### Cid Rodrigues de Andrade

# Proposta e desenvolvimento de aplicativo móvel de representação de dados de EEG e PDC

#### Cid Rodrigues de Andrade

# Proposta e desenvolvimento de aplicativo móvel de representação de dados de EEG e PDC

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências

#### Cid Rodrigues de Andrade

# Proposta e desenvolvimento de aplicativo móvel de representação de dados de EEG e PDC

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências

Área de Concentração: Engenharia Elétrica

Orientador:

Prof. Dr. Luiz Antonio Baccalá

São Paulo

## Dedicatória

Dedico este trabalho ao meu pai, José Germano de Andrade. Um dia ele desejou que eu cursasse Medicina, Direito ou Engenharia. Se há um lugar onde ele ainda esteja, que este trabalho seja fonte de orgulho para ele.

## Agradecimentos

Esta dissertação foi elaborada durante uma jornada na qual pude contar com ajuda, apoio e compreensão de muitas pessoas, todas muito especiais.

Ana Lúcia e Laís, minhas esposa e filha, que por tantas vezes tiveram de abrir mão de momentos e oportunidades importantes para que eu tivesse tempo e condições de prosseguir neste trabalho. Não há quantidade mensurável de palavras que possam ser ditas ou escritas para demonstrar o quanto sou grato a elas e minha gratidão é, certamente, menor do que tudo o que elas fizeram por mim.

Prof. Dr. Luiz Antônio Baccalá, meu orientador, que soube ponderar e dosar a exigência com o encorajamento e mesclar isto com o partilhamento de sua visão esclarecida sobre a Ciência, a Engenharia e a Vida.

Profs. Drs. Lúcia Vilela Leite Filgueiras, Renato Anghinah e Koichi Sameshima, pelas contribuições inestimáveis.

Profs. Drs. Afonso Carlos Correa Fleury, André Fábio Kohn, Claudia Inés Garcia, Fátima de Lourdes dos Santos Nunes Marques, Fernando José Barbin Laurindo, Helton Hideraldo Biscaro, João Batista Camargo Junior, João José Neto, Káthia Maria Honorio, Leônidas de Oliveira Brandão, Marcelo Schneck de Paula Pessoa, Maria Alice Grigas Varella Ferreira, Renato de Castro Garcia, Ricardo Luís de Azevedo da Rocha, Ricardo Nakamura e Romero Tori, por todo conhecimento partilhado.

Profs. Drs. Jorge Rady de Almeida Jr. e Sebastião Gomes dos Santos Filho e em seus nomes a todos os gestores da Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da USP.

Prof. Dr. Marcos Alberto Bussab, Diretor dos Cursos de Informática da Universidade Nove de Julho e em seu nome a todos os gestores desta Instituição de Ensino Superior, que tanto souberam cooperar e incentivar este trabalho.

Cláudia Cristina Marcelino, Marcelo Vantini e Simone dos Santos, sempre dispostos a procurar caminhos e soluções.

Os colegas Adriano Arrivabene, Ana Carolina Caldas Dias Jordan, Anderson Luiz

Coan, Camila Mariane, David Pereira Barbosa, José Paulo Lima, Karen Sílvia Carvalho Homem, Keith Seixas, Leila Bergamasco, Marcos Alexandruk, Priscilla Viana Cunha, Renata Madeo, Sidnei Alves De Araujo e Wilson da Silva Lourenço, pelas trocas de ideias e experiências.

E, finalmente, a todos aqueles que eu, ingratamente, tiver esquecido de mencionar aqui e que não foram menos importantes.

# **Epígrafe**

Non nobis, Domine, non nobis, sed Nomini Tuo ad gloriam (Slm. 115:1 - Vulgata Latina)

Feliz aqueles cujo conhecimento é livre de ilusões e superstições (Siddharta Gautama – o Buda Sakyamuni)

Evite qualquer extremismo de pensamento ou ação; seja moderado em todos os desejos e domine suas paixões em todos os sentidos. Atitudes extremadas constituem um desequilíbrio que é prejudicial para tudo e para todos. (Christian Bernard)

## Resumo

O EEG é um exame comumentemente utilizado para diagnóstico de patologias como a epilepsia ou distúrbios do sono. Ele costuma ser apresentado e interpretado por intermédio da avaliação - em geral, visual - da representação da frequência e amplitude da atividade elétrica global do encéfalo ao longo do tempo. A avaliação deste exame pode ir além desta análise do sinal de onda e sua descrição fenomenológica. Outras formas de representação dos dados de EEG são possíveis e investigadas neste trabalho. O objetivo deste foi o desenvolvimento de um aplicativo que permitisse visualizar os dados de EEG e de uma abordagem de coerência de EEG - denominada PDC - em dispositivos móveis. Este programa pretendeu dar mobilidade ao profissional de saúde e servir também como ferramenta de ensino e aprendizagem. Revisões sistemáticas da literatura mostraram a viabilidade de tal desenvolvimento. Há diversas abordagens na literatura, porém, não foi localizado nenhum estudo mais profundo quanto a eficácia das ferramentas disponíveis. Pretendeu-se corrigir tal carência propondo-se uma metodologia de avaliação sistemática com o auxílio de distintos usuários com diferentes níveis de habilidade em análise de EEG. Isto permitirá introduzir critérios objetivos para verificar a viablidade da ferramenta proposta bem como permitirá estabelecer parâmetros de comparação entre diferentes propostas.

Palavras-chave: Eletroencefalografia, software, avaliação

## **Abstract**

An electroencephalogram (EEG) is a test that measures and records the global electrical activity of brain. It's commonly used for diseases diagnosis, such as epilepsy and sleep disorders. It's often displayed and interpreted observing - visually, nearly always - the waveform representation of brain electrical activity. That interpretation may go one step further signal waveform analysis and its phenomenological description. Alternative ways are possible and are investigated here. The present work deals with the development of an mobile application to show EEG data and an EEG coherence approach - called PDC. It intends provide a mobility option to healthcare professionals and be used as teaching and learning tool. Systematic reviews have shown the feasibility of such development. There are several approaches to similar applications, in the literature. However, was not found any study on the effectiveness of the available tools. We developed a methodology proposal for the systematic evaluation to fill this gap. It will be performed with the aid of different users with distinct skill levels in EEG analysis. This will introduce objective criteria to verify the proposed tool practicability and establish parameters for comparing different proposals.

Keywords: Electroencephalography, software, assessment

# Lista de Figuras

3.1	Mosaico de mapas proposta em (Gonzalez e Eblen-Zajjur 2004)	p. 16
3.2	Interface do EEGLAB, de (Delorme e Makeig 2004)	p. 17
3.3	Visualização por grafo, de (Caat, Maurits e Roerdink 2008)	p. 18
3.4	Visualização baseada em cores, por (Putten 2008)	p. 19
3.5	VisBrain, de (Sourina, Sourin e Kulish 2009)	p. 19
3.6	Aplicativo no World Automation Congress, por (Asakawa et al. 2010) .	p. 20
3.7	Interface do Eigenbrains, de (Poli et al. 2010)	p. 20
3.8	Ragu, proposto por (Koenig et al. 2011)	p. 21
3.9	Solução em <i>smartphone</i> de (Stopczynski et al. 2011)	p. 21
3.10	Interface do FieldTrip, de (Oostenveld et al. 2011)	p. 22
3.11	Interface do ELAN, de artigo de (Aguera et al. 2011)	p. 23
3.12	Interface do ELAN, de (Christodoulou et al. 2011)	p. 23
3.13	Interface do NUTMEG, de (Dalal et al. 2011)	p. 24
3.14	Interface do CARTOOL, proposto por (Brunet, Murray e Michel 2011)	p. 24
3.15	Interface do SPM8, de (Litvak et al. 2011)	p. 25
3.16	Distribuição de categorias das soluções propostas	p. 26
3.17	Evolução das soluções propostas	p. 27
5.1	Tela de seleção de eletrodos no PDC	p. 37
5.2	Tela com gráfico de sinais de EEG	p. 37

## Lista de Tabelas

3.1	Categorias das propostas	p. 12
3.2	Subcategorias das propostas com mapeamento tridimensional	p. 12
3.3	Formas de destaque	p. 13
3.4	Faixas etárias	p. 13
3.5	Categorias de soluções e ano de publicação	p. 27
4.1	Profissionais para avaliação	p. 31
5.1	Classes do aplicativo	p. 36

# Sumário

1	Intro	odução	p. 1
	1.1	Hipótese	p. 3
	1.2	Justificativa	p. 3
	1.3	Organização da dissertação	p. 4
	1.4	Contribuições	p. 4
2	Obje	etivos	p. 6
	2.1	Objetivo Geral	p. 6
	2.2	Objetivos Específicos	p. 6
3	Rev	isão bibliográfica	p. 7
	3.1	Revisão Sistemática	p. 7
	3.2	Artigos selecionados	p. 13
		3.2.1 Técnicas de processamento de sinais	p. 14
		3.2.2 Conteúdo dos artigos selecionados	p. 15
		3.2.3 Avaliação das ferramentas propostas	p. 25
	3.3	Análise dos artigos selecionados	p. 26
4	Met	odologia	p. 30
	4.1	Resultados esperados	p. 31
5	Res	ultados	p. 33
	5.1	Desenvolvimento	p. 33
	5.2	Avaliação	p. 38

	5.2.1	Análise dos	dados .		 	 	 p. 43
6	Discussão						p. 46
7	Conclusão	e Trabalhos	Futuro	S			p. 49
	7.1 Traball	hos Futuros			 	 	 p. 50
Re	eferências B	ibliográficas	<b>;</b>				p. 51

## 1 Introdução

Este trabalho apresenta um aplicativo móvel para *tablets* e alguns *smartphones* (em especial os conhecidos como *phablets*). Este se propõem a oferecer uma interface para leitura de resultado de exame de eletroencefalograma (EEG). Nele esta leitura adquire a flexibilidade de se filtrar quais canais e trechos devem ser visualizados. Além disto, torna-se possível realizar tarefa de pós-processamento sobre os dados do exame, obtendo-se assim mais recursos de avaliação. Ele pretende ser útil nos contextos educacional, acadêmico e profissional.

O EEG é um exame comumente utilizado para diagnóstico de patologias como a epilepsia ou distúrbios do sono. Segundo (Bear, Connors e Paradiso 2008) ele tem raízes nos trabalhos do fisiologista inglês Richard Caton, em 1875. A primeira descrição deste exame em humanos remonta 1929, ao ser citado pelo psiquiatra Hans Berger.

Ele é comumente apresentado e interpretado por intermédio da avaliação - em geral, visual - da representação da frequência e amplitude da atividade elétrica global do encéfalo ao longo do tempo. Entretanto, vemos em (Herrmann et al. 2001) que a interpretação de registros de sinais elétricos pode ser sujeita a erros, além de consumir tempo. Outras formas de representação dos dados de EEG são possíveis e investigadas neste trabalho.

O EEG tem evoluído de forma significativa. Recentemente (Michel et al. 2004) propuseram que a avaliação deste exame pode ir além da análise do sinal de onda e sua descrição fenomenológica.

O processamento dos sinais de EEG tem potencial para agilizar e dar maior precisão à interpretação médica do resultado do exame, o que configurar-se-ia como uma significativa vantagem. Neste contexto, algumas técnicas de processamento do sinal de EEG podem tornar-se relevantes. (Baal, Boomsma e Geus 2001) apontam como uma destas a coerência de EEG, um índice da conectividade cortical do encéfalo.

1 Introdução 2

Com esta técnica é possível identificar relacionamentos em regiões do córtex cerebral associadas com cada eletrodo. Estes relacionamentos são indicações que podem servir para o estudo de patologias e condições neurológicas. Como exemplo podemos destacar que (Adler, Brassen e Jajcevic 2003) indicam haver indícios de que a coerência de EEG possa ser útil até mesmo no diagnóstico da Doença de Alzheimer <sup>1</sup>

(Kirner e Siscoutto 2007) afirmam que depois de um longo período no qual o ser humano teve de se ajustar às formas de representação possíveis de serem feitas com as tecnologias da época de sua criação, encontrar maneiras de fazer com que os frutos da tecnologia se ajustem às necessidades das pessoas é uma postura compatível com a Engenharia de Software contemporânea. Em decorrência disto surge a necessidade de aplicações como a aqui proposta, que amplia o leque de opções de representação do EEG para dispositivos cada vez mais comuns de serem encontrados entre estudantes e profissionais.

Em (Nuwer 1997) observamos que a tecnologia digital permite visualização flexível do EEG. Com ela é possível prover recursos e exibição do EEG de forma impossível de ser feita em papel.

Identifica-se, portanto, um cenário no qual a computação móvel vem ao encontro das necessidades do profissional de nossos dias. Isto reflete-se especialmente aos de categorias profissionais cujas atividades não se realizam somente em um ponto fixo, realizando deslocamentos constantes. Durante a atuação do profissional de saúde em ambientes hospitalares, por exemplo, pode ser conveniente utilizar recursos móveis para reduzir o uso de papéis.

Não podemos, contudo, ignorar que (Nuwer 1997) indica que propostas de aplicativos como o aqui descrito estão mais relacionados com as pesquisas acadêmicas do que com a prática clínica. Poucas destas inovações são avaliadas, verificadas e reproduzidas de forma abrangente. A utilização destas ferramentas no cotidiano médico deve ocorrer após a análise do EEG tradicional e de acordo com protocolos propostos, definidos e aceitos pela comunidade médica.

