
**ANÁLISE E INFERÊNCIA DE CONEXÕES CEREBRAIS COM
TEORIA DE INFORMAÇÃO E ANÁLISE NÃO LINEAR**

Relatório Científico de Bolsa de Pós-doutoramento, fomentada pela
Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.

Bolsa FAPESP #2018/09900-8

Bolsista: Arthur Lopes da Silva Valencio

Supervisor: Prof Dr Jorge Stolfi

Bolsa vinculada às atividades do Centro de Pesquisa, Inovação e Difusão em
Neuromatemática (CEPID NeuroMat), processo FAPESP #2013/07699-0

Período de vigência: 01/Jun/2018 a 30/Nov/2021

Período coberto por este relatório: 01/Dez/2020 a 30/Nov/2021

Assinatura do bolsista

Assinatura do supervisor

Campinas, 17 de setembro de 2021

Resumo

Este relatório científico abrange as atividades de pós-doutoramento do projeto “Análise e Inferência de Conexões Cerebrais com Teoria de Informação e Análise Não-Linear”, no âmbito do CEPID NeuroMat, relativas ao período de 01 de dezembro de 2020 a 30 de novembro de 2021, sendo que os períodos anteriores foram apresentados em relatórios passados. O objetivo do projeto é aplicar ferramentas de análise de séries temporais e teoria da informação em sinais de eletroencefalograma (EEG), visando identificar como diferentes áreas do córtex cerebral se associam funcionalmente. Durante o período foi dada continuidade a uma parceria com o Hospital das Clínicas da Universidade de São Paulo, relativa a um experimento para investigação de resposta cerebral de pacientes com doença de Parkinson durante tratamento com estimulação cerebral profunda (DBS). Nesta parceria, o bolsista está aplicando as metodologias propostas para a análise de série temporal de EEG dos pacientes, buscando desvendar características até então desconhecidas, como possíveis efeitos colaterais deste tipo de tratamento. Para o período compreendido por este relatório, até o momento o bolsista desenvolveu 2 programas de computador de código aberto, publicou 1 capítulo de livro com revisão de pares, submeteu mais 1 capítulo de livro com revisão de pares, possui 2 artigos científicos e 1 capítulo de livro em preparação, foi co-autor em 3 apresentações orais em eventos internacionais, participou de outros 2 workshops e foi revisor de 4 artigos em periódicos internacionais. A etapa de coleta de dados do projeto em parceria com o Hospital das Clínicas teve seu cronograma prejudicado devido à pandemia de Covid-19. Durante este tempo, foram re-analisados os dados com a coleta já realizada e otimizadas as metodologias de investigação. A possibilidade de coleta de dados no Hospital das Clínicas está prevista para retorno a partir de final de setembro/outubro de 2021. Para a continuidade da pesquisa e análise desses novos resultados, solicita-se a renovação da bolsa por mais 6 meses (até maio/2022).

Abstract

This report comprises the post-doctoral activities of the project “Analysis and Inference of Brain Links with Information Theory and Non-Linear Time-Series Analysis”, within the framework of RIDC NeuroMat, referring to the period 01 December 2019 to 30 November 2020, considering that preceding periods were presented in previous reports. The objective of this project is to apply tools from time-series analysis and information theory to electroencephalogram signals (EEG), aiming to identify how different areas of the brain cortex are functionally associated. During this time it was established a partnership with the Hospital das Clínicas of the University of São Paulo, regarding an experiment for the investigation of the brain response of Parkinson patients during deep brain stimulation (DBS) treatment. In this joint work, the scholar is applying the proposed methodologies to the analysis of EEG timeseries from the patients, aiming to uncover previously unknown features, such as possible side effects of this treatment. For the period covered by this report, so far the scholar developed 2 open source computer programs, published 1 peer-reviewed book chapter, submitted another 1 peer-reviewed book chapter, has 2 scientific articles and 1 book chapter in preparation, was co-author of 3 oral presentations in international events, participated in other 2 workshops, and was reviewer of 4 papers in international journals. The data collection of the joint project with the Hospital das Clínicas was delayed due to the Covid-19 pandemics. During this time, the data that had already been collected was reanalysed and the research methodology was optimized. The possibility of return to data collection activities at the Hospital das Clínicas facilities is precited to start between end of September/October 2021. For the continuity of this research and analysis of the new results, it is requested a scholarship renewal of 6 months (until May/2022).

Sumário

Resumo	ii
Abstract	iii
1 Resumo do projeto proposto	1
2 Realizações no período deste relatório	3
2.1 Detalhamento dos progressos realizados e dos resultados parciais obtidos no período	4
3 Plano de gestão de dados	12
4 Plano de atividades para o próximo período	13
5 Participação em evento científico	14
6 Lista de publicações e trabalhos realizados	15
7 Primeira página das publicações	16
8 Lista de trabalhos em preparação, preparados ou submetidos	23
9 Aplicação dos recursos da reserva técnica da bolsa	24
Referências Bibliográficas	24
Apêndices	27
A Formulário de Justificativas de Aplicação dos Recursos da Reserva Técnica de Bolsas e recibos	28

1 Resumo do projeto proposto

A eletroencefalografia (EEG) é um procedimento clínico bem estabelecido para diagnóstico de condições como a epilepsia e distúrbios do sono, além de ser de baixo custo. Em virtude da sua alta precisão temporal (milissegundos) e relativa facilidade de transporte, este procedimento tem sido recentemente exitoso em identificação de estados cognitivos e experimentos de interface cérebro-máquina. Significa dizer, a partir de dados de EEG tem se tornado possível a detecção de padrões associados a determinadas condições clínicas, imagens [1], sons [2], gestos [3] e fala [4], e, a partir daí, e com o auxílio de ferramentas de aprendizado de máquina, desenvolver sistemas capazes de, por exemplo, auxiliar o estabelecimento da comunicação em pessoas com síndrome de lock-in ou tetraplegia, ou ainda desenvolver sistemas inteligentes para combate a distúrbios neurológicos. Dentre estes últimos, um dos objetivos para o caso de indivíduos acometidos por doença de Parkinson consiste no desenvolvimento de sistemas de estimulação cerebral profunda adaptativos [5], isto é, sistemas capazes de adaptar o padrão de estimulação de acordo com o comportamento do indivíduo, de forma a maximizar os benefícios e minimizar os efeitos adversos. Antes que isso possa se concretizar, é necessária a compreensão de quais efeitos os sistemas de estimulação cerebral profunda (DBS, eletrodos que emitem pequenos pulsos de corrente elétrica a uma taxa de aproximadamente 100Hz próxima da área diretamente acometida pela doença de Parkinson) atuais já produzem em termos do padrão do EEG. Isto é, será que além da sua ação direta nas áreas profundas do cérebro, o DBS também induziria padrões de associação diferenciados entre as áreas corticais? Seriam estes padrões compatíveis com indivíduos não acometidos pela doença de Parkinson (cenário ideal) ou um padrão novo? Existiriam pistas sobre o que pode ser alterado no sinal do DBS para que os padrões cognitivos fossem o mais próximo possível dos indivíduos saudáveis?

Esta pesquisa tinha por objetivo a identificação de padrões cognitivos no sinal de EEG a partir de medidas da teoria da informação e demais técnicas de análise não-linear. Isto porque, no delineamento da proposta inicial, consideramos que devido à alta complexidade das conexões cerebrais e da dinâmica neuronal, medidas lineares de análise de sinais temporais poderiam ser insuficientes para abordar o problema [6–8]. Assim sendo, um maior foco seria dado a medidas como a entropia de transferência [9] e a informação mútua causal (CaMI) [10–12], medidas estas, respectivamente, adequadas para inferência de causalidade e de associação entre variáveis quando sua dinâmica é não-linear (por exemplo caótica). Contudo, considerando os procedimentos até então tidos como padrão em neurociências, optamos por realizar tal avanço por etapas, iniciando com as técnicas lineares tradicionais, como correlação de Pearson bivariada, correlação de Pearson parcial, correlação de Spearman e metodologias baseadas na quantificação das diferenças de fases, para só então comparar resultados com os obtidos através de ferramentas da teoria da informação. No decorrer da pesquisa, uma parceria foi firmada

com um grupo do Instituto de Psiquiatria do Hospital das Clínicas da USP no sentido de investigar especificamente os possíveis efeitos corticais indiretos do DBS para os indivíduos acometidos por doença de Parkinson. Para este trabalho, o bolsista expandiu análise anterior do CEPID NeuroMat [1], utilizando, para estes pacientes voluntários do novo experimento, um protocolo similar baseado na identificação de padrões de imagem em movimento (point-light displays), além de desenvolver ferramentas para identificação de links advindos da informação compartilhada ou transferida entre regiões cerebrais (<https://github.com/artvalencio/Functional-Matrix>).

