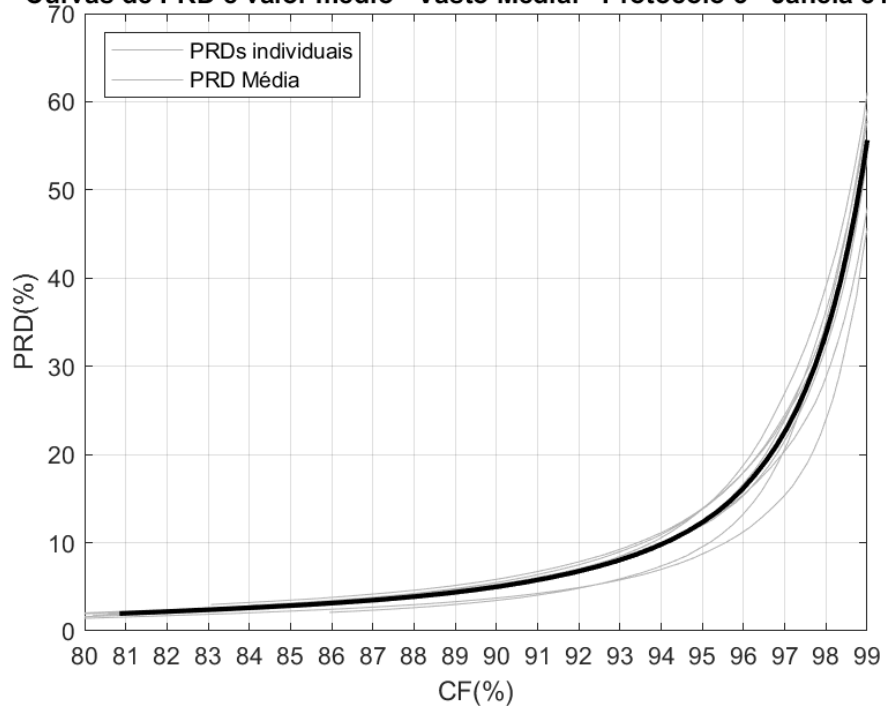


Figura 320 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 3 – Janela 8192 (HEVC)

APÊNDICE 3 – Resultados da codificação com HEVC para os 3 Protocolos (Tabelas do valor médio de PRD x CF para ponto de interesse)

Tabela 5.9 — Valores de PRD (%) para os sinais adquiridos no Protocolo 1 - HEVC (versão completa da Tabela 5.1).

	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
32	2,29	2,50	2,72	2,97	3,31	3,63	4,05	4,55	5,13	5,85	6,76	7,86	9,31	11,21	13,81	17,39	22,44	29,69	40,97	59,90
64	2,32	2,53	2,75	3,00	3,36	3,66	4,10	4,61	5,20	5,94	6,87	8,00	9,45	11,36	14,00	17,54	22,43	29,62	40,75	59,44
128	2,20	2,42	2,64	2,88	3,18	3,52	3,90	4,40	4,96	5,67	6,55	7,65	9,06	10,91	13,42	16,85	21,71	29,00	40,22	58,68
256	2,16	2,38	2,60	2,83	3,10	3,44	3,79	4,25	4,79	5,48	6,30	7,38	8,73	10,51	12,94	16,27	21,02	28,12	39,58	58,67
512	2,41	2,62	2,85	3,13	3,47	3,81	4,27	4,78	5,41	6,18	7,13	8,31	9,82	11,83	14,49	18,01	22,88	29,90	40,86	59,32
1024	2,27	2,49	2,71	2,96	3,31	3,62	4,04	4,57	5,15	5,88	6,79	7,94	9,40	11,34	13,94	17,53	22,49	29,65	40,77	59,42
2048	1,88	2,09	2,31	2,54	2,79	3,09	3,42	3,82	4,31	4,91	5,66	6,60	7,80	9,42	11,63	14,83	19,69	27,21	39,06	58,82
4096	-	1,79	1,99	2,20	2,41	2,66	2,94	3,27	3,66	4,15	4,75	5,52	6,51	7,79	9,56	12,21	16,31	23,01	34,41	54,80
8192	-	-	1,85	2,04	2,25	2,47	2,73	3,02	3,37	3,80	4,33	5,00	5,89	7,03	8,61	10,89	14,46	20,30	30,37	50,44

Tabela 5.10 — Valores de PRD (%) para os sinais adquiridos no Protocolo 2 - (HEVC) (versão completa da Tabela 5.2).