Diante deste cenário, coloca-se uma indagação: Um programa de computador executável em dispositivos móveis, capaz de apresentar e transformar convenientemente os sinais de um EEG poderia tornar-se uma ferramenta útil para o treinamento e ensino de profissionais e para o acompanhamento médico baseado neste tipo de exame? O foco deste trabalho está em responder esta indagação.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Doença degenerativa incurável.

1.1 Hipótese 3

#### 1.1 Hipótese

A evolução constante do *hardware* e *software* para dispositivos móveis está possibilitando o desenvolvimentos de equipamentos capazes de substituir computadores de mesa na maior parte das tarefas. Um reflexo disto pode ser visto ao compararmos as vendas de *smartphones*, que cresceram, recentemente, 78% em um ano, com as de *desktops*, com tendência de recuo, segundo (Moraes 2013). Os sistemas operacionais para estes dispositivos oferecem ampla gama de recursos para os desenvolvedores de programas, como bibiotecas gráficas e suporte a diversos dispositivos. Sistemas operacionais como o Android <sup>2</sup> ou o iOS <sup>3</sup> - para citar apenas os de maior destaque na atualidade - comportam inclusive o uso de recursos gráficos com qualidade e robustez suficientes para aplicações como as pretendidas para este projeto. Alguns exemplos de aplicações como as aqui pretendidas são o *Avatar EEG* <sup>4</sup>, *ECG Lite* <sup>5</sup> ou o *Cardiograph* <sup>6</sup>.

Há disponibilidade de conteúdo científico elaborado sobre questões de análise de dados de EEG, como diversas técnicas de coerência. Pode-se citar, à guiza de exemplo, a Partial Directed Coherence (PDC), encontrada em (Baccala e Sameshima 2001).

A análise deste cenário permite pressupor ser possível desenvolver uma aplicativo móvel com uma interface que possa representar de forma flexível e dinâmica resultados de um exame de EEG e que este aplicativo possa ser útil no ensino e treinamento, como ferramenta acadêmica e como apoio ou alternativa para a prática médica.

#### 1.2 Justificativa

O eletroencefalograma (EEG) é uma medida que permite a visualização global da atividade elétrica do encéfalo, segundo (Bear, Connors e Paradiso 2008).

Um dispositivo móvel pode ser utilizado para visualizar o resultado de um exame destes, permitindo filtrar alguns dos sinais e mesmo realizar pós-processamento dos

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>http://www.android.com

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>http://www.apple.com/ios

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup>https://play.google.com/store/apps/details?id=com.avatareeg.smarteeg, que exibe sinais de EEG com oito canais

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup>https://play.google.com/store/apps/details?id=lite.ecg.vandfald.net, guia de consulta sobre eletrocardiograma

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup>https://play.google.com/store/apps/details?id=com.macropinch.hydra.android, capaz de medir a frequência cardíaca utilizando a pressão do dedo do usuário sobre câmera do smartphone para leitura

dados para oferecer mais recursos ao usuário.

Um programa com estas características pode ser útil no ensino e treinamento de profissionais e como apoio à prática médica.

Este trabalho almejou também descrever um procedimento de avaliação de aplicativos para a área de saúde, contribuindo assim com a comunidade científica.

## 1.3 Organização da dissertação

Este documento está organizado em sete capítulos. O capítulo 1 é esta introdução, onde levanta-se uma hipótese de trabalho com sua justificativa. O capítulo 2 versa sobre os objetivos geral e específicos. A revisão bibliográfica é apresentada no terceiro capítulo. A metodologia de desenvolvimento é integrante do capítulo 4. O capítulo 5 apresenta os resultados atingidos no decorrer deste trabalho. Uma discussão dos resultados é apresentada no sexto capítulo. O capítulo 7 contém sua conclusão e indica eventuais trabalhos futuros para continuidade deste.

### 1.4 Contribuições

Este trabalho vem contribuir com a comunidade científica de algumas formas.

A primeira destas é apresentar o estado da arte em aplicativos que permitam a análise e interpretação de EEG de forma alternativa. Este tópico foi possível por intermédio de uma revisão da literatura sobre o assunto.

Outra contribuição foi oferecer um balanço sobre o mercado de opções de desenvolvimento de aplicativos para dispositivos móveis. Os sistemas operacionais, suas técnicas de desenvolvimento e os tipos de dispositivos para esta área foram investigados e comparados extensamente para a geração de um aplicativo.

A tarefa de construir e testar este aplicativo permitiu uma terceira contribuição, que foi avaliar a viabilidade de se contar com um aplicativo que sustente uma forma alternativa de análise de EEG e uma implementação de técnica de coerência de EEG e que seja executado em dispositivo móvel.

Por fim, mas não menos importante, apresentou-se aqui uma metodologia de validação de aplicativos com este tipo de abordagem. Esta metodologia oferece a possi1.4 Contribuições 5

bilidade de obter-se uma visão imparcial da usabilidade do programa.

## 2 Objetivos

### 2.1 Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho foi desenvolver uma aplicativo móvel com uma interface que possa representar de forma flexível e dinâmica resultados de um exame de EEG. Ele foi idealizado para ser utilizado no ensino e treinamento, como ferramenta acadêmica e como apoio ou alternativa para a prática médica.

### 2.2 Objetivos Específicos

Além do objetivo principal declarado, outros foram perseguidos. São eles:

- Levantamento do estado da arte em aplicações para apresentação alternativa do EEG
- Apresentação de uma técnica de avaliação de programas para casos semelhantes que permita oferecer segurança da isenção dos autores no processo de validação ou avaliação da solução apresentada.
- Propiciar um ambiente de colaboração em torno desta solução, com a disponibilização do código-fonte da aplicação desenvolvido pela licença GPL, versão 3<sup>1</sup>. Esta é uma licença livre criada pela FSF (*Free Software Foundation*) e que garante possibilidade de redistribuição, modificação ou ambos em seus termos.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> http://www.gnu.org/licenses/quick-guide-gplv3.html

## 3 Revisão bibliográfica

O EEG é apresentado como um registro muito simples de pequenas flutuações de voltagem - da ordem de poucas dezenas de microvolts ( $\mu$ V). Ele é obtido por um método indolor e não-invasivo, segundo (Bear, Connors e Paradiso 2008). Um registro típico é um conjunto de diversos traçados simultâneos e irregulares, que indicam as diferenças de voltagem entre pares de eletrodos colocados sobre o escalpo do paciente. Embora com variações significativas, um exame típico utiliza pouco mais de duas dezenas de eletrodos colocados em posições pré-definidas.

Segundo (Chapman, Almeida e Reis 2006), a identificação de patologias e distúrbios é feita pela análise visual do EEG e a procura por sinais caracteristicos como pontas agudas negativas ou positivas, ondas lentas, assimetrias e formações de pontas agudas, entre outros.

Para subsidiar este trabalho foi realizada uma revisão bibliográfica que apresentase aqui da seguinte forma:

- A primeira seção trata da metodologia utilizada para selecionar os artigos a serem considerados na pesquisa.
- A seção seguinte relata o conteúdo dos artigos selecionados.
- Por fim, a terceira seção analisa o conjunto destes artigos.

#### 3.1 Revisão Sistemática

Nos últimos anos foram feitos diversos estudos sobre o EEG. É do interesse desta pesquisa, em particular, os que envolvem a interpretação e representação dos dados deste exame. A seleção dos artigos utilizados neste trabalho foi realizada utilizando-se

3.1 Revisão Sistemática 8

a técnica de Revisão Sistemática <sup>1</sup> como proposta e descrita em (Kitchenham 2004) e (Kitchenham et al. 2009).

A revisão sistemática teve por objetivo identificar:

- O histórico e o estado da arte em métodos e aplicativos utilizados para representação de dados de EEG em humanos.
- As técnicas de avaliação destes métodos e aplicativos.

Com este procedimento buscou-se responder a algumas questões de pesquisa, a saber:

- Quais são os aplicativos já desenvolvidos para representar dados obtidos em EEG?
- Quais são as formas de representação que estes aplicativos utilizam?
- Como é feita avaliação destes aplicativos?

O passo inicial para a condução da revisão sistemática foi estabelecer as chaves de busca a serem utilizadas. Como cada ferramenta de busca das bases a serem pesquisadas tem características particulares, foram utilizadas combinações convenientes de diversos conjuntos de palavras-chave. Os conjuntos básicos foram <sup>2</sup>:

- EEG Analysis Tool ou EEG Analysis Application
- EEG Processing Tool ou EEG Processing Application
- EEG Tool ou EEG Application
- EEG mapping
- EEG interpretation
- EEG visualization
- EEG 3D ou EEG 3-dimensional ou EEG threedimensional

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Revisão sistemática é um meio de identificar, avaliar e interpretar todas as pesquisas disponíveis relevantes para uma questão de pesquisa ou área temática ou fenômeno de interesse específicos.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>Foram definidas palavras-chave em inglês por se tratar do idioma mais utilizado internacionalmente na área acadêmica. Quando conveniente, estas expressões foram traduzidas para o português (para contemplar documentos publicados no Brasil).

#### • EEG Data Analysis

Posteriormente foi observada a necessidade de se realizar buscas complementares para o termo *Quantitative EEG*.

Pesquisas exploratórias indicaram a conveniência de procurar as palavras-chave preferencialmente nos títulos dos documentos. Outra observação é que seria adequado realizar a pesquisa de documentos que tivessem sido publicados em um período de dez anos.

Considerou-se fundamental que os documentos a serem selecionados fossem pesquisados em fontes que oferecessem acesso ao conteúdo completo e que possuíssem notório reconhecimento internacional ou nacional. Para atender a este critério foram selecionadas as seguintes bases:

• ACM: ACM Digital Library 3

• IEEE: IEEE Xplore 4

• ScienceDirect: SciVerse ScienceDirect 5

Web of Knowledge: ISI Web of Knowledge <sup>6</sup>

• SciELO: Scientific Eletronic Library Online 7

Banco de Teses da USP: Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP 8

Ao conjunto de documentos obtidos por aplicação de expressões de consulta construídas a partir das palavras-chave anteriormente definidas nestas bases de busca foi aplicado um filtro com critérios de exclusão e inclusão.

Os critérios de inclusão foram os seguintes:

- I1: Apresentar um método, um aplicativo ou ambos que representem de maneira alternativa e de forma tão automática quanto possível, dados obtidos em EEG.
- 12: Apresentar um método de avaliação de aplicativos de representação de EEG.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>http://dl.acm.org/

<sup>4</sup>http://ieeexplore.ieee.org

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup>http://www.sciencedirect.com

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup>http://apps.isiknowledge.com

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup>http://www.scielo.org/php/index.php

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup>http://www.teses.sp.br

3.1 Revisão Sistemática 10

Os critérios de exclusão foram os seguintes:

• E1: Ser editorial ou outro tipo de documento que não artigos, anais de eventos científicos e outras revisões sistemáticas

- E2: Não possuir conteúdo completo disponível para leitura
- E3: Ter foco em tópicos não relevantes para esta pesquisa
- E4: Ser realizado com base em exames não realizados em humanos

O critério de exclusão E1 foi garantido, sempre que possível, diretamente nas ferramentas de busca das fontes pesquisadas. Destarte, bastaria aplicar os outros critérios de exclusão ao conjunto de documentos obtidos.

A aplicação destes critérios foi realizada primordialmente com a leitura dos títulos dos documentos. Quando esta leitura não se demonstrava suficientemente elucidativa para a aplicação dos critérios, procedeu-se à leitura dos resumos (*abstracts*) para o esclarecimento. Ao final, foram selecionados apenas os documentos que atenderam aos critérios de inclusão sem que tenha sido aplicado nenhum dos critérios de exclusão.

As referências aos resultados encontrados e seus resumos, quando disponível, foram armazenados no *EndNote Web* <sup>9</sup>. Nesta ferramenta procedeu-se a eliminação de documentos duplicados que tenham sido eventualmente encontrados em mais de uma fonte. Após a eliminação automática de duplicidades realizou-se uma segunda verificação, desta vez de forma manual. Isto foi necessário pois algumas referências apresentaram sutis diferenças de grafia e isto impedia a identificação automática.

As referências aos documentos foram exportadas no formato BibT<sub>E</sub>X <sup>10</sup> e importadas no *Mendeley Desktop* <sup>11</sup>. Nesta ferramenta procedeu-se à uma verificação inicial sobre a identificação dos documentos e armazenamento *online* dos arquivos em formato PDF. Após esta verificação as referências foram exportadas para o *JabRef* <sup>12</sup> para seu gerenciamento final no formato BibT<sub>E</sub>X.