Para o período compreendido por este relatório o objetivo foi realizar a aquisição dos dados de EEG dos voluntários pacientes de Parkinson com DBS, realizar ajustes finais no protocolo do experimento e realizar a análise dos resultados. Infelizmente, com a pandemia de COVID-19, toda a etapa de aquisição de dados, que seria realizada no HC-USP, teve que ser suspensa. Porém, antes que isto ocorresse, foi possível coletar dados de 2 voluntários, sendo que apenas 1 dos datasets teve qualidade de sinal suficiente para análise. Com estas informações, o bolsista trabalhou no aperfeiçoamento das ferramentas computacionais, desenvolvimento teórico e estabelecimento de hipóteses, e consideração de outros fenômenos presentes que inicialmente não haviam sido vistos com o devido detalhe. A aquisição de dados está prevista para ser retomada entre o final de setembro e início de outubro de 2021, razão pela qual se solicita a extensão desta pesquisa por mais seis meses, para conclusão da coleta e análise.

2 Realizações no período deste relatório

O projeto previu realizar a análise de conexões funcionais a partir de dados de EEG, particularmente utilizando ferramentas da teoria da informação tais como informação mútua e entropia de transferência. Nos períodos anteriores foram desenvolvidos os códigos que possibilitaram o cálculo destas medidas para sinais genéricos e inclusive rotinas em Matlab já para aplicação específica para sinais de EEG. Com a pandemia, surgiram dificuldades técnicas que requereram a tradução destes códigos para a linguagem de programação Python, que é gratuita, mais eficiente e mais aberta. Este esforço foi realizado parcialmente no período anterior (2020) e continuou durante o período coberto por este relatório (dez/2020 - nov/2021).

Em 2019 foi estabelecida uma parceria com um grupo do Instituto de Psiquiatria do Hospital das Clínicas da USP que abriu espaço para uma aplicação clínica específica para o estudo em questão: a compreensão dos efeitos corticais indiretos do tratamento por estimulação cerebral profunda (DBS) em voluntários acometidos por doença de Parkinson. O DBS consiste em um ou dois eletrodos inseridos cirurgicamente na região do núcleo subtalâmico e, similar a um marca-passo, dispara pequenos pulsos de corrente elétrica a uma taxa de em torno de 100Hz e forma de onda quase retangular. Esta é uma linha de tratamento padrão para a doença, capaz de reduzir sensivelmente os sintomas motores e a dosagem de L-Dopa necessária para estes indivíduos, e é realizado há várias décadas por este grupo parceiro. Uma das ferramentas de acompanhamento dos pacientes é o EEG. Desta forma, houve um interesse mútuo em investigar que tipos de interações adicionais podem ser investigadas via EEG, em particular se determinados fluxos de informação entre as áreas corticais são diferentes nos indivíduos com este tratamento, e se há alteração nestes fluxos na presença de estímulos de natureza similar à motora.

Um protocolo foi estabelecido entre final de 2019 e refinado ao longo de 2020. Pouco tempo antes da pandemia, os dados de EEG de 2 voluntários puderam ser coletados, muito embora apenas um deles possuísse suficiente qualidade (razão sinal/ruído) para a análise. As demais coletadas de dados estavam previstas para ocorrer ao longo de 2020 e 2021. Infelizmente, a pandemia de Covid-19 também levou à suspensão desta etapa de coleta. O trabalho realizado, então, foi de adaptação e refinamento das ferramentas de análise e interpretação de resultados a partir desta única coleta viável. Está prevista a retomada de coleta de dados no HC-USP entre final de setembro e outubro de 2021. Contudo, a partir dos dados, uma nova modificação do protocolo foi sugerida: diferenças significativas de fluxos de informação não estão sendo observados para estímulos de natureza visual-motor (hipótese do neurônio espelho), então sugeriu-se um novo protocolo baseado em movimento de fato, para que se analisassem os fluxos de informação durante congelamentos de marcha, uma das características mais marcantes da doença de Parkinson.

Além disso, foi realizado um estudo exploratório sobre os efeitos práticos de cada

etapa de pré-processamento de sinais de EEG. Estas etapas são essenciais, pois o EEG possui contaminações significativas devido a: eletrodos mal conectados (devido ao suor, por exemplo), piscadas, movimentações de olho, movimentações no corpo (p.ex., franzir de testa ou pressionar o maxilar), batimentos cardíacos, ruído de linha (60Hz) e ruídos ambientais (por exemplo, efeitos devido ao ar-condicionado). Além disso, uma outra alteração importantes surgem no caso do experimento desenvolvido: o pulso direto do DBS, que exibe uma composição de frequências harmônicas além da frequência principal. Por fim, o experimento inicialmente elaborado era razoavelmente longo (1 hora), realizado em ambiente escuro e sem som ambiente, ou seja, propício a breves cochiladas, que precisaram ser identificadas e removidas do dataset. Foram analisadas todas estas influências e implementadas formas semi-automáticas de remoção destes efeitos. Após isso, o sinal de EEG ainda foi analisado comparativamente sob a ótica da decomposição em componentes principal e decomposição em componentes independentes.

Em relação à produção do bolsista, seus resultados diretamente relacionados a este trabalho no período deste relatório levaram à produção de 2 programas de computador de código aberto e 2 artigos em preparação. Houve, também, 1 capítulo de livro com revisão de pares publicado, não relacionado à bolsa, a convite de colaboradores da Universidade de Coimbra. As ferramentas desenvolvidas no período anterior encontraram aplicações em outros campos do conhecimento, levando, para este período, à coautoria em 1 submissão de capítulo de livro com revisão por pares, 1 capítulo de livro em elaboração e 3 apresentações orais em eventos internacionais. Ademais, no período, o bolsista atuou como parecerista em uma ocasião para a revista "Frontiers in Physiology", duas ocasiões para a revista "Journal of Universal Computing Science" e uma ocasião para a "Revista de Morfologia Urbana".

2.1 DETALHAMENTO DOS PROGRESSOS REALIZADOS E DOS RESULTADOS PARCIAIS OBTIDOS NO PERÍODO

O projeto tinha por objetivo a inferência, a partir dos sinais de EEG, de conexões funcionais entre áreas cerebrais, e uma aplicação foi viasada para entendimento da afetação da doença de Parkinson e influência indireta do tratamento por DBS. Junto aos colegas do CEPID NeuroMat e dos parceiros do IPq-HC-USP, estabeleceu-se, inicialmente, um protocolo experimental diferenciando entre estados que induziriam o estímulo de movimento e estados que não o fariam. Isto foi feito através de um vídeo com sequências de pontos brancos parados ou em movimento assemelhando-se ao caminhar de uma pessoa (técnica Point-Light Displays, Fig. 2.1). Colegas do NeuroMat já haviam realizado experiências similares [1] com indivíduos saudáveis, concluindo que algumas regiões apresentam maior grau de conectividade quando o movimento biológico (andando) é realizado.

Experiment time-series

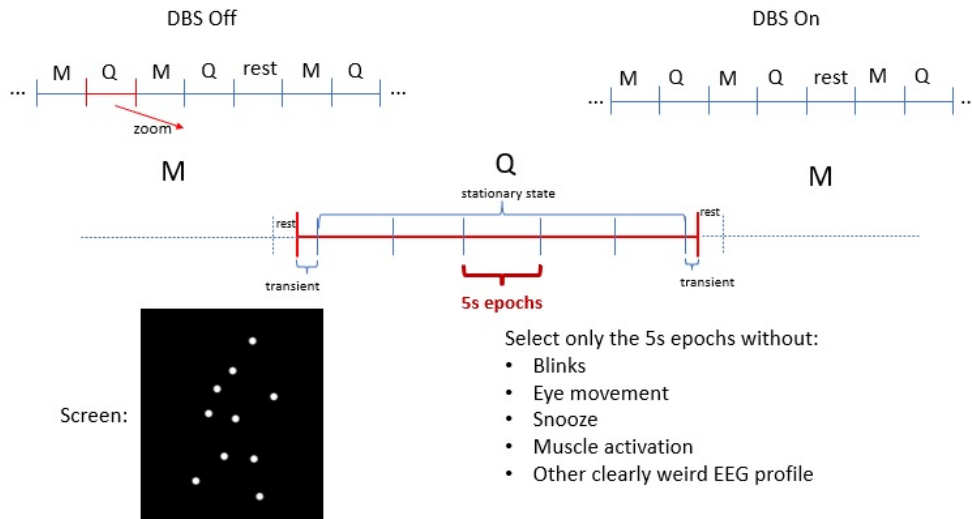


Figura 2.1: Ilustração do experimento de “Point-Light Displays” (PLD), no qual o voluntário observa uma sequencia de filmes curtos mostrando pontos claros em fundo preto demonstrando posturas humanas paradas (quiet, Q) ou em movimento de caminhar (motion, M), enquanto são registrados seus sinais de EEG.

Em um estudo preliminar, com indivíduo sadio, realizado para a calibração do experimento, foram identificados os fluxos de transferência de informação causal (entropia de transferência líquida) da Fig. 2.2. Torna-se evidente que o estímulo de caminhada possui os mesmos fluxos do estímulo parado mais uma série de fluxos próprios, especialmente para as áreas frontais. Embora o ferramental analítico utilizado tenha sido diferente, isto fortalece os achados de [1] de que as áreas frontais estabeleceriam mais conexões durante um estímulo de movimento biológico.