	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
32	2,15	2,34	2,57	2,85	3,14	3,47	3,86	4,32	4,86	5,54	6,38	7,43	8,78	10,56	13,04	16,48	21,37	28,83	40,70	61,16
64	2,18	2,38	2,60	2,88	3,17	3,50	3,90	4,35	4,91	5,59	6,43	7,48	8,84	10,61	13,05	16,44	21,23	28,60	40,35	60,39
128	2,22	2,41	2,65	2,93	3,22	3,55	3,96	4,42	4,99	5,68	6,54	7,60	8,96	10,77	13,24	16,63	21,43	28,71	40,47	60,69
256	2,19	2,39	2,62	2,91	3,19	3,52	3,93	4,39	4,95	5,63	6,49	7,55	8,93	10,73	13,21	16,63	21,46	28,70	40,47	60,64
512	2,34	2,55	2,81	3,10	3,40	3,78	4,21	4,70	5,30	6,06	6,97	8,12	9,58	11,51	14,11	17,56	22,41	29,73	41,50	61,33
1024	2,34	2,55	2,81	3,10	3,41	3,79	4,23	4,72	5,32	6,08	7,00	8,15	9,62	11,56	14,15	17,64	22,49	29,76	41,62	61,69
2048	2,15	2,34	2,56	2,84	3,13	3,46	3,87	4,32	4,88	5,57	6,41	7,48	8,85	10,66	13,13	16,63	21,64	29,17	41,32	61,85
4096	1,82	2,02	2,21	2,43	2,69	2,98	3,31	3,70	4,16	4,72	5,42	6,29	7,42	8,94	11,07	14,15	18,80	26,22	38,54	59,79
8192	1,65	1,83	2,01	2,20	2,43	2,70	3,00	3,34	3,74	4,22	4,84	5,58	6,56	7,87	9,68	12,33	16,44	22,94	34,17	55,59

Tabela 5.11 — Valores de PRD (%) para os sinais adquiridos no Protocolo 3 - (HEVC) (versão completa da Tabela 5.3).

	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
32	2,25	2,52	2,76	2,99	3,27	3,64	4,00	4,49	5,06	5,76	6,63	7,72	9,14	10,97	13,50	16,99	22,02	29,76	41,97	61,81
64	2,10	2,35	2,58	2,81	3,06	3,36	3,73	4,13	4,64	5,25	6,03	6,99	8,22	9,84	12,07	15,15	19,67	27,00	39,31	60,47
128	2,13	2,38	2,61	2,85	3,10	3,40	3,75	4,17	4,69	5,31	6,09	7,08	8,33	9,98	12,19	15,31	19,67	26,64	38,39	59,08
256	2,36	2,59	2,82	3,06	3,35	3,71	4,07	4,57	5,14	5,85	6,72	7,85	9,24	11,08	13,59	16,96	21,62	28,73	40,09	60,05
512	2,58	2,81	3,04	3,32	3,69	4,03	4,52	5,08	5,72	6,52	7,51	8,72	10,27	12,29	15,00	18,63	23,76	31,51	43,56	63,37
1024	2,55	2,78	3,00	3,28	3,66	3,99	4,49	5,05	5,69	6,50	7,49	8,75	10,33	12,39	15,13	18,89	24,17	32,14	44,30	64,27
2048	2,23	2,49	2,73	2,96	3,24	3,61	3,96	4,46	5,03	5,73	6,61	7,72	9,17	11,04	13,53	17,02	22,11	29,99	42,73	63,35
4096	1,97	2,17	2,39	2,62	2,87	3,15	3,48	3,86	4,33	4,91	5,63	6,53	7,68	9,21	11,29	14,28	18,78	26,12	38,51	60,16
8192		2,00	2,19	2,40	2,63	2,87	3,15	3,49	3,88	4,38	5,00	5,78	6,76	8,05	9,81	12,32	16,22	22,59	33,76	55,58

APÊNDICE 4 - Resultados da codificação com JPEG2000 com janela temporal 8192 amostras para os 3 Protocolos (Curvas PRD x CF e valor médio de PRD x CF).