A partir da leitura da íntegra dos documentos selecionados foi realizada uma busca suplementar por algumas das referências destes documentos, como forma de obtenção de uma cobertura mais abrangente sobre os temas pesquisados. A leitura integral

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> Scientific Eletronic Library Online

<sup>10</sup> http://www.bibtex.org

<sup>11</sup> http://www.mendeley.com/

<sup>&</sup>lt;sup>12</sup>http://jabref.sourceforge.net

dos documentos foi realizada com o cuidado apropriado para a extração dos seguintes dados:

- Autores
- Ano de publicação
- Periódico ou evento
- Categoria de representação de dados
- Subcategoria de representação tridimensional de dados
- Forma de destaque dos dados representados
- Uso ou não de colorização na representação de dados
- Tipo de paleta de cores, quando aplicável
- Tamanho da amostra de pessoas utilizadas nos testes
- Estado de saúde das pessoas da amostra
- Faixa etária das pessoas da amostra
- Profissionais que procederam a avaliação
- Técnica de avaliação

A partir dos autores do documento pretende-se identificar os pesquisadores mais atuantes nesta área para eventual acompanhamento em trabalhos vindouros. O ano de publicação é útil para analisar a evolução das soluções no decorrer do tempo. A identificação do periódico ou do evento visa localizar os principais meios de divulgação da área para acompanhamento das pesquisas. A forma de representação de dados será dividida em categorias para subsidiar os próximos avanços desta área. No caso de representação tridimensional fez-se necessário criar uma subcategoria para melhor classificar este tipo de solução. Foi primordial a identificação da forma como os dados são destacados, o uso ou não de colorização e o tipo de paleta de cores utilizados.

A avaliação das ferramentas propostas é tão importante quanto a sua proposta. É a avaliação que pode indicar se a solução apresenta-se como promissora ou não. Para aprofundar-se na forma pela qual estas ferramentas foram avaliadas procurou-se

obter nos artigos o tamanho, estado de saúde e faixa etária da amostra, além de quais profissionais foram envolvidos na avaliação e como ela foi realizada.

As categorias para representação de dados foram definidas a partir da pesquisa exploratória e são apresentadas no quadro 3.1.

Tabela 3.1: Categorias das propostas

Nome	Sigla	Descrição
Tabelas	Т	Tabelas com resultado de processamento
Gráfico contínuo	G	Gráficos com dados apresentados por linhas contínuas avaliadas no domínio do tempo.
Gráfico discreto	Н	Gráficos com dados apresentados por representação não contínua, como os histogramas e gráficos de barras.
Modelo Linear	L	Gráficos com dados apresentados por regiões
Mapeamento topográfico bidi- mensional	В	Exibição de dados sobre projeção de córtex cerebral em plano bidimensional
Mapeamento tridi- mensional	М	Exibição de dados sobre representação tridimensional do córtex cerebral

Quando o artigo apresenta soluções múltiplas de representação de dados ele será classificado pela forma de maior complexidade do ponto de vista visual.

As subcategorias de representação tridimensional também foram estabelecidas com base na pesquisa exploratória e apresentadas no quadro 3.2.

Tabela 3.2: Subcategorias das propostas com mapeamento tridimensional

Nome	Sigla	Descrição
Geométrico	GM	Utiliza formas geométricas, como semiesferas, para representar o encéfalo humano
Encefálo es- tilizado	EE	A representação é feita sobre uma modelagem não realista do encéfalo
Encefálo rea- lista	ER	A representação é feita sobre uma modelagem realista do encéfalo
Cabeça esti- lizada	CE	A representação é feita sobre uma modelagem não realista da cabeça
Cabeça rea- lista	CR	A representação é feita sobre uma modelagem realista da cabeça

A leitura na íntegra dos artigos foi necessária para estabelecimento das formas de destaque dos dados representados. A listagem destas formas de destaque é apresentada no quadro 3.3.

No caso de uso de colorização para a indicação de resultados na representação

Tabela 3.3: Formas de destaque

Nome	Sigla	Descrição
Nenhum	N	Não há destaque particular de dados
Setas de Apontamento	SA	Setas utilizadas para apontar pontos com particularidades
Linhas de refe- rência	LR	Linhas de referência em representações por gráfico
Grafo	G	Grafos
Posição de ele- trodos	PE	Indicação do posicionamento dos eletrodos
Outros	0	Como pinos ou bolhas para sinalização de intensidade de sinal.

dos dados, foi realizado o registro se a paleta é reduzida ou estendida. Considerou-se como "paleta reduzida" o uso de poucas cores sem efeitos de transição entre elas e como "paleta estendida" a utilização de gradiente de cores.

As faixas etárias dos pacientes que tenham participado das avaliações das soluções propostas foram as indicadas no quadro 3.4.

Tabela 3.4: Faixas etárias

	i dio o i di ci i i i di i dio o i di i di
Faixa	Descrição
Criança	Do nascimento até 11 anos incompletos
Adolescente	Dos 11 anos completos aos 21 anos incompletos
Jovem	Dos 21 anos completos aos 30 anos incompletos
Maduro	Dos 30 anos completos aos 65 anos incompletos
Terceira Idade	A partir dos 65 anos completos

#### 3.2 Artigos selecionados

Os artigos selecionados para este estudo empregaram diversas técnicas de representação de dados, processamento de sinais e avaliação de ferramentas. Cada conjunto de análises dos artigos será apresentado a seguir. O primeiro é o de técnicas de processamento de sinais aplicadas nas ferramentas em questão. A seção seguinte apresenta o resumo do conteúdo dos artigos. A terceira seção indica os principais meios de avaliação das ferramentas. Por fim, a quarta seção sumariza a visão global dos artigos.

#### 3.2.1 Técnicas de processamento de sinais

Diversas técnicas foram empregadas para o processamento de sinais digitais e implementadas em soluções de representação de EEG. (Caat, Maurits e Roerdink 2007) destacam que isto se deve, provavelmente, pela inexistência de métodos que possam permitir a visualização simultânea da informação de todos os canais de EEG multicanal de forma adequada.

Os artigos selecionados mostram que até 1994 a análise do sinal de EEG era realizada utilizando-se, majoritariamente, técnicas de transformadas de Fourier. Entretanto haveria vantagens no uso de transformadas *wavelet*, técnica introduzida cerca de dez anos antes. Estas seriam menos utilizadas do que aquelas em decorrência de alta demanda de recursos computacionais, segundo (Schiff et al. 1994). Novos algoritmos permitiram o uso conveniente de sistemas computacionais da época sem degradação na interpretação do resultados.

Determinar relações na estrutura neural a partir da sincronicidade de sinais é uma das possibilidades de resultados que podem ser obtidos a partir do EEG. Esta determinação pode ser obtida a partir da coerência de EEG, um índice da conectividade cortical do encéfalo, como definido por (Baal, Boomsma e Geus 2001). Ele é usualmente utilizado, segundo (Bortel e Sovka 2006), para examinar a conexão funcional entre o encéfalo humano e os músculos. Verifica-se em (Colter e Shaw 1982) que a análise de coerência de EEG provê um método de avaliação de inter-relacionamento entre padrões de atividade em distintas áreas do córtex. A coerência de EEG ajuda a compreender como o encéfalo controla a musculatura e auxilia o diagnóstico de patologias como Doença de Parkinson 13 e distonia dos membros superiores 14, de acordo com (Bortel e Sovka 2006). Entre as diversas aplicações desta técnica destaca-se a Coerência Direcionada Parcial (ou PDC, de Partial Directed Coherence), descrita em (Baccala e Sameshima 2001) e (Baccala e Sameshima 2007). Em comparação com outros métodos de estimativas de conectividade cortical - especificamente os Directed Transfer Function (DTF) e direct DTF (dDTF) - (Astolfi et al. 2005) dizem que o PDC demonstrou-se ser uma opção mais adequada em aspectos como detecção de falsas trajetórias indiretas de conectividade e reconhecimento de padrões de conectividade.

<sup>&</sup>lt;sup>13</sup>Desordem progressiva dos movimentos

<sup>14</sup> Travamento dos movimentos com possível torção devido a contrações musculares involuntárias e repetidas

#### 3.2.2 Conteúdo dos artigos selecionados

A proposta de (Principe e Reid 1990) foi a primeira selecionada nesta revisão. Ela propôs que o sinal do EEG fosse visualizado no espaço de fases, em oposição à representação tradicional no domínio do tempo e analisada no domínio da frequência e tempo. O resultado demonstrava claramente resultados do EEG como ondas lentas, fases de sono profundo ou eventos relacionados à epilepsia. Entretanto não houve avaliação da utilização clínica do método.

Em (Nakagawa, Tsai e He 1997) utilizou-se o método de Análise *Zero-Crossing*, realizado com estatísticas baseadas no cruzamento do eixo horizontal com valor zero em um gráfico. O período de sinal de cada eletrodo do EEG é determinado pelos pontos de cruzamento do gráfico e convertido em frequências instantâneas. A partir disto obtém-se dados a serem exibidos com um mapeamento topográfico bidimensional.

Alguns artigos propuseram técnicas tridimensionais de representação de dados. O objetivo destas técnicas foi obter uma interface que pudesse ser mais facilmente visualizada, como comentado em (Samardzic et al. 2003). (Lantz et al. 2001) obtiveram resultados promissores para localização de atividade cortical que pudesse indicar o foco de surtos epiléticos. A implementação deste tipo de técnica foi identificada a partir de 1998 na seleção realizada de documentos. Nesta época (Han et al. 1998) propuseram, para a obtenção de um mapeamento topográfico tridimensional, um método com técnica de mapeamento por polígonos. Nesta proposta, a amplitude do sinal do EEG é mapeada sobre uma semiesfera, cujo papel era representar a cabeça humana.

Algumas das soluções propostas apresentaram ferramentas de análise computacional capazes de apoiar o procedimento de diagnóstico do neurologista. A primeira destas ferramentas identificadas foi de (Herrmann et al. 2001) – dentre os artigos selecionados – e utiliza a aplicação de Lógica Difusa para extrair padrões de um exame de EEG.

Em 2004, (Gonzalez e Eblen-Zajjur 2004) demonstraram o uso de um programa que exibia um mosaico de mapas tridimensionais sequenciais de EEG. Os encéfalos eram representados como semiesferas. Podemos ver um exemplo da saída deste programa na figura 3.1. O objetivo desta solução foi simplificar o procedimento de exibição tridimensional. O programa foi avaliado com a exibição de dados obtidos pelo exame de dois homens, de 55 e 63 anos, ambos patológicos. O princípio básico

proposto pelos pesquisadores foi transcrever medidas dos sinais de onda registrados em papel no EEG e representar a amplitude e frequência na interface tridimensional. Esta representação dar-se-ia com o uso de tons de cinza. Os próprios autores do artigo avaliaram o programa e concluíram que ele apresentava claras vantagens em relação ao registro tradicional de sinais elétricos.

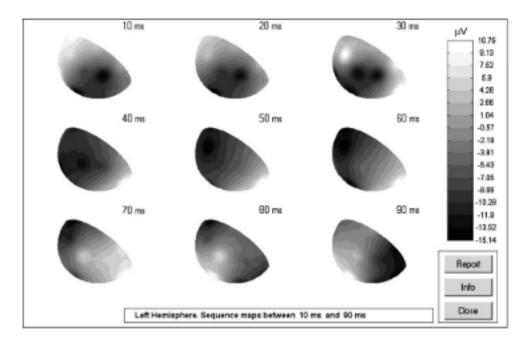


Figura 3.1: Mosaico de mapas proposta em (Gonzalez e Eblen-Zajjur 2004)

Também em 2004 foi apresentado o EEGLAB, por (Delorme e Makeig 2004). O EEGLAB é uma ferramenta livre, com interface gráfica e que executa em conjunto com o MATLAB <sup>15</sup>, para processamento de dados do EEG. A ferramenta inclui processamento de sinais e visualização de dados por várias formas, incluindo mapeamento topográfico bidimensional, que pode ser visualizado na figura 3.2.

Em 2007 (Caat, Maurits e Roerdink 2007) propuseram um método de visualização de dados de EEG baseado em um leiaute quadriculado com uso de duas dimensões de um arranjo linha-coluna.

Em (Caat, Maurits e Roerdink 2008) verifica-se que a visualização típica da coerência de EEG é um grafo com vértices que indicam eletrodos e arestas que representam coerências significativas entre os sinais dos eletrodos, como visto na figura 3.3. Uma desvantagem deste esquema é um potencial para poluição visual. Propôem-se o agrupamento de regiões de interesse para redução desta poluição visual e melhor destaque dos resultados da análise da coerência de EEG.

<sup>&</sup>lt;sup>15</sup>http://www.mathworks.com/products/matlab/index.html

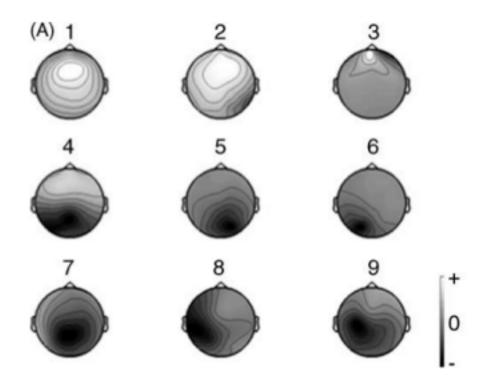


Figura 3.2: Interface do EEGLAB, de (Delorme e Makeig 2004)

Outra proposta de representação visual alternativa foi a de (Putten 2008), com foco no ambiente clínico de rotina, que pretendeu extrair características relevantes do EEG e destacar os padrões obtidos no exame com o uso de gráficos onde cores representariam estes padrões. Sua solução pode ser visualizada na figura 3.4.