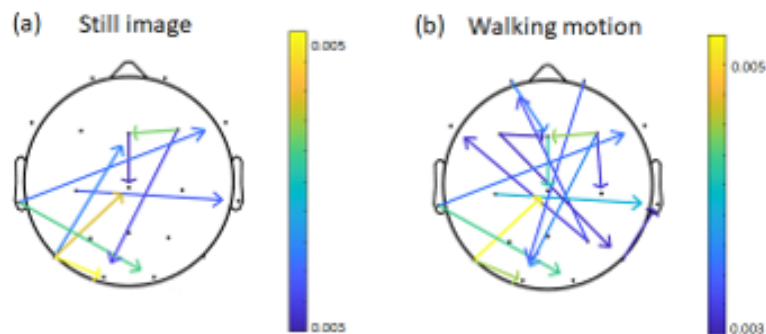


Figura 2.2: Fluxos de transferência líquida de informação causal (*directionality index*) entre as regiões compreendidas pelos eletrodos quando o indivíduo observa um imagem de pontos representando uma figura humana parada (esquerda) ou vídeo dos pontos representando figura humana em movimento (direita).

A princípio, esperou também que uma diferença nítida foi observada para pacientes de Parkinson. Por um lado, existia o fundamento anatômico, de que regiões de processamento de imagem e regiões relacionadas a movimento se interconectam. Por outro, buscamos nos fundamentar na hipótese do neurônio espelho [13, 14], qual seja, a de que regiões motoras são ativadas quando se observa um movimento reprodutível. Por fim, também havia esperanças nas diferenças relativas ao tratamento por DBS devido aos resultados preliminares de correlação quando o DBS estava ativado ou inativo (Fig. 2.3). No caso do DBS ativado, um número muito superior de correlações altas entre as diferentes regiões foi observado.

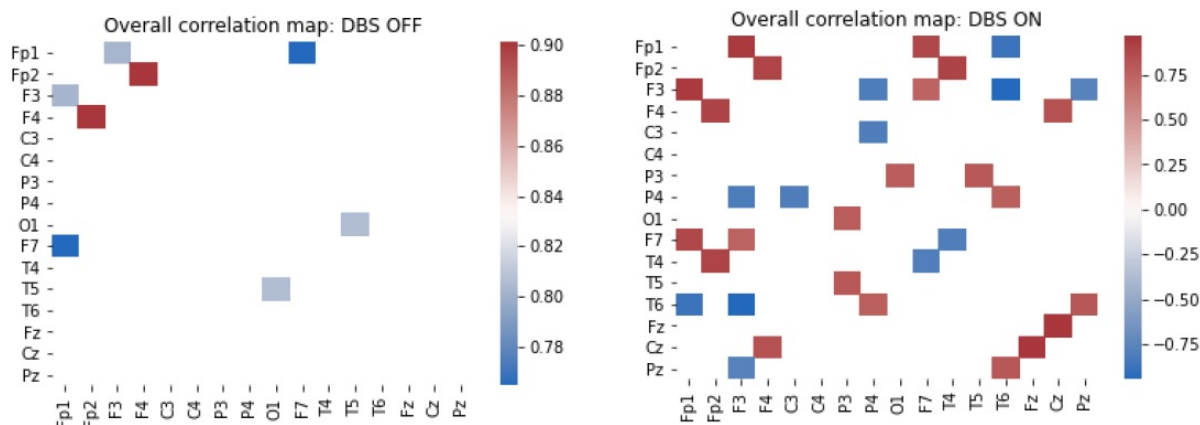


Figura 2.3: Comparação do mapa de correlação dos sinais de EEG nos casos DBS desligado e DBS ligado para um voluntário.

Com a pandemia de Covid-19, a coleta de dados teve que ser suspensa, e os trabalhos de análise continuaram com base apenas nas informações obtidas a partir de 1 voluntário. Infelizmente, a análise mais detalhada não demonstrou resultados tão expressivos quanto o esperado. Na Fig. 2.4, apresentamos o mapa de correlação (matriz de conectividade funcional) obtido para cada uma das condições analisadas, e a diferença entre as correlações obtidas em cada caso. As diferenças entre as correlações para cada caso são pequenas, de até 0.2. Ao variar o atraso de transmissão de informação considerado entre as regiões, as correlações observadas individualmente em cada condição de estímulo decrescem, mas as diferenças pouco variam. O resultado mais significativo foi observado para um atraso de 60ms, no qual diferenças ligeiramente maiores foram observadas para as condições DBS ON e estímulo de pontos parados. O fato de ter sido com o estímulo de pontos parados foi contra-intuitivo e requer validação com um número maior de voluntários.

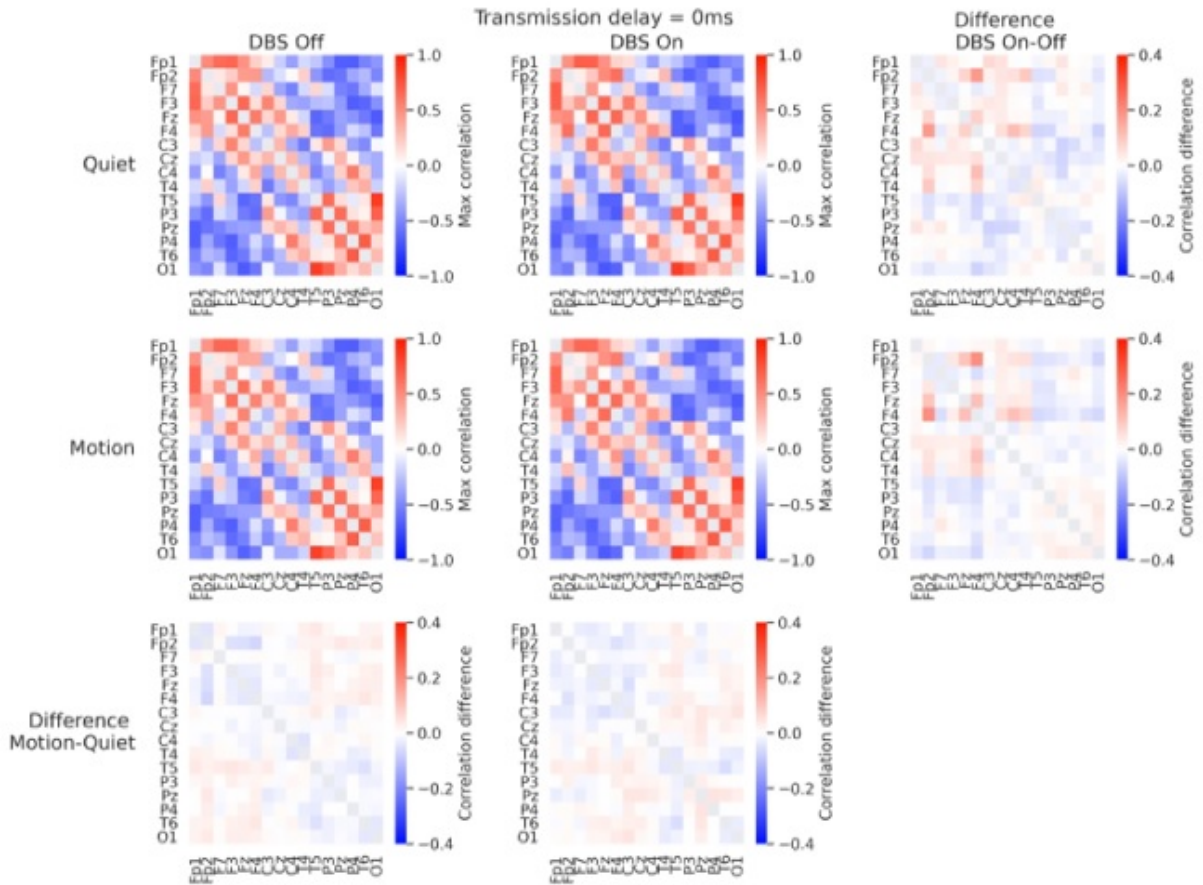


Figura 2.4: Mapas de correlação dos sinais de EEG para cada uma das condições e mapas das diferenças.

As diferenças também foram baixas quando adotadas ferramentas da teoria da informação, tais como a entropia de transferência, uma medida de inferência causal. A Fig. 2.5 apresenta o mapa dos valores de entropia de transferência (matriz de conectividade funcional) obtido para cada uma das condições, bem como as diferenças entre cada caso. Novamente, as diferenças foram pequenas. Não foram observadas mudanças significativas com a variação do atraso de transmissão (tT) considerado. Ainda está sendo analisado o efeito de variar o atraso de ação (tA) considerado. Outras medidas como informação mútua e coerência espectral (tradicional ou imaginária) também não apresentaram resultados significativos até o momento. Análise das diferenças de fase (calculadas através da densidade espectral cruzada) mostram que, para alguns poucos pares de eletrodos, existe uma convergência na fase dos sinais em algumas bandas de frequência, especialmente na região alfa (em torno de 10Hz). A análise mais detalhada para determinadas faixas de frequência ainda está sendo conduzida.

