



Universidade de Brasília – UnB  
Faculdade UnB Gama – FGA  
Engenharia Eletrônica

# **Otimização de Algoritmo de Classificação de Sinais de EEG Aplicados a BCI com Implementação em FPGA**

Autor: Heleno da Silva Moraes  
Orientador: PhD, Daniel Mauricio Muñoz Arboleda

Brasília, DF  
2017





Heleno da Silva Moraes

# **Otimização de Algoritmo de Classificação de Sinais de EEG Aplicados a BCI com Implementação em FPGA**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Eletrônica da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Universidade de Brasília – UnB

Faculdade UnB Gama – FGA

Orientador: PhD, Daniel Mauricio Muñoz Arboleda

Coorientador: Dr, Marcus Vinícius Chaffim Costa

Brasília, DF

2017

---

Heleno da Silva Morais

Otimização de Algoritmo de Classificação de Sinais de EEG Aplicados a BCI com Implementação em FPGA/ Heleno da Silva Morais. – Brasília, DF, 2017-  
29 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: PhD, Daniel Mauricio Muñoz Arboleda

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília – UnB  
Faculdade UnB Gama – FGA , 2017.

1. Palavra-chave01. 2. Palavra-chave02. I. PhD, Daniel Mauricio Muñoz Arboleda. II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Otimização de Algoritmo de Classificação de Sinais de EEG Aplicados a BCI com Implementação em FPGA

CDU 02:141:005.6

---

# Errata

Elemento opcional da ??, 4.2.1.2). **Caso não deseje uma errata, deixar todo este arquivo em branco.** Exemplo:

FERRIGNO, C. R. A. **Tratamento de neoplasias ósseas apendiculares com reimplantação de enxerto ósseo autólogo autoclavado associado ao plasma rico em plaquetas:** estudo crítico na cirurgia de preservação de membro em cães. 2011. 128 f. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

Folha	Linha	Onde se lê	Leia-se
1	10	auto-conclavo	autoconclavo



Heleno da Silva Moraes

# **Otimização de Algoritmo de Classificação de Sinais de EEG Aplicados a BCI com Implementação em FPGA**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Eletrônica da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 01 de junho de 2013 – Data da aprovação do trabalho:

---

**PhD, Daniel Mauricio Muñoz**  
**Arboleda**  
Orientador

---

**Titulação e Nome do Professor**  
**Convidado 01**  
Convidado 1

---

**Titulação e Nome do Professor**  
**Convidado 02**  
Convidado 2

Brasília, DF  
2017





**A dedicatória é opcional. Caso não deseje uma, deixar todo este arquivo em  
branco.**

*Este trabalho é dedicado às crianças adultas que,  
quando pequenas, sonharam em se tornar cientistas.*



# Agradecimentos

A inclusão desta seção de agradecimentos é opcional, portanto, sua inclusão fica a critério do(s) autor(es), que caso deseje(em) fazê-lo deverá(ão) utilizar este espaço, seguindo a formatação de *espaço simples e fonte padrão do texto (sem negritos, aspas ou itálico)*.

**Caso não deseje utilizar os agradecimentos, deixar toda este arquivo em branco.**



A epígrafe é opcional. Caso não deseje uma, deixe todo este arquivo em  
branco.

*“Não vos amoldeis às estruturas deste mundo,  
mas transformai-vos pela renovação da mente,  
a fim de distinguir qual é a vontade de Deus:  
o que é bom, o que Lhe é agradável, o que é perfeito.  
(Bíblia Sagrada, Romanos 12, 2)*



## Lista de ilustrações





# Lista de tabelas

Tabela 1 – Número de tarefas rotuladas e não rotuladas por sujeito (BLANKERTZ et al., 2006). . . . .	20
--	----



# Sumário

<b>1</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>19</b>
<b>1.1</b>	<b>O Cérebro</b>	<b>19</b>
<b>1.2</b>	<b>Eletroencefalografia</b>	<b>19</b>
<b>1.3</b>	<b><i>Brain Computer Interface</i></b>	<b>19</b>
<b>1.4</b>	<b><i>BCI Competition</i></b>	<b>19</b>
1.4.1	<i>BCI Competition III</i>	19
1.4.2	<i>BCI Competition III - Dataset IVa</i>	20
<b>1.5</b>	<b><i>Linear Discriminant Analysis</i></b>	<b>21</b>
<b>1.6</b>	<b><i>System-on-Chip</i></b>	<b>21</b>
<b>1.7</b>	<b>Estado da Arte</b>	<b>21</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>23</b>
	<b>APÊNDICES</b>	<b>25</b>
	<b>APÊNDICE A – PRIMEIRO APÊNDICE</b>	<b>27</b>
	<b>APÊNDICE B – SEGUNDO APÊNDICE</b>	<b>29</b>



