

**UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS**  
**CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO – BACHARELADO**

**SISTEMA PARA RECONHECIMENTO DE ONDAS**  
**CEREBRAIS E INTERAÇÃO COM AMBIENTE VIRTUAL**

**LUCCAS DE SOUZA SILVA**

**BLUMENAU**  
**2017**

**LUCCAS DE SOUZA SILVA**

**SISTEMA PARA RECONHECIMENTO DE ONDAS  
CEREBRAIS E INTERAÇÃO COM AMBIENTE VIRTUAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Ciência da Computação do Centro de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Regional de Blumenau como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

Prof. Dalton Solano dos Reis, Titulação - Orientador

**BLUMENAU  
2017**

# **SISTEMA PARA RECONHECIMENTO DE ONDAS CEREBRAIS E INTERAÇÃO COM AMBIENTE VIRTUAL**

Por

**LUCCAS DE SOUZA SILVA**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado  
para obtenção dos créditos na disciplina de  
Trabalho de Conclusão de Curso II pela banca  
examinadora formada por:

Presidente: \_\_\_\_\_  
Prof. Dalton Solano dos Reis, Titulação – Orientador, FURB

Membro: \_\_\_\_\_  
Prof(a). Nome do(a) Professor(a), Titulação – FURB

Membro: \_\_\_\_\_  
Prof(a). Nome do(a) Professor(a), Titulação – FURB

Blumenau, dia de mês de ano [data da apresentação]

Dedico este trabalho ... [Geralmente um texto pouco extenso, onde o autor homenageia ou dedica o trabalho a alguém. Colocar a partir do meio da página.]

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família...

Aos meus amigos...

Ao meu orientador...

[Colocar menções a quem tenha contribuído, de alguma forma, para a realização do trabalho.]

[Epígrafe: frase que o estudante considera significativa para sua vida ou para o contexto do trabalho. Colocar a partir do meio da página.]

[Autor da Epígrafe]

## RESUMO

O resumo é uma apresentação concisa dos pontos relevantes de um texto. Informa suficientemente ao leitor, para que este possa decidir sobre a conveniência da leitura do texto inteiro. Deve conter OBRIGATORIAMENTE o **OBJETIVO, METODOLOGIA, RESULTADOS e CONCLUSÕES**. O resumo deve conter de 150 a 500 palavras e deve ser composto de uma sequência corrente de frases concisas e não de uma enumeração de tópicos. O resumo deve ser escrito em um único texto corrido (sem parágrafos). Deve-se usar a terceira pessoa do singular e verbo na voz ativa (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003).

Palavras-chave: Ciência da computação. Monografia. Resumo. Formato.

[Palavras-chave são separadas por ponto, com a primeira letra maiúscula. Caso uma palavra-chave seja composta por mais de uma palavra, somente a primeira deve ser escrita com letra maiúscula, sendo que as demais iniciam com letra minúscula, desde que não sejam nomes próprios.]

## **ABSTRACT**

*Abstract* é o resumo traduzido para o inglês. *Abstract* vem em uma nova folha, logo após o resumo. Escrever com letra normal (sem itálico).

Key-words: Computer science. Monograph. Abstract. Format.

[*Key-words* são separadas por ponto, com a primeira letra maiúscula. Caso uma *key-word* seja composta por mais de uma palavra, somente a primeira deve ser escrita com letra maiúscula, sendo que as demais iniciam com letra minúscula, desde que não sejam nomes próprios.]



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Exemplo de uma rede de Petri ..... **Erro! Indicador não definido.**

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Disposição de elementos do Trabalho de Conclusão de Curso ..... **Erro! Indicador não definido.**

Quadro 2– Estilos do modelo ..... **Erro! Indicador não definido.**

Quadro 3 - Espaçamento..... **Erro! Indicador não definido.**

Quadro 4 – Funções que verificam se as transições estão sensibilizadas.. **Erro! Indicador não definido.**

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Trabalhos finais realizados no Curso de Ciência da Computação.. **Erro! Indicador não definido.**

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

[Deve conter as abreviaturas e siglas utilizadas mais de uma vez ao longo do texto em ordem alfabética. A seguir estão dois exemplos de forma de apresentação.]

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

API – Application Programming Interface

EEG – Eletroencefalografia

ICC – Interface Cérebro- Computador

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1 OBJETIVOS.....	14
1.2 ESTRUTURA.....	14
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>15</b>
2.1 MONITORAMENTO DE ONDAS CEREBRAIS .....	15
2.2 INTERFACES CÉREBRO-COMPUTADOR .....	17
2.3 MINDWAVE .....	21
2.4 TRABALHOS CORRELATOS .....	22
2.4.1 Sistema para movimentar cadeira de rodas .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.4.2 NeuroPhone .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.4.3 Sistema de soletração de palavras .....	22
<b>3 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA .....</b>	<b>23</b>
3.1 REQUISITOS .....	23
3.2 ESPECIFICAÇÃO .....	23
3.3 IMPLEMENTAÇÃO .....	24
3.3.1 Técnicas e ferramentas utilizadas.....	24
3.3.2 Operacionalidade da implementação .....	24
3.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	24
<b>4 CONCLUSÕES .....</b>	<b>25</b>
4.1 EXTENSÕES .....	25
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>26</b>
<b>APÊNDICE A – RELAÇÃO DOS FORMATOS DAS APRESENTAÇÕES DOS TRABALHOS .....</b>	<b>28</b>
<b>ANEXO A – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE CONTAGEM DE CITAÇÕES DE AUTORES POR SEMESTRE NOS TRABALHOS DE CONCLUSÕES REALIZADOS NO CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO .....</b>	<b>29</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O eletroencefalograma (EEG) é um método que envolve gravar e analisar sinais elétricos gerados pelo cérebro (EBERSOLE; PEDLEY, 2003, p. 33). Segundo Quinonez (1998, p. 1) e Ebersole e Pedley (2003, p. 33) com o passar dos anos, o advento de equipamentos digitais compactos e performáticos, com melhor arquivamento e manipulação de dados, revolucionou a maneira como este método é realizado e interpretado. Ebersole e Pedley (2003, p. 33) também afirmam que além da inovação tecnológica, o baixo custo dos componentes eletrônicos necessários contribuiu para a crescente evolução do equipamento. Essa revolução digital tornou o equipamento para realização de EEG não apenas mais prático de ser utilizado, como também menor.