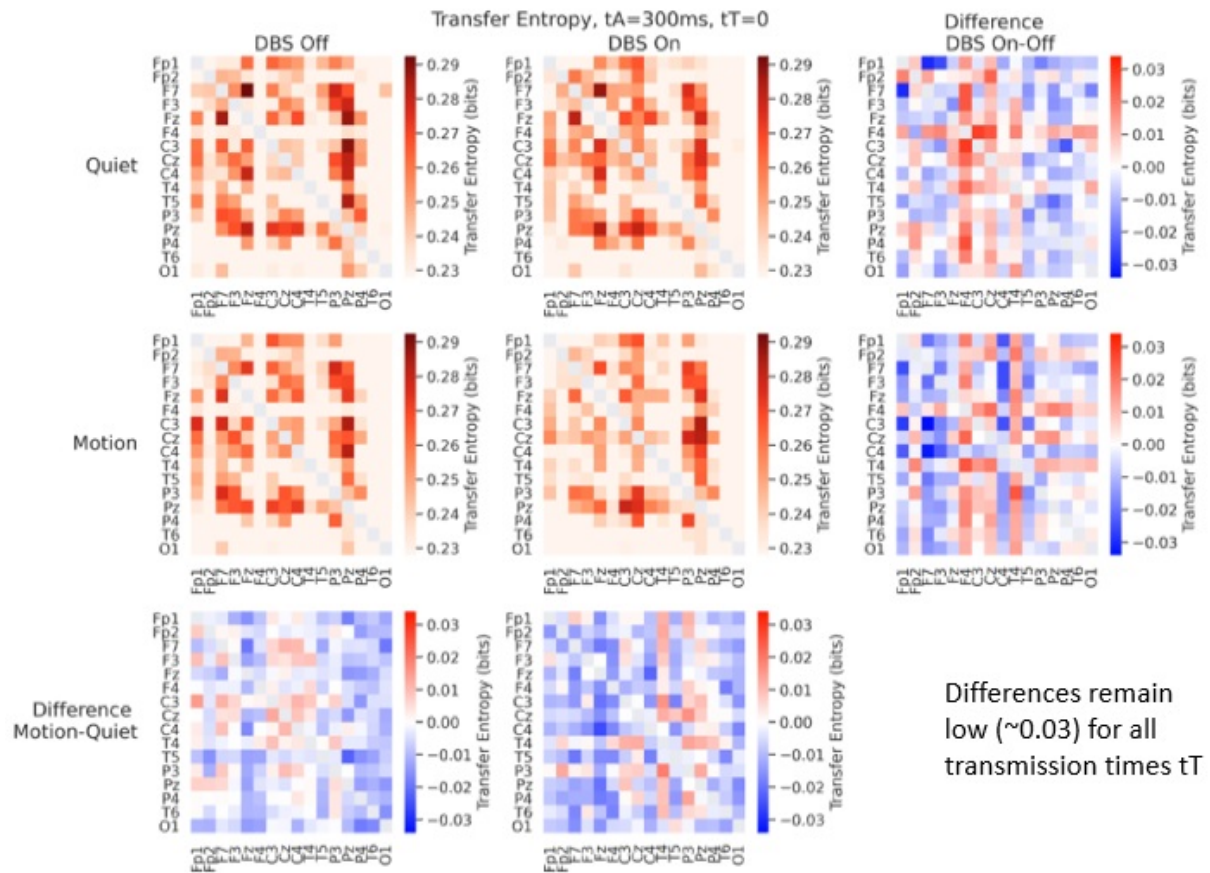


Figura 2.5: Mapas de entropia de transferência dos sinais de EEG para cada uma das condições e mapas das diferenças.

Junto ao CEPID NeuroMat, foi proposta uma modificação do padrão de estímulos apresentados aos voluntários, para reforçar a ligação com a hipótese do neurônio espelho e remover fatores externos. Assim, foi estabelecido que: (1) os estímulos de um tipo ou outro seriam apresentados de maneira aleatória, para remover efeitos de memória; (2) os estímulos seriam caracterizados por diferentes naturezas, mas não haveria repetição exatamente da mesma imagem, também para remover efeitos de memória; (3) ao invés de comparar estado "em movimento" versus "parado", seriam comparados estados "em movimento biológico" (humano andando, mexendo os braços, subindo escadas) versus "em movimento aleatório", reforçando o link com o neurônio espelho; (4) o "movimento aleatório" teria amplitude e estatísticas de distribuição espaço-temporal similares ao do "movimento biológico". Dados de movimentação humana foram coletados junto ao Laboratório de Neurobiologia do Movimento da UFRJ no início de 2020, com o suporte da equipe da Profa. Cláudia Vargas, possibilitando o desenvolvimento deste novo protocolo.

Em reunião recente junto à equipe parceira no IPq-HC-USP, aventou-se a possibilidade de que as diferenças entre os estados cerebrais em cada uma das condições não fosse claro através do EEG simplesmente pelo fato do EEG não ser a melhor ferramenta para traduzir este fenômeno. Desta forma, propôs-se um novo experimento, desenhado para fazer o

melhor uso da característica mais marcante do EEG: a sua precisão temporal. Neste novo experimento, o voluntário executaria uma atividade motora, como caminhada, e episódios de congelamento de marcha, tremores ou outros fenômenos característicos da doença de Parkinson seriam registrados. Através do EEG, realizaríamos a mesma análise, porém ao longo de uma janela temporal deslizante. espera-se observar um diferente padrão de conectividade não só durante episódios de congelamento de marcha, como possivelmente precursores a eles. Isto porque, segundo estudo recente deste mesmo grupo, imediatamente antes do congelamento de marcha, observa-se um aumento das ondas lentas (theta), e a hipótese para tal está relacionada com padrões de sincronização em uma determinada região cortical. A aplicação do ferramental desenvolvido por esta pesquisa pode esclarecer estas questões, bem como possibilitar o desenvolvimento de tecnologias para aviso e prevenção de episódios de congelamento de marcha, um dos efeitos mais perigosos da doença de Parkinson por elevar o risco de queda.

Estes resultados acima relacionam-se com os dois programas de computador desenvolvidos no período (DBS-EEG analysis framework e Time-varying functional connectivity framework for EEG), bem como os dois artigos em preparação (Time-delayed EEG causality analysis e CaMI-Python: a package for causality identification). Resultados preliminares chegaram a ser apresentados no período anterior em conferências como ICMNS e IoP Advanced Photonics in Biology. Neste período, parceiros de outras áreas do conhecimento utilizaram o ferramental desenvolvido para aplicação em seus respectivos campos disciplinares, resultando em 3 apresentações orais em eventos internacionais em co-autoria, um capítulo de livro submetido e um capítulo de livro em preparação, a serem publicados pela editora Springer. Além disto, a convite, o bolsista foi co-autor de um capítulo de livro da Universidade de Coimbra, não relacionada à pesquisa desta bolsa (porém, com agradecimentos à Fapesp).

Por fim, alguns estudos de base sobre a característica dos sinais de EEG foram realizados. De início, investigou-se a rotina de pré-processamento, como que tipo de filtros utilizar para eliminação de ruídos de diferentes naturezas, quais as frequências e larguras de banda para os filtros de remoção dos modos da ação direta do DBS, e quais componentes independentes de fato refletiam cada tipo de ruído, o porquê, e como isso variava com as diferentes escolhas de parâmetro para o cálculo do ICA. Além disto, outras questões surgiram, por exemplo, qual a dependência espacial da correlação? Isto é, o quanto eletrodos próximos estão mais correlacionados do que eletrodos afastados? Isto levou à análise na Fig. 2.6. Embora inicialmente o resultado fosse conforme o esperado, para eletrodos em pólos opostos da cabeça o resultado torna-se contra-intuitivo, ao voltar a ter (anti-)correlações fortes. Ainda estamos investigando a razão para este comportamento, mas, aparentemente, existe relação com o re-referenciamento pela média dos eletrodos, que gera padrões de ativação em formatos de dipolo. Continuamos a investigação por padrões de ativação realizando vídeos dos topoplots de ativação elétrica ao longo do tempo (um frame pode ser visualizado na Fig. 2.7).

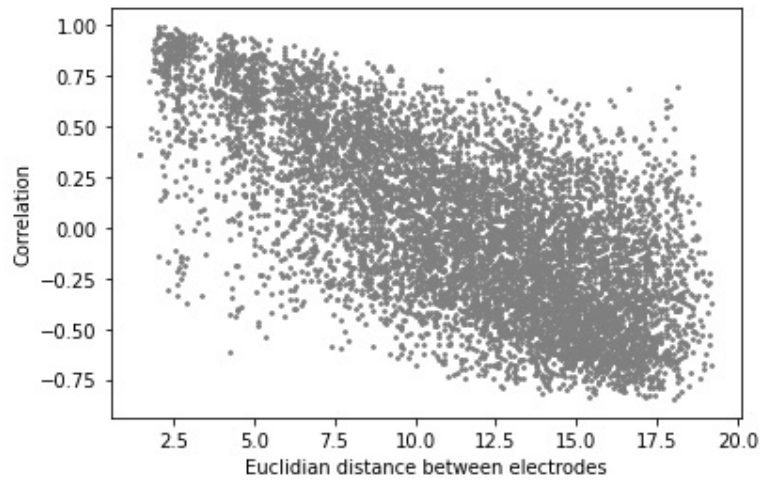


Figura 2.6: Correlação em função da distância entre os eletrodos.