# 1 Referencial Teórico

## 1.1 O Cérebro

O SNC (Sistema Nervoso Central) é o responsável direto pelo comando do nosso comportamento geral (CLARK NASHAAT BOUTROS, 2005). Ele pode ser dividido em duas principais áreas: medula espinhal e o cérebro (KANDEL, 2013). A medula espinhal, parte caudal do SNC recebe e processa todos os sinais dos sensores corporais, além de realizar o controle dos membros e do tronco humano (KANDEL, 2013). O cérebro é o processador central do SNC, nele são recebidos e processados os sinais da medula espinhal, além de fornecer todos os sinais de controle para a própria medula (KANDEL, 2013). O cérebro é dividido em 3 principais regiões: cerebrum, cerebelo e tronco encefálico (SIULY, 2012).

## 1.2 Eletroencefalografia

## 1.3 *Brain Computer Interface*

## 1.4 *BCI Competition*

A *BCI Competition* é uma competição que promove o desenvolvimento e melhoria da tecnologia voltada para as BCIs, onde são submetidas diferentes técnicas de análise de dados cerebrais (BLANKERTZ et al., 2006). Já foram realizadas quatro edições da competição, nos anos de 2001, 2002, 2004 e 2008 (BLANKERTZ et al., 2006). Em cada uma destas competições são fornecidos publicamente sinais cerebrais, adquiridos em laboratórios especializados (BLANKERTZ et al., 2006). Estes sinais são divididos em dois conjuntos de dados, os dados de treinamento e os dados de teste, que são utilizados para treinamento e teste dos algoritmos dos participantes (BLANKERTZ et al., 2006).

### 1.4.1 *BCI Competition III*

O objetivo do *BCI Competition III* é validar as metodologias de classificação e processamento de sinais cerebrais aplicados em BCIs desenvolvidas pelos participantes da competição (BCI..., ). Esta edição foi realizada entre Maio e Junho de 2004, onde foram disponibilizados 8 *datasets* (I, II, IIIa, IIIb, IVa, IVb, IVc e V), desenvolvidos com a participação de 49 laboratórios especializados (BLANKERTZ et al., 2006). Para cada um dos *datasets* foram realizadas diferentes tarefas que estimulam atividades cerebrais

durante a aquisição dos sinais, configurando assim um objetivo específico para cada um dos *datasets* (BCI...).

### 1.4.2 BCI Competition III - Dataset IVa

O *dataset IVa* refere-se a um conjunto de dados adquiridos através da EEG, onde os sujeitos (indivíduos nos quais foram capturados os sinais) foram submetidos a estimular o cérebro por imagética motora, através de indicações visuais (BLANKERTZ et al., 2006). Os indivíduos foram submetidos a realizarem três tarefas, indicadas visualmente por 3.5s cada tarefa, sendo interrompidas em periodos aleatórios entre 1.75s e 2.25s, onde o sujeito era submetido a um periodo de relaxamento (BLANKERTZ et al., 2006). As três tarefas de imagéticas motoras foram: (L) mão esquerda, (R) mão direita e (F) pé direito (BLANKERTZ et al., 2006).

Foram adquiridos sinais de 5 sujeitos rotulados em *aa*, *al*, *av*, *aw* e *ay*, onde foram executadas no total 280 tarefas por cada sujeito, algumas previamente rotulada (dados de treinamento) em cada instante de tempo onde a tarefa foi executada, outras não rotuladas (dados de teste) (BCI...). Estes sinais foram adquiridos, tratados e disponibilizados por *Fraunhofer FIRST, Intelligent Data Analysis Group (Head: Klaus-Robert Müller), and Charité University Medicine Berlin, Campus Benjamin Franklin, Department of Neurology, Neurophysics Group* (BLANKERTZ et al., 2006). A tabela 1 apresenta a quantidade de tarefas previamente classificadas (nomeados #tr) e a quantidade de tarefas não classificadas (nomeadas #te) para cada sujeito.

Tabela 1 – Número de tarefas rotuladas e não rotuladas por sujeito (BLANKERTZ et al., 2006).