Casson et al. (2010, p. 1) afirma que o EEG, como um clássico método não invasivo, também é utilizado em diversas áreas, como o estudo de epilepsias e distúrbios do sono às Interfaces Cérebro-Computador (ICC). Casson et al. (2010, p. 1) e Maskeliunas et al. (2016) concordam que nos tempos atuais, os equipamentos de EEG não são mais limitados a hospitais e laboratórios. O advento de equipamentos vestíveis, pequenos e relativamente baratos é visto como uma evolução dos equipamentos de unidades ambulatoriais, permitindo que a tecnologia surja em espaços residenciais e educacionais. Esses pequenos equipamentos permitem prolongar o monitoramento de condições crônicas como epilepsia e ALS (Amyotrophic Lateral Sclerosis), além da melhor aceitação de sistemas com Interfaces Cérebro-Computador.

Meng et al. (2016, p. 1) descreve um ICC como uma classe de tecnologias emergentes que tem como objetivo de intermediar o cérebro e o mundo exterior. Maskeliunas et al. (2016) expressa também que o uso de ICCs permite o controle de aplicações e dispositivos sem movimentos físicos. O desenvolvimento desse tipo de sistema obteve sucesso não apenas por ajudar pessoas com deficiências, mas também por permitir uma entrada a mais de informação para controle de jogos e aplicações de realidade aumentada. A disponibilidade de equipamentos de EEG mais baratos permitiu que essa tecnologia fosse adquirida e utilizada em situações e ambientes mais informais, como escolas e casas. Os benefícios desses equipamentos são o preço e facilidade de uso (MASKELIUNAS et al, 2016, p. 2, tradução nossa).

Hammon e De Sa (2007) descrevem que o objetivo final das pesquisas em ICCs é o desenvolvimento de um sistema que responde às modulações do cérebro de um usuário e então se comunica com o ambiente externo de maneira apropriada. Anupama, Cauvery e

Lingaraju (2012, p. 5-6) relatam que com o passar dos anos, diversos experimentos de prova de conceito demonstraram como pessoas incapazes de se mover fisicamente podem utilizar ICCs, baseados em equipamentos de EEG, para controlar robôs, selecionar informação e até soletrar palavras. Em estudos mais recentes podemos ver braços robóticos sendo utilizados para alcançar e segurar objetos (MENG et al., 2016), melhorias em locomoção (LUU et al, 2017) e até pessoas paralisadas utilizando computadores para falar (VANSTEENSEL et al, 2016). O desenvolvimento da área ocorre através de pesquisas e experimentos.

Diante do exposto, este trabalho visa desenvolver um sistema para monitoramento de estímulos cerebrais e interação em ambientes virtuais. Esse sistema permitirá que pesquisas e estudos sobre ICCs sejam mais facilmente realizadas.

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é disponibilizar um sistema para monitoramento de estímulos cerebrais e interação em ambientes virtuais, utilizando um equipamento de EEG.

Os objetivos específicos são:

- a) disponibilizar um cenários de testes onde sinais e comandos captados pelo equipamento de EEG são utilizados para interagir com o ambiente virtual;
- b) permitir que o usuário treine seus próprios comandos para serem utilizados no ambiente virtual;
- c) registrar um históricos dos dados captados durante os cenários de teste relacionados ao usuário;

## 1.2 ESTRUTURA

Este trabalho está dividido em quatro capítulos. O primeiro é dedicado à introdução ao tema e aos objetivos gerais e específicos. O segundo capítulo detalha a fundamentação teórica, visando fornecer embasamento a respeito dos principais assuntos abordados no trabalho e necessários para o bom entendimento. Além disso são exibidos três trabalhos correlatos a este. No terceiro capítulo é apresentada a arquitetura do sistema através de diagramas, o detalhamento da implementação com as principais técnicas e ferramentas utilizadas e a operacionalidade da aplicação. Na sequência do capítulo são apresentadas as análises dos resultados, comentando as dificuldades encontradas durante o desenvolvimento, além da realização de testes de interface, usabilidade e comparativo com trabalhos correlatos. Por fim, o quarto capítulo expõe as conclusões obtidas no presente trabalho e apresenta sugestões de extensões para trabalhos futuros.