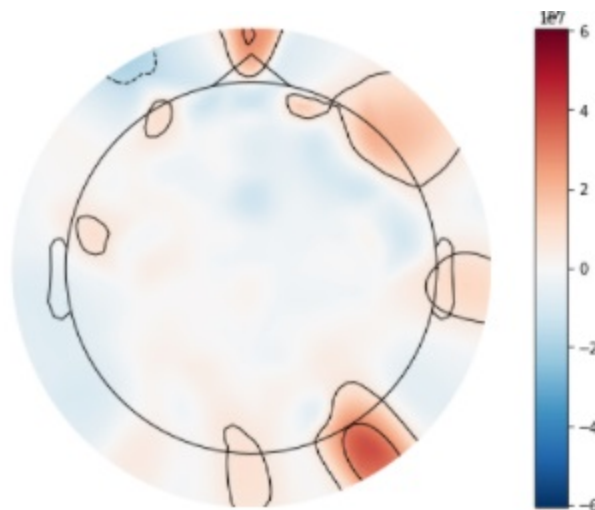


Figura 2.7: Um frame do video gerado do topoplot de ativação elétrica ao longo do tempo do experimento.

Enfim, realizamos uma análise do comportamento das componentes obtidas através da análise de componentes independentes (ICA). Um exemplo obtido está na Fig. 2.8, aplicada para dataset aonde na primeira metade das épocas havia um determinado estímulo visual e na segunda metade outro. A ativação desta componente está fortemente relacionada ao tipo de estímulo da primeira metade da época, e exibe pronunciado pico alpha (10Hz) e um pico beta (20Hz) menor. Outras componentes ICA claramente identificavam artifatos, como piscadas e movimentação de olhos, geralmente sem mistura com sinais de origem cognitiva. Isto não foi observado se adotado PCA, por exemplo, aonde a mistura frequentemente ocorria. Por fim, os gráficos de dispersão entre pares de componentes independentes tendem a seguir o padrão da Fig. 2.9, isto é, com uma concentração

na origem e dois alongamentos ao longo dos eixos $x=0$ e $y=0$. Preliminarmente, estamos interpretando este resultado como a habilidade do ICA em conseguir separar as diferentes origens do EEG com sucesso. Porém, análises similares realizadas para dados não eletroencefalográficos, por exemplo séries temporais geradas a partir de distribuições aleatórias não-normais, não tiveram tanto sucesso. Ainda estão sendo investigadas as razões para tanto.

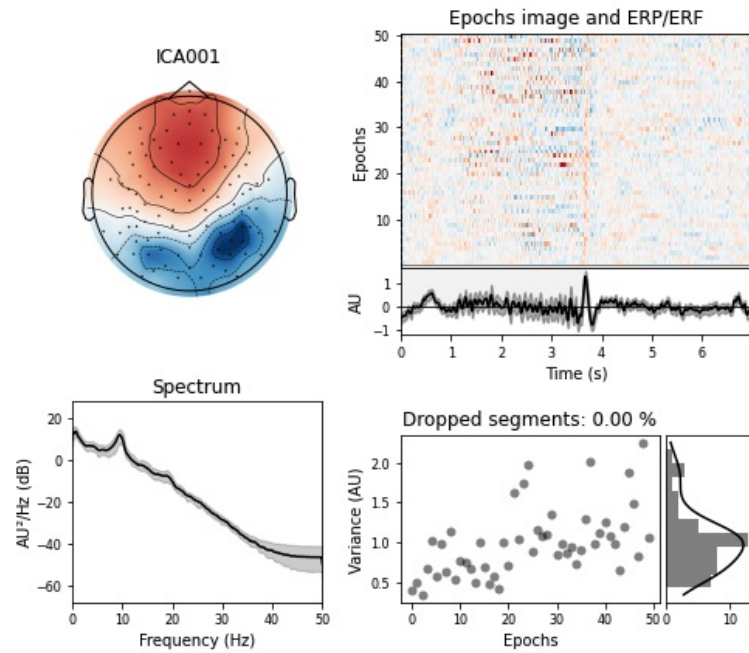


Figura 2.8: Uma componente da análise de componentes independentes realizada para dataset aonde na primeira metade das épocas havia um determinado estímulo visual e na segunda metade outro.

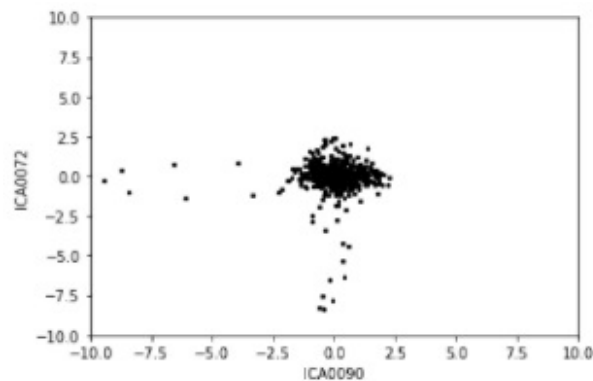


Figura 2.9: Gráfico de dispersão entre duas componentes independentes para este dataset.

3 Plano de gestão de dados

Esta bolsa teve solicitação e concessão inicial anterior a 01/Set/2020, portanto não há plano de gestão de dados inicial.

Ainda assim, esclarece-se os seguintes itens:

Este projeto gera os seguintes dados:

- Dados anonimizados de EEG, em formatos .edf (dados brutos), .fif (dados pré-processados), .npy (numpy arrays após análises) e .sfp (posicionamento dos eletrodos). Incluem informações de data de coleta, taxa de amostragem, instantes de ligamento/desligamento do DBS, instantes de efeitos de interesse (movimentação, congelamento de marcha). Não incluem nome do voluntário;
- Software para modelagem e análise dos sinais de EEG;
- Os dados acima permitem gerar gráficos, mapas cerebrais e matrizes de conectividade funcional em formatos de imagens e vídeo, para diferentes estímulos visuais, condições, intervalos de tempo, faixas de frequência de interesse e decomposição de componentes independentes observadas do sinal;

Quanto aos dados de EEG, serão aplicadas as políticas pertinentes de restrições éticas/legais, preservação e compartilhamento do IPq/HC-USP, instituição parceira responsável pela aquisição de dados e que encabeça a aprovação concedida deste experimento pelo comitê de ética. Softwares, quando terminam o estágio de desenvolvimento, já são disponibilizados de forma aberta pelo bolsista via sua página do GitHub, e, ao término do projeto, será solicitado compartilhamento mais amplo pelos perfis do CEPID NeuroMat.

4 Plano de atividades para o próximo período

O presente período de vigência da bolsa vai até 30 de novembro de 2021. No presente momento (setembro de 2021) foi inicialmente prevista a coleta de dados de novo experimento desenvolvido pelo bolsista junto ao CEPID e em parceria com o Hospital das Clínicas da USP sobre identificação de conexões cerebrais em pacientes de Parkinson. A coleta teve um atraso inicial no procedimento de aprovação no Comitê de Ética em Pesquisa, sendo que os primeiros dados só foram obtidos no final de 2019 e início de 2020. Infelizmente, após apenas duas coletas as aquisições tiveram que ser suspensas devido a pandemia de COVID-19. Desta forma, o período atual teve que ser reestruturado para avanço nas etapas de desenvolvimento teórico e computacional. As atividades de coleta no IPq-HC-USP devem retornar entre final de setembro e início de outubro. Diante deste contexto, solicita-se a renovação da bolsa por mais 6 meses (isto é, de 01 de dezembro de 2021 à 31 de maio de 2022), para completar tais coletas de dados do experimento, completar a análise e divulgar os resultados. Propõe-se o cronograma de execução disposto na Fig. 4.1, a seguir.

Atividade	Mês do projeto					
	Dez/21	Jan/22	Fev/22	Mar/22	Abr/22	Mai/22
Coleta de dados de EEG de voluntários PD-DBS no HC-USP						
Análise de resultados para o grupo de voluntários						
Preparo da documentação para continuidade do estudo por futuros membros do CEPID						
Publicação dos resultados						
Elaboração do relatório final						

Figura 4.1: Cronograma de pesquisa proposto para o próximo período (Dez/21-Mai/22)

5 Participação em evento científico

As novas metodologias foram apresentadas em diversas conferências no período anterior (ICMNS, LASCON, IoP Advanced Photonics in Biology). Para este período, objetivou-se apresentar os resultados a partir das análises de dados, porém houve um atraso na coleta de dados de EEG devido ao agravamento da pandemia de Covid-19. Desta forma, até o período de elaboração deste relatório, não foi possível apresentar resultados da análise de EEG em outro evento. Porém, isto pode ainda se realizar até novembro de 2021, data do período da atual concessão.