(Sourina, Sourin e Kulish 2009) são autores do primeiro artigo a apresentar uma solução tridimensional com uso de modelagem realista da cabeça humana. Trata-se do software VisBrain, desenvolvido em C++. O objetivo desta ferramenta foi exibir como o sinal elétrico capturado mudava durante a realização do exame. Foram propostas três interfaces, como se segue: representação por áreas de distintas cores, elementos em formas de bolha (veja na figura 3.5) e pinos.

Em 2010, (Asakawa et al. 2010) apresentou, no *World Automation Congress*  $^{16}$ , um programa capaz de representar certos dados de interesse sobre uma cabeça estilizada, que pode ser visto na figura 3.6. O foco principal deste programa era o intervalo de tempo  $\tau(\omega)$  entre ativações síncronas de eletrodos vizinhos. A avaliação destes intervalos é útil para a avaliação de problemas psiquiátricos e neurológicos. Estes intervalos são calculados de forma assíncrona, ou seja, após a realização do exame de EEG. O programa classifica estes intervalos de tempo em quatro categorias e exibe

<sup>16</sup> http://wacong.org

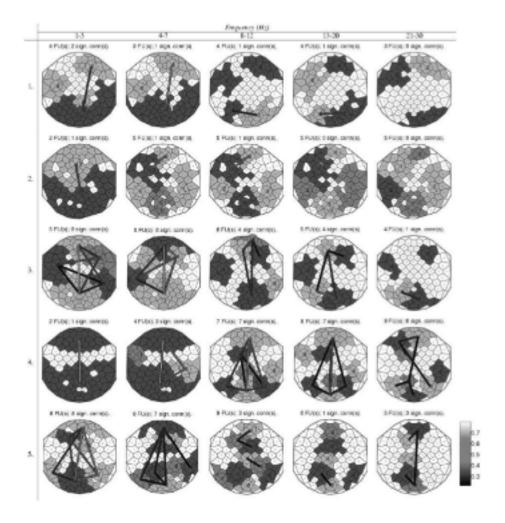


Figura 3.3: Visualização por grafo, de (Caat, Maurits e Roerdink 2008)

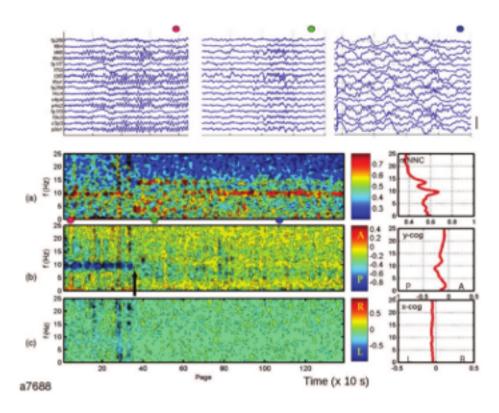


Figura 3.4: Visualização baseada em cores, por (Putten 2008)

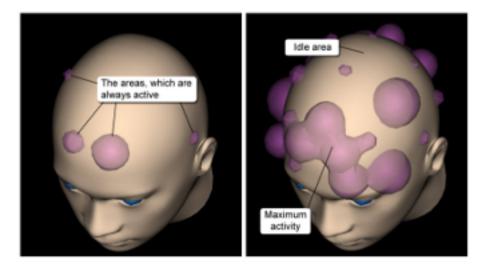


Figura 3.5: VisBrain, de (Sourina, Sourin e Kulish 2009)

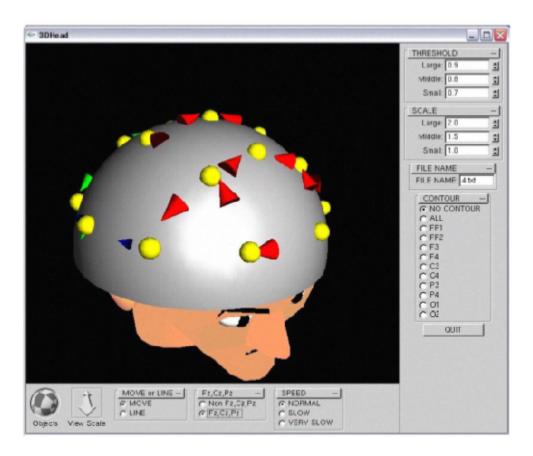


Figura 3.6: Aplicativo no World Automation Congress, por (Asakawa et al. 2010)

cada um com setas que combinam cores e largura para representá-las.

No mesmo ano (Poli et al. 2010) apresentaram o Eigenbrains, que pode ser vista na figura 3.7. Ele baseia-se em um modelo das propriedades elétricas do encéfalo e apresenta uma representação bidimensional com uso de escala de cores.

Mais recentemente foram publicados diversos trabalhos com sugestões nesta área de estudo. Um destes é o estudo de (Koenig et al. 2011) que introduziram o Ragu (*Randomization Graphical User Interface*) para realização de análises estatísticas em EEG e MEG. Esta ferramenta pode ser vista na figura 3.8.

Outro destaque recente é uma proposta de (Stopczynski et al. 2011), com uso de aplicação móvel. Trata-se de uma solução de baixo custo com uso de um *headset* de 14 eletrodos que conecta-se de forma *wireless* a um *smartphone*. Neste aparelho implementou-se uma interface sensível ao toque que exibe o resultado do EEG em tempo real e sobre uma representação tridimensional de um encéfalo <sup>17</sup>, como pode ser visto na figura 3.9.

O Brainstorm, de (Tadel et al. 2011), é uma aplicação para visualização de dados

<sup>&</sup>lt;sup>17</sup>http://youtu.be/HqEfiy\_nguY e http://youtu.be/i\_66KAOzXhU

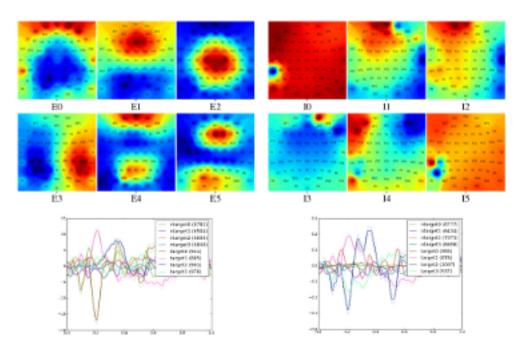


Figura 3.7: Interface do Eigenbrains, de (Poli et al. 2010)

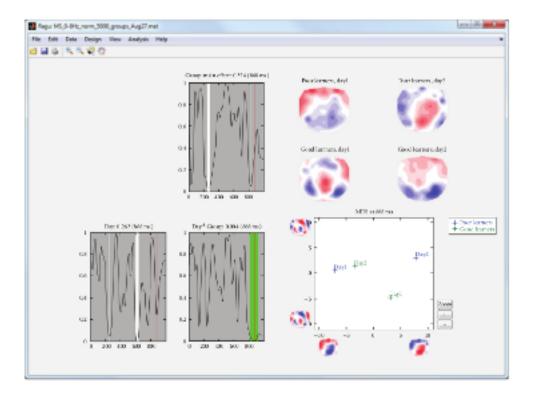


Figura 3.8: Ragu, proposto por (Koenig et al. 2011)



Figura 3.9: Solução em *smartphone* de (Stopczynski et al. 2011)

de EEG e MEG. A aplicação foi desenvolvida com Java embutido em scripts MATLAB e é distribuída como Sofware Livre.

(Delorme et al. 2011) divulgaram um conjunto de ferramentas complementares ao EEGLAB, citado na página 16. As interfaces de plugins para o EEGLAB foram construídas com o EEGLAB STUDY. Design, disponível a partir da versão 9 do EEGLAB, de 2010.

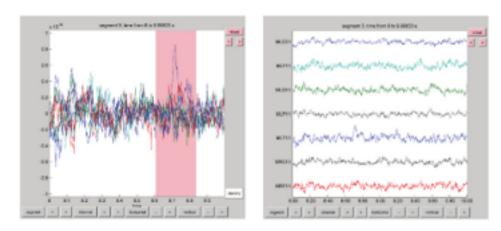


Figura 3.10: Interface do FieldTrip, de (Oostenveld et al. 2011)

O FieldTrip foi apresentado por (Oostenveld et al. 2011) e é um pacote de Software Livre desenvolvido para análise de EEG e MEG. Também opera em conjunto com o MATLAB. Sua operação é realizada por linhas de comando, mas pode exibir resultados graficamente, como vemos na figura 3.10.

O ELAN, de (Aguera et al. 2011), é um pacote de software implementado em C para análise e visualização de sinais de EEG e MEG e outros exames. O ELAN apresenta três formas de visualização de dados. A primeira apresenta o sinal de onda

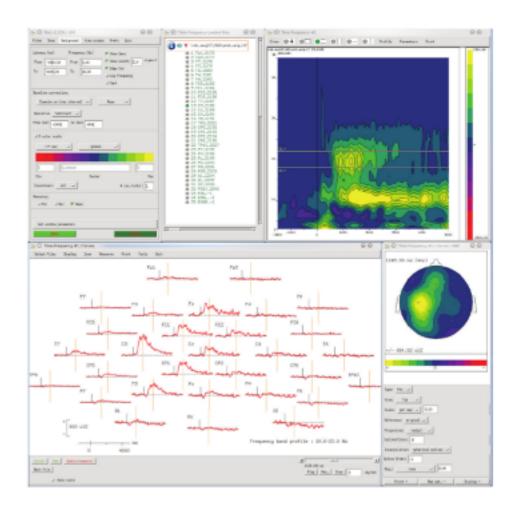


Figura 3.11: Interface do ELAN, de artigo de (Aguera et al. 2011)

da forma mais tradicional. A segunda denomina-se ERPA e pode representar o sinal evocado dos exames em uma representação bidimensional da cabeça. Por fim, a ferramenta TFVIZ exibe resultados deste pacote para análise de tempo-frequência, como na figura 3.11.

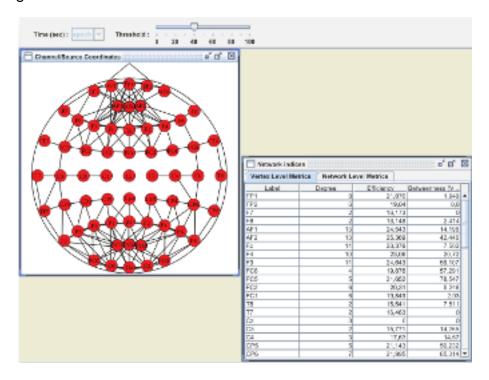


Figura 3.12: Interface do ELAN, de (Christodoulou et al. 2011)

Foi apresentado por (Christodoulou et al. 2011) o BrainNetVis. Esta ferramenta provê uma forma de visualização em grafo que demonstra mecanismos neurais obtidos por uma avaliação de coerência de EEG. A representação de dados é realizada com um grafo que representa as conexões entre os eletrodos do EEG, como vemos na figura 3.12.

Vimos também o NUTMEG, de (Dalal et al. 2011). É uma ferramenta que combina dados de Magnetoencefalografia (MEG), EEG e EEG intracraniano, aglutinando a exibição dos resultados em uma única interface, que pode ser vista na figura 3.13.

(Brunet, Murray e Michel 2011) apresentaram outra ferramenta que aglutina resultados de exames distintos. Esta ferramenta é o CARTOOL e sua interface está na figura 3.14.

A unificação de resultados de MEG e EEG foi abordada por mais uma ferramenta, a SPM8, de (Litvak et al. 2011). Sua interface pode ser vista na figura 3.15

Além destas ferramentas a literatura da área compreende outros artigos com soluções de menor destaque como:

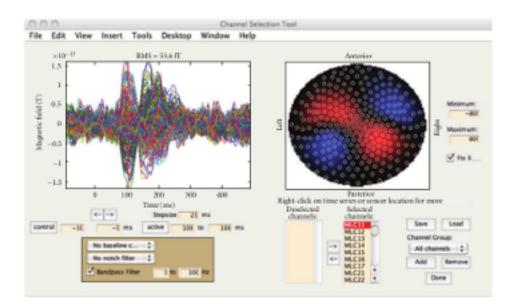


Figura 3.13: Interface do NUTMEG, de (Dalal et al. 2011)

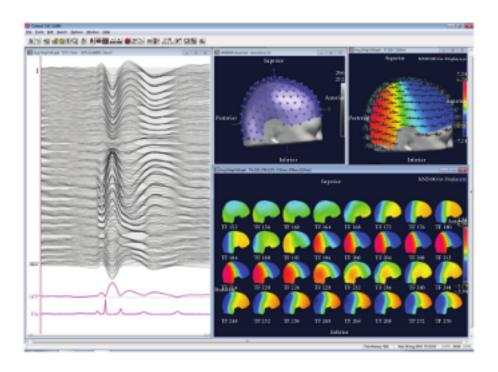


Figura 3.14: Interface do CARTOOL, proposto por (Brunet, Murray e Michel 2011)

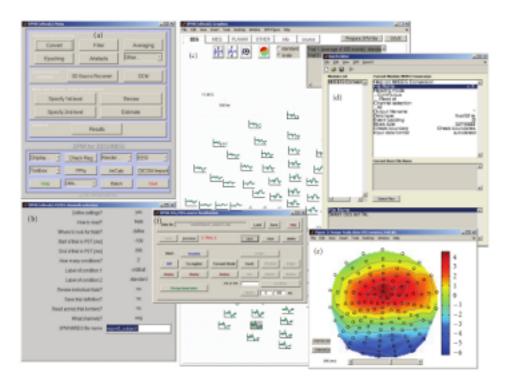


Figura 3.15: Interface do SPM8, de (Litvak et al. 2011)

- Decomposição topográfica, de (Koenig, Marti-Lopez e Valdes-Sosa 2001)
- Análise de Componentes Independentes, de (Yamazaki, Tajima e Matsuoka 2003)
- Visualização de Padrões Têmporo-espaciais, de (Bai et al. 2004)
- Sistema de visualização topográfica, de (Alba et al. 2007)
- Processamento de sinais para interpretação clínica de EEG em pacientes com suspeita de convulsão, de (Lay-Ekuakille et al. 2007)
- EMEGS, de (Peyk, Cesarei e Junghöfer 2011).