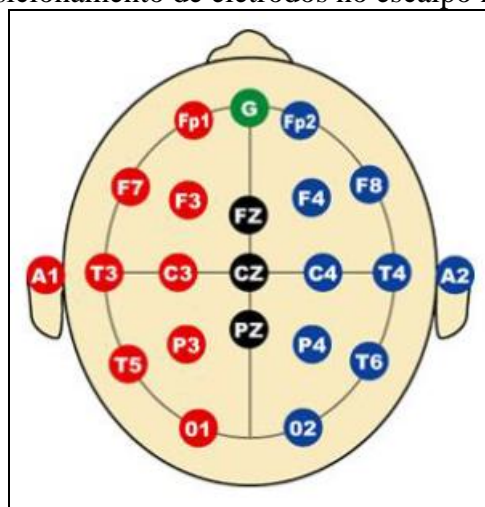
## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo tem como objetivo explorar os principais assuntos para a realização deste trabalho. A seção 2.1 aborda o monitoramento de ondas cerebrais e conceitos teóricos na integração com o equipamento de EEG. A seção 2.2 apresenta a área de interfaces cérebro-computador, além de descrever as funcionalidades pertinentes ao desenvolvimento do trabalho. A seção 2.3 aborda o equipamento que será utilizado, o MindWave, e por fim, a seção 2.4 apresenta os trabalhos com objetivos semelhantes ao tema deste.

### 2.1 MONITORAMENTO DE ONDAS CEREBRAIS

Teplan (2002, p. 2) esclarece que a existência de correntes elétricas no cérebro foi descoberta em 1875, pelo médico inglês Richard Caton. Anos mais tarde, em 1924, Hans Berger, um neurologista alemão, usou um equipamento de rádio comum para amplificar a atividade elétrica cerebral medida no escalpo humano. Berger anunciou que as correntes elétricas fracas geradas no cérebro podem ser captadas sem a abertura do crânio, abrindo caminho para muitas aplicações de eletroencefalografia ao passar dos anos. O eletroencefalograma (EEG), como definiram Ebersole e Pedley (2003, p. 33), é um método que envolve gravar e analisar os sinais elétricos gerados pelo cérebro. A captação da corrente elétrica cerebral, no caso do EEG, acontece através de eletrodos em contato com o escalpo (LARSEN, 2011, p. 9). A Figura 1 ilustra o posicionamento dos eletrodos no padrão conhecido como 1020.

Figura 1 - Posicionamento de eletrodos no escalpo no padrão 1020



Fonte: Larsen (2011).

Larsen (2011, p. 10) explica que Hans Berger também descobriu que diferentes frequências elétricas podiam ser relacionadas a ações e diferentes estados mentais. As diferentes frequências elétricas cerebrais, como afirmam Larsen (2011, p. 10), Teplan (2002)

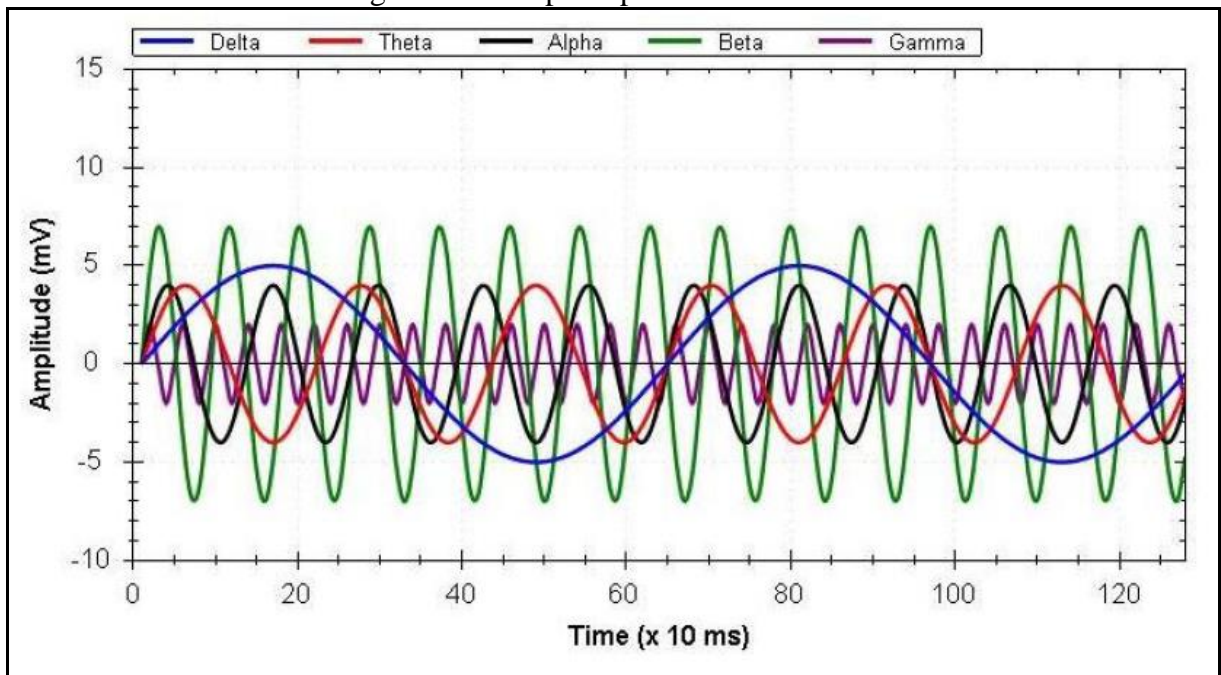


e Isa et al. (2014), devem ser medidas em ciclos por segundo ou Hertz (Hz), também conhecido como frequência de atividade cerebral, ou onda cerebral. Dessa forma as ondas cerebrais podem ser separadas em cinco categorias, como explica Larsen (2011, p. 10-11) sendo elas:

- a) Gama: com frequência de 31 Hz e superior, é suposto que essa onda cerebral reflete a consciência. Ondas Beta e Gama juntas são associadas com atenção, percepção e processo cognitivo;
- b) Beta: com frequência entre 12 e 30 Hz, essa onda é normalmente dividida em B1 e B2 para frequências específicas. Ondas beta são pequenas e rápidas, e associadas à concentração;
- c) Alfa: com frequência entre 7,5 e 12 Hz, essa onda é devagar e associada a relaxamento e desprendimento. Pensar em coisas calmas enquanto de olhos fechados deve aumentar a atividade de ondas alfa;
- d) Teta: com frequência entre 3,5 e 7,5 Hz, essa onda é relacionada a ineficiência, sonhar acordado, e no ponto mais baixo representa a linha entre dormir e acordar. Ondas Teta são afetadas por estresse emocional, especialmente frustração ou desapontamento. Também pode ser associado com inspiração criativa e meditação;
- e) Delta: com frequência entre 0,5 e 3,5 Hz, essa onda é a mais lenta e ocorre enquanto dormimos. A suposta ocorrência dessa onda enquanto acordado é dita como indicação de deficiência cerebral.

Como explicam Chambers e Sanei (2013), os sinais captados através de um EEG podem ser utilizados para diversas questões clínicas, como monitorar estados de alerta e coma, localizar lesões cerebrais, derrames e tumores, investigar distúrbios do sono e efeitos de medicamentos, entre outros. Um ponto importante em meio a isso é o grande potencial contido nas informações captadas durante a eletroencefalografia. A figura 2 ilustra as 5 principais ondas cerebrais.

Figura 2 - As 5 principais ondas cerebrais



Fonte: Larsen (2011).

## 2.2 INTERFACES CÉREBRO-COMPUTADOR

Meng et al. (2016, p. 1) e Maskeliunas et al. (2016, p. 1) descrevem Interfaces Cérebro-Computador (ICC) como tecnologias intermediárias entre o cérebro e computador, ou máquina, permitindo o controle de aplicações e dispositivos sem movimentos físicos. Wolpaw (2010, p. 352) esclarece em seu estudo que ICCs não leem mentes, mas sim permitem que seus usuários desenvolvam novas habilidades, refletindo suas capacidades adaptativas, afim de controlar tecnologias de forma confiável e precisa. Meng et al. (2016, p. 10) descreve como um dos objetivos finais para essa área a decodificação da atividade cerebral de um usuário em tempo real para permitir o controle de próteses externas, de forma não-invasiva e natural, afim de auxiliar no controle e reabilitação motora.

Como descreve Ferreira et al. (2013, p. 4), ICCs podem captar sinais cerebrais de três métodos diferentes. O primeiro método é o chamado invasivo é caracterizado pela introdução de implantes no cérebro do usuário, permitindo a leitura de sinais de alta qualidade. No entanto, esse método causa inconveniências e riscos à saúde. O segundo método é o parcialmente invasivo, onde implantes são inseridos por dentro do crânio do usuário, mas sem perfurar o cérebro. Apesar da perda na qualidade do sinal, esse método apresenta riscos menos à saúde. Por fim, o método não invasivo permite adquirir informações sem nenhum implante, utilizando sensores posicionados ao longo do escalpo. Esse método é o mais

conveniente e fácil de ser utilizado, e considerando os avanços tecnológicos, permite a captura de sinais de boa qualidade, além de não apresentar riscos à saúde do usuário.

Larsen (2011, p. 15) identifica quatro diferentes áreas de aplicação para ICCs:

- a) aplicações de bioengenharia: Dispositivos com o propósito de auxiliar pessoas com deficiência;
- b) monitoramento de paciente humano: Pesquisas e detecção de distúrbios do sono, doenças neurológicas, monitoramento de atenção e/ou estado mental geral;
- c) pesquisas neurocientíficas: Métodos para correlacionar em tempo real comportamentos observáveis com sinais neurais captados;
- d) interação Humano-Máquina: Dispositivos de interface entre humanos e computadores ou máquinas.

Larsen (2011, p. 16) também descreve características comuns e críticas no design de ICCs, como:

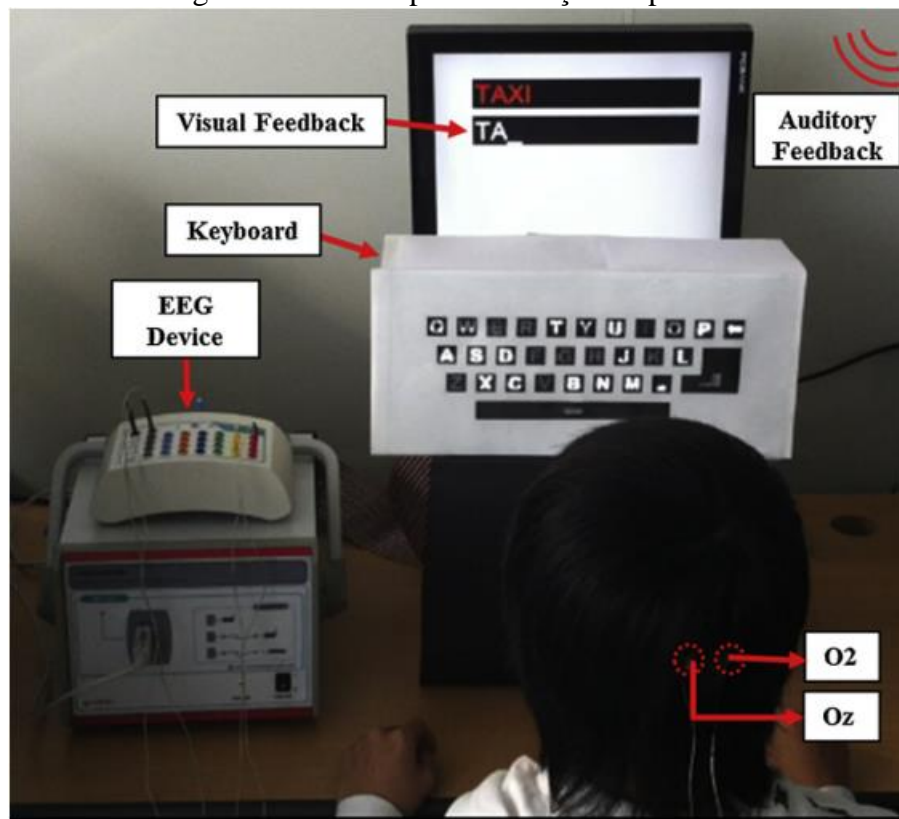
- a) ruídos e valores atípicos: Valores captados por um ICC possui ruído ou valores atípicos quando os sinais de um eletroencefalograma (EEG) possuem uma fraca relação entre sinal para ruído;
- b) alta dimensionalidade: Em sistemas ICCs características são geralmente extraídas de diversos canais de dados e de diversos segmentos de tempo antes de serem concatenados e processados;
- c) variável: Características em sistemas ICCs são variáveis pois sinais de EEG podem variar rapidamente com o passar do tempo e mais especificamente entre sessões;
- d) conjuntos de treinamento pequenos: Os conjuntos de treinamento são relativamente pequenos, pois o processo de treinamento requer tempo e é rigoroso com os usuários.

Dentre os possíveis métodos e atividades mentais para reconhecimento de estímulos utilizados em sistemas ICCs, Larsen (2011, p. 13) descreve um método conhecido como Potencial Relacionado a Evento (Event Related Potential – ERP), ou Potencial Invocado (Evoked Potential – EP). Segundo Larsen (2011, p. 13), o ERP é observado através da resposta a um estímulo, como um som ou pulso de luz, onde então pode-se notar um pico na amplitude da onda cerebral, ocorrendo após uma quantidade de tempo específico para um estímulo específico. Segundo Ferreira et al. (2013, p. 5) o ERP, ou EP, pode ser ainda subdividido em dois tipos: a resposta para oscilações visuais, Steady State Visually-Evoked

Potential (SSVEP), e a resposta para oscilações sonoras, Steady State Auditory Evoked Potential (SSAEP). Ainda segundo Larsen (2011, p. 13), a abordagem mais utilizada é conhecida como P300, onde o pico na amplitude ocorre 300 milissegundos após o estímulo. Em diagnósticos, porém, um P300 é utilizado para mapear a relação entre estímulos externos com a atividade cerebral em áreas específicas do cérebro.

Um sistema que utiliza o P300 é a aplicação para iPhone desenvolvida por CAMPBELL et al. (2010), o NeuroPhone. A aplicação exibe uma sequência de fotos, selecionadas uma a uma, dos contatos da agenda telefônica do usuário, e um P300 é captado quando a foto selecionada é a qual o usuário está observando, então ligando para a pessoa. Outro sistema que utiliza o ERP é o sistema de soletração de palavras desenvolvido por Hwang et al. (2012), onde um teclado é posicionado à frente do usuário com um LED para cada tecla, piscando em frequências diferentes. Esse sistema não tem a necessidade de iterar sobre cada letra para identificar qual está sendo observada, pois, conforme explicam os autores, a variação na frequência dos LEDs estabelece um tempo de resposta diferente para cada um, permitindo demonstrar a praticidade dessa abordagem em futuros trabalhos. A figura 3 demonstra o ambiente desse estudo.

Figura 3 - Sistema para soletração de palavras



Fonte: Hwang et al. (2012).

Outro método comumente utilizado, como descreve Ferreira et al. (2013, p. 5), é o de detecção de estímulos através da imaginação de movimentos. Um sistema desenvolvido para trabalhar com este método é o Graz-BCI. Segundo Pfurtscheller et al. (2003), “A Interface Cérebro-Computador Graz é um sistema baseado em detecção de pistas utilizando a imaginação de ações motoras como atividade mental apropriada”. O Graz-BCI já foi utilizado em um estudo onde um usuário tetraplégico utilizava o sistema para movimentar uma cadeira de rodas em um ambiente virtual (LEEB et al. 2007). Na figura 3 pode-se observar o participante do estudo no ambiente preparado.