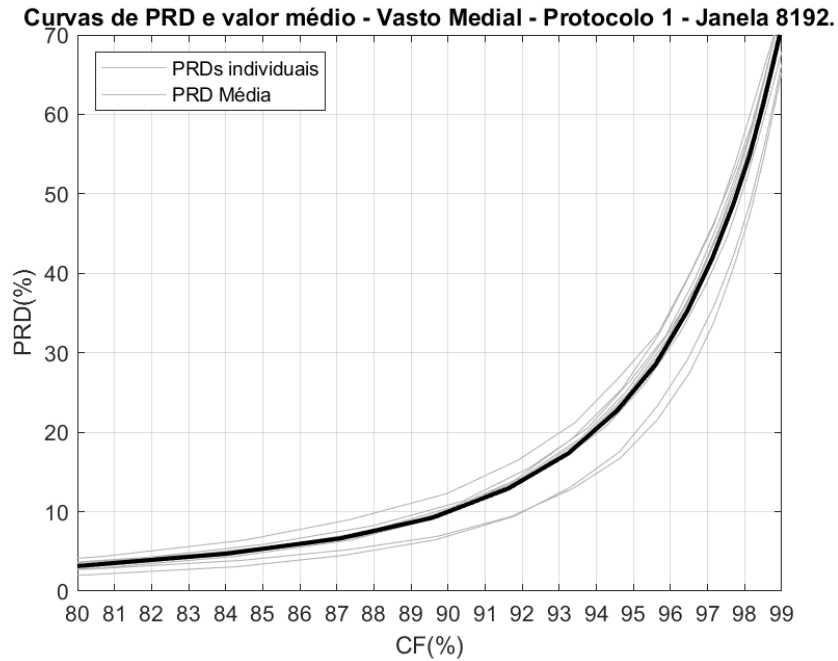


Figura 321 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 1 – Janela 8192– JPEG2000

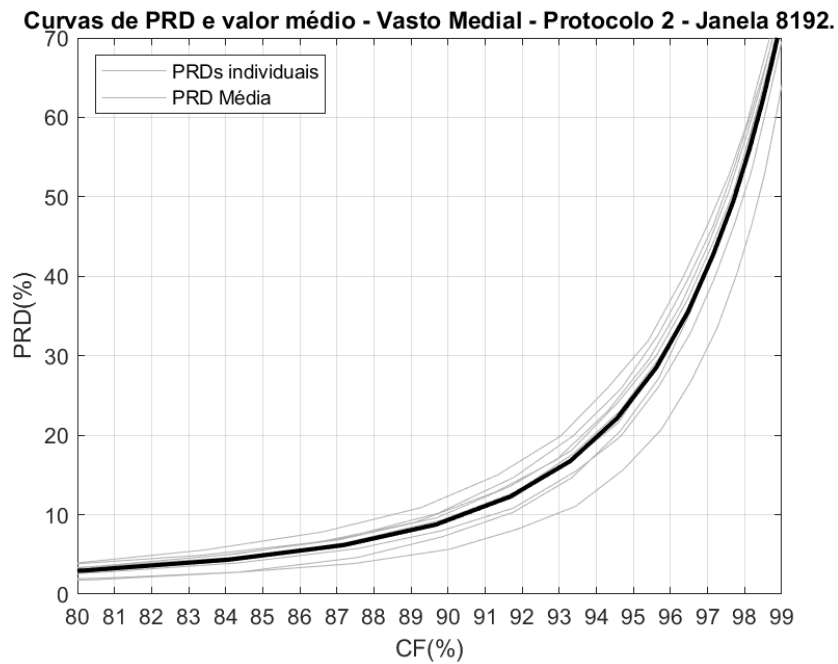


Figura 322 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 2 – Janela 8192– JPEG2000

Curvas de PRD e valor médio - Vasto Medial - Protocolo 3 - Janela 8192.

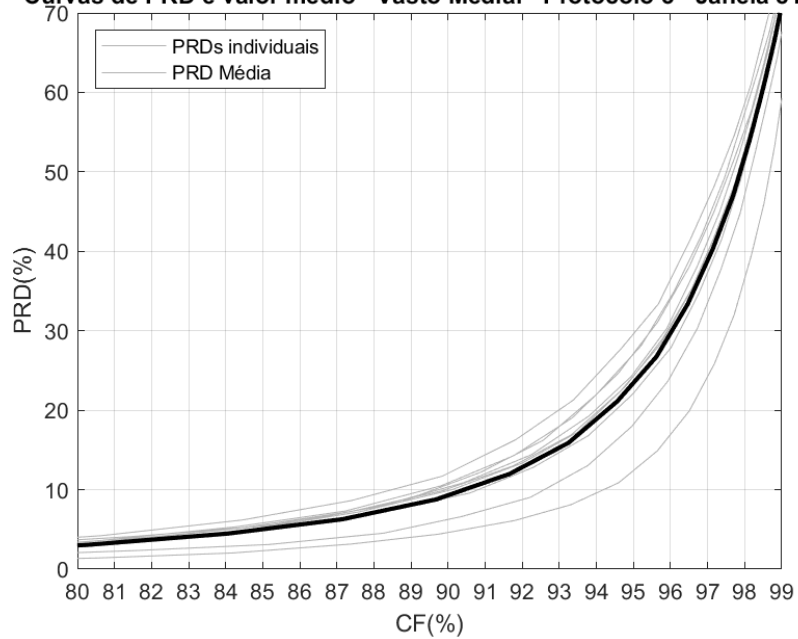


Figura 323 – PRD(%) x CF(%) – Protocolo 3 – Janela 8192– JPEG2000