### 3.2.3 Avaliação das ferramentas propostas

Nos artigos analisados não foi comum encontrar-se avaliações das ferramentas que pudessem ser consideradas isentas. É conveniente que as ferramentas sejam avaliadas por pessoas que não sejam os autores das mesmas. A intrínseca relação dos autores com seu objeto de estudo não garante o distanciamento suficiente para que a análise dos mesmos seja fiel. Os mesmos podem avaliar, de maneira segura, a acurácia de suas ferramentas. Entretanto, a usabilidade destas é melhor avaliada por outras pessoas, não envolvidas diretamente com seu processo de desenvolvimento.

Este tipo de avaliação não apresentou-se como sendo algo comum. O primeiro dos artigos analisados com indicação deste tipo de avaliação foi de 1997. Foi um estudo realizado por (Nakagawa, Tsai e He 1997), com o exame de EEG em 5 voluntários saudáveis com idades entre 21 e 36 anos. Entretanto, não foi realizada avaliação da ferramenta proposta por outras pessoas que não os próprios autores do trabalho.

O artigo de (Caat, Maurits e Roerdink 2007) foi o único com indicação da seleção de amostra que utilizou tanto um grupo de controle com pessoas saudáveis como outro com pessoas com diagnóstico de algum problema de origem neurológica. Este mesmo trabalho é o único, dentre todos analisados, que submeteu a solução proposta a uma avaliação por terceiros. Esta avaliação foi realizada por doze profissionais divididos em três grupos, cada uma com um grau de experiência, prática clínica e conhecimento na interpretação de exames de EEG. Foram cinco estudantes de programas de Mestrado ou Doutorado, quatro pesquisadores e três profissionais com experiência clínica. Foram avaliados o tempo médio para análise e interpretação de resultados.

### 3.3 Análise dos artigos selecionados

Alguns documentos apresentaram soluções que oferecem mais do que uma forma de visualização de dados. Estes tiveram sua solução classificada em mais de uma categoria. A distribuição das categorias pode ser vista na figura 3.16

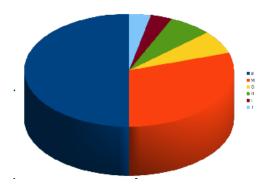


Figura 3.16: Distribuição de categorias das soluções propostas

As categorias mais proeminentes foram as de mapeamento topográfico bidimensional e tridimensional. A primeira destas corresponde a metade das soluções propostas e a segunda a 30% delas

Entretanto, não se deve deixar de considerar o fato de que as categorias de Mapeamento Topográfico e Mapeamento Tridimensional têm se tornado cada vez mais presentes com o passar do tempo - como vemos no quadro 3.5 e no gráfico 3.17 -, apresentando-se como tendências para trabalhos futuros. Certamente isto deve-se à evolução e barateamento de recursos computacionais. Os artigos selecionados, entretanto, não investigaram a existência de vantagem significativa no uso de representações tridimensionais.

Ano	Т	Н	G	L	В	М	Soma
1990		1					1
1997					1		1
1998						1	1
2001					3		3
2003	1		1			1	3
2004					2	1	3
2007		1	1		1		3
2008				1	1		2
2009						1	1
2010					1	1	2
2011					6	4	10
Soma	1	2	2	1	15	9	

Tabela 3.5: Categorias de soluções e ano de publicação

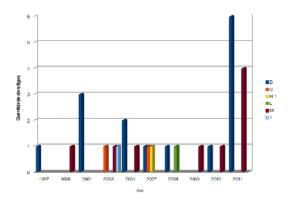


Figura 3.17: Evolução das soluções propostas

Dos artigos analisados verifica-se que 63% deles representam aspectos da onda do sinal elétrico do EEG. Destaca-se também que 16,7% dos documentos selecionados oferecem visualização para resultados de análise de coerência de EEG.

A maior parte dos documentos (76,7%) utilizaram apresentação com utilização de cores, sendo que 65,2% destes utilizaram paletas com quantidade reduzida de cores.

Dentre os autores dos artigos destacam-se a equipe Michael ten Caat, Natasha M. Maurits e Jon B.T.M. Roerdink, dos Países Baixos, autores de dois trabalhos:

• (Caat, Maurits e Roerdink 2007)

• (Caat, Maurits e Roerdink 2008)

Robert Oostenveld, também dos Países Baixos, também participou de dois artigos:

- (Oostenveld et al. 2011)
- (Litvak et al. 2011)

Por fim, Thomas Koenig, da Suiça, completa a lista de autores envolvidos em dois artigos:

- (Koenig, Marti-Lopez e Valdes-Sosa 2001)
- (Koenig et al. 2011)

Parcela significativa dos artigos (30%) foi publicada no *Computational Intelligence* and *Neuroscience*, de 2006, particularmente em sua edição especial de aplicações em *software* para mapeamento eletromagnético do encéfalo, de 2011. Destaca-se também a *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* que apresentou 16,7% dos artigos publicados em diversas de suas edições.

Em mais de metade (56,7%) dos artigos não houve indicação explícita da amostra de indivíduos ou pacientes cujos exames foram utilizados para avaliar as ferramentas. Dos artigos com indicação da faixa etária dos indivíduos analisados tem-se a indicação da utilização mais comum de jovens (35,3%) e pessoas maduras (13,3%).

Não houve avaliação específica, na amostra utilizada de documentos, sobre o quanto o uso de interfaces tridimensionais impactou sobre a usabilidade dos aplicativos propostos. Isto não permite avaliar, à priori, se o maior custo computacional para desenvolvimento e para a utilização destas ferramentas, atrelado ao uso de recursos utilizados na geração de imagens tridimensionais, é compensado ao final do processo.

Adicionalmente, houve falhas ao não descreverem o processo de seleção de pacientes para testes e avaliação dos sistemas desenvolvidos. Outro aspecto que não foi devidamente coberto nos artigos foi a realização de avaliação dos sistemas desenvolvidos por terceiros.

Convém que novas pesquisas com desenvolvimento de interfaces para EEG façam avaliação rigorosa da aplicabilidade da solução. Esta avaliação deve ser realizada por terceiros, ou seja, não deve ser conduzida somente pelos próprios autores dos sistemas propostos.

Outras pesquisas interessantes seriam as que procurassem avaliar quais aspectos de exames de EEG seriam mais propícios para serem exibidos em interfaces alternativas. Vimos soluções baseadas na amplitude e frequência do sinal elétrico e no intervalo de tempo entre ativações síncronas de eletrodos vizinhos. Além destes pode-se procurar outros parâmetros, como a coerência de EEG.

Ao levar em conta a evolução dos trabalhos propostos nesta área, é possível avaliar que novos estudos devem continuar propondo uso de tecnologias em consolidação, como é o caso das interfaces sensíveis ao toque. Outra evolução esperada é o uso de *tablets* e *phablets*, com telas maiores do que as de *smartphones*.

# 4 Metodologia

Este trabalho iniciou-se com Revisões Sistemáticas acuradas sobre os seguintes temas:

- Formas de representação de dados de EEG
- Técnicas de Coerência de EEG
- Métodos de avaliação de softwares de EEG na área médica

Estas Revisões Sistemáticas ofereceram suporte técnico e acadêmico para a elaboração deste projeto.

Em paralelo, foi desenvolvida uma aplicação com intuito de atender aos requisitos aqui expostos. Esta foi elaborada para execução em *tablet* capaz de executar o sistema operacional Android.

Elaborou-se também uma técnica de avaliação de aplicativos congêneres, indicandose a seleção do tamanho e composição da amostra de indivíduos que realizariam exames de EEG para fornecer dados para esta pesquisa. Esta amostra deve ser composta por dois grupos de pacientes. O primeiro é dos sãos, que formará um grupo de controle. O segundo deve ser composto por pacientes com diagnóstico de patologias que possam ser analisadas com a técnica de transformação selecionada. Estes pacientes devem anuir com a participação nesta pesquisa e suas identidades devem ser preservadas. Após a obtenção dos dados primários necessários, proceder-se-ia ao processamento dos mesmos para geração da massa de dados pré-processada do programa.

O programa deve ser avaliado e validado por experiência de diagnóstico a ser empreendida por profissionais médicos com distintos perfis. Espera-se dividir estes profissionais em três categorias compostas por pessoas de três categorias, como indicado no quadro 4.1

Tabela 4.1: Profissionais para avaliação

Categoria	Descrição
Iniciantes	Residentes ou médicos com menos de três anos de prática clínica na especialidade de Neurologia
Acadêmicos	Professores de cursos de graduação ou pós-graduação voltados à especialidade de Neurologia
Experientes	Profissionais médicos com mais de dez anos de prática clínica na especialidade de Neurologia

Cada médico ou residente deve ter um treinamento padrão para utilização do programa em questão. Após o referido treinamento, devem ser chamados a realizar três análises de exames, compostas por um EEG tradicional e dois por intermédio da aplicação proposta: um de paciente são e outro de paciente não-saudável. Para cada análise devem ser registrados os seguintes itens:

- Identificação do teste
- Tempo consumido na análise
- Diagnóstico ou encaminhamento sugerido
- Grau de dificuldade percebido para análise

Estes dados devem receber o tratamento estatístico necessário para que seja possível extrair resultados como, ao menos:

- Diferença entre tempo consumido na análise tradicional e na proposta
- Precisão do diagnóstico ou encaminhamento
- Comparação da percepção de dificuldade entre métodos

Para extração destes resultados avaliar-se-ia o uso de médias e desvio-padrões e distribuições amostrais.

### 4.1 Resultados esperados

Esperou-se que a aplicação do procedimento metodológico acima resultasse nos seguintes itens:

- Programa para dispositivos móveis apto a desempenhar todos os requisitos acima definidos. Este programa deve estar disponível para instalação por intermédio da ferramenta padrão de distribuição de programas para Android, o Google Play 1
- Redução perceptível do tempo para análise de exame com auxílio do programa citado
- Incremento significativo na precisão do diagnóstico ou encaminhamento médico
- Redução significativa na percepção de dificuldade do procedimento de análise com uso do programa

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>https://play.google.com/store

## 5 Resultados

### 5.1 Desenvolvimento

Para atingir os objetivos definidos no capítulo 2 fez-se necessário o desenvolvimento de um aplicativo para dispositivos móveis que apresente dados de EEG de forma alternativa.

Inicialmente foram consideradas duas opções: uso de *smartphones* ou *tablets*. A pretensão do aplicativo é de oferecer uma opção com visualização confortável ao profissional que o manipulará. Para tal, avaliou-se que os *smartphones* ofereciam telas de no máximo 4,3" enquanto os *tablets* são desenvolvidos com telas a partir de 7". No decorrer do desenvolvimento o mercado viu florescer as opções de *phablets*, dispositivos intermediários com telas de 5" a 6". O aplicativo foi desenhado, portanto, para este tipo de dispositivo, mais facilmente transportável. Não obstante, ele funcionará sem restrições em *tablets* com telas maiores.

O primeiro passo para a implementação da solução foi a seleção da plataforma de desenvolvimento. As plataformas de desenvolvimento são intrinsicamente associadas com o sistema operacional disponível nos equipamentos em questão. Hoje em dia destacam-se dois sistemas operacionais em uso nos *tablets*: iOS e Android. Não costuma ser seguro desprezar a capacidade de competição da Microsoft, que mantém uma opção para este mercado: o *Windows Phone*. Entretanto, os Android e iOS têm juntos mais de 90% do mercado, segundo o (IDC Corporate USA 2013). Há condições para que o sistema operacional móvel da Microsoft adquira porções maiores do mercado. Entretanto, na época de desenvolvimento esta ainda não era uma opção viável.

Entre as duas opções em análise optou-se pelo Android em virtude dos seguintes motivos:

Ambiente de desenvolvimento que pode ser executado em diversas plataformas,

como Windows <sup>1</sup>, Mac OS X <sup>2</sup> ou Linux <sup>3</sup>, ao contrário do iOS que é atrelado ao Mac OS X.

- Uso de linguagem de programação largamente empregada (Java <sup>4</sup>), enquanto o iOS é baseado em Objective-C <sup>5</sup>
- Associação com IDE de desenvolvimento de uso generalizado (Eclipse <sup>6</sup>) em oposição à IDE integrada ao Mac OS X (XCode <sup>7</sup>)
- Configuração do ambiente de desenvolvimento que implica em menores custos de *hardware*, *software* (tanto para sistema operacional como para IDE de desenvolvimento) e com a licença para desenvolvedor.
- Processo de aprovação mais simplificado para disponibilização da aplicação no Google Play do que na App Store 8.
- Melhor suporte ao paralelismo.
- Existência de mais de um fabricante de hardware, possibilitando mais opções de dispositivos e com faixa de preços ao consumidor mais atrativa.