Figura 4 - Ambiente do estudo para movimentação de cadeira de rodas



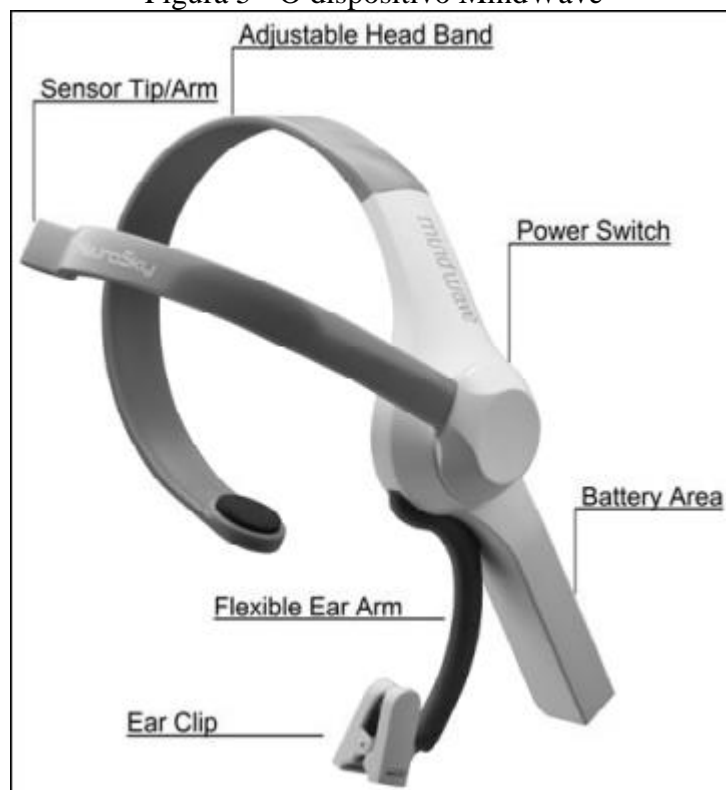
Fonte: Leeb et al. (2007).

Larsen (2011, p. 14) e Ferreira et al. (2013, p. 5) também descrevem os estados de concentração, relaxamento e atenção como outra atividade mental utilizada em ICCs. Esses estados mentais alteram as ondas cerebrais do usuário, como Alfa, Beta e Teta, que podem então ser captadas por um sistema e interpretadas para estimar os níveis de atenção, relaxamento e concentração. O estudo de Patsis et al. (2013) é um exemplo da utilização dos níveis de atenção captados através de um ICC. Durante o estudo, os níveis de atenção do usuário eram usados para definir o nível de dificuldade do jogo Tetris, afetando a velocidade em que as peças desciam na tela.

### 2.3 MINDWAVE

Como explica Salabun (2014), o MindWave é um dispositivo para leitura de ondas cerebrais portátil, seguro e capaz de detectar diferentes espectros de ondas cerebrais. O dispositivo consegue medir o conjunto de dados brutos, o espectro das ondas cerebrais, Alfa, Beta, Delta, Gama e Teta, nível de atenção, nível de relaxamento e detecção de piscadas do olho. Os dados brutos, captados a uma frequência de 512Hz (Hertz), são a maior fonte de informação utilizando o dispositivo para EEG. A figura 3 ilustra o dispositivo e suas características.

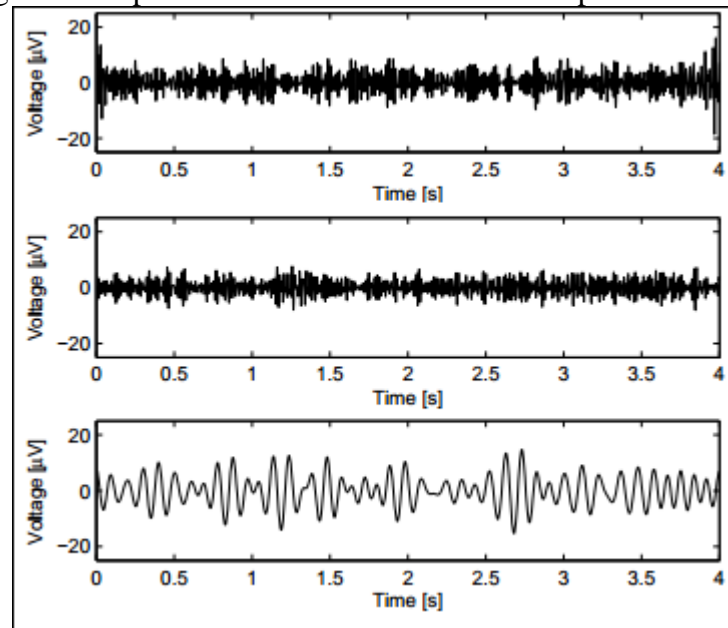
Figura 5 - O dispositivo MindWave



Fonte: Salabun (2014).

Salabun (2014) também relata que o dispositivo MindWave possui interação com o MatLab, permitindo seu uso em propósitos mais científicos. A análise mais especializada das informações captadas exige fórmulas matemáticas mais complexas, como a Série de Fourier, que inclui a Transformada Contínua de Fourier e a Transformada Discreta de Fourier. Através disso é possível transformar a informação em escala de frequência para escala de tempo, e assim estudar o espectro dos dados obtidos. O estudo desse espectro inclui a identificação das categorias de ondas cerebrais presentes nos dados. Na figura 4 pode-se observar alguns espectros de ondas cerebrais gerados através dos dados obtidos pelo dispositivo MindWave.

Figura 6 - Espectros de ondas cerebrais obtidas pelo MindWave



Fonte: Salabun (2014).