Contudo, a metodologia desenvolvida foi aplicada por parceiros de outros campos disciplinares. Estes parceiros indicaram a co-autoria do bolsista nos seguintes trabalhos apresentados em eventos científicos internacionais:

- Valencio, N.; Valencio, A.; Baptista, M.S. Synergistic crises at the crossroads of public management: a complex systems approach to intertwining the dynamics of disasters, public finance and sanitation. ISA (International Sociological Association) Forum 2021. Porto Alegre, online.
- Valencio, N.; Valencio, A.; Baptista, M.S. Crisis induced by the Brazilian development model. Degrowth Conference 2021. Manchester, online.
- Valencio, N.; Valencio, A.; Baptista, M.S. Interlinked dynamics of sanitation and regional development: the case of the state of Minas Gerais, Brazil. Royal Geographical Society Annual International Conference. London, online.

Além disso, o bolsista participou de um workshop internacional promovido pela Fapesp em colaboração com o British Council, visando um possível futuro projeto de Jovem Pesquisador ou similar, voltado para a área de Sistemas Complexos (que é o background do bolsista).

- Towards Healthy Brazil: Sustainable Urban Nexus (Water-Energy-Sanitation) in the Tietê River Basin. UK-Brazil Researcher Links Workshop, 2021. Organização: UFSCar, University of Manchester e Manchester Metropolitan University. Financiadores: Fapesp e British Council.

Por fim, o bolsista também foi participante de workshop para possível aplicação em futuro projeto PIPE-Fapesp, preferencialmente utilizando os conhecimentos adquiridos com esta pesquisa:

- Workshop PIPE-Fapesp: Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas, 2021. INOVA-Parque Científico e Tecnológico da Unicamp.

6 Lista de publicações e trabalhos realizados

- Programas de computador desenvolvidos
 - Valencio, A. (2021). DBS-EEG analysis framework: pipeline for analysis of functional connectivity from EEG signals. Linguagem: Python 3, Jupyter-notebook. Repositório: GitHub.
 - Valencio, A. (2021). Time-varying functional connectivity framework for EEG. Linguagem: Python 3, Jupyter-notebook. Repositório: GitHub.
- Capítulos de livro publicados, com revisão por pares
 - Valencio, N.; Valencio, A. (2021). Por uma ética científica colaborativa: lições de um geógrafo. In: A. Nunes et al. *Geografia, Riscos e Proteção Civil: livro de homenagem ao professor doutor Luciano Lourenço*. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Atuação como revisor de periódico
 - Frontiers in Physiology (Specialty Section: Fractal Physiology)
 - Journal of Universal Computing Science (2 artigos)
 - Revista de Morfologia Urbana (Porto, Portugal)

7 Primeira página das publicações

- Programas de computador desenvolvidos

9/17/21, 10:45 AM artvalencio/DBS-EEG-analysis-framework: DBS-EEG analysis framework: pipeline for analysis of functional connectivity from EEG signals

artvalencio / DBS-EEG-analysis-framework Private

< Code Issues Pull requests Actions Projects Wiki Security Insights Settings

main Go to file Add file Code About

artvalencio Add files via upload 2 minutes ago 5

DBS_EEG_data_analysis_framework...	Add files via upload	2 minutes ago
DBS_EEG_data_analysis_framework...	Add files via upload	14 minutes ago
README.md	Update README.md	10 minutes ago

README.md

DBS-EEG-analysis-framework

DBS-EEG analysis framework: pipeline for analysis of functional connectivity from EEG signals

This package provides a pipeline and functions for analysis of EEG data, particularly for volunteers with DBS implants

Contents:

- DBS_EEG_data_analysis_framework_-_preprocessing_and_basic_features (Jupyter notebook, engine=Python 3)
- DBS_EEG_data_analysis_framework_-_connectivity_maps_and_advanced_features (Jupyter notebook, engine=Python 3)

Requirements:

This package requires installation of Jupyter, Python >=3.6, numpy, scipy, pandas, mne and cami.

Licence and acknowledgements

Open source licence: GNU GPL v3

Developer: Arthur Valencio [1]

Affiliation:

Institute of Computing/University of Campinas and Research, Innovation and Dissemination Center for Neuromathematics

Funding: FAPESP (S. Paulo Research Foundation), Brazil

Acknowledgements: Arthur Valencio is supported by the FAPESP grant 2018/09900-8 and acknowledges this work as part of the activities of the FAPESP Research Innovation and Dissemination Center for Neuromathematics (grant 2013/07699-0, S. Paulo Research Foundation). A.V. contributions are partly derived from previous research funded by CNPq grant 206246/2014-5.

Licence text:

DBS-EEG analysis framework: pipeline for analysis of functional connectivity from EEG signals

Copyright (C) 2021 Arthur Valencio

This program is free software: you can redistribute it and/or modify it under the terms of the GNU General Public License as published by the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or (at your option) any later version.

This program is distributed in the hope that it will be useful, but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the GNU General Public License for more details.

You should have received a copy of the GNU General Public License along with this program. If not, see <https://www.gnu.org/licenses/>. Contact:

Arthur Valencio
e-mail: arthur(at)liv.unicamp.br

Releases: No releases published. Create a new release

Packages: No packages published. Publish your first package

Languages: Jupyter Notebook 100.0%

<https://github.com/artvalencio/DBS-EEG-analysis-framework> 1/2

Figura 7.1: Página do repositório do código desenvolvido para análise conectividade funcional a partir de sinais de EEG.

9/17/21, 11:00 AM artvalencio/Time-varying-functional-connectivity-framework-for-EEG: Time-varying functional connectivity framework for EEG

artvalencio / Time-varying-functional-connectivity-framework-for-EEG (Private)

<> Code Issues Pull requests Actions Projects Wiki Security Insights Settings

main Go to file Add file Code

artvalencio	Add files via upload	now	3
README.md	Update README.md	2 minutes ago	
dFC_EEG.ipynb	Add files via upload	now	

README.md

Time-varying-functional-connectivity-framework-for-EEG

Time-varying functional connectivity framework for EEG

This package provides a pipeline and functions for analysis of time-varying functional connectivity maps from EEG data

Contents:

dFC_EEG (Jupyter notebook, engine=Python 3)

Requirements:

This package requires installation of Jupyter, Python >=3.6, numpy, scipy, pandas, mne and cami.

Licence and acknowledgements

Open source licence: GNU GPL v3

Developer: Arthur Valencio [1]

Affiliation:

Institute of Computing/University of Campinas and Research, Innovation and Dissemination Center for Neuromathematics

Funding: FAPESP (S. Paulo Research Foundation), Brazil

Acknowledgements: Arthur Valencio is supported by the FAPESP grant 2018/09900-8 and acknowledges this work as part of the activities of the FAPESP Research Innovation and Dissemination Center for Neuromathematics (grant 2013/07699-0, S. Paulo Research Foundation). A.V. contributions are partly derived from previous research funded by CNPq grant 206246/2014-5.

Licence text:

DBS-EEG analysis framework: pipeline for analysis of functional connectivity from EEG signals

Copyright (C) 2021 Arthur Valencio

This program is free software: you can redistribute it and/or modify it under the terms of the GNU General Public License as published by the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or (at your option) any later version.

This program is distributed in the hope that it will be useful, but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the GNU General Public License for more details.

You should have received a copy of the GNU General Public License along with this program. If not, see <https://www.gnu.org/licenses/>. Contact:

Arthur Valencio
 e-mail: arthur(at)liv.unicamp.br
 address:
 Institute of Computing, Unicamp

About
 Time-varying functional connectivity framework for EEG

Releases
 No releases published
[Create a new release](#)

Packages
 No packages published
[Publish your first package](#)

<https://github.com/artvalencio/Time-varying-functional-connectivity-framework-for-EEG> 1/2

Figura 7.2: Página do repositório do código desenvolvido para análise conectividade funcional ao longo do tempo, a partir de sinais de EEG.

- Capítulo de livro publicado

GEOGRAFIA, RISCOS E PROTEÇÃO CIVIL HOMENAGEM AO PROFESSOR DOUTOR LUCIANO LOURENÇO VOLUME 1

Por uma ética científica colaborativa: o legado de um geógrafo

Norma Valencio

Universidade Federal de São Carlos / Universidade Estadual de Campinas
Dep. de Ciências Ambientais / Programa Interdisciplinar em Ciências Humanas e Sociais Aplicadas (Brasil)
ORCID: 0000-0003-1855-3458 norma.valencio@ufscar.br

Arthur Valencio

Universidade Estadual de Campinas
Instituto de Computação (Brasil)
ORCID: 0000-0001-9727-3803 arthur@liv.ic.unicamp.br

Resumo

Esse ensaio visa refletir sobre relevantes dilemas com os quais os cientistas contemporâneos têm que lidar na sua trajetória profissional, pressionados a escolher entre uma sociabilidade baseada numa ética competitiva ou aquela fundada numa ética colaborativa. Busca-se caracterizar o modus operandi subjacente a esses percursos éticos inconciliáveis. E, em seguida, tendo como pano de fundo o contexto científico de estudos sobre riscos, a reflexão se aprofunda na escolha pelo caminho colaborativo tomando como referência a prática profissional e de cidadania de um geógrafo lusitano, o qual faz de seu ofício um recurso estratégico de amarração social do seu lugar de pertença com o meio científico.