Sujeitos	#tr	#te
<i>aa</i>	168	112
<i>al</i>	224	56
<i>av</i>	84	196
<i>aw</i>	56	224
<i>ay</i>	28	252

Os dados foram adquiridos e armazenados utilizando amplificadores do tipo *Braï-nAmp* e uma capa de eletrodos de 128 canais. Foram utilizados 118 canais de EEG posicionados de acordo com o sistema 10/20. Cada um destes canais foram filtrados em banda passante, utilizando um filtro *butterworth* de quinta ordem entre as frequências de 0.05 e 200 Hz, posteriormente foram digitalizados com uma frequência de amostragem de 1 kHz com precisão de 16 bits, apresentando uma resolução de 0.1 uV, além disso também foram disponibilizados os mesmos dados com uma frequência de amostragem de 100 Hz (BCI...).

## 1.5 Linear Discriminant Analysis

Supondo a existência de um conjunto de dados  $L$ , com características multivariadas, e que cada dado seja conhecido devido ser proveniente de uma das classes  $K$ , tal que são predefinidas com características semelhantes aos dados. As classes podem ser exemplificadas como sendo: espécies de plantas, presença ou ausência de uma condição médica específica, diferentes tipos de tumores, tipos de veículos automotores entre outros. Para separar as classes conhecidas uma das outras, é atribuído um rótulo a cada classe, então os dados são representados como dados rotulados. (livro Modern Multivariate Statistical Techniques - Alan J. Izenman)

Devido a indispensabilidade de diminuir as dimensões dos dados de um determinado conjunto, o objetivo do LDA é reduzir a dimensão do espaço de conjunto de dados, resolvendo o inconveniente da sobreposição. (A Comparison of Linear Discriminant Analysis and Ridge Classifier on Twitter Data)

## 1.6 System-on-Chip

*System-on-Chip* (SoC), implica que todo sistema que contém funcionalidades implementadas em *hardware* e *software* se encontra em um único chip de silício, combinando processamento, lógica de alta velocidade, interface, memória entre outros componentes ao invés de uma implementação maior em vários *chips* físicos diferentes agrupados em uma placa de circuito impresso. (livro zynq book)

São vários os argumentos a favor da escolha de um SoC a uma placa de circuito impresso, pode-se citar que a solução é de menor custo, viabiliza transferência de dados mais rápidas e seguras entre vários elementos do sistema, possui maior velocidade geral do sistema, menor consumo de energia entre vários outros elementos que fortalecem a escolha de um SoC em sistemas discretos com componentes equivalentes. (livro zynq book)

## 1.7 Estado da Arte





# Referências

BCI Competition III. <[http://www.bbc.de/competition/iii/desc\\_IVa.html](http://www.bbc.de/competition/iii/desc_IVa.html)>. Accessed: 2017-10-22. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.

BLANKERTZ, B. et al. The bci competition iii: validating alternative approaches to actual bci problems. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, v. 14, n. 2, p. 153–159, June 2006. ISSN 1534-4320. Citado 3 vezes nas páginas 15, 19 e 20.

BRUNELLI, R. *Template matching techniques in computer vision: theory and practice*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2009. Nenhuma citação no texto.

CLARK NASHAAT BOUTROS, M. M. D. *The Brain and Behavior: An Introduction to Behavioral Neuroanatomy*. 2. ed. Cambridge University Press, 2005. ISBN 0521840503,9780521840507. Disponível em: <<http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=D00D7BF8931D1C6313FA52A331272806>>. Citado na página 19.

KANDEL, e. a. E. R. *Principles of Neural Science*. 5. ed. The address: Mc Graw Hill, 2013. v. 2. An optional note. ISBN 978007181001-2. Citado na página 19.

LOTTE, F. *Study of electroencephalographic signal processing and classification techniques towards the use of brain-computer interfaces in virtual reality applications*. Tese (Doutorado) — INSA de Rennes, 2008. Nenhuma citação no texto.

LOTTE, F.; GUAN, C. Regularizing common spatial patterns to improve bci designs: Unified theory and new algorithms. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, v. 58, n. 2, p. 355–362, Feb 2011. ISSN 0018-9294. Nenhuma citação no texto.

MASON, S. G.; BIRCH, G. E. A general framework for brain-computer interface design. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, v. 11, n. 1, p. 70–85, March 2003. ISSN 1534-4320. Nenhuma citação no texto.

SIULY, S. *Analysis and Classification of EEG Signals*. Dissertação (Mestrado) — University of Southern Queensland, <https://www.springer.com/gp/book/9783319476520>, 7 2012. Citado na página 19.

SIULY, S.; LI, Y.; ZHANG, Y. *EEG Signal Analysis and Classification: Techniques and Applications*. [S.l.]: Springer, 2017. Nenhuma citação no texto.



## Apêndices



# APÊNDICE A – Primeiro Apêndice

Texto do primeiro apêndice.



## APÊNDICE B – Segundo Apêndice

Texto do segundo apêndice.