## 2.4 TRABALHOS CORRELATOS

Nesta seção serão apresentados sistemas que implementam o objeto de estudo a ser explorado por este trabalho. A seção 2.4.1 descreve o NeuroExperimenter (MELLENDER, 2014), um sistema que permite a visualização de ondas cerebrais e promove a análise e treinamento de estados mentais, como meditação, relaxamento e concentração. A seção 2.4.2 descreve o EventIDE (OKAZOLAB, 2012a), um sistema para o desenvolvimento de experimentos, estudos e testes, utilizando a captação de ondas cerebrais, reconhecimento facial, rastreamento dos olhos e outros. Por fim, a seção 2.4.3 detalha o E-Prime (PSYCHOLOGY SOFTWARE TOOLS, 2018), um ambiente para desenvolvimento de experimentos, coleta e análise, utilizando também integração com equipamentos de eletroencefalografia, rastreamento dos olhos e outros.

### 2.4.1 NeuroExperimenter

[...]

### 2.4.2 EventIDE

[...]

### 2.4.3 E-Prime

[...]

### 3 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

Neste capítulo são descritas as etapas do desenvolvimento do sistema. Na seção 3.1 são demonstrados os principais requisitos do sistema. A seção 3.2 apresenta a especificação. A seção 3.3 apresenta de forma detalhada a implementação. Por fim, a seção 3.4 demonstra os resultados dos testes, sugestões em melhorias para o sistema.

#### 3.1 REQUISITOS

Os Requisitos Funcionais (RF) e Requisitos Não-Funcionais (RNF) para o sistema seguem abaixo:

- a) permitir captar ondas cerebrais de um usuário através do equipamento de eletroencefalografia (EEG) MindWave Mobile (RF);
- b) permitir que o usuário cadastre pessoas no sistema (RF);
- c) permitir ao usuário gravar um estímulo cerebral de uma pessoa para ser utilizado como comando (RF);
- d) permitir que uma pessoa interaja com um ambiente virtual através das ondas cerebrais captadas (RF);
- e) retornar ao usuário as informações de ondas cerebrais captadas durante o tempo de interação com o ambiente virtual (RF);
- f) registrar um histórico do ambiente virtual (RF);
- g) ser desenvolvido na linguagem de programação C-Sharp (RNF);
- h) utilizar o ambiente de desenvolvimento Visual Studio (RNF);

#### 3.2 ESPECIFICAÇÃO

[Especificação - apresentar a especificação do problema, através de modelos e/ou diagramas que representem logicamente o trabalho desenvolvido. Citar técnicas e ferramentas utilizadas para fazer a especificação.

Se fez casos de usos, obrigatoriamente teria que fazer a rastreabilidade com os RF

Detalhar apenas casos de uso relevantes e em apêndice

Arquitetura do sistema/biblioteca/.... com descrição (quando se aplica)

Diagramas (de pacotes, de classes, MER, entre outros) com descrição só do que é relevante ou quando estende algum outro trabalho ou do que não é possível ler a partir do diagrama.]



### 3.3 IMPLEMENTAÇÃO

[Implementação – mostrar a interface do sistema e os códigos quando for relevante.]

A seguir são mostradas as técnicas e ferramentas utilizadas e a operacionalidade da implementação.

#### 3.3.1 Técnicas e ferramentas utilizadas

[Considerações sobre as técnicas e ferramentas utilizadas para fazer a implementação a partir da especificação – exemplificar mostrando o código implementando – **FERRAMENTAS DEVERIAM ESTAR NOS RNF.**]

#### 3.3.2 Operacionalidade da implementação

[Apresentação do funcionamento da implementação (em nível de usuário) através de um estudo de caso.]

### 3.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

[Apresentar os casos de testes do software, destacando objetivo do teste, como foi realizada a coleta de dados e a apresentação dos resultados obtidos, preferencialmente em forma de gráficos ou tabelas, fazendo comentários sobre os mesmos.

Confrontar com os trabalhos correlatos apresentados na fundamentação teórica.]

## **4 CONCLUSÕES**

[As conclusões devem refletir os principais resultados alcançados, realizando uma avaliação em relação aos objetivos previamente formulados. Deve-se deixar claro se os objetivos foram atendidos, se as ferramentas utilizadas foram adequadas e quais as principais contribuições do trabalho para o seu grupo de usuários ou para o desenvolvimento científico/tecnológico.]

[Deve-se também incluir aqui as principais vantagens do seu trabalho e limitações.]

### **4.1 EXTENSÕES**

[Sugestões para trabalhos futuros.]