Palavras-chave: Riscos, ética, política científica, Portugal, geografia.

Abstract

Towards a collaborative science ethics: a geographer's legacy. This essay aims to reflect on key dilemmas which contemporary scientists must deal with along their professional trajectories, under the pressure to choose a sociability based on competitive ethics or founded on collaborative ethics. It looks to characterize the modus operandi underlying such irreconcilable ethical paths. Then, having as background the scientific context of the study of risks, the reflection is deepened towards the choice for the collaborative path, having as reference the professional and citizen practice of a Portuguese geographer, who turns his craftsmanship into a strategic resource for the social bonding of his place of belonging with the scientific medium.

Keywords: Risks, ethics, science policy, Portugal, geography.

679

Figura 7.3: Capítulo de livro, com revisão por pares, publicado no período. A obra foi à convite por colegas da Universidade de Coimbra. Embora não seja diretamente relacionada à pesquisa desta bolsa, inclui agradecimentos à esta agência de fomento.

- Artigos em preparação

Time-delayed EEG causality analysis: prospects to analysis of DBS cortical effects

Arthur Valencio¹, Tiago F. Gonçalves², Renata Prôa³, Thamires Rocha², Daniele Salgado², Sigride Thome-Souza⁴, Fernando A. Najman⁵, Rubens G. Cury², Jorge Stolfi¹

¹University of Campinas, Institute of Computing, Campinas, Brazil

²University of São Paulo, Medical School, São Paulo, Brazil

³University of São Paulo, Institute of Mathematics and Statistics, São Paulo, Brazil, and Hospital Israelita Albert Einstein, São Paulo, Brazil

⁴University of São Paulo, Medical School, Department and Institute of Psychiatry, Video-EEG unit, São Paulo, Brazil

⁵University of São Paulo, Institute of Mathematics and Statistics, São Paulo, Brazil

Abstract

Deep brain stimulation (DBS) is a well-recognized treatment for Parkinson's disease motor symptoms, where brain electrodes emit localized high frequency pulses of current to the affected area. It is open to investigation whether and how the localized changes in the inner brain produces functional changes to the outer layers. In particular, it is expected the DBS would induce changes to the motor/pre-motor areas when the treatment is used for Parkinson's disease. Electroencephalography (EEG) is a standard non-invasive procedure providing high-temporal resolution data of the neocortex and already used as a routine exam for these patients. Hence, we propose an experiment where a volunteer with Parkinson's disease and bilateral subthalamic DBS has the EEG monitored while watching a video of a sequence of point-light displays in the shape of a human standing still or walking. According to the mirror neuron hypothesis, the video depicting the walking condition should induce more motor/pre-motor activity than that of the standing condition. The net transfer entropy can be used for inferring the functional connectivity between cortical regions and different time-delays be considered for cause and effect. The differential map of connectivity with walking or standing still visual stimulus is thus obtained for when the volunteer has the DBS switched on or off, and these are compared. The results obtained for a proof-of-concept experiment showed an increased connectivity when the delay considered between the EEG channels is in the order of 200ms. Different locations had causal transfer entropy flow when the DBS is activated or not, and the specific channels pairs are presented in functional connectome form. We conclude with plans to increase the number of volunteers and suggest a new visual stimulus sequence, based on comparing different human movements and scrambled motion, which eliminates memory bias.

Introduction

Deep-brain stimulation (DBS) is a well-established procedure for reduction of Parkinson's disease motor symptoms associated with pharmacological treatment [cite]. It consists of one or more electrodes inserted surgically typically in the subthalamic nucleus (STN), emitting pulses of voltage ...V, pulse duration of ...µs, and frequency of ...Hz [cite], which stimulate the neuronal population of the target area, compensating many of the negative effects of the loss of neurons in the substantia

Figura 7.4: Artigo em preparação sobre a análise de dados de EEG. Os planos iniciais são de submissão para edição especial da *Frontiers in Neurology*, cujo abstract foi aprovado pelos editores.



CaMI-Python: a package for causality identification from time-series using information theory

Arthur Valencio

University of Campinas

Jorge Stolfi

University of Campinas

Norma Valencio

Federal University of São Carlos

Murilo S. Baptista

University of Aberdeen

Abstract

Inferring the association or the causal flow between two or more variables may not be straightforward for dynamics exhibiting nonlinear behaviour, such as coupled map systems, brain physiological data/models, environmental/ecological systems or complex urban systems. We describe a Python package to investigate the statistical connections and causality flows between two or more discrete time-series. The software does not make any particular assumption, such as linearity, about the nature of the interactions between the underlying processes. Associations are evaluated by Shannon's mutual information and causal flow is inferred from Schreiber's transfer entropy and Baptista's causal mutual information (CaMI). The package includes options for when the discrete time-series provides comes from a (continuous) flow, and includes functions for the cases when the data provided consists of multiple short time-series, instead of one long time-series. It also includes functions to quantize the contribution of each time step to the overall information measures, enabling the visualization of a topology of association/causality. The package is tested and exemplified with a chaotic nonlinear map of two variables and a coupled stochastic neuron system.

Keywords: causality, information theory, nonlinear dynamics, Python.

1. Introduction

Inferring connections between physical processes is a common problem across the sciences. Claude Shannon (1948a,b) information theory provided a general foundation for this analysis with the concept of mutual information: the degree to which having the knowledge of some

Figura 7.5: Artigo em preparação sobre os softwares de análise desenvolvidos. Os planos iniciais são de submissão para o Journal of Statistical Software.

- Capítulo de livro submetido

What Lies Behind the Acute Crises: The Social and Infrasystems Links with Disasters in Brazil

Norma Valencio¹
Arthur Valencio²
Murilo S. Baptista³

Abstract

Brazilian municipalities have dealt with multifaceted crises resulting in the deterioration of the two-way relationship between local public administration and citizens. Included in these crises are disasters, processes characterized by the collective stress associated with multiple and sudden damages in a certain place. Infrasystems have a central role either in the deflagration or attenuation of the social and physical components of the crisis. They are also linked to the institutional view adopted in crisis prevention and response, and permeating these aspects lies the processes of the weakening of citizenship rights in the country. Given this problem, our purpose is to highlight two features of the spatiotemporal dynamics of these systemic crises in Brazilian municipalities from 2003 to 2018. First, we define social, health and infrastructural implications of the high frequency with which disasters happen in this country. Second, we assess – with correlations and causal inference methods – the links between the number of emergency state decrees and the socioeconomic, socio-spatial, health or infrastructure variables. For this step, the temporal causal relation between emergency and three variables (Gross Domestic Product-GDP, tax revenue and waterborne disease cases) was quantified using methods from information theory (mutual information, causal mutual information and transfer entropy), computed with the Matlab/OctaveMultithread Causality toolbox. The results indicate that the socioeconomic variables, particularly GDP, Human Development Index (HDI) and tax revenue, are the most relevant causes/associations for the adoption of routine practices of emergency declaration by the public administration. They also clarify the socio-political challenge of addressing Sustainable Development Goals in the Brazilian disaster risk reduction policies.

1 Introduction

Disasters are defined as a type of crisis (Quarantelli et al., 2007; Boin & t' Hart, 2007) or, more specifically, as social processes associated to a tragic physical event (Quarantelli, 1998). Such processes generate unintended and deeply stressful disturbances for the affected communities (Fritz, 1961). The features of the community can be varied, from a set of individuals occasionally gathered in a circumstantial location where the event took place, to a community of long-term residents, neighbours, families, friends and local businesses. A disaster is a collective experience that destabilizes and makes impossible the continuity of the daily activities of the affected groups who aim to restore their daily lives as quickly as possible (Lindell, 2013). However, this depends on the quality of institutional support the affected actors get. If the mere occurrence of a disaster reveals a maladjustment between public institutions and the

¹ Federal University of São Carlos (UFSCar), Brazil, and University of Campinas (UNICAMP), Brazil
norma.valencio@ufscar.br

² University of Campinas (UNICAMP), Brazil
arthur_valencio@physics.org

³ University of Aberdeen (UoA), UK
murilo.baptista@abdn.ac.uk

Figura 7.6: Capítulo de livro, com revisão por pares, submetido. Os co-autores aplicaram metodologia desenvolvida por esta pesquisa a outros campos disciplinares.