O ambiente de desenvolvimento foi configurado em um equipamento da família PC com processador *Intel Pentium Dual-Core* <sup>9</sup> de 2.16 GHz e 4 GB de memória RAM. Neste equipamento encontra-se instalada a distribuição Linux Ubuntu 11.10 <sup>10</sup>. Para preparação do ambiente de programação em Java foi feita a instalação do *kit* de desenvolvimento Java pela obtenção do pacote *Java EE SDK Update 3* com *JDK 6 Update 29* <sup>11</sup>. A *IDE Eclipse Indigo* 3.7 foi instalada obtendo-se o *Eclipse IDE for Java EE Developers* a partir do *website* do Eclipse <sup>12</sup>. Após a instalação do Eclipse procedeu-se a uma atualização da ferramenta. Na IDE Eclipse foram instaladas e configuradas as ferramentas de desenvolvimento Android (*plug-in ADT - Android Development Tools*) na versão 16.0.1. Mais especificamente, instalou-se:

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>http://windows.microsoft.com/pt-BR/windows/home

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>http://www.apple.com/br/macosx/

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>http://kernel.org/

<sup>4</sup>http://www.java.com/

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup>http://goo.gl/Oy2IN

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup>http://www.eclipse.org/

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup>https://developer.apple.com/xcode/

<sup>8</sup>http://www.apple.com/br/mac/app-store/

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup>http://goo.gl/SYZMi

<sup>10</sup> http://www.ubuntu.com/

<sup>11</sup> http://goo.gl/X6aZQ

<sup>12</sup>http://www.eclipse.org/downloads/

- Android Development Tools
- Android DDMS

Com o gerenciador do SDK do Android foram instalados os pacotes necessários para programação para as versões 2.2, 3.1 e 4.0 do Android, versões comuns em *tablets*.

Para criação do aplicativo foi criado um projeto de uma aplicação Android voltada à versão 4.0 da plataforma. A aplicação foi denominada PDC. As classes desta aplicação foram organizadas em um pacote denominado br.usp.poli.lcs.pdc.

A aplicação foi dividida em três pacotes, a saber:

- br.usp.poli.lcs.pdc
- br.usp.poli.lcs.pdc.common
- br.usp.poli.lcs.pdc.eeg

O primeiro tem classes que controlam cada uma das distintas telas do aplicativo. O segundo abriga uma classe utilizada para se manter dados sobre quais eletrodos foram selecionados para serem examinados. O terceiro e último pacote contém as classes que representam os dados do EEG em si.

Ao todo foram utilizadas oito classes, que podem ser conhecidas no quadro 5.1. As três classes que controlam telas são associadas a arquivos XML que descrevem estas telas.

O aplicativo é inicializado pela classe PDCActivity. Esta classe está associada ao arquivo main.xml, que descreve a tela. Nela vê-se o topo de uma cabeça humana com marcação da posição para realização de exame de EEG com 19 eletrodos, como pode ser visto na figura 5.1. Ao tocar na posição dos eletrodos eles são selecionados (ou desmarcados) para exibição e cálculo. Ao se obter a configuração desejada de seleção de eletrodos o usuário deverá clicar sobre o botão da tela para visualização dos eletrodos.

A segunda tela é definida no arquivo signals.xml, que é controlado pela classe SignalsActivity. Nesta tela é exibido um gráfico com a representação tradicional de 10 segundos dos sinais dos eletrodos, como a figura 5.2 permite visualizar. Um controle deslizante é utilizado para reposicionar o início do gráfico. Para o desenho do gráfico

Tabela 5.1: Classes do aplicativo

Pacote	Classes do aplica	Descrição		
	PDCActivity	Controla a tela inicial		
br.usp.poli.lcs.pdc	1 Bortonvity	do aplicativo, na qual		
on.dop.ponneo.pdo		o usuário seleciona		
		quais eletrodos serão		
		observados		
	Signale Activity			
	SignalsActivity	Controla a segunda		
		tela do aplicativo. Nesta são exibidos		
		os sinais dos eletro-		
		dos selecionados e		
		pode-se solicitar a		
		exibição do resultado		
	Charris DDC A attivity	do PDC		
	ShowPDCActivity	Controla a terceira		
		tela do aplicativo.		
		Esta exibe o resul-		
		tado do cálculo do		
		PDC por intermédio		
		de linhas entre ele-		
		trodos sobre uma		
		representação do topo de uma cabeça		
		humana		
br.usp.poli.lcs.pdc.common	FlactrodesStatus	Mantém dados que		
bi.usp.poii.ics.puc.common	Liectiodesotatus	indicam quais eletro-		
		dos estão sendo ob-		
		servados		
	EEGData	Representa a leitura		
	LLabaia	em um determinado		
br.usp.poli.lcs.pdc.eeg		instante de tempo de		
		todo os canais do		
		EEG		
	EEGDataAux	Contém métodos es-		
		táticos de apoio à lei-		
		tura do arquivo com		
		dados do EEG		
	EEGDataCreator	Classe que retorna		
		um EEGDataList		
	EEGDataList	Mantém um lista		
		encadeada com os		
		diversos EEGData		
		de um determinado		
		exame		

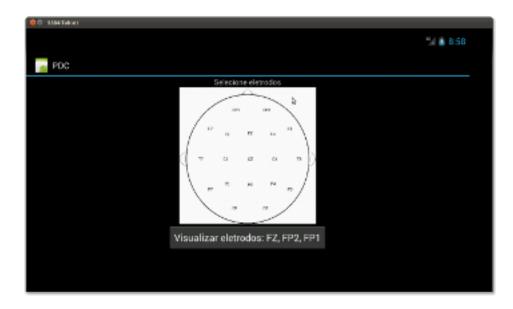


Figura 5.1: Tela de seleção de eletrodos no PDC

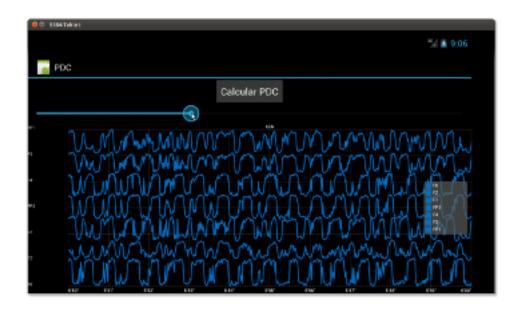


Figura 5.2: Tela com gráfico de sinais de EEG

foi utilizada a biblioteca GraphView, de (Gehring 2011). Trata-se de uma biblioteca com licença LGPL <sup>13</sup> que facilita a tarefa de traçar gráficos, em especial os com múltiplas séries de dados. O gráfico foi configurado para ser possível alterar sua escala com um movimento de pinça com os dedos sobre o mesmo.

Nesta tela é possível pressionar no botão para mostrar o resultado do PDC para que a coerência de EEG baseada neste método seja calculada e seu resultado exibido. Utiliza-se da mesma figura do topo da cabeça, indicando-se o grau de conectividade entre os eletrodos com linhas traçadas entre os eletrodos.

### 5.2 Avaliação

No prazo e condições de desenvolvimento deste trabalho não foi possível concluir com sucesso um teste de técnica de avaliação de aplicativos. O objetivo desta operação seria oferecer uma análise isenta e transparente da usabilidade da ferramenta aqui descrita.

Este processo teria início pelo registro em Comitê de Ética na Pesquisa dos procedimentos aqui descritos, de forma a garantir que estes ocorram de forma condizente com o respeito devido aos envolvidos. As observações deste Comitê podem levar a revisões destes procedimentos doravante descritos.

O primeiro passo efetivo seria estabelecer parceria com profissionais e pesquisadores da área de Neurologia para que fornecessem subsídio a determinadas decisões a serem tomadas durante o processo. Eles poderiam ser selecionados, idealmente, na mesma Instituição de Ensino Superior e de Pesquisa que o desenvolvedor ou responsável pelo aplicativo. Profissionais que não atuem diretamente na área de Pesquisa poderiam ser contatados a partir de indicação dos anteriormente envolvidos ou em Hospital onde atuem os mesmos pesquisadores. No caso deste trabalho, seriam procurados parceiros na Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo e no Hospital das Clínicas de São Paulo.

Definir-se-ia com estes parceiros quais patologias seriam indicadas para serem testadas com a utilização da ferramenta proposta. Este passo é importante para a definição da amostra de indivíduos a serem submetidos a exames de EEG.

O passo seguinte seria definir a seleção e a composição da amostra de indivíduos

<sup>13</sup> http://www.gnu.org/licenses/lgpl.html

que seriam submetidos a exames de EEG. Este exames seriam utilizados para fornecer os dados necessários para avaliação e testes da ferramenta em questão. Esta amostra seria definida envolvendo-se profissionais da área médica e estatísticos. A amostra deveria ser composta consideração variáveis como:

- Condição de saúde. A amostra deve contar com quantidade semelhante de indivíduos com diagnóstico de patologias anteriormente definidas como alvo de estudo e outros saudáveis no geral. Os indivíduos saudáveis serviriam como grupo de controle, o que é primordial para garantir a acurácia da ferramenta.
- Faixa etária. Seriam estabelecidas as faixas etárias a serem observadas. A
  escolha deveria recair sobre aquelas nas quais as patologias em estudo são
  mais prevalentes. A distribuição de indivíduos nas faixas etárias deveria ser
  proporcional à distribuição das mesmas na população brasileira ou da região
  onde a avaliação seria executada.
- Sexo. Caso as patologias em observação tenham evolução com diferenças significativas relacionadas com o sexo do paciente, seriam selecionados indivíduos com a mesma proporção relacionada ao sexo que a observada na incidência das patologias.
- Outros. Durante a definição da amostra podem ser levantadas outras variáveis que impactem sobre a análise, como destria ou nível de escolaridade. A distribuição dos indivíduos com estas variáveis na amostra deveria respeitar, primordialmente, a proporção como elas ocorrem nas patologias em questão.

Os indivíduos da amostra com diagnóstico das patologias selecionadas poderiam ser escolhidos dentre os pacientes que procurem os profissionais ou hospitais envolvidos na pesquisa e passariam a fazer parte da amostra após anuência expressa e documentada do mesmo. Pacientes sem condições de tomar esta decisão, seja por sua idade ou por sua condição de saúde teriam que contar com a anuência de seus responsáveis legais.

Os indivíduos saudáveis seriam escolhidos por três formas, a saber:

- Indicação dos pesquisadores envolvidos
- Dentre pacientes que tenham procurado o hospital envolvido e que tenham apresentado diagnóstico negativo para as patologias em questão

 Voluntários que obtenham informações sobre a pesquisa por intermédio de divulgação pública

Estes também teriam de expressar documentalmente a anuência com o processo.

A identidade dos indivíduos da amostra deve ser preservada, em respeito à suas privacidade e intimidade.

O exame de EEG seria realizado em todos os indivíduos da amostra, da forma usual e de maneira a não gerar diferenças nos resultados eventualmente gerados por distintos procedimentos. Os resultados destes exames devem ser armazenados em arquivos individuais de forma a preservar a caracterização do indivíduo mas, ao mesmo tempo, não deve identificá-lo. Um procedimento possível seria atribuir a cada indivíduo um número de identificação com quantidade de dígitos capaz de identificar amostras dez ou cem vezes maiores. Este número de identificação deveria ser gerado de forma aleatória ou pseudo-aleatória. Esta geração deve ser feita no momento do exame e não deve haver registro do paciente relacionado, mas tão somente dos números de identificação gerados para evitar a duplicidade destes valores. Os arquivos referentes aos exames realizados devem ser identificados por intermédio destes números.

Os testes da ferramenta seriam realizados por pessoas com distintos perfis. Os examinadores devem ser dividos em três categorias, propostas da seguinte forma:

#### Residentes

- Pesquisadores e Professores de cursos de graduação e pós-graduação na área de Neurologia. Não é improvável que estes pesquisadores tenham atuação profissional fora do ambiente acadêmico, mas pode-se considerar que estes possam ter uma visão diferenciada dos aspectos a serem analisados.
- Profissionais não envolvidos com a área acadêmica e com mais de dez anos de prática clínica na especialidade

Estes examinadores seriam selecionados a partir de indicações dos pesquisadores envolvidos, de voluntários ou de ambos. Cada um deles deveria passar por um treinamento padrão no qual seria explicado o funcionamento básico do aplicativo. Uma vez treinados os examinadores realizariam três análises de exames, a saber:

• EEG tradicional. Será escolhido um exame aleatoriamente, de qualquer um dos pacientes. O objetivo desta análise é servir de parâmetro de comparação.

- Aplicativo com dados de paciente saudável
- Aplicativo com dados de paciente com patologia

Para cada análise seriam recolhidos os seguintes dados:

- Identificação do teste. Para tal será utilizado um número sequencial
- Identificação do perfil do examinador. Será indicado aqui se o examinador é pesquisador, profissional iniciante ou profissional experiente.
- Identificação do perfil do paciente. Aqui deve estar registrado se o paciente é saudável ou não (com dados de sua patologia, neste caso), faixa etária, sexo e, eventualmente, outros.
- Tempo consumido na análise
- Diagnóstico ou encaminhamento sugerido

Nos testes realizados com o aplicativo proposto, os examinadores responderiam a algumas questões. Seriam aplicadas questões fechadas, para melhor padronização e comparação das respostas.