## REFERÊNCIAS

- ANUPAMA H. S.; CAUVER N. K.; LINGARAJU G. M. Brain Computer Interface and Its Types – A Study. **International Journal of Advances in Engineering & Technology**. v. 3, n. 2, p. 739-745, maio 2012.
- CAMPBELL, Andrew T. et al. NeuroPhone: brain-mobile phone interface using a wireless EEG headset. In: **Proceedings of the 2nd ACM SIGCOMM Workshop on Networking, Systems, and Applications on Mobile Handhelds, 10, 2010, New Delhi, India**. New Delhi: ACM, 2010. p. 3-8.
- CASSON, Alexander J. et al. Wearable Electroencephalography, **Engineering in Medicine and Biology Magazine IEEE**, v. 29, p. 44-56, 2010.
- CHAMBERS, Jonathin A., SANEI, Saeid. EEG Signal Processing. **John Wiley & Sons**, v. 1, p. 312, 2013.
- EBERSOLE, John E.; PEDLEY, Timothy A. **Current Practice of Clinical Electroencephalography**. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2003.
- FERREIRA, Alessandro L.S. et al. A survey of Interactive Systems based on Brain-Computer Interfaces. **SBC Journal on 3D Interactive Systems**, v. 4, n. 1, 2013.
- HAMMON, Paul S.; DE SA, Virginia R. Preprocessing and meta-classification for brain-computer interfaces. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, v. 54, n. 3, p. 518-525, 2007.
- HWANG, Han-Jeong et al. Development of na SSVEP-based BCI spelling system adopting a QWERTY-style LED keyboard. **Journal of Neuroscience Methods**, v. 208, n. 1, p. 59-65, 2012.
- ISA, Iza S. et al. Study on EEG Steady State Alpha Brain Wave Signals Based on Visual Stimulation for FES. In: **Proceedings of the 2014 International Conference on Systems, Control, Signal Processing and Informatics II (SCSI '14)**, v. 1, p. 115-119, abr. 2014.
- LARSEN, Erik A. **Classification of EEG Signals in a Brain-Computer Interface System**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação). Norwegian University of Science and Technology, Noruega.
- LEEB, Robert et al., Self-paced (asynchronous) BCI control of a wheelchair in virtual environments: a case study with a tetraplegic. **Computational Intelligence and Neuroscience**, v. 2007, p. 1-8, 2007.
- LUU et al. Real-time EEG-based braincomputer interface to a virtual avatar enhances cortical involvement in human treadmill walking. **Scientific Reports**, v. 7, 2017.
- MASKELIUNAS, Rytis et al. PeerJ Consumer-Grade EEG devices: are they usable for control tasks? **PeerJ**. 2016. p. 27.
- MELLENDER, Fred. **NeuroExperimenter**. 2014. Disponível em: <<https://docs.google.com/document/d/1mB1YIZUbSr39ytF5U7u-1KHGC0h9220JxVQE8X4yHXs/edit>>. Acesso em: 26 maio 2018.
- MENG, Jianjun et al. Noninvasive electroencephalogram based control of a robotic arm for reach and grasp tasks. **Scientific Reports**, v. 6, 2016.
- PFURTSCHELLER, Gert et al. Graz-BCI: state of the art and clinical applications. **IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering**, v. 11, n. 2, p. 1-4, 2003.

PSYCHOLOGY SOFTWARE TOOLS. **E-Prime**. 2018. Disponível em: <<https://pstnet.com/products/e-prime/>>. Acesso em: 26 maio 2018.

OKAZOLAB. **EventIDE**. 2012a. Disponível em: <<http://www.okazolab.com>>. Acesso em: 26 maio 2018.

\_\_\_\_\_. **EventIDE**. 2012b. Disponível em: <<http://wiki.okazolab.com/>>. Acesso em: 26 maio 2018.

QUINONEZ, Delores. Common applications of electrophysiology (EEG) in the past and today: The technologists' view. **Electroencephalography and Clinical Neurophysiology**. v. 106, n. 2, p. 108-112, fev. 1998.

SALABUN, Wojciech. Processing and spectral analysis of the raw EEG signal from the MindWave. **Przegląd Elektrotechniczny**, v. 2014/2, p. 169-173, fev. 2014.

TEPLAN, Michal. Fundamentals of EEG measurement. *Measurement Science Review*, v. 2, p. 1-11, 2002.

VANSTEENSEL et al. Fully Implanted Brain–Computer Interface in a Locked-In Patient with ALS. **England Journal of Medicine**, v. 375, p. 2060-2066, nov. 2016.

WOLPAW, Jonathan R. Brain-Computer Interface research comes of age: traditional assumptions meet emerging realities. **Journal of Motor Behavior**, v. 42, n. 6, p. 351-353, nov 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/00222895.2010.526471>>. Acesso em 24 maio 2018.

**APÊNDICE A – Relação dos formatos das apresentações dos trabalhos**

[Elemento opcional. **Apêndices são textos elaborados pelo autor** a fim de complementar sua argumentação. Os apêndices são identificados por letras maiúsculas consecutivas, seguidas de um travessão e pelos respectivos títulos. Deverá haver no mínimo uma referência no texto anterior para cada apêndice.]

[Colocar sempre um preâmbulo no apêndice. Não colocar tabelas e ou ilustrações sem identificação no apêndice. Caso existirem, identifique-as através da legenda, seguindo a numeração normal do volume final (para as legendas). Caso existirem tabelas e ou ilustrações, sempre referenciá-las antes.]

## **ANEXO A – Representação gráfica de contagem de citações de autores por semestre nos trabalhos de conclusões realizados no Curso de Ciência da Computação**

[Elemento opcional. **Anexos são documentos não elaborados pelo autor**, que servem de fundamentação, comprovação ou ilustração, como mapas, leis, estatutos, entre outros. Os anexos são identificados por letras maiúsculas consecutivas, seguidas de um travessão e pelos respectivos títulos. Deverá haver no mínimo uma referência no texto anterior para cada anexo.]

[Colocar sempre um preâmbulo no anexo. Não colocar tabelas e ou ilustrações sem identificação no anexo. Caso existirem, identifique-as através da legenda, seguindo a numeração normal do volume final (para as legendas). Caso existirem tabelas e ou ilustrações, sempre referenciá-las antes.]