- Capítulo de livro em preparação

**From systemic to synergistic crises:
Is Brazil moving towards institutional rupture?**

Norma Valencio¹, Arthur Valencio² and Murilo S. Baptista³

Abstract

Emergency decrees are legal devices adopted by government authorities in response to a significant crisis, regardless of the factors that might trigger it. This provision underlies the adoption of unusual official measures that range from changing the way the institutional apparatus works and the mechanisms for managing public resources to changing the way in which government officials interact with citizens. The activation of this device reveals itself as an additional stress factor for citizens, as they have to adjust to new rules imposed on social life and adapt their strategies to deal with the challenges of experiencing a crisis, which can increase social vulnerabilities rather than reduce them. When government authorities, from different institutional levels, disagree regarding the adoption and/or obstruction of complementary precautionary measures to the use of the aforementioned device, and add their differences to the context of the crisis, this makes the situation even more problematic at the local level of social cohesion. When, finally, this device is no longer adopted circumstantially and becomes something of frequent use, this indicates that the specific problem foreshadows a process of social disruption. Based on a literature review of the Social Sciences, which highlights crucial points listed in the recent debate on contemporary crises, this study focuses on the dynamics of the issuing of emergency decrees in Brazil before and under the Covid-19 crisis. It addresses the transitions in the use of this device from its punctual character to its systemic adoption, and from there to the emergence of synergistic crises, which foreshadows a sociopolitical tipping point. Through a complex systems approach and with the objective of identifying the trans scalar and multifactorial nexus between crises, statistical series referring to different social, economic and health variables were associated with the evolution of emergency decrees issued by municipal authorities throughout the country in the period 2003-2017 and in the 2018-2020 period. Our results indicate the occurrence of four dynamics, namely: (a) the shortening of periods of normality in comparison to those of exceptionality; (b) the spatial spread of emergencies; (c) the aggravation or repetition of emergencies and (d) a chain of these dynamics with structural factors of a socioeconomic nature. It is concluded that, regardless of the reasons given for each emergency decree at the local level -that is, the specific critical event to which the activation of the device officially refers-, the dynamics of the analyzed set of Brazilian municipalities reveals a feedback process, of growth and metamorphosis of crises. This signals an ongoing process of normalizing a state of exception, with possibilities of institutional ruptures and loss of the minimum guarantees of citizenship achieved so far.

Key words: Brazil; Human Rights; Crises; Emergencies; Complex Systems.

¹ Department of Environmental Sciences, Federal University of São Carlos, Brazil

² Institute of Computing, University of Campinas, Brazil

³ Institute for Complex Systems and Mathematical Biology, University of Aberdeen, UK

Figura 7.7: Capítulo de livro em preparação. Os co-autores aplicaram metodologia desenvolvida por esta pesquisa a outros campos disciplinares.

8 Lista de trabalhos em preparação, preparados ou submetidos

- Artigos em preparação
 - Valencio, A.; Gonçales, T.F.; Prôa, R.; Rocha, T.; Salgado, D.; Thome-Souza, S.; Najman, F.A.; Cury, R.G.; Stolfi, J. (em elaboração). Time-delayed EEG causality analysis: prospects to analysis of DBS cortical effects. A submeter em edição especial da *Frontiers in Neurology* (abstract aprovado).
 - Valencio, A.; Stolfi, J.; Valencio, N.; Baptista, M.S. (em elaboração) CaMI-Python: a package for causality identification from time-series using information theory. (objetiva-se a submissão para o *Journal of Statistical Software*, a confirmar).
- Capítulos de livros submetidos, com revisão por pares
 - Valencio, N.; Valencio, A.; Baptista, M.S. (submetido). What Lies Behind the Acute Crises: The Social and Infrasystems Links with Disasters in Brazil. In: D. Iossifova. [Título do livro a definir]. Berlin: Springer.
- Capítulos de livros em preparação, com revisão por pares
 - Valencio, N.; Valencio, A.; Baptista, M.S. (em preparação). From systemic to synergistic crises: Is Brazil moving towards institutional rupture?. In: D. Iossifova. [Título do livro a definir]. Berlin: Springer.

9 Aplicação dos recursos da reserva técnica da bolsa

Não houve utilização de recursos de reserva técnica no período de dezembro de 2020 a novembro de 2021.

Referências Bibliográficas

- [1] MARTINS, E. et al. Cerebral dynamics during the observation of point-light displays depicting postural adjustments. *Frontiers in Human Neuroscience*, v. 11, p. 217, 2017.
- [2] HERNANDEZ, N. et al. Retrieving the structure of probabilistic sequences of auditory stimuli from eeg data. *Scientific Reports*, v. 11, 2021.
- [3] SALEHI, S. et al. Decoding complex imagery hand gestures. *39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, v. 1, 2017.
- [4] PANACHAKEL, J.; RAMAKRISHNAN, A. Decoding covert speech from eeg—a comprehensive review. *Frontiers in Neuroscience*, v. 15, 2021.
- [5] PINA-FUENTES, D. et al. Adaptive deep brain stimulation as advanced parkinson’s disease treatment (adapt study): protocol for a pseudo-randomised clinical study. *BMJ Open*, v. 9, 2019.
- [6] BROWN, E.; KASS, R.; MITRA, P. Multiple neural spike train data analysis: state-of-the-art and future challenges. *Nature Neuroscience*, v. 7, n. 5, p. 456–461, 2004.
- [7] STAM, C. Nonlinear dynamical analysis of eeg and meg: review of an emerging field. *Clinical Neurophysiology*, v. 116, n. 10, p. 2266–301, 2005.
- [8] BARAVALLE, R.; ROSSO, O.; MONTANI, F. Rhythmic activities of the brain: Quantifying the high complexity of beta and gamma oscillations during visuomotor tasks. *Chaos*, v. 28, n. 7, p. 075513, 2018.
- [9] SCHREIBER, T. Measuring information transfer. *Physical Review Letters*, v. 85, n. 2, p. 461, 2000.
- [10] BIANCO-MARTINEZ, E.; BAPTISTA, M. Space-time nature of causality. *Chaos*, v. 28, n. 7, p. 075509, 2018.
- [11] VALENCIO, A. *An information-theoretical approach for identifying seismic precursors and earthquake-causing variables*. Tese (Doutorado) — University of Aberdeen, 2018.
- [12] VALENCIO, A.; BAPTISTA, M. *Causality Toolbox: functions for calculating information theory measures from time-series*. 2018. Disponível em: <https://github.com/artvalencio/causality-toolbox>.

- [13] MOLENBERGHS, P.; CUNNINGTON, R.; MATTINGLEY, J. Is the mirror neuron system involved in imitation? a short review and meta-analysis. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, v. 33, n. 7, 2009.
- [14] RIZZOLATTI, G.; CRAIGHERO, L. The mirror-neuron system. *Annual Review of Neuroscience*, v. 27, n. 1, p. 167–192, 2004.

Apêndices

A Formulário de Justificativas de Aplicação dos Recursos da Reserva Técnica de Bolsas e recibos

Na páginas a seguir encontra-se o formulário FAPESP de aplicação de recursos da reserva técnica para este período (dez/20-nov/21). Não houve utilização dos recursos.

Formulário de Justificativa I de Aplicação dos Recursos da Reserva Técnica de Bolsas

Processo: 2018/09900-8

Bolsista: Arthur Lopes da Silva Valencio

Orientador/Supervisor: Jorge Stolfi

Declaro que não houve utilização dos Recursos da Reserva Técnica

JUSTIFICATIVA DAS DESPESAS REALIZADAS NA AQUISIÇÃO DE:

MATERIAL PERMANENTE

MATERIAL DE CONSUMO

SERVIÇOS DE TERCEIROS

Instruções para preenchimento

Justificar todas as despesas conforme normas de uso da Reserva Técnica de Bolsa disponíveis em www.fapesp.br/rt.

Para participação em eventos, utilize a planilha de Justificativa II.

Material Permanente: Justificar cada livro ou equipamento adquirido, incluindo seus acessórios.

Material de Consumo: Agrupar os itens por justificativa de uso no projeto.

Serviços de Terceiros: Agrupar os itens por justificativa de uso no projeto. A nota fiscal ou recibo deve detalhar o serviço executado.

Tipo de despesa	Nº da Nota Fiscal/Recibo	Valor R\$
Justificativa de uso no projeto		

Tipo de despesa	Nº da Nota Fiscal/Recibo	Valor R\$
Justificativa de uso no projeto		

Tipo de despesa	Nº da Nota Fiscal/Recibo	Valor R\$
Justificativa de uso no projeto		

Formulário de Justificativa II de Aplicação dos Recursos da Reserva Técnica de Bolsas

Processo: 2018/09900-8

Bolsista: Arthur Lopes da Silva Valencio

Orientador/Supervisor: Jorge Stolfi

Justificativa das despesas realizadas com participação em evento

Tipo de Evento				
Local		Cidade/País		
Início		Término	Duração (meses e dias)	
Título do Evento ou Instituição visitada				
DESPESAS REALIZADAS	VALOR R\$			
Transporte Aéreo				
Percurso / Observações				
Outras Despesas de Transporte				
Percurso / Observações				
Taxa de Inscrição				
Seguro Viagem (no Exterior)				
Visto (no Exterior)				
Diária				
Manutenção (no Exterior)				
Total		-		

Resumo das atividades desenvolvidas

Não houve utilização dos recursos de reserva técnica no período dez/20-nov/21