- Em relação ao EEG padrão, você diria que este é mais fácil ou mais complexo para realização de diagnóstico ou encaminhamento?
   Respostas possíveis:
  - "Muito mais complexo"
  - "Ligeiramente mais complexo"
  - "Ligeiramente mais fácil"
  - "Muito mais fácil".
- Este aplicativo, em relação ao EEG padrão, permite diagnósticos ou encaminhamentos com mais segurança ou com menos segurança?
  Respostas possíveis:
  - "Muito mais seguro"

- "Ligeiramente mais seguro"
- "Ligeiramente menos seguro"
- "Muito menos seguro".
- A seleção dos eletrodos a serem examinados foi uma tarefa simples ou complexa?

Respostas possíveis:

- "Muito simples"
- "Ligeiramente simples"
- "Ligeiramente complexo"
- "Muito complexo"
- A apresentação dos dados de coerência de EEG puderam ser interpretados com facilidade ou com dificuldade?

Respostas possíveis:

- "Muita dificuldade"
- "Ligeira dificuldade"
- "Ligeira facilidade"
- "Muita dificuldade"
- Caso você considera que teria sido se tivesse sido possível utilizar este aplicativo como ferramenta de aprendizado e estudo durante seu período no curso de Graduação?

Respostas possíveis:

- "Muito produtivo"
- "Pouco produtivo"
- "Ligeiramente improdutivo"
- "Totalmente improdutivo"
- Você incorporaria o uso deste aplicativo à sua rotina de interpretação de exame de EEG?

Respostas possíveis:

- "Sim, com certeza"

- "Provavelmente sim"
- "Provavelmente não"
- "Não, com certeza"

A estas somar-se-iam questões abertas para avaliação de aspectos que não poderiam ser interpretados com utilização de questões fechadas. Estas perguntas seriam:

- A seu ver, quais são os pontos fortes deste aplicativo, em relação ao método tradicional de interpretação de EEG?
- A seu ver, quais são os pontos fracos deste aplicativo, em relação ao método tradicional de interpretação de EEG?
- Do seu ponto de vista, quais funcionalidades deveriam ser incorporadas a este aplicativo?
- Do seu ponto de vista, quais funcionalidades deveriam ser removidas deste aplicativo?

#### 5.2.1 Análise dos dados

A primeira análise que seria realizada a partir dos dados obtidos focaria o tempo consumido. Far-se-ia a comparação do tempo consumido médio e o desvio-padrão desta medida na análise do EEG tradicional e com o aplicativo. Além da comparação geral, seria realizada também a comparação segmentada por perfil do examinador. Este passo teria como objetivo avaliar se o aplicativo ofereceria vantagem em relação ao método tradicional no que se refere ao tempo para interpretação. Um objetivo secundário seria avaliar se este diferencial de tempo é afetado pelo tempo de experiência ou viés profissional do examinador.

A seguir seria avaliado o diagnóstico ou encaminhamento proposto, em comparação com o mesmo dado atribuído anteriormente ao paciente. O foco desta etapa seria verificar em quais situações estes diagnósticos diferem dos de referência. Seria detalhado se as diferenças ocorrem de forma distinta com o uso da técnica tradicional ou do aplicativo e, com maior detalhe, em função do perfil do examinador ou da condição de saúde do paciente.

A questão que compara a facilidade de utilização do aplicativo em relação ao EEG padrão seria analisada pela determinação da moda dos valores atribuídos pelos examinadores. Além da moda com os quatro valores isolados seria feita a comparação com os dados agrupados entre os que consideram o aplicativo mais complexo e aqueles que o consideram mais fácil. Este tratamento das medições permitirá saber da percepção dos examinadores sobre o grau de complexidade do uso do aplicativo em questão.

O próximo passo seria analisar a questão da segurança que o aplicativo oferece para realização de diagnósticos. Da mesma forma que no item anterior seria utilizada a moda dos quatro valores isolados e a comparação dos dados agrupados entre os que apontam para uma maior segurança do examinador e os que levam à direção contrária. Isto nos indicaria se o aplicativo oferece condições para o médico utilizá-lo para realização de diagnósticos e encaminhamentos com a segurança devida.

A mesma técnica de análise seria aplicada à complexidade da tarefa de seleção de eletrodos. A observação da moda dos valores isolados e a comparação do agrupamento pelos pares de valores das extremidades forneceriam uma visão dos examinadores sobre o quanto a tarefa inicial a ser desempenhada no aplicativo é feita com facilidade.

Seria possível saber se, em comparação com o EEG tradicional, a interpretação da representação do EEG é realizada com maior ou menor dificuldade pela análise da moda e da comparação do agrupamento, da mesma forma que os itens anteriores mais recentes, da questão seguinte.

O mesmo tipo de análise seria utilizado para saber se os examinadores consideram este aplicativo como uma ferramenta útil no processo de aprendizagem e estudo.

A técnica de moda de valores isolados e comparação de agrupamento de pares seria utilizada ainda mais uma vez para avaliar o interesse manifestado pelos examinadores de utilizar um aplicativo como o analisado.

As duas primeiras questões abertas permitiriam criar uma lista de características do aplicativo consideraras como qualidades ou defeitos. Seria necessário listar as opções respondidas, uniformizar a linguagem e contabilizar as ocorrências de cada citação. Seria importante comparar se alguma característica seria apontada tanto como qualidade ou como defeito. Este tipo de situação exigiria uma análise posterior mais acurada e direcionada ao tópico.

O mesmo é aplicável às questões sobre as funcionalidades que poderiam ser incorporadas ou removidas do aplicativo. Este par de questões poderia ter suas respostas comparadas com as do par anterior. O objetivo disto seria procurar a ratificação de opiniões que se complementassem ou para relevar e observar atentamente tópicos com opiniões divergentes.

## 6 Discussão

Deste trabalho resultou um aplicativo móvel capaz de exibir o sinal de exame de EEG em uma tela de *tablet* ou *phablet* com sistema operacional Android. Este programa permite:

- Selecionar eletrodos dos quais se deseja visualizar a representação dos sinais e calcular a coerência de EEG
- Visualizar o trecho inicial dos sinais capturados no EEG.
- Selecionar qual trecho dos sinais visualizar
- Ajustar a escala da visualização dos sinais
- Exibir a conectividade calculada a partir da coerência de EEG, utilizando-se da técnica denominada PDC

Observou-se que o aplicativo é viável para ser executado mesmo em *tablets* ou *phablets* com *hardware* mais modesto do que os que vêm sendo lançados atualmente. O desempenho e a responsividade da aplicação é aceitável para uso no contexto esperado. Os testes realizados durante o desenvolvimento indicaram que a exibição de trechos de EEG da ordem de 10 segundos é compatível com o desempenho que se pode esperar de uma aplicação como esta. Aumentar o tamanho deste trecho poderia causar tempos de espera inaceitáveis para a aplicação.

A confecção do aplicativo sofreu com algumas limitações. Apesar de se utilizar da linguagem Java, o Android utiliza-se de classes próprias para a definição do leiaute das telas e provê uma versão própria de algumas classes, não totalmente compatível com o JDK para desktop, como a *Color*. Estas características fizeram com que algumas soluções típicas para o leiaute em aplicações para desktop tivessem de ser adaptadas para o ambiente móvel.

6 Discussão 48

Este aplicativo apresenta algumas vantagens em relação a outros relacionados na literatura. Nos artigos analisados apenas o de (Stopczynski et al. 2011) também executa em aplicativo móvel. Esta característica é útil em situações nas quais o profissional precisa lidar com resultados de EEG sem a utilização de laudos impressos ou de equipamentos de mesa. Outra caracteristica positiva é a visualização de sinais de eletrodos selecionados pelo profissional, permitindo a análise dos aspectos de interesse específico. Da mesma forma, esta aplicação permite visualizar trechos do exame de EEG, o que pode fazer com o profissional tenha condições de observar mais detalhadamente uma região específica do resultado deste exame. Por fim, esta aplicação habilita o usuário a utilizar a coerência de EEG sem necessidade de utilização de ambientes que precisem de maiores recursos, como, por exemplo, o MATLAB.

Por outro lado, há fraquezas a serem corrigidas na mesma. Algumas das soluções encontradas na literatura oferecem múltiplas opções de visualização para os dados, enquanto a aqui proposta ainda utiliza somente do sinal tradicional e da representação da conectividade cortical sobre mapeamento topográfico. Os novos processadores oferecidos em dispositivos móveis mais recentes permitiriam uma versão que pudesse manipular trechos maiores de sinal de EEG.

Outro resultado apresentado neste trabalho é a metodologia de avaliação direcionada para este aplicativo. Embora esta metodologia tenha este foco, é possível desenvolver, a partir dela, outra mais genérica que possa servir de modelo para avaliação de aplicativos com objetivo do mesmo gênero. Esta metodologia foi desenvolvida com o interesse de garantir maior transparência e isenção na avaliação da usabilidade deste tipo de aplicativos.

Trata-se de metodologia de avaliação viável de ser aplicada e analisada. As limitações para sua utilização envolveriam a quantidade de examinadores necessários e de resultados disponibilizados para esta atividade. Na literatura selecionada foi encontrado somente um artigo com explicitação de avaliação realizada por pessoas não envolvidas com o desenvolvimento da solução em si. A metodologia aqui proposta foi projetada com objetivo semelhante àquela.

A forma encontrada para obtenção de documentos na literatura indica que há pesquisas brasileiras voltadas à análise de resultados de EEG. Várias destas pesquisas tiveram como foco métodos quantitativos de análise. Este trabalho, por outro lado, propõem-se a oferecer um aplicativo que implemente um destes métodos: o de PDC. Isto cria condições para que este some-se a outras pesquisas realizadas com teor 6 Discussão 49

semelhante. Algumas pesquisas exploratórias complementares indicam que há outros projetos de pesquisa que precisam ser melhor analisados, como o de sistemas portáteis de baixo custo para diagnóstico da doença de Alzheimer, desenvolvido em 2012 pelo Prof. Dr. Francisco José Fraga da Silva, da Universidade Federal do ABC (UFABC), com financiamento da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

Embora o aplicativo em si tenha sido concluído, não foi possível responder à extensão desejada sobre a usabilidade do aplicativo. Contudo, uma possível aplicação futura da metodologia aqui proposta poderia preencher esta lacuna.

A observação dos resultados aqui obtidos permitem indicar que este trabalho fez surgir a necessidade de realização de novas investigações que permitam, entre outros objetivos, implementar o método de avaliação aqui descrito. O desenvolvimento de novas versões deste aplicativo pode trazer-lhe mais funcionalidades, em especial as que possam ser apontadas no próprio método de avaliação.

## 7 Conclusão e Trabalhos Futuros

Durante a confecção do presente trabalho foi realizada uma revisão sistemática com o intuito de identificar o histórico e o estado da arte em aplicativos utilizados para representação de EEG.

No universo dos documentos encontrados pela técnica de revisão bibliográfica utilizada foi possível apontar que tivemos propostas de aplicativos alternativos para visualização de exames de EEG desde o início da década de 1990. Algumas poucas dezenas de soluções foram encontradas desde então. Os mais recentes utilizaram-se de representações sobre representações bidimensionais, tridimensionais ou ambas de cabeças ou do encéfalo humano.

Para desenvolver o aplicativo fez-se necessário avaliar as alternativas de desenvolvimento de aplicativos móveis. Opções como iOS e Windows Phone foram avaliadas, mas optou-se pelo Android por entre outras coisas ser possível desenvolver em múltiplas plataformas e pelo uso de linguagem de programação amplamente utilizada e documentada, a Java.

O resultado foi um aplicativo móvel, para tablets e phablets, que permite visualizar de forma alternativa os sinais de exame de EEG, permitindo filtragem de eletrodos e período a serem visualizados. Tem-se também condição de realização de pós-processamento, exibindo-se o resultado da coerência de EEG pela abordagem de *Partial Directed Coherence* (PDC).

Uma das possíveis utilizações deste aplicativo seria como ferramenta para aprendizado e estudo durante a formação do profissional. Para a comunidade acadêmica ele representa outra alternativa a ser analisada em pesquisas futuras. Os profissionais da área podem vislumbrar a possibilidade de desenvolvimento de ferramentas móveis que lhes sirva como apoio ou alternativa em suas atividades práticas.

Outros desenvolvedores podem contribuir para a evolução deste aplicativo ou desenvolver programas derivados deste graças ao licenciamento livre do mesmo. A li7.1 Trabalhos Futuros 51

cença GPL permite que outras pessoas possam desenvolver versões dele ou outros aplicativos baseados nele, desde que estes tenham a mesma licença.

Outro resultado deste trabalho foi a proposta de metodologia de avaliação deste aplicativo. Esta metodologia garante a avaliação da usabilidade e aplicabilidade de um programa como o aqui descrito de forma independente e isenta. Esta técnica de avaliação utiliza-se da observação de examinadores com distintos perfis e nas respostas dos mesmos a questões fechadas e abertas. Estas observações e questões levam a avaliar as viabilidade da proposta, acurácia e segurança dos resultados, usabilidade e aplicabilidade da ferramenta em atividades de ensino e estudo.

### 7.1 Trabalhos Futuros

Este trabalho - como, provavelmente, nenhum outro - não encerra, e nem pretenderia encerrar, as discussões sobre o tema. A intenção foi agregar mais um ponto de vista e abordagem às aplicações para observação dos sinais de EEG, para uso da abordagem de coerência de EEG denominada PDC e para as técnicas de avaliação deste tipo de aplicações. Contudo, ao mesmo que estes tópicos foram estudados, outros pontos de vista e possibilidades fizeram-se transparecer.

A crescente popularização e adoção de dispositivos móveis tende a fazer crescer a demanda pela implementação de soluções voltadas a eles. Novas opções de aplicativos móveis poderão ser alvo de trabalhos futuros tanto nesta área como em muitas outras.

Da mesma forma, a utilização de técnicas de EEG Quantitativo devem se tornar cada vez mais disponíveis em ambientes mais próximos da prática clínica do que da pesquisa acadêmica, levando àquele ambiente os benefícios que são apontados neste. A definição de formas de adoção destas técnicas é uma opção de novas pesquisas.

Por fim, a implementação e revisão da metodologia de avaliação aqui descrita deve propiciar o surgimento de temas para outros trabalhos.

# Referências Bibliográficas

Adler, Brassen e Jajcevic 2003 ADLER, G.; BRASSEN, S.; JAJCEVIC, A. EEG coherence in Alzheimer's dementia. *Journal of Neural Transmission*, v. 110, n. 9, p. 1051–1058, Set. 2003.

Aguera et al. 2011 AGUERA, P.-E. et al. ELAN: a software package for analysis and visualization of MEG, EEG, and LFP signals. *Computational Intelligence and Neuroscience*, v. 2011, p. 1–11, 2011.

Alba et al. 2007 ALBA, A. et al. Exploration of event-induced EEG phase synchronization patterns in cognitive tasks using a time–frequency-topography visualization system. *Journal of Neuroscience Methods*, v. 161, n. 1, p. 166–182, 2007.

Asakawa et al. 2010 ASAKAWA, T. et al. Visualization of the correlation and propagation of information between EEG electrodes. In: *World Automation Congress (WAC)*. Kobe: [s.n.], 2010. p. 1–6.

Astolfi et al. 2005 ASTOLFI, L. et al. Estimation of the cortical connectivity by high-resolution EEG and structural equation modeling: simulations and application to finger tapping data. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, v. 52, n. 5, p. 757–768, Mai. 2005.

Baal, Boomsma e Geus 2001 BAAL, G. van; BOOMSMA, D.; GEUS, E. de. Longitudinal genetic analysis of EEG coherence in young twins. *Behavior Genetics*, v. 31, n. 6, p. 637–651, Nov. 2001.

Baccala e Sameshima 2001 BACCALA, L. A.; SAMESHIMA, K. Partial directed coherence: a new concept in neural structure determination. *Biological Cybernetics*, v. 84, n. 6, p. 463–474, Mai. 2001.

Baccala e Sameshima 2007 BACCALA, L. A.; SAMESHIMA, K. Generalized partial directed coherence. In: *15th International Conference on Digital Signal Processing*. [S.I.: s.n.], 2007. v. 1, p. 163–166.

Bai et al. 2004 BAI, O. et al. Visualization of spatiotemporal patterns of EEG rhythms during voluntary movements. In: *IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems*. [S.I.: s.n.], 2004. p. 267–272.

Bear, Connors e Paradiso 2008 BEAR, M. F.; CONNORS, B. W.; PARADISO, M. A. *Neurociências: desvendando o sistema nervoso*. 3a. ed. Porto Alegre: Artmed, 2008. 896 p.

Bortel e Sovka 2006 BORTEL, R.; SOVKA, P. EEG–EMG coherence enhancement. *Signal Processing*, v. 86, n. 7, p. 1737–1751, Jul. 2006.

Brunet, Murray e Michel 2011 BRUNET, D.; MURRAY, M. M.; MICHEL, C. M. Spatiotemporal analysis of multichannel EEG: CARTOOL. *Computational Intelligence and Neuroscience*, v. 2011, p. 1–15, 2011.

Caat, Maurits e Roerdink 2007 CAAT, M. ten; MAURITS, N. M.; ROERDINK, J. B. Design and evaluation of tiled parallel coordinate visualization of multichannel EEG data. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA, USA, v. 13, p. 70–79, 2007. ISSN 1077-2626.

Caat, Maurits e Roerdink 2008 CAAT, M. ten; MAURITS, N. M.; ROERDINK, J. B. T. Data-driven visualization and group analysis of multichannel EEG coherence with functional units. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, v. 14, n. 4, p. 756–771, Jul./Ago. 2008.

Chapman, Almeida e Reis 2006 CHAPMAN, A. H.; ALMEIDA, S. V.; REIS, M. A. dos. Leitura e interpretação de eletroencefalograma (EEG): Neurologistas, psiquiatras, clínicos, pediatras e médicos de família. 1. ed. Petrópolis: EPUB, 2006. 124 p.

Christodoulou et al. 2011 CHRISTODOULOU, E. G. et al. BrainNetVis: An open-access tool to effectively quantify and visualize brain networks. *Computational Intelligence and Neuroscience*, v. 2011, p. 1–12, 2011.

Colter e Shaw 1982 COLTER, N.; SHAW, J. C. EEG coherence analysis and field dependence. *Biological Psychology*, v. 15, n. 3-4, p. 215–228, Nov./Dez. 1982.

Dalal et al. 2011 DALAL, S. S. et al. MEG/EEG source reconstruction, statistical evaluation, and visualization with NUTMEG. *Computational Intelligence and Neuroscience*, v. 2011, p. 1–17, 2011.

Delorme e Makeig 2004 DELORME, A.; MAKEIG, S. EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, v. 134, n. 1, p. 9–21, Mar. 2004.

Delorme et al. 2011 DELORME, A. et al. EEGLAB, SIFT, NFT, BCILAB, and ERICA: New tools for advanced EEG processing. *Computational Intelligence and Neuroscience*, v. 2011, p. 1–12, 2011.

Gehring 2011 GEHRING, J. *GraphView Library*. 2011. Disponível em: <a href="http://www-.jjoe64.com/p/graphview-library%">http://www-.jjoe64.com/p/graphview-library%</a> -.html>.

Gonzalez e Eblen-Zajjur 2004 GONZALEZ, I.; EBLEN-ZAJJUR, A. Tridimensional animated brain mapping from conventional paper-ink EEG recordings. *Computers in Biology and Medicine*, v. 34, n. 7, p. 591–600, Out. 2004.

Han et al. 1998 HAN, I. B. et al. A 3-dimensional EEG topography based on the polygon technique. In: *Proceedings of the 20th Annual International Conference of the IEEE*. [S.l.: s.n.], 1998. v. 4, p. 2179–2182.

Herrmann et al. 2001 HERRMANN, C. et al. Adaptive frequency decomposition of EEG with subsequent expert system analysis. *Computers in Biology and Medicine*, v. 31, n. 6, p. 407–427, Nov. 2001.

IDC Corporate USA 2013 IDC Corporate USA. Android and iOS combine for 91.1% of the worldwide smartphone OS market in 4Q12 and 87.6% for the year, according to IDC. Fev. 2013. Disponível em: <a href="http://www.idc.com/getdoc-isp?containerId=prUS23946013">http://www.idc.com/getdoc-isp?containerId=prUS23946013</a>.

Kirner e Siscoutto 2007 KIRNER, C.; SISCOUTTO, R. Fundamentos de realidade virtual e aumentada. In: \_\_\_\_\_. 1. ed. Porto Alegre: SBC - Sociedade Brasileira de Computação, 2007. cap. Realidade virtual e aumentada: Conceitos, projeto e aplicações, p. 2–21.

Kitchenham 2004 KITCHENHAM, B. *Procedures for performing systematic reviews*. Technical Report TR/SE-0401. Department of Computer Science, Keele University and National ICT. Australia, Jul. 2004.

Kitchenham et al. 2009 KITCHENHAM, B. et al. Systematic literature reviews in software engineering – a systematic literature review. *Information and Software Technology*, v. 51, n. 1, p. 7–15, Jan. 2009.

Koenig et al. 2011 KOENIG, T. et al. Ragu: a free tool for the analysis of EEG and MEG event-related scalp field data using global randomization statistics. *Computational Intelligence and Neuroscience*, v. 2011, p. 1–14, 2011.

Koenig, Marti-Lopez e Valdes-Sosa 2001 KOENIG, T.; MARTI-LOPEZ, F.; VALDES-SOSA, P. Topographic time-frequency decomposition of the EEG. *NeuroImage*, v. 14, n. 2, p. 383–390, 2001.

Lantz et al. 2001 LANTZ, G. et al. Space-oriented segmentation and 3-dimensional source reconstruction of ictal EEG patterns. *Clinical Neurophysiology*, v. 112, n. 4, p. 688–697, Abr. 2001.

Lay-Ekuakille et al. 2007 LAY-EKUAKILLE, A. et al. Processing EEG signals for clinical interpretation in seizure-suspected patients. In: *IEEE International Workshop on Medical Measurement and Applications*. Warsaw: [s.n.], 2007. p. 1–4.

Litvak et al. 2011 LITVAK, V. et al. EEG and MEG data analysis in SPM8. *Computational Intelligence and Neuroscience*, v. 2011, p. 1–32, 2011.

Michel et al. 2004 MICHEL, C. M. et al. EEG source imaging. *Clinical Neurophysiology*, v. 115, n. 10, p. 2195–2222, Out. 2004.

Moraes 2013 MORAES, K. *Venda de smartphones cresceu 78% em 2012*. Março 2013. Disponível em: <a href="http://blogs.estadao.com.br/link/brasil-tera-mais-tablets-e-menos-pcs-diz-pesquisa/">http://blogs.estadao.com.br/link/brasil-tera-mais-tablets-e-menos-pcs-diz-pesquisa/</a>.

Nakagawa, Tsai e He 1997 NAKAGAWA, M.; TSAI, H.; HE, B. 3D-EEG rhythm mapping during flash stimulation using zero-crossings analysis. In: *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. [S.I.: s.n.], 1997. v. 1536, n. C, p. 1536–1539.

Nuwer 1997 NUWER, M. Assessment of digital EEG, quantitative EEG, and EEG brain mapping: Report of the American Academy of Neurology and the American Clinical Neurophysiology Society. *Neurology*, v. 49, p. 277–292, 1997.

Oostenveld et al. 2011 OOSTENVELD, R. et al. FieldTrip: Open source software for advanced analysis of MEG, EEG, and invasive electrophysiological data. *Computational Intelligence and Neuroscience*, v. 2011, p. 1–9, 2011.

Peyk, Cesarei e Junghöfer 2011 PEYK, P.; CESAREI, A. D.; JUNGHöFER, M. Electromagnetoencephalography software: Overview and integration with other EEG/MEG toolboxes. *Computational Intelligence and Neuroscience*, v. 2011, p. 1–10, 2011.

Poli et al. 2010 POLI, R. et al. Eigenbrains: The free vibrational modes of the brain as a new representation for EEG. In: *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. Buenos Aires: [s.n.], 2010. p. 6011–6014.

Principe e Reid 1990 PRINCIPE, J. C.; REID, S. A. Analysis and visualization of the EEG in phase space. In: *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society.* [S.I.: s.n.], 1990. v. 12, n. 3, p. 1404–1405.

Putten 2008 PUTTEN, M. J. A. M. van. The colorful brain: Visualization of EEG background patterns. *Journal of Clinical Neurophysiology*, v. 25, n. 2, p. 63–68, Abr. 2008.

Samardzic et al. 2003 SAMARDZIC, A. et al. Visualization of EEG evoked response potentials. In: *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society.* [S.I.: s.n.], 2003. v. 3, p. 2099–2102.

Schiff et al. 1994 SCHIFF, S. J. et al. Fast wavelet transformation of EEG. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, v. 91, n. 6, p. 442–455, Dez. 1994.

Sourina, Sourin e Kulish 2009 SOURINA, O.; SOURIN, A.; KULISH, V. EEG data driven animation and its application. In: GAGALOWICZ, A.; PHILIPS, W. (Ed.). *Computer Vision/Computer Graphics Collaboration Techniques*. [S.I.]: Springer Berlin / Heidelberg, 2009, (Lecture Notes in Computer Science, v. 5496). p. 380–388.

Stopczynski et al. 2011 STOPCZYNSKI, A. et al. A smartphone interface for a wireless EEG headset with real-time 3D reconstruction. In: D'MELLO, S. K. et al. (Ed.). *Affective Computing and Intelligent Interaction*. Berlin / Heidelberg: Springer, 2011. (Lecture Notes in Computer Science, v. 6975), p. 317–318.

Tadel et al. 2011 TADEL, F. et al. Brainstorm: a user-friendly application for MEG/EEG analysis. *Computational Intelligence and Neuroscience*, v. 2011, p. 1–13, 2011.

Yamazaki, Tajima e Matsuoka 2003 YAMAZAKI, A.; TAJIMA, T.; MATSUOKA, K. Convolutive independent component analysis of EEG data. In: *SICE Annual Conference*. Fukui, Japão: [s.n.], 2003. p. 1227–1231.